

Onderhoud Mechanische Aandrijflijn Coenbrug

Rijkswaterstaat

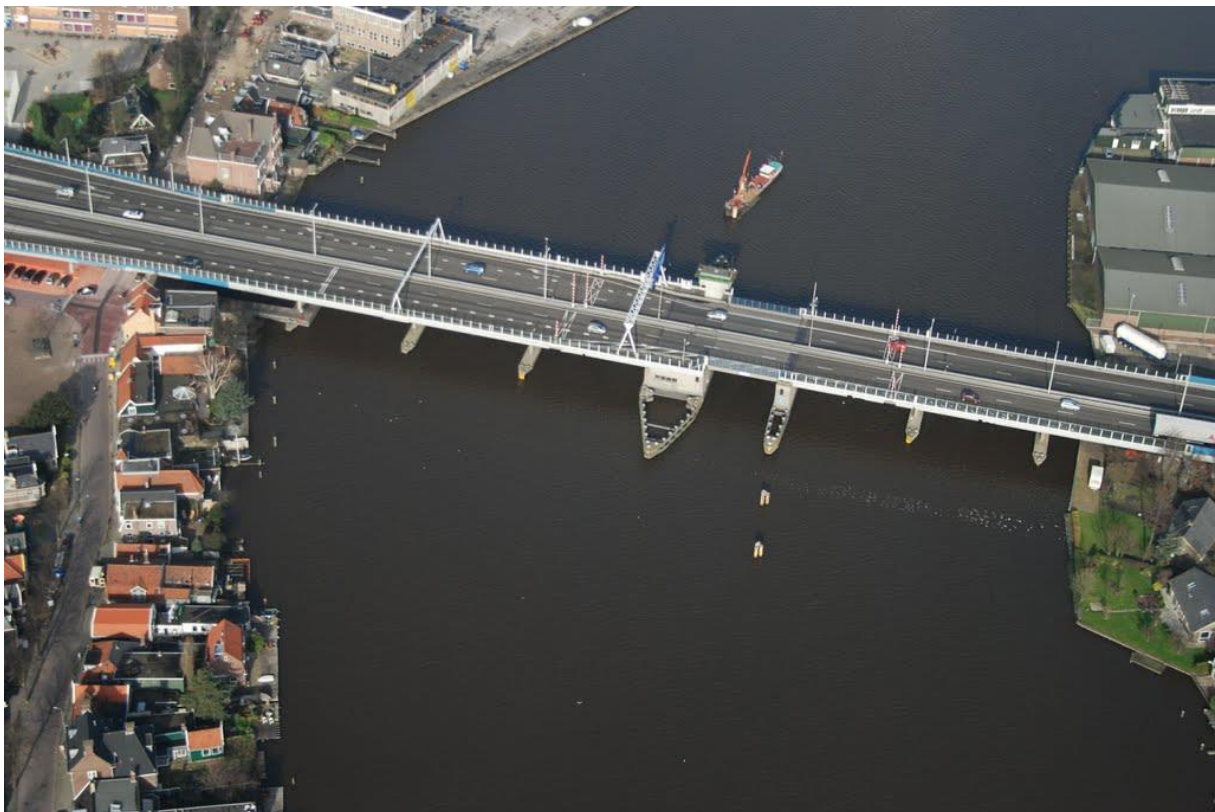
Jordi Rustenhoven (15062368)



Document: Afstudeerstage | Adviesrapport

Student met studienummer: Jordi Rustenhoven (15062368)

Onderwijsinstelling: De Haagse Hogeschool
Afstudeerstageplek: Rijkswaterstaat: Afdeling PPO
Faculteit: Technologie, Innovatie en Samenleving
Locatie: Delft
Opleiding: Werktuigbouwkunde
Afstudeerperiode: 26-8-2019 t/m 19-12-2019
Afstudeerbegeleiders: E. de Wit & R. Kurver
Datum: 19 december 2019
Versienummer: 1



Voorwoord

Dit is de scriptie “Onderhoud Mechanische Aandrijflijn Coenbrug” en is gemaakt voor de afstudeeropdracht bij Rijkswaterstaat in Haarlem, bij de afdeling PPO. Deze scriptie is geschreven in het kader van afstuderen bij de opleiding werktuigbouwkunde aan de Haagse Hogeschool Delft. De scriptie dient als materiaal ten behoeve van de competentieverantwoording van de student, hiermee moet de student aantonen aan de competenties te hebben voldaan. Ook dient het voor Rijkswaterstaat als een adviesrapport om het nieuwe onderhoudsregime te kunnen implementeren.

De scriptie is opgesteld door een student van werktuigbouwkunde aan de Haagse Hogeschool te Delft. Het rapport is bestemd voor de docentbegeleiders en afstudeercoördinator. Daarnaast is het rapport ook bedoeld voor dhr. R. van der Voorn, de begeleider vanuit Rijkswaterstaat.

De student zou graag R. van der Voorn, C. Husken, H. van Dormalen en A. van der Veer willen bedanken voor het helpen en mogelijk maken van de afstudeeropdracht. Ook gaat dank uit naar de docentbegeleiders E. de Wit & R.C.J. Kurver en de afstudeercoördinator G. Docters van Leeuwen.

Ik heb met veel plezier aan de opdracht gewerkt en ik heb er veel van geleerd.

Jordi Rustenhoven

Voorhout, December 2019

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting.....	7
Verklarende woordenlijst.....	8
Symbolenlijst	9
1. Inleiding	10
1.1 Bedrijfsomschrijving	10
1.2 Context opdracht.....	10
1.2.1 Hoofdvraag	11
1.2.2 Deelvragen.....	11
1.3 Probleemstelling.....	11
1.4 Doelstelling.....	11
1.5 Projectgrenzen en Randvoorwaarden.....	12
1.6 Leeswijzer	12
2. Huidige situatie Coenbrug	14
2.1 Observatie	14
2.2 Documentatie	15
2.3 Interviews	16
2.4 Conclusie	18
3. De installatiedelen.....	19
3.1 Decompositie.....	19
3.2 Opzet onderzoek installatiedelen.....	20
3.3 Uitlijning	22
3.3.1 Theorie.....	22
3.3.2 Methode	23
3.4 Trillingsmeting	24
3.4.1 Functionele eisen en randvoorwaarden	24
3.4.2 Eindsituatie.....	25
3.5 Olie- en vetanalyses.....	26
3.6 Conclusie installatiedelen.....	28
3.6.1 Elektromotor	28
3.6.2 Reminstallatie.....	28
3.6.3 Tandwielkast.....	29
3.6.4 OK Koppeling	29
3.6.5 Spileindschakelaar	29

3.6.6 Rondsel en panamawiel	30
3.6.7 Trek- en duwstang	30
3.6.8 Hoofddraaipunt	30
4. Verbetertools en risicoanalyses	31
4.1 FMECA	31
4.2 RCA	32
4.2.1 Methodes en tools voor het identificeren van de storing.....	33
4.3 PDCA	35
4.4 Overige tools en analyses.....	35
5. Resultaten.....	36
5.1 Onderhoudsregime	36
5.2 Smeerschema	37
5.3 Programma van Eisen	38
5.4 Wisselbare onderdelen	39
6. Het onderhoudsmanagementsysteem.....	40
6.1 Plan	40
6.2 Do	41
6.3 Check	41
6.4 Act.....	42
7. Advies	43
7.1 Overige adviezen	45
7.2 Stappenplan.....	45
7.3 Aanbevelingen vervolgonderzoek	47
8. Methodologie	48
9. Competentieverantwoording.....	51
10. Conclusie	58
Bibliografie	60
Bijlage 1: Bedrijfsbeoordeling	64
Bijlage 2: Competentieprofielen	66
Bijlage 3: Het fotoverslag	70
Bijlage 4: De Elektromotor	77
Bijlage 5: De Reminstallatie.....	82
Bijlage 6: De Tandwielkast.....	90
Bijlage 7: De OK koppeling	98
Bijlage 8: De Spileindschakelaar	102
Bijlage 9: Het rondsel en het panamawiel	105

Bijlage 10: De trek- en duwstang	112
Bijlage 11: Het hoofddraaipunt	117
Bijlage 12: FMECA.....	121
Bijlage 13: Onderhoudsregime.....	129
Bijlage 14: Smeerschema	138
Bijlage 15: Programma van Eisen – Onderhoud.....	140
Bijlage 16: Programma van Eisen – Montage.....	145
Bijlage 17: Wisselbare onderdelen stuklijst	152
Bijlage 18: Interviews	154

Samenvatting

Het niveau van het onderhoud voor de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug is lager dan gewenst. Er valt hier nog een verbeterslag in te maken. In opdracht van Rijkswaterstaat is een onderzoek uitgevoerd met als hoofdvraag: “Hoe kan het onderhoud van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug worden verbeterd?” Om dit te beantwoorden is er gekozen voor een kwalitatief onderzoek.

De huidige situatie van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug is in kaart gebracht met behulp van drie verschillende methodes voor het verzamelen van gegevens: Observatie, Documentatie en Interviews. Vanuit de huidige situatie is er onderzoek gedaan naar de installatiedelen van de mechanische aandrijflijn. Het onderzoek was nodig omdat er in beperkte mate documentatie beschikbaar was binnen Rijkswaterstaat.

De opzet van het onderzoek is als volgt: algemene informatie van het installatiedeel, montage handelingen en punten van aandacht, een risicomatrix waar realistische afwijkingen van het installatiedeel zijn ingedeeld en de onderhoudstaken die nodig zijn om de afwijkingen te voorkomen of de effecten te beperken.

Rijkswaterstaat had al geconstateerd dat de uitlijning bij de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug niet goed is uitgevoerd. Om dit op te lossen zijn de toleranties voor deze uitlijning onderzocht en aangegeven.

Een van de belangrijke en complexe onderhoudstaken is het uitvoeren van trillingsmetingen. Om hier een duidelijk beeld van te schetsen is aangegeven wat er precies moet worden gemeten en wat Rijkswaterstaat verwacht als eindresultaat van de trillingsmetingen. Het doel van de trillingsmetingen is om de toestand te bepalen en eventuele afwijkingen te detecteren. De andere belangrijke en complexe onderhoudstaak is het uitvoeren van olie- en vetanalyses. Hiervoor zijn de soort onderzoeken en de bijbehorende afkeurwaardes onderzocht.

Vanuit de eerder genoemde risicomatrix is een FMECA opgesteld. Dit is voor een duidelijk overzicht van alle afwijkingen en de onderhoudstaken die nodig zijn om deze afwijkingen te voorkomen of de effecten ervan te beperken. Vanuit de FMECA is een onderhoudsregime ingevuld met de specifieke onderhoudstaken en de bijbehorende criteria. De onderbouwing voor de invullingen hiervan zijn te vinden in het onderzoek van de installatiedelen. Ter ondersteuning van het onderhoudsregime is er een smeerschema, PvE en wisselbare onderdelen stuklijst opgesteld.

Om het onderhoudsregime te volgen wordt Rijkswaterstaat geadviseerd zich aan de PDCA-cyclus te houden. Dit is in principe het onderhoudsmanagementsysteem. Hierbij is terugkoppeling belangrijk, de bijsturing van de onderhoudsregimes zal elke drie tot vijf jaar moeten worden uitgevoerd. Mogelijk gebeurt dit eerder als daar aanleiding voor blijkt te zijn.

Voor het volgen van het onderhoudsregime en de PDCA-cyclus zijn er een aantal acties nodig. Deze acties zijn het corrigeren van de uitlijning en het herstellen van de rondselschade. Overige acties hebben betrekking op de eisen die nodig zijn voor het volgen van het onderhoudsregime. Het stappenplan om het onderzoek uit te voeren voor andere assets binnen Rijkswaterstaat is kort behandeld. Voor toelichting van de aanpak van de opdracht is de methodologie behandeld.

De conclusie van het onderzoek is dat het onderhoud is te verbeteren door het volgen van het nieuwe onderhoudsregime volgens de PDCA-cyclus met de bijbehorende criteria. Hierbij is het doorlopend verzamelen en terugkoppelen van data cruciaal.

Verklarende woordenlijst

Hieronder een uitleg van de begrippen in de scriptie.

Begrip	Definitie/verklaring
Additieven	Toevoegingen voor het veranderen/verbeteren van de eigenschappen van een product, in dit geval van olie of vet.
Asset	Item met economische waarde in bezit van een persoon of organisatie.
Cavitatie	Het ontstaan van holten in een vloeistof.
Decompositie	De onderverdeling van de installatiedelen en componenten van de installatie.
Densoband	Een koud verwerkbare vetbandage voor de bescherming van metaal tegen corrosie.
Hertze spanningen	Contactspanning tussen twee bewegende delen.
OK koppeling	De benaming van een oliedrukkoppeling van de fabrikant SKF.
Onderhoudsregime	Het product waarin alle onderhoudstaken, intervallen en de bijbehorende criteria staan.
Pruisisch Blauw	Substantie die benodigd is voor het correct afstellen van de draagbeelden voor tandwielen.
Rondsel	Een as met vertanding.
Spectrum	Een grafiek van de meetgegevens vanuit een trillingsmeting.
Thruster	Component van de reminstallatie wat ervoor zorgt dat de remschoenen los laten.
Trillingsmeting	Een techniek om de conditie van een roterende machine te bepalen middels trillingspatronen.
Ultimo	Onderhoudsmanagementsysteem software; voor het documenteren van data.
Vertanding	Niet op één lijn staande voegen of vlakken.
Verzeper	Het skelet wat de olie vasthoudt.
Viscositeit	Een fysisch gegeven over de mate van stroperigheid van een vloeistof.

Hieronder een uitleg van de afkortingen in de scriptie.

Afkorting	Uitleg
AM	Asset Management, het gaat hierbij om de afdeling binnen Rijkswaterstaat.
DIN	Deutsches Institut für Normung; de Duitse nationale normeringsinstantie.
FIT handelingen	Functionele Inspectie Handelingen
FMECA	Failure Mode Effect & Criticality Analysis
FT	Functionele test
GAO	Gebruik Afhankelijk Onderhoud
ISO	Internationale Organisatie voor Standaardisatie
NEN	Nederlandse Norm
OMS	Onderhoudsmanagementsysteem
ON	Opdrachtnemer
PDCA	Plan, Do, Check en Act
PPO	Programma, Planning en Onderhoud
PvE	Programma van Eisen
RWS	Rijkswaterstaat
SAO	Storing Afhankelijk Onderhoud
TAO	Toestand Afhankelijk Onderhoud

Symbolenlijst

Hieronder een uitleg van de standaard symbolen in de scriptie.

Symbool	Eenheid	Uitleg
α	°	De verdraaiing van de koppelings helften tegenover elkaar in graden.
ΔK_r	mm	De radiale tolerantie voor het uitlijnen van de koppelingen in mm.
ΔK_a	mm	De axiale tolerantie voor het uitlijnen van de koppelingen in mm.
P	W	Het vermogen in Watt.
U	V	De spanning in Volt.
I	A	De elektrische stroomsterkte in Ampère.
F	N	De kracht in Newton.
m	kg	De massa in kilogram.
g	m/s ²	De valversnelling in meter per seconde in het kwadraat.

1. Inleiding

Onderhoud is in de technische wereld een belangrijk onderdeel. Onderhoud is een verzamelnaam van alle activiteiten die nodig zijn om een asset in goede conditie te houden. Daarbij moet er goed gekeken worden welk soort onderhoud een asset nodig heeft. Door het bepalen van de juiste onderhoudstaken, de hierbij toereikende intervallen en de correcte afkeurwaardes is het mogelijk schade en hiermee ook kosten te voorkomen. Correct onderhoud zorgt voor een hogere beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de installatie. (ROVC Technische Opleidingen, 2019)

Een passende opdracht in het werkgebied van het onderhoud is te vinden bij Rijkswaterstaat te Haarlem bij de afdeling Programma's, Projecten en Onderhoud (verder genoemd PPO). De opdracht die hier is aangenomen heeft betrekking op het onderhoud van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug. De kosten van het onderhoud vallen niet binnen het kader van de opdracht. Het gaat in deze opdracht hoofdzakelijk over het opstellen van een nieuw onderhoudsregime met de bijbehorende eisen aan de installatie.

Rijkswaterstaat geeft aan dat het onderhoud wat nu uitgevoerd wordt bij de mechanische aandrijflijn ontoereikend is. Hierdoor ontstaat er schade op de onderdelen en is er een verhoogde kans op vervolgschade. Vanuit Rijkswaterstaat is er een schadeonderzoek geweest voor het rondsel. Hieruit kwamen een aantal vervolgacties die nog moet worden uitgevoerd. Hier dient de student rekening mee te houden in de opdracht, namelijk:

- Een vetwissel voor de vertanding van het rondsel en het panamawiel.
- Een vetwissel voor de diverse tonlagers in de mechanische aandrijflijn.
- Er moet een automatisch smeersysteem worden aangeschaft.

De Coenbrug bestaat uit twee beweegbare vallen, beide identiek aan elkaar. De genoemde vervolgacties tellen voor beide aandrijflijnen. De Coenbrug was in 1968 geopend als onderdeel van de Rijksweg A8 over de Zaan.

1.1 Bedrijfsomschrijving

Rijkswaterstaat is de uitvoeringorganisatie van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en werkt dagelijks aan een leefbaar, veilig en bereikbaar Nederland.

Programma's, Projecten en Onderhoud werkt aan het onderhoud van rijkswegen, vaarwegen, bruggen, waterkeringen en sluizen en de bedieningsinstallaties in heel Nederland. Hierbij is het kantoor in Haarlem verantwoordelijk voor het onderhoud, beheer en aanleg van rijkswegen en hoofdvaarwegen in de provincie Noord-Holland. Bij PPO werken onder andere inhoudelijke adviseurs en managers op het gebied van techniek, inkoop, contracten, projectbeheersing en projecten. PPO werkt actief samen met andere onderdelen van Rijkswaterstaat en de diverse externe partners, zoals gemeenten, provincies, waterschappen en marktpartijen. (Rijkswaterstaat, 2019)

1.2 Context opdracht

Doel van de opdracht is het verbeteren van het onderhoud bij de mechanische installatie van de Coenbrug. Dit zal worden verwezenlijkt middels het opstellen van een onderhoudsregime met de bijbehorende eisen aan de installatie. Hierbij is rekening gehouden met de limieten en wensen van de verschillende partijen, namelijk: Asset Management (verder genoemd AM), PPO en de opdrachtnemer (verder genoemd ON). De eerste stap is hierbij het achterhalen van de huidige situatie en vervolgens bepalen wat verbeterd kan worden. Vanuit de huidige situatie kan worden

bepaald wat moet worden onderzocht en welke analyses nodig zijn. Er zal in ieder geval een Failure Mode, Effect & Criticality Analysis (verder genoemd FMECA) moeten worden uitgevoerd.

De opdracht zal worden uitgevoerd onder begeleiding van dhr. R. van der Voorn. Er is aangegeven dat de schade aan de mechanische onderdelen van de aandrijflijn op het moment nog niet het stadium bereikt heeft dat er storingen optreden. De storingen die er zijn komen vooral vanuit de bedieningsinstallatie en het netwerk. Dit betekent dat de staat van de mechanische aandrijflijn ongezien achteruit gaat. Dit maakt toereikend onderhoud nog belangrijker.

Het uiteindelijke resultaat wordt een verbetervoorstel in de vorm van een advies gericht op het onderhoud van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug. Dit is inclusief de bijbehorende resultaten, zoals het onderhoudsregime en de bijbehorende eisen.

Om deze opdracht goed te kunnen uitvoeren en concreter te maken is er een hoofdvraag met meerdere deelvragen opgesteld. Deze zijn achtereenvolgens:

1.2.1 Hoofdvraag

H: Hoe kan het onderhoud van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug worden verbeterd?

1.2.2 Deelvragen

D1: Wat is de huidige situatie van het onderhoud voor de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug?

D2: Wat is belangrijke informatie voor elk installatiedeel om tot een goed onderbouwd advies te komen?

D3: Welke verbetertools en/of risicoanalyses passen het beste bij de situatie?

D4: Hoe kunnen de gemaakte risicoanalyses en het uitgevoerde onderzoek het beste naar nuttige informatie voor RWS worden vertaald?

D5: Hoe kan het OMS(onderhoudsmanagementsysteem) het beste ingericht en gebruikt worden?

D6: Wat is het uiteindelijke advies voor de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug?

D7: Zijn er nog andere zaken of omringende processen waarop advies nuttig zou zijn?

1.3 Probleemstelling

Rijkswaterstaat wil een advies over de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug voor het beter definiëren van de onderhoudseisen en onderhoudsregimes. Hierbij moet rekening worden gehouden met de eisen en wensen van de drie verschillende partijen. Deze partijen zijn: PPO, AM en de ON.

1.4 Doelstelling

Bedrijf / Rijkswaterstaat:

Een advies opstellen voor het definiëren van de onderhoudseisen en onderhoudsregimes voor de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug binnen een periode van zeventien weken.

School / Haagse Hogeschool:

De bewijslast leveren voor het overbrengen van de competentieontwikkeling.

1.5 Projectgrenzen en Randvoorwaarden

Projectgrenzen

De projectgrenzen van deze afstudeeropdracht zijn:

- Het onderzoek beperkt zich tot het onderhoud van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug.
- De mechanische aandrijflijn bevat de volgende installatiedelen: elektromotor, reminstallatie, tandwielkast, OK koppeling, rondsel, spileindschakelaar, panamawiel, trek- en duwstangen en de hoofddraaipunten.
- De implementatie van het advies wordt niet door de student gedaan. Het is een advies voor het implementeren van toereikend onderhoud voor de mechanische aandrijflijn van Coenbrug. Dit advies kan wellicht ook van toepassing zijn op andere assets van Rijkswaterstaat, maar dit is geen eis.
- Het onderzoek betreft alleen de Coenbrug van Rijkswaterstaat.
- De kostenberekening van het onderhoud valt niet binnen het kader van het onderzoek.

Randvoorwaarden

Hieronder staan randvoorwaarden die gesteld zijn aan het onderzoek en waaraan de rapporten moeten voldoen:

- Het onderzoek vindt plaats in de periode 26 augustus 2019 tot en met 19 december 2019. Er is wel mogelijkheid tot uitloop van de afronding van de opdracht, maar dit is niet een gewenste situatie.
- Het advies dat uitgebracht wordt zal zich beperken tot het onderhoud van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug.
- Het advies is alleen bedoeld voor Rijkswaterstaat.

1.6 Leeswijzer

De scriptie behandelt alle stappen die nodig zijn voor het beantwoorden van de deelvragen en hiermee dus ook de hoofdvraag.

Als eerste is in hoofdstuk 2 de huidige situatie uitgezocht met behulp van drie verschillende methodes om de gegevens hiervan te verzamelen, namelijk: observatie, documentatie en interviews.

Vervolgens gaat hoofdstuk 3 over de installatiedelen. Hierbij is als eerste een nieuwe decompositie voor de mechanische aandrijflijn aangegeven en vervolgens is de opzet toegelicht van het onderzoek naar de installatiedelen. Tevens zijn de belangrijkste en complexe taken voor het onderhoud behandeld, namelijk: uitlijning, trillingsmeting en olie- en vetanalyses.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de FMECA toegelicht. De FMECA is opgesteld op basis van het onderzoek van de installatiedelen. Vanuit de FMECA en het onderzoek is het onderhoudsregime opgesteld en vanuit het onderhoudsregime is het smeerschema opgesteld. De toelichting van het onderhoudsregime en het smeerschema is behandeld in hoofdstuk 5. Ter ondersteuning van het onderhoudsregime is er ook een Programma van Eisen (verder genoemd PvE) opgesteld voor het onderhoud en een wisselbare onderdelen stuklijst. Ook is er een PvE opgesteld voor de montage van de installatiedelen. De toelichtingen hiervan zijn ook behandeld in hoofdstuk 5.

Om het onderhoudsregime te kunnen sturen is het onderhoudsmanagementsysteem nodig. Dit is toegelicht aan de hand van een PDCA-cyclus in hoofdstuk 6. Voor het volgen van het onderhoudsregime zijn een aantal acties nodig, zoals correct uitlijnen en het herstellen van de rondselschade. Deze acties zijn samen met het stappenplan om het onderhoudsregime voor andere assets op te kunnen stellen behandeld in het advies van hoofdstuk 7. Vervolgens is in hoofdstuk 8 de methodologie van de opdracht behandeld.

In hoofdstuk 9 is de competentieverantwoording toegelicht en tot slot is in hoofdstuk 10 de conclusie behandeld.

2. Huidige situatie Coenbrug

De actuele staat waarin de mechanische aandrijflijn zich bevindt bij beide aandrijflijnen van de Coenbrug is onwenselijk. Grotendeels door verkeerde uitlijning, montage en het plegen van ontoereikend onderhoud.

De huidige situatie van de mechanische aandrijflijn is in drie verschillende manieren van informatie vergaren verdeeld, namelijk:

1. Observatie
2. Documentatie
3. Interviews

Hierbij zijn de interviews onderverdeeld in het interviewen van de medewerkers van de Asset Management afdeling en de onderaannemer Spie. Deze interviews zijn te vinden in Bijlage 18. Om de opstelling van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug te verduidelijken is er een fotoverslag gemaakt (zie bijlage 3).

2.1 Observatie

De observatie is gebaseerd op de visuele staat van de installatiedelen die gezien zijn tijdens het bezoeken van de brug op meerdere momenten.

Voorafgaand aan dit onderzoek zijn al meerdere bruggen van Rijkswaterstaat bezocht. Het hoofddoel van deze bezoeken was om een beter inzicht te krijgen in de staat van de Coenbrug door vergelijkingsmateriaal. De inhoud van de observatie wordt beperkt tot de observatie van de mechanische aandrijflijn.

Het eerste wat opvalt tijdens het binnenlopen van de brugkelder met daarin de mechanische aandrijflijn is het grote panamawiel. Deze had geen zichtbare schade. Aan de linkerkant van het panamawiel is een kap te zien. Deze kap is voor het afschermen van de tandwielverbinding tussen het rondsel en het panamawiel. Uit deze kap steekt een spileindschakelaar welke de actuele stand van het rondsel aangeeft. Dit onderdeel vertoont geen afwijkingen van buitenaf. Op de tandflanken van het rondsel zijn vermoeiingsverschijnselen zichtbaar en er is nauwelijks een smeermilieu aanwezig.

Aan het panamawiel zitten de trek- en duwstangen. Aan de buitenkant van deze installatiedelen is geen schade waargenomen. Voor het nasmeren van de smeerpunten bij de trek- en duwstangen werd niet gecontroleerd hoeveel smeermiddel er nog in de draaipunten zat of hoeveel er in werd gestopt. Tijdens een brugdraai werden er vreemde geluiden vanuit de trek- en duwstangen waargenomen, wat kan wijzen op schade aan de schotelveren. Tussen het rondsel en de uitgaande as van de tandwielkast zit een OK koppeling. Deze vertoont geen afwijkingen en is volledig omwikkeld met een Densoband. De staat van de tandwielkast is lastig in te schatten van buitenaf, maar bij de zuidelijke tandwielkast is de geur een indicatie voor een hoge mate van corrosie. De tandwielpompe van de tandwielkast vertoont ook geen afwijkingen. Het is hierbij onzeker of de tandwielpompe toereikend is voor het volledige oliebad van de tandwielkast. Omdat de brug weinig draaiuren maakt is het onwaarschijnlijk dat de tandwielpompe de olie vaak genoeg door het filter heen pompt. Het gaat hierbij namelijk om een oliebad van 165 liter en een tandwielpompe met een debiet van 0,72 m³/h. Het open en dichtgaan van de brug duurt ongeveer 130 seconden. Met het gegeven debiet zal het minstens 825 seconden duren voordat alle olie is rondgepompt.

Voor het kunnen aflezen van de druk in de persleiding en oliekanalen is er een met glycerine gevulde manometer aanwezig. Deze lijkt lek te zijn, omdat er een barst in het glas zit. Aan de tandwielkast zit ook een spileindschakelaar vast. Deze vertoont geen afwijkingen van buitenaf.

De reminstallatie werkt als koppeling tussen de tandwielkast en de elektromotor maar functioneert ook als noodrem. De reminstallatie werkt door middel van remschoenen, een remtrommel, een thruster en het hefboommechanisme. De remtrommel is geïntegreerd met het koppelingsmechanisme. Het hefboommechanisme is in een redelijk slechte staat, omdat minstens de helft van de draaipunten aangetast is door corrosie. De thruster vertoont van buitenaf geen afwijkingen. Het verwarmingselement wat hierbij hoort vertoont ook geen afwijkingen. Van de remschoenen is het wrijvingsvlak niet zichtbaar en daarom niet te beoordelen. Tot slot is de remtrommel in een slechte staat, omdat de elastische elementen er versleten uitzien en niet goed gecentreerd zitten. Ook is de remtrommel hoogglanzend verkleurd; dit heeft een negatieve invloed op de wrijvingscoëfficiënt. De elektromotor vertoont geen afwijkingen van buitenaf.

2.2 Documentatie

Het is belangrijk te melden dat er zorgwekkend weinig documentatie beschikbaar is van de onderdelen van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug. Niet van alle installatiedelen en componenten is er documentatie aanwezig.

De bestaande FMECA's zijn niet op niveau om de assets voldoende te kunnen onderhouden. Dit heeft weerslag op de conditie van de verschillende assets, zoals de schade aan het rondsel. De decompositie van de FMECA is gedaan aan de hand van NEN 2767. Deze is redelijk toepasbaar op statische objecten zoals wegen, maar niet op beweegbare bruggen. Bij deze FMECA zijn er namelijk belangrijke componenten niet inbegrepen, zoals bijvoorbeeld de verschillende lagers. Deze FMECA is opgesteld in 2007 door een ingenieursbureau dat is ingeschakeld door Rijkswaterstaat. De FMECA is een redelijk oud model en hierbij kan niemand binnen Rijkswaterstaat onderbouwen waarom sommige scores zijn toegekend. Het gaat hierbij om scores voor de kans op afwijkingen of meerdere gevolgen, zoals veiligheid, imago en stremming van het verkeer. Doordat de onderbouwingen ontbreken is het moeilijk om de huidige staat van het onderhoud realistisch in te schatten. (FMECA Rijkswaterstaat, 2007)

De onderhoudscontracten bestaan uit prestatiecontracten. Hierbij wordt aangegeven dat een netwerkschakel een bepaald percentage van de tijd beschikbaar moet zijn. De brug is een onderdeel van de netwerkschakel. Concrete beschikbaarheidseisen aan alleen de brug zijn niet opgesteld. Om de drie jaar wordt een nieuwe onderhoudspartij ingeschakeld. Verder wordt de onvolledige FMECA meegegeven aan de onderhoudspartij en hier wordt het standaard onderhoud op gebaseerd. De decompositie van de mechanische aandrijflijn is beperkt in de FMECA, waardoor de onderhoudsplannen ontoereikend zijn. Dit verhoogt de kans op schade, zoals bij het rondsel is gebeurd. Ook worden de prestatie eisen amper of niet gecontroleerd. Bovendien is er onvoldoende terugkoppeling van het uitvoerende onderhoud naar de interne planning van Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat gebruikt Ultimo als onderhoudsmanagementsysteem (verder genoemd OMS). Ultimo bevat de decompositie volgens NEN 2767 en enkele gegevens per bouwdeel. Van het merendeel van de componenten zijn er geen gegevens te vinden van bijvoorbeeld het bouwjaar of de werktekening. De mechanische aandrijflijn van de Coenbrug heeft onderdelen die er al staan sinds 1964 en andere onderdelen die zijn gereviseerd rond 1999. Deze informatie is nergens duidelijk gedocumenteerd binnen Rijkswaterstaat. Binnen Rijkswaterstaat is daardoor niet duidelijk wat wanneer is vervangen of gereviseerd. (Versie 10; Ultimo, 2019)

Omdat het standaard onderhoud niet voldoende is voor de assets zijn er Functionele Inspectie Testen (verder genoemd FIT) opgesteld om de staat van de assets te achterhalen. Dit zijn functionele testen zoals bijvoorbeeld het testen van de noodrem, het koppelmoment, het nemen van oliemonsters en het uitvoeren van trillingsmetingen. In principe zouden al deze handelingen gedaan moeten worden in het standaard onderhoud. Merendeel van de FIT handelingen zijn namelijk te classificeren als toestand afhankelijk onderhoud (verder genoemd TAO). Enkele onderdelen zoals de noodrem moeten worden getest. (FIT Rapportage Spie, 2018)

Bij de observaties werd geconcludeerd dat er geen afwijkingen aan de elektromotor en de tandwielkast waren, maar uit documentatie blijkt dit niet waar te zijn. Er zijn namelijk trillingsmetingen uitgevoerd op de installatie en hieruit bleek dat bij beide aandrijfliijnen de elektromotor opnieuw moet worden uitgelijnd op de tandwielkast. Het is hierbij ook nodig om bij de zuidelijke brughelft de ingaande lager van de tandwielkast te vernieuwen en bij de noordelijke brughelft de motorlager van de aandrijfzijde te vernieuwen. Voor beide tandwielkasten werd aangeraden om een oliemonster te nemen. (Conditiemeting Spie, 2018)

2.3 Interviews

Zoals eerder aangegeven zijn er twee interviews afgenomen één bij de AM afdeling en één bij de onderhoudspartij Spie. Deze interviews gingen om de eisen en wensen van beide partijen en vragen met betrekking tot de situatie. Hieronder is een korte samenvatting per interview.

Asset Management

- De AM afdeling werkt niet met de norm ISO 55000; er was zelfs geen kennis aanwezig over de norm.
- Ook werd er niet duidelijk toegelicht volgens welke normen of methodes er dan wordt gewerkt op de AM afdeling. Er werd aangegeven dat er enkel standaard plannen worden gemaakt voor het tijdig vervangen van de assets en dergelijke.
- De FMECA's die in het vorige subhoofdstuk zijn behandeld, zijn ooit gemaakt in opdracht van AM en ook hier was geen kennis aanwezig over de invulling ervan.
- De belangrijkste eisen en wensen vanuit AM zijn dat er duidelijke en volledige data moet zijn en dat de mechanische aandrijflijn naar behoren functioneert.
- Er is vraag naar een duidelijke planning voor vervanging en de kritische onderdelen moeten duidelijk in kaart worden gebracht.
- Verder werd er aangegeven dat de status beter zal moeten worden bijgehouden in verhouding tot de standaard degradatie.
- Ook is er behoefte aan concrete storingsdata om eenvoudig te kunnen achterhalen of de storingen nieuw of herhaaldelijk zijn.
- Binnen AM is er vraag naar een uitgebreidere decompositie ten opzichte van de NEN 2767.
- De grootste problemen bij de mechanische aandrijflijn volgens AM zijn de tandwielkast en het rondsel.
- Het proces is volgens AM goed beschreven en van voldoende niveau, maar het naleven van dit proces is hierbij op onvoldoende niveau. Ook ontbreekt er data van praktijkgegevens en worden de testen onvoldoende of niet uitgevoerd.
- Tussen de onderhoudspartij en AM is er geen duidelijke lijn van communicatie omdat de PPO afdeling hier tussen zit. Tussen PPO en AM is de lijn van communicatie op een redelijk niveau.

Onderhoudspartij

- De onderhoudspartij Spie werkt veel op basis van ervaring omdat niet alle informatie en vereisten duidelijk zijn gedocumenteerd.
- Standaard onderhoud neemt meer tijd in beslag dan onderhoud op basis van storingen. Er is hier wel nog een verbetering in te maken.
- Het standaard onderhoud is bepaald op basis van de FMECA en vooral ervaring, maar ook op de gebruiksintensiteit van de assets.
- Jaarlijks wordt er zes keer onderhoud gepleegd en incidenteel onderhoud op storingen. Indien er storingen zijn worden deze doorgegeven in een systeem met de naam SpieSimpel. De reactietijden hierop kunnen variëren en zijn contractueel vastgelegd.
- De storingen worden bijgehouden en gedocumenteerd in SpieSimpel en hieruit wordt een maandelijks rapport opgesteld. Bij herhaaldelijke storingen wordt gekeken hoe deze beter kunnen worden aangepakt. Ook zijn er tools aanwezig voor benodigde storingsanalyses. Alleen is de expertise hiervoor nog niet aanwezig.
- De storingen worden niet van tevoren geïdentificeerd, maar dit gaat op basis van ervaring. Wel is er een stuk historie waarin kan worden gezien of het al eerder is voorgekomen.
- Er zijn ook geen protocollen aanwezig voor storingen, wel enigszins voor standaard onderhoud. Er is niet voor elke asset een bedienhandleiding, maar dit is wel belangrijk en moet nog beter.
- Er is geen onderscheiding tussen Storing Afhankelijk Onderhoud (verder genoemd SAO), Gebruik Afhankelijk Onderhoud (verder genoemd GAO) of TAO. Alles is aangegeven als "onderhoud".

Inspecties worden tegelijkertijd met het standaard onderhoud uitgevoerd. Hierbij vertelt de brugdraaiing ook veel, bijvoorbeeld rare geluiden. Er zijn geen duidelijke criteria/afkeurwaarden voor geluiden, geuren en dergelijke. Dit wordt allemaal gedaan op basis van ervaring. De Kritische Prestatie Indicatoren (KPI) zijn niet van tevoren bepaald, maar zijn volgens de onderhoudspartij wel terug te vinden in de storing rapportages.

Er is een soort monitoringssysteem, namelijk het telemetrie systeem. Ook wordt er offline-monitoring gedaan door middel van metingen. Er is hierbij geen duidelijk meetprogramma aanwezig. Bij sectoren zoals bediening is er wel een meetprogramma.

Of een onderdeel vervangen of gereviseerd wordt ligt aan de economische levensduur. Dit wordt bepaald op basis van de kosten die worden opgeleverd door storingen en/of afwijkingen. Vaak worden dit soort keuzes samengebundeld met andere projecten en/of acties. Dit om de stremming zo kort mogelijk te houden en minder hinder te veroorzaken. Verder zijn er geen levenscyclus documenten.

De lijn van communicatie tussen de onderhoudspartij en PPO is op redelijk niveau, maar er is zeker ruimte voor verbetering in de vorm van specifieke vergaderingen. Dit zal dan met een vaste frequentie zijn. Aanpassingen worden wel zo spoedig mogelijk gecommuniceerd naar belanghebbende partijen.

Ook de onderhoudspartij heeft behoefte aan een betere decompositie van de assets. Dit zou een duidelijker beeld geven waaraan onderhoud moet worden gepleegd.

2.4 Conclusie

Het is duidelijk dat er veel ruimte voor verbetering van het onderhoud is bij de Coenbrug. Er is niet alleen verbetering nodig bij de Coenbrug zelf, maar ook bij de omliggende processen. Bij het observeren werd al duidelijk dat het de gehele Coenbrug is die eigenlijk verbetering nodig heeft. De doorlooptijd van zeventien weken voor dit onderzoek is daarvoor te kort. Daarom is de keuze gemaakt om het onderzoek te beperken tot de mechanische aandrijflijn.

Bij de observatie is aangegeven dat er vermoeiingsverschijnselen zichtbaar zijn en er nauwelijks een smeermiddel aanwezig is bij het rondsel. Dit komt door het gebruiken van een onjuist smeermiddel en doordat het nasmeerinterval van één keer per twee maanden ontoereikend is. Het huidige smeermiddel is niet bestendig tegen de hoge vlaktedrukken tussen de tandflanken. Daardoor wordt het smeermiddel bij elke draai weggeperst; dit geeft een ontoereikende smeermiddel. Al de genoemde factoren resulteren in vermoeiing op de tandflanken.

Qua documentatie is duidelijk dat er behoefte is aan betere onderhoudseisen en onderhoudsregimes om meer data te verzamelen vanuit terugkoppelingen van de onderhoudspartij. Hierbij zal het voordelig zijn om het onderhoud in één onderhoudsregime onder te brengen en niet in een onderhoudsregime en FIT.

Uit het interview van AM werd duidelijk dat AM graag meer terugkoppeling wil zien vanuit het uitvoerende onderhoud. AM wil verbetering zien in het duidelijker in beeld brengen van belangrijke gegevens zoals het standaard onderhoud en storingen. Met het standaard onderhoud wil AM weten wanneer er wat moet gebeuren en hoe vaak. Ook is er vraag naar een uitgebreidere decompositie van de bewegende onderdelen bij de Coenbrug ten opzichte van de NEN 2767. Het vastleggen en documenteren van alle eisen en resultaten kan in Ultimo. Het doel hierbij is om te werken naar voorspellend onderhoud.

De lijn van communicatie tussen PPO en AM is op redelijk niveau. Wat er ontbreekt zijn duidelijke vergaderingen om problemen te delen, zodat er samen naar een oplossing toe kan worden gewerkt. Dit is een Quickwin uit het onderzoek en nu wel in gang gezet.

Voor de AM afdeling is het ook belangrijk om zich te verdiepen in de ISO 55000. Een aantal aspecten en methodes overnemen vanuit de ISO 55000 zou al voor verbetering zorgen.

Uit het interview van de onderhoudspartij werd duidelijk dat eigenlijk een significant deel van het uitvoerende onderhoud gebaseerd is op ervaring. Dit is niet optimaal, omdat er geen zekerheid bestaat dat het onderhoud uniform wordt uitgevoerd. Hierbij is het belangrijk een duidelijke decompositie te hebben waarbij het onderhoud duidelijk is aangegeven als onderhoudstaak en frequentie. Ook zijn afkeurwaarden belangrijk hierbij. Dit zou in principe duidelijk moeten staan in een prestatiecontract per installatiedeel.

3. De installatiedelen

Tijdens het achterhalen van de huidige situatie is ondervonden dat de decompositie volgens NEN 2767 niet toereikend is voor de mechanische aandrijflijn. In paragraaf 3.1 is de nieuwe decompositie toegelicht. Vervolgens is de indeling van het onderzoek voor alle installatiedelen toegelicht in paragraaf 3.2. Alle informatie van de installatiedelen is in Bijlage 4 tot en met 11 te vinden. De algemene complexe onderhouds- en montagetaken staan onderverdeeld in paragraaf 3.3, 3.4 en 3.5. Om duidelijkheid te creëren wordt er in paragraaf 3.6 per installatiedeel een conclusie gegeven met een opsomming van het benodigde onderhoud.

3.1 Decompositie

Om de veranderingen in de decompositie goed te kunnen onderbouwen zijn de oude en nieuwe decompositie weergegeven in tabel 1. De nummering is op basis van de nieuwe decompositie.

Tabel 1: Decompositie Oud vs. Nieuw. Bron van oude decompositie: (FMECA Rijkswaterstaat, 2007)

Nr.	Decompositie oud	Decompositie nieuw		Aantal
		Installatiedeel	Component	
1	Hoofdaandrijving (elektromotor)	Elektromotor		2
			Kogellager	4
			Ventilator	2
2	Reminrichting	Reminstallatie		2
			Remtrommel	2
			Remschoenen	4
			Thruster	2
			Verwarmingselement	2
3	Tandwielkast	Tandwielkast	Rolschakelaar	2
				2
			Assen	8
			Tandwielen	8
			Kogellager	16
			Verwarmingselement	2
			Oliefilter	2
			Tandwielpomp	2
4	Oliedrukkoppeling (klembus)	OK koppeling	Manometer	2
				2
5	Schakelaars	Spileindschakelaar		4
			Kleine tandwiel	4
			Grote tandwiel	4
			Nokvolger	20
			Schakelaar	20
6	-	Rondsel		2
			Tonlager	4
			Lagerhuis	4

7	Panamawiel	Panamawiel		2
			Tonlager	4
			Lagerhuis	4
			Panamawielschakelaar	4
8	Trek/duwstangen	Trek- en duwstang		2
			Tonlager draaipunt	2
			Lagerhuis	2
			Glijlager draaipunt	4
			Grote glijlager van geleiding bufferstang	2
			Kleine glijlager van geleiding bufferstang	2
			Schotelveren	24
9	Hoofd Draaipunten	Hoofddraaipunten		8
			Tonlager	8
			Lagerhuis	8
-	Smeeroliesysteem tandwielkast	Onderverdeeld bij tandwielkast		-
-	Aandrijfassen incl. lagers	Onderverdeeld bij betreffende onderdelen		-

De nieuwe decompositie is opgesteld op basis van de installatiedelen van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug die binnen het kader van de opdracht vallen. Bij de oude decompositie ontbraken veel componenten van de installatiedelen die belangrijk zijn voor het onderhoud van het installatiedeel. Het meest opmerkelijke verschil is dat de aanduiding van een geheel installatiedeel ontbreekt bij de oude decompositie, namelijk het rondsel. Dit is het onderdeel wat schade heeft opgelopen.

De onderverdeling van de installatiedelen in componenten is opgesteld op een wijze waarbij alle aangegeven componenten apart onderhoud nodig kunnen hebben. Hierbij kan dit onderhoud een inspectie, een meting of een vervanging inhouden.

3.2 Opzet onderzoek installatiedelen

Voor het onderzoek zijn het panamawiel en het rondsel samen onderzocht. Dit is gedaan in verband met de vertanding van de twee installatiedelen. In de FMECA en het onderhoudsregime zijn deze twee installatiedelen wel individueel ingevuld om geen verwarring te creëren voor de onderhoudspartij.

Voor elk installatiedeel wordt er algemene informatie gegeven. Hierin zijn gegevens zoals eigenschappen, merken en benamingen te vinden. De voorschriften en standaard onderhoudsinformatie vanuit de leverancier of andere betrouwbare bronnen is ook te vinden onder de algemene informatie.

Als tweede onderdeel per installatiedeel wordt de montage behandeld. Het gaat hierbij om de benodigde montage ter plekke op de Coenbrug. Hierin wordt aangegeven waar op moet worden gelet tijdens het monteren van het onderdeel of de installatie. Voorbeelden hiervan zijn uitlijning,

plaatsing en toleranties. Ook wordt aangegeven wat voor testen en toetsingen er gedaan moeten worden om er zeker van te zijn dat de installatie of het installatiedeel naar behoren werkt. De informatie die gegeven is voor de montage is ook van nut voor eventuele revisies. Indien er revisie specifieke handelingen zijn worden deze aangegeven.

Als derde onderdeel zijn de afwijkingen in een risicomatrix geplaatst, weergegeven in tabel 2. De risicomatrix werkt met de factoren ernst en kans. Deze vormen samen een risicoscore. Beide factoren “ernst” en “kans” worden onderverdeeld in niveaus. Hieronder volgt een opsomming van beiden ter verduidelijking van het puntensysteem. (Zaal, 2013)

Ten eerste is hier de schaal voor kans weergegeven:

1. Lage waarschijnlijkheid – één keer per 6 tot 10+ jaar
2. Gemiddelde waarschijnlijkheid – één keer per 1 tot 5 jaar
3. Hoge waarschijnlijkheid – één keer per maand

De schaal voor ernst:

1. Minimaal - geen effect op prestatie
2. Maximaal - degradatie functionaliteit één onderdeel
3. Kritisch - ernstige afname functionaliteit
4. Catastrofaal - compleet verlies van het systeem

Tabel 2: Risicomatrix

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2)	(4)	(6)
3 - Kritisch	(3)	(6)	(9)
4 - Catastrofaal	(4)	(8)	(12)

De risicomatrix wordt ingevuld voor de afwijkingen van de installatiedelen zonder onderhoud en met toereikend onderhoud. Bij het invullen wordt uitgegaan van een situatie waarbij de stappen voor het monteren correct zijn uitgevoerd. Dit is om het verschil tussen toereikend en geen onderhoud te verduidelijken. Er is een totaal overzicht hiervan weergegeven in de FMECA. De FMECA wordt in hoofdstuk 4 verder toegelicht en de tabel is terug te vinden in bijlage 12.

Als laatste onderdeel wordt het benodigde onderhoud behandeld voor het installatiedeel om de bedoelde levensduur te behalen. Net zoals bij de risicomatrix wordt van een situatie uitgegaan waarbij de stappen voor het monteren correct zijn uitgevoerd. Het onderhoud is gebaseerd op de acties welke nodig zijn bij de standaard degradatie van de componenten, de omgevingsfactoren specifiek voor de Coenbrug zijn hierbij inbegrepen. Om de afwijkingen te voorkomen wordt er aangegeven wat voor onderhoud er nodig zou zijn. Denk hierbij aan termen zoals inspecties, TAO en GAO. Ook wordt er gekeken naar componenten en/of installaties die niet aan standaard onderhoud onderworpen kunnen worden. Deze worden onderhouden door middel van functionele testen. Vervolgens wordt deze informatie ingevuld in een FMECA.

3.3 Uitlijning

3.3.1 Theorie

Bij het correct uitlijnen van de installaties van de Coenbrug zijn er twee belangrijke zaken, namelijk: het vinden en elimineren van de soft-foot en het voldoen aan de uitlijntoleranties. In andere gevallen is de thermische groei van de onderdelen ook een punt van aandacht. Bij de Coenbrug is dit te verwaarlozen.

