

Aanpassing wervelstroombank voor het testen van het rendement van de ELBEV stadswagen

Bart Mestdach

Promotoren: ing. Guy Foubert, prof. dr. ir. Peter Sergeant

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Vakgroep Industriële Technologie en Constructie
Voorzitter: prof. Marc Vanhaelst
Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Academiejaar 2013-2014



Aanpassing wervelstroombank voor het testen van het rendement van de ELBEV stadswagen

Bart Mestdach

Promotoren: ing. Guy Foubert, prof. dr. ir. Peter Sergeant

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Vakgroep Industriële Technologie en Constructie
Voorzitter: prof. Marc Vanhaelst
Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Academiejaar 2013-2014



Auteursrechtelijke bescherming

‘De auteur(s) geeft (geven) de toelating deze scriptie voor raadpleging beschikbaar te stellen en delen ervan te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichte bronvermelding bij het gebruiken of aanhalen van teksten of resultaten uit deze scriptie.’

Bart Mestdach

Woord vooraf

Mijn opleiding ‘Master of Science in de Industriële wetenschappen’ wordt afgesloten met de masterproef die u hier in handen heeft.

De keuze voor dit project is een zeer bewuste keuze geweest, het is een innovatief project, toekomstgericht en gericht op duurzame energie. Dit te kunnen te ondersteunen gaf me dan ook veel voldoening.

Aan een project van dergelijke omvang werk je uiteraard niet alleen, dus wil ik allereerst mijn promotoren Guy Foubert en Peter Sergeant bedanken voor hun begeleiding, hun kennis van hun project en hun steun bij de verwezenlijking ervan. Daarnaast wil ik ook zeker een woord van dank richten tot Isabelle Hofman, bij wie ik ook steeds met mijn concrete vragen omtrent de stadswagen terecht kon.

Ik wil graag ook een woord van dank richten aan Rudy Stockman en Danny De Baets voor hun praktische ondersteuning bij respectievelijk het mechanische en het elektrische luik van het project.

Ook bedankt aan Gilbert van Eylen van 3E Enterprises NV voor de moeite die hij heeft gedaan om alle mogelijke info in verband met de wervelstroomrem te verzamelen. Ook een woord van dank aan Bert Vanderbauwhede en Spiromatic nv voor het ter beschikking stellen van gratis plaatstaal.

Verder ook bedankt aan Kristof David en Simon Vincent, de andere leden van het ELBEV team en aan Dieter Bultynck en Samuel Ladjal van het Energy Team voor hun hulp bij praktische problemen.

Als laatste wil ik ook mijn ouders en mijn vriendin bedanken voor hun steun tijdens mijn studies en mijn masterproef.

Bart Mestdach

Gent

juni 2014

Abstract

Het doel van deze masterproef is enerzijds een uitbreiding en aanpassing te doen van een bestaande vermogentestbank om er de nieuwe lichtgewicht stadswagen van Universiteit Gent op te kunnen testen. Anderzijds moesten ook de juiste banden geselecteerd worden. Hiervoor werd gekozen voor Marathon Plus, deze zijn stevig en kunnen grote massa's en snelheden aan. Als basis voor de testbank werd de bestaande testbank van het ECOCAR project gebruikt. De bestaande wervelstroomrem werd behouden, maar een nieuwe as met rollen werd ontworpen en geproduceerd. Vooraleer de stadswagen kon getest worden, werden de bestaande meettoestellen geïjkt worden, de wervelstroomrem getest met een elektromotor en de koppelingen uitgelijnd. Bij het testen was het belangrijk om enerzijds het verband te bepalen tussen bekrachtigingsstroom, toerental en koppel, en anderzijds rendementen te bepalen aan de hand van elektrisch en mechanisch vermogen. Het koppel wordt tot op 0,05Nm nauwkeurig gemeten en om het vermogen hieruit te bepalen wordt nog vermenigvuldigd met de hoeksnelheid.

Met de ELBEV konden er testen worden gedaan tot een bekrachtigingsstroom van 0,5A bij maximaal 500 min⁻¹. Het koppel hierbij was 1,45Nm. Het maximale koppel van 3,35 Nm werd gemeten bij 150 min⁻¹ en 0,5A bekrachtigingsstroom.

The purpose of this thesis on the one hand is to extend and adapt an existing test set-up in order to be able to test the new lightweight city car made by the University of Ghent with it. And on the other hand, new tyres must be selected. Therefore, Marathon Plus was chosen. These tyres are sturdy and can handle large masses and speeds. The existing test set-up from the ECOCAR project was used as the basis. The existing eddy current brake was kept, but a new axle with rollers was designed and produced. Before the city car could be tested, the existing measuring devices were calibrated, the eddy current brake was tested with an electric motor and the couplings were aligned. Upon testing, it was important to determine the connection between excitation current, rotational speed and torque, but also to determine the efficiency based on electric and mechanical power. The torque is measured up to 0.05 Nm and is further multiplied by the angular velocity to determine its power. Tests could be made with the ELBEV to a excitation current of 0.5 A at up to 500 min⁻¹. The torque was here 1.45 Nm. The maximum torque of 3.35 Nm was measured at 150 min⁻¹ and 0.5 A excitation current.

Inhoudsopgave

Auteursrechtelijke bescherming	2
Woord vooraf.....	3
Abstract.....	4
Inhoudsopgave.....	5
Inleiding.....	7
Hoofdstuk 1 De ELBEV	9
1.1 Design.....	9
1.2 Aandrijving	10
1.3 Wielen.....	10
1.3.1 Velgen.....	10
1.3.2 Banden.....	11
Hoofdstuk 2 De vermogentestbank	12
2.1 Foucaultrem	14
2.1.1 Wervelstromen	14
2.1.2 Werking Foucaultrem	15
2.2 Loadcell	16
2.3 Koppeluitlezer.....	16
2.4 Gekartelde cilinder.....	17
2.5 Constructie met lagers	17
Hoofdstuk 3 Uitbreiding vermogentestbank.....	18
3.1 Onderstel.....	18
3.2 Rollenconstructie	18
3.2.1 Spie berekening	19
3.3 Lagerconstructie	23
3.3.1 Lagerberekening	23
3.4 Sterkteberekeningen	27
3.4.1 Mesh	27
3.4.2 Randvoorwaarden.....	28
3.4.3 Krachten	29
3.4.4 Resultaten	31
Hoofdstuk 4 IJking en testen van de wervelstroomrem	32

4.1	Motor en invertor	32
4.1.1	Uitlijning koppeling motor – Foucaultrem.....	32
4.2	Testopstelling.....	33
4.2.1	Kalibratie loadcell	33
4.2.2	1 ^e test	34
4.3	Verband tussen bekrachtigingsstroom, toerental en koppel	34
4.3.1	Constant toerental	35
4.3.2	Constance stroom.....	37
Hoofdstuk 5	Uitlijning wervelstroombank	39
5.1	Montage	39
5.2	Uitlijning volledige opstelling	39
Hoofdstuk 6	Testen op de ELBEV	40
6.1	ELBEV monteren op testbank	40
6.2	Testopstelling.....	40
6.3	Testen.....	41
Hoofdstuk 7	Toekomstperspectieven	43
7.1	Hoogte.....	43
7.2	Montage en stabiliteit	44
7.3	Wrijving	45
7.4	DAQ installatie	46
Algemeen besluit		47
Lijst met figuren		48
Lijst met tabellen		49
Literatuurlijst		50
Geraadpleegde literatuur		52
Bijlagen.....		53
Bijlage 1: Metingen wervelstroomrem bij constant toerental		54
Bijlage 2: Metingen wervelstroomrem bij constante bekrachtigingsstroom.....		56
Bijlage 3: Datasheet Loadcell.....		58
Bijlage 4: Datasheet Daytronic 3270		61
Bijlage 5: Datasheet lager		67
Bijlage 6: Literatuurstudie banden		70
Bijlage 7: Metingen ELBEV		72

Inleiding

Het ELBEV (Ecologic Low Budget Electric Vehicle) -project is een vierjarig onderzoeksproject aan Universiteit Gent om een elektrische stadswagen te ontwerpen op een ecologische en goedkope manier.

Deze wagen is ontworpen voor woon/werkverkeer en stadsverkeer, om bijvoorbeeld boodschappen te doen. Daarom is er ook beslist om een één-persoonswagen te ontwerpen omdat de meeste van de bedoelde verplaatsingen meestal door één persoon gebeuren. Dat houdt in dat de wagen zeer compact kan worden gehouden, waardoor het verbruik weer zal dalen en het zoeken van een parkeerplaats in de stad veel eenvoudiger wordt. De bedoeling is om de massa van de wagen zonder chauffeur onder de 100 kg te houden en om een zo hoog mogelijk rendement te verkrijgen en een zeer laag verbruik.

In vorige jaren heeft men van niets een volledig chassis gebouwd, daarop luchtveren voorzien en wielen opgezet. Verder is er onderzoek gevoerd naar aandrijving en reductie, en zijn de juiste types motoren gekozen. Om deze motoren aan te sturen wordt gebruik gemaakt van zelf ontworpen vermogenelektronica.

De stuurinrichting en de gas/remhendels werden ook voorzien en het begin van de neus werd al 3D geprint.

Dit is het laatste jaar van het project waarin de koepels vooraan en achteraan worden vervaardigd, de neus wordt afgewerkt, alles wordt getest, de juiste banden worden geselecteerd en waarin ook een vermogentestbank wordt ontwikkeld. Deze vermogentestbank moet een idee geven van de wrijving met de baan, het verbruik en het totale rendement.

De opdracht van deze masterproef luidde:

Aanpassen en operationeel stellen van een bestaande wervelstroombank ter bepaling van het vermogen, het koppel en rendementskarakteristiek van om het even welke geïmplementeerde elektrische aandrijving in de ELBEV lowbudget stadswagen of de ECOcar energieprestatie wagen.

De bedoeling is om het verschil in prestatie en efficiëntie na te gaan van verschillende typen elektromotoren en overbrengingssystemen door het voertuig met zijn aangedreven wiel(en) rechtstreeks op de vermogentestbank te plaatsen. Hiervoor moet een aangepaste gekartelde rol ontworpen worden die in lijn en lagering staat met de as van de wervelstroombank.

De meetbank wordt voorzien van de nodige meetapparatuur, data acquisitie en dataverwerking.

Door middel van testmetingen wordt de goede werking van het geheel gecontroleerd.

Dit was een opdracht voor twee personen, dus voor één persoon werd het DAQ gedeelte als optie weerhouden. In de praktijk kwam de masterproef hier op neer:

- Onderzoek naar de bandenspecificaties met bijpassende velgen;
- Controle werking bestaande wervelstroomrem;
- Uitbreiding en aanpassing bestaande testbank naar ELBEV;
- Uitlijning testbank;
- Testen ELBEV.

Allereerst werden dus de banden onder de loep genomen. De velgen werden behouden uit praktische overwegingen en na een studie in samenspraak met de leverancier werden de correcte banden geselecteerd en aangekocht.

Daarna werd de bestaande testbank afgebroken en werden de plannen voor de nieuwe testbank getekend, en op sterkte berekend. De verschillende materialen werden opgezocht, en besteld waarna eerst de tafel en het nieuwe onderstel werden gemonteerd.

Op dit nieuwe onderstel werd de bestaande wervelstroomrem gemonteerd en aangedreven door een elektromotor om de rem, en de bestaande meetapparatuur te gaan testen en verbanden te zoeken tussen bekrachtigingsstroom, koppel en toerental. Ondertussen werden de lagers, as en rollen afgewerkt en na het testen van de rem gemonteerd op de testbank.

Daarna werd alles gemonteerd, werd de volledige constructie uitgelijnd, de ELBEV op de testbank geplaatst, en kon er begonnen worden met het testen van de ELBEV zelf.

In deze thesis wordt de volledige uitwerking van de opdracht besproken in 6 hoofdstukken.

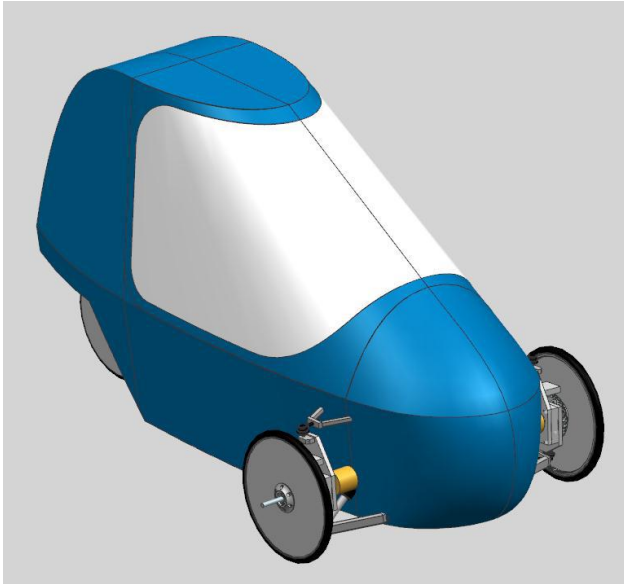
In hoofdstuk 1 wordt de ELBEV wagen besproken, beginnende met wat er eerst was en daarop aansluitend wat er in deze masterproef is veranderd en toegevoegd. Dit gaat dan over banden en velgen.

In hoofdstuk 2 wordt de bestaande vermogentestbank van het ECOCAR-project besproken zowel qua werking als qua opbouw.

Vervolgens wordt hier in hoofdstuk 3 op ingepikt met de aanpassingen en de uitbreidingen hiervan. In hoofdstuk 4 worden de tests besproken die het verband onderzoeken tussen bekrachtigingsstroom, toerental en koppel. Hoofdstuk 5 is een kort hoofdstuk over de uitlijning van de wervelstroomrem met de rollenconstructie en in hoofdstuk 6 tenslotte wordt het testen van de ELBEV besproken.

Hoofdstuk 1 De ELBEV

1.1 Design



Figuur 1: Design ELBEV (De Nutte & Tiré, 2013)

Er is gekozen voor een voertuig met drie wielen, twee apart aangedreven wielen vooraan en een wiel achteraan. De bestuurder komt in een aluminium chassis te zitten waarrond er dan een koetswerk wordt voorzien.

De kofferruimte en bestuurdersplaats worden beiden afgesloten met een kunststofkoepel die tevens als deur dienst doet.

Bij het ontwerp van de koepels en de neus wordt er ook met de aerodynamica rekening gehouden om een zo laag mogelijk verbruik te krijgen.

De neus wordt gemaakt van een biodegradeerbare kunststof die 3D geprint

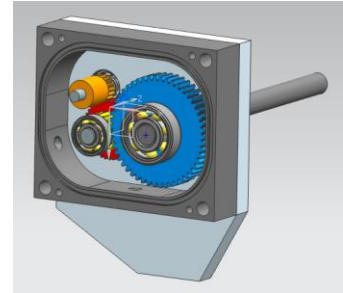
wordt. Om hier kosten te besparen, wordt de neus opgedeeld in puzzelstukken en worden deze afzonderlijk geprint en later aan elkaar gelijmd. Hierover komt dan nog een beschermende coating. De neus dient ook als kreukelzone bij een botsing.

1.2 Aandrijving

De wagen wordt aan de voorwielen aangedreven door twee afzonderlijke brushless DC motoren van Torcman (TM685-420 monster). Deze motoren hebben een nominaal toerental van 4500 min^{-1} en een nominaal koppel van 3 Nm.

Om de snelheid in kracht om te zetten werd er een reductiekast ontwikkeld voor de wagen. De zelf ontworpen reductiekast heeft een overbrengingsverhouding van 7:1, de tandwielen draaien half ondergedompeld en worden gesmeerd door spatsmering.

De motoren worden aangestuurd door zelfontwikkelde vermogenselektronica met zeer hoog rendement. De aandrijving gebeurt door twee batterijen in serie die vergelijkbaar zijn met deze van een elektrische fiets. Dat is een pak lichter dan bijvoorbeeld een autobatterij. De beide motoren worden ook elektronisch geremd. Gas geven en remmen gebeurt door twee hendeltjes aan het stuur. Er is ook een hydraulische schijfrem voorzien op de drie wielen. Deze rem is verplicht qua veiligheid en wordt aangestuurd met een rempedaal. Verder zijn de wielen ook elk voorzien van een stevige luchtvering om de grootste schokken op te vangen.



Figuur 2: Reductiekast
(Reductiekast, 2012)

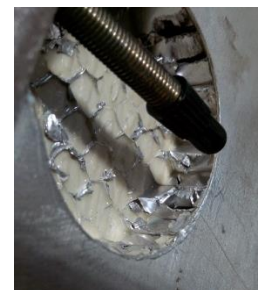
1.3 Wielen

1.3.1 Velgen

De velgen waren in een eerder stadium van het project al ontworpen. Er is toen gekozen om deze zelf te maken met behulp van een aluminium honingraatstructuur (Drabbé & Jooris, 2012). Dit heeft als voordeel dat de velgen licht zijn, maar ook stevig. De velg heeft een diameter van 16 inch of 406,4 mm waarop een band past van 20 inch of 508 mm.

Een goede bestaande velg vinden was niet evident, de velgen mochten niet te dik zijn, dus een gewone auto- of motorvelg volstond niet. Een gewone fietsvelg was ook geen goede oplossing aangezien deze niet bestand zijn tegen axiale krachten. Deze treden op in bochten bij de wielen van de ELBEV. Verder werd de totale massa (wagen en bestuurder) op maximum 200 kg bepaald, wat bij een gelijke verdeling van de massa, op bijna 70 kg per wiel uitkomt.

De enige bestaande velg die bij het vorige onderzoek naar voor kwam als mogelijke oplossing was de velg van de Oxford Eagle elektrische fiets. Dit is een vijfspaakswiel, reeds voorzien van een schijfrem. De producent van deze wielen, Tranz-X, wenste geen cijfergegevens vrij te geven maar deelde wel mee dat de velgen zeker niet geschikt waren voor ons project. Enerzijds kunnen ze maar maximum 57,5 kg aan per wiel, anderzijds kunnen ze geen axiale krachten opvangen. (Scorpati, 2013, 13 oktober – persoonlijke communicatie & Drabbé & Jooris, 2012).



Figuur 3:
Honingraatstructuur
velgen

Verder bleek uit onderzoek ook dat het volledige honingraatwiel (velg en band) niet groot genoeg was. De wettelijk vooropgestelde bodemvrijheid bij voertuigen is vastgesteld op 11 cm, bij de ELBEV met de 20 inch wielen is dit maar 10 cm onbelast.

Om hieraan te voldoen zou de velggrootte op 17 inch of zelfs 18 inch (resp. 431,8 mm of 457,2 mm) moeten gekozen worden.

Aangezien de berekeningen van de motoren en de elektronica op wielen van 20 inch gebaseerd zijn, is er beslist om de bestaande honingraatwielen te behouden en deze enkel te voorzien van nieuwe banden.

1.3.2 Banden

Voor de banden golden dezelfde problemen als voor de velgen. Ook hier moest er gezocht worden naar banden die 70 kg aankonden en axiale krachten konden opvangen. Door de groeiende aandacht voor elektrische vouw- en ligfietsen, zijn banden die 70 kg aankunnen steeds gemakkelijker te vinden. Vooral de axiale krachten vormden het probleem en ook de rolweerstand mocht niet te groot zijn.