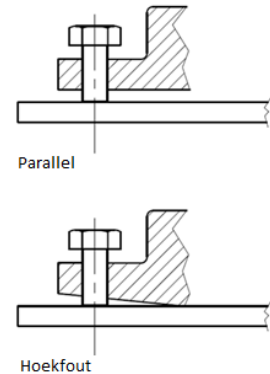
De soft-foot is aanwezig bij de elektromotor in de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug. Een soft-foot betekent dat één van de vier montagevoeten van een elektromotor zweeft. Indien dit niet opgelost wordt is er kans dat de stator ovaal wordt getrokken. Dit heeft negatieve gevolgen voor het magnetische veld in de elektromotor. Deze veranderingen in het magnetische veld uiteten zich vervolgens in een onbalans van de rotor wat voor vervroegde lager en koppeling schade kan zorgen. Bij een soft-foot bestaan er twee verschillende varianten, namelijk een parallelle en een hoekfout soft-foot. In figuur 1 is het verschil hier tussen te zien. (Brammer, 2015)

Voor het uitlijnen zijn duidelijke toleranties nodig en als eis moeten deze behaald worden. In figuur 2 zijn drie verschillende soorten uitlijnfouten weergegeven. De bovenste situatie geeft een parallelfout weer, de middelste een hoekfout en de onderste een combinatie van beide. Bij het uitlijnen wordt de hoekfout automatisch opgelost door de parallelfouten op te lossen. Om deze reden worden er alleen radiale en axiale uitlijnfouttoleranties gegeven. (Brammer, 2015)

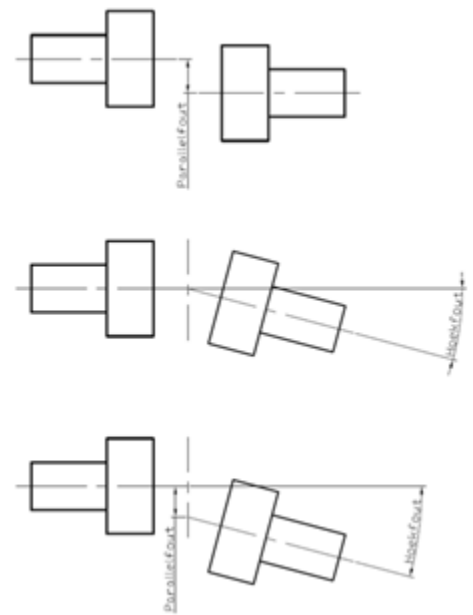
Gevolgen die optreden bij een onjuiste uitlijning zijn:

- Verhoogde slijtage lagers, dichtingen en koppeling.
- Temperatuurstoename lagers en koppeling.
- Vetlevensduur neemt af.
- Fundatiebouten kunnen loskomen.
- Kans op asbreuk neemt toe.
- Hoger energieverbruik.

De verhoogde slijtage op de onderdelen zorgt voor een lagere levensduur van de onderdelen en vaak ook de gehele installatie. De verhoogde slijtage komt door de ongewenste trillingen die een onjuiste uitlijning veroorzaakt. Bij de Coenbrug heeft een onjuiste uitlijning een negatief effect op de lagers in de elektromotor en de tandwielkast. De dichtingen die negatief beïnvloed worden zitten in de tandwielkast. Voor de koppelingen is het voor beide belangrijk deze correct uit te lijnen. De OK koppeling is een starre koppeling en kan geen uitlijnfouten opvangen; de klauwkoppeling is een flexibele koppeling die wel uitlijnfouten kan opvangen. In de klauwkoppeling zitten elastische elementen gemaakt van het materiaal polyurethaan. Door een verkeerde uitlijning moeten deze elementen meer trillingsenergie opnemen, waardoor de veroudering sneller gaat. De trillingsenergie veroorzaakt namelijk een hogere interne wrijving in het elastomeer waardoor er warmte ontstaat en hierdoor versnelt het verouderingsproces. Als een verouderd rubber plastisch is vervormd kan de energie onvoldoende worden opgenomen. (EFLEX, 2019; SKF, 2017)



Figuur 1: Soorten soft-foot.
Bron: Brammer. (2015).



Figuur 2: Soorten uitlijnfouten.
Bron: Brammer. (2015).

Door de trillingen die veroorzaakt worden door de verkeerde uitlijning nemen de lagers en koppeling toe in temperatuur. Een toename in de temperatuur van de lagers veroorzaakt een verlaging van de vetlevensduur. Omdat er hier met al lage temperaturen wordt gewerkt, zal dit een minimale afname zijn. Wat wel direct voor een vermindering in de levensduur van vet zorgt zijn de ongewenste trillingen. Deze zorgen er namelijk voor dat de olie en de verzeper gescheiden worden, omdat de trillingen de molecuulstructuur van de verzeper ontbinden. (R. van der Voorn, persoonlijke communicatie, 8 oktober 2019)

Door de trillingen kunnen ook de fundatiebouten loskomen en neemt de kans op asbreuk toe. Veel energie wordt omgezet in trillingen en warmte; dit resulteert in een hoger energieverbruik. Door alle negatieve gevolgen van een verkeerde uitlijning resulteert dit ook in hogere instandhoudingskosten. (PRUFTECHNIK, 2010)

Ook is belangrijk dat er geen verdraaiing plaatsvindt van de assen en koppelingen na montage. Bij de klauwkoppeling zitten er elementen van polyurethaan in; de elastomeren in het polyurethaan verliezen hun eigenschappen door te lang onder belastingen te staan. Hierdoor kan de ene klauw ten opzichte van de andere klauw verdraaien; dit leidt uiteindelijk tot breuk van de klauwen. Bij de OK koppeling zijn de verdraaitoleranties ook belangrijk, hier gebeurt het alleen vaak door te hoge externe belastingen. In de uitlijntoleranties is dit aangegeven met α , weergegeven in tabel 3 en figuur 3. (EFLEX, 2019; SKF, 2017)

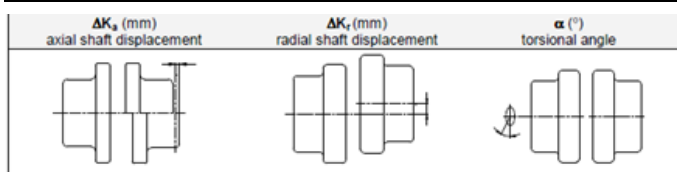
3.3.2 Methode

De uitlijning wordt tegenwoordig gedaan met behulp van software en digitale apparatuur. Vroeger werd dit gedaan door het gebruiken van meetklokken. Voor de toelichting van de methode wordt beperkt tot de handelingen die nodig zijn voor het uitvoeren van een uitlijning met behulp van software.

Bij de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug is er uitlijning nodig bij de koppeling tussen de tandwielkast en de elektromotor en bij de OK koppeling tussen de tandwielkast en het rondsel. Hieronder in de tabel zijn de uitlijntoleranties voor de koppels gegeven.

Tabel 3: Uitlijntoleranties. Bron: EFLEX. (2019) en SKF. (1975).

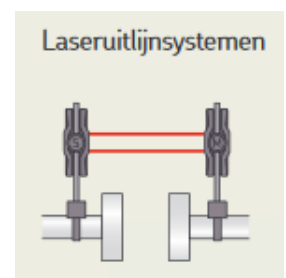
Koppeling	ΔK_a (mm)	ΔK_r (mm)	α (°)
Remkoppeling	1,25	0,05	3
OK koppeling	1,6	0,05	3



Figuur 3: Uitlijntoleranties afbeeldingen. Bron: EFLEX Catalogus. (2019).

Voor het uitlijnen met behulp van software en digitale apparatuur is het nodig om te weten welke as moet worden gezien als nulpunt. Bij beide koppelingen is de tandwielkast het stationaire onderdeel en dus het nulpunt. De as van zowel het rondsel en de elektromotor zullen moeten worden aangepast aan de tandwielkast. Het basisprincipe van een Laser-asuitlijnapparaat is hieronder omschreven. (SKF, 2019)

Elk laser-uitlijnapparaat bestaat uit twee helften, één voor de beide assen. De helft die als nulpunt dient zal op de as van de tandwielkast worden geïnstalleerd en de andere helft op de andere as. In figuur 4 is een schematische weergave van de opstelling te zien. (SKF, 2019)



Figuur 4: Voorbeeld laser-asuitlijnapparaat, Bron: SKF. (2017)

Na het instellen van het asuitlijnapparaat is de eerste stap het elimineren van de soft-foot. Het apparaat controleert of de machine gelijkmatig op alle voeten staat, vervolgens wordt aangegeven welke de soft-foot is. De soft-foot wordt gecorrigeerd door vulplaten tussen de fundatie en de montagevoet te plaatsen. Nadat de soft-foot is gecorrigeerd kan de meetprocedure voor het behalen van de uitlijntoleranties beginnen. Tijdens de meetprocedure worden metingen uitgevoerd in drie posities, elk gescheiden door 90°. Tijdens het roteren van de assen door een boog zullen de sensoren alle uitlijnfouten meten door een verschil in de positie.

3.4 Trillingsmeting

Het uitvoeren van de trillingsmetingen zijn voor het onderhoud bij de tandwielkast en de motoren de belangrijkste taken. Het doel van deze taak is om de toestand van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug te bepalen en eventuele afwijkingen te detecteren. Hier worden de functionele eisen en randvoorwaarden bij de trillingsmetingen aangegeven. Ook wordt de benodigde eindsituatie geschetst waaraan het uiteindelijk moet voldoen.

3.4.1 Functionele eisen en randvoorwaarden

Zoals eerder aangegeven gaat het bij deze meting om zowel de motoren en de tandwielkasten. Hierbij moeten de volgende filters worden toegepast (Brammer, 2014):

- Snelheidmeting van 2 of 4 Hz tot 1 kHz, dit geeft inzicht in alle mechanische trillingen plus hun energie-inhoud en worden geverifieerd aan ISO 10816-3 en tabel 4.
- Versnellingsmeting van 2 Hz tot 5 kHz, deze geven inzicht of er sprake is van: elektrische fouten, smering, cavitatie.
- Hoogfrequent 2 Hz tot 10 kHz, hier zijn de eerste lagerschades zichtbaar.
- Tijdsignaal 4000 milliseconde om de resonanties vorm en draaggolven te herkennen bij lage toerentallen.
- Hoogfrequent tijdsignaal, inzage in de vorm van impacten van aanstotingen.
- Hoog oplossend vermogen 2 tot 200 Hz, herkennen poolfrequenties, frequentie en amplitude-modulaties.

Alle trillingsmetingen dienen ondersteund te worden met ultrasoon metingen, in het gebied rond 40 kHz zijn hierbij lagerschades hoorbaar.

Tabel 4: Trillingsmeting tabel afgeleid uit ISO 10816-3. Bron: Brammer. (2014).

RANGES OF VIBRATION SEVERITY		EXAMPLES OF VIBRATION SEVERITY FOR SEPERATE CLASSES OF MACHINES			
V RMS Snelheid (mm/s)	V RMS Snelheid (inch/s)	KLASSE I	KLASSE II	KLASSE III	KLASSE IV
0,28	0,01	A	A	A	A
0,45	0,02				
0,71	0,03				
1,12	0,04	B	B	B	B
1,8	0,07				
2,8	0,11	C	C	C	C
4,5	0,18				
7,1	0,28	D	D	D	D
11,2	0,44				
18	0,71				
28	1,10				
45	1,77				

Voor de letters in de tabel 4 geldt:

- A = Goed
- B = Acceptabel
- C = Alarm
- D = Gevaar

Er zijn hierbij vier verschillende klassen. De tandwielkast en de elektromotor van de Coenbrug vallen onder klasse III en de tandwielpompe onder klasse II. De klasse verdeling is als volgt:

- Klasse I: Elektrische motoren tot 15 kW.
- Klasse II: Medium machines, 15-75 kW elektrische motoren en 300 kW machines met speciale fundering.
- Klasse III: Grote machines gemonteerd op stijve fundaties.
- Klasse IV: Grote machines gemonteerd op relatief lichte flexibele fundaties.

3.4.2 Eindsituatie

De opbouw van de eindsituatie dient in de vorm van een eindrapportage te zijn en is hieronder toegelicht.

In de rapportage moeten alle punten die zijn gemeten in de meetroute vermeld staan. In de rapportage staat kort beschreven welk probleem er is gevonden per meetpunt. Voor elke storing is een spectrum als bewijs van de gedetecteerde schade toegevoegd.

Als er bij een meetpunt geen problemen zijn aangetroffen dan hoeven deze niet vermeld te worden. Wel moeten de meetwaarden in de tabellen worden opgenomen. Dit is om een trendanalyse te kunnen uitvoeren.

In de tabellen staan alle gemeten machines met de technische gegevens die voor analyse van belang zijn. Per meetpunt staan de gemeten ultrasoon decibel-waarden vermeldt onder opeenvolging van de meetdata. De volgende aanduidingen worden gebruikt om een meetpunt te benomen:

MAZ	Motor Aandrijfzijde	As 1 AZ	Aandrijfzijde (vanaf motor kant gezien)
MWZ	Motor Waaierzijde	As 1 WZ	Waaierzijde (andere zijde as 1)
PAZ	Pomp Aandrijfzijde	As # L	As # Links (vanuit de energie richting gezien)
PWZ	Pomp Waaierzijde	As # R	As # Rechts (andere zijde as)
MAX V	Motor Axiaal Verticaal	MAX H	Motor Axiaal Horizontaal

Tijdens de metingen moet rekening worden gehouden met meerdere brugdraaien. Voor het verzamelen van de benodigde data zijn per tandwielkast 5 brugbewegingen nodig, één brugbeweging duurt ongeveer 65 seconden.

3.5 Olie- en vetanalyses

De olie- en vetanalyses worden afgenomen bij meerdere componenten van de Coenbrug. Bij de Coenbrug is er één soort olieanalyse nodig, namelijk voor de olie van de tandwielkast. Het type olie hierin is Shell Omala 150. Voor de vetanalyses zijn er twee soorten vetten die in gebruik zijn:

- Klüberplex AG 11 461 voor de vertanding van het panamawiel en het rondsel.
- Klübersynth HBE 94-401 voor de lagers van het rondsel, panamawiel, de hoofdraaipunten en het bovenste draaipunt van de trek- en duwstang.

Voor de totaliteit van de Coenbrug zijn er twee tandwielkasten, acht hoofdraaipunten, vier panamawiel steunlagers, vier rondsel steunlagers, twee draaipunten van de trek- en duwstang en twee vertandingen tussen het panamawiel en het rondsel. Er zijn in totaal twee olieanalyses en 20 vetanalyses nodig voor de Coenbrug.

Om deze analyses universeel uit te voeren is het nodig om van elk soort vet en olie een nul monster te nemen. Indien dit niet wordt gedaan is het lastig de oorspronkelijke staat van het vet of olie te achterhalen. Dit zou betekenen dat alleen de smeermiddelenfabrikanten zelf de analyses kan uitvoeren. Dit maakt het nemen van een nul monster belangrijk. Ook is bij het nemen van het nul monster belangrijk om een infrarood scan te maken van de olie of vet. Hieruit kunnen de aanwezigheid van additieven, de hoeveelheid sulfaten, nitratie, roet en water worden opgemaakt. Hiervan is vooral het eerste punt van de anti-slijtage middelen en additieven belangrijk. Bij een trendanalyse kan dan worden gecontroleerd hoe snel dit verminderd. (A.R. Analyses, 2019; Benelux Scientific, 2019)

Bij de analyse van de smeermiddelen is het essentieel dat het monster volgens de juiste methode wordt afgenomen. Alleen dan is het mogelijk om een juist inzicht te krijgen in de conditie van het vet of de olie. Voor de olie is de juiste methode om de olie af te tappen uit een bewegende oliestroom. De vetmonsters moeten worden afgenomen bij het vet tussen de tonnen van de tonlagers in. Voor de reinheid van de monsterflesjes moet de opdrachtnemer zich aan de norm ISO 3722 houden. (A.R. Analyses, 2019)

Bij het uitvoeren van de analyses worden de vetten en de olie aan meerdere onderzoeksmethodes onderworpen. Bij de olie moeten er zes verschillende onderzoeken worden uitgevoerd en bij de vetten drie. Voor het onderzoek bij de tandwielkast worden de volgende onderzoeken uitgevoerd (A.R. Analyses, 2019):

- viscositeit;
- deeltjestelling;
- watergehalte;
- zuurgetal;
- slijtagedelen;
- PQ-index.

Voor de vetten zijn de volgende onderzoeken nodig:

- Het watergehalte;
- de deeltjestelling;
- de slijtagedelen.

Alle onderzoeken worden kort toegelicht met de bijbehorende afkeurnormen. (A.R. Analyses, 2019)

Viscositeit

De viscositeit van de olie dient getest te worden bij 40 °C. De viscositeit van een olie is de inwendige weerstand tegen vormverandering; voor een correcte smering is de juiste viscositeit noodzakelijk. Bij langdurig gebruik of te hoge temperatuur zal de olie oxideren en indikken. Rijkswaterstaat werkt met een afkeurnorm van 10% -/-.

Deeltjestelling

De deeltjestelling moet volgens de norm ISO 4406. Hierbij worden per ml olie het aantal vuildeeltjes gemeten in verschillende groottes micron (2, 5 en 15). Ook moeten hierbij de resultaten gerapporteerd worden volgens de norm SAE AS4059. Rijkswaterstaat verwacht bij dit onderzoek de reinheidsklasse van de olie of het vet in ISO 4406 en SAE AS4059 als resultaat.

Watergehalte

Watergehalte toont de hoeveelheid water in de olie of het vet. Bij zowel de olie van de tandwielkast als bij alle vetten is de afkeurnorm 1.000 ppm (parts per million) watergehalte.

Zuurgetal

Het zuurgetal staat ook bekend als het Total Acid Number (TAN). Dit is een maat voor de hoeveelheid zuur en zuurachtig materiaal (oxidatie en nitratie harsen) in de olie. Het zuurgetal kan worden gebruikt om de periode voor optimale olieversing vast te stellen. Rijkswaterstaat werkt met een afkeur norm van boven 1.0 mg KOH/g.

Slijtagdelen

Voor het achterhalen welk slijtagemateriaal aanwezig is en in welke concentratie wordt gebruik gemaakt van de ICP (Inductively Coupled Plasma). Hierbij worden de volgende metalen gemeten: ijzer, koper, chroom, tin en aluminium. Ook kan de besmetting met zand bepaald worden met de ICP, met name door de aanwezigheid van silicium. De ICP kan alleen slijtagedeeltjes kleiner dan 5 micron detecteren. De standaard afkeurwaardes welke Rijkswaterstaat heeft aangenomen zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5: Afkeurwaardes ICP. Bron: Cargill. (2019).

Ernst	Slijtagemetalen en silicium							
	Si	Fe	Cr	Mo	Al	Cu	Pb	Sn
Afkeur	20	40	25	20	20	20	20	20
Gevarenzone	10	20	10	10	10	10	10	10

De afkeurnorm van een vet- of olieanalyse bestaat uit een combinatie van factoren. Rijkswaterstaat verwacht van de analist hiermee rekening te houden in het advies.

PQ index

De PQ-index is een maat voor alle magnetiseerbare ijzerdeeltjes in de olie. Hierbij betekent een hoge PQ-index een verhoogde slijtage en een hoge PQ-index in combinatie met een hoog ijzergehalte op metaalmoeheid of op verhoogde normale slijtage. De afkeurnormen voor Rijkswaterstaat zijn:

- Als de PQ-index groter is dan 25;
- of indien het getal hoger is als het in de ICP gevonden getal.

3.6 Conclusie installatiedelen

In het algemeen geldt voor alle installatiedelen dat het onderhoud en de risicomatrix grotendeels is ingevuld op basis van theorie gegevens en ervaring. Gegevens uit de praktijk van de Coenbrug zijn niet beschikbaar. Met het nieuwe onderhoud zullen de resultaten van de metingen en inspecties goed gedocumenteerd moeten worden. Met deze nieuwe gegevens kunnen er in de toekomst trendanalyses worden gemaakt. Middels trendanalyses en gedocumenteerde data zullen zal een reëler beeld ontstaan. Dit zorgt voor beter onderhoud voor de specifieke situatie bij de Coenbrug.

Ook de effecten van de externe omstandigheden en de invloeden van de installatiedelen op elkaar zullen duidelijker worden met behulp van de gegevens uit de praktijk.

3.6.1 Elektromotor

Uit het onderzoek en de risicoanalyse, uitgewerkt in bijlage 4, blijkt dat onderhoud op de elektromotor een lage impact op de functionaliteit en levensduur heeft. In de praktijk gaat het vaak anders dan in de theorie. Hierdoor is het aan te bevelen standaard controles en inspecties in te plannen om de afwijkingen te voorkomen of het effect van de afwijkingen te beperken.

Het onderhoud van de elektromotor bestaat dan uit:

- Inspecties: Jaarlijkse visuele inspecties.
- TAO: Jaarlijks de isolatieweerstand en het energieverbruik meten. 6-maandelijks trillingsmetingen uitvoeren.

3.6.2 Reminstallatie

Bij de reminstallatie, die volledig in kaart is gebracht in bijlage 5, heeft standaard onderhoud theoretisch alleen directe invloed op het voorkomen van de slijtage van de draaipunten. Verhoogde draaipuntslijtage heeft negatieve invloed op de overige componenten; dit resulteert in een verkorte levensduur van de reminstallatie. Omdat er veel variabele invloeden zijn bij het draaien van de installatie blijft het belangrijk om standaard controles en inspecties in te plannen om de afwijkingen die leiden tot schade of storingen te voorkomen.

Het onderhoud van de reminstallatie bestaat dan uit:

- Inspecties: Verschillende soorten inspecties, jaarlijks en 2-maandelijks. Een duidelijk overzicht van de inspecties is weergegeven in het onderhoudsregime in bijlage 13.
- GAO: Elke 5 jaar de elastische elementen in de remtrommel vervangen en de thruster reviseren. 6-maandelijks draaipunten nasmeren.
- TAO: Jaarlijks meten van: remkoppel, druk- en trekkracht thruster, energieverbruik en isolatieweerstand thrustermotor. 6-maandelijks de remschoendikte meten.
- FT: Jaarlijks de rolschakelaar en noodrem testen.

3.6.3 Tandwielkast

Het onderzoek van de tandwielkast is behandeld in bijlage 6. Het onderhoud van de tandwielkast zal vooral bestaan uit inspecties en controles. Dit soort onderhoud heeft geen directe invloed op de levensduur van de meeste onderdelen in de tandwielkast. De degradatie van de olie zal theoretisch met dezelfde snelheid gaan. Doordat er bij “geen onderhoud” geen oliewissel of dieptefiltratie zal plaats vinden, resulteert dit in een verhoogde kans op slijtage aan de mechanische onderdelen. Denk hierbij aan de assen, tandwielen en lagers. De slijtagedeeltes die hierbij ontstaan zorgen vervolgens voor verhoogde slijtage op de dichtlip van de afdichtingen en beschadigen de tandwielpomp. Hierdoor kan het zijn dat de tandwielpomp de vereiste druk niet meer kan leveren. Door het vroegtijdig opsporen en oplossen van de afwijkingen kunnen deze kettingreacties worden voorkomen. Vaak kunnen door toereikend onderhoud de afwijkingen worden opgelost voordat dit de functionaliteit van de installatie belemmert.

Het onderhoud van de tandwielkast bestaat dan uit:

- Inspecties: Verschillende 2-maandelijkse en jaarlijkse. Een duidelijk overzicht van de inspecties is weergegeven in het onderhoudsregime in bijlage 13.
- GAO: Vervanging glycerine manometer op basis van de kalibratiedatum.
- TAO: 6-maandelijks trillingsmetingen op de lagers van de tandwielkast en de motor van de tandwielpomp. 6-maandelijks olieanalyses op de olie Shell Omala 150.

3.6.4 OK Koppeling

Het onderzoek van de OK koppeling is behandeld in bijlage 7. De OK koppeling is onderhoudsvrij, dit installatiedeel dient geconserveerd te worden. Dit zal gebeuren door een densoband om de OK koppeling te wikkelen en vervolgens de randen af te sluiten met een siliconen-kit. Toch kunnen er afwijkingen voorkomen, zoals lekkages of verdraaiing. Om dit te voorkomen is het belangrijk de OK koppeling doorlopend te controleren.

Het onderhoud van de OK koppeling bestaat dan uit:

- Inspecties: 2-maandelijks controleren op lekkages en verdraaiingen.

3.6.5 Spileindschakelaar

Het onderzoek van de spileindschakelaar is behandeld in bijlage 8. Voor de functionaliteit van de spileindschakelaar is het noodzakelijk toereikend onderhoud uit te voeren. Dit komt doordat het een volledig mechanisch onderdeel is wat nasmering vereist. Indien dit niet wordt gedaan kan de functionaliteit niet gegarandeerd worden.

Het onderhoud van de spileindschakelaar bestaat dan uit:

- Inspecties: 2-maandelijks controleren van de speling op de uitgaande as en staat van de schakelaars.
- GAO: 2-maandelijks nasmeren van de externe tandwieloverbrenging en de nokvolgers.

3.6.6 Rondsel en panamawiel

Het onderzoek van het rondsel en panamawiel is behandeld in bijlage 9. Bij het rondsel en panamawiel is het onderdeel dat standaard onderhoud vraagt de vertanding van beide installatiedelen. Dit onderhoud is in de vorm van nasmering. Noodzakelijk hierbij is het om nasmering tijdens bedrijf uit te voeren. Daarom is de keuze gemaakt om een automatisch smeersysteem te installeren. Indien er niet nagesmeerd wordt, ontstaat er binnen enkele maanden schade bij de tandflanken van het rondsel wat tot meer schade kan leiden bij andere componenten.

Het onderhoud van het rondsel en het panamawiel bestaat dan uit;

- Inspecties: 2-maandelijks inspecteren panamawiel en rondsel op overtollig vet.
- GAO: 2-maandelijks vullen van het automatische smeersysteem.
- TAO: 6-maandelijks vet-analyses voor de tonlagers en de vertanding.
- FT: Het functioneel testen van de panamawielschakelaars.

3.6.7 Trek- en duwstang

Het onderzoek van de trek- en duwstang is behandeld in bijlage 10. Voor de trek- en duwstang is onderhoud vereist voor het behouden van de gewenste levensduur en de vereiste functionaliteit. Voor de glijlagers is nasmering noodzakelijk, omdat de vetkamers na ongeveer twee maanden grotendeels leeg zullen zijn. Hierdoor zal de smeerfilm ontoereikend zijn. Dit veroorzaakt slijtage die leidt tot meer afwijkingen. De slijtage kan er bijvoorbeeld voor zorgen dat de bufferstang geen lineaire bewegingen meer maakt, waardoor de belastingen niet gelijk zullen worden verdeeld. Dit zorgt voor schotelveren die eerder breken. Vanuit de gemaakte analyses en onderbouwingen is duidelijk dat toereikend onderhoud een grote impact op de langdurige functionaliteit van de trek- en duwstang heeft.

Het onderhoud van de trek- en duwstang bestaat dan uit;

- Inspecties: Jaarlijks schotelveren en glijlager speling controleren.
- GAO: 2-maandelijks nasmeren van de glijlagers.
- TAO: Vet analyses van het vet in het tonlager elke 6 maanden.
- FT: Jaarlijks de voorspanning functioneel testen.

3.6.8 Hoofddraaipunt

Het onderzoek van het hoofddraaipunt is behandeld in bijlage 11. Bij de hoofddraaipunten zorgt toereikend onderhoud voor het behouden van de functionaliteit over een lange periode. Indien er geen vetwissel plaats zou vinden bij de degradatie van het vet, dan heeft dit een negatieve invloed op de lagerlevensduur vanwege contactcorrosie. Dit is te voorkomen door het vet tijdig te verwisselen op basis van metingen.

Het onderhoud van de hoofdraaipunten bestaat dan uit;

- Inspecties: 6-maandelijks inspecteren van de boutverbindingen.
- TAO: 6-maandelijks vetanalyses.

4. Verbetertools en risicoanalyses

De FMECA is een analyse waarbij van te voren duidelijk was dat deze moest worden uitgevoerd. De overige analyses en de verbetertool in dit hoofdstuk zijn in de praktijk niet toegepast. Hiervan is enkel de theorie behandeld. Dit zijn allemaal analyses of verbetertools waarbij het nut heeft voor Rijkswaterstaat om deze te implementeren. Voor storingsanalyse is de Root Cause Analysis (verder genoemd RCA) toegelicht in hoofdstuk 4.2 en als verbetertool is voor een PDCA-cyclus gekozen. Voor dit onderzoek zijn er meerdere verbetertools en risicoanalyses onderzocht die niet uitgebreid zijn behandeld. In hoofdstuk 4.4 is dit toegelicht.

4.1 FMECA

Een FMECA staat voor Failure Mode Effects & Criticality Analysis. Dit betekent dat er onderzoek (Analysis) is gedaan naar welke afwijkingen (Failure Mode) zich kunnen voordoen bij de verschillende installatiedelen. Vervolgens zijn van deze afwijkingen de gevolgen (Effect) en de kans dat de afwijking zich voordoet bepaald. De gevolgen en kans bepalen in de risicomatrix wat het risico (Criticality) bij het optreden van de afwijking is. Het risico geeft aan wat de impact van deze afwijking is op het functioneren van de installatie. Bij het onderzoek in deze opdracht is het merendeel van de FMECA al uitgevoerd bij het invullen van de risicomatrix. Per afwijking is een onderbouwing van de kans en gevolgen gegeven. De kolommen die nog invulling nodig hadden waren de wijze van detectie, de mogelijke oorzaken en de taken die nodig zijn voor het voorkomen van de afwijkingen of het beperken van de effecten van de afwijking. (Spie, z.d.)

In Bijlage 12 is de gemaakte FMECA van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug weergegeven. De gemaakte FMECA is gebaseerd op de indelingen die zijn gebruikt tijdens de opleiding Werktuigbouwkunde en de al bestaande FMECA van Rijkswaterstaat. Hierbij zijn onderdelen weggelaten of toegevoegd om het toepasselijk te maken voor de situatie. Het is hierbij zo algemeen mogelijk gehouden, zodat Rijkswaterstaat deze indeling ook voor andere assets kan gebruiken. In tabel 6 wordt elke kolom en de indeling ervan toegelicht.

Tabel 6: Toelichting indeling en invulling FMECA.

Onderdeel	In deze kolom zijn de installatiedelen en indien nodig de componenten ingevuld. Het nummer van de installatiedelen is op basis van de decompositie. Voor de componenten is doorgeteld op het nummer van het component met punt om de twee cijfers te onderscheiden, bijvoorbeeld 2.1 voor de remtrommel.
Functie/beschrijving	De functie wordt hier omschreven. Indien een installatiedeel of component meerdere functies heeft, worden deze vermeld.
Afwijking	Van alle installatiedelen zijn voor het invullen van de risicomatrix de realistische afwijkingen bepaald, deze worden in deze kolom ingevuld. Voor de nummering van de afwijkingen wordt het nummer van het installatiedeel of het component gebruikt en vervolgens doorgeteld. De cijfers worden hierbij onderscheiden door een -, bijvoorbeeld 1.-1 of 2.1-1.
Detectie	De detectie geeft aan op welke wijze de afwijking kan worden achterhaald. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen Inspectie, Gebruik, Meting, Analyse en Functionele test. De nummering is hierbij identiek aan de nummering van de afwijkingen.
Oorzaken	De rubriek Oorzaken geven de meest voorkomende realistische oorzaken aan. In de praktijk zijn er bij de meeste afwijkingen meer oorzaken dan wordt aangegeven. Bij het invullen van alles wordt het te

	onoverzichtelijk. De nummering is hierbij identiek aan de nummering van de afwijkingen.
Gevolgen	De gevolgen zijn als eerste aangegeven bij de onderbouwingen van de risicomatrix; hiervan zijn de meest voorkomende realistische gevolgen ingevuld. De nummering is hierbij identiek aan de nummering van de afwijkingen.
Geen onderhoud: $K \times E = R$	De invulling van deze drie kolommen zijn de scores die uit de risicomatrix zijn gekomen bij het uitvoeren van "geen onderhoud".
Basis onderhoudstaken	In deze kolom worden de basistaken ingevuld die nodig zijn voor het voorspellen of voorkomen van de afwijkingen. Deze taken kunnen ook als functie hebben het beperken van de effecten van de afwijking. De taken die hier gegeven zijn, worden later verder uitgewerkt tot concrete en duidelijke taken voor in het onderhoudsregime.
Toereikeind onderhoud: $K \times E = R$	De invulling van deze drie kolommen zijn de scores die uit de risicomatrix zijn gekomen bij het uitvoeren van toereikend onderhoud.
Opmerkingen	In deze kolom staan standaard opmerkingen, zoals over het soort lagere of een aanduiding indien er een reserve onderdeel van nodig is.

De functie van de FMECA is een duidelijk overzicht van de gehele mechanische aandrijflijn. De FMECA is hiervoor bewust compact gehouden. Voor vervolgstappen kan het eventueel nuttig zijn om factoren zoals kosten, milieu en veiligheid toe te voegen. Dit viel voor deze opdracht buiten het kader. Zoals aangegeven bij de toelichting van de invulling van de FMECA is er een directe koppeling tussen het onderzoek van de installatiedelen en de FMECA. In de documentatie staat namelijk de onderbouwing van de FMECA. Vanuit de FMECA en het onderzoek van de installatiedelen is vervolgens het onderhoudsregime opgesteld.

4.2 RCA

De FMECA is opgesteld voor het bepalen van het standaard onderhoud. Hierbij is geen aandacht besteed aan het identificeren van de storingen; toch is dit belangrijk om te behandelen. Om de storingsanalyse structureel uit te kunnen voeren is ervoor gekozen om het identificeren en oplossen van de storingen volgens een RCA aan te pakken.

Een RCA kan op meerdere manieren gebruikt worden. Dit wordt bepaald aan de hand van de tools die worden gebruikt als invulling van de RCA. Voor Rijkswaterstaat zal de RCA gebruikt worden voor:

Tabel 7: Stappen en doelen van de Root Cause Analysis.

Nr.	Doel	Toelichting
1	Identificeren van de storing	Voor het identificeren van storing moet geanalyseerd worden wat er gebeurde, hoe dit gebeurde en waarom het gebeurde.
2	Oplossing bepalen	Het bepalen van de oplossing voor het elimineren of verminderen van de kans voor het opnieuw optreden van de storing.
3	Oplossing implementeren	Het implementeren van de oplossing.
4	Werking oplossing controleren	Controleren of de oplossing werkt door te monitoren middels metingen, inspecties of controles.

Het identificeren van de storing wordt bereikt door als eerste de storing te definiëren, vervolgens de informatie, data en bewijzen te verzamelen. Met de verzamelde gegevens kunnen alle problemen en gebeurtenissen die hebben bijgedragen aan de storing worden geïdentificeerd. Uit de geïdentificeerde problemen en gebeurtenissen wordt de hoofdoorzaak bepaald; dit kan ook bestaan uit een combinatie van oorzaken. Voor het identificeren van de storing zijn er verder in dit hoofdstuk verschillende methodes/tools toegelicht. (DES, z.d.)

Het bepalen van de oplossing wordt tijdens de stap van het identificeren al gedaan. Deze oplossingen worden bepaald op basis van werkervaring en de theoretische gegevens van het vakgebied.

Het implementeren van de oplossing vergt geen verdere uitleg. Dit is geheel gebaseerd op wat de oplossing precies inhoudt. Het is hierbij belangrijk de werking van de oplossing te controleren. Ook deze controles zijn gebaseerd op de specifieke situatie. Indien het over de dikte van de remschoenen gaat zal bijvoorbeeld alleen de dikte worden gemeten na een bepaalde periode en bij een lekkage zal enkel hierop worden geïnspecteerd. Voor lagers kan het gaan om zowel meten via trillingsmetingen of vetanalyses. Dit verschilt per lager. Er zijn hierbij veel methodes om de werking van de oplossing te controleren. In het onderhoudsregime staan deze aangegeven voor de standaard afwijkingen als onderhoudstaken. Indien er geen wijze van controles zijn aangegeven voor de ondervonden storing zullen deze worden bepaald tijdens het vaststellen van de oplossing.

4.2.1 Methodes en tools voor het identificeren van de storing

Voor het identificeren van de storing worden een visgraaddiagram en de 5-why methode gebruikt. Bij relatief simpele storingen is het gebruiken van de 5-why methode voldoende. Voor een herhaaldelijke en complexe storing is het aan te raden het visgraatdiagram ook te gebruiken, omdat dit een beter overzicht van de complexe situatie geeft. Beide methodes worden toegelicht.

5-why

De 5-why methode is een eenvoudig toepasbaar middel om tot de hoofdoorzaken van de storing te komen. Het gebeurt vaak bij storingen dat de eerste mogelijke oplossing wordt gebruikt voor het oplossen van de storing. Vaak is dit een aanpak die de storing maar tijdelijk oplost. Er is namelijk enkel een gevolg van de originele storing aangepakt en niet de daadwerkelijke oorzaak. Voor Rijkswaterstaat zal de storingsanalyse moeten worden uitgevoerd door de onderhoudspartij.

Zoals aangegeven zal ten eerste de storing gedefinieerd moeten worden. Het principe van de methode is om de vraag “Waarom?” te stellen op de storing net zolang tot de hoofdoorzaak is gevonden. Dit kunnen ook meerdere oorzaken zijn. Tijdens het uitvoeren van de 5-why methode worden de oplossingen al bedacht. Dit wordt namelijk uitgevoerd door mensen met ervaring in het betreffende onderwerp. Hierbij is het ook belangrijk om te stoppen wanneer er geen realistische antwoorden meer uit de vraag “Waarom?” komen. Het kan voorkomen dat er geen directe antwoorden of gegevens beschikbaar zijn om de vraag te kunnen beantwoorden. In dit geval zullen er metingen of analyses uitgevoerd moeten worden. (Kanbanize, 2019)

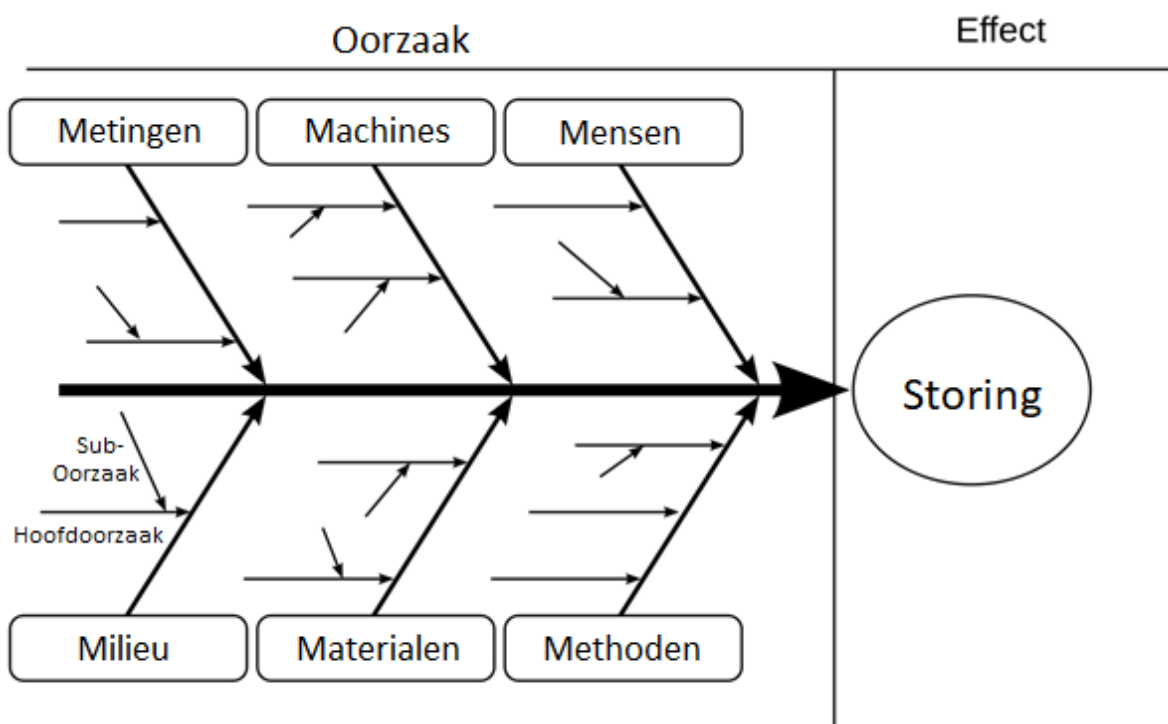
Nadat de oplossing voor de hoofdoorzaak is bedacht, is het belangrijk deze correct te implementeren. Dit kunnen ook meerdere oplossingen zijn afhankelijk van de situatie. Vervolgens is de laatste stap het controleren van de werking van de oplossing. Hierbij is de eis dat de oplossing in overleg met Rijkswaterstaat gemonitord wordt tijdens de uitvoering van de standaard onderhoudstaken. De resultaten van het monitoren moeten met Rijkswaterstaat gedeeld worden.

Visgraat diagram

De onderhoudspartij moet samen met Rijkswaterstaat inschatten of een storing te complex is om enkel volgens de 5-why methode te worden opgelost. Indien dit het geval is wordt het visgraatdiagram opgesteld. Ook zal dit worden gebruikt bij herhaaldelijke storingen. Het visgraatdiagram behandelt zes categorieën welke allemaal invloed kunnen hebben op het ontstaan van de storing.

In figuur 5 is een visgraat diagram weergegeven met de zes verschillende categorieën. Hieronder is elke categorie toegelicht (LeanSixSigma, 2019):

- **Mensen:** Iedereen die betrokken is bij het proces.
- **Methoden:** De manier van uitvoering van het proces en de specifieke eisen die daarbij worden opgesteld.
- **Machines:** Alle apparatuur en gereedschappen die nodig zijn om de taak te verrichten.
- **Materialen:** De gebruikte materialen en de kwaliteit hiervan.
- **Metingen:** Gegevens die gegenereerd zijn uit het proces om de kwaliteit te evalueren. Bij de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug zijn dit bijvoorbeeld trillingsmetingen en vetanalyses.
- **Milieu:** De omgevingsfactoren. Denk hierbij aan tijd, locatie, temperatuur, trillingen en weersomstandigheden.



Figuur 5: Visgraat diagram. Bron: Ishikawa Diagram, aangepast van: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/52/Ishikawa_Fishbone_Diagram.svg/1200px-Ishikawa_Fishbone_Diagram.svg.png

Bij het visgraatdiagram wordt de 5-why methode toegepast. De antwoorden op de vraag worden vervolgens ingedeeld bij de desbetreffende categorie. Dit geeft een duidelijker beeld van de storing en er ontstaat een duidelijker verband tussen de oorzaken en gevolgen. Voor de meeste storingen binnen Rijkswaterstaat zullen niet alle categorieën worden ingevuld.

De belangrijkste categorieën voor de assets van Rijkswaterstaat zijn mensen, methodes, machines, metingen en milieu. Het is algemeen bekend dat een groot aantal van de onderhoudstekortkomingen te wijten zijn aan menselijke oorzaak. Het is belangrijk dit feit mee te nemen in het opstellen van het visgraatdiagram. Bovendien is het belangrijk het onderhoud volgens de correcte methodes uit te voeren en met de juiste gereedschappen. De meest belangrijke vorm van informatie zijn de metingen die worden uitgevoerd voor het onderhouden van de assets, want hieruit kan direct de staat van de asset worden bepaald. Voor de assets van Rijkswaterstaat is milieu ook een grote factor. Omdat de assets vrijwel allemaal redelijk oud zijn, is er tijdens het ontwerpen onvoldoende rekening gehouden met factoren zoals weersomstandigheden. De precieze invloeden hiervan zijn lastig in kaart te brengen, hierdoor is het bij storingen belangrijk de omgevingsfactoren goed te documenteren.

Op basis van een compleet visgraatdiagram wordt er per categorie gekeken naar de oplossingen. Dit zal hoogstwaarschijnlijk al gebeuren tijdens het opstellen van het diagram. De volgende stap is het implementeren van de oplossingen. Om te achterhalen of de oplossingen het gewenste resultaat hebben opgeleverd, is het belangrijk de assets waar de storing zich voordeed te monitoren. Hierbij is de eis dat de oplossing in overleg met Rijkswaterstaat gemonitord wordt tijdens de uitvoering van de standaard onderhoudstaken. De resultaten van het monitoren moeten met Rijkswaterstaat gedeeld worden.

4.3 PDCA

De PDCA is een cyclus voor verbetering die staat voor Plan – Do – Check – Act. Deze cyclus zal worden gebruikt voor het OMS. Meer informatie over PDCA is te vinden in hoofdstuk 6.

4.4 Overige tools en analyses

Tijdens het onderzoek is ook aandacht besteed aan de ISO 31010. Dit is de norm voor risicomanagement. Specifiek staan in deze norm de diverse risico-evaluatietechnieken. In deze norm staat ook de FMECA aangegeven. De overige soorten analyses die in deze norm staan zijn globaal onderzocht. Hieruit bleek dat de FMECA alle aspecten van het risicomanagement al bevat. Deze worden genoemd in de norm en zijn kort weer te geven. Deze aspecten zijn namelijk:

- risico identificatie;
- risico analyse;
- risico evaluatie.

Onder risicoanalyse behoren de volgende factoren: consequenties, kans en niveau van het risico. Aangezien de norm aangeeft dat de FMECA alle aspecten behandelt is ervoor gekozen om de overige risico-evaluatietechnieken niet uit te werken. (NEN, 2019)

Voor het verbeteren van het proces rondom het onderhoud zijn er meerdere tools onderzocht. Vanuit dit onderzoek is de PDCA-cyclus gekozen voor het OMS. De overige tools zijn niet uitgebreid onderzocht, omdat geconcludeerd was dat deze niet toepasselijk zouden zijn. Deze tools zijn: LEAN, Six Sigma, Theory of constraints, INK-model, Kaizen, Drie Mu's, Vijf S, Agile, Scrum. LEAN, Six Sigma, Theory of constraints en het INK-model zijn te klantgericht en sluiten hierdoor niet goed aan bij het proces rondom het onderhoud. Kaizen, Drie Mu's en Vijf S zijn voornamelijk toepasbaar voor productieoptimalisatie. Dit heeft geen toegevoegde waarde voor het onderhoud. De tools Agile en Scrum zijn gericht op softwareontwikkeling en daarom ook niet goed toepasbaar. Agile en Scrum kunnen hierbij wel toegepast worden voor het verbeteren van Ultimo. Al hoewel dit waarschijnlijk niet nuttig is voor RWS, omdat Ultimo niet ontwikkeld is door RWS. (Beek, 2019; Ede, 2017; INK, z.d.; LeanSixSigma, 2019; Tromp, 2018; Wardt, 2017)

5. Resultaten

Vanuit het onderzoek en de analyses zijn meerdere producten opgesteld. Dit hoofdstuk behandelt de toelichting van deze producten. Het eerste product dat wordt behandeld is het onderhoudsregime. Vervolgens wordt het smeerschema toegelicht en daarna het Programma van Eisen (verder genoemd PvE). Er is een PvE voor de onderhoudseisen en voor de montage eisen, de opstelling hiervan is voor beide hetzelfde. Tot slot wordt een stuklijst van de wisselbare onderdelen toegelicht.

5.1 Onderhoudsregime

Het onderhoudsregime bevat per installatiedeel wat voor onderhoudstaken eraan vastzitten. Deze onderhoudstaken zijn bepaald op basis van de FMECA en het uitgevoerde onderzoek. Er is hierbij aangegeven wat voor onderhoudsstrategie het is en wat het interval is voor het uitvoeren van het onderhoud. Er is hier bewust gekozen voor het indelen van het onderhoud op installatiedeel niveau. Er wordt hier geen onderscheid gemaakt voor de componenten.

In Bijlage 13 is het gemaakte onderhoudsregime van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug weergegeven. Het gemaakte onderhoudsregime is gebaseerd op de indelingen die zijn gebruikt bij de al bestaande onderhoudsregimes van Rijkswaterstaat. Hierbij zijn onderdelen weggelaten of toegevoegd om het toepasselijk te maken voor de situatie. Het is hierbij zo algemeen mogelijk gehouden, zodat Rijkswaterstaat deze indeling ook voor andere assets kan gebruiken. In tabel 8 wordt elke kolom en de indeling ervan toegelicht.

Tabel 8: Toelichting indeling en invulling onderhoudsregime.

Onderdeel	In deze kolom zijn de installatiedelen ingevuld, met dezelfde nummering als in de decompositie.
Functie/beschrijving	De functie wordt hier omschreven.
Onderhoudsstrategie	De onderhoudsstrategieën zijn voor deze situatie onderverdeeld in vier groepen: Inspectie, TAO, GAO en FT. Onder inspecties vallen alle taken die in principe geen gereedschappen vereisen en waarbij het waarnemen en rapporteren van de situatie voldoende is. TAO staat voor toestand afhankelijk onderhoud, hier vallen de metingen zoals trillingsmetingen onder. GAO staat voor gebruik afhankelijk onderhoud hier vallen de taken onder waarbij de handelingen van het onderhoud standaard intervallen hebben, zoals nasmeren. FT staat voor functionele test, hier vallen alle taken onder voor het testen van de functionele werking van onderdelen of componenten.
Onderhoudstaak	Voor de onderhoudstaken zijn de specifieke en concrete taken benoemd die per onderhoudsstrategie voor het installatiedeel moeten worden uitgevoerd. Hierin staat aangegeven wat geïnspecteerd moet worden, welke metingen moeten worden gedaan en welke functionele testen nodig zijn per installatiedeel.
Nr.	In deze kolom is het nummer van de onderhoudstaak aangegeven, dit maakt het verwijzen naar specifieke onderhoudstaken eenvoudiger.
Frequentie (# per jaar)	Dit geeft aan hoe vaak per jaar de onderhoudstaak verricht moet worden. Enkele taken moeten bijvoorbeeld eens in de 5 jaar, dan wordt dit aangeduid met "Elke 5 jaar". De intervallen zijn onderbouwd in het onderzoek van de installatiedelen. Een groot deel van de intervallen zijn op basis van werkervaring bepaald en zouden na terugkoppeling eventueel moeten worden aangepast. De terugkoppeling wordt verder toegelicht in hoofdstuk 6.