Uiteindelijk kwamen, in samenspraak met de leverancier, de Marathon Plus banden van Schwalbe als beste uit de literatuurstudie. De gegevens van de studie van de Marathon Plus banden zijn te vinden in bijlage 6. Deze banden kunnen 80 kg dragen en zijn extra verstevigd aan de zijkanten met Twin-technologie. Dit is een extra beschermende rubberlaag op de zijkant die de axiale krachten zal opvangen (Schwalbe, 2014).

Verder zijn deze banden ook 'e-bike ready', hebben dus een 'ECE-R75' certificaat en zijn dus toegelaten tot 50 km/h. Dit certificaat van de Verenigde Naties reguleert de banden (zowel qua sterkte, grootte, materiaal, maximum toegelaten snelheid...) van motorfietsen, elektrische fietsen en aanverwanten in Europa. Het is



Figuur 4: Banden Schwalbe Marathon Plus

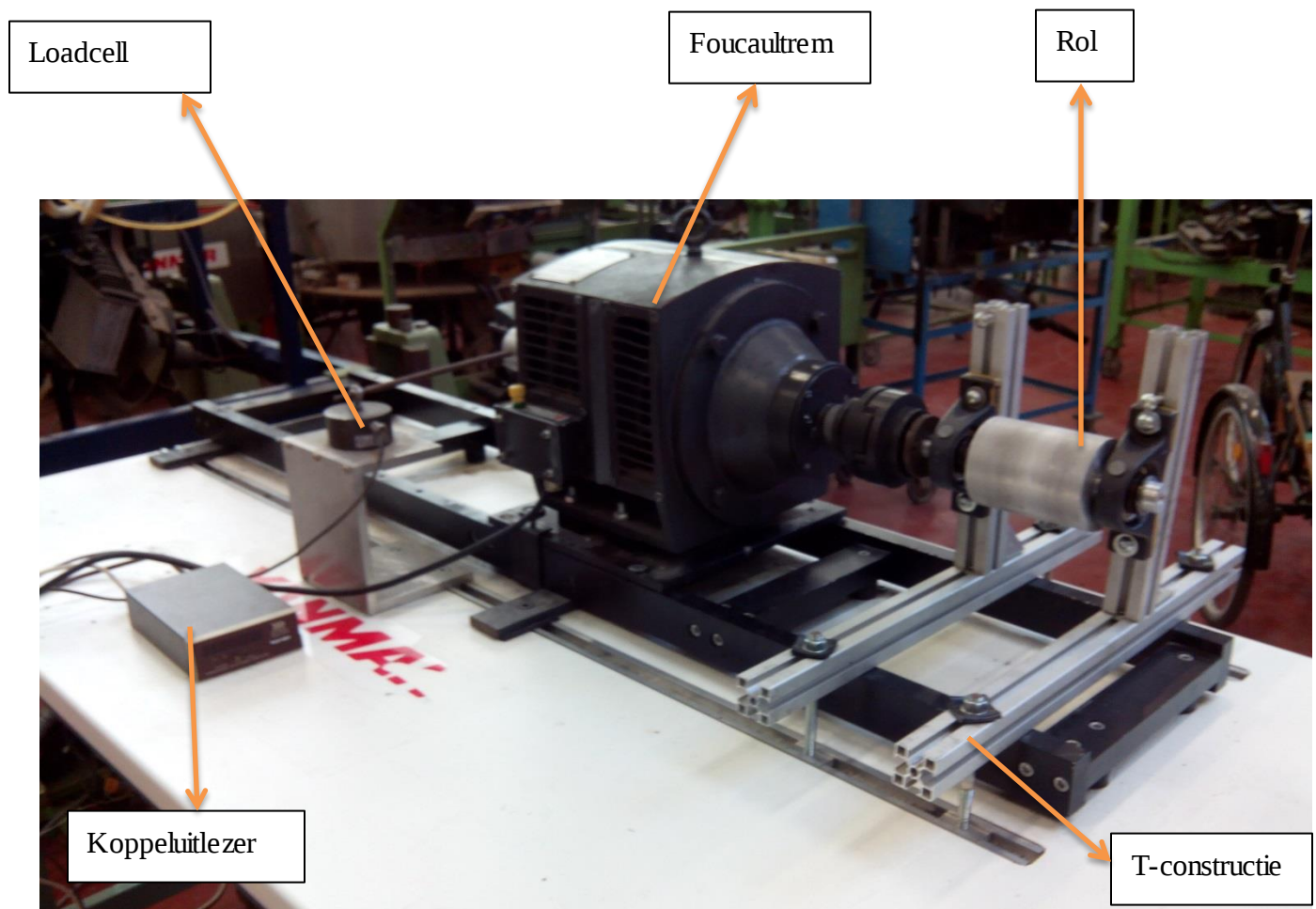
een keurmerk dat toegekend wordt aan banden die goedgekeurd zijn. Het keurmerk kent verschillende klassen toe, onder andere qua snelheid. De gekozen banden bevinden zich in klasse B met een maximale snelheid van 50 km/h (United Nations, 1997 & Schwalbe, 2014). Een ander voordeel van de marathon-plus banden is de Smartguard-technologie. Dit is momenteel de beste anti-leklaag op de markt voor fietsbanden. Dit is een massieve laag van 5 mm dik, die bestaat uit een speciaal ontworpen elastische rubber die er voor zorgt dat korte scherpe voorwerpen (steentjes, punaises...) de binnenband niet beschadigen maar in de buitenband blijven steken. Dit zorgt voor een extra lange levensduur van de banden (Schwalbe, 2014).

Hoofdstuk 2 De vermogentestbank

De vermogentestbank voor de ELBEV is een uitbreiding en aanpassing van de vermogentestbank van het ECOCAR-project. Dat is een langlopend project van Hogeschool Gent waarin men met een zelf ontworpen wagen in wedstrijden eerst met één liter diesel, en sinds enkele jaren elektrisch, met het energie-equivalent van één liter diesel, zo veel mogelijk afstand moet afleggen. Deze zelfontworpen wagen moet dus zo efficiënt mogelijk rijden. Dit wordt gerealiseerd door de wagen zo licht mogelijk te houden, de aerodynamica zo goed mogelijk te realiseren, de motor met een zo hoog mogelijk rendement te doen werken, de lagering zo goed mogelijk te kiezen, voldoende smering toe te passen... Momenteel zit men aan zo'n 2600 km.

Dit jaar wordt er onderzoek gevoerd naar een veersysteem waardoor de wagen in de toekomst met (deels) keramische lagers kan rijden. Verder wordt er ook onderzoek gedaan naar nieuwe smeringstechnieken. De wagen zit ondertussen aan de 5^e generatie en heeft al verschillende prijzen gewonnen.

Om rendement en verbruik te kunnen in kaart brengen, en zo te kunnen zien waar er nog verbeteringen mogelijk zijn, heeft men een vermogentestbank ontworpen op basis van een wervelstroomrem of Foucaultrem. Op onderstaande foto is de originele opstelling te zien.



Figuur 5: Originele opstelling vermogentestbank

Om het rendement van de ELBEV te gaan meten, wordt de bestaande wervelstroomtestbank aangepast en uitgebreid. Deze bestaande testbank dateert wel nog van in de tijd dat er nog met diesel gereden werd, dus zat er een meeteenheid op om het dieserverbruik te meten, deze wordt uiteraard niet meer gebruikt voor het ELBEV-project.

Verder bestaat de bestaande testbank uit een foucaultrem van Terco met een gekartelde cilinder die er gelagerd aan gekoppeld is. De andere as van de rem is elastisch gekoppeld aan een loadcell. Daaraan werd een koppeluitlezer bevestigd om het remkoppel rechtstreeks te kunnen aflezen.

2.1 Foucaultrem

Een Foucaultrem of wervelstroomrem werkt op basis van wervelstromen.

2.1.1 Wervelstromen

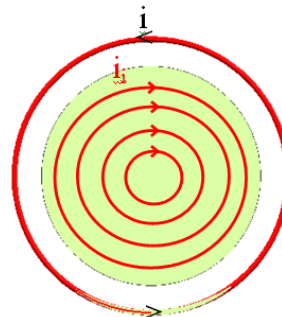
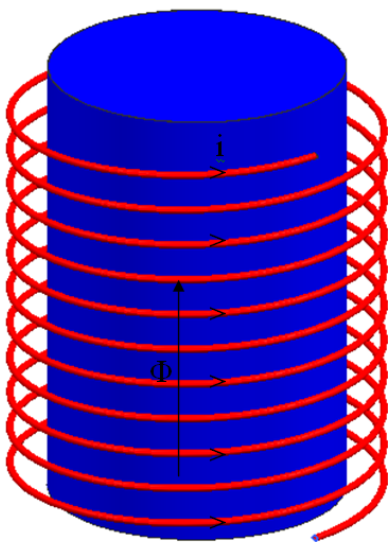
Als door een spoel met N windingen en een geleidende kern een elektrische stroom I gestuurd wordt, ontstaat er enerzijds een fysische flux Φ en anderzijds een gekoppelde flux Ψ in de kern.

$$\Psi = N \cdot \Phi$$

Door de elektrische stroom te laten wijzigen, zullen de fysische en de gekoppelde flux ook mee wijzigen. Deze wijziging zorgt verder voor een wijziging van het magnetisch veld. Volgens de wet van Faraday wordt er dan in de kern een elektromagnetische spanning e_i geïnduceerd.

$$e_i = - \frac{d\Psi_s}{dt}$$

Deze elektromagnetische spanning zorgt voor het ontstaan van geïnduceerde stromen i_i in de



kern die hun ontstaan tegenwerken (wet van Lenz) zoals te zien in figuur 6. Deze stromen staan loodrecht op de flux en worden wervelstromen genoemd.

Indien men geen wervelstromen wenst, kunnen deze beperkt worden door de kern te lamelleren. Zo bouwt men de kern op met verschillende dunne

Figuur 6: Ontstaan wervelstromen (Van Coster & Van Hijfte, 2010)

plaatjes tegen elkaar geplaatst zodat de flux loodrecht staat op de doorsnede van de plaatjes.

Volgens de wet van Joule ontstaat hierbij een energieverlies $R \cdot i_i^2$. Deze energie komt vrij als warmte waardoor het noodzakelijk is om de nodige ventilatie op de rotor te voorzien (Singelé & Van den Berghe, 2007 & Van Coster & Van Hijfte, 2010).

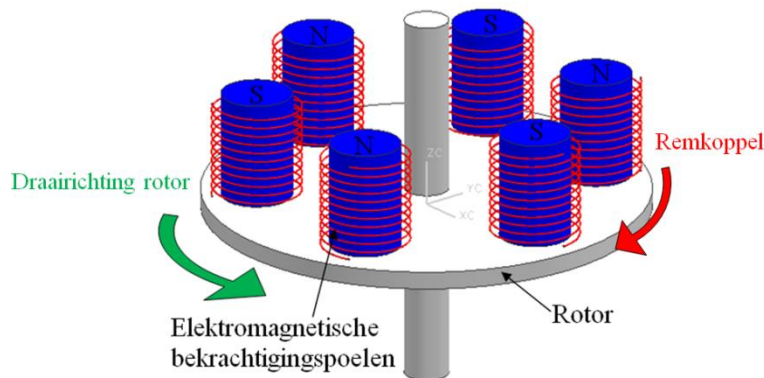
2.1.2 Werking Foucaultrem

Een Foucaultrem is een wrijvingloze rem waarbij de remenergie omgezet wordt in warmte en afgevoerd wordt door een ventilator. De remenergie wordt opgewekt door de $\frac{d\psi}{dt}$ in de roterende schijf.

Het is een rem met twee afzonderlijke rotoren. De ene rotor, een cirkelvormige schijf, draait mee, aangedreven door de ELBEV, de andere rotor wordt kantelend opgesteld zodat hij enkel lichtjes heen en weer kan kantelen maar niet kan ronddraaien. Dit wordt gedaan door de rotor elastisch te koppelen aan de loadcell. De rotor wordt dus als stator gebruikt, gevormd door 6 bekrachtigingspoelen die cirkelvormig zijn opgesteld.

Binnen de wervelstroomrem ontstaan wervelstromen door een verandering in het magnetisch veld van de rotor. De wervelstroomrem wordt bekrachtigd met een constante stroom zodat in de bekrachtigingspoelen afwisselend noord- en zuidpolen ontstaan. Als de schijf nu draait zal er steeds verandering van magnetisch veld optreden in de rotor, waardoor een fluxverandering

ontstaat. Op deze manier worden dus de wervelstromen opgewekt die het draaien van de rotor zullen tegenwerken met een bepaald remkoppel. Dat koppel wordt uitgelezen door een koppeluitlezer (Singelé & Van den Berghe, 2007 & Van Coster & Van Hijfte, 2010).



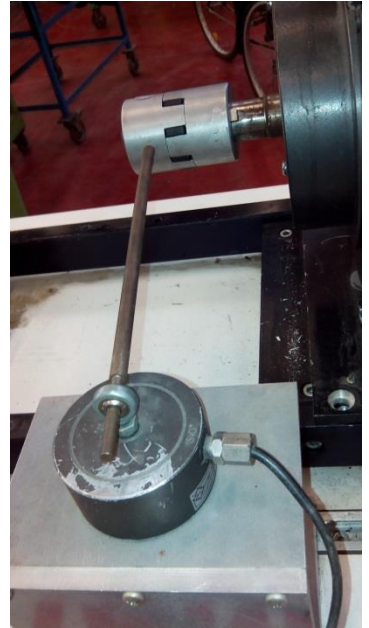
Figuur 7: Schema wervelstroomrem (Van Coster & Van Hijfte, 2010)

2.2 Loadcell

Het geleverde remkoppel op de wervelstroomrem wordt gemeten door een loadcell. Als de rotor draait en de rem is bekrachtigd, dan zal er een kracht uitgeoefend worden op de loadcell. Deze kracht is de kracht die het remkoppel op de loadcell uitoefent op een bepaalde afstand (25cm).

$$F = \frac{M}{x}$$

De werking van een loadcell is gebaseerd op de werking van een rekstrookje (een stukje draad met een bepaalde weerstand). Door een bepaalde kracht hierop, ondergaat het rekstokje een minieme vervorming (uitrekken of samentrekken). Deze vervorming veroorzaakt een toename of afname van de weerstand. In de loadcell is de uitrekking van het rekstrookje lineair met de weerstandswaarde, waardoor het koppel kan worden bepaald (Van Coster & Van Hijfte, 2010). De datasheet van de loadcell is te vinden in bijlage 3.



Figuur 8: Loadcell

2.3 Koppeluitlezer

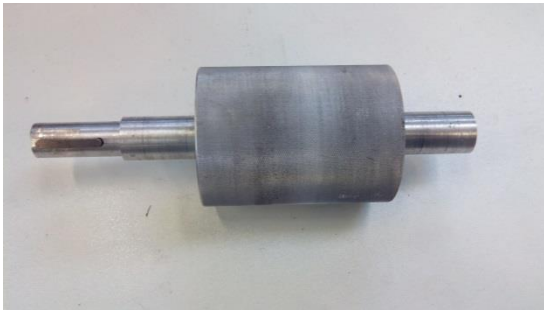
Het gemeten koppel van de loadcell wordt uitgelezen op een Daytronic 3270 koppeluitlezer. De weerstandsveranderingen worden via een brug van Wheatstone uitgemeten en omgezet naar een spanning. Deze spanning zet de Daytronic 3270 dan om naar een koppel dat in Newtonmeter wordt weergegeven op het display.



Figuur 9: Daytronic koppeluitlezer

Uiteraard wordt hierbij rekening gehouden met de afstand 25 cm van de momentarm, deze kan worden ingesteld op de Daytronic (Daytronic, 1996). De datasheet van de loadcell is te vinden in bijlage 4.

2.4 Gekartelde cilinder



Figuur 10: Gekartelde cilinder

Op de gekartelde cilinder staat het aangedreven achterwiel van de ECOCAR gesteund. Door dit wiel aan te drijven zal de cilinder beginnen draaien en daardoor de wervelstroomrem ook. Door de cilinder te kartelen wordt er nog een extra grip gecreëerd tussen de cilinder en de band om slip te vermijden.

De cilinder is van aluminium waardoor de massa beperkt blijft en daardoor ook de inertie.

De cilinder is elastisch gekoppeld aan de wervelstroomrem zodat beperkte trillingen niet worden doorgegeven maar opgevangen door de elastische koppeling (Van Coster & Van Hijfte, 2010).

2.5 Constructie met lagers

De lagers om de as gelagerd te ondersteunen, worden bevestigd met behulp van A35/35 4G profielen.

Door hiermee een omgekeerde ‘T’ te bouwen, wordt enerzijds een verticaal profiel verkregen om de lagers aan te bevestigen, en anderzijds een horizontaal profiel dat in de geleidingsrails op de tafel wordt bevestigd en dat door middel van de draadstangen zeer eenvoudig kan worden uitgelijnd.

De twee gekozen lagers zijn kogellagers van INA van het type PASEY25-N voorzien van een gietijzeren behuizing. Uit de berekeningen hiervan bleek dat deze ruimschoots voldoen aan de originele opstelling, uiteraard worden deze nog verder berekend voor de nieuwe opstelling (Van Coster & Van Hijfte, 2010). De datasheet van het lager bevindt zich in bijlage 5.



Figuur 12: PASEY25-N (Schaeffler)

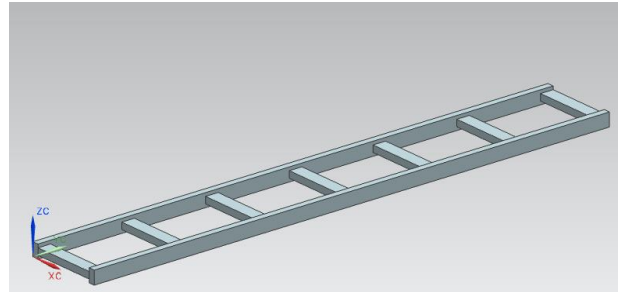


Figuur 11: Lagerconstructie

Hoofdstuk 3 Uitbreiding vermogentestbank

3.1 Onderstel

Voor het nieuwe onderstel wordt gebruik gemaakt van identieke profielen uit de originele opstelling. Deze zijn sowieso stevig genoeg en kunnen grote belastingen aan. De gelijke profielen maken de koppeling van de motor (op het originele onderstel) aan de as en de wervelstroomrem (op het nieuwe onderstel) heel wat eenvoudiger.

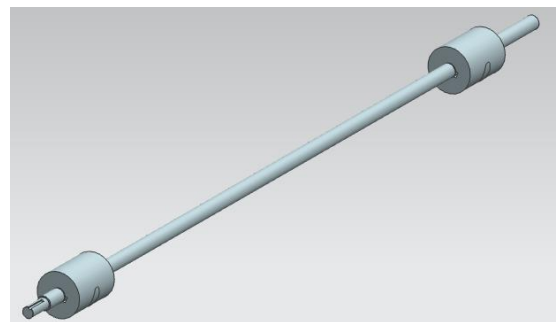


Figuur 13: Nieuw onderstel

Het onderstel wordt op trildempers geplaatst, dat zijn rubbervoetjes met staal in verwerkt voor de stevigheid. Deze trildempers gaan de trillingen van de ELBEV op de opstelling gaan opvangen en dempen zodat deze weinig invloed gaan hebben op de uitlezing.