Criteria	Bij de criteria zijn de eisen, normen of waardes aangegeven waaraan de onderhoudstaak moet voldoen. Deze eisen, normen en waardes zijn onderzocht en indien mogelijk onderbouwd in het onderzoek van de installatiedelen. De waardes zijn meestal aangenomen waardes van uitgevoerde metingen of berekeningen. Enkele waardes zijn zelf berekend, deze berekeningen zijn te vinden in het onderzoek van de installatiedelen in Bijlage 4 tot en met 11.
Opmerkingen	In deze kolom staan opmerkingen ter verduidelijking van de taken of criteria indien nodig.
Check	De laatste kolom is een checklijst om de uitgevoerde taken te kunnen afchecken.

Het onderhoudsregime is opgesteld voor het uitvoeren van het onderhoud. Hierbij moet het eenvoudig leesbaar zijn voor de monteur die het onderhoud uitvoert. Daarom is gekozen om de indeling op installatiedeeelniveau weer te geven. Dit geeft de monteur de mogelijkheid om de lijst van begin tot eind af te lopen. Een aantal taken van de lijst zijn niet voor de standaard monteurs. Dit staat dan ook aangegeven in de opmerkingen van het onderhoudsregime. Vanuit dit onderhoudsregime is ook een smeerschema opgesteld.

Het onderhoudsregime dient correct gedocumenteerd te worden. Meer over het documenteren is toegelicht in hoofdstuk 6.

5.2 Smeerschema

Het smeerschema is een eenvoudig en duidelijk overzicht voor het nasmeren van de installatiedelen of componenten. Voor de tandwielkast en de tonlagers is geen standaard nasmering vereist, omdat de vet- of oliewissel hierbij op basis van analyses gaat. Dit is in de vorige hoofdstukken en het onderzoek van de installatiedelen toegelicht. Beide brughelften zijn identiek voor het smeerschema.

In bijlage 14 is het smeerschema weergegeven van de Coenbrug. Het gemaakte onderhoudsregime is gebaseerd op de indelingen die zijn gebruikt bij de al bestaande smeerschema's van Rijkswaterstaat. Hierbij zijn onderdelen weggelaten of toegevoegd om het toepasselijk te maken voor de situatie. Het is hierbij zo algemeen mogelijk gehouden, zodat Rijkswaterstaat deze indeling ook voor andere assets kan gebruiken. In tabel 9 wordt elke kolom en de indeling ervan toegelicht.

Tabel 9: Toelichting indeling en invulling smeerschema.

Nr.	De nummering van de smeerpunten. In de nummering is N voor noord en Z voor zuid.
Onderdeel	In deze kolom zijn de onderdelen aangegeven. De benaming hierbij is specifiek voor het na te smeren onderdeel.
Aantal smeerpunten	Voor elk onderdeel is aangegeven hoeveel smeerpunten er zijn.
Smeermiddel	Het soort smeermiddel is aangegeven met de benaming gegeven door de leveranciers.
Freq. per jaar	Het aantal keer per jaar dat nasmering nodig is. Dit aantal moet evenredig worden verdeeld over één jaar. Zes keer betekent dus elke twee maanden.
Opmerkingen	In de opmerkingen staan aanvulling op het soort vet of eventueel een duidelijkere omschrijving voor de smeerpunten. Ook staat hier aangegeven dat voor de tonlagers nasmering niet nodig is. Deze staan hier expliciet in zodat het niet per ongeluk toch wordt nagesmeerd.

Check	De laatste kolom is een checklijst om de uitgevoerde taken te kunnen afchecken.
-------	---

Het smeerschema geeft een duidelijk overzicht van alle benodigde smeermiddelen en de intervallen waarop het nasmeren moet gebeuren. Ook het smeerschema dient correct ingevuld en gedocumenteerd te worden. Dit is essentieel voor een goede terugkoppeling. De terugkoppeling is toegelicht in hoofdstuk 6.

5.3 Programma van Eisen

Voor de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug zijn er twee PvE's opgesteld. Hier is voor gekozen omdat er belangrijke eisen zijn voor de montage en voor het onderhoud. Alle eisen zijn afgeleid van de gemaakte analyses en het uitgevoerde onderzoek. De eisen aan de montage zijn voornamelijk opgesteld voor het reviseren van de installatiedelen. De onderhoudseisen zijn terug te vinden in de criteria van het onderhoudsregime.

In Bijlage 15 en Bijlage 16 zijn beide PvE weergegeven. De PvE's zijn opgesteld om Rijkswaterstaat een duidelijk overzicht te geven van alle eisen voor het onderhouden en reviseren van de mechanische aandrijflijn. Voor toekomstige prestatiecontracten kan er een concreet PvE worden meegegeven. Dit maakt het eenvoudiger om te achterhalen of de onderhoudspartij voldoet aan de gegeven eisen. Het PvE is zo algemeen mogelijk opgesteld, zodat Rijkswaterstaat deze indeling ook voor andere assets kan gebruiken. In tabel 10 wordt elke kolom en de indeling ervan toegelicht.

Tabel 10: Toelichting indeling en invulling Programma van Eisen.

#	In deze kolom staat het nummer van het installatiedeel aangegeven. Dezelfde nummering als bij de decompositie is hier gebruikt.
Installatiedeel	Het bijbehorende installatiedeel van het nummer staat in deze kolom aangegeven.
Eis Nr.	Het eis nummer. Dit maakt het verwijzen naar een specifieke eis eenvoudiger.
Eis	Hierin staan de eisen aan het onderhoud of aan de montage in aangegeven. Indien een eis over een specifiek component gaat staat dit aangegeven.
Eenheid	De bijbehorende eenheden van de omschreven eis staan in deze kolom.
Normen	Indien er normen gekoppeld zijn aan de omschreven eis staat dit in deze kolom aangegeven.
Toets methode	In deze kolom staat de toets methode aangegeven. De toets methode kan een inspectie of meting zijn. Het kan hierbij ook een combinatie van de twee methodes zijn. Een inspectie betekent dat alleen basisgereedschap nodig is en het voornamelijk kan worden waargenomen middels zintuigen. Een meting betekent dat er bepaalde waardes gecontroleerd dienen te worden.
Bron	In deze kolom is de bron van de eis aangegeven. Dit is aangegeven per bedrijf waar de eis vandaan komt. Indien een eigen eis is opgesteld vanuit onderzoek valt deze onder de bron Rijkswaterstaat.

5.4 Wisselbare onderdelen

Bij de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug zijn er meerdere componenten die vervangen kunnen worden voor het verlengen van de levensduur van een installatiedeel. De wisselbare onderdelen stuklijst is opgesteld om hiervan een duidelijk overzicht te geven. Dit zijn niet alle componenten in een installatiedeel. De componenten in een installatiedeel die niet zijn aangegeven in de wisselbare onderdelen stuklijst zijn niet wisselbaar. Indien deze componenten falen is het verstandig om het gehele installatiedeel te reviseren of te vervangen.

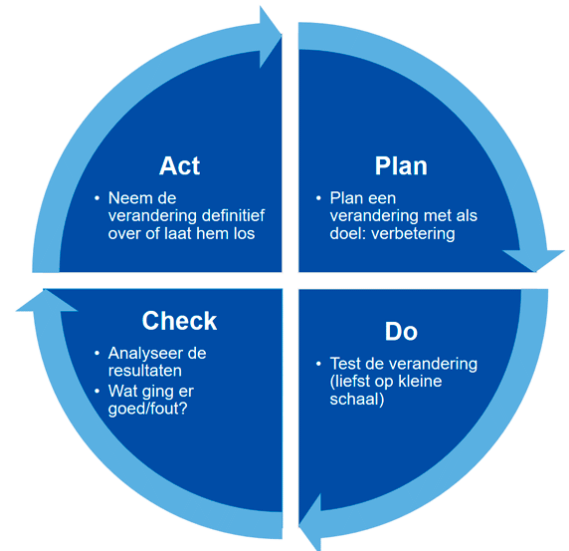
In Bijlage 17 is de wisselbare onderdelen stuklijst weergegeven. De wisselbare onderdelen stuklijst is zo algemeen mogelijk opgesteld, zodat Rijkswaterstaat deze indeling ook voor andere assets kan gebruiken. In tabel 11 wordt elke kolom en de indeling ervan toegelicht.

Tabel 11: Toelichting indeling en invulling van de wisselbare onderdelen stuklijst.

Installatiedeel	Het installatiedeel staat in deze kolom aangegeven. Hierbij is de standaard benaming vanuit het onderzoek gebruikt.
Component	De componenten die wisselbaar zijn in de installatiedelen staan in deze kolom aangegeven.
Type/model	In deze kolom staat het type of het model van het component aangegeven. Indien er geen type of model beschikbaar is staat een cruciale eigenschap aangegeven. Bijvoorbeeld van 0 tot 10 bar voor de glycerine manometer.
Merk	Het merk van het component staat in deze kolom aangegeven. Indien het merk niet is gevonden is het voor Rijkswaterstaat van belang dit uit te zoeken.
Aantal	In deze kolom staat aangegeven hoeveel van het component er totaal aanwezig zijn bij de Coenbrug. Dit telt zowel de noordelijke en zuidelijke helft.
Opmerkingen	In deze kolom staan opmerkingen aangegeven indien nodig. Bijvoorbeeld dat sommige componenten uitgezocht moeten worden tijdens de volgende onderhoudsbeurt. Van deze componenten is er geen documentatie aanwezig binnen Rijkswaterstaat en tijdens het onderzoek mochten de installatiedelen hiervoor niet worden opengemaakt.

6. Het onderhoudsmanagementsysteem

Het onderhoudsmanagementsysteem (verder genoemd OMS) is een belangrijk aspect van het toereikend onderhouden van de assets. Het OMS is het geheel van activiteiten waarmee assets in stand worden gehouden. Hierbij moet rekening worden gehouden met de planning, de uitvoering en de terugkoppeling. Voor de terugkoppeling is het ook belangrijk hier verstandige keuzes over te maken ter verbetering van de plannen en uitvoering. Om al deze stappen goed te documenteren is het verstandig om met een PDCA-cyclus te werken. Dit staat voor Plan – Do – Check – Act. In figuur 6 is een afbeelding weergegeven met een invulling van de PDCA-cyclus die bij de situatie past. Hierbij is het noodzakelijk om de plannen (P) goed op orde te hebben, vervolgens deze planning ook goed uit te voeren (D) en te controleren (C) of het plan en uitvoering toereikend is voor de betreffende assets. Vanuit deze controle kan gehandeld (A) worden om het onderhoud te verbeteren qua planning en uitvoering. In dit onderzoek is enkel de P behandeld van de PDCA-cyclus. Verder in dit hoofdstuk worden alle stappen toegelicht. Hierbij wordt de mechanische aandrijflijn als voorbeeld genomen. Deze PDCA-cyclus zal vervolgens generiek uitgevoerd kunnen worden voor alle kunstwerken binnen Rijkswaterstaat. (CMS, 2019)



Figuur 6: Afbeelding PDCA-cyclus. Opgehaald van: <https://www.certificering-keuring.nl/plan-do-check-act-een-onmisbare-verbetertool-voor-uw-rol-in-kam>

Rijkswaterstaat werkt met het programma Ultimo voor het verwezenlijken van het OMS. Dit programma is zeker geschikt voor de situatie. Helaas wordt dit onvoldoende tot niet ingevuld. Voor alle installatiedelen en componenten kunnen de onderzochte gegevens worden ingevuld in het programma, zoals het bouwjaar, het type en de leverancier. Hierin moeten ook het onderhoudsregime en het smeerschema komen. Vanuit dit programma wordt een check uitgevoerd om te achterhalen of de taken zijn uitgevoerd en vervolgens kunnen opmerkingen geplaatst worden indien er problemen of storingen waren. Het is aan te raden voor Rijkswaterstaat om de precieze invulling en link tussen de data uit te zoeken. (Versie 10; Ultimo, 2019)

6.1 Plan

Voor het maken van een plan is het belangrijk duidelijke doelen te hebben. In het geval van de opdracht is dit het verbeteren van de onderhoudsregimes en onderhoudseisen voor een mechanische aandrijflijn waardoor het onderhoud beter wordt uitgevoerd. Zodra de doelen duidelijk zijn, is het belangrijk om de benodigde gegevens te verzamelen. Dit wordt gedaan door eerst de huidige situatie te achterhalen en te analyseren. Door een duidelijk beeld te krijgen van de huidige situatie is het mogelijk een toepassende decompositie van de mechanische aandrijflijn te maken. Vanuit de huidige situatie wordt bepaald welke gegevens beschikbaar zijn en welke gegevens onderzocht dienen te worden. Voor het achterhalen van gegevens is het nodig de leveranciers van de betreffende componenten of installatiedelen te contacteren. De leveranciers zijn te vinden in documentatie of deze staan aangegeven op de assets. Ook kunnen de assets op het internet of vanuit boeken worden onderzocht. Vaak is een combinatie van deze methodes de beste aanpak.

Vanuit alle onderzochte gegevens worden risicoanalyses opgesteld van de bepaalde realistische afwijkingen, waarmee vervolgens een FMECA kan worden ingevuld. Voor de afwijkingen wordt

bepaald wat voor taken nodig zijn voor het voorkomen of het beperken van de gevolgen ervan. In eerste instantie worden deze taken basaal gehouden door het aan te duiden met bijvoorbeeld inspectie of meting. Vervolgens is het belangrijk deze onderhoudstaken concreet en duidelijk op te stellen. Hierbij wordt rekening gehouden met de criteria die horen bij de onderhoudstaak, bijvoorbeeld eisen en afkeurwaarden voor de asset. Indien mogelijk worden hier normen aan gekoppeld. Alle onderhoudstaken met de bijbehorende criteria moeten in een onderhoudsregime, zoals besproken in hoofdstuk 5.1, komen. Vanuit dit onderhoudsregime kan ook een standaard smeerschema worden opgesteld zoals besproken in hoofdstuk 5.2.

6.2 Do

In de prestatiecontracten die Rijkswaterstaat afsluit met een aannemer is het noodzakelijk om aan te geven dat het onderhoudsregime en het smeerschema toegepast moeten worden. Vervolgens is het aan de onderhoudspartij om de onderhoudstaken in te plannen met de aangegeven intervallen. Een aantal taken zoals trillingsmetingen moeten worden uitgevoerd door externe partijen. Deze worden ingehuurd door de onderhoudspartij. Alle resultaten van het onderhoud moeten door de onderhoudspartij gedocumenteerd worden in Ultimo.

De documentatie is cruciaal voor het terugkoppelen van de resultaten naar Rijkswaterstaat. Hieruit kan blijken of er behoefte is aan aanpassingen of toevoegingen. Ook is de documentatie noodzakelijk voor de opvolger van de onderhoudspartij, aangezien er om de drie tot vijf jaar een nieuwe onderhoudspartij wordt ingeschakeld. Dit geeft de volgende onderhoudspartij belangrijke data voor het plegen van toereikend onderhoud en een actueel inzicht in de staat van de assets.

6.3 Check

De terugkoppeling is tussen drie verschillende partijen, namelijk; PPO, AM en de onderhoudspartij. Er is hierbij geen directe lijn van communicatie tussen AM en de onderhoudspartij. Het is hierbij de taak van AM om de assets te behouden op lange termijn. AM programmeert onder andere het reviseren van de assets, zodat hiervoor een budget beschikbaar is. Om deze programmering goed uit te kunnen voeren is er data nodig over de staat waarin de assets zich bevinden. De afdeling PPO moet vervolgens zorgen voor het onderhouden van de assets tot deze ingeplande revisie of vervanging gebeurt. Hiervoor is het noodzakelijk om samen met de onderhoudspartij toereikend onderhoud in te plannen en uit te voeren. Het is hierbij de taak van PPO om aan te geven welke data de onderhoudspartij moet documenteren en vervolgens ook moet terugkoppelen. Het is belangrijk dat alle aangegeven criteria worden gedocumenteerd en teruggekoppeld. In samenwerking met de onderhoudspartij werkt PPO toe naar het ideale onderhoud.

Door het bijhouden van de resultaten van de onderhoudstaken is het mogelijk te achterhalen of het werkt. Zoals eerder aangegeven moet alles worden gedocumenteerd in Ultimo. Het is hierbij belangrijk te controleren of de gekozen intervallen het beste passen bij de onderhoudstaken. Hierbij is de feedback van de onderhoudspartij cruciaal. Uiteraard moet er ook gecontroleerd worden of de onderhoudstaken daadwerkelijk de gewenste effecten hebben. Dit is moeilijk te bepalen in een korte periode. Het achterhalen van de effecten van het onderhoud is nauwkeuriger vast te stellen over een langere periode. Dit kan bijvoorbeeld een periode van drie tot vijf jaar zijn. Dit valt goed samen met de wisseling van elke onderhoudspartij. De terugkoppeling van de gemaakte plannen en het uitgevoerde werk is onder te verdelen in terugkoppeling op korte en lange termijn.

Op de korte termijn is het belangrijk dat Rijkswaterstaat de onderhoudspartij blijft aansporen om het onderhoud te documenteren. Voor het onderhoud is deze data zeer waardevol. Voor de onderhoudstaken zijn er criteria opgesteld in de plan-fase. Het is bij het documenteren belangrijk om

de waardes die gekoppeld zijn aan deze criteria te documenteren. Het is hierbij de bedoeling om te documenteren vanaf het begin tot wanneer de afkeurwaarde wordt overschreden. Vervolgens wordt dit weer bijgehouden voor het nieuwe of gereviseerde onderdeel. Uit deze documentatie kan vervolgens een trendanalyse worden gemaakt. Dit is belangrijke data voor een revisie of bij het aanschaffen van een nieuw onderdeel. Indien er ernstige afwijkingen/problemen zijn moeten deze direct aangepast of hersteld worden. Hiervoor is een contractwijziging nodig.

Voor AM zijn data over de staat van de assets noodzakelijk om een goede programmering op te stellen. Indien AM merkt dat er data ontbreken kan dit aangegeven worden op korte termijn. Alle data van de asset worden namelijk jaarlijks gerapporteerd. In verhouding tot de theoretische levensduur van de assets is dit in te delen als korte termijn. Storingsrapportages van de assets kunnen generiek het beste maandelijks worden gerapporteerd. Voor de mechanische aandrijflijn is dit redelijk vaak, maar voor de storings door overige factoren is dit noodzakelijk.

Op de lange termijn kunnen er van de gedocumenteerde data trendanalyses worden gemaakt. Dit geeft de staat van een asset van begin tot het moment van de trendanalyse weer. De terugkoppeling kan op de volledige planning en uitvoering van het onderhoud het beste elke drie jaar worden gepland, net voor de wisseling van de onderhoudspartij. De terugkoppeling met de huidige onderhoudspartij zal vooral betrekking hebben op de werking van de onderhoudstaken. Hierbij zal worden gekeken of onderhoudstaken kunnen worden geschrapt en of er eventueel taken moeten worden toegevoegd. Door middel van de trendanalyses kan worden gekeken of de intervallen moeten worden aangepast. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat sommige onderhoudstaken minder vaak hoeven worden uitgevoerd.

6.4 Act

Voor deze stap in de PDCA-cyclus is het bijsturen van de planning voor de onderhoudstaken alleen elke drie tot vijf jaar mogelijk. Dit is omdat de huidige planning contractueel vaststaat. Wel is het mogelijk om de programmering van AM tussentijds aan te passen. Ook kan het zijn dat er contractwijzigingen nodig zijn voor het herstellen of aanpassen van de plannen door problemen of afwijkingen.

De data verkregen vanuit de documentatie is vanuit de praktijk. Hieruit kan worden opgemaakt of de theoretische levensduur of degradatie gelijk loopt met de gegevens vanuit de praktijksituatie. Indien dit niet het geval is kan het zijn dat de plannen bijgesteld moeten worden. Samen met de data van de huidige staat van de asset kan worden nagegaan of de geplande levensduur kan worden behaald. Vanuit deze gegevens kan het zijn dat de AM afdeling de programmering voor het vervangen of reviseren van de assets moet aanpassen.

Vanuit de terugkoppeling met de huidige onderhoudspartij is het mogelijk dat het onderhoudsregime moet worden aangepast. Indien er grote afwijkingen zijn vergeleken met de verwachtingen kan het zijn dat de risicomatrixen en de FMECA ook moet worden bijgesteld.

Er wordt aangeraden deze cyclus elke drie tot vijf jaar uit te voeren, hierbij is constant documenteren cruciaal. Tussentijds bijsturingen doorvoeren is mogelijk middels contractwijziging.

7. Advies

Het advies voor Rijkswaterstaat is om het opgestelde onderhoudsregime en het smeerschema te volgen. Zoals besproken in het vorige hoofdstuk is de documentatie hierbij cruciaal. Dit onderhoudsregime is opgesteld met als standpunt een goed uitgelijnde installatie en geen schade op de componenten. Er is hierbij uiteraard wel rekening gehouden met het bouwjaar van de componenten.

Buiten het kader van de opdracht zijn er tijdens het onderzoek voor het opstellen van het onderhoudsregime een aantal afwijkingen en problemen ontdekt. Om het onderhoudsregime te volgen is het belangrijk om deze afwijkingen en problemen op te lossen. Hieronder is een opsomming gegeven van de afwijkingen en problemen die opgelost moeten worden voordat het onderhoudsregime gevolgd kan worden:

1. Het herstellen van de schade bij beide rondsels.
2. Het vervangen van de ingaande lager in de tandwielkast bij de zuidelijke brughelft.
3. Het vervangen van de aandrijfszijde lager in de elektromotor bij de noordelijke brughelft.
4. Het opnieuw correct uitlijnen van de installatie voor beide brughelften.

De rondselschade is zichtbaar en uit metingen blijkt dat dit mede door een verkeerde uitlijning van de installatie komt. In hoofdstuk 3.3 is de uitlijning van de installatie behandeld, hiervoor zijn de toleranties uitgezocht. De metingen die zijn gebruikt voor het achterhalen van de oorzaak van de schade bij beide rondsels zijn onder andere trillingsmetingen. Tijdens het uitvoeren van deze metingen is ook geconstateerd dat er schade zit bij de twee verschillende lagers. Voor de zuidelijke brughelft is dit de ingaande lager van de tandwielkast en voor de noordelijke brughelft gaat het hierbij om de aandrijfszijde lager van de elektromotor. Voor het oplossen van deze problemen is het belangrijk de uitlijning uit te voeren nadat de drie eerst genoemde problemen zijn verholpen.

De andere redenen voor de schade bij het rondsel zijn het verkeerde smeermiddel en daardoor een ontoereikende smeerfilm. Om dit op te lossen heeft Rijkswaterstaat besloten van smeermiddel te wisselen en een automatisch smeersysteem in bedrijf te stellen voor de vertanding tussen het rondsel en het panamawiel. Het smeermiddel komt van de leverancier Klüber en het automatisch smeersysteem van SKF. Rijkswaterstaat heeft naar aanleiding van vetanalyses gekozen om het vet in de tonlagers te wisselen. Er wordt hier gewisseld naar een vet met een grotere vochtopname, zodat nasmeren niet meer nodig is en de vetlevensduur verhoogt. Het vet in de tonlagers zal voortaan op basis van vetanalyses worden vervangen. Rijkswaterstaat heeft voor beide vet smeermiddelen dezelfde leverancier gekozen. Daarom is er voor de overige smeermiddelen ook gekozen voor Klüber. In tabel 12 is per onderdeel aangegeven welke smeermiddelen voortaan gebruikt moeten worden om toekomstige schade te voorkomen. Zoals aangegeven heeft Rijkswaterstaat hierbij zelf het vet gekozen voor de tonlagers en de vertanding.

Geadviseerd wordt om de genoemde vetten voor de overige onderdelen in de tabel te gebruiken voor het uitvoeren van toereikend onderhoud. Het gaat hierbij om de glijlagers van de trek- en duwstang, de draaipunten van de reminstallatie en de spileindschakelaars.

Tabel 12: Smeerpunten

Onderdeel	Smeermiddel	Methode	Opmerkingen
Vertanding	Klüberplex AG 11 461	Automatisch smeersysteem	Elke 2 maanden vullen.
Tonlagers	Klübersynth HBE 94-401	Vetwissel op basis van vetanalyses	Eerst 2 maanden reinigen met Klübersynth BZ 68-400.
Glijlagers	Klübersynth HBE 94-401	2-maandelijks nasmeren	-
Draaipunten reminstallatie	Klübersynth HBE 94-401	6-maandelijks nasmeren	Dit was niet aanwezig in het oude onderhoudsregime.
Spileindschakelaars	Klüberplex BEM 31-13	2-maandelijks nasmeren	Dit was niet aanwezig in het oude onderhoudsregime.

Voor het vet in de tonlagers, voor het vet in het automatisch smeersysteem en voor de olie in de tandwielkast is het aan te raden om een nul monster af te nemen. Dit zorgt ervoor dat de vet- en olieanalyses universeel uitgevoerd kunnen worden.

Voor het naleven van het opgestelde onderhoudsregime zijn er een aantal korte termijn onderhoudsacties nodig om dit te verwezenlijken. Deze acties staan in tabel 13.

Tabel 13: Korte termijn onderhoudsacties.

Onderhoudsactie	Toelichting
Aanschaffen reserveonderdeel: Thruster	Iedere 5 jaar zal de thruster onderworpen worden aan volledig onderhoud. Hierdoor zal deze uit de installatie worden gehaald. Voor het behalen van de gewenste beschikbaarheid is hiervan ten minste één reserveonderdeel nodig. Indien mogelijk is het te adviseren de twee huidige thrusters te vervangen en een reserve aan te schaffen; de huidige thrusters zijn immers 36 jaar oud.
Aanschaffen reserveonderdeel: Tandwielpompe	Het reviseren van de tandwielpompe zal worden gedaan op basis van trillingsmetingen. Indien er een revisie nodig blijkt te zijn uit de metingen is het noodzakelijk dat er een reserveonderdeel hiervan beschikbaar is. Indien de installatie draait zonder een tandwielpompe zal er snel schade ontstaan in de tandwielkast.
Markeringen aanbrengen klauwkoppeling rem	Voor het controleren op verdraaiing van de koppeling is het noodzakelijk markeringen aan te brengen. Deze verdraaiing ontstaat door versleten elastische elementen.
Markeringen aanbrengen OK koppeling	Voor het controleren op verdraaiing van de koppeling is het noodzakelijk markeringen aan te brengen. Hiervoor zal de densoband op een andere manier om de OK koppeling heen worden gewikkeld.
OK koppeling conserveren	In de huidige situatie zit de densoband volledig om de OK koppeling en assen gewikkeld. Om de lekkages en een verdraaiing te kunnen detecteren zal de densoband tot de randen van de OK koppeling worden gewikkeld. Om de

	indringing van vocht tegen te gaan zullen de randen worden gekit.
Tandwielkast olie vervangen	De olie in beide tandwielkasten moet worden vervangen. De reden hiervoor is dat de olie in de tandwielkasten stinkt; dit wijst op oxidatie volgens een specialist. (A.R. Analyses, 2019)

Voor de lange termijn is het voornamelijk belangrijk om het onderhoudsregime bij te stellen indien dit nodig blijkt uit de gedocumenteerde gegevens en trendanalyses. In tabel 14 zijn de lange termijn adviezen weergegeven.

Tabel 14: Lange termijn adviezen.

Lange termijn advies	Toelichting
PDCA-cyclus opvolgen	Ook op de korte termijn zal dit advies gelden, maar naar verwachtingen zal het bijsturen van het onderhoudsregime de meeste impact hebben na een tijdsperiode van 3 tot 5 jaar. Na deze periode zullen er vanuit de metingen trendanalyses kunnen worden gemaakt. Vanuit deze trendanalyses kunnen de intervallen van de onderhoudstaken nauwkeuriger worden bepaald. De reden hiervoor is dat de gegevens uit de specifieke praktijksituatie zullen komen; de intervallen zijn nu bepaald op ervaring en theoretische gegevens.
Urenteller aanschaffen	Voor nauwkeurige gegevens en schattingen is het verstandig om het onderhoud in te plannen op basis van het aantal draaiuren. Op het moment wordt dit onvoldoende bijgehouden, waardoor het niet relevant was om het onderhoudsregime op draaiuren te baseren.

7.1 Overige adviezen

Tijdens de afstudeerstage is geconstateerd dat de communicatie tussen de drie partijen onvoldoende is om het onderhoud te kunnen managen. Om dit op te lossen worden de volgende adviezen gegeven:

- Een gestructureerde maandelijkse vergadering tussen PPO en de onderhoudspartij voor het delen van problemen om tot een gezamenlijke oplossing te komen en het terugkoppelen van het uitvoerende onderhoud.
- Een gestructureerde maandelijkse vergadering tussen PPO en AM voor het delen van problemen en het bespreken van de vergadering tussen PPO en de onderhoudspartij.

7.2 Stappenplan

Voor het reproduceren van het proces om een onderhoudsregime en de bijbehorende onderhoudseisen te verbeteren voor een bestaande asset is er in tabel 15 een stappenplan weergegeven. Hierbij zijn stappen 1 t/m 5 het plan in de PDCA cyclus. Het plan is voor de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug volledig uitgevoerd. De laatste twee stappen zijn de overige acties van de PDCA-cyclus. Hierbij is stap 6 het begin van de stap Do. De laatste stap betreft in werkelijkheid veel stappen. Dit is namelijk het volgen van de volledige PDCA-cyclus.

Tabel 15: Stappenplan voor het verbeteren van een onderhoudsregime met de bijbehorende onderhoudseisen.

STAP	Wat	Toelichting
1	Huidige situatie achterhalen	Huidige situatie asset achterhalen op basis van observatie, documentatie en interviews.
2	Decompositie opstellen	Om het onderhoud toereikend te kunnen indelen is een goede decompositie nodig. Indien dit niet blijkt uit de huidige situatie, dan dit opnieuw opstellen.
3	Onderzoeken	- Analyseren welke gegevens aanwezig zijn binnen Rijkswaterstaat en welke er ontbreken. - Indien het binnen Rijkswaterstaat aanwezig is; documentatie doorlezen en samenvatten voor de installatiedelen. - Overige informatie die nodig is en niet binnen RWS beschikbaar is ophalen bij de leveranciers. - Indien de leverancier niet voldoende informatie vrijgeeft dan verder onderzoek doen door middel van betrouwbare bronnen in boeken en van het internet. - Het onderzoek documenteren per installatiedeel. - Bij het onderzoek wordt er onderscheid gemaakt tussen algemene informatie en montagehandelingen/eisen.
4	Analyseren	- Afwijkingen van de installatiedelen en componenten bepalen. - Afwijkingen indelen in de risicomatrix. - Invulling onderbouwen vanuit betrouwbare bronnen: Werknemers, leverancier documentatie, boeken of het internet. - FMECA invullen met de onderbouwing en risicomatrix. - Algemene onderhoudstaken bepalen voor de afwijkingen.
5	Onderhoud bepalen	- Specifieke onderhoudstaken bepalen voor de afwijkingen met intervallen - Criteria aan onderhoudstaken koppelen: Afkeurwaardes, eisen en normen. - Invullen onderhoudsregime op basis van onderhoudstaken en criteria. - Smeerschema opstellen vanuit nasmeer taken in het onderhoudsregime.
6	Verbeteracties uitvoeren	- De acties zijn voor de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug aangegeven. Voor andere assets zouden deze bepaald worden op basis van het onderzoek, de analyse en de indeling van het onderhoud.
7	PDCA-cyclus volgen (Het onderhoudsmanagementsysteem)	- De PDCA-cyclus is opgesteld voor het correct volgen van het onderhoudsregime. - Voortdurende documentatie van de metingen en onderhoudstaken in Ultimo is hierbij essentieel. - Vanuit de data in Ultimo kunnen trendanalyses worden opgesteld. - De standaard cyclus voor bijsturen is hierbij elke drie tot vijf jaar, dit valt samen met de onderhoudspartij wissel. Indien gewenst tussentijdse bijstellingen doorvoeren.

7.3 Aanbevelingen vervolgonderzoek

Om het onderhoud voor Rijkswaterstaat algemeen te verbeteren zijn er een aantal aanbevelingen voor vervolgonderzoeken:

- Onderzoeken hoe Ultimo het beste ingevuld en gebruikt kan worden.
- Onderzoeken van de toleranties voor het uitlijnen van het rondsel en het panamawiel, zodat er een correcte overbrenging tussen de tandflanken is.
- Onderzoeken of de vetten die worden gebruikt toereikend zijn. Dit kan in laboratoria worden onderzocht.
- Een lijst opstellen van alle benodigde olie- en vetanalyses binnen de assets van Rijkswaterstaat.
- Een lijst opstellen van alle benodigde trillingsmetingen binnen de assets van Rijkswaterstaat.
- Onderzoeken welke onderhoudstaken geautomatiseerd kunnen worden, bijvoorbeeld het loggen van het stroomverbruik van de elektromotoren vanuit het besturingssysteem. Ook sensoren kunnen het onderhoud automatiseren, bijvoorbeeld: oliesensoren, trillingsmeting sensoren, temperatuursensoren en sensoren in de remschoenen.
- De relatie tussen de rondselkap en retardeerstoringen achterhalen.
- Berekenen van het benodigd remkoppel.
- De actuele staat van de spileindschakelaar achterhalen.
- De nasmeer hoeveelheid berekenen voor de glijlagers van de trek- en duwstang.

8. Methodologie

Wanneer er een advies of verbetervoorstel wordt opgesteld over een bepaalde situatie is het altijd van belang de huidige situatie te achterhalen. Om dit goed uit te voeren is het nodig hiervoor informatie van de situatie vanuit meerdere bronnen te krijgen. Bij deze opdracht is ervoor gekozen om dit te doen middels observatie, documentatie en interviews. Vanuit de gegevens verkregen met behulp van de verschillende methodes is het mogelijk om de belangrijkste verbeterpunten te formuleren. Door de interviews werd duidelijk wat de eisen en wensen waren met betrekking tot onderhoud voor de verschillende betrokken partijen. Het gaat hierbij om de partijen Asset Management en de Onderhoudspartij. Het doel is om naar een advies toe te werken wat deze verbeterpunten behandelt. Om dit doel te behalen is er gekozen voor een kwalitatief onderzoek.

De huidige situatie liet blijken dat er belangrijke data ontbraken van de Coenbrug binnen Rijkswaterstaat. De documentatie voor basisgegevens van de installatiedelen en componenten van de mechanische aandrijflijn was incompleet. De huidige decompositie van de mechanische aandrijflijn was onvolledig voor het uitvoeren van toereikend onderhoud. Hierdoor is een versnelde degradatie van meerdere installatiedelen ontstaan. Het was daarom belangrijk om als eerste een duidelijke decompositie op te stellen. Hierin werd ervoor gekozen om bij een aantal installatiedelen dit uitgebreider te doen dan bij anderen. Het is bijvoorbeeld belangrijk om bij de reminstallatie de verschillende componenten ervan duidelijk te onderscheiden. Bij de hoofddraaipunten is het voldoende om de decompositie te beperken tot het tonlager en het lagerhuis. Dit komt door de complexiteit van de reminstallatie. Hierin vereisen de verschillende componenten in het installatiedeel individuele onderhoudstaken. Uiteraard wordt vanuit het onderzoek bepaald wat deze onderhoudstaken precies inhouden.

Doordat er geen duidelijke documentatie was van basisgegevens, zoals de bouwjaren, merken of typen van de componenten, moest er onderzoek naar worden gedaan. Door het gebrek aan informatie en data werd duidelijk dat er meer aan de competentie Onderzoeken zou worden gewerkt dan initieel gedacht. Het onderzoek voor de basisgegevens was ook belangrijk om een goede onderbouwing voor de onderhoudstaken en onderhoudsintervallen te formuleren. Voor het achterhalen van deze informatie was het belangrijk de leveranciers van de desbetreffende componenten en installatiedelen te contacteren. De documentatie waar de leveranciers op stonden waren voornamelijk werktekeningen. Hier moest naar worden gezocht in de database van Rijkswaterstaat. Hieruit bleek ook dat een aantal werktekeningen van de mechanische aandrijflijn ontbraken of verouderd waren door revisies. Niet alle componenten hadden duidelijke leveranciers of bij een aantal, zoals het panamawiel, bestond de leverancier niet meer. Alle documenten en gegevens vanuit de leveranciers werden zover mogelijk en nodig gecontroleerd met bronnen vanuit boeken of het internet. Bij de componenten waar geen duidelijke leverancier was, werden de gegevens gehaald vanuit boeken of het internet en middels communicatie met deskundigen in multidisciplinaire omgeving.

Vanuit de leveranciers werden er zover mogelijk onderhoudsvoorschriften en andere nuttige documentatie, zoals montagehandleidingen, meegegeven. Voor alle installatiedelen werden realistische afwijkingen bepaald, welke na het correct monteren van de componenten zouden kunnen optreden. Vervolgens zijn deze ingevuld in een risicomatrix, zowel met de kans van het optreden van de afwijkingen zonder onderhoud en met toereikend onderhoud. De resultaten hiervan werden overgezet in een FMECA. In deze FMECA werden verdere basisgegevens, zoals wijze van detectie, mogelijke oorzaken en mogelijke gevolgen gegeven. Om de afwijkingen te voorkomen of de

gevolgen ervan te beperken zijn basis onderhoudstaken hiervoor bepaald in de FMECA. Deze taken zijn verder in het onderzoek concreter en specifiek gemaakt.

Om de FMECA te ondersteunen is er onderzoek gedaan naar de risico-evaluatietechnieken in ISO 31010. Dit onderzoek is enkel oppervlakkig uitgevoerd, omdat er duidelijk werd dat de FMECA qua risico-evaluatietechniek een adequate methode is. Voor Rijkswaterstaat is het ook belangrijk om een gestructureerde methode te hebben voor het identificeren en oplossen van storingen. Dit is belangrijk voor de mechanische aandrijflijn en voor alle storingen vanuit alle assets binnen RWS. Hiervoor is onderzoek gedaan naar een toepasselijke methode om dit te verwezenlijken. Er is gekozen voor een Root Cause Analysis waarbij onderscheid is gemaakt tussen simpele en complexe storingen. Voor simpele storingen zal de 5-why methode worden gebruikt en voor complexere storingen zal een visgraat diagram worden toegepast in combinatie met de 5-why methode.

Om het proces rondom het onderhoud te verbeteren is er een onderzoek uitgevoerd naar verbetertools. Dit onderzoek bevatte de tools: PDCA, INK-model, Kaizen, Drie Mu's, Vijf S, Lean, Agile, Six Sigma, Theory of constraints, Scrum. Voor de verbetering van het OMS is gekozen voor een PDCA-cyclus. Een groot deel van de overige tools zijn niet goed toepasbaar op het onderhoudsproces en daarom niet uitgebreid onderzocht. De tools Kaizen, Drie Mu's en Vijf S zijn enkel effectief toepasbaar voor productieprocessen. De tools Agile en Scrum zijn gericht op softwareontwikkeling en daarom ook niet goed toepasbaar. Lean, Six Sigma, Theory of constraints en het INK-model zijn te klantgerichte procesverbeteringen om een goede aansluiting te hebben op het onderhoudsproces binnen Rijkswaterstaat.

In de risicomatrix en de FMECA betreft het de afwijkingen die na het correct monteren van de installatiedelen en componenten kunnen optreden. Hierdoor is het belangrijk om voor elk installatiedeel de correcte wijze van montage en installatie toe te lichten met de bijbehorende eisen en punten van aandacht. Het gaat hierbij om de benodigde montage ter plekke op de Coenbrug. Voor installatiedelen zoals de OK koppeling is dit redelijk uitgebreid toegelicht, omdat deze situatie vaker voor zou kunnen komen. Voor bijvoorbeeld de hoofddraaipunten is dit zeer beperkt toegelicht. Het belangrijkste en eerste onderdeel van de montage is correcte uitlijning bij de koppelingen. Hier is een paragraaf aan gewijd met de bijbehorende toleranties ervoor. Hiervoor moest onderzoek worden gedaan naar de theorie van uitlijning zelf en de toleranties die behoren bij de soort koppelingen.

Voor het bepalen van de concrete en specifieke onderhoudstaken om de afwijkingen te voorkomen of de gevolgen ervan te beperken zijn voor zover mogelijk de onderhoudsvoorschriften van de leverancier als basis gehanteerd. Op deze voorschriften zijn aanpassingen gedaan op basis van de huidige staat, bijvoorbeeld als een installatiedeel of component al redelijk oud is. Verder zijn er ook aanpassingen gedaan op basis van ervaring, bijvoorbeeld een ander onderhoudsinterval op basis van advies vanuit een specialist. Het meest complexe onderhoud zijn de trillingsmetingen en vet- en olieanalyses; beide vallen onder toestand afhankelijk onderhoud (TAO). Deze zijn beiden verder onderzocht en verwerkt in individuele paragrafen. Hierin is duidelijk aangegeven wat de opdrachtnemer hiervan behoort uit te voeren en wat Rijkswaterstaat als eindresultaat verwacht.

Voor het controleren van de onderhoudstaken moeten criteria en afkeurwaardes worden opgesteld. Het kan hierbij zijn dat de onderhoudstaak vast zit aan een bepaalde norm, waarde of eis. Hiervoor zijn de normen die betrekking hebben op de componenten en het uit te voeren onderhoud onderzocht. Deze zijn vervolgens direct gekoppeld aan de taken waar nodig. Voor de waardes zijn er aannames gedaan op basis van eerder uitgevoerde metingen of eerder uitgevoerde berekeningen. Indien nodig zijn er zelf berekeningen gemaakt, bijvoorbeeld voor het stroomverbruik van de

elektromotor. Eisen houden in dat er bijvoorbeeld geen gebroken schotelveren mogen zijn. De onderhoudstaken en criteria zijn vervolgens ingevuld in het onderhoudsregime. Dit is de kern van het onderhoud. Op basis van dit onderhoudsregime wordt ook een smeerschema opgesteld. Om het onderhoudsregime te ondersteunen zijn de PvE's en de wisselbare onderdelen stuklijst opgesteld.

Aan de hand van de PDCA-cyclus is toegelicht hoe het nieuwe onderhoudsregime in stand moet worden gehouden. De nieuwe plannen zijn gebaseerd op continue verbeteren met behulp van terugkoppelingen uit de praktijksituatie. Om de gegevens vanuit de praktijksituatie te verkrijgen is het documenteren van het onderhoud cruciaal. Hier zal Rijkswaterstaat de onderhoudspartij op moeten aanspreken. Alle data zal terecht moeten komen in Ultimo. Het plan van de PDCA-cyclus is hierbij uitgewerkt in de vorm van een onderhoudsregime en smeerschema. De DCA stappen van de cyclus moeten nog worden uitgevoerd door de onderhoudspartij en Rijkswaterstaat. Dit is in richtlijnen omschreven in hoofdstuk 6.

Tot slot is het advies uitgewerkt waaruit duidelijk wordt dat de kern van het advies is om het onderhoudsregime te volgen op basis van de PDCA-cyclus. Om dit te kunnen doen zijn er een aantal aanpassingen en verbeteringen nodig bij de mechanische aandrijflijn. Deze zijn in het advies aangegeven. Ook is het stappenplan voor het verbeteren van onderhoud gegeven.

9. Competentieverantwoording

Voor de afstudeeropdracht is er gekozen voor de competenties onderzoeken, analyseren en adviseren. Standaard moet de competentie professionaliseren van niveau 2 naar niveau 3 tijdens de afstudeerstage. De competenties onderzoeken en adviseren moeten op niveau 2 worden behouden of worden verhoogd en de competentie analyseren moet minimaal op niveau 3 worden behouden. Bij de verantwoording is enkel het nummer van de deelcompetentie aangegeven. De toelichting van de competenties zijn te vinden in de competentieprofielen vanuit de opleiding in bijlage 2. Alle competenties worden met behulp van de STARR methode verantwoord.

Het verantwoorden van de competenties wordt gedaan op deelcompetentie-niveau van nagenoeg de helft van de deelcompetenties. Voor het verantwoorden van de competentie professionaliseren is gekozen voor de deelcompetenties: 8b, 8c, 8e en 8f.

Tabel 16: Competentieverantwoording professionaliseren.

Nr.	Start Niveau	Eind Niveau	Toelichting/bewijslast
8b	2	3	Situatie: Er moet informatie verzameld worden over de huidige situatie van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug. Hier zijn PPO, AM en de onderhoudspartij bij betrokken. De eisen en wensen van deze partijen met betrekking tot het onderhoud van de mechanische aandrijflijn moeten worden meegenomen in de opdracht. Taak: Afspraken inplannen in een multidisciplinaire context voor het afnemen van interviews en vervolgens de interviews afnemen. Actie: Voor het opstellen van de interviews is van te voren gekeken naar wat de verschillende partijen precies doen om specifiek gerichte vragen te stellen. Afspraken zijn ingepland en tijdens de interviews van AM en de onderhoudspartij zijn de antwoorden genoteerd. De informatie vanuit PPO is onthouden en verwerkt. De eisen en wensen die uit deze interviews komen worden vervolgens meegenomen in de opdracht. Resultaat: De uitgewerkte interviews in bijlage 18 is een resultaat van deze taak. Dit interview is toegelicht in hoofdstuk 2 van de scriptie. Samen met de twee andere manieren van informatie vergaren geeft dit een duidelijk beeld van de huidige situatie. Ook bleek hieruit dat veel informatie van de mechanische aandrijflijn ontbrak. Hierdoor moest de student zelf een uitgebreid onderzoek uitvoeren om achter de benodigde gegevens voor het onderhoud te komen. Hiervoor was het nodig voor de student om zich flexibel op te stellen in een multidisciplinaire context. Reflectie: De onderhoudspartij en AM gaven aan de vragen goed en gericht te vinden. Het had bij het interview van AM nuttig geweest om door te vragen op hun methodiek. De antwoorden hierop waren achteraf gezien redelijk vaag. Dit had verder geen impact op het uitwerken van de opdracht. Verwijzing: Bijlage 18 en Hoofdstuk 2
8c	2	3	Situatie: De onderhoudstaken en intervallen moeten worden bepaald voor de installatiedelen van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug. Taak: Het bepalen van de realistische afwijkingen van de installatiedelen en componenten. Vervolgens hierop de onderhoudstaken en intervallen baseren.

			Actie: Hiervoor is gekeken naar de functie(s) die het installatiedeel moet verrichten. Vervolgens is bepaald welke afwijkingen (welke de functionaliteit belemmeren) zich kunnen voordoen na het correct monteren van de installatie. Hierbij zijn alleen de realistische afwijkingen genoemd in het onderzoek. Vervolgens zijn er basis onderhoudstaken gekoppeld aan de afwijkingen. Deze basis onderhoudstaken zijn voor het onderhoudsregime gedetailleerder uitgewerkt waarbij ook de verschillende intervallen zijn bepaald. Resultaat: Geformuleerde realistische afwijkingen en basis onderhoudstaken voor in het FMECA. Specifieke onderhoudstaken en intervallen in het onderhoudsregime. Rijkswaterstaat is tevreden met het opgeleverde resultaat. Reflectie: Doordat er weinig documentatie beschikbaar was is het intensief geweest om alle relevante gegevens te verzamelen. Ik ben er trots op dat het opgeleverde onderhoudsregime positief is ontvangen door Rijkswaterstaat. Er is getwijfeld of het aanleveren van een Fault Tree Analysis nog nodig was. Deze geeft toegevoegde waarde aan de totaliteit van het onderhoudsplan. Voor het uitvoeren van de opdracht was het echter niet nodig. Verwijzing: De FMECA in Bijlage 12 en de toelichting ervan in hoofdstuk 4.1. Het onderhoudsregime in Bijlage 13 en de toelichting ervan in hoofdstuk 5.1.
8e	2	3	Situatie: De opzet van het onderzoek bepalen aan de hand van benodigde informatie voor de installatiedelen. Taak: Een begin maken voor opzet en vervolgens reflecteren of dit de juiste keuze was. Actie: Voor de opzet van het onderzoek moest eerst achterhaald worden welke informatie benodigd is voor toereikend onderhoud van de installatiedelen. Omdat het om meerdere installatiedelen gaat is het belangrijk een generieke opzet voor alle installatiedelen te hebben. Deze opzet is tijdens het uitvoeren van de opdracht meerdere keren veranderd. Dit is gedaan door te reflecteren op het gemaakte werk en onderzoek. De uiteindelijke opzet van het onderzoek bevat: Algemeen, Montage, Risicomatrix en Onderhoud. Tijdens het uitvoeren van de opdracht zijn hier verschillende versies van geweest. Bovendien is er gereflecteerd op de gemaakte keuzes tijdens het uitvoeren van de opdracht. Hier staat altijd de vraag "Is de gemaakte keuze het meest toepasselijk?" centraal. Dit is uitgevoerd voor de verschillende onderwerpen van het onderzoek. Resultaat: Een kwalitatief onderzoek van de installatiedelen voor toereikend onderhoud van de mechanische aandrijflijn. Reflectie: Het reflecteren op het gemaakte werk is voldoende gedaan. Een punt van verbetering hierbij is om het gereflecteerde werk direct te verbeteren. Verwijzing: De conclusies en toelichtingen van het onderzoek zijn te vinden in hoofdstuk 3. De uitgewerkte onderzoeken zijn te vinden in bijlage 4 t/m 11.
8f	2	3	Situatie: Er moest informatie worden opgehaald bij de leveranciers of specialisten voor de verschillende installatiedelen en componenten. Taak: Leveranciers contacteren middels e-mails en telefonisch Actie: De leveranciers mailen of bellen om de benodigde informatie op te vragen. Hierbij waren er zowel Nederlandse en buitenlandse leveranciers. Een buitenlandse leverancier, waarbij het in het Engels moest, is bijvoorbeeld EMG voor de thruster van de reminstallatie. Ook zijn er Nederlandse zoals leveranciers, zoals Bierens. Voor het onderzoek naar de olie- en vet analyses

		is er contact geweest met een specialist om de benodigde kennis op te halen. Ook zijn er meerdere vergaderingen geweest waar de student het gemaakte werk presenteerde en vragen hierover beantwoordde. Verder zijn er vergaderingen geweest waarbij de student vragen stelde over onderwerpen die invloed hebben op het onderhoudsregime, zoals vergaderingen over het smeermiddel van leverancier Klüber. Resultaat: De resultaten van het opvragen van informatie zijn de gegevens van de componenten en installatiedelen. Hiervoor werden er documenten opgestuurd, zoals: voorschriften, onderhoudsvoorschriften, catalogi en handleidingen. Ook zijn meerdere vragen direct per mail beantwoord. Reflectie: Het communiceren in een multidisciplinaire context is goed verlopen. Voor sommige vergaderingen had de voorbereiding beter kunnen zijn, dit is een punt van verbetering. Het kwam vaak voor dat ik nog bezig was met meerdere taken. Het had slim geweest deze even te laten liggen en één of twee uur tijd te pakken voor het voorbereiden van de vergaderingen. Verwijzing: Het onderzoek is een deel van het resultaat van het communiceren; dit onderzoek is te vinden in Bijlage 4 t/m 11. Bovendien zijn ook de interviews in Bijlage 18 gedaan middels een vorm van communicatie.
--	--	---

Voor het verantwoorden van de competentie analyseren is gekozen voor de deelcompetenties: 1a, 1c en 1e.