3.2 Rollenconstructie

Om de rotor van de wervelstroomrem aan te drijven worden de twee aangedreven voorwielen van de ELBEV op twee gekartelde cilinders geplaatst.



Figuur 14: As met rollen

Anders dan bij de originele opstelling worden de twee cilinders en de as niet uit één stuk gemaakt.

Dit zou betekenen dat bijna $\frac{3}{4}$ van het basiswerkstuk zou moeten worden weggenomen, tevens zou de volledige constructie dan maar aan de uiterste zijden gelagerd zijn en niet in het midden, wat voor een veel te zwakke opstelling zou zorgen.

De oplossing hiervoor was om een losse as te nemen en hierover de cilinders en de lagers te schuiven. De cilinders worden met behulp van een spie en twee circlipsen op hun plaats gehouden. Een circlips voldoet hier zeker, aangezien er op de cilinders enkel radiale en geen axiale krachten optreden.

Het volledige geheel wordt dan elastisch gekoppeld aan de wervelstroomrem.

Om voldoende grip te voorzien bij het contact van de banden van de ELBEV met de cilinders, worden de cilinders licht gekarteld zodat een oneffen oppervlak gecreëerd wordt.

De volledige constructie bestaat uit aluminium, wat zeker sterk genoeg is om de ELBEV te dragen (zie 3.4 Sterkteberekeningen). Het voordeel van aluminium is dat dit veel lichter en makkelijker bewerkbaar is dan staal. Hierdoor wordt de inertie van de constructie ook veel kleiner gehouden.

De cilinders zijn op maat gedraaid, daarna volledig doorgeboord met diameter 22 mm. en inwendig op maat gedraaid tot een boring van diameter 25 mm., de diameter van de as. In deze boringen werd dan een doorlopende spiebaan aangebracht door middel van draadvonken. Uiteindelijk werden de cilinders dan gekarteld op de kartelmachine.

De as werd geleverd op diameter 25mm. en moest dus niet meer worden op maat gedraaid. Enkel het aansluitstuk voor de elastische koppeling moest worden gedraaid naar diameter 20mm. Verder werden ook de uitsparingen voor de circlipsen uitgedraaid en de spiebanen gefreesd.

3.2.1 Spie berekening

De verbinding tussen de as en de koppeling en de as en de rollen gebeurt zoals eerder vermeld door middel van spieën. Het is belangrijk dat deze voldoen aan de normen en sterk genoeg zijn.

Tabel 1: Afmetingen spieën (Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, & Vossiek, 2003)

Spie afmetingen(DIN6885)			
As diameter (d)	Breedte x Hoogte (b x h)	Diepte spiebaan as	Diepte spiebaan naaf
10 t/m 12	4 x 4	2,5	1,8
12 t/m 17	5 x 5	3	2,3
17 t/m 22	6 x 6	3,5	2,8
22 t/m 30	8 x 7	4	3,3
30 t/m 38	10 x 8	5	3,3
38 t/m 44	12 x 8	5	3,3
44 t/m 50	14 x 9	5,5	3,8
50 t/m 58	16 x 10	6	4,3
58 t/m 65	18 x 11	7	4,4
65 t/m 75	20 x 12	7,5	4,9
75 t/m 85	22 x 14	9	5,4
85 t/m 95	25 x 14	9	5,4
95 t/m 110	28 x 16	10	6,4
110 t/m 130	32 x 18	11	7,4
130 t/m 150	36 x 20	12	8,4
150 t/m 170	40 x 22	13	9,4
170 t/m 200	45 x 25	15	10,4

Tabel 2: Veiligheidsfactor Ka (Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, & Vossiek, 2003)

Werkwijze	Aandrijvende machine			
	Gelijkmatig bijk. elektromotor gasturbine	Lichte stoten bijk. vaak aanlopende momenten	Middelmatige stoten bijk. verbrandings- motor	Zware stoten bijk. één- cilinder verbrandings- motor
<i>Gelijkmatig, bijvoorbeeld</i> Aggregaten, bandtransporteurs, platenbandtransporteurs, transportschroeven, lichte elevatoren, roerwerken en mengers voor stoffen met een gelijkmatige dichtheid.	1,0	1,1	1,25	1,5
<i>Lichte stoten, bijvoorbeeld</i> Ongelijkmatig beladen bandtransporteurs, draaiwerken van kranen, roerwerken en mengers voor stoffen met een ongelijkmatige dichtheid.	1,25	1,35	1,5	1,75
<i>Middelmatige stoten, bijvoorbeeld</i> Extrusiepers voor rubbers, menger met onderbroken bedrijf, lierwerken en kogelmolens.	1,5	1,6	1,75	2,0 of hoger
<i>Sterke stoten, bijvoorbeeld</i> Bagger/ graafmachines, zware kogelmolens, breekmachines, hoogovenmachines, baksteenpersen en schilmachines.	1,75	1,85	2,0	2,25 of hoger

As – koppeling

Voor de as-naaf verbinding tussen de as en de elastische koppeling wordt de vlakke inlegspleet als volgt bepaald:

Diameter van de as: 20mm dus een spleet van 6x6 (bxh). De te frezen spleetbaan in de as heeft daarbij een diepte van 3,5mm. In de koppeling wordt een spanbus geplaatst waarin de correcte spleetbaan reeds gefreesd is.

De lengte van de spleet wordt bepaald door middel van volgende formule:

$$l' \geq \frac{2K_A \cdot T_{nom}}{d \cdot h' \cdot 0,75n \cdot p} \quad (\text{Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, \& Vossiek, 2003, p. 345})$$

Hierin is K_A een veiligheidsfactor, afhankelijk van de trillingen en de stoten die de spie zal ondergaan. In dit geval is deze gelijk aan 1.

T_{nom} is het over te brengen nominaal torsiemoment. Het nominaal koppel van de Torcman motoren is 3Nm. Rekening houdend met de overbrengingsverhouding van 7:1 komt dit op een moment van 21000Nmm.

d is de diameter, deze is 20mm.

h' is de dragende spiehoogte, gelijk aan $0,45 \cdot h = 0,45 \cdot 6\text{mm} = 2,7\text{mm}$

n is het aantal spieën, dit is in deze verbinding gelijk aan 1.

$\bar{p}$ is de maximum toelaatbare vlaktedruk van het zwakste materiaal, in dit geval is dat het aluminium van de as en is deze gelijk aan:

$$\bar{p} = \frac{R_m}{S} = \frac{100 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1,5} = 67 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (\text{Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, \& Vossiek, 2003, p. 345})$$

De ingevulde formule wordt dan:

$$l' \geq \frac{2K_A \cdot T_{nom}}{d \cdot h' \cdot 0,75n \cdot \bar{p}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 21000}{20 \cdot 2,7 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 67} = 16\text{mm}$$

Verder geldt nog dat de lengte van de spie aan volgende voorwaarde moet voldoen:

$$l' \leq 1,3 \cdot d = 1,3 \cdot 20\text{mm} = 26\text{mm} \quad \text{Aan deze voorwaarde is dus voldaan.}$$

Bij de lengte l' moet de breedte van de spie ($b=6\text{mm}$) worden opgeteld aangezien in de berekening geen rekening wordt gehouden met de kop.

$$l = l' + b = 16\text{mm} + 6\text{mm} = 22\text{mm} \quad (\text{Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, \& Vossiek, 2003, p. 345})$$

Dit is een genormaliseerde lengte voor een spie en dus wordt er een spie gekozen van 22mm. Wegens redenen van beschikbaarheid wordt er gebruik gemaakt van een spie van 36mm lang, deze komt uit de originele opstelling.

As – rol

Voor de as-naaf verbinding tussen de as en de rol wordt de vlakke inlegspie op dezelfde manier bepaald:

Diameter van de as: 25mm dus een spie van 8x7 (bxh). De te frezen spiebaan in de as heeft daarbij een diepte van 4mm. In de rollen wordt de spiebaan volledig doorlopend gedraadvonkt aangezien dit de goedkoopste oplossing is. De diepte van de spiebaan in de rollen is 3,3mm.

De lengte van de spie wordt bepaald door middel van volgende formule:

$$l' \geq \frac{2K_A \cdot T_{nom}}{d \cdot h' \cdot 0,75n \cdot p} \quad (\text{Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, \& Vossiek, 2003, p. 345})$$

Hierin is K_A ook gelijk aan 1.

T_{nom} is zoals hierboven gelijk aan 21000Nmm.

d is hier 25mm.

$h' = 0,45 \cdot h = 0,45 \cdot 7\text{mm} = 3,15\text{mm}$

n is nog steeds gelijk aan 1 (1 spie per verbinding)

$$\frac{p}{S} = \frac{R_m}{S} = \frac{100 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1,5} = 67 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (\text{Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, \& Vossiek, 2003, p. 345})$$

De ingevulde formule wordt dan:

$$l' \geq \frac{2K_A \cdot T_{nom}}{d \cdot h' \cdot 0,75n \cdot p} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 21000}{25 \cdot 3,15 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 67} = 11\text{mm}$$

Verder geldt nog steeds dat de lengte van de spie aan volgende voorwaarde moet voldoen:

$$l' \leq 1,3 \cdot d = 1,3 \cdot 25\text{mm} = 32,5\text{mm} \quad \text{Aan deze voorwaarde is dus ook voldaan.}$$

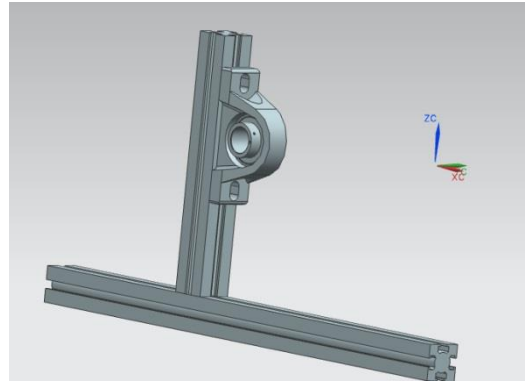
Bij de lengte l' moet de breedte van de spie ($b=8\text{mm}$) worden opgeteld aangezien in de berekening geen rekening wordt gehouden met de kop.

$$l = l' + b = 11\text{mm} + 8\text{mm} = 19\text{mm} \quad (\text{Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, \& Vossiek, 2003, p. 345})$$

Dit is geen genormaliseerde lengte voor een spie en dus wordt er een spie gekozen van 20mm. De gebruikte spie is echter een spie van 10x8, 40mm lang. Er is bewust gekozen om deze spie iets te over dimensioneren om echt zeker te zijn van de sterkte en alle schokken te kunnen opvangen.

3.3 Lagerconstructie

De lagers zijn, zoals de originele opstelling, kogellagers van INA van het type PASEY25-N voorzien van een gietijzeren behuizing om eenvoudige montage toe te laten. Uit de berekeningen bleek dat dit type lagers voldeed voor de originele opstelling. Op deze manier moesten er maar twee nieuwe lagers worden besteld in plaats van vier. Uiteraard wordt de levensduur van de lagers herberekend om te kijken of ze nog steeds voldoen.



Figuur 15: Lagerconstructie

De constructie met de A35/35 4G profielen wordt behouden en uitgebreid zodat de volledige as door vier lagers wordt gesteund op dezelfde manier als in de originele opstelling.

3.3.1 Lagerberekening

De lagers worden berekend op levensduur, dat zijn het aantal omwentelingen die 90% van de lagers in deze omstandigheden zeker kunnen volmaken zonder materiaalmoeheid. Deze levensduur zal uiteraard ook afhangen van onderhoud, smering, schokken...

Op de lagers werken twee krachten in: enerzijds het eigengewicht van de as en de rollen, en anderzijds de kracht van de wagen op de rollen.

De berekeningen worden uitgevoerd voor het meest belastende geval, als de wielen van de ELBEV loodrecht op de rollen duwen. Ook de sterkteberekeningen van de constructie worden hierop uitgevoerd (zie 3.4).

Verder werken er ook enkel radiale krachten op de lagers en geen axiale krachten. Dit zorgt ervoor dat de dynamische lagerbelasting $P = F_{Rad}$

Kracht ELBEV

De ELBEV is berekend op een maximummassa van 200 kg. (100 kg. wagen en 100 kg bestuurder). De massa- en dus krachtverdeling is gelijk verdeeld over de 3 wielen.

Dit geeft dus:

$$F_E = m \cdot g$$

$$F_E = 200 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1962 \text{ N}$$

Aangezien enkel de kracht van de voorwielen in rekening wordt gebracht wordt dit:

$$F_E = 1962 \text{ N} \cdot \frac{2}{3} = 1308 \text{ N}$$

Eigengewicht constructie

Het eigengewicht van de constructie is de kracht, uitgeoefend door de massa van de volledige constructie op de lagers.

Het volume van de volledige as met de twee cilinders is 1663 cm^3 . De massadichtheid van aluminium bedraagt $2,70 \text{ g/cm}^3$.

Daaruit volgt dat de massa van de constructie gelijk is aan:

$$m = \rho \cdot v$$

$$m = 2,70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 1663 \text{cm}^3$$

$$m = 4490,1 \text{g} = 4,49 \text{kg}$$

En uit de massa volgt de kracht:

$$F_C = m \cdot g$$

$$F_C = 4,49 \text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 44,05 \text{N}$$

De volledige kracht op de vier lagers wordt dus:

$$F = F_E + F_C = 1308 \text{N} + 44,05 \text{N} = 1352,05 \text{N}$$

Verdeeld over de vier lagers geeft dit een kracht van

$$F_{Rad} = \frac{F}{4} = \frac{1352,05 \text{N}}{4} = 338,01 \text{N}$$

per lager. Dit is gelijk aan de dynamische belasting per lager (P).

Deze P wordt ingevuld in de formule van Stribeck:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (\text{Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, \& Vossiek, 2003, p. 466})$$

Hierin is C dynamisch draaggetal (via catalogus leverancier: 14000), P is de lagerbelasting zoals hierboven berekend en p is de levensduurcoëfficiënt (p=3 voor kogellagers).

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p = \left(\frac{14000}{338,01} \right)^3 = 71056 \text{ miljoen omwentelingen}$$

Met deze L_{10} –waarde kan de levensduur in uren worden berekend.

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n} \quad (\text{Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, \& Vossiek, 2003, p. 466})$$

Hierin is n het nominaal toerental van de lagers, dit is gelijk aan het nominale toerental dat de banden draaien, uiteraard rekening houdend met de overbrengingsverhouding (band-rol).

Het toerental van de banden wordt als volgt berekend:

Nominaal toerental van de Torcman-motoren: 4500 min^{-1}

Overbrengingsverhouding van de reductiekast: 7:1 (Notebaert, 2010).

Nominaal toerental banden:

$$n_b = \frac{n_m}{7} = \frac{4500 \text{ min}^{-1}}{7} = 643 \text{ min}^{-1}$$

Diameter banden: 20 inch = 508mm

Omtrek banden: $O_b = d_b \cdot \pi = 508 \text{ mm} \cdot 3,14 = 1595,12 \text{ mm}$

Omtreksnelheid banden:

$$v_{\text{omtrek}} = O_b \cdot n_b = 1595,12 \text{ mm} \cdot 643 \text{ min}^{-1} = 1025662,6 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = \frac{1025662,6 \cdot 10^{-3}}{60} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,71 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De omtreksnelheid van de banden is gelijk aan deze van de rollen, daaruit kan het toerental van de rollen worden berekend:

Diameter rollen: 80mm

Omtrek rollen: $O_r = d_r \cdot \pi = 80 \text{ mm} \cdot 3,14 = 251,2 \text{ mm}$

Toerental rollen:

$$n_r = \frac{v_{\text{omtrek}}}{O_r} = \frac{1025662,6 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}{251,2 \text{ mm}} = 4083 \text{ min}^{-1}$$

Het toerental van de lagers is gelijk aan dat van de rollen, namelijk 4083 min^{-1} .

De levensduur in uren wordt dan:

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n} = \frac{10^6 \cdot 71056}{60 \cdot 4083 \text{ min}^{-1}} = 290048 \text{ uren}$$

Via de site van de fabrikant wordt deze berekening overgedaan en wordt er vastgesteld dat de berekende resultaten zeer dicht bij deze van de fabrikant liggen.

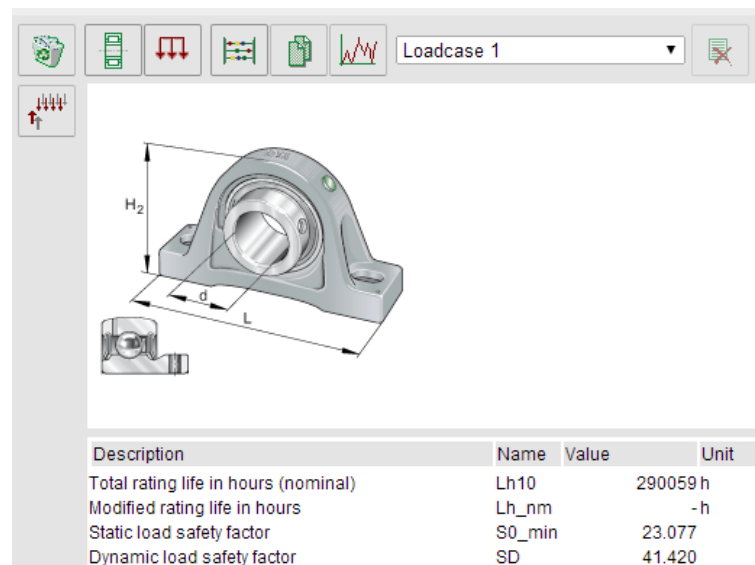
De gegevens van het lager worden door de producent zelf ingevuld zoals te zien is in de eerste twee afbeeldingen. In de derde afbeelding wordt de loadcase ingegeven (kracht, toerental en temperatuur). In de vierde afbeelding kan dan de levensduur worden afgelezen na het berekenen.

Loadcase 1

Loadcase

Designation	Bez	Loadcase 1
Time portion	q	100.000 %
Axial load	Fa	0.0 N
Radial load	Fr	338.0 N
Type of movement		rotating ▼
Speed	n_i	4083.00 1/min
Mean operating temperature	T	25 °C

Figuur 16: Toerental en krachten op lager



Figuur 17: Levensduurberekening (Schaeffler)

3.4 Sterkteberekeningen

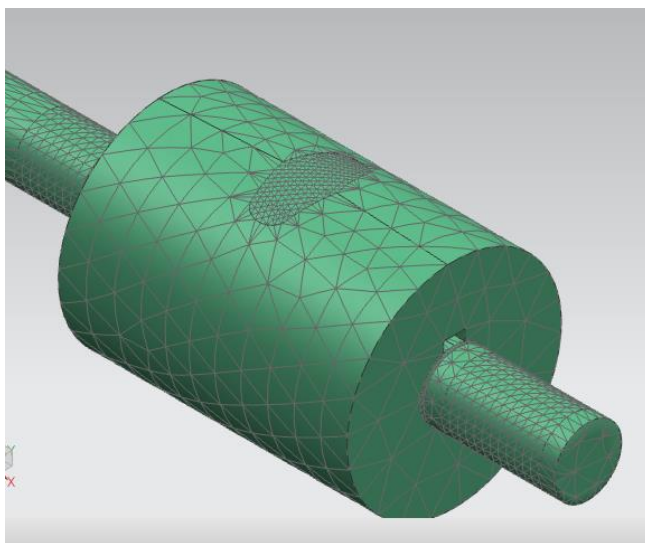
De gehele lager/as-constructie is via Siemens NX en Siemens Nastran berekend op afschuiving en doorzakking om zeker te zijn dat ze sterk genoeg is om de massa van de ELBEV, belast met een persoon, te kunnen weerstaan.

3.4.1 Mesh

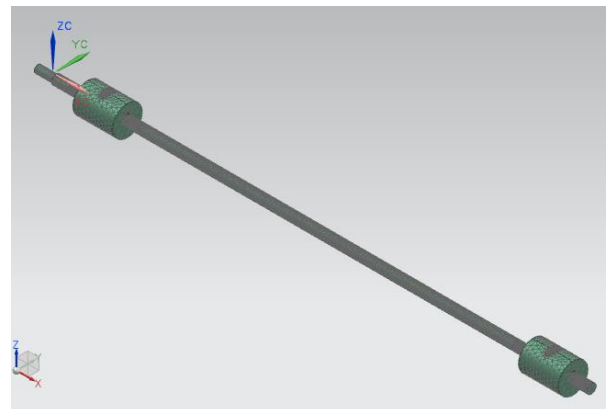
Voor de meshverdeling wordt gebruik gemaakt van een CTETRA(10) 3D meshverdeling met een elementgrootte van 20mm. Dit leidt tot een redelijk nauwkeurige mesh. Op de kritische plaatsen (waar de banden op de rollen duwen en de plaatsen waar de lagers contact hebben met de as) wordt er eerst een veel kleinere 2D meshverdeling (PSHELL) zodat bij de 3D-mesh, op deze plekken een veel nauwkeurigere meshverdeling ontstaat. Hierdoor wordt een veel duidelijker beeld verkregen van de afschuiving en doorzakking op deze plaatsen.

Er zijn 2 meshcollectors aangemaakt; 1 voor aluminium voor de as en de cilinders, en 1 voor staal voor de spieën die de as met de cilinders verbindt.

Om er voor te zorgen dat Siemens NX deze spieverbinding ook echt als een vaste verbinding ziet, werd er gebruik gemaakt van 'face-to-face glueing'. Hiermee wordt de spie zowel aan de as als aan de cilinder gekleefd en bestaat de tekening voor de berekeningen uit één geheel.



Figuur 18: Gemeshte rol met verfijningen



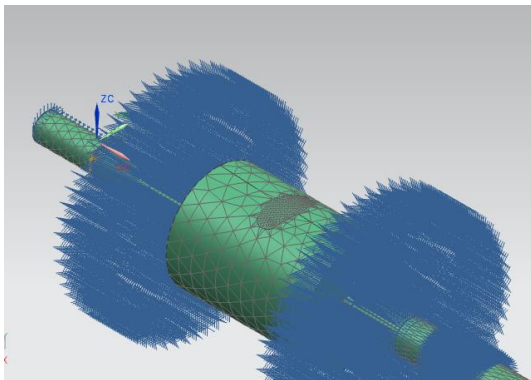
Figuur 19: Volledige as

3.4.2 Randvoorwaarden

Om het geheel de juiste vrijheidsgraden mee te geven, werden er 2 soorten randvoorwaarden of constraints ingevoegd. Zo werde de ontwerpen eenvoudiger om te berekenen.

Eenzijds de constraints voor de lagers, deze zitten standaard in Siemens NX ingebouwd en vervangen een volledig lager, wat de tekening een pak eenvoudiger en lichter maakt. Deze constraint is zodanig geconstrueerd dat er enkel een vrijheidsgraad is ingebouwd in de draairichting van de lagers en dat de andere vrijheidsgraden worden vastgezet.

Anderzijds is het ook zo dat de volledige opstelling enkel mag ronddraaien rond de x-as. Alle andere bewegingen moeten worden uitgesloten, dus worden de vrijheidsgraden daarvan ook vastgezet.



Figuur 20: Rol met constraints

3.4.3 Krachten

Op de constructie werken twee soorten krachten. Enerzijds de kracht van de ELBEV met passagier op de cilinders, anderzijds de kracht van het eigengewicht van de constructie op de lagers.

Met de combinatie van deze twee krachten kan de afschuiving en de doorzakking berekend worden

Kracht ELBEV

De maximale kracht van de ELBEV op de constructie is deze loodrecht erop (wanneer de ELBEV bovenop de constructie staat).

De ELBEV is berekend op een maximummassa van 200 kg. (100 kg. wagen en 100 kg bestuurder). De massa- en dus krachtverdeling is gelijk verdeeld over de 3 wielen.

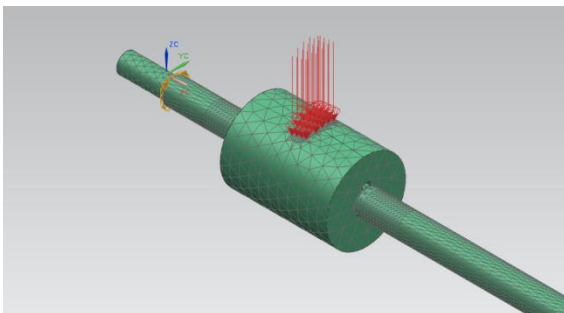
Dit geeft dus:

$$\frac{200kg}{3} = 66,67kg \text{ per wiel.}$$

De kracht, uitgeoefend op elk wiel wordt dan:

$$F = m.g$$

$$F = 66,67kg \cdot 9,81 \frac{N}{kg} = 654N$$



Deze kracht komt dus te staan op elk van de twee cilinders, en meer precies bovenaan, waar de fijnere meshverdeling is toegepast.

Figuur 21: Rol met kracht van ELBEV

Eigengewicht constructie

Het eigengewicht van de constructie is de kracht, uitgeoefend door de massa van de volledige constructie op de lagers.

Het volume van de volledige as met de twee cilinders is 1663 cm^3 . De massadichtheid van aluminium bedraagt $2,70 \text{ g/cm}^3$.

Daaruit volgt dat de massa van de constructie gelijk is aan:

$$m = \rho \cdot v$$

$$m = 2,70 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 1663 \text{ cm}^3$$

$$m = 4490,1 \text{ g} = 4,49 \text{ kg}$$

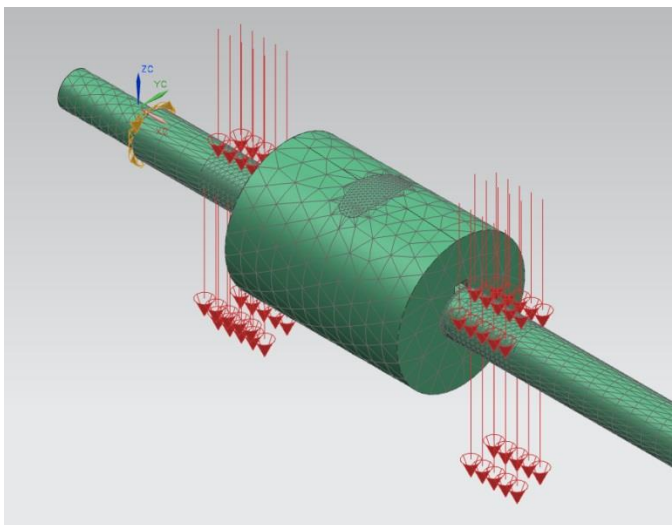
En uit de massa volgt de kracht:

$$F = m \cdot g$$

$$F = 4,49 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 44,05 \text{ N}$$

Deze kracht wordt evenredig verdeeld over de vier kogellagers waaruit volgt dat er op elk lager een kracht inwerkt van $11,012 \text{ N}$.

Ook hier is een fijnere meshverdeling toegepast om nauwkeurige resultaten te bekomen.

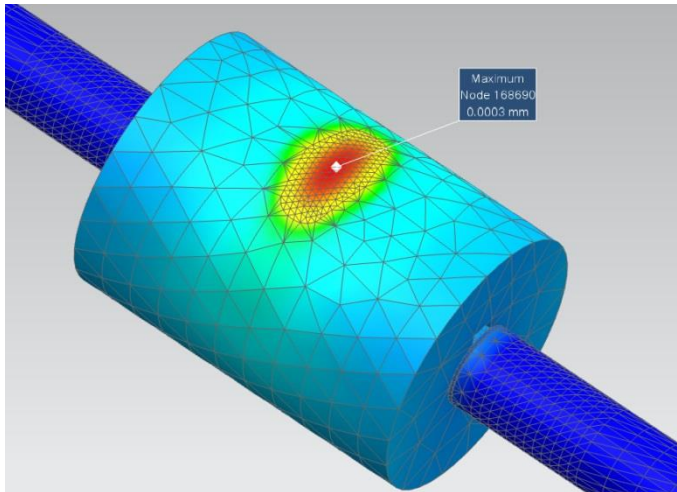


Figuur 22: Rol met kracht door eigengewicht

3.4.4 Resultaten

Doorzakking

De doorzakking is logischerwijze het grootst op de plaatsen waar de ELBEV op de rollen steunt. NX heeft de doorzakking op deze plaatsen berekend op 0,0003 mm. of 0,3 μm . Deze waarden van doorzakking zijn verwaarloosbaar.

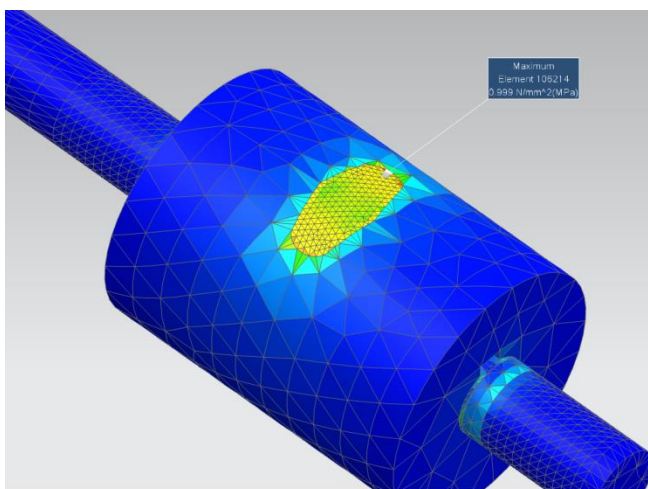


Figuur 23: Doorzakking rol

Afschuiving

De afschuiving (buigspanning of Von-Mises spanning) contactoppervlak met de banden van de ELBEV. (0,999 N/mm²).

De maximaal toelaatbare doorzakking of vloeigrens is 35 N/mm² (De Clippeleer & Wellekens, 2009, p. 14). De waarde van de Von-Mises spanning van de constructie en het gekozen materiaal (aluminium) is



Figuur 24: Afschuiving rol

Hoofdstuk 4 IJking en testen van de wervelstroomrem

4.1 Motor en invertor

Voor de kalibratie van de wervelstroomrem wordt gebruik gemaakt van een asynchrone motor van 3,2 kW. De draaiende motor neemt hier de plaats in van de door de ELBEV aangedreven cilinders om de rem aan te sturen. Hierop kunnen dan testen gedaan worden met de rem om zo het verband te bepalen tussen koppel, toerental en rembekrachtiging.



Figuur 25: Motor en invertor

De motor wordt gemonteerd op een stalen plaat van 10mm dik en aan de onderkant worden aluminium geleidingsrails voorzien zodat de plaat mooi recht over het onderstel glijdt. Eens de uitlijning van de motor op de plaat is gebeurd, moet men enkel de plaat verschuiven om de motor in de juiste positie te krijgen.

Om de motor aan te sturen wordt gebruik gemaakt van een invertor van het type altivar 16. Hiermee wordt onder andere de snelheid en de draairichting van de motor bepaald.

De motor zelf wordt in ster geschakeld op een 3x380V net en de rotorwikkelingen worden kortgesloten omdat er gebruik gemaakt wordt van een invertor.

4.1.1 Uitlijning koppeling motor – Foucaultrem

Na de montage van de motor op de plaat, moet het hoogteverschil tussen de as van de motor en de rem worden weggewerkt tot er geen zichtbaar verschil meer te zien is.

Via speciale uitlijnapparatuur, wordt de koppeling dan verder uitgelijnd. Via speciaal gekalibreerde plaatjes worden de verschillen weggewerkt op de motorplaat, terwijl de rem vast blijft staan en als basis dient.



Figuur 26: Uitlijning

Na een eerste test met de koppeling was er geen slag te zien of te horen op de koppeling, wat er op duidt dat de uitlijning goed is verlopen.

Eens de uitlijning in orde was kon de motor met behulp van schroefklemmen worden bevestigd aan het onderstel.

4.2 Testopstelling

Om verder te kunnen testen werd een testopstelling gemaakt. Daarvoor werd de motor aan de Foucaultrem gekoppeld, de motor in ster geschakeld en de rotorklemmen kortgesloten.

Om een idee te krijgen van de bekrachtigingsstroom (gelijkstroom) van de Foucaultrem, werd de weerstand gemeten tussen de twee klemmen, deze bedraagt $27\ \Omega$.

Met een gelijkspanning van ongeveer 24 V komt dit neer op een bekrachtigingsstroom van ongeveer 0,9 A.

4.2.1 Kalibratie loadcell

Om goede testen te kunnen doen is het noodzakelijk om te weten of de loadcell en de bijhorende koppeluitlezer nog werken en juist meten.

Om dit te bepalen wordt er gebruik gemaakt van gewichtjes. Door een gewicht aan de arm bij de loadcell te hangen, en de precieze afstand te meten (25cm), kan hieruit het theoretische koppel berekend worden. Dit moet overeen komen met het uitgelezen koppel en zo wordt gecontroleerd of loadcell en koppeluitlezer werken.

Er werden twee metingen uitgevoerd, één met een massa van 1 kg en één met een massa van 2 kg.

De eerste meting zou een theoretisch koppel moeten hebben van:

$$F = m \cdot g$$

$$F = 1\text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$F = 9,81\text{N}$$

$$T = F \cdot l$$

$$T = 9,81\text{N} \cdot 25 \cdot 10^{-2}\text{m}$$

$$T = 2,4525\text{Nm}$$

En de tweede meting een koppel van:

$$F = m \cdot g$$

$$F = 2\text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$F = 19,62\text{N}$$

$$T = F \cdot l$$

$$T = 19,62\text{N} \cdot 25 \cdot 10^{-2}\text{m}$$

$$T = 4,905\text{Nm}$$

In eerste instantie gaf de koppeluitlezer een volledig foute waarde, maar na wat onderzoek bleek dat achteraan eerst nog de schaal moest worden ingesteld, deze schaal is afhankelijk van de momentsarm. De lengte van de momentsarm is 25 cm zoals in de originele opstelling dus het voldeed om schaalverdeling nummer twee te selecteren aangezien deze nog juist stond ingesteld. Op de koppeluitlezer kon dan respectievelijk 2,50 Nm en 4,95 Nm worden afgelezen, wat op afronden na een redelijk correcte weergave is van de theoretische waarden. Hieruit kon er dus besloten worden dat de loadcell en de koppeluitlezer voldeden voor verdere testen en metingen.

4.2.2 1^e test

In de wetenschap dat de loadcell correct werkt en de testopstelling is opgebouwd, moest enkel nog de wervelstroomrem bekrachtigd worden om een eerste test te doen. De stroomsterkte was van minder belang, het was enkel een test om te zien hoe de rem zou reageren, en of de testopstelling werkte.

Daarom is er voor de 1^e test gebruik gemaakt van de 24V-voeding die ook gebruikt wordt om de draairichting van de motor in te stellen. Deze voeding zal de rem dan constant bekrachtigen met een stroom van 0,9A.

De motor werd ingesteld op 50Hz zodat hij aan zijn nominaal toerental van 1490 min⁻¹ draaide. Bij het bekrachtigen van de Foucaultrem werd aan de koppeluitlezer een koppel afgelezen van 8,4Nm. Het cijfer op zich deed hier weinig ter zake, het was zoals eerder gezegd een test om te controleren of de testopstelling werkte.

4.3 Verband tussen bekrachtigingsstroom, toerental en koppel

Om het verband tussen bekrachtigingsstroom, toerental en koppel te onderzoeken, was het nodig om meerdere tests te doen, met verschillende stroomsterktes. Hiervoor werd gebruik gemaakt van een instelbare stroom/spanningsbron van delta. Het voordeel van deze bron is dat zowel de spanning als de stroomsterkte kunnen worden aangepast.



Figuur 27: Testopstelling

Bij deze tests wordt de stroom gestuurd omdat de wervelstroomrem wordt aangestuurd door een gelijkstroom. Het koppel wordt eerst bij constant toerental en daarna bij constante bekrachtigingsstroom gemeten. Uit het koppel kan het vermogen worden berekend aan de hand van de hoeksnelheid ω .

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

$$\omega = 2\pi \cdot 50\text{Hz}$$

$$\omega = 314 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

En het vermogen is dan gelijk aan: $P = T\omega$

4.3.1 Constant toerental

De eerste meting was een meting met constant toerental. Daarbij werd de stroomsterke in stappen opgevoerd waarna de reactie op het remkoppel kon worden afgelezen op de koppelluitlezer.

Er werden verschillende metingen gedaan bij $n=500\text{min}^{-1}$, 1000min^{-1} , 1500min^{-1} , 2000min^{-1} en 643min^{-1} . Dit laatste toerental is het verwachte toerental waarmee de banden van de ELBEV gaan draaien.