Tabel 17: Competentieverantwoording analyseren.

Nr.	Start Niveau	Eind Niveau	Toelichting/bewijslast
1a	3	3	Situatie: Een aantal leveranciers hebben verschillende documenten opgestuurd. Het is hierbij belangrijk de relevante informatie voor de opdracht eruit te filteren. Taak: Het selecteren van de relevante informatie uit de documenten van de leverancier. Actie: De documenten zijn goed doorgelezen. Vervolgens zijn hieruit de aspecten die betrekking hebben op de complexe vraagstelling geselecteerd. Ook is deze deelcompetentie behandeld tijdens het interview. Hieruit moest de relevante informatie uit het (meestal) uitgebreide antwoord worden gehaald. Resultaat: De resultaten van het doorlezen en selecteren van de relevante aspecten van de documenten van de leveranciers zijn de gerichte informatie bestanden van de installatiedelen. Van de interviews is het resultaat een overzichtelijke huidige situatie van de Coenbrug. Hierin komen ook de wensen en eisen van de geïnterviewde partijen in terug. Reflectie: Uiteindelijk is het goed gelukt de relevante aspecten te selecteren, het resultaat hiervan is een toereikend onderhoudsregime. Een punt van verbetering hierbij is duidelijker vanaf het begin de grenzen van het onderzoek bepalen. Verwijzing: Het gemaakte onderzoek is te zien in Bijlage 4 t/m 11. De verwerkte interviews over de huidige situatie staan in hoofdstuk 2.3. Het onderhoudsregime is weergegeven in Bijlage 13 en de toelichting in hoofdstuk 5.1.
1c	3	3	Situatie: Rijkswaterstaat heeft de opdracht vaag geformuleerd. Taak: Het verduidelijken van de opdracht

			Actie: Voor het verduidelijken van de opdracht is eerst een opdrachtomschrijving opgesteld. Vervolgens zijn hieruit hoofd- en deelvragen gemaakt. Om het probleem te verduidelijken is een probleemstelling opgesteld. Vervolgens is er een doelstelling opgesteld voor het oplossen van het probleem. In deze fase was het nog niet volledig duidelijk. Om duidelijkheid te creëren zijn de interviews afgenomen bij de verschillende partijen. Voor de partijen was het belangrijk dat er verbetering komt in de documentatie en monitoring van de staat van de asset. De interviews zijn vervolgens gebruikt voor het verfijnen van de opdracht. Hieruit werd bijvoorbeeld duidelijk dat een nieuwe decompositie nodig was voor de mechanische aandrijflijn. Resultaat: Het opstellen van de opdrachtomschrijving, probleemstelling en doelstelling geeft een goede inleiding voor de scriptie. Het verfijnen van de opdracht heeft geleid tot gerichte resultaten zoals de nieuwe decompositie. Reflectie: De formulering van probleemstelling, doelstelling en opdracht is goed gelukt. Alle drie geven een duidelijk beeld van de afstudeeropdracht. Een verbeterpunt zou zijn om sneller actie te ondernemen om de opdracht af te bakenen. Verwijzing: De opdrachtomschrijving, probleemstelling en doelstelling zijn te vinden in hoofdstuk 1 van de scriptie. De interviews zijn weergegeven in Bijlage 18. De decompositie van de mechanische aandrijflijn is terug te vinden in hoofdstuk 3.1.
1e	3	3	Situatie: Rijkswaterstaat wil een verbeterd en nieuw onderhoudsregime voor de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug. Taak: Het opstellen van het onderhoudsregime Actie: Voor het opstellen van het onderhoudsregime zijn een aantal stappen nodig. Dit is allemaal toegelicht in het stappenplan van hoofdstuk 7.2. Resultaat: Het onderhoudsregime en de overige resultaten ter ondersteuning van het onderhoudsregime. Dit zijn het smeerschema, het PvE en de wisselbare onderdelen stuklijst. Reflectie: Het onderhoudsregime en de andere resultaten ter ondersteuning hiervan zijn goed opgesteld en toereikend voor het onderhoud. Rijkswaterstaat is hier tevreden mee. Een punt van verbetering hierbij zou zijn om het onderzoek vanaf het begin gericht en duidelijk op te stellen. Verder zou het voor de volgende verbetering van het onderhoudsregime met gegevens uit de specifiek praktijksituatie kunnen worden opgesteld. Persoonlijk had ik meer theorie gegevens willen verzamelen en verwerken over de verschillende installatiedelen en methoden voor het plegen van onderhoud. Echter was het niet aan te raden het onderzoek zo uitgebreid uit te werken Verwijzing: Het onderhoudsregime is te vinden in Bijlage 13 en de toelichting hiervan in hoofdstuk 5.1. Het smeerschema is in weergegeven in Bijlage 14 en de toelichting ervan in hoofdstuk 5.2. De toelichting van de PvE's is te vinden in hoofdstuk 5.3 en de wisselbare onderdelen stuklijst in hoofdstuk 5.4. Zoals aangegeven is het stappenplan voor het verbeteren van onderhoud weergegeven in hoofdstuk 7.2.

Voor het verantwoorden van de competentie onderzoeken is gekozen voor de deelcompetenties: 7c, 7d, 7e.

Tabel 18: Competentieverantwoording onderzoeken.

Nr.	Start Niveau	Eind Niveau	Toelichting/bewijslast
7c	2	3	Situatie: De huidige situatie van de Coenbrug moet worden achterhaald Taak: Het achterhalen van de huidige situatie middels observatie, documentatie en interviews. Actie: Voor observatie is er langs de brug gegaan en gepraat met R. van der Voorn over de huidige situatie. Voor de documentatie zijn de beschikbare documenten binnen RWS doorgenomen. Hieruit bleek al dat er veel informatie mist. De interviews zijn afgenomen bij twee verschillende partijen: AM en de onderhoudspartij. Uit alle drie verschillende methodes is een gezamenlijke conclusie getrokken (in hoofdstuk 2.4). Resultaat: Een duidelijk overzicht van de huidige situatie met een conclusie. Reflectie: De observatie is in meerdere fasen gedaan. Er is hier meerdere keren voor naar de brug gegaan. Met betere voorbereiding had dit minder tijd hoeven innemen. Het uiteindelijke resultaat is wel van voldoende niveau. Verwijzing: Hoofdstuk 2 gaat over de huidige situatie van de Coenbrug.
7d	2	3	Situatie: Het onderzoek en de analyses moeten worden verwerkt in een overzichtelijke en duidelijke methode. Taak: Het uitgevoerde onderzoek en analyses in het onderhoudsregime verwerken. Actie: De gegevens vanuit het uitgevoerde onderzoek en de gemaakte analyses moeten duidelijk terugkomen in het onderhoudsregime. Hiervoor is zelfstandig een onderhoudsregime opgesteld. Dit geeft een duidelijk overzicht van alle onderhoudstaken, intervallen en bijbehorende criteria. Resultaat: Het smeerschema. Ter ondersteuning zijn er ook andere producten opgesteld, namelijk: het smeerschema, de PvE's en de wisselbare onderdelen stuklijst. Reflectie: De opzet van het onderhoudsregime is voor nu nog een eerste versie. Na het gebruik ervan zal pas echt worden achterhaald of het ideaal is. Er is hierbij bewust gekozen om de indeling op installatiedeel niveau te houden. Dit geeft een gemakkelijker overzicht en overweldigt de onderhoudspartij niet tijdens het uitvoeren van onderhoud. Indien dit niet werkt kan er voor gekozen worden om het toch in te delen op component niveau. Verwijzing: Het onderhoudsregime is te vinden in Bijlage 13 en hoofdstuk 5.1.
7e	2	3	Situatie: Het waarborgen en uitvoeren van het onderhoudsregime moet duidelijk worden toegelicht voor Rijkswaterstaat Taak: Het toelichten van het onderhoudsregime middels een PDCA-cyclus. Hiermee wordt ook het OMS toegelicht. Actie: In deze context zijn de verkregen resultaten dat de huidige methode niet werkte. Daarom is er een nieuw en verbeterd onderhoudsregime opgesteld. Om dit onderhoudsregime goed te kunnen uitvoeren is het verstandig het OMS goed in te delen. Dit is toegelicht middels een PDCA-

			cyclus. Het is hierbij belangrijk voortdurend de resultaten terug te koppelen. Omdat het onderhoudsregime contractueel vaststaat is het niet altijd mogelijk om aanpassingen meteen door te voeren. Voor het doorvoeren van alle aanpassingen moet eens in de 3 of 5 jaar een volledige terugkoppeling worden uitgevoerd. Hierin zal Rijkswaterstaat het stappenplan in hoofdstuk 7.2 weer kort doorlopen, deze keer met gegevens vanuit de praktijksituatie. Op basis van de resultaten uit de terugkoppeling zullen, indien nodig, verbeteringen worden aangebracht aan het onderhoudsregime. Resultaat: Een toelichting van het OMS aan de hand van de PDCA-cyclus. Reflectie: Het PDCA-cyclus is in voldoende mate toegelicht. Rijkswaterstaat is tevreden met de voorgeschreven methode voor het OMS. Het uitzoeken van Ultimo had voor het OMS nuttig geweest, dit viel voor nu buiten het kader van de opdracht. Verwijzing: Het OMS aan de hand van de PDCA-cyclus is behandeld in hoofdstuk 6.
--	--	--	--

Voor het verantwoorden van de competentie adviseren is gekozen voor de deelcompetenties: 6a, 6b, 6d.

Tabel 19: Competentieverantwoording adviseren.

Nr.	Start Niveau	Eind Niveau	Toelichting/bewijslast
6a	2	2-3	Situatie: De interviews voor het achterhalen van de huidige situatie moeten worden opgesteld. Taak: Het opstellen van de interviews. Actie: In deze context kunnen de geïnterviewde partijen worden gezien als de klant. Deze partijen zijn: AM en de onderhoudspartij. Voor het opstellen van gerichte en kritische vragen moest er worden ingeleefd in de positie van beide partijen. Dit is in een multidisciplinaire context. Hierdoor zijn de resultaten en antwoorden van de interviews ook van een hoger niveau. De vragen zijn in eerste instantie zelfstandig opgesteld, er zijn enkele aanpassingen gedaan met feedback van de bedrijfsbegeleider. Resultaat: Een interview met gerichte en kritische vragen. Reflectie: Beide partijen gaven aan dat het goede vragen zijn. Een verbeterpunt zou zijn om een uitgebreider interview maken voor AM. Er zijn hier meer punten besproken dan enkel de opgestelde vragen. Verwijzing: Bijlage 18 en in hoofdstuk 2.3 is de uitwerking van beide interviews.
6b	2	2-3	Situatie: Voor het behalen van nuttige resultaten moet de behoefte van de opdrachtgever m.b.t. de opdracht worden verhelderd. Taak: Verhelderen van de behoefte m.b.t. de opdracht van de opdrachtgever aan de hand van de huidige situatie. Actie: Aan de hand van de huidige situatie is achterhaald wat nodig is voor het toereikend onderhouden van de mechanische aandrijflijn. Dit is zelfstandig bepaald en goedgekeurd door de begeleiding. De onderdelen die gemaakt moesten worden zijn: een beter decompositie, het onderzoek naar de installatiedelen en het uitdetaileren van enkele complexe montage- en onderhoudseisen. Resultaat: De resultaten hierbij zijn de onderzoeken die zijn uitgevoerd en indirect dan ook alle resultaten die hier uit komen.

			Reflectie: De behoefte is in principe het kader van de opdracht. Wat moet onderzocht worden en wat niet? Dit was niet meteen vanaf de eerste week duidelijk. Een verbeterpunt zou zijn om meteen een duidelijk overzicht te maken in plaats van werken aan stap 1 terwijl de laatste stap bijvoorbeeld niet bekend is. Verwijzing: Hoofdstuk 3 bevat het grootste deel van het onderzoek. Dit is ondersteund door de bijlages 4 t/m 11.
6d	2	2-3	Situatie: Er moet een advies worden opgesteld voor Rijkswaterstaat waarin duidelijk staat aangegeven wat er nodig is om het onderhoudsregime te implementeren. Taak: Het advies opstellen. Actie: Het advies voor Rijkswaterstaat is in principe het volgen van het onderhoudsregime volgens de PDCA-cyclus. De onderbouwingen van de invulling van het onderhoudsregime zijn terug te vinden in het onderzoek. Om dit te kunnen doen zijn er een aantal acties nodig die op korte termijn moeten worden uitgevoerd. Deze staan omschreven in het advies. De overtuiging van het advies zijn de voordelen die het met zich meebrengt; beter onderhoud voor de asset en het nauwkeuriger kunnen bepalen van de staat waar de asset zich in bevindt. De adviezen zijn opgesteld voor werknemers van diverse disciplines. Resultaat: Het advies. Reflectie: Het advies is goed opgesteld en Rijkswaterstaat is er tevreden mee. De onderbouwingen van het onderhoudsregime (en daarmee het advies) zijn nu op basis van ervaring en theoretische gegevens. De ideale situatie zou zijn als het kan worden gebaseerd op gegevens uit de praktijk, dit was voor deze opdracht niet mogelijk. Wel is op te merken dat de huidige methode niet toereikend was. Indien het onderhoudsregime en de PDCA-cyclus goed worden opgevolgd kan de volgende verbetering op basis van praktijkgegevens. Verwijzing: Hoofdstuk 7.

10. Conclusie

De opdracht voor Rijkswaterstaat was het opstellen van een verbeterd onderhoudsregime met de bijbehorende onderhoudseisen voor de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug.

Hierbij luidt de hoofdvraag “Hoe kan het onderhoud van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug worden verbeterd?”.

Het onderhoud van de mechanische aandrijflijn kan worden verbeterd door het volgen van het gemaakte onderhoudsregime volgens de voorgeschreven PDCA-cyclus. De PDCA-cyclus is in deze context het onderhoudsmanagementsysteem. Hierbij is het doorlopend verzamelen en terugkoppelen van data cruciaal. Het onderhoudsregime is opgesteld op basis van het uitgevoerde onderzoek en de gemaakte analyses. Rijkswaterstaat is tevreden met het eindresultaat hiervan. Voor het uitvoeren van de opdracht zijn alle stappen doorlopen die behandeld zijn in dit onderzoek. Tevens behandelt dit onderzoek de antwoorden op de deelvragen.

Bij het in beeld brengen van de huidige situatie is ondervonden dat er veel data en informatie ontbreekt over de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug. Dit geldt voor de gehele brug; er is duidelijk ruimte voor verbetering in het documentenbeheer van Rijkswaterstaat. Vanuit de analyse van de huidige situatie is bepaald dat er een nieuwe decompositie nodig was. De oude was namelijk niet toereikend en zorgde voor schade aan componenten van de mechanische aandrijflijn. Om de FMECA voldoende te kunnen invullen is er onderzoek gedaan naar de installatiedelen. Het is belangrijk om voor de installatiedelen de realistische afwijkingen te bepalen. Vervolgens moeten de onderhoudstaken voor het voorkomen of beperken van de effecten worden bepaald.

Het onderzoek stopte niet bij de installatiedelen. Het ging verder op de onderhoudstaken in. Dit was nodig voor het achterhalen van de benodigde criteria. Deze criteria kan Rijkswaterstaat meegeven met de prestatiecontracten wat uiteindelijk zorgt voor toereikend onderhoud. Ook zijn de complexe onderhouds- en montagetaken behandeld in het onderzoek. Hierbij is de uitlijning globaal behandeld met de vereiste toleranties voor de flexibele en starre koppeling. Voor de trillingsmetingen en olie- en vetanalyses is aangegeven wat Rijkswaterstaat verwacht en eist van de opdrachtnemers die deze onderhoudstaken zullen uitvoeren.

Voor het uitvoeren van gerichte storingsanalyses is het aan te raden om de behandelde RCA te gebruiken. De RCA dient te worden uitgevoerd door de onderhoudspartij.

De uiteindelijke resultaten van het uitgevoerde onderzoek en de gemaakte analyses voor Rijkswaterstaat zijn:

- De FMECA.
- Opzet RCA storingsanalyse.
- Het onderhoudsregime.
- Het smeerschema.
- Het PvE onderhoud.
- Het PvE montage.
- De wisselbare onderdelen stuklijst.
- Het onderhoudsmanagementsysteem uitgewerkt aan de hand van een PDCA-cyclus.
- Het advies.

In het advies staan de aanpassingen die nodig zijn aan de mechanische aandrijflijn om aan toereikend onderhoud te kunnen beginnen. Ook staan de korte termijn onderhoudsacties en lange termijn

acties aangegeven in het advies. Er is hierbij ook een stappenplan gegeven voor het reproduceren van het verbeteren van onderhoud bij andere assets binnen Rijkswaterstaat. De overige adviezen hebben enkel betrekking op de verbetering van communicatie tussen de partijen. Dit is voor het beter kunnen managen van het onderhoud.

Uiteindelijk is het belangrijk dat alle competenties zijn behaald; meer hierover is te vinden in hoofdstuk 9 over de competentieverantwoording.

Tijdens het uitvoeren van de opdracht is enorm veel geleerd. Niet alles wat geleerd is, staat in het onderzoek. Redelijk wat viel namelijk buiten het kader van de opdracht. Er is een beter inzicht verkregen hoe Rijkswaterstaat opereert en wat hier allemaal bij komt kijken. Uiteraard is dit beperkt tot de PPO afdeling en de omringende kringen.

Bibliografie

- A.R. Analyses (2019). *Diverse vet- en olieanalyse documenten*. Haarlem: A.R. Analyses.
- Bas-s. (2010). *Elektromotor*. Opgehaald van Infonu: <https://wetenschap.infonu.nl/techniek/61200-elektromotoren-gelijkstroom-synchroon-universeelmotor.html>
- BeneluxScientific. (z.d.). *Infrarood analyse van vetten, smeermiddelen en oliën*. Opgehaald van benelux-scientific: <http://www.benelux-scientific.nl/producten/petro-testapparatuur/infrarood-olie-smeermiddel-en-vetanalyse/>
- Bierens. (1999). *Tandwielkast K2A3-80 Spec*. Tilburg: Bierens Machinefabrieken.
- Brammer (2014). *Trillingsanalyse*. Brammer.
- Brammer (2015). *Brammer Asuitlijning*. [Powerpoints].
- Brammer. (2019). *Vetlevensduurberekening GFT*. Haarlem: Brammer.
- Brammer. (z.d.) *Brochure Lagerschade*. Opgehaald van: http://www.brammer.nl/Downloads/Brammer_Brochure_Beschadiging_van_wentellagers.pdf
- Brammer. (z.d.). *Catalogus lagerhuizen 970391*. Brammer.
- Bremskerl. (2012). *Bremskerl 5387*.
- CMS. (2019). *Onderhoudsmanagement*. Opgehaald van: <https://www.cmsam.nl/diensten/onderhoudsmanagement/>
- DES. (z.d.). *Root Cause Analysis*. Opgehaald van: <https://des.wa.gov/services/risk-management/about-risk-management/enterprise-risk-management/root-cause-analysis>
- DIN. (1979). *DIN 31698 Plain Bearings, Fits*.
- EFLEX (2019). *Eflex-RS*. Opgehaald van Steminbreitbach: <https://www.steminbreitbach.com/en/producten/as-en-vliegwielpoppelingen/elastisch/eflex-rs.html>
- Elcas. (z.d.). *Brons*. Opgehaald van: <https://www.elcas.nl/brons>
- EMG. (2014). *Electro-hydraulic thrusters*. Opgehaald van mgh: <http://www.mgh.be/assets/pdf/MGH-EMG-Eldro-Catalogus.pdf>
- EMG. (2019). *Assembly Instructions*. Wenden: EMG Automation.
- EMG. (2019). *Service Manual*. Wenden: EMG Automation.
- Ensie. (2019). *ROVC Technische Opleidingen: Onderhoud*. Geraadpleegd van: <https://www.ensie.nl/rovc/onderhoud>
- Eriks. (2019). *Eenrijige groefkogellager tweezijdig afgedicht*. Opgehaald van Eriks: https://shop.eriks.nl/nl/eenrijig-groefkogellager-tweezijdig-afgedicht-6309-2z-c3-23758981?gclid=CjwKCAiAqTuBRBAEiwA7B66hQoDB8CzyePYalaxP4nA_Jl5lxl_Dq5s0NZCv3Rkr_PoRbW5Maj_5xoCh3EQAvD_BwE&gclidsrc=aw.ds
- Eriks. (2019). *Tweerijige tonlager met cilindrische boring*. Opgehaald van Eriks: https://shop.eriks.nl/nl/tweerijig-tonlager-met-cilindrische-boring-23034-cc-w33-23755930?gclid=EAlaIqobChMIuOLMz8eb5QIVz-F3Ch0IKQ-5EAAAYASAAEgJOM_D_BwE&gclidsrc=aw.ds

- FAG. (2017). *Technical principles*. Schweinfurt: Schaeffler Technologies.
- Hollandia. (1999). *Documentation report tandwielkast K2A3-80 Speciaal*. Krimpen aan de IJssel: Bierens.
- Hoogeland, M. (2019). *Project: Rijkswaterstaat Klüber*. Haarlem: Klüber.
- Hoogland, W., Dik, R., & Brand, I. (2015). *Rapport over rapporteren*. Groningen/Houten: Noordhoff Uitgevers bv.
- INK. (z.d.). *INK-managementmodel*. Opgehaald van: <https://www.ink.nl/model/ink-managementmodel/>
- Intertec. (z.d.). *Electric Heater Series E 150*. Opgehaald van: <https://www.intertec.info/documents/en/hd421en.pdf>
- Kanbanize. (2019). *5 Whys: The Ultimate Root Cause Analysis Tool*. Opgehaald van: <https://kanbanize.com/lean-management/improvement/5-whys-analysis-tool/>
- KRACHT. (2019). *Transfer Gear Pumps – Operating and Maintenance Instructions*. Werdohl: KRACHT.
- LeanSixSigma. (2019). *Ishikawa*. Opgehaald van: <https://www.sixsigma.nl/artikelen/ishikawa>
- LeanSixSigma. (2019). *Wat is Lean Management?* Opgehaald van: <https://www.sixsigma.nl/lean-management>
- LeanSixSigma. (2019). *Wat is Lean Six Sigma?* Opgehaald van: <https://www.sixsigma.nl/wat-is-lean-six-sigma>
- LeanSixSigma. (2019). *Wat is Lean?* Opgehaald van: <https://www.sixsigma.nl/wat-is-lean>
- Mathijssen, E. (z.d.). *PDCA-cyclus in KAM: een onmisbare verbetertool voor uw rol*. Opgehaald van: <https://www.certificering-keuring.nl/plan-do-check-act-een-onmisbare-verbetertool-voor-uw-rol-in-kam>
- Mol, A. (2016). *Leerboek trillingsanalyse*. Rijssen: MOL.
- NEN. (2010). *NEN-EN-ISO 286 Geometrische productspecificaties*. Opgehaald van: <https://www.nen.nl/Norm/NENENISO-28612010-en.htm>
- NEN. (2016). *NEN-EN 16983 Schotelveren – Kwaliteitseisen – Afmetingen*. Opgehaald van: <https://www.nen.nl/Norm/NENEN-169832016-en.htm>
- NEN. (2018). *NEN-ISO 48-4 Rubber, gevulkaniseerd of thermoplastisch – Bepaling van de hardheid – Deel 4: Indringhardheid met de hardheidsmeter methode (Shore hardheid)*. Opgehaald van: <https://www.nen.nl/Norm/NENISO-4842018-en.htm>
- NEN. (2019). *NEN-EN-IEC 31010 Risicomanagement – Risico-evaluatietechnieken*. Opgehaald van: <https://www.nen.nl/Norm/NENENIEC-310102019-enfr.htm>
- NSK. (2019). *NSK Product Guide -Bearings*. Opgehaald van: <http://www.jp.nsk.com/app02/BearingGuide/html/bearing.html>
- PMG. (2019). *Smeerolie is niet eeuwig houdbaar*. Opgehaald van [pmgbv: https://www.pmgbv.com/houdbaarheid-smeerolie/](https://www.pmgbv.com/houdbaarheid-smeerolie/)

PRUFTECHNIK. (2010). *Waarom uitlijnen?* Opgehaald van: <https://www.vanderendegroep.nl/downloads/content/1452/8d77a371b69e810/uitlijnen-hoe-en-waarom-ali-9-100-21-09-10-nl.pdf>

Rijkswaterstaat. (1967). *Rondsel met lagerhuizen*. -: Directie Bruggen.

Rijkswaterstaat. (2002). *Referentiedocument Onderhoud*. Haarlem: Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat. (2007). *FMECA Coenbrug*. Haarlem: Auteur.

Rijkswaterstaat. (2007). *Vastlegging FMECA*. Alkmaar: Wegendistrict.

Rijkswaterstaat. (2019). *Programma's, Projecten en Onderhoud*. Opgehaald van: <https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/onze-organisatie/organisatiestructuur/programmas-projecten-en-onderhoud/index.aspx>

Rijkswaterstaat. (z.d.). *Werktekeningen vanuit documentenbeheer RWS*.

Rotor. (2015). *Rotor nl Elektromotor*. Opgehaald van Vansteenbv: https://www.vansteenbv.nl/wp-content/uploads/2017/02/ROTOR-RN-Catalogus_2015.pdf

Schmersal. (2016). *Veilig schakelen en detecteren*. Opgehaald van Schmersel: <https://www.schmersal.net/cat?lang=nl&produkt=rvi733157q7pxoth1wv41839cjd49s>

Schnorr. (2018). *Disc Springs*. Opgehaald van Schnorr: <https://schnorr.com/products/disc-springs/>

Sibre. (z.d.). *Industrial Brakes*. Opgehaald van Eurotechfz: <http://www.eurotechfz.com/downloads/Crane%20Components%20&%20Gear%20Boxes/SIBRE%20-%20General%20Catalogue%20Industrial%20Brakes.pdf>

SKF. (1975). *Montage- en demontage-instructies*. Goteborg, Zweden: SKF Group.

SKF. (2011). *SKF Onderhoudsgereedschappen en smeermiddelen*. Opgehaald van Brammer: http://www.brammer.nl/Downloads/SKF_Mapro_Catalogus_H2_Tools.pdf

SKF. (2017). *OK shaft couplings*. Hofors, Zweden: SKF Group.

SKF. (2019). *SKF TKSA 11*. Opgehaald van: <https://www.skf.com/binary/21-248116/MP5433.pdf>

SKF. (z.d.). *Spherical Roller Bearings*. Opgehaald van: <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/spherical-roller-bearings/index.html?designation=BD-24052%20CCK30%2FW33-AOH%2024052%20G&nfp=NFP-BD-24052%20CCK30%2FW33-AOH%2024052%20G>

Spie. (2018). *Conditiemetingen Aandrijvingen Coenbrug*. Emmeloord: Mobiel Technische Dienst.

Spie. (2018). *FIT Rapportage Coenbrug*. Rotterdam: Auteur.

Spie. (z.d.). *FMECA-module voor industrie*. Opgehaald van: <https://www.spie-nl.com/fmeca-module/>

Telemecanique. (1970). *Franse Handleiding*. -: Telemecanique.

Telemecanique. (z.d.). *Product data sheet*. Telemecanique.

Telemecanique. (z.d.). *Screw limit switches OsiSense XRBA and XR2 Overtravel limit switches OsiSense Xf9 Catalogue*. Rueil-Malmaison: Telemecanique.

- Tromp, J. (2018). *ONH_M Verbetermethoden* [Powerpoints]. Geraadpleegd van: https://blackboard.hhs.nl/webapps/blackboard/execute/announcement?method=search&context=course_entry&course_id=_72931_1&handle=announcements_entry&mode=view
- Ultimo. (2019). *Ultimo (Versie 10)* [Software]. Geraadpleegd van <https://rijkswaterstaat.ultimo.com/ultimo.aspx>
- Van Beek, D. (2019). *Continu verbeteren met Kaizen*. Opgehaald van: <https://www.pdcacyclus.nl/verbetermethoden/kaizen/>
- Van der Wardt, R. (2019). *Wat is Scrum?* Opgehaald van: <https://agilescrumgroup.nl/wat-is-scrum-werken/>
- Van Ede, J. (2017). *Introductie TOC: de ongelimiteerde organisatie*. Opgehaald van: <https://www.procesverbeteren.nl/TOC/ToC.php>
- vier, D. (2019). *Installatie-, onderhouds- en bedrijfsvoorschriften voor elektromotoren*. Opgehaald van elektromotorendevier: <https://elektromotorendevier.nl/blog/27/installatie-onderhouds-en-bedrijfsvoorschriften-voor-elektromotoren>
- Weijers, P. (2018). *Conditiemeting en analyse aandrijvingen Coenbrug*. Wijhe: Spie.
- Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., & Vossiek, J. (2013). *Roloff Matek machineonderdelen (5de editie)*. Amsterdam, Nederland: Academic Service.
- Zaal, T. (2013). *Profijtgedreven Onderhoud*. Maj Engineering Publishing.

Bijlage 1: Bedrijfsbeoordeling

Bedrijfsbeoordeling afstuderen Werktuigbouwkunde 2019-2020	
Studentnaam	: <u>Jordi Rustenhoven</u>
Studentnummer	: <u>15062368</u>
Periode van	: <u>26-08-2019</u> t/m: <u>19-12-2019</u>
Bedrijf	: <u>Rijkswaterstaat</u>
Bedrijfsbegeleider	: <u>R. van der Voorn</u>

A Beoordeling Algemeen functioneren

Met onderstaande items kunt u het functioneren van onze student binnen uw bedrijf beoordelen.

U = uitstekend; G = goed; V = voldoende; T = twijfelachtig; O = onvoldoende

	U	G	V	T	O
Inzicht			V		
Systematische aanpak	U				
Kwaliteit gegevensverzameling		G			
Kwaliteit (tussen)rapportage		G			
Theoretische kennis			V		
Praktisch inzicht			V		
Nauwkeurigheid/zorgvuldigheid	U				
Houding en optreden			V		
Zelfstandigheid			V		
Werktempo		G			
Totale beoordeling					

Toelichting:

- Zoekt alles gedetailleerd uit en gaat heel systematisch en nauwkeurig te werk.
- Vanwege het gebrek van beschikbare documentatie binnen RWS, was de opdracht zeker niet makkelijk. Af en toe mist het technisch inzicht, maar dat komt in de loop der tijd zeker goed.
- Harde werker en een prettige collega om mee samen te werken

B Beoordeling vanuit het competentieprofiel

De Haagse Hogeschool werkt, vanaf september 2015, met het landelijke competentieprofiel Bachelor of Engineering. De student heeft in het Plan van aanpak beschreven welke competenties van toepassing zijn op dit afstudeertraject (Professionaliseren verplicht + minimaal 2 andere competenties)

Het opleidingsprofiel kent de volgende competenties:

1. Analyseren	5. Managen
2. Ontwerpen	6. Adviseren
3. Realiseren	7. Onderzoeken
4. Beheren	8. Professionaliseren

U = uitstekend; G = goed; V = voldoende; T = twijfelachtig; O = onvoldoende

	U	G	V	T	O
Professionaliseren:			V		
Onderzoeken:		G			
Analyseren:			V		
Adviseren:		G			

Toelichting:

Adviseren: heeft d.m.v. de interviews met de stakeholders laten zien de complexe klant- en ON behoefte te kunnen vertalen naar een haalbaar onderhoudsconcept.

Onderzoeken: moest door de gebrekkige voorhanden zijnde documentatie veel literatuur onderzoek doen om de juiste informatie boven water te krijgen. Dit heeft de opdracht zeker niet makkelijk gemaakt. Al met al een prima eindresultaat! Ditzelfde geldt voor het analyseren.

Professionaliseren: stelt zich flexibel op en houdt het resultaat goed voor ogen. Zelfstandigheid kan nog verbeteren, maar is hierin gedurende de afstudeerperiode zeker in gegroeid. Is ook niet altijd even makkelijk in de complexe RWS organisatie.

C Geef een eindoordeel in de vorm van een cijfer (1-10), af te ronden op 0,5

Eindoordeel	Cijfer: 8	Toelichting: Prima eindresultaat. Zeer bruikbare adviezen voor RWS
-------------	--------------	---

D Ondertekening

Naam: Ron van der Voorn	Handtekening: 	Datum: 3-12-2019
--------------------------------	--	---------------------

Bijlage 2: Competentieprofielen

1. BoE domeincompetentie Analyseren (minimaal niveau eind major W: 3) (toelichting: deze omschrijving komt uit de Bachelor of Engineering (BoE))

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.

Competentie Werktuigbouwkunde: Analyseren

Competentie-niveaus			
Toelichting op deze tabel	Deze competentieniveaus zijn vastgesteld in de Bachelor of Engineering.		
	Competentie-niveau 1	Competentie-niveau 2	Competentie-niveau 3
Competentie-omschrijving	Analyseren van simpele werktuigbouwkundige functies	Analyseren van lastige WB functies	Analyseren van complexe werktuigbouwkundige functies
Niveau-omschrijving	Aard van de taak: eenvoudig, gestructureerd, past bekende methoden direct toe volgens vaststaande normen Aard van de context: bekend; eenvoudig, monodisciplinair Mate van zelfstandigheid: sturende begeleiding	Aard van de taak: complex, gestructureerd, past bekende methoden aan wisselende situaties aan Aard van de context: bekend; complex, monodisciplinair, in de praktijk onder begeleiding Mate van zelfstandigheid: Begeleiding indien nodig	Aard van de taak: complex, ongestructureerd, verbetert methoden en past normen aan de situaties aan Aard van de context: onbekend; complex, multidisciplinair in de praktijk Mate van zelfstandigheid: zelfstandig
Eisen m.b.t. de leertaken (BoE: gedragskenmerken)			
Toelichting op deze tabel	Omdat de domeincompetentie hierboven zo breed geformuleerd is, is deze hieronder opgesplitst in meerdere deelcompetenties. De onderwijsmakers kunnen aan de hand van deze tabel werktuigbouwkundige leertaken ontwerpen. Elke cel correspondeert met één leertaak.		
Toelichting	Deelcompetentie-niveau 1	Deelcompetentie-niveau 2	Deelcompetentie-niveau 3
Deelcompetentie 1a	Begeleid en gestructureerd selecteren van relevante, eenvoudige en bekende aspecten met betrekking tot een simpele vraagstelling	Indien nodig onder begeleiding gestructureerd selecteren van relevante complexe en bekende aspecten met betrekking tot een lastige vraagstelling	Zelfstandig selecteren van relevante complexe en onbekende aspecten uit een ongestructureerde context met betrekking tot de complexe vraagstelling
Deelcompetentie 1b	Begeleid aangeven wat de mogelijke invloed is op eenvoudige en bekende bedrijfseconomische, maatschappelijke en vakgebied gerelateerde aspecten	Indien nodig onder begeleiding gestructureerd aangeven wat de mogelijke invloed is op complexe en bekende bedrijfseconomische, maatschappelijke en vakgebied gerelateerde aspecten	Zelfstandig aangeven wat de mogelijke invloed is op complexe en onbekende bedrijfseconomische, maatschappelijke en vakgebied gerelateerde aspecten in een multidisciplinaire context
Deelcompetentie 1c	Begeleid formuleren van een heldere probleemstelling, doelstelling en opdracht aan de hand van simpele wensen van de klant	Indien nodig onder begeleiding formuleren van een heldere probleemstelling, doelstelling en opdracht aan de hand van bekende, complexe en gestructureerde wensen van de klant	Zelfstandig formuleren van een heldere probleemstelling, doelstelling en opdracht aan de hand van onbekende, complexe en ongestructureerde wensen van de klant in een multidisciplinaire context
Deelcompetentie 1d	Begeleid opstellen van een eenvoudig programma van (bekende technische & niet-technische) eisen voor een bekend probleem en dit vast kunnen leggen	Indien nodig onder begeleiding opstellen van programma van (bekende en complexe technische & niet-technische) eisen en dit vast kunnen leggen	Zelfstandig opstellen van een programma van (onbekende en complexe technische & niet-technische) eisen in een multidisciplinaire context en dit vast kunnen leggen
Deelcompetentie 1e	Begeleid modelleren van een bestaand eenvoudig product, proces of dienst	Indien nodig onder begeleiding modelleren van een bestaand bekend(e) en complex(e) product, proces of dienst	Zelfstandig modelleren van een bestaand onbekend(e) en complex(e) product, proces of dienst in een multidisciplinaire context

6. BoE domeincompetentie Adviseren (minimaal niveau eind major W: 2)

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.

Competentie Werktuigbouwkunde: Adviseren

	Competentie-niveau 1	Competentie-niveau 2	Competentie-niveau 3
Competentie-omschrijving	Adviseren over simpele werktuigbouwkundige projecten	Adviseren over lastige WB projecten	Adviseren over complexe werktuigbouwkundige projecten
Niveau-omschrijving	I Aard van de taak: eenvoudig, gestructureerd, past bekende methoden direct toe volgens vaststaande normen Aard van de context: bekend; eenvoudig, monodisciplinair Mate van zelfstandigheid: sturende begeleiding	II Aard van de taak: complex, gestructureerd, past bekende methoden aan wisselende situaties aan Aard van de context: bekend; complex, monodisciplinair, in de praktijk onder begeleiding Mate van zelfstandigheid: Begeleiding indien nodig	III Aard van de taak: complex, ongestructureerd, verbetert methoden en past normen aan de situaties aan Aard van de context: onbekend; complex, multidisciplinair in de praktijk Mate van zelfstandigheid: zelfstandig
	Deelcompetentie-niveau 1	Deelcompetentie-niveau 2	Deelcompetentie-niveau 3
6a	Zich begeleid inleven in de eenvoudige positie van de (interne of externe) klant	Indien nodig zich begeleid inleven in de bekende en complexe positie van de (interne of externe) klant	Zich zelfstandig inleven in de onbekende en complexe positie van de (interne of externe) klant in een multidisciplinaire omgeving
6b	Begeleid verhelderen van de eenvoudige behoefte van de opdrachtgever	Indien nodig onder begeleiding verhelderen van de bekende en complexe behoefte van de opdrachtgever	Zelfstandig verhelderen van de onbekende en complexe behoefte van de opdrachtgever in een multidisciplinaire omgeving
6c	Begeleid in overleg met relevante partijen de eenvoudige klantbehoefte vertalen naar technisch & economisch haalbare oplossingen	Indien nodig onder begeleiding in overleg met relevante partijen de bekende en complexe klantbehoefte vertalen naar technisch & economisch haalbare oplossingen	Zelfstandig in overleg met relevante partijen de onbekende en complexe klantbehoefte vertalen naar technisch & economisch haalbare oplossingen in een multidisciplinaire omgeving
6d	Begeleid kunnen onderbouwen van een eenvoudig advies en de klant hiervan overtuigen	Indien nodig onder begeleiding kunnen onderbouwen van een bekend en complex advies en de klant hiervan overtuigen	Zelfstandig kunnen onderbouwen van een onbekend en complex advies en de klant hiervan overtuigen in een multidisciplinaire omgeving
6e	Begeleid eenvoudige relaties met klanten op een adequate wijze onderhouden	Indien nodig onder begeleiding bekende en complexe relaties met klanten op een adequate wijze onderhouden	Zelfstandig onbekende en complexe relaties met klanten op een adequate wijze onderhouden in een multidisciplinaire context

7. BoE domeincompetentie: Onderzoeken (minimaal niveau eind major W: 2, gewenst i.v.m. landelijke eisen: 3)

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.

Competentie Werktuigbouwkunde: Onderzoeken

	Competentie-niveau 1	Competentie-niveau 2	Competentie-niveau 3
Competentie-omschrijving	Onderzoeken van simpele werktuigbouwkundige functies	Onderzoeken van lastige WB functies	Onderzoeken van complexe werktuigbouwkundige functies
Niveau-omschrijving	I Aard van de taak: eenvoudig, gestructureerd, past bekende methoden direct toe volgens vaststaande normen Aard van de context: bekend; eenvoudig, monodisciplinair Mate van zelfstandigheid: sturende begeleiding	II Aard van de taak: complex, gestructureerd, past bekende methoden aan wisselende situaties aan Aard van de context: bekend; complex, monodisciplinair, in de praktijk onder begeleiding Mate van zelfstandigheid: Begeleiding indien nodig	III Aard van de taak: complex, ongestructureerd, verbetert methoden en past normen aan de situaties aan Aard van de context: onbekend; complex, multidisciplinair in de praktijk Mate van zelfstandigheid: zelfstandig
	Deelcompetentie-niveau 1	Deelcompetentie-niveau 2	Deelcompetentie-niveau 3
7a	Begeleid de doelstellingen van een gewenst onderzoek vanuit de eenvoudige vraagstelling opstellen	Indien nodig onder begeleiding de doelstellingen van een gewenst onderzoek vanuit de bekende en complexe vraagstelling opstellen	Zelfstandig de doelstellingen van een gewenst onderzoek vanuit de onbekende en complexe vraagstelling opstellen in een multidisciplinaire context
7b	Begeleid (wetenschappelijke) literatuur en eigen / andere informatiebronnen selecteren en verkrijgen om zich verder in de eenvoudige vraagstelling te verdiepen, daarbij de betrouwbaarheid van de verschillende informatiebronnen kunnen valideren	Indien nodig onder begeleiding (wetenschappelijke) literatuur en eigen / andere informatiebronnen selecteren en verkrijgen om zich verder in de bekende en complexe vraagstelling te verdiepen, daarbij de betrouwbaarheid van de verschillende informatiebronnen kunnen valideren	Zelfstandig (wetenschappelijke) literatuur en eigen / andere informatiebronnen selecteren en verkrijgen om zich verder in de onbekende en complexe vraagstelling te verdiepen, daarbij de betrouwbaarheid van de verschillende informatiebronnen kunnen valideren in een multidisciplinaire context
7c	Begeleid de resultaten samenvatten, structureren en interpreteren en conclusies trekken in relatie tot de eenvoudige onderzoeksvraag	Indien nodig onder begeleiding de resultaten samenvatten, structureren en interpreteren en conclusies trekken in relatie tot de bekende en complexe onderzoeksvraag	Zelfstandig de resultaten samenvatten, structureren en interpreteren en conclusies trekken in relatie tot de onbekende en complexe onderzoeksvraag in een multidisciplinaire context
7d	Begeleid eenvoudige resultaten te rapporteren volgens de in het werkveld geldende standaard	Indien nodig onder begeleiding bekende en complexe resultaten te rapporteren volgens de in het werkveld geldende standaard	Zelfstandig onbekende en complexe resultaten te rapporteren volgens de in het werkveld geldende standaard in een multidisciplinaire context
7e	Begeleid op basis van de verkregen resultaten de gekozen eenvoudige aanpak kritisch evalueren en aanbevelingen te doen voor vervolgonderzoek	Indien nodig onder begeleiding op basis van de verkregen resultaten de gekozen bekende en complexe aanpak kritisch evalueren en aanbevelingen te doen voor vervolgonderzoek	Op basis van de verkregen resultaten de gekozen onbekende en complexe aanpak kritisch evalueren en aanbevelingen te doen voor vervolgonderzoek in een multidisciplinaire context

8.BoE domeincompetentie: Professionaliseren (minimaal niveau eind major W: 2, afstuderen: 3)

Het zich eigen maken en bijhouden van vaardigheden die benodigd zijn om de engineering competenties 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.

Competentie Werktuigbouwkunde: Professionaliseren

	Competentie-niveau 1	Competentie-niveau 2	Competentie-niveau 3
Competentie-omschrijving	Ontwikkelen van simpele vaardigheden nodig in het werktuigbouwkundige werkveld	Ontwikkelen van lastige vaardigheden nodig in het werktuigbouwkundige werkveld	Ontwikkelen van complexe vaardigheden nodig in het werktuigbouwkundige werkveld
Niveau-omschrijving	I Aard van de taak: eenvoudig, gestructureerd, past bekende methoden direct toe volgens vaststaande normen Aard van de context: bekend; eenvoudig, monodisciplinair Mate van zelfstandigheid: sturende begeleiding	II Aard van de taak: complex, gestructureerd, past bekende methoden aan wisselende situaties aan Aard van de context: bekend; complex, monodisciplinair, in de praktijk onder begeleiding Mate van zelfstandigheid: Begeleiding indien nodig	III Aard van de taak: complex, ongestructureerd, verbetert methoden en past normen aan de situaties aan Aard van de context: onbekend; complex, multidisciplinair in de praktijk Mate van zelfstandigheid: zelfstandig
	Deelcompetentie-niveau 1	Deelcompetentie-niveau 2	Deelcompetentie-niveau 3
8a	Begeleid een eenvoudig leerdoel en leerstrategie bepalen en uitvoeren en het resultaat terugkoppelen naar het leerdoel	Indien nodig onder begeleiding een bekend en complex leerdoel en leerstrategie bepalen en uitvoeren en het resultaat terugkoppelen naar het leerdoel	Op zelfstandige wijze een onbekend en complex leerdoel en leerstrategie bepalen en uitvoeren in een multidisciplinaire context en het resultaat terugkoppelen naar het leerdoel
8b	Zich begeleid flexibel opstellen in uiteenlopende eenvoudige beroepssituaties	Zich indien nodig onder begeleiding flexibel opstellen in uiteenlopende bekende en complexe beroepssituaties	Zich zelfstandig flexibel opstellen in uiteenlopende onbekende en complexe beroepssituaties in een multidisciplinaire context
8c	Bij eenvoudige beroepsmatige en ethische dilemma's begeleid een afweging maken en een besluit nemen, rekening houdend met geaccepteerde normen en waarden	Bij bekende en complexe beroepsmatige en ethische dilemma's indien nodig onder begeleiding een afweging maken en een besluit nemen, rekening houdend met geaccepteerde normen en waarden	Bij onbekende en complexe beroepsmatige en ethische dilemma's een afweging maken en een besluit nemen, rekening houdend met geaccepteerde normen en waarden in een multidisciplinaire context
8d	Op constructieve wijze begeleid eenvoudige feedback kunnen geven en ontvangen, zowel op gedrag als inhoud	Op constructieve wijze indien nodig onder begeleiding bekende en complexe feedback kunnen geven en ontvangen, zowel op gedrag als inhoud	Op constructieve wijze zelfstandig onbekende en complexe feedback kunnen geven en ontvangen, zowel op gedrag als inhoud in een multidisciplinaire context
8e	Begeleid kunnen reflecteren op eigen eenvoudig(e) handelen, denken en resultaten	Begeleid kunnen reflecteren op eigen bekend(e) en complexe handelen, denken en resultaten	Zelfstandig kunnen reflecteren op eigen onbekende en complexe handelen, denken en resultaten in een multidisciplinaire context
8f	Begeleid kunnen gebruiken van diverse eenvoudige communicatievormen en -middelen om effectief te kunnen communiceren in het Nederlands en Engels.	Indien nodig onder begeleiding kunnen gebruiken van diverse bekende en complexe communicatievormen en -middelen om effectief te kunnen communiceren in het Nederlands en Engels.	Zelfstandig kunnen gebruiken van diverse onbekende en complexe communicatievormen en -middelen om effectief te kunnen communiceren in het Nederlands en Engels in een multidisciplinaire context

Bijlage 3: Het fotoverslag

In het onderstaande figuur is een overzicht van de mechanische aandrijflijn te zien.