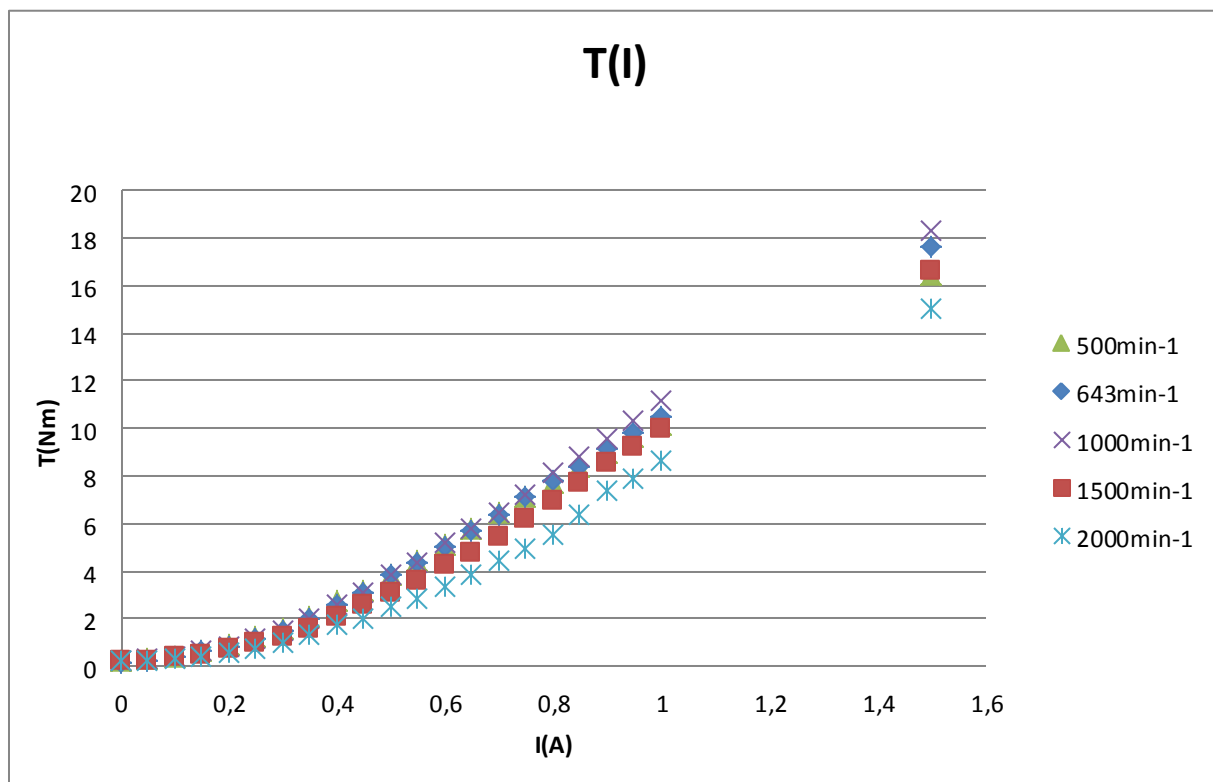
Dit werd als volgt berekend:

Het nominaal toerental van de motor is 4500min^{-1} , de overbrengingsverhouding van de reductiekast is 7:1. Dit geeft de as een toerental van:

$$\frac{4500\text{min}^{-1}}{7} = 643\text{min}^{-1}$$

De stroom werd in stappen van 0,05A opgevoerd van 0A tot en met 1A. Er werd ook 1 snelle meting gedaan bij 1,5A zodat de motor niet werd overbelast.

De metingen leverden volgende onderstaande grafieken op. De metingen zelf zijn te vinden in bijlage 1.

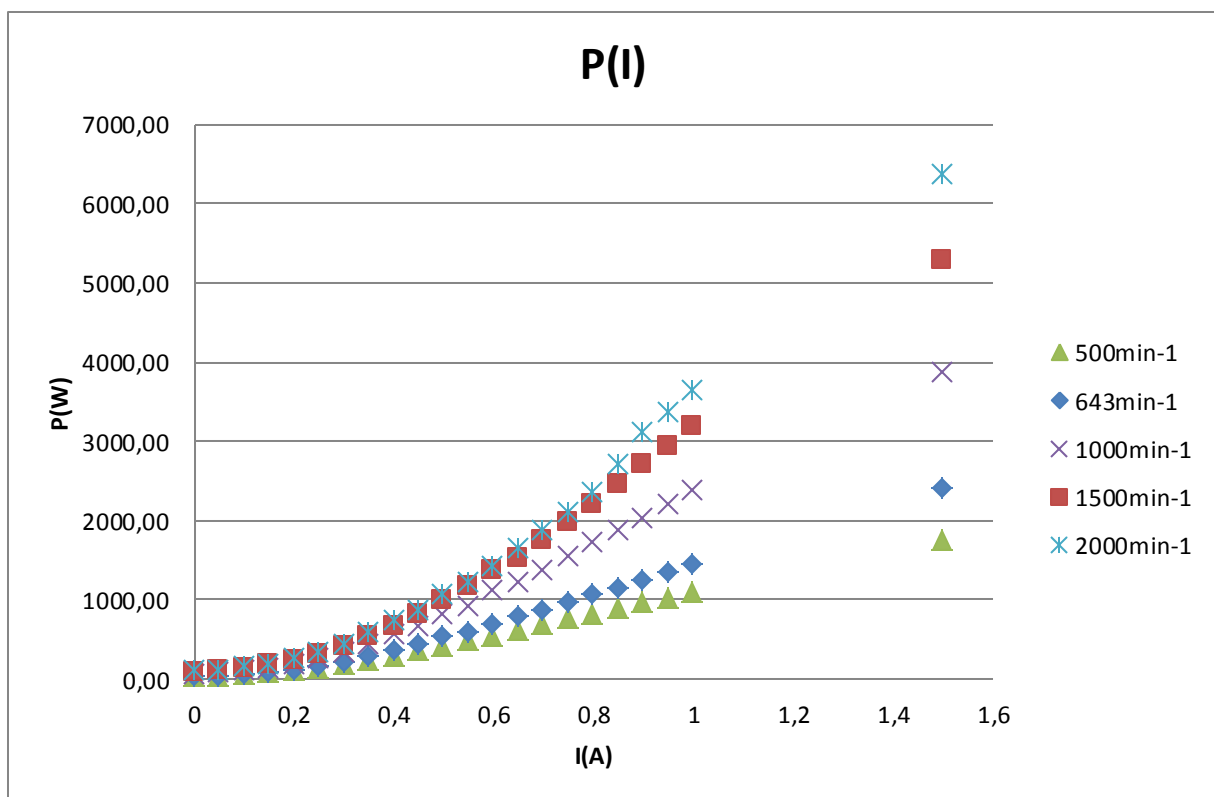


Figuur 28: Grafiek T(I)

Uit bovenstaande grafiek valt af te lezen dat het grootste remkoppel werd gemeten bij een snelheid van 1000 min^{-1} . Het is logisch dat bij een hoger toerental, een hoger koppel uit te lezen valt, maar door warmte- en ventilatieverliezen, zakt dit koppel terug bij toerentallen hoger dan 1000 min^{-1} . Het toerental waarbij het hoogste koppel valt af te lezen ligt ergens tussen 750 min^{-1} en 1000 min^{-1} zoals ook in de volgende metingen duidelijk zal worden.

Bij de grafiek van het vermogen valt dit uiteraard weg omdat het koppel wordt vermenigvuldigd met de hoeksnelheid (ω) en deze ligt bij hogere toerentallen ook hoger. Bij het grootste toerental krijgen we dus het grootste vermogen.

Verder valt uit de grafieken op te maken dat vanaf $0,4\text{A}$ (systeem in regime) het verband tussen koppel en stroomsterkte lineair is.



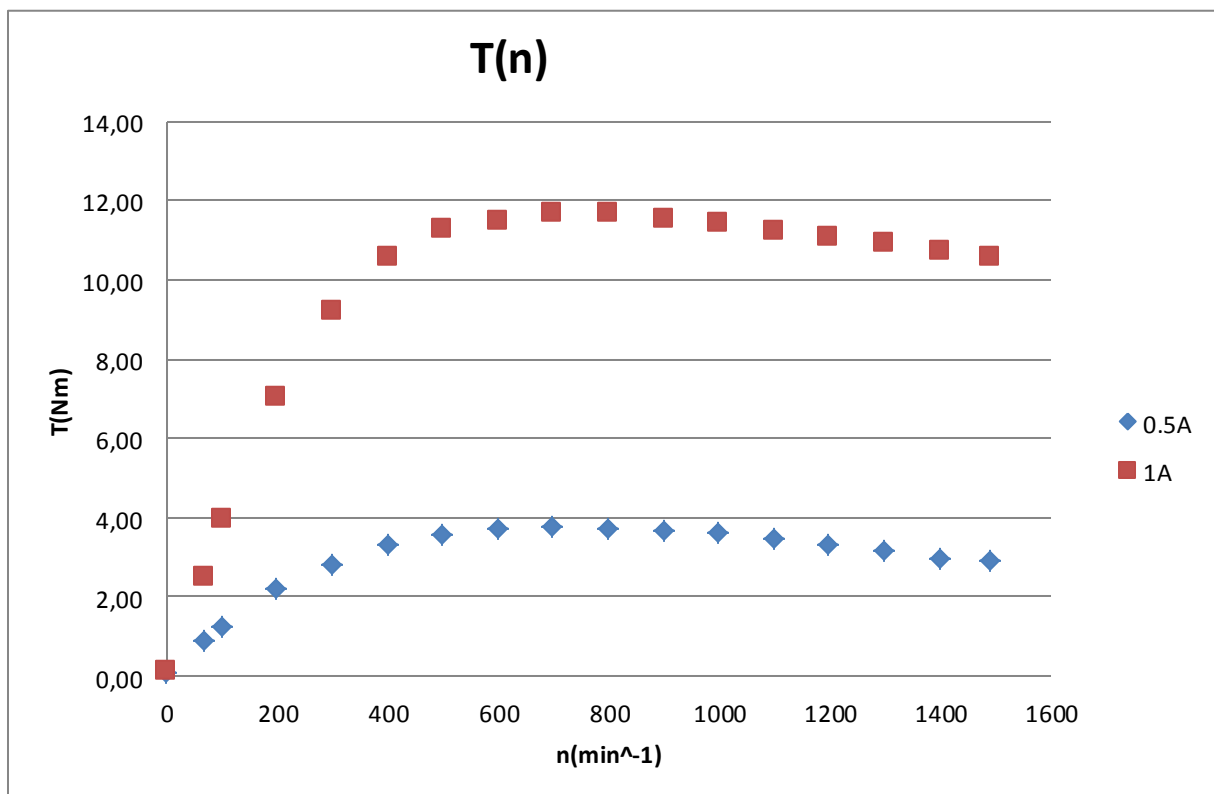
Figuur 29: Grafiek P(I)

4.3.2 Constante stroom

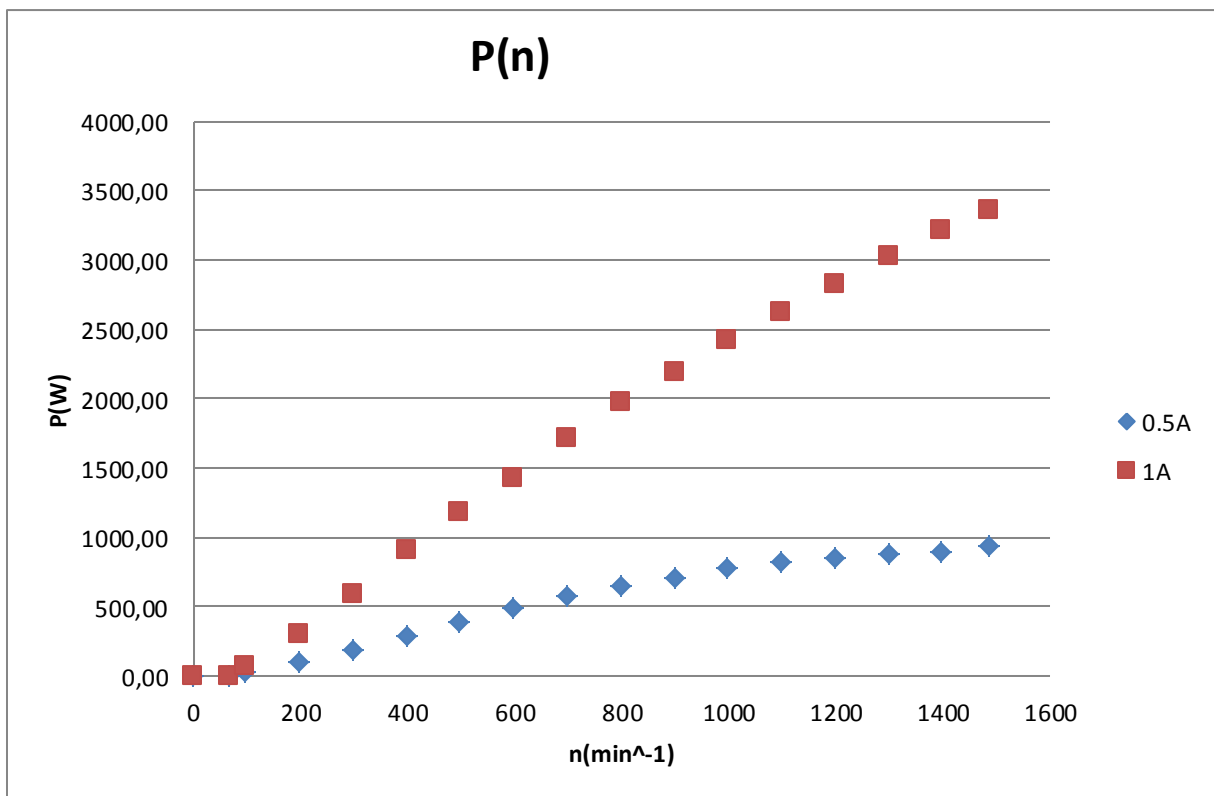
De tweede meting was een meting met een constante bekrachtigingsstroom. Hierbij werd gemeten bij 0,5A en 1A bij een variërend toerental. Het koppel werd afgelezen op de koppelluitlezer, en de frequentie op de inverter zodat de hoeksnelheid en het vermogen hieruit konden worden berekend.

De metingen bevinden zich in bijlage 2. In de grafiek hieronder staat het koppel in functie van het toerental bij een constante stroom. Het gedrag van het koppel is logisch te verklaren. Bij een laag toerental moet het systeem nog in regime komen en zal het koppel stijgen bij een lineair stijgend toerental. Daarna nemen de warmte- en ventilatieverliezen en ook het skin-effect de overhand en zakt het koppel terug. Hier is duidelijk te zien dat het maximum rond 750 min^{-1} ligt.

De grafiek van het vermogen verliest deze vorm aangezien ook hier weer wordt vermenigvuldigd met de hoeksnelheid, en deze stijgt lineair mee met het toerental.



Figuur 30: Grafiek $T(n)$



Figuur 31: Grafiek $P(n)$

Hoofdstuk 5 Uitlijning wervelstroombank

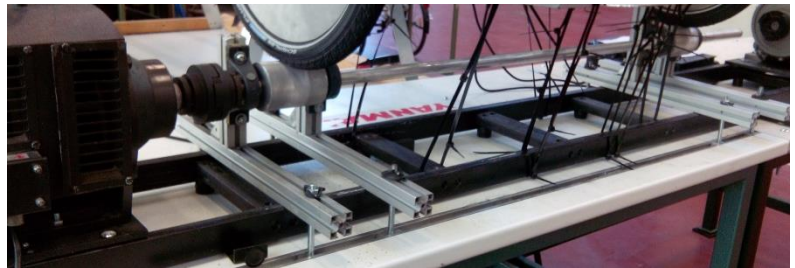
5.1 Montage

Na het testen van de wervelstroomrem, werd het tijd om de ELBEV zelf te gaan testen. Allereerst werd de rollen- en lagerconstructie gemonteerd.

De T-constructies werden eerst in elkaar geschoven en vastgezet waarna de lagers op ongeveer de correcte hoogte werden geplaatst. De as werd op de uiteinden nog afgeschuurd tot op de correcte diameter (deze was 0,1 mm te groot). Daarvoor werd ze op een draaibank geplaatst en werd er al draaiend geschuurd om er voor te zorgen dat de as perfect rond bleef.

Vervolgens werden de binnenste lagers, de binnenste circlipsen, de rollen (na de spieën te hebben geplaatst), de buitenste circlipsen en de buitenste lagers over de as geschoven en vastgezet. Dan werd aan het ene uiteinde de spie en de koppeling gemonteerd.

De gehele constructie werd dan op het onderstel geplaatst, aan de rem gekoppeld en vastgezet met draadstangen in de rails op de tafel. Voor de uitlijning is het zeer belangrijk dat de opstelling op het zicht al juist staat uitgelijnd.



Figuur 32: Opstelling

5.2 Uitlijning volledige opstelling

De volledige opstelling werd uitgelijnd aan de hand van dezelfde uitlijnapparatuur die eerder ook al gebruikt werd. Om de uitlijning te optimaliseren werd echter geen gebruik gemaakt van gekalibreerde dikteplaatjes. De opstelling is zodanig opgebouwd dat alles los van elkaar kan verzet worden tot de opstelling optimaal is.

Eens dit het geval was, werd de opstelling volledig vastgezet en werd daarna de apparatuur opnieuw gebruikt om te controleren of de uitlijning nog in orde was. In een volgende fase kan er eventueel nog gekeken worden om aan de andere kant een vaste opstelling te maken met de motor en deze ook uit te lijnen om zo ijking eenvoudig te kunnen doen.

Hoofdstuk 6 Testen op de ELBEV

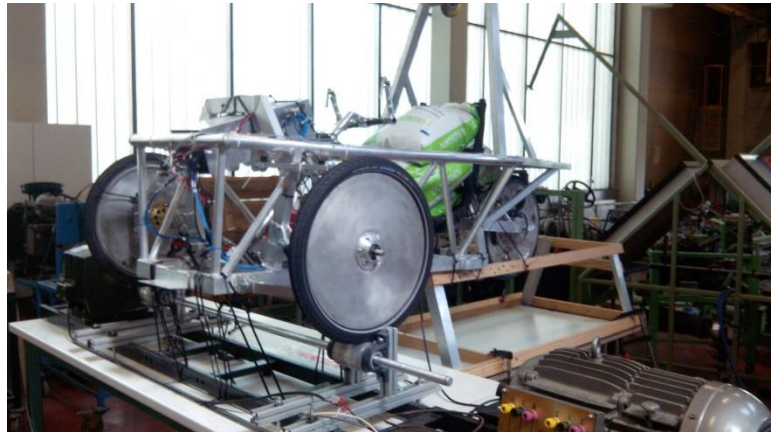
6.1 ELBEV monteren op testbank

Via het omgekeerde houten testchassis op een tafel wordt de ELBEV bevestigd op de testbank. Het chassis wordt dus omgekeerd op een tafel bevestigd, die loodrecht tegenover de as wordt gezet.

De ELBEV wordt hierop gezet, steunend op de middelste dwarsbalken van het chassis. Om ervoor te zorgen dat de ELBEV gefixeerd blijft staan, wordt hij in alle richtingen vastgezet met spanbanden en spanvijzen. Verder wordt ook de katrol van de laadbrug aan de rolbeugel bevestigd als extra zekerheid.

Om belast te testen wordt een massa van ongeveer 75kg in de wagen gelegd om de massa van een persoon te benaderen.

Het stuur wordt gefixeerd om ervoor te zorgen dat de wielen niet opzij kunnen slaan en de ELBEV van de testbank gaat rijden. Al deze voorzorgen worden genomen om geen schade te veroorzaken aan de ELBEV en de testbank.



Figuur 33: Opstelling ELBEV

6.2 Testopstelling

Zoals bij de eerste testen, wordt ook hier weer gebruik gemaakt van een regelbare gelijkstroombron om de Foucaultrem te bekrachtigen. De stroom wordt afgelezen op een multimeter en het toerental wordt afgelezen op de banden. Met de overbrengingsverhouding kan dit worden omgerekend naar het toerental van de motor.