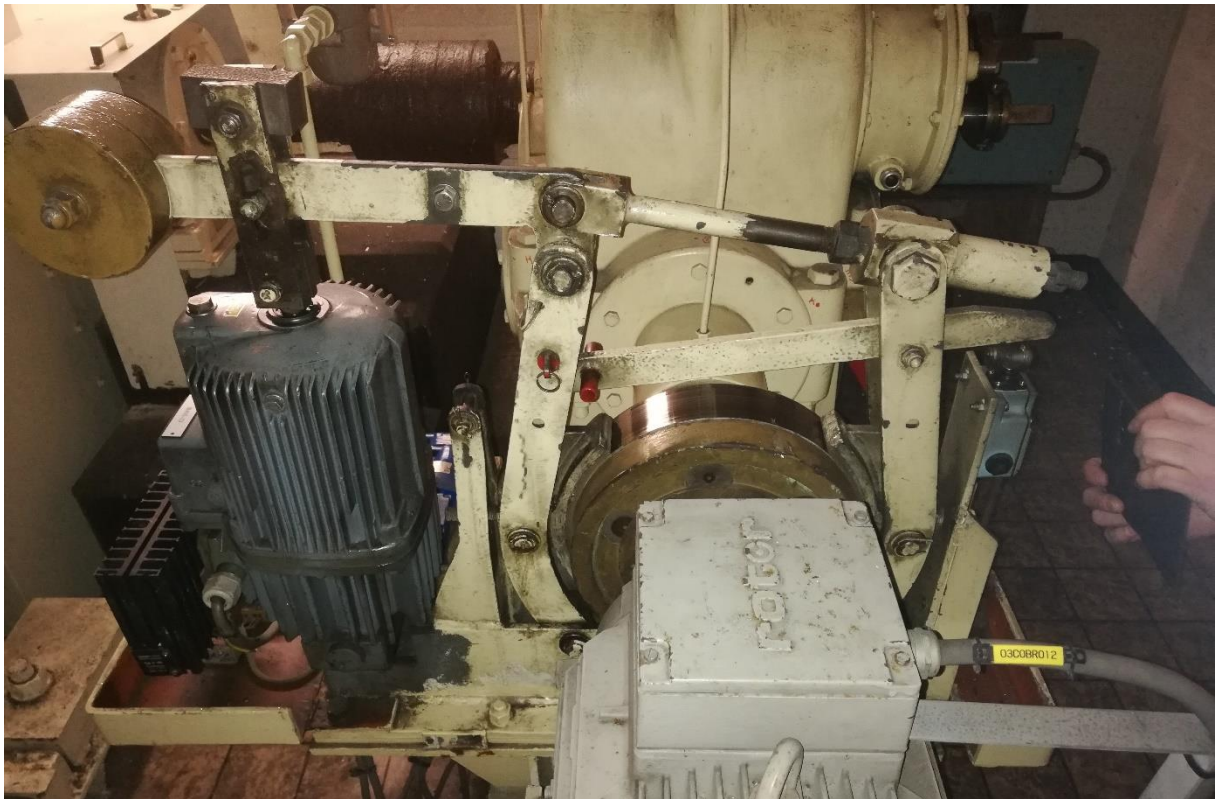
Figuur B3.1: Overzicht mechanische aandrijflijn.

In het volgende figuur is de elektromotor weergegeven.



Figuur B3.2: Foto Elektromotor.

Hieronder zijn twee foto's te zien, de bovenste is van de reminstallatie en de onderste is de kap van de reminstallatie. De reminstallatie is een blokkenrem en bevat een thruster, remschoenen, remtrommel, hefboommechanisme en een rolschakelaar. De remtrommel functioneert tevens ook als een koppeling tussen de elektromotor en tandwielkast.



Figuur B3.3: Foto reminstallatie.



Figuur B3.4: Foto kap reminstallatie.

Hieronder is de tandwielkast te zien. Bij de tandwielkast horen ook de tandwielpomp, de oliefilter en de met glycerine gevulde manometer. Op de tweede afbeelding is de “achterkant” van de tandwielkast te zien, hier zit een spileindschakelaar aan vast om de stand van de laatste as te bepalen.



Figuur B3.5: Foto tandwielkast.



Figuur B3.6: Foto achterkant tandwielkast met spileindschakelaar.

Op deze pagina zijn de OK koppeling en het rondsel te zien. De OK koppeling is te zien in de bovenste foto, hier is duidelijk te zien dat er densoband om de OK koppeling heen zit. Bij de foto van het rondsel zijn de twee steunlagers ook zichtbaar.



Figuur B3.7: Foto OK koppeling.



Figuur B3.8: Foto rondsel met steunlagers.

Op de foto's van deze pagina zijn de rondselkap en spileindschakelaar van het rondsel op de eerste afbeelding te zien en de panamawielschakelaars op de tweede afbeelding.



Figuur B3.9: Foto rondselkap en spileindschakelaar.



Figuur B3.10: Foto panamawielschakelaars.

Op de eerste foto van deze pagina is het panamawiel met de steunlagers te zien, aan de andere kant van de foto zit uiteraard ook een steunlager. Op de tweede afbeelding is de trek- en duwstang te zien, deze zit met een draaipunt beneden vast aan het panamawiel en boven aan de ballastkist.



Figuur B3.11: Foto panamawiel.



Figuur B3.12: Foto trek- en duwstang.

Op deze pagina is de laatste foto van het verslag te zien, dit is één van de acht hoofddraaipunten. Het zijn er vier per weghelft.



Figuur B3.13: Foto hoofddraaipunt.

Bijlage 4: De Elektromotor

Algemeen

Hieronder is een tabel met een aantal eigenschappen van de elektromotor.

Tabel B4.1: Gegevens elektromotor. Bron: Conditiemetingen Aandrijvingen Coenbrug. (2018).

Merk	Type	Nr.	Vermogen (kW)	TPM	Lager aandrijfzijde	Lager waaierzijde
Rotor	5RN160 2Z C3	9110111	11	955	6309 2Z C3	6209 2Z C3

Voor het stroomverbruik bij de elektromotor geldt:

$$P = U \cdot I$$

Tabel B4.2: Symbolen, eenheden en waarden voor het berekenen van het stroomverbruik.

Symbool	Eenheid	Waarde
P	W	11.000
U	V	400
I	A	Te berekenen

$$11.000 = 400 \cdot I$$

$$11.000/400 = I$$

$$I = 27,5 \text{ A}$$

Het gaat hierbij om een 3-fase elektromotor en dit geeft een maximum waarde van $27,5 \cdot 3 = 82,5 \text{ A}$.

Zoals te zien in tabel B4.1 zijn er twee gesloten kogellagers in de elektromotor. De specificaties van deze kogellagers zijn in tabel B4.3 weergegeven.

Tabel B4.3: Gegevens kogellagers. Opgehaald van: <https://shop.eriks.nl>

Type lager	Binnen diameter (mm)	Buiten diameter (mm)	Breedte (mm)
6309 2Z C3	45	100	25
6209 2Z C3	45	85	19

De elektromotor is een asynchrone wisselstroom motor. Dit type elektromotor wordt sinds juni 2011 niet meer gemaakt. De opvolger van deze motor is de 6RN. Volgens de leverancier is de genormaliseerde levensduur van de isolatiematerialen tussen de 20.000 tot 25.000 uur en de aangegeven levensduur in jaren is hierbij 15. Om deze levensduur te behalen is een nauwkeurige uitlijning nodig. Dit verhoogt o.a. de levensduur van de lagers. Rotor, de leverancier, geeft aan dat het belangrijk is om de lagers van het type 2Z iedere vier jaar te vervangen. Het algemene onderhoud wat Rotor aangeeft is (Rotor, 2015):

1. Schoonmaken oppervlak en koellucht openingen.
2. Tijdige nasmering c.q. vervanging van de lagers. Bij deze elektromotor zijn het dichte lagers, hierbij gaat het dus om het vervangen van de lagers.

Aangezien de elektromotor in de Coenbrug niet aan de 100 draaiuren per jaar komt is het een volledig andere situatie dan gewoonlijk. De ruimte (brugkelder) is niet geconditioneerd. Dit

veroorzaakt condensatie en ook wordt de motor nooit warm. Dit beïnvloedt de vetlevensduur in de lagers negatief. Of het weinig draaiuren alleen positieve effecten heeft of ook negatieve is onduidelijk. Dit is omdat er binnen Rijkswaterstaat weinig informatie beschikbaar is over de staat van de elektromotor over voorgaande jaren. Het is met de informatie van de leverancier dus lastig in te schatten wat de staat van de lagers zal zijn na bijvoorbeeld vier jaar.

Montage

De as van de elektromotor zit in de koppeling met een H7 passing. De as zelf heeft een h7 passing; hierbij zijn de toelaatbare afmetingen tussen 39,975 en 40 mm. De uitlijntoleranties tussen het deel van de koppeling waar de tandwielkast op zit en het deel waar de elektromotor op zit mag maximaal een afwijking van $\pm 0,05$ mm hebben. Het eerste wat er moet worden gedaan om de toleranties te kunnen behalen is het vinden en elimineren van de soft-foot. (NEN, 2010; Hollandia, 1999; Bierens, 1999)

De redenen voor het uitlijnen bij de elektromotor zijn het verlengen van de lagerlevensduur en afdichtingslevensduur. Ook zorgt het voor een lager energieverbruik en beperkt het geluid en trillingen. Uiteindelijk verhoogt dit de beschikbaarheidsgraad van de installatie. (PRUFTECHNIK, 2010)

Het elimineren van de soft-foot is belangrijk om spanningen in het metaal te voorkomen die kunnen leiden tot vervormingen van de stator. Hierdoor wordt de stator namelijk ovaal, waardoor het magnetische veld van de elektromotor vervormd raakt. Deze vervorming in het magnetische veld zorgt voor een oneenparige beweging van de rotor; dit veroorzaakt slaan van de vertanding in de tandwielkast. Deze schade kan dan ontstaan in de lagers van zowel de elektromotor zelf en de tandwielkast. (Spie, 2018)

Uiteraard is het ook belangrijk om op te letten tijdens het eerste gebruik. Indien er vreemde geluiden of verbrandingslucht van de elektromotor afkomen kan dit een indicatie zijn van zowel een fout in het product of de montage ervan.

In hoofdstuk 3.4 over de uitlijning zijn duidelijke instructies gegeven voor het correct uitlijnen van de elektromotor.

Risicomatrix

Bij de elektromotor gaat het om de afwijkingen:

- A. Overmatige slijtage aan de kogellagers
- B. Kortsluiting
- C. Falen ventilator

In tabel B4.4 is de invulling van de afwijkingen zonder onderhoud gegeven en in tabel B4.5 is de invulling gegeven met toereikend onderhoud. Bij de tweede onderbouwing worden de kans en de ernst van de gevolgen toegelicht. De eerste onderbouwing geeft alleen kort aan of onderhoud voor de betreffende afwijking invloed heeft op de kans van optreden.

Tabel B4.4: Risicomatrix geen onderhoud Elektromotor.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1) C.	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2)	(4)	(6)
3 - Kritisch	(3) A.	(6)	(9)
4 - Catastrofaal	(4) B.	(8)	(12)

Onderbouwing van plaatsing van de afwijkingen zonder onderhoud:

- A. De elektromotor heeft dichte kogellagers. Het is daarom niet mogelijk na te smeren. Dit zorgt ervoor dat de levensduur van kogellagers met en zonder onderhoud identiek is. Wel heeft het impact op de levensduur van de elektromotor, omdat de kogellagers vaak voor de elektromotor zelf vervangen moeten worden. Indien dit niet gebeurt zal de lagerschade gevolgen hebben voor de elektromotor, zoals onbalans in de rotor.
- B. Ook voor kortsluiting zit er geen verschil tussen geen of wel onderhoud, in theorie moet de elektromotor tien jaar zonder kortsluiting kunnen functioneren. Om er zeker van te zijn dat dit in praktijk ook gebeurt is het belangrijk hiervoor een onderhoudstaak in te plannen.
- C. Het falen van de ventilator heeft in theorie ook dezelfde kans op voorkomen bij toereikend onderhoud.

Tabel B4.5: Risicomatrix toereikend onderhoud Elektromotor.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1) C.	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2)	(4)	(6)
3 - Kritisch	(3) A.	(6)	(9)
4 - Catastrofaal	(4) B.	(8)	(12)

Onderbouwing van plaatsing van de afwijkingen met toereikend onderhoud:

- A. Indien deze afwijking voor komt dan kan de installatie nog functioneren, alleen niet naar behoren. De leverancier geeft aan dat onder normale omstandigheden de kogellagers om de 4 jaar, of te wel 20000 draaiuren, vervangen moeten worden. Aangezien de elektromotor van de brug extreem weinig draait in relatie tot een gemiddelde elektromotor, is uit ervaring te bepalen dat de kogellagers na 10 jaar afwijkingen beginnen te vertonen. Toch blijft dit moeilijk vast te stellen en is het hierom belangrijk trillingsmetingen uit te voeren om de staat van de kogellagers te achterhalen.
- B. Indien deze afwijking voorkomt zal de gehele installatie niet kunnen functioneren. Kortsluiting kan door verschillende oorzaken komen. Eén van deze oorzaken zou kunnen zijn dat het isolatiemateriaal van de elektromotor niet genoeg weerstand meer heeft waardoor er kortsluiting ontstaat. Dit is te voorkomen door voldoende (jaarlijks) de isolatieweerstand te meten(meggeren).
- C. Het falen van de ventilator heeft tot gevolg dat de motor warmloopt. Verder heeft dit geen directe negatieve gevolgen. Het falen van de ventilator zal bijna nooit voorkomen en kan dus op het maximale van één keer in de 10 jaar worden gezet.

Uit het onderzoek en de risicoanalyse blijkt dat het onderhoud op de elektromotor een lage impact op de functionaliteit en levensduur heeft. In de praktijk gaat het vaak anders dan in de theorie. Dit komt bijvoorbeeld door de externe factoren en invloeden van andere componenten in de installatie. Dit zijn allemaal variabelen waar in de theorie er nu alleen een inschatting van kan worden gemaakt. Hierdoor blijft het toch verstandig standaard controles en inspecties in te plannen om de afwijkingen te voorkomen. Na het goed documenteren van de metingen en inspecties kunnen er trendanalyses gemaakt worden vanuit waar deze inschattingen dichterbij de realiteit komen.

Onderhoud

Het onderhoud van de reminstallatie zal bestaan uit:

- Inspecties: Jaarlijkse visuele inspecties.
- TAO: Jaarlijks de isolatieweerstand en het energieverbruik meten. 6-maandelijkse trillingsmetingen.

Het uitvoeren van de standaard jaarlijkse inspectie dient om te controleren of alles er nog naar behoren uitziet. Hierbij moet ook worden gelet op vreemde geluiden en geuren vanuit de elektromotor.

Verder is het nodig om jaarlijks de isolatieweerstand te meten om er zeker van te zijn dat het isolatiemateriaal nog genoeg weerstand heeft. Dit vermindert de kans op kortsluiting van de elektromotor.

Het energieverbruik meten is een methode om te achterhalen of er schade in de installatie zit. Hierbij gaat het om het meten van het stroomverbruik, wat neer komt op 82,5 Ampère. Bij de meting is er sprake van een afwijking als het boven dit getal uitkomt.

De belangrijkste componenten zijn de kogellagers, aangezien deze meestal als eerste zullen falen in een elektromotor. Zoals eerder genoemd gaat het hierbij om gesloten kogellagers, dus nasmeren is geen optie.

Voor de slijtage van de kogellagers is het mogelijk om een levensduurberekening te maken voor het vet ervan. Voor deze berekening wordt de formule en methode van GFT gebruikt; geleverd door Brammer. Hieronder zijn de resultaten en toelichting gegeven voor deze berekening.

Formule gemodificeerde levensduur:

$$F10_q = F10 \cdot K_n \cdot (1/K_f) \cdot F1 \cdot F2 \cdot F3 \cdot F4 \cdot F5 \cdot F6$$

$F10_q$ = Gemodificeerde levensduur

$F10$ = Standaard levensduur

K_n = aflezen uit figuur B4.1 van de berekende $(dm \cdot n)$

n = toerental = 955

dm = $(\text{buiten diameter} + \text{binnen diameter})/2$

K_f = Lagersoort, voor kogellagers is dit standaard 1

$F1$ = Invloed stof en vocht (Matig: 0,7 tot 0,9 – Sterk: 0,4 tot 0,7 – Zeer sterk: 0,1 – 0,4)

$F2$ = Invloed stootbelastingen, trillingen en onbalans (Matig: 0,7 tot 0,9 – Sterk: 0,4 tot 0,7 – Zeer sterk: 0,1 – 0,4)

$F3$ = Invloed zware of hoge belastingen ($C/P = 6$ tot 10 : 1,0 tot 0,7 – $C/P = 4$ tot 6 : 0,7 tot 0,4 – $C/P = 3$ tot 4 : 0,4 tot 0,1)

$F4$ = Invloed luchtstroming door het lager (Geringe stroming: 0,7 tot 0,5 – Sterke stroming: 0,5 tot 0,1)

$F5$ = Draaiende buitenring belasting (0,6)

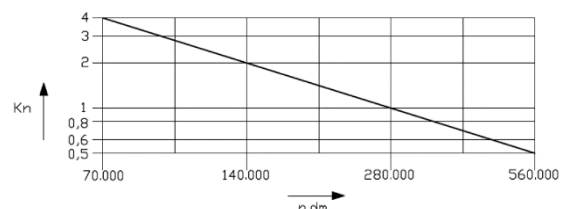
$F6$ = Verticale opstelling (Afdichtingsafhankelijk: 0,5 tot 0,7)

Bij beide kogellagers van de elektromotor hebben $F5$ en $F6$ geen invloed.

Voor de 6209 geldt: $(dm \cdot n) = [(45+85)/2] \cdot 955 \rightarrow (dm \cdot n) = 62075$

Voor de 6309 geldt: $(dm \cdot n) = [(45+100)/2] \cdot 955 \rightarrow (dm \cdot n) = 69238$

Aflezen in de grafiek, beide onder 70.000 en daarom is voor beide kogellagers $K_n = 4$.



Figuur B4.1: K_n waarde grafiek.

Bron: "Toerentalcorrectie factor" Brammer. (z.d.).

In tabel B4.6 zijn alle waardes van de beide kogellagers gegeven.

Tabel B4.6: Invulling formule vetlevensduur.

Symbool	6209	6309
F10	40.000 uur	40.000 uur
K_n	4	4
K_f	1	1
F1	0,4 – Slecht geconditioneerde ruimte	0,4 - Slecht geconditioneerde ruimte
F2	0,9 – Amper trillingen	0,7 – Redelijke trillingen
F3	1 – Zeer lage belasting	0,7 – Redelijke belasting
F4	0,7 – Geringe stroming van ventilator	1 – Geen stroming

Berekenen levensduur vet kogellagers:

$$40000 \cdot 4 \cdot (1/1) \cdot 0,4 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1 = 31360 \text{ draaiuur voor de 6309}$$

$$40000 \cdot 4 \cdot (1/1) \cdot 0,4 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,7 = 40320 \text{ draaiuur voor de 6209}$$

Dit aantal uren is onrealistisch in de situatie van de Coenbrug, aangezien het beperkt aantal draaiuren. Omdat de gegeven data waar dit op gebaseerd is niet compleet genoeg zijn, is het aan te bevelen om trillingsmetingen uit te voeren om de zes maanden om de staat van de kogellagers te achterhalen.

De reden hiervoor is om een trendanalyse op te kunnen stellen, zodat de degradatie van de kogellagers kan worden bepaald. Rijkswaterstaat heeft hier zelf geen documentatie over. Indien er geconstateerd wordt dat er binnen een half jaar weinig verandering optreedt, kan er voor gekozen worden om de frequentie te verlagen naar eens per jaar. Hieronder is de schadefrequentie gegeven voor de motorlagers. Alle overige gegevens voor de trillingsmeting zijn te vinden in hoofdstuk 3.4.

Tabel B4.7: Frequentieschade kogellagers. Opgehaald van: *Conditie metingen Aandrijvingen Coenbrug*. (2018).

Onderdeel	Binnenring (Hz)	Buitenring(Hz)	Kogel (Hz)	Kooi (Hz)
Motorlagers	82.6	50.6	65.1	6.3

Bijlage 5: De Reminstallatie

Algemeen

De reminstallatie is een blokkenrem en bestaat uit vijf belangrijke componenten:

- het hefboommechanisme;
- de thruster;
- het verwarmingselement van de thruster;
- de remschoenen;
- de remtrommel.

Bij deze reminstallatie is de remtrommel geïntegreerd met de (klauw)koppeling tussen de elektromotor en de tandwielkast. In de remtrommel zitten elastische elementen om te zorgen voor demping tijdens het gebruiken van de rem. Dit voorkomt schade op componenten in bijvoorbeeld de tandwielkast. Deze elastische elementen zijn gemaakt van het materiaal polyurethaan. Hieronder in figuur B5.1 is een foto van de reminstallatie te zien met een rolschakelaar links op de reminstallatie. Deze geeft een signaal door zodra de remschoenen van de remtrommel zijn, zodat de elektromotor kan draaien. (EFLEX, 2019)



Figuur B5.1: Foto reminstallatie.

Thruster

De thruster is een ELDRO Ed 50/6 van EMG. Hieronder in de tabel zijn de eigenschappen van de thruster weergegeven.

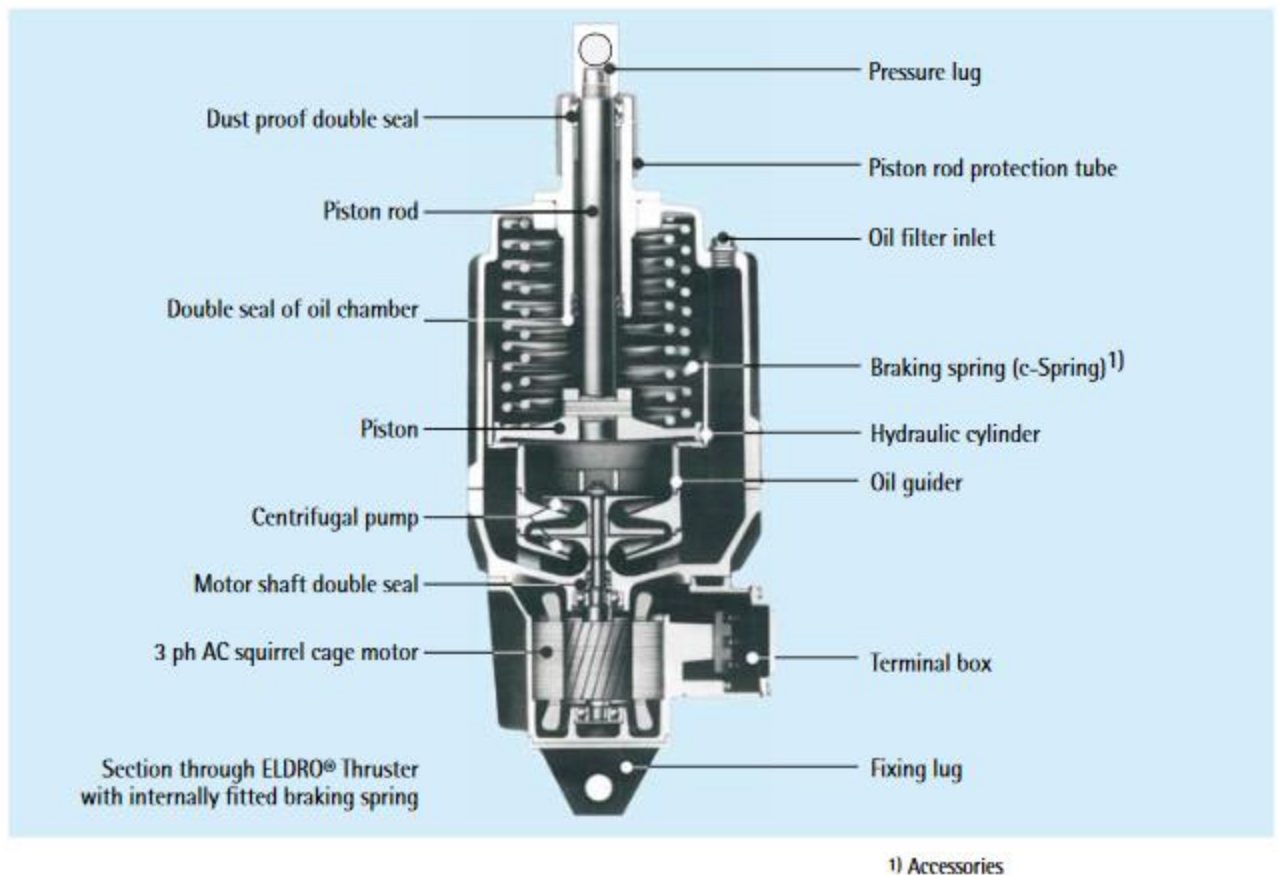
Tabel B5.1: Eigenschappen EMG Eldro Thrusters. Opgehaald van: <http://www.mgh.be/assets/pdf/MGH-EMG-Eldro-Catalogus.pdf>.

Characteristics

Technical Data

Type	Lifting force	Stroke	Thrust	Braking spring force (c-spring) ¹⁾	Power consumption ²⁾	Current consumption at 400 V/50 Hz ²⁾	Duty rating at S3 – 60% duty cycle ³⁾	Weight
	N	mm	N cm	N	W	A	c/h	kg
Short-stroke units								
Ed 23/5	220	50	1100	180	165	0.5	2000	10
Ed 30/5	300	50	1500	270	200	0.5	2000	14
Ed 50/6	500	60	3000	460	210	0.5	2000	23
Ed 80/6	800	60	4800	750	330	1.2	2000	24

In figuur B5.2 is een overzicht te zien van de componenten waaruit de thruster bestaat. Het type weergegeven op de afbeelding is niet van dezelfde grootte als de Ed 50/6 thruster, maar de componenten zijn hierbij wel hetzelfde.



Figuur B5.2: Weergave thruster. Opgehaald van: <http://www.mgh.be/assets/pdf/MGH-EMG-Eldro-Catalogus.pdf>

Het type hydraulische olie is bij de thrusters van EMG standaard Morlina 10; dit is van de klasse HL 10 DIN 51524. Het type Ed 50/6 bevat een volume van 4,2 liter hydraulische olie. Hierbij is het mogelijk om af te wijken naar andere soorten olie met de klasse HL 10 DIN 51524; tabel B5.2 is een overzicht hiervan. Alle lagers in de ELDRO thrusters zijn gesmeerd met het “long life” vet K-L-3 n volgens DIN 51825. (EMG, 2019)

Tabel B5.2: Gegevens olie. Bron: EMG, 2019.

Temperatuurbereik	-25 °C tot +50 °C	
	Benaming	Fabrikant
Originele olie	Morlina S2 BL10	SHELL
Alternatief	Vitam GF 10	ARAL
	Engerol HLP-D 10	BP
	HYSPIN VG 10	CASTROL
	Velocite olie No. 6	MOBIL
	EP Hydraulische olie 10	CHEVRON

Remkoppel en remschoenen

Er zijn geen duidelijke gegevens beschikbaar voor de remtrommel en remschoenen. Er zijn wel gegevens beschikbaar over het materiaalsoort van de beide componenten en de afmetingen. Voor de overige informatie worden er aannames gedaan op basis van metingen aan de reminstallatie van de Coenbrug. Het benodigde remkoppel wordt hiermee bepaald. Voor de reminstallatie zijn er metingen gedaan waaruit bleek dat de zuidelijke brughelft een remkoppel heeft van 161 Nm en de noordelijke brughelft een remkoppel van 423 Nm. Aangezien er een aanzienlijk groot verschil zit tussen beide brughelften, terwijl het om dezelfde reminstallatie gaat, is het aan te bevelen om een afkeurwaarde van minimaal 150 Nm aan te nemen. (Spie, 2018)

De metalen onderdelen van de remtrommel zijn gemaakt van het materiaal GJS-400 en de elastische elementen zijn van het materiaal polyurethaan. De leverancier van dezelfde soort koppeling als in de reminstallatie geeft aan dat de koppeling onderhoudsvrij is. De koppeling heeft geen specifiek onderhoud nodig; alleen het doorlopend controleren van de elastische elementen. Versleten elementen moeten worden vervangen met originele elementen, zodat de stijfheid en demping niet veranderen. De remschoenen zijn gemaakt van het materiaal Bremskerl 5387. (EFLEX, 2019; Bremskerl, 2012)

Montage

Thruster

Voor de installatie en inbedrijfstelling van de thruster is het belangrijk om aandacht te besteden aan de volgende punten (EMG, 2019):

- Een aantal zaken voor de installatie: Verplaats de thruster naar de plek van installatie door middel van hefwerktuigen → Vet de bouten licht in om passingroest te voorkomen → Borg de bouten met splitpennen tegen loskomen.
- Er wordt voldaan aan de toegestane spanning en frequentie toleranties ($V = \pm 10\%$ en $f = \pm 2\%$).
- De thruster is gevuld met de hydraulische olie volgens de gebruiksvoorwaarden en het model. Ook moet het tot het juiste niveau gevuld zijn.

Indien er een revisie of uitgebreid onderhoud nodig is moet de thruster opnieuw gevuld worden. Bij het ter plaatse bijvullen moet de thruster in verticale positie worden gevuld tot aan de overloopschroef. Voor het ontluchten om cavitatie te voorkomen moet de thruster een aantal slagen maken. Cavitatie kan behoorlijke schade veroorzaken. Bovendien wordt de functie van de thruster beïnvloed als er lucht in het systeem zit, want lucht is samendrukbaar en olie niet. Controleer vervolgens het oliepeil opnieuw en vul eventueel bij. Draai ten slotte de laadaansluiting en de overloopschroef vast. In figuur B5.3 is een illustratie van het oliepeil te zien.

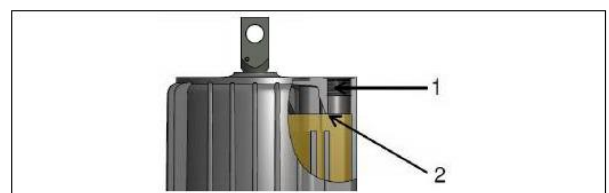


Figure 16: Fill level of operating liquid

- 1 Filler neck
- 2 Lower edge of filler neck (fill level for operating liquid)

Figuur B5.3: Weergave vulniveau. Bron: EMG. (2019).

Remtrommel

De remtrommel is een belangrijk component om binnen de gewenste toleranties uit te lijnen. Hierbij zijn de toleranties van de maximale afwijkingen tussen de koppeling en elektromotor en de koppeling en tandwielkast $\pm 0,05$ mm. Beide assen zitten in de koppeling met een H7 passing. De toelaatbare diameters voor het gat van de elektromotor as zit tussen 40 en 40,025 mm en het gat voor de tandwielkast as is dit tussen 45 en 45,025 mm. (Hollandia, 1999; NEN, 2010)

Buitenom de al genoemde toleranties zijn er twee andere toleranties die belangrijk zijn bij de koppeling. Voor het installeren van de koppeling moet de maximale axiale afstand tussen beide helften van de koppeling binnen een tolerantie van $\pm 1,25$ mm vallen. Ook mag de verdraaiing van de ene helft van de koppeling tegenover de andere helft van de koppeling niet meer dan 3° bedragen. Dit kan worden geïnspecteerd door beide koppeling helften te markeren en te controleren of er geen verplaatsing heeft plaats gevonden. (EFLEX, 2019)

Reminstallatie

In het algemeen is het belangrijk te controleren of de reminstallatie geen vreemde geluiden produceert en dat er geen visuele gebreken zijn. Ook is het belangrijk te controleren of de remschoenen voldoende speling hebben van de remtrommel tijdens het bewegen van de brug. De afstelwaarde hierbij is 0,2 mm. (Rijkswaterstaat, 2019)

Risicomatrix

De reminstallatie is een cruciaal installatiedeel van de mechanische aandrijflijn. Het zorgt er namelijk voor dat de brug in een open of gesloten toestand blijft. Ook functioneert de reminstallatie als noodrem indien nodig. De afwijkingen die voor kunnen komen na een correcte installatie en uitlijning van de reminstallatie zijn:

- A. Overmatige slijtage draaipunten.
- B. Overmatige slijtage remschoenen.
- C. Loskomen van de remvoering.
- D. Overmatige slijtage omtrek remtrommel.
- E. Overmatige slijtage elastisch element remtrommel.
- F. Falen thruster.
- G. Lekkage thruster.
- H. Falen verwarmingselement.
- I. Falen rolschakelaar.
- J. Verdraaiing flexibele koppeling.

In tabel B5.3 is de invulling van de afwijkingen zonder onderhoud gegeven en in tabel B5.4 is de invulling gegeven met toereikend onderhoud. Bij de tweede onderbouwing worden de kans en de ernst van de gevolgen toegelicht. De eerste onderbouwing geeft alleen kort aan of onderhoud voor de betreffende afwijking invloed heeft op de kans van optreden.

Tabel B5.3: Risicomatrix geen onderhoud Reminstallatie.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2) D.	(4) D, B, H.	(6)
3 - Kritisch	(3) C.	(6) A, J.	(9)
4 - Catastrofaal	(4) I.	(8) E, F, G.	(12)

Onderbouwing plaatsing van de afwijkingen bij geen onderhoud:

- A. Indien de draaipunten niet worden onderhouden is het te verwachten dat binnen 5 jaar de slijtage de functionaliteit van de installatie belemmert. Dit is bepaald op basis van werkervaring. Alle andere afwijkingen kunnen eerder voorkomen door het verslijten van de draaipunten; dit is met de beschikbare data lastig in te schatten.
- B. Het enige onderhoud aan de remschoenen is het vervangen ervan. Slijtage zal dus in theorie niet sneller gaan zonder onderhoud.
- C. Ook op het loskomen van de remvoering wordt geen onderhoud gedaan, maar dit moet wel doorlopend gecontroleerd worden.
- D. Voor de oppervlakte van de remtrommel kan er geen onderhoud worden gedefinieerd. Dit zal daarom worden gedaan op basis van vervanging en inspecties.
- E. De elastische elementen worden niet onderhouden maar vervangen, want ook hier heeft onderhoud geen invloed op de levensduur van één set elastische elementen.
- F. Doordat de thruster al redelijk oud is, namelijk 36 jaar, heeft het een verhoogde kans op falen. Hier heeft onderhoud geen invloed op.
- G. Het lekken van de thruster zou theoretisch even vaak voorkomen met en zonder onderhoud.
- H. Het verwarmingselement zelf heeft geen onderhoud wat de levensduur verlengt.
- I. De rolschakelaar heeft geen standaard onderhoud nodig, onderhoud heeft dus geen invloed op de kans.
- J. De kans voor het verdraaien van de koppeling zal toenemen bij het plegen van geen onderhoud. Dit hangt namelijk af van de eigenschappen van de elastische elementen. Standaard verminderen deze eigenschappen na 5 jaar.

Tabel B5.4: Risicomatrix toereikend onderhoud Reminstallatie.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2) D.	(4) D, B, H.	(6)
3 - Kritisch	(3) A, C, J.	(6)	(9)
4 - Catastrofaal	(4) I.	(8) E, F, G.	(12)

Onderbouwing van plaatsing van de afwijkingen bij toereikend onderhoud:

- A. De reminstallatie beweegt relatief weinig en hierdoor is de kans op slijtage bij de draaipunten laag. Het zal gemiddeld niet vaker dan eens in de 10 jaar voorkomen. Indien het wel voorkomt is er gelijk sprake van afname van de functionaliteit. Het kan voorkomen dat de draaibewegingen niet meer volledig kunnen worden gemaakt. Hierdoor zullen de remschoenen tijdens het bewegen van de brug nog enigszins contact maken met de remtrommel.
- B. Het materiaal van de remvoering is redelijk slijtagebestendig. Het vermoeden is dat de remschoenen strakker zijn ingesteld dan oorspronkelijk bedoeld is. Dit is gedaan zodat de benodigde kracht wordt uitgeoefend op de remtrommel, omdat er waarschijnlijk al slijtage is opgetreden. Dit is geen goede oplossing voor de slijtage. Het zou beter zijn om de remschoenen te vervangen bij een bepaalde waarde van afname in dikte. Voor de remvoering zal het rond 1 tot 5 jaar duren tot er vervanging nodig is. De slijtage heeft geen effect op de gehele installatie, maar alleen op de remschoenen en remtrommel zelf. (Bremskerl, 2012)

- C. De remvoering is aan de remschoenen verlijmd. Dit kan bezwijken doordat de lijm de adhesieve eigenschappen verliest. Dit kan resulteren in het gedeeltelijk of geheel wegvallen van het rem- of vasthoudkoppel.
- D. Het materiaal van de remtrommel is beter bestand tegen slijtage dan de remschoenen. Dit is ook voordelig aangezien het eenvoudiger is om de remschoenen te vervangen. De remtrommel die nu in de installatie zit is volledig glanzend door vele jaren gebruik. Hierdoor is het wel belangrijk jaarlijks oppervlakte inspecties uit te voeren. Door het gebrek aan data binnen Rijkswaterstaat en de variabele omstandigheden en invloeden is het lastig de levensduur van de remtrommel in te schatten. Slijtage op de omtrek van de remtrommel heeft geen direct effect op de functionaliteit van de gehele installatie. Het heeft alleen direct effect op de remschoenen en remtrommel. Bij het gebruik kan remstof vrijkomen wat in combinatie met vocht zich af zet op de remvoeringen. Dit leidt tot verglazing. Het oppervlak van de remvoering wordt daardoor harder en de wrijvingscoëfficiënt loopt terug. Indien dit de remwerking belemmert moet het vervangen worden. (Rijkswaterstaat, 2002)
- E. De elastische elementen zijn gemaakt van polyurethaan met een 92° Shore A hardheid. Dit is standaard bij het soort toepassing. De polyurethaan elementen worden in geremde toestand constant belast. Daarom is het verstandig deze om de 5 jaar te vervangen. Indien één element slijtage heeft is er geen direct probleem en heeft dit alleen effect op de remtrommel en de elementen zelf. Wel kan het zijn dat meerdere elementen falen; dit zou ervoor zorgen dat de gehele koppeling niet meer functioneert. (EFLEX, 2019)
- F. Het is verstandig om elke 5 jaar alles in de thruster te vervangen. Deze periode kan dus ook worden genomen voor de kans. Dit is belangrijk aangezien de thruster al 36 jaar oud is. Indien de thruster het begeeft resulteert dit in functieverlies van de brugbeweging. (EMG, 2019)
- G. Olielekkage zal gewoonlijk niet vaak voorkomen. Aangezien deze thruster al 36 jaar oud is neemt de kans hierop drastisch toe. Hierdoor is elke 5 jaar het optreden van de afwijking realistisch. Dit valt dit samen met de aanbevelingen vanuit de leverancier. Bij lekkage van de olie resulteert dit ook in functieverlies van de brugbeweging, wederom geeft dit het hoogste niveau qua ernst. (EMG, 2019)
- H. Het verwarmingselement is een extern component voor de thruster wat als functie heeft het opwarmen van de hydraulische olie. Dit zit niet standaard bij de thruster en is als een eis van RWS toegevoegd. Aangezien het verwarmingselement hoogstwaarschijnlijk even oud is als de thruster is de kans op het falen hiervan redelijk groot. Daarom is het ingedeeld bij de categorie van 1 tot 5 jaar. Indien de verwarming niet functioneert heeft dit negatief invloed op de viscositeit van de olie in de thruster. Dit veroorzaakt geen direct verlies van de functionaliteit.
- I. Op de reminstallatie zit een rolschakelaar om een signaal door te geven dat de remschoenen vrij staan ten opzichte van de remtrommel. Dit signaal is nodig voor het draaien van de elektromotor. Indien de rolschakelaar kapot is en een signaal geeft terwijl de rem niet los is geeft dit problemen voor de elektromotor. Het falen van de rolschakelaar kan ook betekenen dat er geen signaal wordt doorgegeven terwijl dit wel moet. Hierdoor zal de rem los gaan terwijl de elektromotor niet opstart; de brug kan niet open.
- J. Het verdraaien van de koppelingshelften ten opzichte van elkaar komt bij standaard gebruik van de mechanische aandrijflijn minder vaak dan eens in de 10 jaar voor. De verdraaiing kan ontstaan doordat de elastische elementen versleten of door overbelasting plastisch vervormd zijn.

Bij de reminstallatie heeft standaard onderhoud theoretisch alleen directe invloed op het voorkomen van de slijtage van de draaipunten. Bij draaipuntslijtage neemt de speling toe, waardoor de remschoenen verder van de trommel komen te staan en het remkoppel niet gehaald kan worden. De draaipuntslijtage heeft een negatieve invloed op de overige componenten; dit resulteert in een verkorte levensduur van de reminstallatie. Ook zal de levensduur anders verlopen door de externe factoren en invloeden van andere installatiedelen in de installatie. Omdat er veel variabele invloeden zijn bij het draaien van de installatie blijft het belangrijk om standaard controles en inspecties in te plannen om de afwijkingen te voorkomen.

Onderhoud

Het onderhoud van de reminstallatie zal bestaan uit:

- Inspecties: Verschillende soorten inspecties toegelicht in de tekst, jaarlijks en 2-maandelijks
- GAO: Elke 5 jaar de elastische elementen in de remtrommel vervangen en de thruster reviseren. 6-maandelijks draaipunten nasmeren.
- TAO: Jaarlijks remkoppel meten, druk- en trekkracht thruster meten, energieverbruik meten en isolatieweerstand thrustermotor meten. 6-maandelijks de remschoendikte meten.
- FT: Jaarlijks de rolschakelaar en noodrem testen.

Het merendeel van het onderhoud bij de reminstallatie komt neer op inspecties. Dit kan worden gedaan tijdens bijvoorbeeld de standaard smeerbeurten van de mechanische aandrijflijn. Het is hierbij belangrijk om de gehele installatie te inspecteren.

Op de draaipunten zitten vlaksmeernippels, die 6-maandelijks moeten worden nagesmeerd. Er zit vrijwel geen beweging in deze draaipunten en daarom is er gekozen voor 6-maandelijks. Ook moeten de draaipunten worden schoongemaakt vóór het nasmeren. Dit is om het oude vet te verwijderen zodat dit niet hard wordt en vast komt te zitten. Voor de slijtage van de remschoenen is het belangrijk om tijdens de 2-maandelijkse smeerbeurten een visuele inspectie te doen om te zien of er zichtbare afwijkingen zijn. Omdat de remschoenen die nu geïnstalleerd zijn in de installatie nog geen sensoren hebben is het belangrijk om de remschoendikte 6-maandelijks op te meten. Hiervoor is een afkeurwaarde opgesteld van -10%. Voor het oppervlak van de remtrommel is het belangrijk om jaarlijks een oppervlakte inspectie uit te voeren om te controleren op slijtage, scheurvorming, corrosie of verkleuringen. Ook mag de ene koppelingshelft niet meer dan 3° verdraaien ten opzichte van de andere koppelingshelft; hiervoor moeten markeringen worden aangebracht. De elastische elementen in de remtrommel moeten 2-maandelijks gecontroleerd worden op scheurvorming of andere vormen van slijtage, bijvoorbeeld vervormingen. Dit kan beide visueel gedaan worden. Minimaal elke 5 jaar moeten de elastische elementen vervangen worden. Het vervangen moet gedaan worden met originele elementen. De hardheid van deze elementen is 92° Shore A en moet voldoen aan NEN-ISO 48-4. (NEN, 2018; Rijkswaterstaat, 2002)

Voor de thruster zijn er onderhoud instructies vanuit de leverancier ontvangen. Het onderhoud voor de thruster zal hier dan ook grotendeels op gebaseerd worden. Een aantal adviezen van de leverancier zullen worden aangepast aan de situatie. De thruster is immers 36 jaar oud en vereist hierdoor meer onderhoud voor voldoende beschikbaarheid. Elke 2 maanden is een visuele inspectie voor de thruster nodig, bij deze visuele check behoren de volgende punten: checken voor lekkage, controleren penverbindingen en controleren op externe schade. (EMG, 2019)

Jaarlijks moeten de functie check en uitgebreide inspectie uitgevoerd worden. Hierbij wordt gekeken naar (EMG, 2019):

- Functie motor, lettend vooral op geluid.
- Maximale slag afstand.
- Dichtheid van aansluitdoos + kabelinvoer.
- Meten drukkracht, trekkracht en energieverbruik.
- Meten van de isolatieweerstand volgens DIN 57530 part 1 / VDE 0530 para 17.1.
- Controleren verdraaiing van de koppeling.

Het uitgebreide onderhoud van de thruster moet elke 5 jaar uitgevoerd worden door een gespecialiseerde partij. Deze wordt ingehuurd door de onderhoudspartij waarbinnen deze grote onderhoudsbeurt valt. Hierbij worden ten minste alle slijtage onderdelen vervangen zoals lagers, afsluitingen en de hydraulische olie. Verdere revisie en vervangingen kunnen door de specialist worden geadviseerd. Hier moet dan een verstandig besluit op worden genomen. Voor dit uitgebreide onderhoud is het belangrijk een reserve thruster aan te schaffen. Deze zal dan worden gebruikt tijdens het onderhouden van de originele thruster. (EMG, 2019)

Zoals eerder aangegeven worden de krachten die de thruster uitoefent jaarlijks gemeten. Tegelijkertijd met deze meting is het ook belangrijk het remkoppel te meten. Hierbij zal worden gekeken hoeveel moment er nodig is om de remtrommel in beweging te brengen als de remschoenen erop staan. De afkeurwaarde voor dit remkoppel is 150Nm. Omdat de rem ook als een noodrem dient is het belangrijk elk jaar een functionele test te doen om te achterhalen of deze nog naar behoren functioneert. Ook moet de rolschakelaar jaarlijks functioneel getest worden.

Bijlage 6: De Tandwielkast

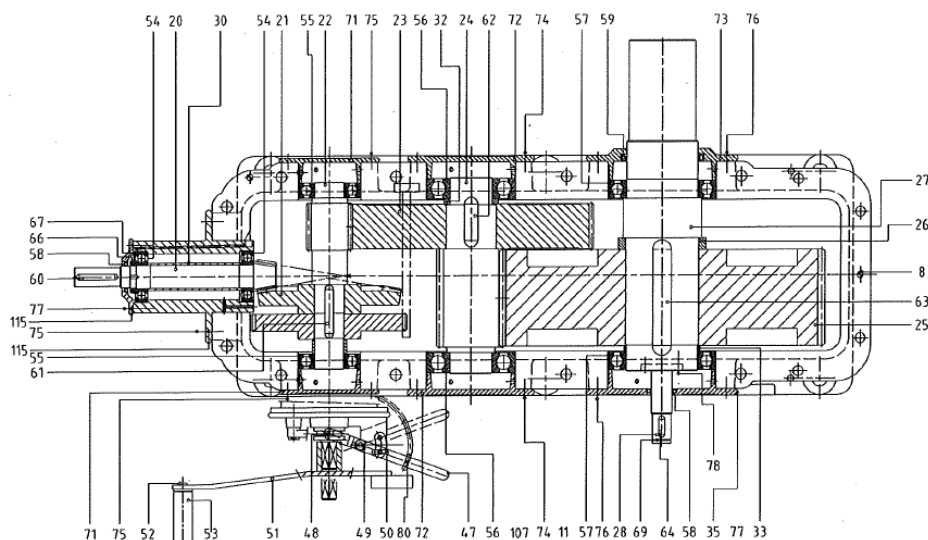
Algemeen

In tabel B6.1 zijn alle technische gegevens van de tandwielkast weergegeven.

Tabel B6.1: Gegevens tandwielkast. Bron: Bierens. (1999).

Tandwielkast			
Merk	Bierens		Tandtrappen
Bouwjaar	1999		Trap 1
Type	K2A3-80 spec.		Trap 2
Overbrenging	$i = 160:1$		Trap 3
Handbediening enkelwerk	$i = 165:1$		
Handbediening dubbelwerk	$i = 355:1$		
Vermogen	$P = 11 \text{ kW}$		Kogellagers
Toerental	$n = 1.000 \text{ rpm.}$		As 1
Olieinhoud	165 liter		As 2
Oliesoort	Shell Omala 150		As 3
			As 4

Een overzicht van de tandwielkast is weergegeven in figuur B6.1. Bij deze tandwielkast zitten de, vanaf de tekening bekeken, vastlagers onder en loslagers boven. Hierdoor kunnen lengteveranderingen ten gevolge van uitzetting of krimp worden opgevangen zonder dat hierdoor in axiale richting ongewenste krachten op de draaipunten ontstaan. (Rijkswaterstaat, 2002)



Figuur B6.1: Bovenaanzicht tandwielkast tekening. Werktekening: D1991

Volgens de leverancier heeft de tandwielkast een standaard levensduur van 24.000 draaiuren. Deze levensduur is alleen te halen door niet over de aangegeven belasting te gaan en door het onderhoud naar behoren uit te voeren. De smeerolie moet elke 2.000 draaiuren vervast worden en hierbij moet het filter ook worden schoongemaakt. Het type olie moet volgens de leverancier een standaard tandwiel smeerolie zijn met een viscositeit van 150 mm²/s bij 40 °C. (Hollandia, 1999)

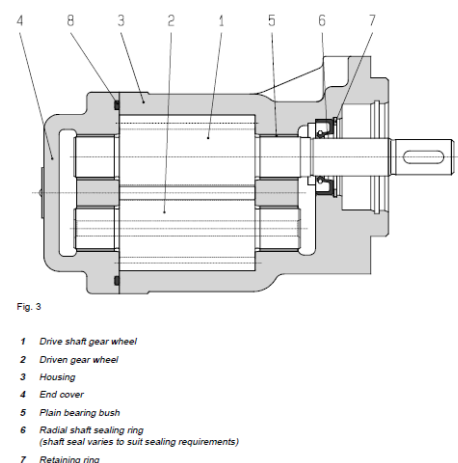
Het omloopsysteem bestaat uit een tandwielpompe en een aantal leidingen. De gewenste druk tijdens operationele temperatuur in de persleiding en oliekanalen is 0,5 tot 1 bar. Deze druk kan worden gecontroleerd door een met glycerine gevulde manometer op de leiding. Het belangrijkste component voor het onderhoud is de tandwielpompe. Met de specificaties van de pompe weergegeven in tabel B6.2 is te achterhalen, met de kennis dat een brugdraai 65 seconden duurt, dat er maar 13 liter olie per keer wordt gefilterd. Dit betekent 26 liter totaal voor het op en neer gaan van de brug, dit is voor een volume van 165 liter wat in de tandwielkast zit. Hierbij zullen 13 brugdraaien nodig zijn om het gehele volume te filteren, hiervoor moet de brug dus 7 keer open. Mede hierdoor is regelmatige olieanalyse van belang.

Tabel B6.2: Gegevens tandwielpompe. Bron: KRACHT. (2019).