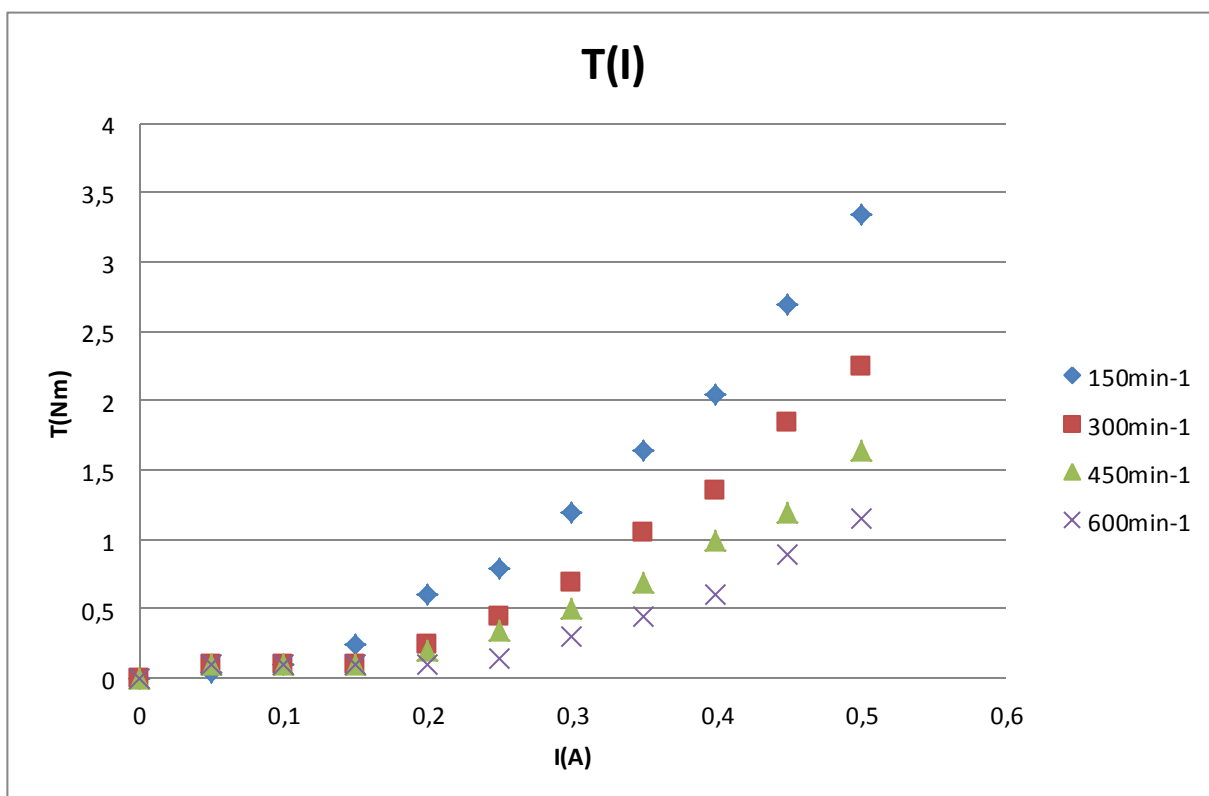
De batterijen van de ELBEV werden in eerste instantie continu aan de lader gelegd maar door een fout in één van de batterijcellen werden de batterijen vervangen door een regelbare gelijkspanningsbron om een goede testopstelling te bekomen.

6.3 Testen

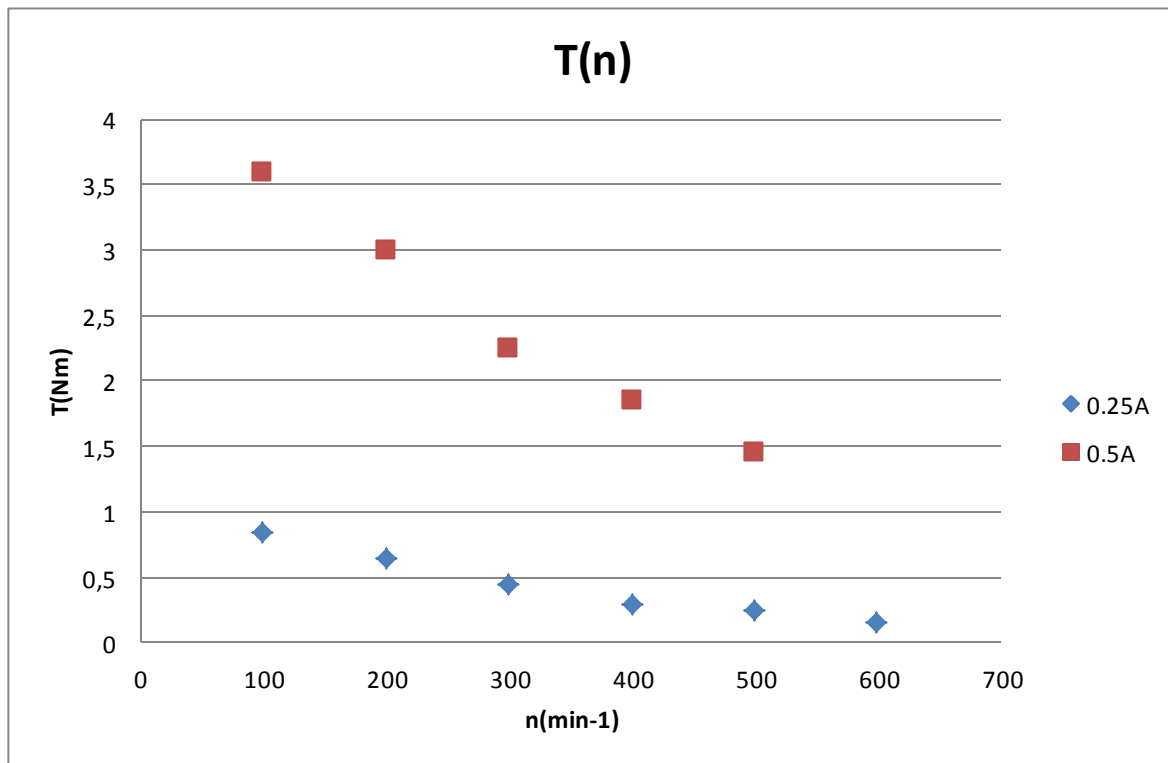
De testen worden allemaal uitgevoerd met een massa van 75 kg in de wagen. Door de niet helemaal horizontale positie van de wagen is de massa niet mooi verdeeld over de drie wielen; zo heeft het ook weinig meerwaarde om het verschil te gaan meten tussen een lege en een volle wagen aangezien bij eerste tests bleek dat er geen verschillen werden waargenomen. Wanneer de opstelling zou worden geoptimaliseerd, zou dit misschien wel voor verschillen kunnen zorgen.

Eerst en vooral werden er testen uitgevoerd met constant toerental en een variërende bekrachtigingsstroom van 0A tot 0,5A in stappen van 0,05A bij toerentallen (van de banden, voor de motor is dit nog te vermenigvuldigen met 7)) van 150 min^{-1} , 300 min^{-1} , 450 min^{-1} en 600 min^{-1} . De meetresultaten bevinden zich in bijlage 6. In de onderstaande figuur is hiervan de grafiek getekend.

Hier is ongeveer dezelfde trend te zien als bij dezelfde metingen op de elektromotor. Hoger dan 600 min^{-1} wordt er echter niet gemeten om overbelasting van de motoren uit te sluiten. Bij een hoger toerental is hier ook een lager koppel te zien en bij hogere bekrachtigingsstromen een hoger koppel.



Figuur 34: Grafiek $T(I)$ bij ELBEV



Figuur 35: Grafiek T(n)

In figuur 37 is de grafiek te zien van het koppel in functie van het toerental bij een vaste bekrachtigingsstroom van 0,25A en 0,5A. Bij 0,5A werd een meting minder uitgevoerd omdat de motor bij deze belasting niet aan 600 min⁻¹ geraakt. Hier zien we duidelijk dat bij een lager toerental een lager koppel wordt gemeten, maar ook dat bij een hogere bekrachtigingsstroom een hoger koppel wordt gemeten. Deze grafiek is niet vergelijkbaar met de elektromotor maar dit heeft als reden dat de motoren anders reageren enerzijds en de metingen bij veel lagere waarden uitgevoerd werden waardoor dus een vertekend beeld optreedt anderzijds.

Verder moet ook nog gezegd worden dat de toerentalmetingen bij de ELBEV niet zo nauwkeurig zijn als bij de elektromotor. De elektromotor kon per 0,1 Hz versneld worden terwijl dit bij de ELBEV met de gashendel niet zo nauwkeurig aan te sturen is.

Naar de toekomst toe, moeten hier nog metingen bijgevoegd worden van het rendement, dit is het uiteindelijke doel van de testbank. Hiervoor worden bij bepaalde constante koppelwaarden, de rendementen gemeten in functie van de snelheid. Hiervoor moet er dus een elektrische vermogenmeting komen op de ELBEV. Voor het rendement is ook het mechanisch vermogen van belang, dat volgt uit de vermenigvuldiging van het koppel met de omtreksnelheid van de motoren. Op deze manier kunnen dan de verliezen door de wrijving worden vastgesteld.

Hoofdstuk 7 Toekomstperspectieven

Een project zoals het ELBEV project is uiteraard nooit af, er kan altijd aan verbeterd en vernieuwd worden. Bij het testen van de ELBEV bleek niet alles perfect te lopen.

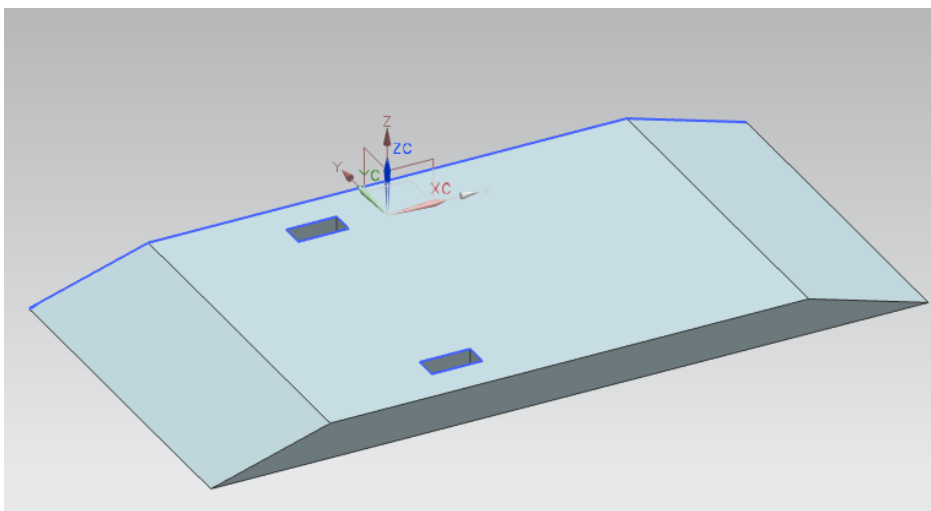
Zo is er de moeilijkheid om alles op geringe hoogte te moeten testen (de ELBEV komt ongeveer op 1,5m hoogte), zijn er zeker nog verbeteringen nodig bij het bevestigen en stabiel houden van de ELBEV en moet er ook iets worden verbeterd aan de wrijving. Dit zijn de verbeterpunten die bij het testen naar boven kwamen. Ongetwijfeld zijn er nog extra punten die in de toekomst kunnen worden verbeterd.

7.1 Hoogte

Een testbank voor wagens zoals bij de meeste mensen gekend is een rollensysteem dat in de grond is ingewerkt. Bij deze van de ELBEV is echter gekozen om deze op een tafel te monteren. Dit aangezien het tafelblad was uitgerust met geleidingsrails om de uitlijning van de rollen vlot te laten verlopen. Verder was de tafel ook handig om de testbank eventueel te verhuizen naar een andere plaats. Bij het testen bleek al gauw dat de ELBEV eenvoudig op deze hoogte bevestigen niet evident is. De ELBEV weegt wat minder dan 100 kg. en er moet al een katrol en 3 mensen aan te pas komen om de ELBEV op zijn plek te krijgen. Verder maakt dit het ook niet eenvoudiger om de gas- en remhendel te bedienen. En om een persoon in de ELBEV te laten zitten tijdens het belast testen komt er heel wat acrobatie aan te pas. Om van de veiligheid nog maar niet te spreken.

Naar de toekomst toe is het wellicht een idee om het tafelblad te demonteren van de poten en het tafelblad waterpas op de grond te bevestigen op een rubbermat.

Hierover kan eventueel een brug komen zodat de ELBEV en eventueel andere wagens eenvoudig tot op de rollen kunnen rijden zoals te zien in onderstaande figuur. De testbank bevindt zich dan onder het platform en door het platform zodanig te ontwerpen als luik of losliggende platen is het eenvoudig om aan de testbank aanpassingen te doen. Er moet ook aan gedacht worden om het achterwiel te verzinken, zodat de ELBEV ongeveer waterpas staat bij het testen, zodat de gewichtsverdeling op de drie wielen gelijk is.

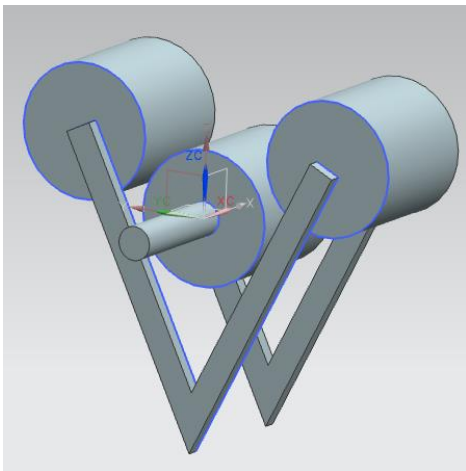


Figuur 36: Brug over testbank

7.2 Montage en stabiliteit

Verder viel bij het monteren van de ELBEV op de testbank ook op dat het niet evident was om de ELBEV te monteren op de testbank zonder dat hij er af schoof. Fixatie van de stuurinrichting en het goed vastzetten met spanriemen bood hier oplossing maar is geen optie bij regelmatig testen van verschillende wagens. Hier moet wel een afweging gemaakt worden tussen wrijving en stabiliteit want hoe vaster de wagen staat, hoe meer wrijving er met de rollen is.

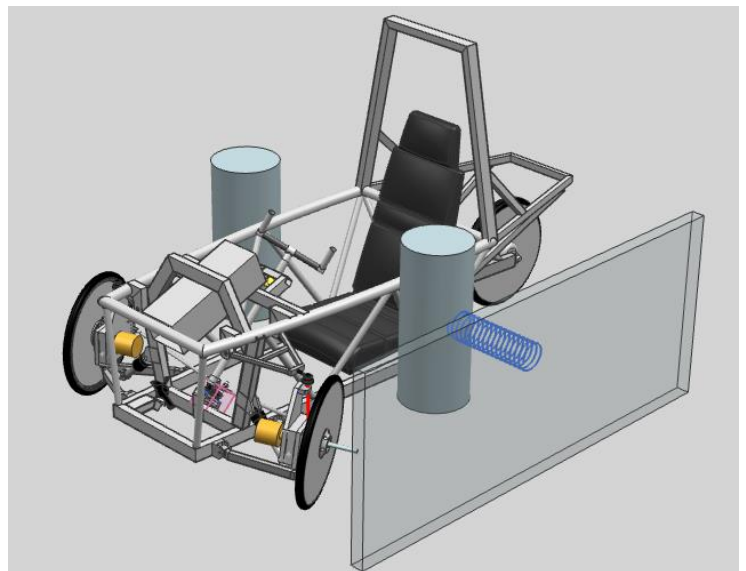
Er kan eventueel geopteerd worden voor een systeem met 3 rollen, 2 steunrollen en 1 aangedreven rol. Zo blijft de auto, zeker in langsrichting op zijn plek staan.



Figuur 37: drierollensysteem

Er moet uiteraard wel onderzocht worden welke invloed dit heeft op de wrijving en welke lagers het beste gebruikt worden om de twee extra rollen zo wrijvingsloos mogelijk te laten meedraaien. Om verschillende soorten wielen te kunnen testen, is het zeker een optie om er voor te zorgen dat de extra rollen kunnen versteld worden.

Er moet verder ook worden nagedacht om de auto ook in de dwarsrichting te fixeren zodat hij niet van links naar rechts kan bewegen en omgekeerd. Anders kan de ELBEV tegen de lagers of tegen de zijkant van de brug schuren en dat veroorzaakt heel wat wrijving. Hier kan eventueel wel gebruik gemaakt worden van spanriemen aan de rolbeugel, één aan elke kant en deze fixeren aan de brug of aan de vloer. Verder kan misschien ook gebruik gemaakt worden van een stijf verende doorgang gebaseerd op een carwash. De sponzen op de rollen kunnen dan vervangen worden door een flexibele vaste rol uit bijvoorbeeld rubber om geen schade te berokkenen aan de wagen. Men maakt de doorgang net te klein voor de wagen en zorgt dat de rollen loodrecht kunnen veren op de zijkant van de wagen met relatief stijve veren. Zo drukken de rollen de wagen op zijn plek.



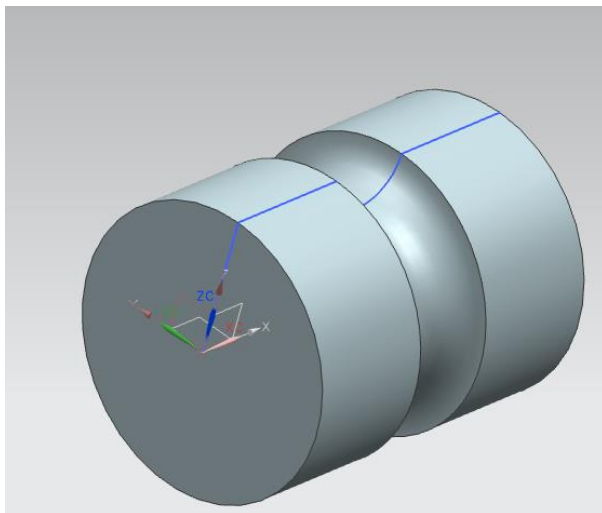
Figuur 38: Rolveersysteem

Een andere mogelijkheid is om de groef waarin het achterwiel staat gepositioneerd, zodanig te ontwerpen dat het achterwiel daar klem in staat en kan gefixeerd worden aan de brug. Het achterwiel moet dan zodanig vaststaan dat de ELBEV in geen enkele richting nog kan uitwijken zodat hij niet van de rollen schiet

7.3 Wrijving

Verder moet er ook zeker meer aandacht besteed worden aan de wrijving an sich. Zo is er bijvoorbeeld heel wat wrijving bij het ronddraaien van de wielen op de gekartelde cilinders. Dit heeft deels te maken met de as die niet 100% recht is; daar is weinig aan te doen, anderzijds kan de wrijving misschien verminderd worden door op zoek te gaan naar betere lagers met heel wat minder wrijving. Binnen het ECOCAR project is ook aandacht besteed aan een optimale smering van lagers, dus dit is hier misschien ook te gebruiken. Er zou ook eens moeten worden onderzocht hoe de koppeling in de toekomst nauwkeuriger kan worden uitgelijnd. De huidige gebruikte apparatuur is nauwkeurig maar zeer moeilijk monteerbaar op de testbank waardoor de waarden van de uitlijning niet helemaal nauwkeurig zijn.

Het is ook essentieel dat de wielen perfect zijn uitgelijnd om wrijving te beperken, die uitlijning is afhankelijk van de massa van de ELBEV met of zonder bestuurder. De rollen zouden wel kunnen worden aangepast zodat de wielen van de ELBEV loodrecht moeten lopen op de rollen. Hier kan eventueel een groefje in worden gemaakt. De groef moet diep genoeg zijn om het wiel vast te houden maar mag niet te diep zijn zodat er geen extra wrijving wordt veroorzaakt tussen de zijkanten van de groef met het wiel.



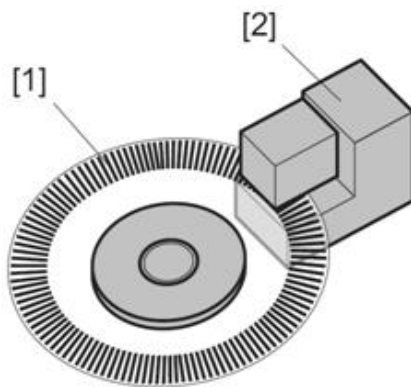
Figuur 39: Rol met groef

7.4 DAQ installatie

Het DAQ-gedeelte van deze masterproef kon niet meer worden afgerond wegens tijdsgebrek maar bevat zeker mogelijkheden naar de toekomst toe. Het moet een geïntegreerd systeem worden met de testbank. Enerzijds moeten koppel en toerental worden ingelezen van de testbank, maar ook het elektrische vermogen (spanning en stroom) van de wagen. Anderzijds moet de DAQ-installatie ook zorgen voor aansturing van de bekrachtigingsstroom van de wervelstroomrem, afhankelijk van het gemeten koppel.

In laatste instantie moeten dan de verschillende karakteristieken worden bijgehouden door het programma.

Het koppel kan door de koppelluitlezer rechtstreeks worden ingelezen op een PC via een ethernetkabel, het toerental daarentegen voorlopig niet. Het idee hier is om gebruik te maken van een encoder. Dit is een ronddraaiende schijf met gaten of spleten in. Die spleten worden gedetecteerd via een optisch systeem en aan de hand van het aantal spleten per seconde kunnen hiermee snelheden en afstanden worden opgemeten (zie figuur 40). Er zijn verschillende mogelijkheden hierin: enerzijds een absolute of een incrementele encoder. De absolute begint van een vast nulpunt te tellen, de incrementele encoder geeft enkel de verschillen weer.



Figuur 40: Encoderschijf (wiki.edulab, 2012)

Anderzijds is er nog een verschil tussen contact encoders en optische encoders. Contact encoders worden tegen een draaiende as geplaatst en optische encoders worden op het aseinde geplaatst. Het binnenste deel (met de schijf) draait mee met de as terwijl het buitenste deel (met de optische sensor) gefixeerd staat. Hier is het eenvoudiger om met een optische encoder te werken, deze is eenvoudiger te monteren dan een contact encoder. Aangezien hij gebruikt wordt om snelheden (toerentallen) te meten voldoet een incrementele encoder zeker aan de vereisten, deze is ook iets goedkoper dan een absolute encoder.

De waarden van de encoder kunnen worden ingelezen op de DAQ-kaart via een analoge ingang.

Om spanning en stroom van de ELBEV binnen te lezen kan ook gebruik gemaakt worden van analoge ingangen van diezelfde DAQ-kaart. Voor de sturing van de bekrachtigingsstroom kan dan weer gebruik gemaakt worden van een analoge uitgang. Het programma kan met deze waarden aan de slag om karakteristieken uit te tekenen.

Algemeen besluit

In het laatste jaar van het ELBEV project werden onder andere de banden van de ELBEV geselecteerd en een vermogentestbank gemaakt om het rendement van de ELBEV te kunnen controleren en het verband tussen bekrachtigingsstroom, toerental en koppel te onderzoeken.

De banden werden gekozen op basis van een literatuurstudie en in samenspraak met de leverancier. De keuze was hierbij beperkt wegens axiale krachten op de banden en het grote gewicht van de ELBEV in combinatie met de dunne velgen.

Voor de testbank werd in eerste instantie de originele testbank bekeken en onderzocht. Er werd ook onderzoek gedaan naar de werking van de wervelstroomrem en de loadcell met koppelluitlezer.

Hierna werd de testbank gedemonteerd en werd begonnen met tekeningen te maken en berekeningen te doen op sterkte. Uit die resultaten bleek dat de ganse opstelling van lagers en rollen uit aluminium kon worden vervaardigd. Dit geeft een grote gewichtsbesparing tot gevolg.

Verder werden de lagers en spieën berekend en gekozen en werden de leveranciers aangeschreven om verschillende offertes op te vragen en de bestellingen te plaatsen.

Eens de bestellingen binnen waren, kon begonnen worden met het draai- en freeswerk. Na alle onderdelen apart te hebben gemaakt, kon worden begonnen met de montage.

Intussen werden ook testen uitgevoerd op de wervelstroomrem met een elektromotor, enerzijds om de loadcell te kalibreren en anderzijds om de reactie te zien van de wervelstroomrem bij verschillende toerentallen en bekrachtigingsstromen. Na deze tests werd het nieuwe rollensysteem op het onderstel gemonteerd, aan de wervelstroomrem gekoppeld en uitgelijnd.

Hierna kon worden begonnen met het testen van de ELBEV zelf. Bij de montage van de ELBEV en het testen doken enkele zaken op die naar de toekomst toe zeker kunnen verbeterd worden. Zo is de hoogte een probleem en kan dit opgelost worden met een opstelling op de grond en een brug erover. Ook de montage van de ELBEV en de stabiliteit was niet ideaal. Hiervoor wordt in de toekomst best een systeem ontworpen met 3 rollen per wiel en geveerde steunen aan de zijkanten.

Om tenslotte de wrijving te beperken moet nog verder onderzoek gedaan worden naar smering en lagers, en weerstand met de rollen.

Het DAQ gedeelte (meettoestellen, DAQ-kaart en programma) werd wegens tijdsgebrek niet meer uitgevoerd maar zal naar de toekomst toe zeker een meerwaarde bieden aan het opmeten en testen van het rendement.

De opdracht werd tot een goed einde gebracht (het DAQ-gedeelte was voorzien voor een opdracht door 2 personen) en de 1^e metingen op de ELBEV waren geslaagd.

Lijst met figuren

Figuur 1: Design ELBEV (De Nutte & Tiré, 2013)	9
Figuur 2: Reductiekast (Reductiekast, 2012)	10
Figuur 3: Honingraatstructuur velgen	10
Figuur 4: Banden Schwalbe Marathon Plus	11
Figuur 5: Originele opstelling vermogentestbank	12
Figuur 6: Ontstaan wervelstromen (Van Coster & Van Hijfte, 2010)	14
Figuur 7: Schema wervelstroomrem (Van Coster & Van Hijfte, 2010).....	15
Figuur 8: Loadcell	16
Figuur 9: Daytronic koppeluitlezer	16
Figuur 10: Gekartelde cilinder.....	17
Figuur 11: Lagerconstructie	17
Figuur 12: PASEY25-N (Schaeffler)	17
Figuur 13: Nieuw onderstel	18
Figuur 14: As met rollen.....	18
Figuur 15: Lagerconstructie	23
Figuur 16: Toerental en krachten op lager	26
Figuur 17: Levensduurberekening (Schaeffler).....	26
Figuur 18: Gemeshte rol met verfijningen	27
Figuur 19: Volledige as	27
Figuur 20: Rol met constraints	28
Figuur 21: Rol met kracht van ELBEV	29
Figuur 22: Rol met kracht door eigengewicht	30
Figuur 23: Doorzakking rol	31
Figuur 24: Afschuiving rol	31
Figuur 25: Motor en invertor	32
Figuur 26: Uitlijning.....	32
Figuur 27: Testopstelling.....	34
Figuur 28: Grafiek T(I).....	35
Figuur 29: Grafiek P(I)	36
Figuur 30: Grafiek T(n)	37
Figuur 31: Grafiek P(n)	38
Figuur 32: Opstelling.....	39
Figuur 33: Opstelling ELBEV	40
Figuur 34: Grafiek T(I) bij ELBEV	41
Figuur 35: Grafiek T(n)	42
Figuur 36: Brug over testbank	43
Figuur 37: drierollensysteem	44
Figuur 38: Rolveersysteem.....	44
Figuur 39: Rol met groef	45
Figuur 40: Encoderschijf (wiki.edulab, 2012).....	46

Lijst met tabellen

Tabel 1: Afmetingen spieën (Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, & Vossiek, 2003).....	19
Tabel 2: Veiligheidsfactor Ka (Muhs, Wittel, Becker, Jannasch, & Vossiek, 2003)	20

Literatuurlijst

Daytronic, (1996). Model 3200 / 3300 Digital indicator: Instruction manual. [handleiding]. Geraadpleegd op 5 oktober 2013 via <http://www.daytronic.com/sites/default/files/downloads/3200M5-D.pdf>

De Clippeleer, W. & Wellekens, B. (2009). *Tabellenboek voor metaaltechniek*. Mechelen: Plantijn.

De Nutte, B. & Tiré, J. (2013). *Elbev (Ecologic Low Budget Electric Vehicle): Realisatie van het koetswerk*. [masterproef]. Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen.

Drabbé, A. & Jooris, J. (2012). *ELBEV (Ecologic Low Budget Electric Vehicle): Ontwerp en realisatie van de stuur- en reminrichting, instellen van de wielgeometrie*. [masterproef]. Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen.

Muhs, D., Wittel, H., Becker, M., Jannasch, D. & Vossiek, J. (2003). *Roloff/Matek Machineonderdelen: Theorieboek*. Den Haag: Sdu Uitgevers.

Muhs, D., Wittel, H., Becker, M., Jannasch, D. & Vossiek, J. (2003). *Roloff/Matek Machineonderdelen: Tabellenboek*. Den Haag: Sdu Uitgevers.

Notebaert, S. (2010). *Aandrijving, ophanging, stuurinrichting en remsysteem van de Elbev – wagen.(Ecological low budget electric vehicle)*. [masterproef]. Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen.

Reductiekast. (2012). [Tekening].

Schaeffler. Plummer Block housing units PASEY25-N. Geraadpleegd op 12 oktober 2013 via http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec.br/PASEY*PASEY25-N

Schwalbe. (2014). Fietsbanden 2014. [catalogus]

Singelé, V. & Van den Berghe, H. (2007). *Optimalisatie van een wervelstroomtestbank voorzien van Data Acquisitie met LabVIEW*. [masterproef]. Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen.

Springmasters. (2012). Standard External Circlips to DIN 471 Metric. Geraadpleegd op 5 december 2013 via <http://www.springmasters.com/sp/standard-external-circlips.html>

United Nations. (1997). Uniform provisions concerning the approval of pneumatic tyres For motor cycles and mopeds. Geraadpleegd op 2 oktober 2013 via <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r075r1e.pdf>

Van Coster, R. & Van Hijfte, P. (2010). *Elektrische aandrijving van Energy5*. [masterproef]. Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen.

Wiki.edulab. (2012) Encoder systeem. Geraadpleegd op 17 mei 2014 via [http://wiki.edulab.nl/\(S\(0zy40rzs01s5zo45oxuq30rn\)\)/Print.aspx?Page=Encoder%20systeem](http://wiki.edulab.nl/(S(0zy40rzs01s5zo45oxuq30rn))/Print.aspx?Page=Encoder%20systeem)

Geraadpleegde literatuur

Ameel, D. (2012). *ELBEV (Ecologic Low Budget Electric Vehicle): Aerodynamische optimalisatie van de ELBEV*. [masterproef]. Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen.

Boonen, G. (2011). *ELBEV (Ecologic Low Budget Electric Vehicle): Ontwerp en realisatie chassis-achteras*. [masterproef]. Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen.

Education Enterprises. (1982). Installation and Maintenance instructions. Model 132 CD. [handleiding]

Europees Parlement en de Raad. (1997). Richtlijn 97/24/EG. Geraadpleegd op 2 oktober 2013 via <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX:31997L0024>

Janssen, B. (2010). *Het ELBEV project: Chassis en Carrosserie*. [masterproef]. Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen.

Reubens, S. (2012). *ELBEV (Ecologic Low Budget Electric Vehicle): Ontwerp en realisatie van de voorwielophanging –ontwerp en studie van het koetswerk*. [masterproef]. Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen.

Serax. Accouplements élastiques STARAX pour moyeu Serax. [catalogus]. Geraadpleegd op 10 november 2013 via <http://www.serax.fr/Inc/Doc/accouplements/accouplement%20starax.pdf>

Telemecanique. (1995). Display/Adjustment Options for ALTIVAR 16 Drive Controllers. [handleiding] Geraadpleegd op 6 november 2013 via http://www.altivar.be/pdf/UM16_ang.pdf

Terco. (1981). Schema's MV200. [tekeningen]

Terco. (1982). Laboratory Experiments on Electrical Machines using Eddy Current Brake MV 200. [handleiding]

Terco. (2009). Eddy Current Brake System. Geraadpleegd op 18 oktober 2013 via http://www.terco.se/wp-content/uploads/2009/08/electrical_machines_laboratory.pdf

Bijlagen

Bijlage 1: Metingen wervelstroomrem bij constant toerental

ELBEV RPM nom motor	4500	min ⁻¹								
Overbrenging	7	:1								
N	<u>643</u>	min ⁻¹	<u>500</u>	min ⁻¹	<u>1000</u>	min ⁻¹	<u>1500</u>	min ⁻¹	<u>2000</u>	min ⁻¹
F	21,6	Hz	16,8	Hz	33,6	Hz	50,3	Hz	67	Hz
Ω	136	rad/s	106	rad/s	211	rad/s	316	rad/s	421	rad/s
	T rem		T rem		T rem		T rem		T rem	
I DC (A)	(Nm)	P mech (W)	(Nm)	P (W)	(Nm)	P (W)	(Nm)	P (W)	(Nm)	P (W)
0	0,2	27,14	0,25	26,39	0,25	52,78	0,25	79,01	0,25	105,24
0,05	0,25	33,93	0,35	36,95	0,35	73,89	0,3	94,81	0,25	105,24
0,1	0,4	54,29	0,45	47,50	0,45	95,00	0,4	126,42	0,35	147,34
0,15	0,65	88,22	0,65	68,61	0,65	137,22	0,55	173,82	0,45	189,44
0,2	0,85	115,36	0,95	100,28	0,85	179,45	0,75	237,03	0,6	252,58
0,25	1,15	156,07	1,3	137,22	1,15	242,78	1	316,04	0,8	336,78
0,3	1,55	210,36	1,65	174,17	1,55	327,23	1,3	410,86	1,05	442,02
0,35	2,05	278,22	2,15	226,95	2,05	432,79	1,65	521,47	1,4	589,36
0,4	2,65	359,65	2,75	290,28	2,6	548,90	2,1	663,69	1,75	736,70
0,45	3,15	427,51	3,25	343,06	3,15	665,01	2,6	821,71	2,05	863,00
0,5	3,85	522,51	3,85	406,40	3,85	812,79	3,15	995,54	2,5	1052,43
0,55	4,35	590,37	4,5	475,01	4,35	918,35	3,65	1153,56	2,9	1220,82
0,6	5,05	685,37	5,15	543,62	5,25	1108,35	4,3	1358,99	3,35	1410,26
0,65	5,75	780,37	5,85	617,51	5,8	1224,47	4,8	1517,01	3,9	1641,80
0,7	6,4	868,59	6,5	686,12	6,5	1372,25	5,5	1738,24	4,45	1873,33
0,75	7,15	970,38	7,15	754,74	7,25	1530,58	6,25	1975,28	5	2104,87
0,8	7,85	1065,38	7,75	818,07	8,15	1720,59	6,95	2196,51	5,6	2357,45
0,85	8,45	1146,81	8,4	886,68	8,85	1868,37	7,75	2449,34	6,4	2694,23
0,9	9,15	1241,81	9,05	955,30	9,6	2026,70	8,55	2702,18	7,4	3115,20
0,95	9,85	1336,81	9,65	1018,63	10,35	2185,04	9,3	2939,21	7,95	3346,74
1	10,55	1431,81	10,2	1076,69	11,2	2364,49	10,05	3176,24	8,65	3641,42
1,5	17,65	2395,40	16,45	1736,42	18,3	3863,40	16,65	5262,14	15,1	6356,70

Bijlage 2: Metingen wervelstroomrem bij constante bekrachtigingsstroom

I (A)	0,5	A			1	A		
n (min ⁻¹)	T(Nm)	f(Hz)	ω(rad/s)	P(W)	T(Nm)	f(Hz)	ω(rad/s)	P(W)
0	0,10	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
67	0,90	0,10	0,63	0,57	2,55	0,10	0,63	1,60
100	1,25	3,00	18,85	23,56	4,00	2,70	16,96	67,86
200	2,20	7,10	44,61	98,14	7,05	6,90	43,35	305,65
300	2,85	10,50	65,97	188,02	9,25	10,30	64,72	598,63
400	3,35	14,10	88,59	296,79	10,60	13,60	85,45	905,78
500	3,60	17,30	108,70	391,32	11,30	16,70	104,93	1185,70
600	3,75	20,70	130,06	487,73	11,50	19,80	124,41	1430,68
700	3,80	24,10	151,42	575,41	11,70	23,30	146,40	1712,86
800	3,75	27,30	171,53	643,24	11,70	26,80	168,39	1970,16
900	3,70	30,70	192,89	713,71	11,55	30,20	189,75	2191,64
1000	3,65	34,10	214,26	782,04	11,45	33,70	211,74	2424,46
1100	3,50	37,40	234,99	822,47	11,25	37,20	233,73	2629,51
1200	3,35	40,80	256,35	858,79	11,10	40,60	255,10	2831,58
1300	3,20	44,10	277,09	886,68	10,95	44,00	276,46	3027,24
1400	3,00	47,40	297,82	893,47	10,75	47,60	299,08	3215,11
1490	2,95	50,40	316,67	934,18	10,60	50,50	317,30	3363,39

Bijlage 3: Datasheet Loadcell

FEATURES:

- Low profile
- Calibration traceable to the National Bureau of Standards
- Low sensitivity to extraneous loads
- Low deflection
- Biometrically compensated construction (except 3108)
- Built-in temperature compensation
- Circuitry provides true temperature compensation

The load cells listed are precision general purpose designs, having exceptional structural capability to withstand extraneous loads such as torque, bending moments and side loads. Available in capacities from 5 lbs. to 300 lbs., they offer maximum performance and highest accuracy under changing environmental conditions.

Minimum deflection, no moving parts and compactness make Lebow® general-purpose load cells easy to install and use.