Tandwielpompe			
Merk	Verder	Type constructie	Externe tandwielpompe
Bouwjaar	1999	Type montage	Flens DIN ISO 3019
Type	KF16 LF 1D15	Einde aandrijfvas	ISO R 775 kort/cilindrisch
Vermogen	P = 0,25 kW	Leidingverbinding	Whitworth - pijpschroefdraad
Toerental	n = 750 rpm.	Viscositeit	min: 12 mm ² /s
Debiet	Q = 0,72 m ³ /h		max: 20.000 mm ² /s
		Omgevingstemperatuur	min: -20 °C
Behuizing materiaal	GG 25		max: +60 °C
Tandwielmateriaal	Inzetstaal (1.7139)	Filter fijnheid	≤ 60 µm
Glijlager	P 10		
Asafdichtingen	NBR		
O-Ring	NBR		

Een overzicht van de tandwielpompe is weergegeven in figuur B6.2.

De tandwielpompe is na een correcte installatie en bij correct gebruik onderhoudsvrij. Het onderhoud zou hierbij bestaan uit het schoonmaken van de omgeving waarin de pompe zich bevindt en het doorlopend controleren van de pompe op lekkages of andere afwijkingen. Het vervangen van de pompe zal op basis van trillingsmetingen worden gedaan; dit is omdat er nog geen concrete data is voor de levensduur in deze specifieke situatie. Voor het bepalen van de staat van



Figuur B6.2: Tandwielpompe tekening. Bron: KRACHT. (2019).

de tandwielpompe moeten er trillingsmetingen worden uitgevoerd. Er moet ook op gelet worden dat de olie in de leidingen een minimale druk van 0.5 tot 1 bar hebben op operationele temperatuur. Indien deze druk niet behaald wordt, kan het ook zijn dat de pomp vervangen moet worden. (Hollandia, 1999; KRACHT, 2019)

Montage

Voor het assembleren van de tandwielkast aan bijvoorbeeld de elektromotor, meetinstrumenten, signaal componenten, hydraulische buizen en dergelijke is het belangrijk om te zorgen voor een correcte uitlijning en een gelijkmatig, spanningsvrije opstelling. (Bierens, 1999)

Beide uitgaande assen hebben een h6 passing. Hierbij moet de diameter van de as voor de klauwkoppeling tussen 44,984 en 45 mm blijven en voor de as van de OK koppeling tussen 159,975 en 160 mm. Dit dient gecontroleerd te worden voor de montage. (NEN, 2010)

Incorrecte uitlijning kan resulteren in trillingen in de tandwielkast; dit verhoogt de kans op falen. De maximale afwijking voor het uitlijnen moet onder de 0,05 mm blijven. Een uitlijnfout kan leiden tot het niet goed dragen van de tanden en het slaan van de vertanding, wat op zijn beurt zorgt voor meer slijtage vergeleken met een ideale situatie. (Bierens, 1999)

Het is belangrijk dat voor het eerste gebruik de smeerolie niet voor langer dan 300 draaiuren gebruikt wordt; dit is omdat het afvlakken van de ruwheidstoppen zorgt voor een hoger gehalte slijtagedeeltjes in de olie voor de eerste paar keer dat de installatie draait. Na de eerste 300 draaiuren zullen de componenten voldoende afgevlakt zijn waardoor er minder slijtagedeeltjes ontstaan. Omdat de installatie geen standaard draaiuren heeft per dag is het verstandig om een urenteller aan de installatie te koppelen. Na het aftappen van de smeerolie is het van belang het eerst door te spoelen met spoelolie; vervolgens kan het worden gevuld met nieuwe smeerolie. (Hollandia, 1999)

Ook is het belangrijk de tandwielkast tot op het juiste niveau met olie af te vullen; het oliepeil kan gecontroleerd worden middels het oliepeilglas. Het onvoldoende vullen van de installatie kan leiden tot onvoldoende smering van de kogellagers en een onvoldoende smeerfilmopbouw op de tandwielen. Dit kan weer leiden tot slijtage. Daarentegen kan teveel olie in de installatie leiden tot lekkages, warmteontwikkeling en verlies van de smerende eigenschappen. Zoals eerder aangegeven moet de druk in de persleiding en oliekanalen van het smeerolie systeem tussen de 0.5 tot 1 bar zitten op operationele temperatuur; dit moet dan ook worden gecontroleerd. (Hollandia, 1999)

Uiteraard is het belangrijk om te controleren of er geen vreemde geluiden of verbrandingslucht van de tandwielkast en de tandwielpompe afkomen tijdens gebruik.

Risicomatrix

De tandwielkast is een cruciaal installatiedeel van de mechanische aandrijflijn. Het zorgt namelijk voor een correcte overbrenging van elektromotor naar rondsel. De afwijkingen die voor kunnen komen na een correcte installatie en uitlijning van de tandwielkast zijn:

- A. Overmatige slijtage kogellagers.
- B. Overmatige slijtage rondsels.
- C. Overmatige slijtage tandwielen.
- D. Lekkage tandwielkast.
- E. Falen verwarmingselement.
- F. Verstopping oliefilter.

- G. Degradatie van de olie.
- H. Falen tandwielpompe.
- I. Falen manometer.
- J. Onjuiste oliedruk.

In tabel B6.3 is de invulling van de afwijkingen zonder onderhoud gegeven en in tabel B6.4 is de invulling gegeven met toereikend onderhoud. Bij de tweede onderbouwing worden de kans en de ernst van de gevolgen toegelicht. De eerste onderbouwing geeft alleen kort aan of onderhoud voor de betreffende afwijking invloed heeft op de kans van optreden.

Tabel B6.3: Risicomatrix geen onderhoud Tandwielkast.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2) E, I.	(3)
2 - Maximaal	(2)	(4) F, G, H.	(6)
3 - Kritisch	(3)	(6) A, B, C, J, D.	(9)
4 - Catastrofaal	(4)	(8)	(12)

Onderbouwing van de plaatsing zonder onderhoud:

- A. Het inschatten van de oliedegradatie is lastig omdat er veel informatie over de installatie ontbreekt. Ervaren deskundigen uit het werkveld, zoals R. van der Voorn en monteurs van de onderhoudspartij, geven aan dat er uit kan worden gegaan van een degradatie van 5 jaar. Na de degradatie is de olie niet toereikend voor de mechanische onderdelen en ontstaat er vervroegde slijtage. (PMG, 2019)
- B. Zie A.
- C. Zie A.
- D. Een lekkage van de tandwielkast heeft meer kans om voor te komen bij het plegen van geen onderhoud. Dit komt doordat de staat van de afdichtingen sneller achteruit gaat door de slijtagedeeltjes die ontstaan bij de schade van de mechanische onderdelen. Er is hierbij geen direct onderhoud op de lekkages zelf. De invloed van andere afwijkingen zorgt ervoor dat de lekkages eerder zullen voorkomen.
- E. Het verwarmingselement heeft geen onderhoud nodig, hiervoor zijn inspecties en controles voldoende. Hierdoor zijn er geen onderhoudstaken die direct de levensduur van het verwarmingselement verlengen.
- F. Door het niet periodiek reinigen van het filter wordt de kans op falen van het onderdeel hoger.
- G. De standaard degradatie van de olie heeft geen verschil tussen onderhoud en geen onderhoud, zie A voor meer informatie.
- H. De tandwielpompe heeft geen direct onderhoud nodig; toch zal het onderdeel eerder een afwijking vertonen bij het plegen van geen onderhoud. Dit komt door de slijtagedeeltjes die ontstaan bij de slijtage van de mechanische onderdelen. Deze komen in contact met de tandwielen en afdichtingen van de tandwielpompe en veroorzaken hier schade.
- I. De theoretische levensduur van de manometer is identiek voor toereikend en geen onderhoud.
- J. Omdat de tandwielpompe een afwijking vertoont door de slijtagedeeltjes kan het niet dezelfde druk als voorheen leveren waardoor de oliedruk eerder zal afnemen dan bij toereikend onderhoud.

Tabel B6.4: Risicomatrix toereikend onderhoud Tandwielkast.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2) E, I.	(3)
2 - Maximaal	(2) F, H.	(4) G.	(6)
3 - Kritisch	(3) A, B, C, D.	(6) J.	(9)
4 - Catastrofaal	(4)	(8)	(12)

Onderbouwing van plaatsing van de afwijkingen met toereikend onderhoud:

- A. Kogellagers zijn het belangrijkste onderdeel bij het roteren van de onderdelen in de tandwielkast; deze vangen dan ook de meeste belasting op. Als al een relatief klein oppervlak beschadigd is bij de kogellager kan dit tot grote gevolgen leiden. Vandaar dat het ingedeeld is bij kritisch, omdat het effect een afname van de functionaliteit is. Het optreden van afwijkingen bij de kogellagers zal normaliter niet vaak voorkomen; helaas is de kans erop toegenomen door de huidige staat van de installatie. (Brammer, z.d.)
- B. De assen van de tandwielkast zijn in principe rondsels; er zitten namelijk tandwielen op een deel van twee assen. De assen kunnen slijtage oplopen bij de passing in de lagers. Hierdoor kunnen de passingen uitlopen en dit veroorzaakt een onbalans en sterke vervuiling van de olie. Indien er slijtage zit aan de rondsels is het mogelijk dat er onbalans ontstaat of dat het contact oppervlak tussen de tandvlakken niet voldoende is voor de benodigde kracht. Dit beiden zorgt voor een afname in de prestatie van het systeem. Ook dit zal normaliter niet vaak voorkomen maar door de huidige staat van de installatie is deze kans verhoogd.
- C. Doordat de tandwielen geharde tandflanken hebben en omdat er bij ingrijping hoge Hertzse spanningen op de tandflank ontstaan zullen kleine beschadigingen snel voor uitbrokkelingen zorgen. Uiteraard zorgt schade vaak voor meer schade. De slijtagedeeltjes die vrijkomen bij slijtage van de tandwielen komen in de olie terecht. Hierdoor komen deze slijtagedeeltjes bij andere componenten binnen de tandwielkast waar deze schade aanrichten. Na een aantal brugdraaien zorgt dit voor een afname in de prestatie van het systeem. De kans dat het voorkomt is wederom normaliter niet groot, maar de huidige situatie zorgt voor een toename van deze kans. (R. van der Voorn, persoonlijke communicatie, 1 oktober 2019)
- D. Een lekkage zorgt ervoor dat de kans op schade bij de bewegende onderdelen aanzienlijk toeneemt. Hierbij ligt het er natuurlijk aan hoe ernstig de lekkage is. Realistisch gezien is de kleinste lekkage al een kritische afwijking, omdat het vaak snel verder escaleert door de afdichtingen of oliekeerringen die steeds verder verslijten. Een lekkage zal normaliter niet vaker dan één keer in de 10 jaar voorkomen.
- E. Het verwarmingselement zorgt er voor dat de olie op de gewenste temperatuur blijft en staat constant aan; hierdoor heeft het de juiste eigenschappen zoals de viscositeit. Bij lage temperaturen neemt de viscositeit toe; dit is ongunstig voor de smeerfilmopbouw. Ook zorgt het er voor dat de kans op vocht in de olie minder is. Verder heeft het falen van het verwarmingselement geen directe gevolgen. Omdat het verwarmingselement een relatief oud elektrisch apparaat is, is het realistisch om aan te nemen dat dit wel minimaal eens in de vijf jaar zal voorkomen.
- F. Het falen van de oliefilter heeft als gevolg dat de olie sneller degradeert. Het is onwaarschijnlijk dat de gehele 165 liter van de tandwielkast gefilterd wordt. Het falen van de oliefilter heeft geen directe gevolgen op de functionaliteit van de gehele installatie. Het verstoppert van de oliefilter komt door de filterfijnheid van 60 micron niet vaak voor en kan dus in de laagste categorie worden gezet.

- G. De olie verliest door gebruik ervan de gewenste eigenschappen van de additieven. Dit is de basis degradatie die door de factoren in de tandwielkast ongeveer 5 jaar zal duren. Dit heeft er mee te maken dat de tandwielkast al redelijk oud is en de installatie niet goed uitgelijnd is, waardoor er sprake is van een verhoogde kans op slijtage. Verder bestaat er ook de kans dat vocht in de olie komt wat de kans op schade verhoogt. Vocht in de olie kan komen door schade aan afdichtingen en dat het verwarmingselement niet meer werkt. De olie rondom het verwarmingselement zal naar verwachtingen in een hogere mate degraderen; in verhouding tot het volledige oliebad heeft dit in deze specifieke situatie verwaarloosbare effecten op de totale levensduur. (PMG, 2019)
- H. Indien de tandwielpomp faalt wordt er geen olie meer rondgepompt en hierdoor krijgen alle kogellagers en tandwielen die niet bereikt kunnen worden door spatsmering geen smering. Het effect hiervan na een aantal keer is niet extreem. Indien dit niet op tijd aangepakt wordt heeft dit grote gevolgen voor de staat van de kogellagers en uiteindelijk ook voor de andere bewegende onderdelen. Het falen van de tandwielpomp tijdens de bedoelde levensduur komt bij correct gebruik bijna niet voor, enkel door kortsluiting. Om hier zeker van te zijn is het belangrijk structureel trillingsmetingen uit te voeren.
- I. Het falen van de manometer heeft geen directe gevolgen, alhoewel het wel belangrijk is om te kunnen controleren of de druk een juiste waarde heeft. De manometer is een relatief robuust onderdeel en zal vaak door ouderdom falen. Bijvoorbeeld zoals wat er nu gebeurt dat de glycerine eruit lekt, waardoor de waardes niet meer stabiel blijken. Dit is simpel op te lossen door een tijdige vervanging van de manometer op basis van de kalibratiedatum.
- J. Indien er een te hoge oliedruk is kan het zijn dat de olietemperatuur stijgt, waardoor de olie sneller degradeert. Bij een onjuiste oliedruk krijgen de kogellagers onvoldoende smering. Deze zitten namelijk boven het oliebad en hebben een individuele oliestroom tijdens het draaien van de installatie. Aangezien de installatie al 20 jaar oud is, neemt de kans op het afwijken van de oliedruk toe. Het kan hierdoor op ééns in de vijf jaar gezet worden.

Het onderhoud van de tandwielkast zal vooral bestaan uit inspecties en controles. Dit soort onderhoud heeft geen directe invloed op de levensduur van de meeste onderdelen in de tandwielkast. De degradatie van de olie zal theoretisch met dezelfde snelheid gaan. Doordat er bij geen onderhoud geen oliewissel of dieptefiltratie zal plaatsvinden, resulteert dit in een verhoogde en versnelde kans op slijtage aan de mechanische onderdelen. Denk hierbij aan de assen, tandwielen en lagers. De slijtagedeeltjes die hierbij ontstaan zorgen vervolgens voor verhoogde slijtage op de dichtlip van de afdichtingen en beschadigen de tandwielpomp. Hierdoor kan het zijn dat de tandwielpomp de vereiste druk niet meer kan leveren. Zoals hierboven omschreven ontstaat er binnen de tandwielkast een kettingreactie van afwijkingen. Dit kan ook voor komen voor de gehele mechanische aandrijflijn. In de praktijk is met de beschikbare informatie lastig vast te stellen wat de gevolgen zouden zijn van geen onderhoud op de gehele mechanische aandrijflijn. Door het vroegtijdig opsporen en oplossen van de afwijkingen kunnen deze kettingreacties worden voorkomen. Vaak kunnen door toereikend onderhoud de afwijkingen worden opgelost voordat dit de functionaliteit van de installatie belemmert. In de volgende paragraaf wordt toegelicht wat voor onderhoud nodig is om de afwijkingen te beheersen en de functionaliteit van de tandwielkast te bewaken.

Onderhoud

Het onderhoud van de tandwielkast zal bestaan uit:

- Inspecties: Verschillende 2-maandelijkse en jaarlijkse inspecties toegelicht in de tekst.
- GAO: Vervanging glycerine manometer op basis van de kalibratiedatum .
- TAO: Half jaarlijkse trillingsmetingen op de kogellagers van de tandwielkast en de motor van de tandwielpomp. 6-maandelijkse olieanalyses op de olie Shell Omala 150.

Alle inspecties op de tandwielkast moeten 2-maandelijks uitgevoerd worden omdat het weinig tijd inneemt en belangrijk is te controleren. Tijdens deze inspecties moet gecontroleerd worden op lekkages, de werking van de manometer, de oliedruk en de temperatuur van de olie. De oliefilter kan jaarlijks worden gecontroleerd aangezien het systeem weinig draait.

Het belangrijkste onderdeel van het onderhoud aan de tandwielkast komt neer op de trillingsmetingen, omdat er buiten dat niet veel meer valt te doen behalve het vervangen van de olie na een bepaalde periode. Voor het vervangen van de olie is het nodig om elk half jaar een oliemonster te nemen en te laten analyseren. Hieruit kan worden opgemaakt of vervanging nodig is. Ook is het standaard schoonmaken en schoon houden van de apparatuur een belangrijk onderdeel van het onderhoud. Voor het reviseren van de tandwielpomp is er een reserve onderdeel nodig. Dit is nodig zodat de installatie kan blijven draaien tijdens de revisie.

De trillingsmetingen moeten net zoals bij de elektromotor om de 6 maanden worden uitgevoerd. Dit kan later naar eens per jaar indien dit voordeliger blijkt. Voor de trillingsmetingen van de tandwielkast zijn er de volgende schadefrequenties per onderdeel:

Tabel B6.5: Schadefrequenties tandwielkast. Bron: Condiëtemeting Aandrijvingen Coenbrug. (2018).

Onderdeel	Binnenring (Hz)	Buitenring (Hz)	Kogels (Hz)	Kooi (Hz)
Lagers as 1	71.2	48.8	62	4.9
Lagers as 2	24	16.4	20.9	1.6
Lagers as 3	19.9	12.5	16.7	1.6
Lagers as 4	0.8	0.6	0.8	0.06
Onderdeel	Frequentie (Hz)			
As 1	16.65			
As 2	3.33			
As 3	0.55			
As 4	0.1			
Trap 1	183.15			
Trap 2	69.93			
Trap 3	10.46			

Bij het oliemonster onderzoek moet op de volgende punten worden gelet (A.R. Analyses, 2019):

- Visuele beoordeling en kleur.
- Viscositeit bij 40 °C.
- Deeltjestelling 2, 5 en 15 micron volgens ISO 4406 en SAE AS4059.
- Watergehalte.
- Zuurgetal.
- Slijtagdelen (ICP).
- P Q index.

Indien er metaaldeeltjes terug zijn te vinden in de olie kan dit een indicatie zijn van schade binnen de tandwielkast. Indien het watergehalte boven 1.000 ppm komt moet de olie z.s.m. vervangen worden. In het hoofdstuk over de olie- en vetanalyses zijn meer waardes van de genoemde punten besproken. De olie in de tandwielkast zal worden vervangen op basis van de analyses die elk half jaar zullen worden uitgevoerd. De partij welke de analyse uitvoert geeft advies op de resultaten en Rijkswaterstaat beoordeelt uiteindelijk of er vervanging nodig is. Na een periode van minstens 5 jaar kunnen er trends worden achterhaald. De trends van de analyse zijn nuttig voor het achterhalen van de staat waarin de componenten, zoals de lagers en tandwielen, zich bevinden ten opzichte van de theoretische levensduur. Dit is te zien aan het aantal slijtagedeeltjes in de verschillende periodes.

Aan de hand van wat er uit de olieanalyse komt zijn er drie verschillende vervolgstappen te onderscheiden:

1. Indien de levensduur van de olie nog te verlengen is, wordt dieptefiltratie van de olie aangeraden.
2. Indien de olie in een te slechte staat is moet de olie vervangen worden.
3. Indien er slijtagedeeltjes zijn gevonden is verder onderzoek nodig (schadeonderzoek).

De opdrachtnemer moet adviseren welke vervolgstap het beste past bij de situatie die zich op dat moment voordoet; Rijkswaterstaat moet hierover dan een verstandig besluit nemen.

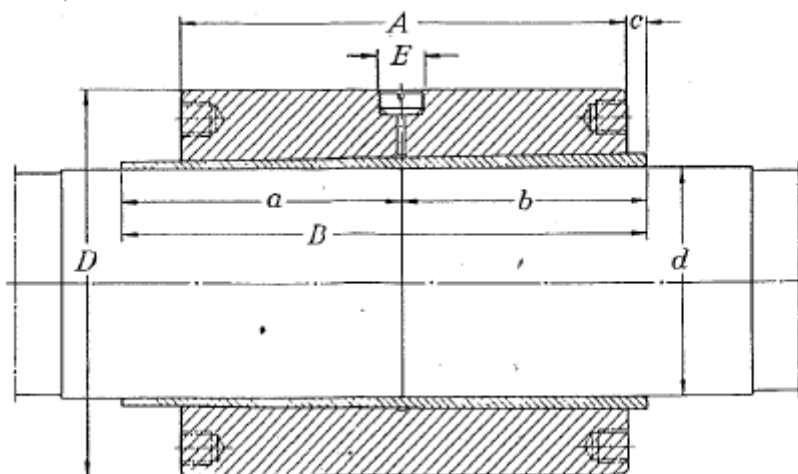
Bijlage 7: De OK koppeling

Algemeen

Tussen het rondsel en de tandwielkast zit een OK koppeling. De gebruikte OK koppeling is hierbij een OK 160 uit 1967 bestemd voor de beide assen met een diameter van 160 mm. De OK 160 koppeling vereist dat beide assen minimaal een h7 passingtolerantie hebben, een cilindrische tolerantie van IT7/2 en een ruwheid van $2,5 \mu\text{m}$. Dit wordt door beide assen behaald; deze hebben namelijk beide een h6 passingtolerantie en een cilindrische tolerantie van IT5/2. De olie in de koppeling moet bij de gebruikstemperatuur een viscositeit van $300 \text{ mm}^2/\text{s}$ hebben. Hieronder in de afbeelding is een OK koppeling weergegeven, zoals toegepast in de Coenbrug. Ook zijn de gegevens van de OK 160 koppeling weergegeven in tabel B7.1.

Tabel B7.1: Eigenschappen en toleranties van de OK 160. Bron: SKF. (2017).

EIGENSCHAP/TOLERANTIE	WAARDE
BESTEMDE DIAMETER	160 mm
PASSINGSTELSEL	h7
TOLERANTIE	
CILINDRISCHE TOLERANTIE	IT7/2
RUWHEID (R_A)	$2,5 \mu\text{m}$
VISCOSITEIT	$300 \text{ mm}^2/\text{s}$
MAXIMAAL MOMENT	107 kNm



Figuur B7.1: Voorbeeld figuur van een OK koppeling. Bron: SKF. (z.d.).

Montage

Voor de montage en demontage van de OK koppeling is het belangrijk om het benodigde gereedschap te benoemen; het is namelijk een oud model en vereist ander gereedschap dan de nieuwere modellen. De uitrusting omvat een injector, zeskantsleutels, een enveloppe met reservedelen voor de injector en een gereedschapskist. De uitrusting voor deze OK koppeling is bij SKF niet meer beschikbaar. De montage van de OK koppeling is stapsgewijs beschreven (SKF, 1975):

1. De assen en de binnenkant van de OK koppeling moet worden schoongemaakt, vervolgens moet er een minerale olie op worden aangebracht. Om er zeker van te zijn dat alle

toleranties en passingen behaald kunnen worden, is het nodig om eerst de passingen en cilindrische toleranties van zowel de assen als de OK koppeling te controleren. Merk de afstand $b = 172$ mm op de as van de tandwielkast; in figuur B7.1 is deze maat aangegeven.

2. Breng de koppeling op de as van de tandwielkast. Bij deze handeling moet er op worden gelet dat het dikste eind van de binnenbus naar het aseinde wijst en dat de aansluiting voor de hoge druk leiding boven ligt. De koppeling wordt op de as geschoven, zover tot het uiteinde van de as uitsteekt; dit is nodig voor het uitlijnen van de twee assen. Bij het schuiven moet de koppeling goed worden geleid om scheefstelling en beschadiging van de as te voorkomen.
3. Bij de assen van de koppeling zijn de radiale uitlijntoleranties $\pm 0,05$ mm en moeten de aseinden tegen elkaar liggen; een afstand van niet meer dan 1% van de as middellijn is toelaatbaar. Het uitlijnen wordt uitgevoerd met behulp van een laser-uitlijnapparaat.
4. Nadat de uitlijntoleranties in orde zijn wordt de OK koppeling teruggeschoven over de andere as tot het eind van de binnenbus samenvalt met de afmeting b .
5. De laatste stap vóór het aanbrengen van de druk is het meten van de middellijn bij de buitenbus. Dit is nodig om te controleren of er geen afwijkingen zijn in de rondheid van de buitenbus.
6. Voor het aanbrengen van de oliefilm in de OK koppeling wordt er olie in de koppeling gepompt door middel van een injector; hierbij is een druk van ongeveer 30 MPa nodig. De opdrijving is voltooid indien de middellijn van de buitenbus met 0,26 mm is toegenomen. Als een ruwe aanwijzing voor de ligging van de buitenbus bij het bereiken van deze uitzetting kan de maat $c = 12$ mm worden gebruikt; in figuur B7.1 is deze maat aangegeven. De exacte middellijn van de buitendiameter wordt na montage vastgelegd.

Er is geen standaard onderhoud nodig en het enige wat onderhoud vergt is het conserveren tegen invloeden van de omgeving. Voor het conserveren van de koppeling is het nodig om de randen af te kitten met een siliconen-kit en het middelste gedeelte, tussen beide kitranden in, om te wikkelen met een densoband. De siliconen-kit is voor het tegengaan van vochtindringing. Hierbij zijn beide uiteinden zichtbaar voor inspectie en kunnen lekkages eerder worden gedetecteerd. Om verdraaiingen na montage te kunnen detecteren is het belangrijk om de nul positie te markeren, zowel op de as als op de koppeling. (SKF, 2017)

Tijdens het eerste gebruik of na een revisie is het belangrijk om op te letten of er geen overmatige trillingen plaatsvinden.

De demontage is in vier stappen onder te verdelen (SKF, 1975):

1. Ondersteun de assen aan beide zijden van de koppeling.
2. De injector aanbrengen en de oliedruk ongeveer rond 20 MPa brengen. Olie met de injector tussen de koppelingsbussen persen totdat het uit de OK koppeling loopt.
3. Schuif de buitenbus van de binnenbus af; indien de buitenbus niet loskomt doorgaan met olie tussen de bussen te persen.
4. De assen aan beide zijden van de koppeling schoonmaken en de koppeling geheel op een aseind schuiven. De aansluiting voor de hoge druk leiding moet gesloten zijn tijdens het verplaatsen.

Risicomatrix

Na een correctie installatie zijn dit de mogelijke afwijkingen:

- A. Lekkage OK koppeling.
- B. Ongewenste verplaatsing.

In tabel B7.2 is de invulling van de afwijkingen zonder onderhoud gegeven en in tabel B7.3 is de invulling gegeven met toereikend onderhoud. Bij de tweede onderbouwing worden de kans en de ernst van de gevolgen toegelicht. De eerste onderbouwing geeft alleen kort aan of onderhoud voor de betreffende afwijking invloed heeft op de kans van optreden.

Tabel B7.2: Risicomatrix geen onderhoud OK koppeling.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2)	(4)	(6)
3 - Kritisch	(3)	(6) B.	(9)
4 - Catastrofaal	(4) A.	(8)	(12)

Onderbouwing van de plaatsing van de afwijking zonder onderhoud:

- A. De OK koppeling heeft geen onderhoud nodig wat de levensduur direct verlengt. Voor de OK koppeling is conserveren en doorlopend controleren op de lekkages en de ongewenste verplaatsing voldoende.
- B. Zie A.

Tabel B7.3: Risicomatrix toereikend onderhoud OK koppeling.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2)	(4)	(6)
3 - Kritisch	(3)	(6) B.	(9)
4 - Catastrofaal	(4) A.	(8)	(12)

Onderbouwing van de plaatsing van de afwijking met toereikend onderhoud:

- A. Indien er een lekkage is betekent dit dat de koppeling een ernstige afname in functionaliteit heeft. Hierdoor is het niet mogelijk om de rotatie van de uitgaande tandwielkast-as over te brengen op het rondsel. De kans op een lekkage bij de koppeling is zeer klein en komt meestal niet voor tijdens de bedoelde levensduur ervan.
- B. Bij de koppeling is het mogelijk dat het gebruiken van de noodrem een radiale verplaatsing veroorzaakt. Hierbij kan dit ook een verdraaiing zijn. Ook kan deze afwijking ontstaan door belasting vanuit langdurige schade binnen in de tandwielkast of andere bewegende componenten. De kans dat deze afwijking voorkomt is met de huidige situatie te plaatsen op ongeveer één keer in de vijf jaar. Een minimale verplaatsing heeft geen directe gevolgen, maar een grote verplaatsing heeft directe gevolgen op de verbonden bewegende onderdelen. Het is hierbij altijd belangrijk de afwijking zo spoedig mogelijk op te lossen.

De OK koppeling is onderhoudsvrij, maar dit installatiedeel dient geconserveerd te worden. Toch kunnen de genoemde afwijkingen voorkomen worden; hiervoor is het belangrijk de OK koppeling doorlopend te controleren. Door de controles kunnen de afwijkingen preventief worden opgelost en hierdoor blijven de gevolgen beperkt. Bij de controles kan bijvoorbeeld een minimale verdraaiing worden geconstateerd of het loskomen van de siliconen-kit.

Onderhoud

Het onderhoud van de OK koppeling zal bestaan uit:

- Inspecties: 2-maandelijks controleren op lekkages en verdraaiingen.

Al het onderhoud bij de OK koppeling komt neer op inspecties. Na correcte montage van het installatiedeel zijn er twee realistische afwijkingen zoals in de risicomatrix te zien is. Bij beide van deze afwijkingen zijn er geen handelingen of acties op de OK koppeling nodig die het kunnen voorkomen. De afwijkingen zullen eerder voorkomen door falen en afwijkingen die invloed hebben op de OK koppeling vanuit andere installatiedelen, bijvoorbeeld de noodrem zoals eerder aangegeven. Om de verplaatsingen bij de OK koppeling te kunnen achterhalen is het nodig om de nul-positie te markeren. De verdraaiing mag niet over de 3°. Om de afwijkingen tijdig te detecteren worden de inspecties elke 2 maanden ingepland.

Bijlage 8: De Spileindschakelaar

Algemeen

In de Coenbrug zijn er twee spileindschakelaars per brughelft. De functie van deze installatiedelen is het doorgeven van de actuele stand waarin de assen zich bevinden. De assen waar de spileindschakelaar op zit is de rondsel-as en de laatste as van de tandwielkast. Er zijn twee spileindschakelaars per aandrijflijn als veiligheidsregelmaat. Beiden geven een signaal door naar de besturingskast en indien deze signalen ongelijk zijn geeft het systeem een foutmelding. De spileindschakelaar geeft drie standen door aan het systeem: dicht, tussenstand en open. Alle spileindschakelaars in de Coenbrug komen uit het jaar 1998. Het type spileindschakelaar is XR2AB14K40. Dit type komt uit de jaren 60-tig en is nog beschikbaar voor vervanging in bestaande installaties. In de figuur B8.1 is de spileindschakelaar weergegeven.



*Figuur B8.1: Weergave spileindschakelaar.
Bron: Telemecanique. (2017).*

De spileindschakelaar heeft een mechanische levensduur van 10.000.000 cycli en de lagers in de spileindschakelaar zijn onderhoudsvrij. In het geval van de Coenbrug zal de spileindschakelaar eerder de functie verliezen door veroudering van het materiaal; dit is omdat de as waaraan het geïnstalleerd zit ongeveer een toerental van 6 heeft. Bovenop het lage toerental draait de brug relatief weinig. (Telemecanique, 2017)

Montage

De spileindschakelaar wordt als een compleet installatiedeel geleverd bij Rijkswaterstaat en geïnstalleerd door de montagepartij. Hierdoor is het alleen nodig om de tandwieloverbrenging goed uit te lijnen. Dit wordt gedaan door het draagbeeld te controleren met behulp van Pruisisch blauw. Door het draaien van de tandwielen met blauwsel kan er worden gezien of het draagbeeld goed is. Dit wordt voornamelijk gedaan op basis van ervaring. (R. van de Voorn, persoonlijke communicatie, 12 november 2019)

Risicomatrix

De realistische afwijkingen na het correct installeren van de spileindschakelaar zijn:

- A. Overmatige slijtage tandwielen.
- B. Overmatige slijtage nokvolgers.
- C. Overmatige slijtage schakelaar.
- D. Signalering functioneert niet.

In tabel B8.1 is de invulling van de afwijkingen zonder onderhoud gegeven en in tabel B8.2 is de invulling gegeven met toereikend onderhoud. Bij de tweede onderbouwing worden de kans en de ernst van de gevolgen toegelicht. De eerste onderbouwing geeft alleen kort aan of onderhoud voor de betreffende afwijking invloed heeft op de kans van optreden.

Tabel B8.1: Risicomatrix geen onderhoud Spileindschakelaar.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2)	(4) A, B, C.	(6)
3 - Kritisch	(3)	(6)	(9)
4 - Catastrofaal	(4)	(8) D.	(12)

Onderbouwing van de plaatsing van de afwijkingen zonder onderhoud:

- A. Door het lage toerental en de lage frequentie van gebruik zal schade niet snel ontstaan. Uiteraard zal de schade wel sneller ontstaan in vergelijking tot toereikend onderhoud. De slijtage zal naar verwachtingen op basis van ervaring ontstaan tussen een periode van 1 tot 5 jaar.
- B. Zie A.
- C. Zie A.
- D. Onderhoud heeft geen direct invloed op de signalering. De signalering functioneert niet meer bij afwijkingen die optreden in de mechanische onderdelen; dit resulteert in een indirecte toename van de kans op falen.

Tabel B8.2: Risicomatrix toereikend onderhoud Spileindschakelaar.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2) A, B, C.	(4)	(6)
3 - Kritisch	(3)	(6)	(9)
4 - Catastrofaal	(4) D.	(8)	(12)

Onderbouwing van de plaatsing van de afwijkingen met toereikend onderhoud:

- A. Met toereikende smering op de tandwielen zal er niet snel schade ontstaan omdat er geen hoge belastingen op werken. Bovendien hebben de tandwielen ook geen hoog toerental; ook dit zorgt voor een lagere kans op slijtage. Indien er wel slijtage op de tandwielen aanwezig is zal dit in eerste instantie geen directe gevolgen hebben op de gehele installatie. Wel verhoogt de kans op meer slijtage bij de tandwielen zelf, waardoor het uiteindelijk zo zou kunnen zijn dat de overbrenging onvoldoende is en er verkeerde waardes worden gegeven vanuit de spileindschakelaar.
- B. De nokvolgers ondervinden geen hoge belastingen. De enige belastingen die de nokvolgers ondervinden zijn tijdens het contact met de schakelaars. Wederom draaien de nokvolgers niet frequent en op een laag toerental; dit verlaagt ook de kans op schade. Indien er slijtage op de nokvolgers zit, zullen de signalen in eerste instantie later worden doorgegeven dan ontworpen. Wanneer materiaalafname door slijtage te groot wordt, zal er geen contact meer zijn tussen de schakelaars en de nokvolgers. Hierdoor zullen er geen signalen ontstaan.
- C. Van alle mechanische onderdelen in de spileindschakelaar zullen de schakelaars als eerste slijtage ondervinden. Het materiaal van de schakelaars is zachter dan dat van de nokvolgers waardoor de contactmomenten tussen de twee meer schade aanrichten bij de schakelaars. De levensduur van dit onderdeel is 20 jaar of 10.000.000 cycli. Indien de schakelaars afbreken of materiaal verliezen kan het zijn dat de signalen niet meer doorgegeven worden. Hierdoor zal de installatie stil komen te liggen.

- D. Het niet functioneren van de signaleringen kan liggen aan de mechanische tekortkomingen van de spileindschakelaar (bijvoorbeeld schade), maar merendeel van de tijd zal het komen door een fout in de elektrische componenten. De fouten in de elektrische componenten liggen buiten het kader van het onderzoek.

Voor de functionaliteit van de spileindschakelaar is het noodzakelijk toereikend onderhoud uit te voeren. Dit komt doordat het een volledig mechanisch onderdeel is wat nasmering vereist. Indien dit niet wordt gedaan kan de functionaliteit niet gegarandeerd worden. Zoals eerder aangegeven kan de mechanische aandrijflijn niet draaien zonder de signalering; dit veroorzaakt geen andere directe effecten op de staat van de andere installatiedelen. Omdat de spileindschakelaar in beweging wordt gezet door de andere installatiedelen kunnen deze wel effect hebben op de functionaliteit van de spileindschakelaar.

Onderhoud

Het onderhoud van de spileindschakelaar zal bestaan uit:

- Inspecties: 2-maandelijks controleren van de speling op de uitgaande as en staat van de schakelaars.
- GAO: 2-maandelijks nasmeren van de externe tandwieloverbrenging en de nokvolgers.

Het controleren van de speling op de uitgaande as is nodig voor het controleren op slijtage. Indien er speling is op de uitgaande as kan dit een indicatie zijn voor schade op de tandwielen of nokvolgers; dit moet dan verder worden onderzocht. De maximale zijdelingse speling van de uitgaande as mag niet over 0,5 mm.

Voor het nasmeren van beide onderdelen moet er gebruik worden gemaakt van een lithiumvet met 10% molybdeendisulfide; dit is bepaald vanuit de leverancier. Hierbij is het nodig om de externe tandwieloverbrenging na te smeren en de nokvolgers in de spileindschakelaar. Tijdens het smeren van de nokvolgers is het aan te raden om ook de schakelaars te controleren op schade.

(Telemecanique, 1998)

Het onderhoud moet 2-maandelijks gebeuren, omdat de spileindschakelaar 20 jaar oud is en daarmee een grotere kans op afwijkingen bestaat.

Bijlage 9: Het rondsel en het panamawiel

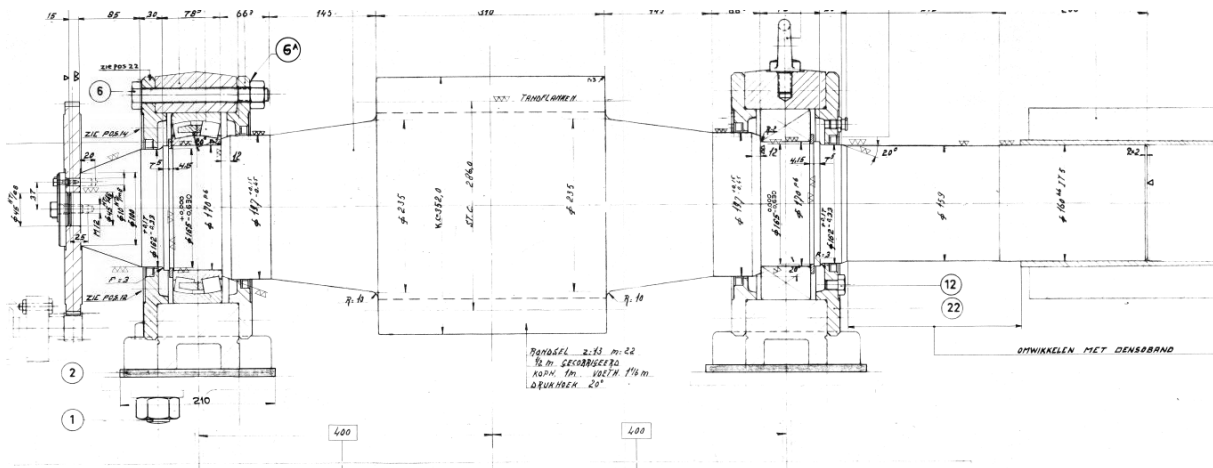
Algemeen

Het rondsel en het panamawiel worden beide ondersteund door twee steunlagers; deze lagers zijn beide tonlagers. Hieronder in de tabel zijn de gegevens van beide soorten tonlagers weergegeven. De 23044CC/W33 is van het rondsel en de 23226CC/W33 van het panamawiel. Beide lagerhuizen hebben een H7 passing voor de lagers en een cilindrische tolerantie van IT5/2. Bij zowel het panamawiel als het rondsel zit de vastlager aan de tandwielkastzijde en de loslager niet aan de tandwielkastzijde. Hierdoor kunnen lengteveranderingen ten gevolge van uitzetting of krimp worden opgevangen zonder dat hierdoor in axiale richting ongewenste krachten op de draaipunten ontstaan. De plaat waar het lagerhuis op staat moet bewerkt zijn met een oppervlakte ruwheid van $R_a < 12,5 \mu\text{m}$ en een vlakheid IT7.

Tabel B9.1: Gegevens lagers panamawiel en rondsel. Opgehaald van: <https://shop.eriks.nl>

Type lager	Binnen diameter (mm)	Buiten diameter (mm)	Breedte (mm)	Statisch draaggetal (kN)	Dynamisch draaggetal (kN)
23034CC/W33	170	260	67	1060	745
23226CC/W33	130	230	80	1060	826

In figuur B9.1 is een tekening te zien van het rondsel en de steunlagers, de as aan de rechterkant zit in de oliedrukkoppeling om de overbrenging van de uitgaande tandwielkast-as naar het rondsel mogelijk te maken. Aan de linkerkant van het rondsel zit de spileindschakelaar. Ter bescherming zit er een kap over het rondsel. Een foto hiervan is te zien in figuur B9.2.

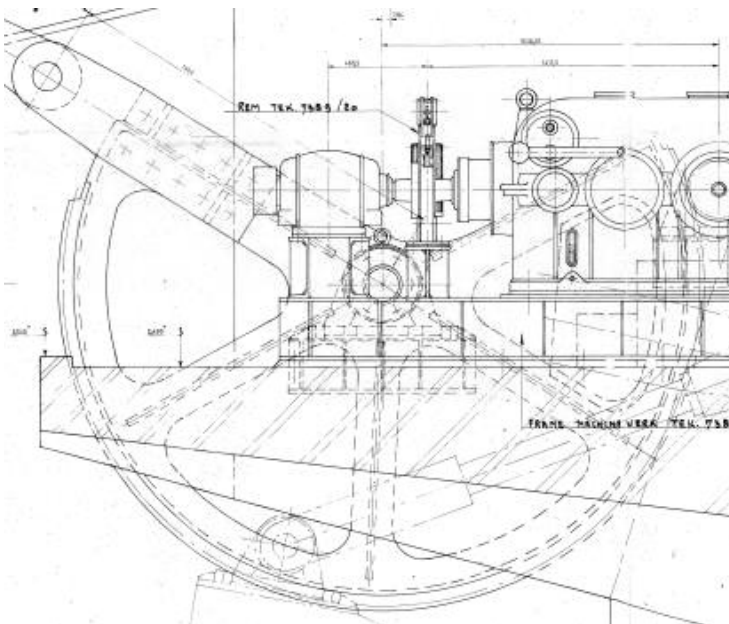


Figuur B9.1: Werktekening rondsel, rechts is de tandwielkastzijde. Werktekening: 7389/7



Figuur B9.2: Foto rondselkap.

Het panamawiel beweegt door de overbrenging door de tandflanken van het rondsel op de tandflanken van het panamawiel. De draaibeweging wordt ondersteund door de steunlagers. Aan het panamawiel zit de trek- en duwstang die ervoor zorgt dat het evenwichtselement gecontroleerd beweegt. De vorm van het panamawiel zorgt voor een sinus-vormige beweging. Hierdoor begint de brugdraai langzaam, vervolgens versnelt het en aan het einde vermindert het weer in snelheid. In de afbeelding van figuur B3.10 zijn twee schakelaars te zien; deze zitten hier in verband met de veiligheid indien het panamawiel doordraait. De schakelaars zijn van het merk Schmersal en hebben een verwachte levensduur van 20 jaar (Schmersal, 2016). In figuur B9.3 is een werktekening te zien van het panamawiel.



Figuur B9.3: Werktekening panamawiel. Werktekening: 7389/2

Het vet van de vertanding bij het rondsel en het panamawiel en van de steunlagers moet binnenkort vervangen worden met een andere vetsoort. De reden hiervoor is omdat het oude vet niet toereikend is voor de installaties. Voordat het vet vervangen wordt bij de steunlagers moet er eerst een ander vet gebruikt worden om de resten vet en vervuiling te verwijderen. Hiervoor wordt het vet Klübersynt BZ 68-400 voor twee maanden gebruikt. Hierna wordt overgegaan op het vet Klübersynt HBE 94-401. De vervanging hiervan zal worden gedaan op basis van vetanalyses. Voor de vertanding wordt overgestapt naar het vet Klüberplex AG 11 461, waarbij gebruik gemaakt wordt van een automatisch smeersysteem. (Klüber, 2019)

Montage

Het opnieuw monteren of installeren van het panamawiel en het rondsel zal zelden voorkomen; dit is ook geen gewenste situatie. Indien het wel voorkomt is het belangrijk om te weten waar op gelet moet worden tijdens het installeren en monteren van de installatie. Ook is belangrijk om te weten waar op gelet moet worden na het correct installeren en monteren van de installatiedelen.

Om de aangegeven uitlijning te behalen zijn er een aantal belangrijke punten die eerst moeten worden uitgevoerd of gecontroleerd, deze zijn aangegeven in tabel B9.2.

Tabel B9.2: Criteria montage panamawiel en rondsel. Bron: Brammer, z.d.; NEN, 2010; NSK, 2019.

Omschrijving	Criteria
Ruwheid en vlakheid van de plaat van het lagerhuis controleren	$R_a < 12,5 \mu\text{m}$ en vlakheid IT7 (voor rondsel 0,070 en panamawiel 0,063 mm)
Passing lagerhuis controleren	H7 (voor rondsel tussen 260 en 260.052 mm en panamawiel tussen 230 en 230,046 mm) passing en cilindrische tolerantie van IT5/2 (voor rondsel 0,023 mm en panamawiel 0,020 mm)
Assen controleren op passing	p6 (voor rondsel tussen 170,043 en 170,068 mm en panamawiel tussen 130,043 en 130,068 mm) passing en cilindrische tolerantie van IT5/2 (voor rondsel en panamawiel 0,018 mm)
Aanhaalmomenten verbindingbouten	M30 8.8 = 1309 Nm en M20 8.8 = 383 Nm
Lagerspeling controleren voor montage	Voor rondsel tonlagers tussen: +0,140 en +0,200 mm. Voor panamawiel tonlagers tussen: +0,120 en +0,160 mm. (Volgens ISO 5753-1)
Lagerspeling controleren na montage	Voor rondsel tonlagers tussen: +0,058 en +0,125 mm. Voor panamawiel tonlagers tussen: +0,058 en +0,116 mm. (Volgens ISO 5753-1)
Passing rondsel as OK koppeling controleren	h6 (tussen 159.975 en 160 mm) passing en cilindrische tolerantie van IT5/2 (0,018 mm)

Voor het berekenen van de aanhaalmomenten is formule 8.27 gebruikt uit het boek "Roloff / Matek machineonderdelen" (Jannasch, Muhs, Vossiek & Wittel, 2013):

Vergelijking B9.1: Berekening aanhaalmoment metrische ISO-schroefdraad

$$M_A = F_{VM}(0,159P + 0,577 \cdot \mu_G \cdot d_2 + \mu_K \cdot d_K/2)$$

En hierbij is $F_{VM} = (\pi/4(d_2+d_3)^2) \cdot \sigma_T$ en $d_K/2 = 0,65d$

In tabel B9.3 zijn alle waardes gegevens.

Tabel B9.3: Invullingen berekening aanhaalmoment voor M20 en M30 bout.

Symbool	Betekenis	M20	M30
d	Nominale diameter bout	20 mm	30 mm
d_2	Flankdiameter van de schroefdraad	18,376 mm	27,727 mm
d_3	Kerndiameter van de schroefdraad	16,933 mm	25,706 mm
σ_T	Voorgeschreven trekspanning	384 MPa	384 MPa

F_{VM}	Montage-voorspankracht	94 kN	215 kN
P	Spoed	2,5 mm	3,5 mm
μ_G	Wrijvingscoëfficiënt in schroefdraad	0,15	0,15
μ_K	Wrijvingscoëfficiënt voor de draagvlakken	0,16	0,16
M_A	Benodigd Aanhaalmoment	383 Nm	1309 Nm

Voor het eerste gebruik is het noodzakelijk de smering direct toereikend uit te voeren. Zoals eerder aangegeven zal voor de steunlagers eerst het vet Klübersynt BZ 68-400 worden gebruikt en vervolgens het vet Klübersynt HBE 94-401. Hierbij is het belangrijk het tonlager volledig te vullen. Voor de vertanding is het nodig om het rondsel de eerste keer volledig handmatig in te smeren met Klüberplex AG 11 461. Hierna zal het automatisch smeersysteem toereikend zijn voor de installatie. Indien het rondsel moet worden schoongemaakt is het belangrijk om na het schoonmaken het rondsel wederom handmatig in te smeren. (Klüber, 2019)

Risicomatrix

De realistische afwijkingen na het correct installeren van het rondsel, de rondselkapschakelaar en het panamawiel zijn:

- A. Overmatige slijtage tandflanken rondsel.
- B. Overmatige slijtage tonlagers rondsel.
- C. Overmatige slijtage lagerhuizen rondsel.
- D. Degradatie van het vet rondsel.
- E. Falen panamawielschakelaar.
- F. Overmatige slijtage tandflanken panamawiel.
- G. Overmatige slijtage tonlagers panamawiel.
- H. Overmatige slijtage lagerhuizen panamawiel.
- I. Degradatie van het vet panamawiel.
- J. Vervuiling van het vet met externe harde deeltjes bij de vertanding.

In tabel B9.4 is de invulling van de afwijkingen zonder onderhoud gegeven en in tabel B9.5 is de invulling gegeven met toereikend onderhoud. Bij de tweede onderbouwing worden de kans en de ernst van de gevolgen toegelicht. De eerste onderbouwing geeft alleen kort aan of onderhoud voor de betreffende afwijking invloed heeft op de kans van optreden.