PERFORMANCE SPECS:

3108, 3167 AND 3397

SPECIFICATIONS	3108	3167	3397
Output at rated capacity:	2±0.25%	2 nominal	2±0.25%
mV/Vs per volt, nominal			
Nonlinearity:	±0.1%	±0.05%	±0.05%
of rated output			
Hysteresis:	±0.1%	±0.05%	±0.05%
of rated output			
Repeatability:	±0.05%	±0.02%	±0.02%
of rated output			
Zero balance:	±1.0%	±5.0%	±1.0%
of rated output			
Bridge resistance:	350	350	350
ohms nominal			
Temperature range,			
compensated: °F	+70 to +170	+70 to +170	+70 to +170
Temperature range,			
compensated: °C	+21 to +77	+21 to +77	+21 to +77
Temperature range, usable: °F	-65 to +200	-65 to +200	-65 to +200
Temperature range, usable: °C	-54 to +93	-54 to +93	-54 to +93
Temperature effect on output:	±0.002%	±0.002%	±0.002%
of reading per °F			
Temperature effect on output:	±0.0036%	±0.0036%	±0.0036%
of reading per °C			
Temperature effect on zero:	±0.002%	±0.002%	±0.002%
of rated output per °F			
Temperature effect on zero:	±0.0036%	±0.0036%	±0.0036%
of rated output per °C			
Excitation voltage, maximum:	20	20	20
volt DC or AC rms			
Insulation resistance,			
bridge case:			
megohms at 50 VDC	>5,000	>5,000	>5,000
Number of bridges:	1 or 2	1	1 or 2

MODELS 3397 AND 3108

Tension and compression 5 lbs. to 300 lbs.



Model 3397 shown

3397—Capacities available 25 to 300 lbs.

3108—Capacities available 5 and 10 lbs.

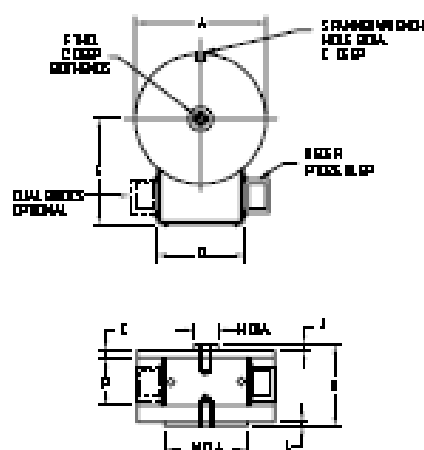
MODEL 3167



Capacities available 25 to 300 lbs.

**Consult factory
for specials.**

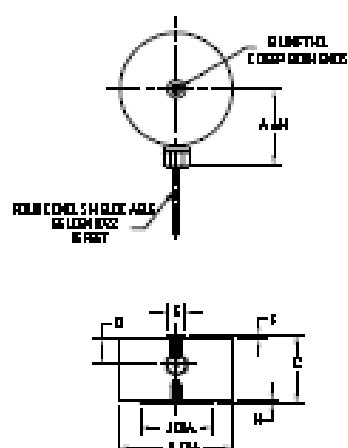
VISIT OUR WEB SITE: www.lebow.com



3337	IN.	CM.
A	2.75	6.99
B	0.22	0.55
C	0.12	0.32
D	1.25	4.44
E	2.22	5.69
F	3.29	-
G	0.29	1.27
H	0.44	1.10
J	0.08	0.24
K	1.29	2.90
L	0.06	0.16
N	1.25	4.44
P	1	2.54

3108	IN.	CM.
A	2.75	6.99
B	0.22	0.55
C	0.12	0.32
D	1.25	4.44
E	2.22	5.69
F	3.29	-
G	0.29	1.27
H	0.44	1.10
J	0.29	0.71
K	1.29	2.90
L	0.06	0.16
N	1.62	4.12
P	1	2.54

Note: The 3108 mounting configuration is similar to the 3337.



3167	IN.	CM.
A	2.25	5.72
B	3.29	-
C	0.29	0.71
D	0.44	1.10
E	0.44	1.10
F	0.08	0.24
G	1.29	2.90
H	0.06	0.16
J	1.25	4.44
K	2.25	6.99

SENSOR CHARACTERISTICS : 3108, 3167 AND 3397

MODEL NUMBER	NOMINAL LOAD UNIT CAPACITY		STATIC OVERLOAD CAPACITY % OF NOM. CAPACITY	STATIC OVERLOADS LOAD LIMITS			DEFLECTION AT NOM. LOAD UNIT INCHES	RANGE FREQUENCY Hz
	LB.	NEWTONS		SHRINK OR F, LB.	BENDING AB OR AL, LB. INCHES	TORQUING LB. INCHES		
3108	5	20	150	30	30	3	0.005	500
	10	50	150	40	40	4	0.005	300
3167	25	125	150	150	150	40	0.008	2,100
	50	200	150	150	150	40	0.008	2,800
	100	500	150	250	180	40	0.008	3,800
	200	1K	150	250	180	40	0.008	5,400
	300	1.5K	150	250	180	40	0.008	7,000
3397	25	125	150	150	150	40	0.008	2,100
	50	200	150	150	150	40	0.008	2,800
	100	500	150	250	180	40	0.008	3,800
	200	1K	150	250	180	40	0.008	5,400
	300	1.5K	150	250	180	40	0.008	7,000



ORDER TOLL FREE (800) 808-1164

Bijlage 4: Datasheet Daytronic 3270



PROVEN PANEL METER FOR SIGNAL
CONDITIONING OF DC STRAIN GAGE
SENSORS & TRANSDUCERS - COMBINES
SIGNAL
CONDITIONER (3170) WITH DISPLAY (3270)
& LIMIT CONTROL (3370)

The Models **3170**, **3270**, and **3370** DC Strain Gage Conditioners are highly accurate DC instruments for use with load cells, pressure sensors, and other strain gage transducers employing a 4-arm bridge. The Model **3170** Strain Gage Conditioner is the basic Form 1 instrument. The Model **3270** Strain Gage Conditioner/ Indicator is the Form 2 instrument, providing

vivid frontpanel digital indication of measured values, scalable in desired engineering units. The Model **3370** Strain Gage Conditioner/Indicator/Controller is the Form 3 instrument, and includes HI/LO limit detection with control output. Advanced circuit design overcomes many of the errors traditionally afflicting the strain gage measurement process, resulting in three high-level, drift-free, noise-free analog outputs (see Specifications). Nearly all mechanical measurement and control requirements are covered by these three simultaneously available outputs.

Other important features include:

- remote sensing and regulation of bridge excitation—eliminates errors from temperature effects on cable resistance

- seven-wire calibration circuitry—applies the internal shunt calibration resistor at the transducer terminals, thereby eliminating significant calibration transfer error in long-cable installations
- true differential input, with better than 80 dB of common-mode rejection—eliminates errors from common-mode pickup and possible “ground-loop” coupling
- input impedance in excess of 100 megohms preserves the validity of factory calibration, prevents conversion of commonmode to normal-mode signals, and eliminates remaining errors attributable to cable resistance. Allowable cable length has virtually no practical limits.
- elimination of both short-term and long-term drift through an advanced solid-state chopper stabilization technique, while preserving the full frequency passband, free of chopper noise; the rated accuracy is obtained without “warm-up” period or periodic “tweaking” of controls
- active low-pass filtering smooths unwanted dynamic signal components arising from vibration, power impulses, etc., that might prevent stable digital conversion or control action

For conditioning inputs from AC-excited strain gage transducers, see the Models **3178**, **3278**, and **3378**.

MODEL 3170/3270/3370

DC STRAIN GAGE PANEL INSTRUMENT [3000 SERIES]

SPECIFICATIONS

Input Type: Conventional 4-arm strain gage bridge, nominal 90 to 2000 Ohm

Input Range (full-scale): Nominal sensitivity 1 to 8 mV/V, full scale*

Excitation Supplied: Regulated 5 or 10 V-DC, user selectable** **Analog Outputs:** Three outputs, each ± 5 V full-scale with 50% overrange, 5 mA max.; low-pass corner frequencies of 2 Hz,

200 Hz, and 2 kHz, respectively

Common-Mode Rejection: Greater than 80 dB

Input Impedance: Greater than 100 M Ω

Analog Filtering: Active low-pass filters provide -60 dB per decade above cutoff frequency ("f"); full-scale slew time is 1.4/f sec

Output Ripple and Noise: 0.15% of full scale (rms) max. for 200-Hz and 2-kHz outputs; 0.02% of full scale (rms) max. for 2-Hz output

Accuracy (typical, following Calibration): 0.05% of full scale Display Resolution (Models 3270 and 3370): 0.02% of full scale***

Physical / Environmental

Case: Each unit is housed in a single piece of heavy gage aluminum

(1.7" H x 4.41" W x 7.0" D); a simple reassembly procedure allows mounting in the user's precut panel; the Model 3004 Rackmount Adaptor permits secure mounting of up to four units in a standard 19-inch rack

Operating Temperature Range: 0° F to +130° F (-18°C to +55°

C); assumes dry, noncondensing ambient atmosphere

Weight: Instrument: approximately 2.0 lb (0.9 kg) maximum; **Shipping:** approximately 3.5 lb (1.6 kg) maximum

* Ten-turn coarse and fine front-panel controls will balance 1.5 mV/V initial unbalance and allow span adjustment over the stated full-scale sensitivity.

** Transducers with sensitivity from 4 to 8 mV/V, full scale, or with bridge resistance of 120 Ohm or less, must use 5-V excitation.

*** Includes the combined effects of nonlinearity, random

noise, line-voltage variation between 105 and 130 volts, ambient temperature variation of $\pm 20^{\circ}$ F about starting value, and six months drift of zero and span. Errors attributable to the

transducer are not included.

Power Voltage: 105-135 V-AC; 210-260 V-AC optional (add suffix "F" to model number); any model not employing the solid-state relay ("S") option may be powered by battery (11.5-15 V-DC, 500 mA max.; add suffix "B" to model number)

Frequency: 50-400 Hz

Consumption: 5 W max. (for Form 1 instruments), 8 W max. (for Form 2 instruments), or 9 W max. (for Form 3 instruments) Display (Form 2 and Form 3 instruments only)

Display: Orange LED's, six digits with polarity sign, 0.4" (1.0 cm) height; Most Significant Digit of display is either unlit or reads "1," and in either case contains polarity sign; Least Significant Digit is a dummy zero which may be lit or unlit, as desired

Scaling: Selectable at rear panel; full-scale values of ± 5000 counted by "1's," ± 10000 counted by "2's," or ± 20000 counted by "5's," with selectable decimal point locations (along with dummy

zero) to give decade multiplier factors of 10, 1.0, 0.1, 0.01, 0.001, or

0.0001

Display Sampling Update Rate: 3 samples per second

Limit Logic Outputs (Form 3 instruments only) Both true and complement available for each limit condition (LOW, OK, HIGH); TTL-compatible, wire-ORable; 10-mA sink, 0.5-mA source (max.); normally nonlatching, but latching outputs are also available

3000 Series options applying to the DC Strain Gage instruments include

- Analog Peak Capture (Models 3270 and 3370)
 - 4-20 mA Current Output (Models 3170, 3270, and 3370)
 - 0-10 V-DC Dual Galvanic Isolated Outputs (Models 3170 and 3270)
 - Internal Electromechanical Relays (Model 3370)
 - Internal Solid-State Relays (Model 3370)
 - 12 V-DC Battery-Powered Operation or Nominal 230 V-AC Operation (Models 3170, 3270, and 3370)
-

Bijlage 5: Datasheet lager



Plummer block housing units

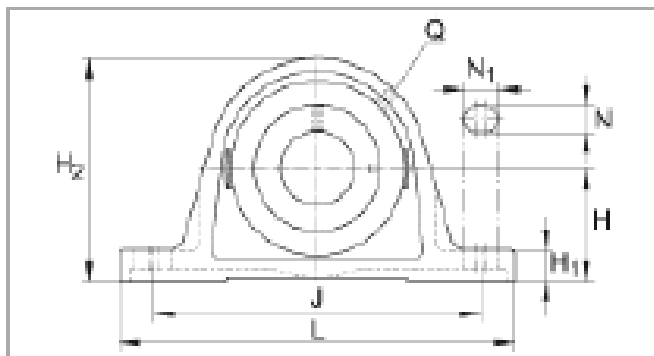
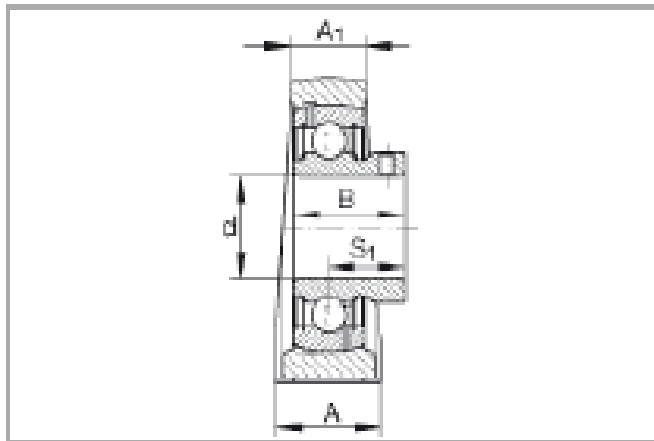
PASEY25-N (Series PASEY)

cast iron housing, radial insert ball bearing with grub screws in inner ring, P seals

The datasheet is only an overview of dimensions and basic load ratings of the selected product. Please always observe all the guidelines in these overview pages. Further information is given on many products under the menu item "Description". You can also order comprehensive information via the Catalogue ordering system.

(<http://www.ina.de/content/ina/dateiname%20to%20library/library.jsp>) or by telephone on +49 (0) 33 32 - 23 37.

d	25 mm
L	130 mm
H2	10 mm
A	30 mm
A1	21 mm
B	27 mm
H	30,5 mm
H1	14,5 mm
J	103 mm
N	11 mm
N1	12 mm
Q	Rp 1/3
S1	19,5 mm
m	0,01 kg Max
Gr	14000 N Basic dynamic load rating, radial
Gr	7300 N Basic static load rating, radial
GG PASEY25-N	Designation of housing
GA Y25-NPP-S	Designation of bearing
KAS305	Bearing and cap, closed design. To be ordered separately.
	Slot for bearing and cap



Bijlage 6: Literatuurstudie banden

MARATHON PLUS

ONPLATBAAR



MARATHON PLUS

Een lekke band behoort tot het verleden. De onplatbare band: de SmartGuard anti-leklaag uit een hoogelastisch, speciaal caoutchouc is bijzonder sterk. Deze laag biedt ingereden scherpe voorwerpen zoals bv. glasscherven en kleine steentjes, een constante weerstand. Zelfs een ingereden punaise kan deze beschermingslaag niet doordringen. De SmartGuard-lekbeschermingslaag heeft vrijwel geen invloed op de rolweerstand. De Marathon Plus "loopt" net zo licht als een band zonder lekbescherming.



MARATHON PLUS TOUR

Onplatbaar - met markant trekkingprofiel. Op asfalt of ongebaande paden, deze veelzijdige band voelt zich op iedere weg thuis. Voor alledaags gebruik of voor een grote tocht. De robuuste opbouw weert alle mishandelingen af. Veilig door SmartGuard, de best werkzame anti-leklaag die er voor fietsbanden is.



MARATHON PLUS HS 348, Performance Line, Draadband

ETRTO	Size	!	8	9	Skin	Bar	Psi	g	oz	EPI	Load	Art.-No.	€
16"	35-349	16x1.35	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	4.0-6.5	55-95	475	17	67	65 kg	11109348 37,50
18"	35-355	18x1.35	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	4.0-6.5	55-95	490	17	67	65 kg	11111348 37,50
20"	35-406	20x1.35	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	4.0-6.5	55-95	560	20	67	75 kg	11115348 37,50
	47-406	20x1.75	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.0-5.0	45-70	725	25	67	80 kg	11116348 37,50
24"	40-507	24x1.50	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	790	28	67	85 kg	11124348 37,50
	47-507	24x1.75	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.0-5.0	45-70	920	32	67	95 kg	11125348 37,50
26"	35-559	26x1.35	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	4.0-6.5	55-95	775	27	67	90 kg	11130348 37,50
	40-559	26x1.50	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	860	30	67	95 kg	11130548 37,50
	47-559	26x1.75	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.0-5.0	45-70	995	35	67	115 kg	11131348 37,50
	37-590	26x1 3/8, 650x35A	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	850	30	67	90 kg	11140348 37,50
	42-590	26x1 5/8, 650x40A	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.0-5.0	45-70	940	33	67	100 kg	11141348 37,50
28"	25-622	28x1.00, 700x25C	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	5.0-8.0	70-115	590	21	67	75 kg	11146348 37,50
	28-622	28x1 1/8, 700x28C	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	4.0-7.0	55-100	740	26	67	85 kg	11147348 37,50
	32-622	28x1 1/4, 700x32C	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	4.0-6.5	55-95	800	28	67	90 kg	11148348 37,50
	37-622	28x1 3/8, 700x35C	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	895	31	67	105 kg	11149348 37,50
	40-622	28x1.50, 700x38C	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	940	33	67	110 kg	11150348 37,50
	47-622	28x1.75	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.0-5.0	45-70	1100	39	67	130 kg	11151348 37,50
	40-635	28x1 1/2, 700x38B	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	1010	35	67	110 kg	11158348 37,50

MARATHON PLUS TOUR HS 404, Performance Line, Draadband

26"	47-559	26x1.75	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.0-5.0	45-70	980	34	67	115 kg	11131404 37,50
	50-559	26x2.00	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	2.0-5.0	30-70	1100	39	67	130 kg	11132404 37,50
28"	37-622	28x1.40, 700x35C	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	890	31	67	105 kg	11149404 37,50
	42-622	28x1.60, 700x40C	SmartGuard	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	940	33	67	120 kg	11150405 37,50

! Volledig uitsluiten kan men een lekke band nooit. Maar tegen de typische veroorzakers van een lekke band zoals scherven of scherpe steentjes bent u in ieder geval met de fietsbanden uit de Marathon Plus serie het best beschermd. Gebruik bij de Marathon Plus beslist een manometer voor het instellen van de bandenspanning. Door de bijzondere opbouw van de band is een bandenspanningstest met de duimen beslist ontoereikend.

Bijlage 7: Metingen ELBEV

Constant toerental

n (banden)	150 min ⁻¹	300 min ⁻¹	450 min ⁻¹	600 min ⁻¹
Massa belasting	75 kg	75 kg	75 kg	75 kg
I(A)	T(Nm)	T(Nm)	T(Nm)	T(Nm)
0	0	0	0	0
0,05	0,05	0,1	0,1	0,1
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,15	0,25	0,1	0,1	0,1
0,2	0,6	0,25	0,2	0,1
0,25	0,8	0,45	0,35	0,15
0,3	1,2	0,7	0,5	0,3
0,35	1,65	1,05	0,7	0,45
0,4	2,05	1,35	1	0,6
0,45	2,7	1,85	1,2	0,9
0,5	3,35	2,25	1,65	1,15

Constant stroom

I bekraftiging	0,25 A	0,5 A
Massa belasting	75 kg	75 kg
n (min ⁻¹)	T(Nm)	T(Nm)
100	0,85	3,6
200	0,65	3
300	0,45	2,25
400	0,3	1,85
500	0,25	1,45
600	0,15	