Tabel B9.4: Risicomatrix geen onderhoud Panamawiel en Rondsel.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1) E.	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2) J.	(4) D, I.	(6) A, F.
3 - Kritisch	(3)	(6) B, G, C, H.	(9)
4 - Catastrofaal	(4)	(8)	(12)

Onderbouwing van de plaatsing van de afwijkingen zonder onderhoud:

- A. Voor de tandflanken moet er doorlopend nagesmeerd worden om een toereikende smeerfilm te behouden. Indien dit niet wordt gedaan, ontstaat er binnen een korte tijd schade. Deze schade op de tandflanken kan ook invloeden hebben op andere componenten

en mogelijk afwijkingen. Het rondsel heeft meer kans op slijtage doordat het meer belastingwisselingen per tand heeft.

- B. De lagers kunnen minimaal 5 jaar functioneren zonder onderhoud c.q. vervanging van het vet. Na 5 jaar kan het zijn dat er lagerschade ontstaat door het degraderen van het vet.
- C. Ook de lagerhuizen zullen eerder slijtage vertonen door het degraderen van het vet. Als het tonlager vast loopt zal de buitenste ring ook meedraaien. Dit zorgt voor slijtage aan de binnenkant van het lagerhuis.
- D. De degradatie van het vet in de lagers is onafhankelijk van onderhoud. Het is moeilijk in te schatten hoe lang het duurt voordat het vet degradeert. Op basis van ervaring en de situatie is het verstandig deze tijd op 5 jaar te plaatsen. (A.R. Analyses, 2019)
- E. De panamawielchakelaar heeft geen standaard levensduur verlengend onderhoud.
- F. Zie A.
- G. Zie B.
- H. Zie C.
- I. Zie D.
- J. Het ontstaan van schade door de vervuiling van het vet zal minstens 10 jaar duren.

Tabel B9.5: Risicomatrix toereikend onderhoud Panamawiel en Rondsel.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1) E.	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2) A, F, J.	(4) D, I.	(6)
3 - Kritisch	(3) B, G, C, H.	(6)	(9)
4 - Catastrofaal	(4)	(8)	(12)

Onderbouwing van de plaatsing van de afwijkingen met toereikend onderhoud:

- A. Door het gebruik van een automatisch smeersysteem en een beter toepasbaar smeermiddel is het optreden van slijtage bij het rondsel onwaarschijnlijk. Naar verwachtingen zal het automatisch smeersysteem het rondsel voldoende beschermen tegen slijtage voor de betreffende levensduur. Bij slijtage is functioneren van de installatie nog steeds mogelijk. Het is hierbij wel belangrijk zo snel mogelijk vervolgstappen in te plannen voor het oplossen van de schade.
- B. De lagers bij het rondsel worden volledig gevuld met het vet en vervolgens vervangen op basis van vetanalyses. Als het vet naar behoren functioneert zal er naar verwachtingen geen slijtage voorkomen binnen de termijn van de levensduur. Indien er slijtage optreedt zal dit hoogstwaarschijnlijk aan de onderkant van de lager zijn, aangezien hier de grootste krachten werken en er veel stilstand is in de installatie. Indien overmatige slijtage is geconstateerd, kan de installatie nog functioneren maar wel met een afname van deze functionaliteit en een verhoogde kans op andere calamiteiten. Daarom is het belangrijk om de lager zo snel mogelijk te vervangen.
- C. De slijtage van de lagerhuizen wordt veroorzaakt door het meedraaien van de buitenste ring van de tonlagers; dit kan gebeuren bij extreme vochtname en slijtage. Bij de slijtage van het lagerhuis kan de installatie nog functioneren. De kans op calamiteiten neemt wel toe. De rondheid van het lagerhuis zal bij de slijtage niet meer voldoen aan de cilindrische tolerantie. Het is hierbij aan te raden de passing van de lagerzitting zo spoedig mogelijk te herstellen.
- D. De degradatie van het vet heeft met veel factoren te maken. Gewoonlijk is het hierbij belangrijk om het vet te analyseren om te achterhalen wat er in het vet zit aan additieven,

het watergehalte en de metalen. Hierdoor is het moeilijk in te schatten hoe lang het zou duren voordat het vet gedegradieerd is naar een onvoldoende niveau. Daarom is er van de slechtste situatie uitgegaan bij het bepalen van de kans, wat neerkomt op een periode van maximaal 5 jaar. (A.R. Analyses, 2019)

- E. Naar verwachtingen zal de schakelaar 20 jaar meegaan. De schakelaars zullen zelden hun functie uitvoeren aangezien het niet wenselijk is dat het panamawiel doordraait. Daarom is het belangrijk de schakelaars functioneel te testen. Dit zal standaard in de jaarlijkse functionele testen worden meegenomen.
- F. Bij de Coenbrug heeft het panamawiel een iets lagere treksterkte dan het rondsel. Toch heeft het panamawiel minder kans op slijtage doordat het minder belastingwisselingen per tand heeft. Verder geldt bij de invulling van deze afwijking in het risico matrix dezelfde onderbouwing als bij het rondsel; het werkt namelijk via hetzelfde automatisch smeersysteem.
- G. De lagers zijn voor beide componenten hetzelfde qua onderbouwing. Het enige verschil hierin is het type lager en dat er op de lagers van het panamawiel grotere krachten werken.
- H. De onderbouwing voor de lagerhuizen van het panamawiel is gelijk aan die van het rondsel. Zie C.
- I. De degradatie van het vet zal ook grotendeels overeenkomen met die van de rondsels. Het verschil is dat er bij het panamawiel alleen een slag van rond de 180° wordt gemaakt en bij het rondsel roteren de tonlagers volledig. Dit resulteert in het nauwelijks opbouwen van een smeerfilm in de tonlagers van het panamawiel. De precieze gevolgen hiervan zijn nu moeilijk te bepalen en zal na een aantal jaren van vetanalyses duidelijker worden.
- J. Zoals aangegeven zal het ontstaan van schade door vervuiling minstens 10 jaar duren. De gevolgen zijn beperkt tot schade op het rondsel en het panamawiel. Door de harde vuildeeltjes zullen er putten ontstaan op beide componenten. Dit geeft geen directe belemmering van de functionaliteit voor de gehele aandrijflijn.

Bij het rondsel en panamawiel is het onderdeel wat standaard onderhoud vergt de vertanding van de twee installatiedelen; dit onderhoud is in de vorm van nasmering. Noodzakelijk hierbij is het om de nasmering tijdens bedrijf uit te voeren. Daarom is er gekozen om een automatisch smeersysteem te installeren. Zonder nasmering ontstaat er binnen enkele maanden schade aan de tandflanken van het rondsel, wat tot meer schade kan leiden bij andere componenten. De exacte gevolgen ervan zijn moeilijk in te schatten. Dit is afhankelijk van de ernst en andere variabele invloeden zoals weersomstandigheden.

Onderhoud

Het onderhoud van het rondsel en het panamawiel zal bestaan uit:

- Inspecties: 2-maandelijks inspecteren panamawiel en rondsel op overtollig vet
- GAO: 2-maandelijks vullen van het automatische smeersysteem
- TAO: 6-maandelijks vet-analyses voor de tonlagers en de vertanding; voor de vertanding zijn deze analyses om te achterhalen wanneer schoonmaken nodig is
- FT: Het functioneel testen van de panamawiel-schakelaars

Het vullen van het automatisch smeersysteem moet 2-maandelijks gebeuren samen met de overige 2-maandelijkse onderhoudstaken, zoals het nasmeren van de glijlagers en een aantal standaard inspecties. Bij de taak van het vullen is ook inbegrepen het opruimen van het overtollig vet wat door de installatie is weggedrukt.

Om de kwaliteit en degradatie van het vet goed te kunnen bepalen is het belangrijk om een nul monster te nemen van het nieuwe vet. Het nul monster is om de resultaten te kunnen vergelijken met de beginsituatie, zodat het door elke specialist kan worden uitgevoerd. Zonder het afnemen van een nul monster liggen deze gegevens namelijk alleen bij de leverancier. Het afnemen van alle vet monsters voor analyses zal standaard elke 6 maanden gebeuren. Indien er in de resultaten is te zien dat het niet elke 6 maanden nodig is, kan dit verhoogt worden naar één keer per jaar.

Om te zorgen dat het vet op de componenten geen belemmering wordt voor de functionaliteit van de installatie is het belangrijk deze tijdig schoon te maken. Dit kan het best worden gedaan in combinatie met de vet analyses die elke 6 maanden worden afgenomen. Hieruit kan worden opgemaakt of het nodig is om beide componenten schoon te maken. Indien de componenten moeten worden schoongemaakt is het belangrijk om hierna eerst handmatig een laag van het vet aan te brengen op het rondsel.

Het functioneel testen van de panamawielschakelaars moet worden ingepland samen met de andere jaarlijkse functionele testen, zoals het testen van de noodrem.

Door het lage toerental van de tonlagers heeft de vetlevensduurberekening en het uitvoeren van trillingsmetingen geen toegevoegde waarde.

Bijlage 10: De trek- en duwstang

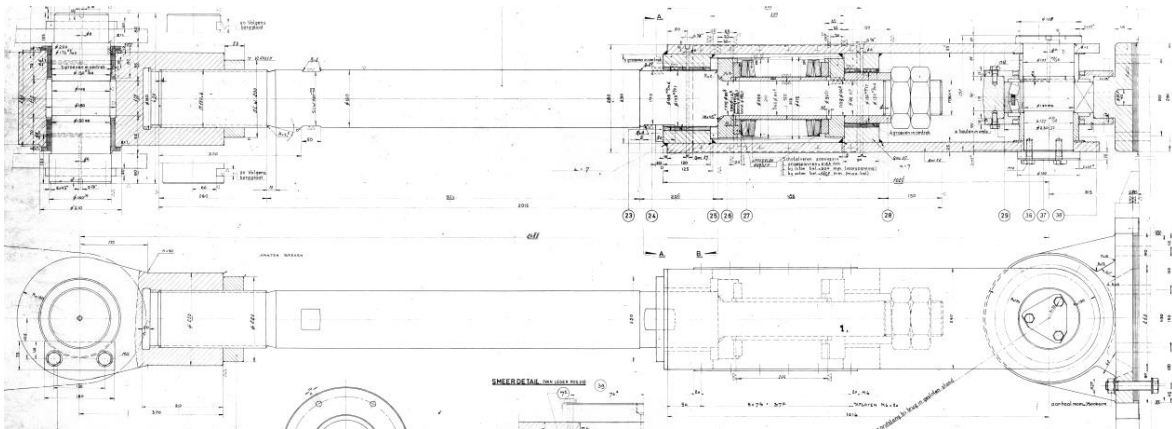
Algemeen

De trek- en duwstang bestaat uit veel bewegende onderdelen. Bij het draaipunt van de trek- en duwstang en het panamawiel zitten twee glijlagers. Ook zitten er twee glijlagers bij de bufferstang om te zorgen dat er geen onnodige slijtage ontstaat bij de bewegingen. De twee glijlagers onderin hebben dezelfde afmetingen met een e8 passing. Bij de bufferstang is er gebruik gemaakt van twee verschillende maten met dezelfde passing, namelijk f7. Alle glijlagers zijn van het materiaal van het materiaal CuSn7ZnPb. Voor het opvangen van de trillingen van het wegdek en de belasting zitten er 12 schotelveren in de trek- en duwstang. Bovenaan bij het bevestigingspunt aan de ballastkist zit een tonlager. Hieronder in tabel B10.1 zijn de gegevens van deze lager weergegeven. In figuur B10.1 is een werktekening van de trek- en duwstang weergegeven. (Elcas, z.d.)

Tabel B10.1: Gegevens tonlager trek- en duwstang. Opgehaald van: <https://shop.eriks.nl>

Type lager	Binnen diameter (mm)	Buiten diameter (mm)	Breedte (mm)	Statisch draaggetal (kN)	Dynamisch draaggetal (kN)
23226CC/W33	130	230	80	1060	826

Voor deze lager zal hetzelfde vet worden gebruikt als bij de steunlagers van het panamawiel en het rondsel, namelijk Klübersynth HBE 94-401. Ook is het hierbij belangrijk om voor de wissel eerst twee maanden gebruik te maken van het vet Klübersynth BZ 68-400 om het oude vet en vervuiling te verwijderen. Wederom zal de vervanging van het vet worden gebaseerd op vetanalyses. Ook zal dit worden gebruikt voor de glijlagers. (Klüber, 2019)



Figuur B10.1: Werktekening trek- en duwstang. Werktekening: 7389/3

Montage

Voor het monteren van de trek- en duwstang is het nodig om een steiger te plaatsen. Vervolgens wordt de trek- en duwstang als geheel bevestigd aan de draaipunten. Hierbij is het belangrijk om de passing en cilindrische tolerantie van de assen te controleren. Het controleren van de speling bij de glijlagers is ook noodzakelijk; dit moet volgens de norm DIN 31698 voor de speling bij glijlagers. De afkeurwaarde voor de speling voor beide f7 assen is hierbij 138 µm en voor de e8 passing is de afkeurwaarde 161 µm. (DIN, 1979) De criteria voor de montage van de trek- en duwstang zijn weergegeven in tabel B10.2.

Tabel B10.2: Criteria montage van de trek- en duwstang. *) Berekening voor deze aanhaalmomenten is te vinden in het onderzoek van het rondsel en panamawiel. Bron: Brammer, z.d.; NEN, 2010; NSK, 2019.

Omschrijving	Criteria
Passing lagerhuis(tonlager) controleren	H7 (tussen 230 en 230,046 mm) passing en cilindrische tolerantie van IT5/2 (0,020 mm)
Passing as tonlager controleren	m8 (tussen 130,015 en 130,078 mm) passing en cilindrische tolerantie van IT5/2 (0,018 mm)
Aanhaalmomenten verbindingbouten*	M30 8.8 = 1309 Nm en M20 8.8 = 383 Nm
Lagerspeling controleren voor montage	Speling tussen de +0,120 en +0,160 mm. (volgens ISO 5753-1)
Lagerspeling controleren na montage	Speling tussen de +0,058 en +0,116 mm. (Volgens ISO 5753-1)
Passing as glijlagers controleren	e8 (tussen 149.852 en 149.915 mm) passing en cilindrische tolerantie van IT5/2 (0,018 mm)
Passing tegenloopvlak bufferstang grote glijlager controleren	f7 (tussen 129,917 en 129,957 mm) passing
Passing tegenloopvlak bufferstang kleine glijlager controleren	f7 (tussen 144,917 en 144,957 mm) passing

Zoals eerder aangegeven zal eerst gebruik worden gemaakt van het vet Klübersynth BZ 68-400 en vervolgens het vet Klübersynth HBE 94-401. Hierbij is het belangrijk de vrije ruimte van het tonlager volledig te vullen. De vier glijlagers kunnen niet volledig gevuld worden vanwege de benodigde speling. Deze zullen nagesmeerd worden op basis van een standaard interval. (Klüber, 2019)

Na de montage is het belangrijk om bij gebruik op vreemde geluiden te letten. Dit kan namelijk een indicatie van defecte schotelveren zijn; of een uitlijnfout van de hartlijn van de veerbuffer ten opzichte van de hartlijn van het panamawiel.

Risicomatrix

De realistische afwijkingen die kunnen optreden na correcte installatie van de componenten zijn:

- A. Overmatige slijtage glijlager draaipunt.
- B. Overmatige slijtage tonlager.
- C. Overmatige slijtage lagerhuis.
- D. Degradatie van het vet in het tonlager.
- E. Gebroken schotelveren.
- F. Overmatige slijtage grote glijlager van geleiding bufferstang.
- G. Overmatige slijtage kleine glijlager van geleiding bufferstang.
- H. Onvoldoende voorspanning.

In tabel B10.3 is de invulling van de afwijkingen zonder onderhoud gegeven en in tabel B10.4 is de invulling gegeven met toereikend onderhoud. Bij de tweede onderbouwing worden de kans en de ernst van de gevolgen toegelicht. De eerste onderbouwing geeft alleen kort aan of onderhoud voor de betreffende afwijking invloed heeft op de kans van optreden.

Tabel B10.3: Risicomatrix geen onderhoud Trek- en duwstang.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1) H.	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2)	(4) D, B.	(6) A.
3 - Kritisch	(3) E.	(6) C.	(9) F, G.
4 - Catastrofaal	(4)	(8)	(12)

Onderbouwing van plaatsing van de afwijkingen zonder onderhoud:

- A. Zonder toereikend onderhoud zal de glijlager binnen enkele maanden beginnen te slijten.
- B. De slijtage van het tonlager zal zonder een vetwissel rond het moment dat het vet begint te degraderen optreden.
- C. De lagerhuizen zullen eerder slijtage vertonen door het degraderen van het vet. Als het tonlager vast loopt zal de buitenste ring ook meedraaien. Dit zorgt voor slijtage aan de binnenkant van het lagerhuis.
- D. De degradatie van het vet in het tonlager heeft geen levensverlengende onderhoudstaken. Hierdoor blijft het bij toereikende onderhoud op dezelfde plaats in de risicomatrix. Voor alle tonlagers wordt hetzelfde vet gebruikt. Hierbij is wederom de geschatte tijdsduur voor degradatie 5 jaar. (A.R. Analyses, 2019)
- E. Voor schotelveren zijn er geen onderhoudstaken voor het verlengen van de levensduur, wel kunnen de andere afwijkingen effect hebben op de schotelveren. Dit is lastig in te schatten.
- F. Zie A.
- G. Zie A.
- H. Voor het voorkomen van onvoldoende voorspanning zijn er geen standaard onderhoudstaken. Wel hebben de andere afwijkingen effect op de voorspanning. Of de voorspanning voldoende blijft bij het voordoen van de andere afwijkingen is lastig te bepalen met de bekende gegevens.

Tabel B10.4: Risicomatrix toereikend onderhoud Trek- en duwstang.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1) H.	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2) A, B.	(4) D.	(6)
3 - Kritisch	(3) E, F, G, C.	(6)	(9)
4 - Catastrofaal	(4)	(8)	(12)

Onderbouwing van plaatsing van de afwijkingen met toereikend onderhoud:

- A. Door het gebruik van het juiste vet zal er niet vaker dan één keer per 10 jaar slijtage voorkomen. De effecten van slijtage bij de glijlagers beneden is beperkt, omdat het alleen voor de draaibeweging van de trek- en duwstang zorgt ten opzichte van het draaipunt bovenin. Het zit hierbij vast in een lijn.
- B. De lager boven is een tonlager zoals bij het rondsel, het panamawiel en de hoofddraaipunten. Bij normaal gebruik en gebruik van het juiste smeermiddel zal bij dit onderdeel binnen de bedoelde levensduur geen slijtage voorkomen. Indien er wel slijtage voor zou komen is dit geen direct probleem. Wel is het verstandig om hierbij zo snel mogelijk de lager te vervangen.

- C. De slijtage van de lagerhuizen wordt veroorzaakt door het meedraaien van de buitenste ring van de tonlagers; dit kan gebeuren bij extreme vochtopname en slijtage. Bij de slijtage van het lagerhuis kan de installatie nog functioneren. Wel neemt de kans op calamiteiten toe. De rondheid van het lagerhuis zal bij de slijtage niet meer voldoen aan de cilindrische tolerantie. Het is hierbij aan te raden het lagerhuis zo spoedig mogelijk te vervangen.
- D. De degradatie van het vet heeft met veel factoren te maken. Gewoonlijk is het hierbij belangrijk om het vet te analyseren om te achterhalen wat er in het vet zit van additieven, het watergehalte en de metalen. Hierdoor is het moeilijk in te schatten hoe lang het zou duren voordat het vet gedegradieerd is naar een onvoldoende niveau. Daarom is er van de slechtste situatie uitgegaan bij het bepalen van de kans, dit zou neerkomen op een periode van maximaal 5 jaar. (A.R. Analysis, 2019)
- E. Indien er geen extra externe krachten op de installatie spelen kan er vanuit worden gegaan dat het breken van een schotelveer bijna nooit zal voorkomen. Bij bijvoorbeeld het gebruiken van de noodrem neemt de kans op het breken van een schotelveer toe. Indien er een schotelveer gebroken is heeft dit als gevolg een afname van de functionaliteit. Daarom is het belangrijk deze zo snel mogelijk te vervangen.
- F. De grote glijlager is crucialer dan de glijlagers in het draaipunt, omdat het zorgt voor de geleiding van de bufferstang. Indien er schade is zorgt dit voor een kleine afwijking, waardoor bijvoorbeeld de krachten ongelijk verdeeld zijn op de schotelveren. Bij de hoge puntbelastingen die opgewekt worden door een hoekverdraaiing of scheefstand van de as is er sprake van snelle slijtage van de glijlager bus.
- G. Bij de kleine glijlager is de impact minder groot. Verder geldt dezelfde onderbouwing als bij F.
- H. Onvoldoende voorspanning heeft als oorzaak het afnemen van de karakteristieken van de schotelveren, voornamelijk de veerkracht. De functie van de voorspanning is het elimineren van de belastingen door trillingen op de tonlagers van de hoofddraipunten. De trillingen worden veroorzaakt door het verkeer dat over het brugdek gaat. Onvoldoende voorspanning zal zelden voorkomen bij normaal gebruik van de installatie. Bij het gebruiken van de noodrem kan het zijn dat hierna enkele schotelveren niet naar behoren functioneren waardoor er onvoldoende voorspanning is.

Voor de trek- en duwstang is onderhoud vereist voor het behouden van de gewenste levensduur en de vereiste functionaliteit. Voor de glijlagers is nasmering noodzakelijk, omdat de vetkamers na ongeveer twee maanden grotendeels leeg zullen zijn. Hierdoor valt de smering weg. Dit veroorzaakt slijtage; deze slijtage kan voor meer afwijkingen zorgen maar met de informatie vanuit Rijkswaterstaat is dit lastig te bepalen. De slijtage kan bijvoorbeeld voor een hoekverdraaiing van de bufferstang ten opzichte van de oorspronkelijke hartlijn zorgen. Hierdoor verandert de belasting in het glijlager naar een kantbelasting. Dit zorgt voor schotelveren die eerder breken. Vanuit de gemaakte analyses en onderbouwingen is duidelijk dat toereikend onderhoud een grote impact op de langdurige functionaliteit van de trek- en duwstang zal hebben.

Onderhoud

Het onderhoud van de trek- en duwstang zal bestaan uit;

- Inspecties: Jaarlijks schotelveren en glijlager speling controleren.
- GAO: 2-maandelijks nasmeren van de glijlagers.
- TAO: Vet analyses van het vet in het tonlager elke 6 maanden.
- FT: Jaarlijks de voorspanning functioneel testen.

Aangezien de trek- en duwstang moeilijk te bereiken is voor visuele inspectie wordt dit jaarlijks gedaan door middel van het opzetten van een steiger. Bij deze inspectie zijn de twee hoofdzaken het controleren van de schotelveren en het controleren van de glijlager speling. Het controleren van de glijlagerspeling kan hierbij alleen bij drie van de glijlagers, namelijk de twee beneden en de eerste glijlager van beneden bij de bufferstang. Ook is het belangrijk de trek- en duwstang tijdens deze inspectie schoon te maken.

Zoals eerder aangegeven kunnen de glijlagers niet volledig worden gevuld zoals bij de tonlagers. Hierdoor is het nodig om de glijlagers voldoende na te smeren. Het vet zal door de hoge druk sneller verouderen dan onder normale omstandigheden. Ook wordt het vet uit de ruimtes geperst aangezien er al relatief weinig ruimte is. Met de gegeven kennis en op basis van ervaring kan voor een toereikend interval twee maanden worden aangehouden.

De vetanalyses zijn nodig om de staat van het vet te achterhalen en om de lagers op schade te controleren. Om hiervan trendanalyses te maken waaruit nuttige voorspellingen worden gemaakt, is het aan te raden deze minimaal jaarlijks uit te voeren en ideaal zou elke zes maanden zijn. Deze zesmaandelijks analyses zijn cruciaal voor het achterhalen van de staat van de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug. Bij de vetanalyses moeten de waterbesmetting, de deeltjestelling en het slijtagemateriaal onderzocht worden. (A.R. Analyses, 2019)

De voorspanning van de trek- en duwstang is nodig voor het elimineren van de belastingen door trillingen op de tonlagers van de hoofddraaipunten. Indien deze trillingen niet worden opgevangen zal dit direct effect hebben op de hoofddraaipunten. De lagers hierin zullen eerder schade oplopen door de hogere externe belastingen van de trillingen. Voor het meten van de voorspanning worden er twee metingen gedaan op de oplegdruk van het brugdek. De eerste meting is met de geactiveerde rem en de tweede meting met een gedeactiveerde rem; hieruit komen twee verschillende waarden. De eerste waarde hierbij is de oplegdruk met de voorspanning en de tweede waarde de oplegdruk zonder de voorspanning. Om de voorspanning te achterhalen moet de tweede waarde van de eerste waarde worden afgetrokken.

De vereiste voorspankracht van de trek- en duwstang is 13.000 kg. Dit staat aangegeven op werktekening 7389/3. Om dit om te rekenen naar Newton geldt:

$$F = m * g$$

Tabel B10.5: Symbolen, eenheden en waarden voor het berekenen van de voorspankracht.

Symbool	Eenheid	Waarde
F	N	Te berekenen
m	kg	13.000
g	m/s ²	9,81

$$13000 * 9,81 = F$$

$$F = 127,5 \text{ kN}$$

Volgens de norm NEN-EN 16983 zit er een 5% tolerantie bij de berekening, voor het onderhoud gaat hier weer 5% bovenop. Dit geeft $127,5 * 0,95^2 = 115 \text{ kN}$ als minimum waarde. (NEN, 2016; Schnorr, 2018)

Door het lage toerental van de tonlagers heeft de vetlevensduurberekening en het uitvoeren van trillingsmetingen geen toegevoegde waarde.

Bijlage 11: Het hoofddraaipunt

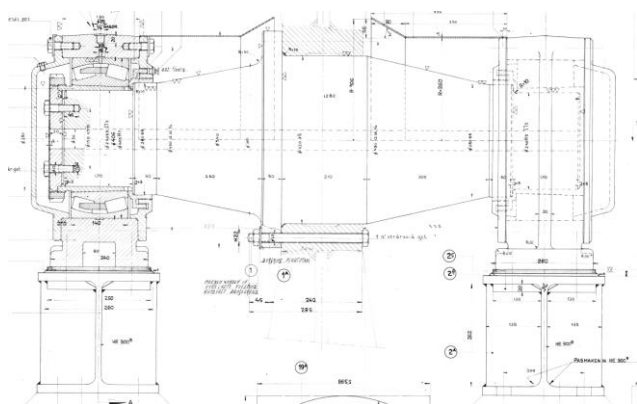
Algemeen

De hoofddraaipunten zijn het meest belaste installatiedeel van de mechanische aandrijflijn. Op figuur B11.1 is te zien dat het hoofddraaipunt essentieel is onder te verdelen in drie onderdelen: de as, de lagerhuizen en de lagers. Zoals op figuur B11.2 is weergegeven zitten de loslagers links en de vastlagers rechts. Hierdoor kunnen lengteveranderingen ten gevolge van uitzetting of krimp worden opgevangen zonder dat hierdoor in axiale richting ongewenste krachten op de draaipunten ontstaan. In totaal zijn er vier hoofddraaipunten met elk twee steunlagers. Voor het onderhoud van de hoofddraaipunten zijn de lagers het belangrijkste onderdeel. Wederom zijn de lagers van het soort tonlager. In tabel B11.1 is de variant met de belangrijke eigenschappen weergegeven.

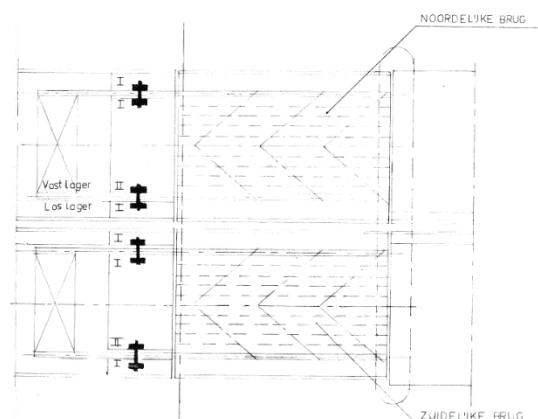
Tabel B11.1: Gegevens tonlager hoofddraaipunten. Opgehaald van: <https://shop.eriks.nl>

Type lager	Binnen diameter (mm)	Buiten diameter (mm)	Breedte (mm)	Statisch draaggetal (kN)	Dynamisch draaggetal (kN)
24052CCK30/W33 + AOH 24052 G	260	400	140	3450	2135

Als smeermiddel zal er ook voor de hoofddraaipunten een wissel plaatsvinden naar Klübersynt HBE 94-401. Hiervoor is het eerst nodig om twee maanden het vet Klübersynt BZ 68-400 te gebruiken om de resten vet en vervuiling te verwijderen. Hierna kan het vet Klübersynt HBE 94-401 worden gebruikt; de vervanging hiervan zal worden gedaan op basis van vetanalyses. (Klüber, 2019)



Figuur B11.1: Werktekening hoofddraaipunt. Werktekening: 7389/6



Figuur B11.2: Overzicht plaatsing hoofddraaipunten. Werktekening: 7389/6

Montage

De montage van het hoofddraaipunt valt buiten het kader van de opdracht, omdat hier ook het brugdek bij in zit. Wel is het hierbij nuttig een aantal punten voor het smeren en nasmeren van de lagers aan te geven. Bij het hoofddraaipunt klemt de drukbus het tonlager op de as. Het lagerhuis heeft een H7 passing zodat het lager kan schuiven. In tabel B11.2 zijn de criteria voor de montage weergegeven.

Zoals eerder aangegeven zal voor de tonlagers eerst het vet Klübersynt BZ 68-400 worden gebruikt en vervolgens het vet Klübersynt HBE 94-401. Hierbij is het belangrijk de lager volledig te vullen. Het

volledig vullen wordt gedaan, zodat nasmeren in principe niet meer nodig is voor de hoofddraaipunten en er enkel een wisseling op basis van vetanalyses zal plaatsvinden. (Klüber, 2019)

*Tabel B11.2: Criteria montage hoofddraaipunten. *) Berekening voor deze aanhaalmomenten is te vinden in het onderzoek van het rondsel en panamawiel. Bron: Brammer, z.d.; NEN, 2010; NSK, 2019.*

Omschrijving	Criteria
Ruwheid en vlakheid van de plaat van het lagerhuis controleren	$R_a < 12,5 \mu\text{m}$ en vlakheid IT7 (0,090 mm)
Passing lagerhuis controleren	H7 (tussen 400 en 400,057 mm) passing en cilindrische tolerantie van IT5/2 (0,027 mm)
As controleren op passing	h9 (tussen 239.885 en 240 mm) passing en cilindrische tolerantie van IT5/2 (0,020 mm)
Aanhaalmomenten verbindingbouten*	M30 8.8 = 1309 Nm en M20 8.8 = 383 Nm
Lagerspeling controleren voor montage	Speling tussen de +0,220 en +0,300 mm (volgens ISO 5753-1)
Lagerspeling controleren na montage	Speling tussen de +0,100 en +0,130 mm (Volgens ISO 5753-1)

Risicomatrix

De realistische afwijkingen na het correct installeren van de hoofddraaipunten zijn:

- A. Overmatige slijtage tonlagers.
- B. Degradatie van het vet.
- C. Overmatige slijtage lagerhuis.
- D. Onregelmatigheden voetbouten lagerhuis.

In tabel B11.3 is de invulling van de afwijkingen zonder onderhoud gegeven en in tabel B11.4 is de invulling gegeven met toereikend onderhoud. Bij de tweede onderbouwing worden de kans en de ernst van de gevolgen toegelicht. De eerste onderbouwing geeft alleen kort aan of onderhoud voor de betreffende afwijking invloed heeft op de kans van optreden.

Tabel B11.3: Risicomatrix geen onderhoud hoofddraaipunt.

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2)	(4) B.	(6)
3 - Kritisch	(3) D.	(6) A, C.	(9)
4 - Catastrofaal	(4)	(8)	(12)

Onderbouwing van de plaatsing van de afwijkingen zonder onderhoud:

- A. Door de degradatie van het vet zal er slijtage ontstaan bij de lagers. Dit begint onderin aangezien hier de grootste belastingen op werken.
- B. Zoals aangegeven bij de andere installatiedelen wordt voor elke tonlager hetzelfde vet gebruikt, waarbij de degradatie geschat is op 5 jaar in de gegeven situatie. Na een aantal jaar afnemen van vetmonsters voor een vetanalyses kunnen er trends worden bepaald. Vanuit deze trends kan een betere schatting worden gemaakt. (A.R. Analyses, 2019)

- C. De lagerhuizen zullen eerder slijtage vertonen door het degraderen van het vet. Als het tonlager vast loopt zal de buitenste ring ook meedraaien. Dit zorgt voor slijtage aan de binnenkant van het lagerhuis.
- D. Er is geen standaard onderhoud wat onregelmatigheden van de voetbouten voorkomt. Dit zal gebeuren op basis van inspecties. Hierbij zal dit ter plekke worden opgelost.

Tabel B11.4: Risicomatrix toereikend onderhoud hoofddraaipunt

Ernst x Kans	1 – Laag	2 - Gemiddeld	3 - Hoog
1 - Minimaal	(1)	(2)	(3)
2 - Maximaal	(2)	(4) B.	(6)
3 - Kritisch	(3) A, C, D.	(6)	(9)
4 - Catastrofaal	(4)	(8)	(12)

Onderbouwing van de plaatsing van de afwijkingen met toereikend onderhoud:

- A. Voor de lagers bij de hoofddraaipunten zal het volledig gevuld worden met het vet en vervolgens vervangen worden op basis van vetanalyses. Als het vet naar behoren functioneert zal er naar verwachtingen geen slijtage voorkomen binnen de termijn van de levensduur. Indien er slijtage optreedt zal dit hoogstwaarschijnlijk aan de onderkant van de lager zijn, aangezien hier de grootste krachten werken en er veel stilstand is in de installatie. Indien overmatige slijtage is geconstateerd kan de installatie nog functioneren maar wel met een afname van deze functionaliteit en een verhoogde kans op andere calamiteiten. Hierdoor is het belangrijk om de lager zo snel mogelijk te vervangen.
- B. De degradatie van het vet heeft met veel factoren te maken. Gewoonlijk is het hierbij belangrijk om het vet te analyseren om te achterhalen wat er in het vet zit aan additieven, het watergehalte en de metalen. Bij de hoofdraaipunten komt er meer vocht binnen de lagers door de plaatsing. Naar verwachtingen degradeert het vet in de hoofddraaipunten sneller als bij de andere tonlagers. Toch blijft het moeilijk in te schatten hoe lang het zou duren voordat het vet gedegradieerd is naar een onvoldoende niveau. Daarom is er van de slechtste situatie uit gegaan bij het bepalen van de kans. Dit zou neerkomen op een periode van maximaal 5 jaar. (A.R. Analyses, 2019)
- C. De slijtage van de lagerhuizen wordt veroorzaakt door het meedraaien van de buitenste ring van de tonlagers. Dit kan gebeuren bij extreme vochtname en slijtage. Bij de slijtage van het lagerhuis kan de installatie nog functioneren. Wel neemt de kans op calamiteiten toe. De rondheid van het lagerhuis zal bij de slijtage niet meer voldoen aan de cilindrische tolerantie. Het is hierbij aan te raden het lagerhuis zo spoedig mogelijk te vervangen.
- D. De voetbouten bij de hoofddraaipunten zijn belangrijk om ongewenste verplaatsingen tegen te gaan en het brugdek goed vast te houden. Indien er onregelmatigheden zijn, zorgt dit voor problemen, zoals onjuist verdeelde belastingen. Naar verwachtingen zal dit binnen de levensduur niet voor komen. Het is belangrijk de voetbouten te controleren om schade te voorkomen.

Bij de hoofddraaipunten zorgt toereikend onderhoud voor het behouden van de functionaliteit over een lange periode. Indien er ontoereikend onderhoud wordt uitgevoerd zal de functionaliteit van het installatiedeel naar verwachtingen na ongeveer vijf jaar afnemen. Om ervoor te zorgen dat de afwijkingen worden voorkomen is er in de volgende paragraaf aangegeven wat voor onderhoud hiervoor vereist is.

Onderhoud

Het onderhoud van de hoofdraaipunten zal alleen bestaan uit;

- Inspecties: 6-maandelijks inspecteren van de boutverbindingen.
- TAO: 6-maandelijks vetanalyses.

Het inspecteren van de boutverbindingen is noodzakelijk om de schade, die onregelmatigheden in de boutverbindingen veroorzaken, te voorkomen. Aangezien de vetanalyses standaard zesmaandelijks worden gedaan is het nuttig om het inspecteren tegelijkertijd te doen. De vetanalyses van de hoofddraaipunten vallen samen met alle andere vetanalyses. Voor alle vetanalyses worden dezelfde onderzoeken uitgevoerd: waterbesmetting, deeltjestelling en slijtagemateriaal.

Door het lage toerental van de tonlagers heeft de vetlevensduurberekening en het uitvoeren van trillingsmetingen geen toegevoegde waarde.

Bijlage 12: FMECA

Onderdeel	Functie/ beschrijving	Afwijking	Detectie	Oorzaken	Gevolgen	Geen onderhoud			Basis onderhoudstaken	Toereikend onderhoud			Opmerkingen
						Kans	Ernst	Risico		Kans	Ernst	Risico	
1. Elektromotor		Aandrijving van de beweegbare brugdelen.	1-1 Kortsluiting	1-1 Gebruik/inspectie	1-1 Installatie onder hoge spanning	1	4	4	Isolatie weerstand voldoende meten.	1	4	4	x
	1.1 Ventilator	Roterend element in de elektromotor voor verlagen van de temperatuur.	1.1-1 Falen ventilator	1.1-1 Inspectie	1.1-1 Corrosie/vervuiling	1	1	1	Inspectie.	1	1	1	x
	1.2 Kogellagers	Ondersteunen van de draaiende assen.	1.2-1 Overmatige slijtage aan lagers	1.2-1 Inspectie/Meting	1.2-1 Verkeerde uitlijning en/of lager slijtage over een periode	1	3	3	Metingen voor het achterhalen van de staat van de lagers.	1	3	3	Het gaat hierbij om de lagers 6309 2Z C3 en 6209 2Z C3.
2. Reminstallatie		De elektrische blokkenrem zorgt dat de brug in een "geopende" dan wel "gesloten" toestand blijft. (tevens noodstop)	2-1 Overmatige slijtage draaipunten	2-1 Inspectie/gebruik	2-1 Vervuiling, langdurig gebruik	2	3	6	Smering en inspectie.	1	3	3	x
	2.1 Remtrommel	Roterend element waar de remschoenen op klemmen om te remmen, tevens ook de koppeling tussen tandwielkast en elektromotor.	2.1-1 Overmatige slijtage omtrek remtrommel	2.1-1 Inspectie	2.1-1 Vervuiling, langdurig gebruik	1	2	2	Inspectie, bewerken of vervangen indien nodig.	1	2	2	Van het materiaal GJS-400.
			2.1-2 Overmatige slijtage elastisch element remtrommel	2.1-2 Inspectie	2.1-2 Langdurig gebruik, extreme belasting	2	4	8	Inspectie, vervangen indien nodig.	2	4	8	Belangrijk is dit onderdeel te vervangen met een origineel type. Het is gemaakt van polyurethaan. 92° Shore A Hardheid
			2.1-3 Verdraaiing flexibele koppeling	2.1-3 Inspectie	2.1-3 Extreme belasting, versleten elastische elementen	2	3	6	Inspectie, vervangen of afstellen indien nodig.	1	3	3	Markeringen aanbrengen voor oorspronkelijke stand.

Onderdeel	Functie/ beschrijving	Afwijking	Detectie	Oorzaken	Gevolgen	Geen onderhoud			Basis onderhoudstaken	Toereikend onderhoud			Opmerkingen	
						Kans	Ernst	Risico		Kans	Ernst	Risico		
	2.2 Remschoen	Component voor het klemmen van de remtrommel.	2.2-1 Overmatige slijtage remschoenen	2.2-1 Inspectie	2.2-1 Langdurig gebruik, te strak ingesteld	2.2-1 Aangrijppunt verkleint, kans op schade verhoogt	2	2	4	Inspectie, vervangen indien nodig.	2	2	4	Van het materiaal Bremskerl 5387.
			2.2-2 Loskomen van de remvoering	2.2-2 Inspectie/gebruik	2.2-2 Langdurig gebruik, verlies adhesieve eigenschappen lijm	2.2-2 Remkoppel onvoldoende, afname functionaliteit reminstallatie	1	3	3	Inspectie, opnieuw verbinden of vervangen.	1	3	3	x
	2.3 Thruster	Mechanisch component voor het ingang zetten van het hefboommechanisme.	2.3-1 Falen thruster	2.3-1 Inspectie/gebruik	2.3-1 Vervuiling, langdurig gebruik	2.3-1 Volledige installatie functioneert niet	2	4	8	Inspectie, reviseren indien nodig.	2	4	8	Reserveonderdeel. Het model hierbij is ELDRO Ed 50/6 van EMG.
			2.3-2 Lekkage thruster	2.3-2 Inspectie	2.3-1 Afsluitingen onvoldoende, langdurig gebruik	2.3-2 Thruster functioneert niet, zie 2.3-1.	2	4	8	Inspectie, reviseren indien nodig.	2	4	8	x
	2.4 Verwarmingselement	Verwarmingselement voor het verwarmen van de olie in de thruster.	2.4-1 Falen verwarmingselement	2.4-1 Inspectie	2.4-1 Weerstand onvoldoende, vervuiling	2.4-1 Hydraulische olie niet op gewenste temperatuur	2	2	4	Inspectie, vervangen indien nodig.	2	2	4	x
2.5 Rolschakelaar	Signaal doorgeven zodat elektromotor kan draaien.	2.5-1 Falen rolschakelaar	2.5-1 Gebruik, functionele test	2.5-1 Hefboom mechanisme kapot, veroudering, elektrische storing	2.5-1 Draaien van de elektromotor terwijl dit niet moet of het niet functioneren van de gehele installatie	1	4	4	Inspectie, vervangen indien nodig.	1	4	4	Het model is XC1AC116 van Schneider Electric.	
3. Tandwielkast		Behuizing met het tandwielstelsel die het uitgaande toerental van de motor omzet naar de gewenste omwentelsnelheid.	3-1 Lekkage tandwielkast	3-1 Inspectie	3-1 Afsluitingen versleten, onvolledige montage	3-1 Bewegende onderdelen krijgen onvoldoende smering, stilleggen installatie	2	3	6	Inspecties, afdichtingen vervangen indien nodig.	1	3	3	x
			3-2 Degradatie olie	3-2 Analyse/Inspectie	3-2 Langdurig gebruik, slijtage, vocht	3-2 Kans op slijtage aan bewegende onderdelen verhoogt.	2	2	4	Analyses voor de staat van de olie. Vervolgstappen baseren op resultaten analyse.	2	2	4	x
			3-3 Onjuiste oliedruk	3-3 Inspectie	3-3 Tandwielpomp, smeerkanaal verstopt, oliefilter verstopt	3-3 Lagers krijgen onvoldoende smering, olie degradeert sneller	2	3	6	Inspectie, controleren manometer.	2	3	6	Tussen de 0.5 en 1 bar.

Onderdeel	Functie/ beschrijving	Afwijking	Detectie	Oorzaken	Gevolgen	Geen onderhoud			Basis onderhoudstaken	Toereikend onderhoud			Opmerkingen	
						Kans	Ernst	Risico		Kans	Ernst	Risico		
	3.1 Kogellagers	Ondersteunen van de draaiende assen.	3.1-1 Overmatige slijtage lagers	3.1-1 Meting/inspectie	3.1-1 Langdurig gebruik, verkeerde soort olie, verkeerde uitlijning	3.1-1 Kans op meer schade verhoogt, afname functionaliteit. Indien schade te extreem; stoplegging installatie	2	3	6	Metingen voor het achterhalen van de staat van de lagers.	1	3	3	Het zijn hier vier verschillende lagers van SKF: 6311, 6314, 6320, 6034. In de tandwielkast zitten er twee van elk.
	3.2 Assen	Draaielement voor het overbrengen van het mechanische toerental.	3.2-1 Overmatige slijtage rondsels	3.2-1 Inspectie/trillingsmeting	3.2-1 Afwijking lagers, langdurig gebruik	3.2-1 Kans op meer schade verhoogt, afname functionaliteit	2	3	6	Metingen voor het achterhalen van de staat van de rondsels.	1	3	3	x
	3.3 Tandwielen	Draaielement voor het overbrengen van het mechanische toerental.	3.3-1 Overmatige slijtage tandwielen	3.3-1 Inspectie/trillingsmeting	3.3-1 Afwijking lagers, langdurig gebruik	3.3-1 Kans op meer schade	2	3	6	Metingen voor het achterhalen van de staat van de tandwielen.	1	3	3	x
	3.4 Verwarmingselement	Verwarmingselement voor het verwarmen van de olie in de tandwielkast.	3.4-1 Falen verwarmingselement	3.4-1 Inspectie	3.4-1 Weerstand onvoldoende, langdurig gebruik	3.4-1 Olie niet op gewenste temperatuur	2	1	2	Inspectie, vervangen indien nodig.	2	1	2	Verwarmingselement zit in het oliebad.
	3.5 Oliefilter	Het filteren van de olie in de tandwielkast.	3.5-1 Verstopping oliefilter	3.5-1 Inspectie	3.5-1 Veel slijtage, onjuiste temperatuur, onjuiste druk, veel vervuiling	3.5-1 Versnelling degradatie olie, schade aan roterende componenten	2	2	4	Inspectie, vervuiling legen indien nodig.	1	2	2	Filterfijnheid van 60 µm
	3.6 Tandwielpomp	Rondpompen van de olie door de oliekanalen.	3.6-1 Falen tandwielpomp	3.6-1 Inspectie/gebruik	3.6-1 Kortsluiting, tandwiel schade, overige interne schade	3.6-1 Volledig smeersysteem omloopsysteem functioneert niet	2	2	4	Metingen voor het achterhalen van de staat van de lagers in de tandwielpompe. Reviseren indien nodig.	1	2	2	Voor de tandwielpompe moet er een reserveonderdeel komen.
	3.7 Manometer	Het meten van de druk in de persleiding en oliekanalen.	3.7-1 Falen manometer	3.7-1 Inspectie	3.7-1 Glycerine lekt weg, onjuiste montage	3.7-1 Druk kan niet worden afgelezen	2	1	2	Inspecteren, vervangen indien nodig.	2	1	2	Manometer heeft een schaal van 1 tot 10 bar.

Onderdeel	Functie/ beschrijving	Afwijking	Detectie	Oorzaken	Gevolgen	Geen onderhoud			Basis onderhoudstaken	Toereikend onderhoud			Opmerkingen
						Kans	Ernst	Risico		Kans	Ernst	Risico	
4. OK koppeling		Overbrenging van vermogen van tandwielkast naar rondsel.	4.-1 Lekkage OK koppeling	4.-1 Inspectie/gebruik	4.-1 Afdichtingen versleten, onvolledige montage	1	4	4	Inspecteren, reviseren of bewerken indien nodig.	1	4	4	Gereedschap niet meer beschikbaar bij SKF voor het demonteren en monteren van dit oude model.
		4.-2 Ongewenste verplaatsing	4.-2 Inspectie	4.-2 Te hoge belastingen door bijvoorbeeld het gebruiken van de noodrem	4.-2 Kans op schade verhoogt, kracht overdrage kan onvoldoende zijn	2	3	6	Inspecties vergelijken met oorspronkelijke stand.	2	3	6	Markeringen aanbrengen voor oorspronkelijke stand.
5. Spileindschakelaar		Geeft informatie over de actuele stand van de brug.	5.-1 Falen signalering	5.-1 Gebruik	5.-1 Elektrische storing, kortsluiting, slijtage aan mechanische onderdelen	2	4	8	Algemeen onderhoud aan de spileindschakelaar.	1	4	4	x
	5.1 Nokvolgers	Beugels op de as van de spileindschakelaar welke de schakelaars aantikken.	5.1-1 Overmatige slijtage nokvolgers	5.1-1 Inspectie	5.1-1 Ontoereikende smeefilm, veroudering	2	2	4	Inspecteren, vervangen indien nodig.	1	2	2	x
	5.2 Schakelaars	Schakelaars voor het aangeven van de stand.	5.2-1 Overmatige slijtage schakelaar	5.2-1 Inspectie	5.2-1 Ontoereikende smeefilm, veroudering	2	2	4	Inspecteren, vervangen indien nodig.	1	2	2	x
	5.3 Tandwielen	Draaielement voor het overbrengen van het mechanische toerental.	5.3-1 Overmatige slijtage tandwielen	5.3-1 Inspectie	5.3-1 Ontoereikende smeefilm, veroudering	2	2	4	Inspecteren, vervangen indien nodig.	1	2	2	x
6. Rondsel		Draaielement wat het mechanische toerental overbrengt op het panamawiel.	6.-1 Overmatige slijtage tandflanken rondsel	6.-1 Inspectie	6.-1 Ontoereikende smeefilm, veroudering, verkeerde uitlijning	3	2	6	Inspecteren, bewerken indien nodig.	1	2	2	Bewerken van dit onderdeel is gewenst bij de afwijking. Indien bewerking niet mogelijk is toch vervangen.

Onderdeel	Functie/ beschrijving	Afwijking	Detectie	Oorzaken	Gevolgen	Geen onderhoud			Basis onderhoudstaken	Toereikend onderhoud			Opmerkingen
						Kans	Ernst	Risico		Kans	Ernst	Risico	
			6.-2 Vervuiling vet vertanding	6.-2 Analyse/inspectie	6.-2 Veroudering en vervuiling	1	2	2	Analyses voor de staat van het vet. Schoonmaken indien nodig.	1	2	2	Dit is het vet van de vertanding van het rondsel en het panamawiel.
	6.1 Tonlager	Ondersteunen van de draaiende assen.	6.1-1 Overmatige slijtage tonlager	6.1-1 Analyse/gebruik	6.1-1 Ontoereikende smeefilm, veroudering, verkeerde uitlijning	2	3	6	Analyses voor het achterhalen van de staat van de lagers.	1	3	3	Trillingsmetingen hebben bij deze lagers geen nut, dit komt door het lage toerental. Tonlagers van het type 23034CC/W33.
			6.1-2 Degradatie vet	6.1-2 Analyse/inspectie	6.1-2 Veroudering, waterbesmetting, vervuiling	2	2	4	Analyses voor de staat van het vet. Vetwissel indien nodig.	2	2	4	x
	6.2 Lagerhuis	Ondersteunen van de draaiende assen.	6.2-1 Overmatige slijtage lagerhuis	6.2-1 Inspectie	6.2-1 Meedraaien lagerhuis, draaien buitenste ring tonlager	2	3	6	Inspecteren, vervangen indien nodig.	1	3	3	Lagerhuis is speciaal gemaakt, zie werktekening.
7. Panamawiel		Mechanische toerental regeling en overbrenging.	7.-1 Overmatige slijtage tandflanken	7.-1 Inspectie	7.-1 Ontoereikende smeefilm, veroudering, verkeerde uitlijning	3	2	6	Inspecteren, bewerken indien nodig.	1	2	2	Bewerken van dit onderdeel is gewenst bij de afwijking. Indien bewerking niet mogelijk is toch vervangen.
	7.1 Tonlager	Ondersteunen van de draaiende assen.	7.1-1 Overmatige slijtage tonlager	7.1-1 Analyse/gebruik	7.1-1 Ontoereikende smeefilm, veroudering, verkeerde uitlijning	2	3	6	Analyses voor het achterhalen van de staat van de lagers.	1	3	3	Trillingsmetingen hebben bij deze lagers geen nut, dit komt door het lage toerental. Tonlagers van het type 23266CC/W33.

Onderdeel	Functie/ beschrijving	Afwijking	Detectie	Oorzaken	Gevolgen	Geen onderhoud			Basis onderhoudstaken	Toereikend onderhoud			Opmerkingen
						Kans	Ernst	Risico		Kans	Ernst	Risico	
		7.1-2 Degradatie vet	7.1-2 Analyse/inspectie	7.1-2 Veroudering, waterbesmetting, vervuiling	7.1-2 Kans op slijtage lagers verhoogt	2	2	4	Analyses voor de staat van het vet. Vetwissel indien nodig.	2	2	4	x
	7.2 Lagerhuis	Ondersteunen van de draaiende assen.	7.2-1 Overmatige slijtage lagerhuis	7.2-1. Inspectie	7.2-1. Meedraaien lagerhuis, draaien buitenste ring tonlager	2	3	6	Inspecteren, vervangen indien nodig.	1	3	3	Lagerhuis is speciaal gemaakt, zie werktekening.
	7.3 Panamawielschakelaar	Beveiligingschakelaar die het doordraaien van het panamawiel aangeeft.	7.3-1 Falen panamawielschakelaar	7.3-1 Gebruik, functionele test.	7.3-1 Veroudering, storing	1	1	1	Testen van de werking.	1	1	1	Er zijn twee schakelaars per brugheft..
8. Trek- en duwstangen		Overbrenging van het panamawiel op het evenwichtselement.	8.-1 Onvoldoende voorspanning	8.-1 Gebruik/meting	8.-1 Gebroken schotelveren, verkeerde uitlijning, veroudering schotelveren	1	1	1	Voorspanning meten, indien voorspanning onvoldoende vervolgonderzoek voor het achterhalen van de oorzaak.	1	1	1	x
	8.1 Draaipunt tonlager	Ondersteunen van de draaiende assen.	8.1-1 Overmatige slijtage tonlager	8.1-1 Analyse	8.1-1 Ontoereikende smeerfilm, veroudering	2	2	4	Analyses voor het achterhalen van de staat van de lagers.	1	2	2	Trillingsmetingen hebben bij deze lagers geen nut, dit komt door het lage toerental. Tonlagers van het type 23266CC/W33.
			8.1-2 Degradatie vet	8.1-2 Analyse/inspectie	8.1-2 Veroudering, waterbesmetting, vervuiling	2	2	4	Analyses voor de staat van het vet. Vetwissel indien nodig.	2	2	4	x
	8.2 Lagerhuis	Ondersteunen van de draaiende assen.	8.2-1 Overmatige slijtage lagerhuis	8.2-1. Inspectie	8.2-1. Meedraaien lagerhuis, draaien buitenste ring tonlager	2	3	6	Inspecteren, vervangen indien nodig.	1	3	3	Lagerhuis is speciaal gemaakt, zie werktekening.

Onderdeel		Functie/ beschrijving	Afwijking	Detectie	Oorzaken	Gevolgen	Geen onderhoud			Basis onderhoudstaken	Toereikend onderhoud			Opmerkingen
							Kans	Ernst	Risico		Kans	Ernst	Risico	
	8.3 Draaipunt glijlagers	Ondersteunen van de draaiende assen.	8.3-1 Overmatige slijtage glijlagers beneden	8.3-1 Inspectie	8.3-1 Ontoereikende smeerfilm, veroudering	8.3-1 Geen directe gevolgen voor de installatie, kans op meer schade bij glijlagers	3	2	6	Speling glijlagers controleren, vervanging indien nodig.	1	2	2	Glijlagers zijn gemaakt van CuSn7ZnPb
	8.4 Grote glijlager langs geleiding bufferstang	Het geleiden van de bufferstang.	8.4-1 Overmatige slijtage glijlagers bufferstang	8.4-1 Inspectie	8.4-1 Ontoereikende smeerfilm, veroudering, verkeerde uitlijning	8.4-1 Krachten oneven op schotelveren, kans op breken schotelveren en meer slijtage verhoogt	3	3	9	Speling glijlagers controleren, vervanging indien nodig.	1	3	3	Glijlagers zijn gemaakt van CuSn7ZnPb
	8.5 Kleine glijlager langs geleiding bufferstang	Het geleiden van de bufferstang.	8.5-1 Overmatige slijtage glijlagers bufferstang	8.5-1 Inspectie	8.5-1 Ontoereikende smeerfilm, veroudering, verkeerde uitlijning	8.5-1 Krachten oneven op schotelveren, kans op breken schotelveren en meer slijtage verhoogt	3	3	9	Speling glijlagers controleren, vervanging indien nodig.	1	3	3	Glijlagers zijn gemaakt van CuSn7ZnPb
	8.6 Schotelveren	Het creëren van voorspanning middels de veer karakteristieke n.	8.6-1 Gebroken schotelveren	8.6-1 Inspectie/gebruik	8.6-1 Oneven belasting, veroudering, extreme belasting	8.6-1 Voorspanning onvoldoende, kans op slijtage hoofddraaipunten verhoogt	1	3	3	Inspecteren, indien sprake van een gebroken schotelveer deze vervangen.	1	3	3	Bij dit onderdeel is het belangrijk, afhankelijk van de situatie, af te wegen of het verstandig is alle schotelveren te vervangen.

Onderdeel	Functie/ beschrijving	Afwijking	Detectie	Oorzaken	Gevolgen	Geen onderhoud			Basis onderhoudstaken	Toereikend onderhoud			Opmerkingen
						Kans	Ernst	Risico		Kans	Ernst	Risico	
9. Hoofddraaipunten		Overbrenging van het constructiegewicht. Horizontaal en verticale belastingen op de funderingen.	9.1-1 Overmatige slijtage tonlager	9.1-1 Analyse	9.1-1 Ontoereikende smeerfilm, veroudering, onvoldoende voorspanning	2	3	6	Analyses voor het achterhalen van de staat van de lagers.	1	3	3	Trillingsmetingen hebben bij deze lagers geen nut, dit komt door het lage toerental. Tonlagers van het type 24052CC/W33.
	9.1 Tonlager	Ondersteunen van de draaiende assen.	9.1-2 Degradatie vet	9.1-2 Analyse/inspectie	9.1-2 Veroudering, waterbesmetting, vervuiling	2	2	4	Analyses voor de staat van het vet. Vetwissel indien nodig.	2	2	4	x
	9.2 Lagerhuis	Ondersteunen van de draaiende assen.	9.2-1 Overmatige slijtage lagerhuis	9.2-1. Inspectie	9.2-1. Meedraaien lagerhuis, draaien buitenste ring tonlager	2	3	6	Inspecteren, vervangen indien nodig.	1	3	3	Lagerhuis is speciaal gemaakt, zie werktekening.
			9.2-2 Onregelmatigheden voetbouten lagerhuis	9.2-2 Inspectie	9.2-2 Veroudering bouten, trillingen	1	3	3	Inspecteren, vervangen of afstellen indien nodig.	1	3	3	x

Bijlage 13: Onderhoudsregime

Onderdeel	Functie/beschrijving	Onderhoudsstrategie	Nr.	Onderhoudstaak	Frequentie (# per jaar)	Criteria	Opmerking	Check
1. Elektromotor	Aandrijving van de beweegbare brugdelen.	Inspectie	1.1	Visuele inspectie	1	Geen zichtbare schade, geen verbrandingsluchten	Zichtbare schade inschatten op basis van ervaring	
		TAO	1.2	Trillingsmeting op lagers	2	Op advies van opdrachtnemer.	Vervangen lager(s) indien opdrachtnemer extreme waardes constateert.	
			1.3	Isolati weerstand meten	1	Voldoende weerstand 1.000Ω/V	x	
			1.4	Energieverbruik meten		Maximaal 82,5 A.	Dit is een methode om te achterhalen of er schade in de installatie zit	
2. Reminstallatie	Zorgt dat de brug in een "geopende" dan wel "gesloten" toestand blijft. (tevens noodstop).	Inspectie	2.1	Inspecteren remschoenen	6	Lijmverbinding moet nog intact zijn en geen zichtbare schade	x	

Onderdeel	Functie/beschrijving	Onderhoudsstrategie	Nr.	Onderhoudstaak	Frequentie (# per jaar)	Criteria	Opmerking	Check
		Inspectie	2.2	Inspecteren elastische elementen remtrommel	6	Geen zichtbare schade	x	
			2.3	Thruster inspecteren op lekkage		Geen lekkage of olie aan de buitenkant	x	
			2.4	Thruster controleren penverbindingen		Vast en geen zichtbare schade, controleren borging	x	
			2.5	Thruster inspecteren op externe schade		Geen zichtbare schade	x	
			2.6	Thruster motor controleren	1	Vooraf lettend op geluid en geen verbrandingsluchten		
			2.7	Maximale slagafstand thruster		60mm, 1% tolerantie		
			2.8	Afsluitingen aansluitkast en kabelinvoer		Dichtheid, geen lekkages, kabelconnecties controleren	In combinatie met isolatieweerstand meten	

Onderdeel	Functie/beschrijving	Onderhoudsstrategie	Nr.	Onderhoudstaak	Frequentie (# per jaar)	Criteria	Opmerking	Check
		Inspectie	2.9	Oppervlakte omtrek remtrommel controleren	1	Geen zichtbare schade of verkleuring		
			2.10	Controleren verdraaiing klauwkoppeling		Verdraaiing mag niet over de 3°	Te controleren door markeringen	
		TAO	2.11	Remkoppel meten	1	Minimaal 150 Nm	Opstelling door onderhoudspartij	
			2.12	Drukkracht thruster meten		500 N, 10% tolerantie	Opstelling door onderhoudspartij	
			2.13	Trekkracht thruster meten		460 N, 10% tolerantie	Opstelling door onderhoudspartij	
			2.14	Energieverbruik thruster meten		0,5 A, bij 400 V/50 Hz		
			2.15	Isolatiweerstand thrustermotor meten	2	Voldoende weerstand 1.000Ω/V	In combinatie met afsluitingen aansluitdoos en kabeldoorvoer	
			2.16	Dikte remschoenen meten		12 mm, -10% tolerantie		

Onderdeel	Functie/beschrijving	Onderhoudsstrategie	Nr.	Onderhoudstaak	Frequentie (# per jaar)	Criteria	Opmerking	Check
		GAO	2.17	Nasmeren draaipunten	2	Klübersynt HBE 94-401		
			2.18	Vervangen elastische elementen remtrommel	Elke 5 jaar	Nieuwe elementen van hetzelfde type met 92° Shore A hardheid	Vervroegde vervanging kan op basis van inspecties	
			2.19	Volledig onderhoud thruster		Expert moet dit uitvoeren.	Gebruik reservethruster nodig tijdens volledig onderhoud	
		FT	2.20	Noodrem testen	1	Moet functioneren		
3. Tandwielkast	Behuizing met het tandwielsysteem die het uitgaande toerental van de motor omzet naar de gewenste omwentelsnelheid.	Inspectie	3.1	Inspecteren op lekkages	6	Geen lekkage of olie aan de buitenkant	Olieniveau ook controleren, een verlaagt olieniveau kan ook wijzen op een lekkage.	
			3.2	Werking manometer controleren		Realistische waardes, tussen 0,5 en 1 bar.		

Onderdeel	Functie/beschrijving	Onderhoudsstrategie	Nr.	Onderhoudstaak	Frequentie (# per jaar)	Criteria	Opmerking	Check
		Inspectie	3.3	Oliedruk controleren	6	Tussen 0,5 en 1 bar.		
			3.4	Temperatuur olie controleren		40 °C, 5% tolerantie		
			3.5	Inspecteren oliefilter	1	Geen lekkage, verstopping controleren		
		GAO	3.6	Vervangen glycerine manometer	x	Op basis van kalibratiedatum.	Kan eerder worden vervangen op basis van inspecties.	
		TAO	3.7	Trillingsmeting lagers	2	Op advies van opdrachtnemer.		
			3.8	Trillingsmeting tandwielpompe		Op advies van opdrachtnemer.		
			3.9	Olieanalyse		Standaard afkeurwaardes vanuit RWS, op advies opdrachtnemer. Monsterflesjes reinheid volgens ISO 3722.	Nul monster is hierbij belangrijk voor een betrouwbare trendanalyse	

Onderdeel	Functie/beschrijving	Onderhoudsstrategie	Nr.	Onderhoudstaak	Frequentie (# per jaar)	Criteria	Opmerking	Check
4. Oliegedrukkoppeling	Overbrenging van vermogen van tandwielkast naar rondsel.	Inspectie	4.1	Controleren lekkages	6	Geen lekkages of olie aan de buitenkant		
			4.2	Controleren verdraaiing koppeling		Verdraaiing mag niet over de 3°	Te controleren door markeringen	
5. Spileindschakelaar	Geeft informatie over de actuele stand van de brug.	Inspectie	5.1	Speling uitgaande as controleren	6	Zijdelingse speling maximaal 0,5 mm		
			5.2	Schakelaars controleren op schade		Geen zichtbare schade	Tegelijkertijd met nasmeren controleren	
		GAO	5.3	Nasmeren tandwielen buiten de kast	6	Met Klüberplex BEM 31-132		
			5.4	Nasmeren nokvolgers in de kast		Met Klüberplex BEM 31-132	Tegelijkertijd met controleren schakelaars	
6. Rondsel	Draaielement wat het mechanische toerental overbrengt op het panamawiel.	Inspectie	6.1	Controleren overtollig vet op en rondom rondsel	6	Geen overtollig vet	Overtollig vet weghalen indien aanwezig.	

Onderdeel	Functie/beschrijving	Onderhoudsstrategie	Nr.	Onderhoudstaak	Frequentie (# per jaar)	Criteria	Opmerking	Check
		GAO	6.2	Vullen automatisch smeersysteem	6	Vullen tot 8kg limiet		
		TAO	6.3	Vetmonsters afnemen voor vetanalyse	2	Standaard afkeuwaardes vanuit RWS, voornamelijk op advies opdrachtnemer. Monsterflesjes reinheid volgens ISO 3722.	Vetmonsters bij alle lagers van rondsel. Ook vet monster van het vet op het rondsel.	
7. Panamawiel	Mechanische toerentaal regeling en overbrenging.	Inspectie	7.1	Controleren overtollig vet op en rondom panamawiel	6	Geen overtollig vet	Overtollig vet weghalen indien aanwezig	
		TAO	7.2	Vetmonsters afnemen voor vetanalyse	2	Standaard afkeuwaardes vanuit RWS, voornamelijk op advies opdrachtnemer. Monsterflesjes reinheid volgens ISO 3722.	Vetmonster bij alle lagers. Ook hierbij monsters van het vet op het panamawiel.	

Onderdeel	Functie/beschrijving	Onderhoudsstrategie	Nr.	Onderhoudstaak	Frequentie (# per jaar)	Criteria	Opmerking	Check
		FT	7.3	Testen panamawielschakelaars	1	Moet functioneren		
8. Trek- en duwstangen	Overbrenging van het panamawiel op het evenwichtselement.	Inspectie	8.1	Glijlager speling controleren	1	Glijlagers draaipunt afkeurwaarde: 160 µm Glijlagers bufferstang afkeurwaarde: 140 µm	Hiervoor is een steiger nodig.	
			8.2	Schotelveren controleren		Geen gebroken schotelveren	Hiervoor is een steiger nodig.	
		GAO	8.3	Nasmeren glijlagers	6	Met Klubersynth HBE 94-401		
		TAO	8.4	Vetmonsters afnemen voor vetanalyse	2	Standaard afkeurwaardes vanuit RWS, op advies opdrachtnemer. Monsterflesjes reinheid volgens ISO 3722.	Alleen van het vet in de tonlager	
		FT	8.5	Voorspanning controleren	1	Minimaal 115 kN, volgens NEN-EN 16983	Dit is te achterhalen door het meten van de oplegdruk.	

Onderdeel	Functie/beschrijving	Onderhoudsstrategie	Nr.	Onderhoudstaak	Frequentie (# per jaar)	Criteria	Opmerking	Check
9. Hoofddraaipunten	Overbrenging van het constructiegewicht. Horizontaal en verticale belastingen op de funderingen.	Inspectie	9.1	Controleren boutverbindingen	2	Geen losse bouten en geen zichtbare schade		
		TAO	9.2	Vetmonsters afnemen voor vetanalyse	2	Standaard afkeurwaardes vanuit RWS, voornamelijk op advies opdrachtnemer. Monsterflesjes reinheid volgens ISO 3722.	Vetmonsters van alle hoofddraaipunten lagers, dit zijn er acht in totaal.	

Bijlage 14: Smeerschema

Nr.	Onderdeel	Aantal Smeerpunten	Smeermiddel	Freq. per jaar	Opmerkingen	Check
Bewegingswerk noord						
N.1	Draaipunten Reminstallatie	1	Klübersynt HBE 94-401	2	Eerst oud vet verwijderen en vervolgens nasmeren	
N.2	Automatisch smeersysteem	1	Klüberplex AG 11 461	6	Overtollig vet bij het rondsel en panamawiel verwijderen	
N.3	Glijlagers trek-duwstang	4	Klübersynt HBE 94-401	6	Twee glijlagers boven voor de bufferstang en twee beneden bij het draaipunt	
N.4	Tonlager trek-duwstang	1	Klübersynt HBE 94-401	x	NIET nasmeren, vervanging op basis vetanalyses	
N.5	Tonlagers rondsel	2	Klübersynt HBE 94-401	x	NIET nasmeren, vervanging op basis vetanalyses	
N.6	Tonlagers panamawiel	2	Klübersynt HBE 94-401	x	NIET nasmeren, vervanging op basis vetanalyses	
N.7	Spileindschakelaar tandwielen	2	Klüberplex BEM 31-132	6	Lithiumvet met 10% molybdeendisulfide	
N.8	Spileindschakelaar nokvolgers	2	Klüberplex BEM 31-132	6	Lithiumvet met 10% molybdeendisulfide	
Brugval noord						
N.9	Tonlagers hoofddraaipunten	4	Klübersynt HBE 94-401	x	NIET nasmeren, vervanging op basis vetanalyses	
N.10	Overstapbordes (2x)	4	Klübersynt HBE 94-401	6		
Bewegingswerk zuid						
Z.1	Draaipunten Reminstallatie	1	Klübersynt HBE 94-401	2	Eerst oud vet verwijderen en vervolgens nasmeren	
Z.2	Automatisch smeersysteem	1	Klüberplex AG 11 461	6	Overtollig vet bij het rondsel en panamawiel verwijderen	

Nr.	Onderdeel	Aantal Smeerpunten	Smeermiddel	Freq. per jaar	Opmerkingen	Check
Z.3	Glijlagers trek-duwstang	4	Klübersynt HBE 94-401	6	Twee glijlagers boven voor de bufferstang en twee beneden bij het draaipunt	
Z.4	Tonlager trek-duwstang	1	Klübersynt HBE 94-401	x	NIET nasmeren, vervanging op basis vetanalyses	
Z.5	Tonlagers rondsel	2	Klübersynt HBE 94-401	x	NIET nasmeren, vervanging op basis vetanalyses	
Z.6	Tonlagers panamawiel	2	Klübersynt HBE 94-401	x	NIET nasmeren, vervanging op basis vetanalyses	
Z.7	Spileindschakelaar tandwielen	2	Klüberplex BEM 31-132	6	Lithiumvet met 10% molybdeendisulfide	
Z.8	Spileindschakelaar nokvolgers	2	Klüberplex BEM 31-132	6	Lithiumvet met 10% molybdeendisulfide	
Brugval zuid						
Z.9	Tonlagers hoofddraaipunten	4	Klübersynt HBE 94-401	x	NIET nasmeren, vervanging op basis vetanalyses	
Z.10	Overstapbordes (2x)	4	Klübersynt HBE 94-401	6		

Bijlage 15: Programma van Eisen – Onderhoud

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
1.	Elektromotor	1.1	Geen verbrandingslucht	-		Inspectie	Rijkswaterstaat
		1.2	Trillingsmetingen volgens aangegeven filters	-	ISO 10816-3	Rapportage toetsen aan gestelde eisen.	Rijkswaterstaat
		1.3	Weerstand van 1.000Ω/V	Ω/V	NEN 1010-6	Meting	Rijkswaterstaat
		1.4	Energieverbruik maximaal 82,5 A	A		Meting	Rijkswaterstaat
2.	Reminstallatie	2.1	Remschoeenen niet verglaast en geen uitbrokkelingen			Inspectie	Rijkswaterstaat
		2.2	Lijmverbinding remvoering moet intact zijn			Inspectie	Rijkswaterstaat
		2.3	Geen lekkages			Inspectie	Rijkswaterstaat
		2.4	Verbindingselementen vast			Inspectie	EMG
		2.5	Geen losse kabels in de aansluitkast			Inspectie	EMG
		2.6	Geen verbrandingslucht			Inspectie	Rijkswaterstaat
		2.7	Geen vreemde geluiden			Inspectie	Rijkswaterstaat
		2.8	Slagafstand thruster 60mm met een maximale afwijking van 1%	mm		Meting	EMG
		2.9	Geen verkleuring remtrommel			Inspectie	Rijkswaterstaat
		2.10	Verdraaiing flexibele koppeling maximaal 3°				Rijkswaterstaat
		2.11	Remkoppel minimaal 150 Nm	Nm		Meting	Rijkswaterstaat

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
		2.12	Drukkracht thruster 500 N met een maximale afwijking van 10%	N		Meting	EMG
		2.13	Trekkkracht thruster 460 N met een maximale afwijking van 10%	N		Meting	EMG
		2.14	Energieverbruik thruster maximaal 0,5 A, bij 400 V/50 Hz	A, V, Hz		Meting	EMG
		2.15	Weerstand thrustermotor van 1.000Ω/V	Ω/V	DIN 57530	Meting	EMG
		2.16	Remschoen dikte 12mm met een maximale afwijking van -10%	mm		Meting	Bremskerl
		2.17	Nasmeren draaipunten moet met Klübersynt HBE 94-401			Inspectie	Klüber
		2.18	Vervangen elastische elementen moet met hetzelfde type met 92° Shore A		NEN-48-4	Inspectie	ELFLEX
		2.19	Uitvoeren volledig onderhoud van de thruster moet door een expert			Toetsen van het testdocument.	EMG
		2.20	Noodrem moet functioneren			Test	Rijkswaterstaat
3.	Tandwielkast	3.1	Geen lekkages			Inspectie	Rijkswaterstaat
		3.2	Oliedruk tussen 0,5 en 1 bar	bar		Inspectie	Bierens
		3.3	Olietemperatuur 40 °C met maximale afwijking van 5%	°C		Meting	Bierens
		3.4	Geen verstopte oliefilter			Inspectie	Rijkswaterstaat

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
		3.5	Trillingsmetingen volgens aangegeven filters		ISO 10816-3	Rapportage toetsen aan gestelde eisen.	Rijkswaterstaat
		3.6	Monsterflesjes reinheid voor olieanalyse volgens ISO 3722		ISO 3722	Toetsen van de aanwezigheid van de eis in de rapportage.	A.R. Analyses
		3.7	Voor de olieanalyses de aangegeven onderzoeken uitvoeren		ISO 4406 SAE AS4059	Rapportage toetsen aan gestelde eisen.	A.R. Analyses
4.	OK koppeling	4.1	Geen lekkages			Inspectie	SKF
		4.2	Verdraaiing maximaal 3°			Inspectie/Meting	SKF
5.	Spileindschakelaar	5.1	Zijdelingse speling uitgaande as maximaal 0,5 mm	mm		Meting	Schneider Electric
		5.2	Nasmeren spileindschakelaar met Klüberplex BEM 31-132 (lithiumvet met 10% molybdeensulfide)			Inspectie	Schneider Electric en Klüber
6.	Rondsel	6.1	Geen overtollig vet op rondsel			Inspectie	Rijkswaterstaat
		6.2	Automatisch smeersysteem vullen tot 8kg limiet	kg		Inspectie	Rijkswaterstaat
		6.3	Monsterflesjes reinheid voor vetanalyse volgens ISO 3722		ISO 3722	Toetsen van de aanwezigheid van de eis in de rapportage.	A.R. Analyses

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
		6.4	Voor de vetanalyses de aangegeven onderzoeken uitvoeren		ISO 4406 SAE AS4059	Rapportage toetsen aan gestelde eisen.	A.R. Analyses
7.	Panamawiel	7.1	Geen overtollig vet op panamawiel			Inspectie	Rijkswaterstaat
		7.2	Monsterflesjes reinheid voor vetanalyse volgens ISO 3722		ISO 3722	Toetsen van de aanwezigheid van de eis in de rapportage.	A.R. Analyses
		7.3	Voor de vetanalyses de aangegeven onderzoeken uitvoeren		ISO 4406 SAE AS4059	Rapportage toetsen aan gestelde eisen.	A.R. Analyses
		7.4	Panamawielschakelaar moet functioneren			Test	Rijkswaterstaat
8.	Trek- en duwstang	8.1	Glijlagers draaipunt maximale speling 160 µm	µm	DIN 31698	Meting	Rijkswaterstaat
		8.2	Glijlagers geleiding maximale speling 140 µm	µm	DIN 31698	Meting	Rijkswaterstaat
		8.3	Geen gebroken schotelveren			Inspectie	Rijkswaterstaat
		8.4	Nasmeren glijlagers met Klübersynt HBE 94-401			Inspectie	Klüber
		8.5	Monsterflesjes reinheid voor vetanalyse volgens ISO 3722		ISO 3722	Toetsen van de aanwezigheid van de eis in de rapportage.	A.R. Analyses

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
		8.6	Voor de vetanalyses de aangegeven onderzoeken uitvoeren		ISO 4406 SAE AS4059	Rapportage toetsen aan gestelde eisen.	A.R. Analyses
		8.7	Voorspanning minimaal 115 kN	kN	NEN-EN 16983	Meting	Rijkswaterstaat
9.	Hoofddraaipunt	9.1	Verbindingselementen vast			Inspectie	Rijkswaterstaat
		9.2	Monsterflesjes reinheid voor vetanalyse volgens ISO 3722		ISO 3722	Toetsen van de aanwezigheid van de eis in de rapportage.	A.R. Analyses
		9.3	Voor de vetanalyses de aangegeven onderzoeken uitvoeren		ISO 4406 SAE AS4059	Rapportage toetsen aan gestelde eisen.	A.R. Analyses

Bijlage 16: Programma van Eisen – Montage

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
1.	Elektromotor	1.1	Soft-foot elimineren			Meting	Rijkswaterstaat
		1.2	As passing h7: tussen 39,975 en 40 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		1.3	Maximale afwijking van de uitlijning met klauwkoppeling remtrommel is $\pm 0,05$ mm	mm		Meting	EFLEX
2.	Reminstallatie	2.1	Bouten thruster borgen met splitpennen			Inspectie	EMG
		2.2	Spanning van de thruster is 400 V met $\pm 10\%$	V		Meting	EMG
		2.3	Frequentie van de thruster is 50 Hz met $\pm 2\%$	Hz		Meting	EMG
		2.4	Olie in de thruster met de Klasse HL 10 DIN 51524		DIN 51524	Inspectie	EMG
		2.5	Geen cavitatie in de thruster			Inspectie	EMG
		2.6	Maximale afwijking van $\pm 0,05$ mm voor de uitlijning van de klauwkoppeling met de as van de elektromotor	mm		Meting	EFLEX
		2.7	Maximale afwijking van $\pm 0,05$ mm voor de uitlijning van de klauwkoppeling met de as van de tandwielkast	mm		Meting	EFLEX
		2.8	Maximale axiale afstand tussen koppelingshelften van $\pm 1,25$ mm	mm		Meting	EFLEX

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
		2.9	Koppeling gat passing elektromotor as controleren op H7: tussen 40 en 40,025 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		2.10	Koppeling gat passing tandwielkast as controleren op H7: tussen 45 en 45,025 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		2.11	Gewicht hefboommechanisme 9,5 kg met $\pm 1\%$	kg		Meting	Rijkswaterstaat
		2.12	Afstelwaarde remschoenen t.o.v. de remtrommel van 0,2 mm	mm		Meting	Rijkswaterstaat
3.	Tandwielkast	3.1	Geen verbrandingsluchten			Inspectie	Rijkswaterstaat
		3.2	Maximale afwijking van de uitlijning met klauwkoppeling remtrommel is $\pm 0,05$ mm	mm		Meting	Bierens
		3.3	Maximale afwijking van de uitlijning met OK koppeling remtrommel is $\pm 0,05$ mm	mm		Meting	Bierens
		3.4	Na de eerste 300 draaiuren de olie verwisselen	uur		Meting	Bierens
		3.5	Olie op het juiste oliepeil brengen, dit bevat 165L	L		Inspectie	Bierens
		3.6	Druk in de persleiding en oliekanalen tussen de 0.5 en 1 bar	bar		Inspectie	Bierens

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
		3.7	Uitgaande as klauwkoppeling passing controleren, h6: tussen 44,984 en 45 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		3.8	Uitgaande as OK koppeling passing controleren, h6: tussen 159,975 en 160 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		3.9	Uiteinde as OK koppeling cilindrische tolerantie controleren, IT5/2: 0,018 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
4.	OK koppeling	4.1	Montage en demontage handelingen volgens instructies vanuit SKF, zie bijlage V.			Functionele test	SKF
		4.2	Maximale afwijking van $\pm 0,05$ mm voor de uitlijning van de OK koppeling de as van de tandwielkast	mm		Meting	SKF
		4.3	Maximale axiale afstand tussen as-einden van 1,6 mm	mm		Meting	SKF
		4.4	Druk voor het pompen van de olie middels een injector minimaal 30 MPa	MPa		Meting	SKF
		4.5	OK koppeling conserveren			Inspectie	SKF
5.	Spileindschakelaar	5.1	Tandwieloverbrenging goed uitlijnen			Inspectie	Rijkswaterstaat
6.	Rondsel	6.1	Ruwheid van de plaat van het lagerhuis $R_a < 12,5 \mu\text{m}$	μm		Meting	SKF
		6.2	Vlakheid van de plaat van het lagerhuis IT7: 0,070 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
		6.3	Passing lagerhuis H7: tussen 260 en 260,052 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF
		6.4	Cilindrische tolerantie gat lagerhuis IT5/2: 0,023 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF
		6.5	Passing as op tonlager controleren p6: tussen 170,043 en 170,068 mm.	mm	ISO 286	Meting	Brammer
		6.6	Cilindrische tolerantie as IT5/2: 0,018 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		6.7	Aanhaalmoment M30 8.8 bouten 1309 Nm	Nm	ISO 724	Meting	Roloff/ Matek
		6.8	Aanhaalmoment M20 8.8 bouten 383 Nm	Nm	ISO 724	Meting	Roloff/ Matek
		6.9	Lagerspeling voor montage +0,140 en +0,200 mm. (volgens ISO 5753-1)	mm	ISO 5753-1	Meting	Rijkswaterstaat
		6.10	Lagerspeling na montage +0,058 en +0,125 mm (volgens ISO 5753-1)	mm	ISO 5753-1	Meting	Rijkswaterstaat
		6.11	Uitgaande as OK koppeling passing controleren, h6: tussen 159,975 en 160 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		6.12	Uiteinde as OK koppeling cilindrische tolerantie controleren, IT5/2: 0,018 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
		6.13	Tonlager vullen met smeermiddel Klübersynt HBE 94-401			Inspectie	Klüber
7.	Panamawiel	7.1	Ruwheid van de plaat van het lagerhuis $R_a < 12,5 \mu\text{m}$	μm		Meting	SKF
		7.2	Vlakheid van de plaat van het lagerhuis IT7: 0,063 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF
		7.3	Passing lagerhuis H7: tussen 230 en 230,046 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF
		7.4	Cilindrische tolerantie gat lagerhuis IT5/2: 0,020 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF
		7.5	Passing as p6: tussen 130,043 en 130,068 mm.	mm	ISO 286	Meting	Brammer
		7.6	Cilindrische tolerantie as IT5/2: 0,018 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		7.7	Aanhaalmoment M30 8.8 bouten 1309 Nm	Nm	ISO 724	Meting	Roloff/ Matek
		7.8	Aanhaalmoment M20 8.8 bouten 383 Nm	Nm	ISO 724	Meting	Roloff/ Matek
		7.9	Lagerspeling voor montage +0,120 en +0,160 mm. (volgens ISO 5753-1)	mm	ISO 5753-1	Meting	Rijkswaterstaat
		7.10	Lagerspeling na montage +0,058 en +0,116 mm (volgens ISO 5753-1)	mm	ISO 5753-1	Meting	Rijkswaterstaat

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
		7.11	Tonlager vullen met smeermiddel Klübersynt HBE 94-401			Inspectie	Klüber
8.	Trek- en duwstang	8.1	Cilindrische tolerantie assen IT5/2: 0,018 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		8.2	Passing as draaipunt beneden is e8: tussen 149,852 en 149,915 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		8.3	Passing tegenloopvlak bufferstang grote glijlager, f7: tussen 129,917 en 129,957	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		8.4	Passing tegenloopvlak bufferstang kleine glijlager, f7: tussen 144,917 en 144,957	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		8.5	Cilindrische tolerantie lagerhuis IT5/2: 0,020 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF
		8.6	Passing lagerhuis controleren H7: tussen 230 en 230,046 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF
		8.7	Passing as tonlager m8: tussen 130,015 en 130,078 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		8.8	Lagerspeling tonlager voor montage +0,120 en +0,160 mm. (volgens ISO 5753-1)	mm	ISO 5753-1	Meting	Rijkswaterstaat
		8.9	Lagerspeling tonlager na montage +0,058 en +0,116 mm (volgens ISO 5753-1)	mm	ISO 5753-1	Meting	Rijkswaterstaat
		8.10	Tonlager vullen met smeermiddel Klübersynt HBE 94-401			Inspectie	Klüber

#	Installatiedeel	Eis Nr.	Eis	Eenheid	Normen	Toets methode	Bron
9.	Hoofddraaipunt	9.1	Ruwheid van de plaat van het lagerhuis $R_a < 12,5 \mu\text{m}$	μm		Meting	SKF
		9.2	Vlakheid van de plaat van het lagerhuis IT7: 0,090 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF
		9.3	Passing lagerhuis H7: tussen 400 en 400,057 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF
		9.4	Cilindrische tolerantie lagerhuis IT5/2: 0,027 mm	mm	ISO 286	Meting	SKF
		9.5	Passing as controleren, h9: tussen 239,885 en 240 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		9.6	Cilindrische tolerantie as controleren, IT5/2: 0,020 mm	mm	ISO 286	Meting	Rijkswaterstaat
		9.7	Aanhaalmoment M30 8.8 bouten 1309 Nm	Nm	ISO 724	Meting	Roloff/ Matek
		9.8	Aanhaalmoment M20 8.8 bouten 383 Nm	Nm	ISO 724	Meting	Roloff/ Matek
		9.9	Lagerspeling voor montage +0,220 en +0,300 mm. (volgens ISO 5753-1)	mm	ISO 5753-1	Meting	Rijkswaterstaat
		9.10	Lagerspeling na montage +0,100 en +0,130 mm (volgens ISO 5753-1)	mm	ISO 5753-1	Meting	Rijkswaterstaat
		9.11	Tonlager vullen met smeermiddel Klübersynt HBE 94-401			Inspectie	Klüber

Bijlage 17: Wisselbare onderdelen stuklijst

Installatiedeel	Component	Type/model	Merk	Aantal	Opmerkingen
Elektromotor	Lager aandrijfzijde	6309 2Z C3	SKF	2	
	Lager waaierzijde	6209 2Z C3	SKF	2	
	Ventilator waaier	6RN	Rotor	2	
Reminstallatie	Thruster	ELDRO Ed 50/6	EMG	2	Reserveonderdeel
	Verwarmingselement	E155	INTERTEC	2	
	Remschoen	Bremskerl 5387	Bremskerl	2	
	Remtrommel	EFLEX-RSN-BT-07	EFLEX	2	
	Elastische elementen	92° Shore A hardheid	EFLEX	2	
	Rolschakelaar	XC1AC116	Schneider Electric	2	
Tandwielkast	Lager As 1	6311	SKF	4	
	Lager As 2	6314	SKF	4	
	Lager As 3	6320	SKF	4	
	Lager As 4	6034	SKF	4	
	Tandwielpompe	KF16 LF 1D15	Verder	2	Reserveonderdeel
	Oliefilter	GA-1-30-G3/4	Fairey Arlon	2	60 µm
	Glycerine manometer	Van 0 tot 10 bar	n.t.b.	2	Uitzoeken bij volgende onderhoudsbeurt
	Verwarmingselement	40 °C voor oliebad van 165 L	Chromalox	2	Uitzoeken bij volgende onderhoudsbeurt
Rondsel	Tonlager	23034CC/W33	SKF	4	
	Lagerhuis	Zie opmerking	-	4	Speciaal volgens werktekening 7389/7
Panamawiel	Tonlager	23226CC/W33	SKF	4	

Installatiedeel	Component	Type/model	Merk	Aantal	Opmerkingen
Trek- en duwstang	Panamawielschakelaar	Z4VH-335-11z	Schmersal	4	Indien model niet beschikbaar dan: Z3K 335-11Z
	Lagerhuis	Zie opmerking	-	4	Speciaal volgens werktekening 7389/8
	Schotelveren	Zie opmerking	Schnorr	24	Speciaal volgens werktekening A30672
	Glijlager draaipunt	Zie opmerking, van het materiaal CuSn7ZnPb .	-	4	Speciaal volgens werktekening 7389/3
	Grote glijlager geleiding	Zie opmerking, van het materiaal CuSn7ZnPb.	-	2	Speciaal volgens werktekening 7389/3
	Kleine glijlager geleiding	Zie opmerking, van het materiaal CuSn7ZnPb.	-	2	Speciaal volgens werktekening 7389/3
	Tonlager	23226CC/W33	SKF	2	
	Lagerhuis	Zie opmerking		2	Speciaal volgens werktekening 7389/3
	Tonlager	24052CC/W33	SKF	8	
	Lagerhuis	Zie opmerking	-	8	Speciaal volgens werktekening 7389/6

Bijlage 18: Interviews

Vragen Onderaannemer

1 Vraag:

Welke componenten zorgen het meest voor de storingen bij de Coenbrug? (beperkt tot de mechanische aandrijflijn/ beweegbare delen)-

Antwoord:

Kappen over het rondsel, hier zitten ook de eindschakelaars onder. Verder zijn de meeste storingen te vinden bij bedieningen etc.

2 Vraag:

Welke componenten hebben het meest duidelijk en gestructureerd onderhoud nodig?-

Antwoord:

De draaipunten, smeernippels van draaipunten op lagers en ook tandwielverbindingen. Rondsel en panamawiel.

3 Vraag:

Is er meer tijd kwijt aan standaard/gepland onderhoud of onderhoud op basis van storingen?

Antwoord:

Standaard/gepland onderhoud. Nog wel een verbeterslag in te maken.

4 Vraag:

Hoe is het standaard/geplande onderhoud bepaald? Op basis waarvan?

Antwoord:

FMECA en ervaring. Op gebruiksintensiteit van de assets.

5 Vraag:

Hoe worden storingen doorgegeven en hoe snel is de reactietijd hierop?

Antwoord:

In het systeem SpieSimpel. Responsetijden zijn in het contract vastgelegd, kunnen variëren van 45min tot 1uur etc. Alle hersteltijden zijn vastgelegd in het contract.

6 Vraag:
Worden de storingen en het uitgevoerde onderhoud duidelijk bijgehouden? (gedocumenteerd)

Antwoord:
In het maandelijkse rapport en in SpieSimpel. Herhaaldelijke storingen aangepakt en naar gekeken hoe dit beter kan worden opgelost.

7 Vraag:
Is er genoeg communicatie tussen de ON(opdrachtnemer) en PPO?

Antwoord:
Redelijke/goede kwaliteit van communicatie maar er is zeker ruimte voor verbetering door middel van specifieke vergaderingen in te plannen. Met een vaste frequentie.

8 Vraag:
Hoeveel keer wordt er per maand/jaar onderhoud gepleegd aan de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug?

Antwoord:
Zes keer per jaar. Af en toe storingen.

9 Vraag:
Worden er inspecties uitgevoerd op de assets om te zien of de componenten in de assets naar behoren functioneren of dat deze afwijkingen vertonen?

Antwoord:
Tegelijkertijd met het onderhoud. De brugdraaiing zelf verteld ook heel veel, rare geluiden etc. Hoge ervaringsfactor zit hierin.

10 Vraag:
Zijn voor bepaalde afwijkingen, bijvoorbeeld teveel geluid vanuit een asset, criteria om te achterhalen wanneer deze moeten worden vervangen of onderhouden? Is hier documentatie voor beschikbaar? Wordt dit bijgehouden?-

Antwoord:
Op basis van ervaring. Wim van Have zet dit in zijn rapport (trillingsmeting). Zit heel veel ervaring in.

11 Vraag:

Worden aanpassingen en/of de stand van zaken naar alle belanghebbenden partijen door gecommuniceerd?

Antwoord:

Naar de opdrachtgever, ja.

12 Vraag:

Worden de assets gemonitord? Zo ja, is dit onderverdeeld in kritische en niet-kritische functies? Zijn er duidelijke randvoorwaardes vastgesteld voor het monitoren van deze assets?

Antwoord:

Er is een soort monitoringssysteem, telemetrie systeem. En er worden offline-monitoringen gedaan d.m.v. metingen.

13 Vraag:

Is er een meetprogramma aanwezig? (Waarom meten? Hoe vaak meten?)
Worden de metingen die gedaan worden ook goed gedocumenteerd?

Antwoord:

Binnen de WTB niet echt. Bij andere sectoren wel, zoals de bedieningen etc. En PLC's.

15 Vraag:

Wordt er nog door een derde partij controle gepleegd op de uitgevoerde onderhoud acties?

Antwoord:

Door Arcadus, dus ja. Alles verifiëren en valideren door een derde partij.

16 Vraag:

Wordt er nog onderzoek gedaan naar hoe de storing is opgetreden? Wordt dit bijgehouden in documentatie?

Antwoord:

Storingen worden goed bijgehouden en als dezelfde tickets vaker terugkomen wordt er dieper op in gegaan. Dit kan wel nog beter en uitgebreider, dit is ook het plan en hiervoor zijn de tools aanwezig.

17 Vraag:

Worden de mogelijke storingen geïdentificeerd?

Antwoord:

Nee, dit zou ideaal zijn. Dit wordt gedaan op basis van ervaring. Er is wel eens stuk historie of deze al eerder is opgetreden.

18 Vraag:

Worden er onderhoudsmethoden toegepast zoals SAO, TAO, GAO?

Antwoord:

Nee, dit is allemaal onder het kopje “onderhoud” gegooid.

19 Vraag:

Zijn er protocollen aanwezig voor mogelijke scenario's?

Antwoord:

Voor standaard onderhoud wel enigszins en voor storingen op basis van ervaring.

20 Vraag:

Zijn er documenten als machinebeschrijving aanwezig voor elke asset?

Antwoord:

Er zijn bedienhandleidingen. Het is wel belangrijk, maar niet voldoende op het moment.

21 Vraag:

Hoe wordt bepaald of oudere apparaten gereviseerd of vervangen moeten worden?

Antwoord:

Economische levensduur, dit wordt bepaald op basis van de kosten die worden gemaakt door storingen en of afwijkingen. Ligt eraan welke financieel voordeliger is. Vaak worden dit soort keuzes samengebundeld met andere projecten en of acties. Om de stremming zo kort mogelijk te houden, minder hinderen. Badkuipmodel.

22 Vraag:

Wordt een onderhoudsuitvoering op basis van een onderhoudsplan bepaald?

Antwoord:

Het standaard onderhoud wel en eventueel praktijk ervaring. En indien aanpassingen mogelijk zijn, wordt dit teruggekoppeld met opdrachtgever.

23 Vraag:

Is er duidelijk waaraan onderhoud moet worden gepleegd vanuit de documentatie?

Antwoord:

Theoretisch gezien kan de decompositie van de assets beter. Dit zou een duidelijker beeld geven waaraan onderhoud moet worden gepleegd.

24 Vraag:

Zijn er duidelijke KPI's?

Antwoord:

Komen terug in de storing rapportages.

25 Vraag:

Zijn er documenten voor de levenscyclus van de assets?

Antwoord:

Geen duidelijke levenscyclus documenten.

26 Vraag:

Wordt er aandacht besteed aan het verbeteren van de levensduur van de assets? En op welke wijze?

Antwoord:

Dit wordt geïnitieerd vanuit Rijkswaterstaat. Spie doet aanbevelingen in revisies etc. Dit is gebaseerd vanuit ervaring.

27 Vraag:

Is het onderhoud beter geregeld bij andere assets(bruggen/sluizen)?-

Antwoord:

Niet qua FMECA's. Maintenance engineer kijkt bij sommige andere assets of er kritische componenten zijn die vaker vervangen moeten worden of in de FMECA moeten etc.

Vragen Asset Management

1 Vraag:

Wat is volgens AM het grootste probleem bij de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug?

Antwoord:

Tandwielkast en Rondsel

2 Vraag:

Wat zijn de belangrijkste eisen en/of wensen met betrekking tot de mechanische aandrijflijn van de Coenbrug?

Antwoord:

Duidelijke data en werken naar behoren. Duidelijke planning van vervanging en kritische onderdelen duidelijk in kaart. Goede status en data hoe de installatie ervoor staat in verhouding tot de standaard degradatie. Duidelijke data of storingen nieuw zijn of herhaaldelijk.

3 Vraag:

Wat zijn de onderdelen vanuit AM die bij de Coenbrug al goed verlopen?

Antwoord:

Dat het proces goed in elkaar zit en nu nog eraan houden.

4 Vraag:

Wat zijn de onderdelen vanuit AM die nog niet op voldoende niveau zitten?

Antwoord:

Niet aan het proces houden.

5 Vraag:

Wat zijn de onderdelen vanuit AM die totaal niet aanwezig zijn?

Antwoord:

Data ontbreekt en de testen zijn onvoldoende of worden niet gedaan.

6 Vraag:

Welke onderdelen zouden het handigst zijn om te verbeteren of proberen te implementeren in het onderhoudssysteem? Is het verbeteren van al bestaande onderdelen voordeliger/beter of het toevoegen van onderdelen vanuit AM die nog totaal niet aanwezig zijn?

Antwoord:

Duidelijk alle data en gegevens in beeld krijgen van de storingen en het standaard onderhoud. Wanneer moet je wat doen en hoe vaak, terugkoppeling van data om degradatie te zien etc. Onderhoud toe werken naar voorspellend.

7 Vraag:

Zijn andere bruggen of assets van Rijkswaterstaat op een hoger niveau dan de Coenbrug betreffende Asset Management? Zo ja, welke en is hier documentatie voor?

Antwoord:

Brug zijkanaal C. Hopelijk documentatie actueler.

8 Vraag:

Is er een duidelijke lijn van communicatie tussen PPO en AM?

Antwoord:

Ja, met Ron zeker wel. Er moet nog een duidelijke vergadering om problemen te delen komen.

9 Vraag:

Is er een duidelijke lijn van communicatie tussen de Onderaannemers en AM?

Antwoord:

PPO zit ertussen.

10 Vraag:

Is er een effectieve manier om de functie en eisen van de assets vast te leggen?

Antwoord:

In Ultimo zou effectief zijn.

11 Vraag:

Is er een gewenste situatie op dit moment voor het onderhoud, zo nee: Is er een planning voor om dit te halen?

Antwoord:

Belangrijkste wat er mist is data. Uitgebreidere decompositie bewegende onderdelen.