

Academiejaar 2011 – 2012

Realisatie Energy5

Energiezuinige prototypewagen

Scriptie voorgedragen tot het behalen van het diploma van

Master in de Industriële Wetenschappen Elektromechanica

door :

Gery Fossaert

Michel Remon

Promotor Hogeschool : Guy Foubert, Armand Lefebure

Promotor Onderneming : Bruno Vermeersch, Benjamin Van Der Smissen

Woord vooraf

Allereerst danken we onze promotoren, Dhr. Guy Foubert, Armand Lefebure en Dhr Bruno Vermeersch die ons toegewezen hebben aan dit project. Samen hebben we een enorm leerrijk en boeiend academiejaar achter de rug.

In het bijzonder danken we elkaar voor de uitstekende samenwerking en de gezonde teamspirit om dit project tot een goed einde te brengen.

Dank aan Dhr. Benjamin Van Der Smissen die steeds bereid was ons te helpen. Dankzij zijn hulp konden we bij het bedrijf CCM uit Sint-Denijs-Westrem terecht voor het vormen van de ruiten. Daar konden we rekenen op de hulp van Dhr. Sobry, erkend orthopedisch verstreker en zijn medewerkers, die ons door het proces heen hebben begeleid.

Voor het afwerken van de ruiten konden we rekenen op de steun en kennis van Rudy en Karel Malfait. Wij danken hen voor hun tijd en hulp waardoor we rijklaar waren voor de eerste wedstrijd. Voor de technische ondersteuning konden we steeds terecht bij Joachim Naessens die zijn ervaring en kennis met ons wou delen. Bedankt!

We danken onze pilote Sara Korte voor de tijd die ze wou vrijmaken om de Energy5 te besturen tijdens de Belgian Eco Marathon. Dankzij haar uitstekende prestatie konden we het Belgisch record achter onze naam schrijven!

Dank ook aan David, Joachim, Sofie en Sam, door hun hulp konden we een goede controle krijgen over de wedstrijd.

Bedankt Marc en Mario van de centrale werkplaats van de Universiteit voor het vervaardigen van de ophanging van de Energy5!

Ook de voltallige vakgroep Elektromechanica moeten we bedanken. Bij hen konden we steeds terecht voor antwoorden op onze vragen en voor tips en informatie. Ze waren ook bereid hun machines ter beschikking te stellen. Geen enkel moment verloren ze hun vertrouwen in ons. Bedankt Antoine De Henau, Armand Lefebure, Marc Wouters, Jan De Strooper, Frank De Mets, Peter Van Ransbeeck, Charles Van den Berghe, Luc, Rudy ! Het was een hele stimulans te merken dat onze inspanningen werden geapprecieerd.

Voor de PR konden we rekenen op de steun van Marijke Dekeyser die ons project in de verf zette en het aantrekkelijk voorstelde aan de pers, zodat we op veel belangstelling van de media konden rekenen. Bedankt!

We danken ook onze cameraman Ian Bauters om een tof promofilmje te maken rond de Energy5!

Wij danken onze sponsors voor hun technische hulp en materiële bijstand.

Tot slot willen we ook onze ouders bedanken voor de financiële steun en ondernemingsgezindheid die wij van hen mochten ervaren. Uiteraard vergeten we ook onze broers en vrienden niet voor hun morele steun.

Bedankt allemaal!

Abstract

De Energy 5 is een energiezuinig prototypewagen. Het is de bedoeling om zoveel mogelijk afstand af te leggen met een gemiddelde snelheid van dertig kilometer per uur en dit met zo weinig mogelijk energie.

Dit eindwerk bestudeert grondig de inwerkende krachten op een energiezuinige wagen en de wielgeometrie. Hieruit wordt het verbruik afgeleid. De aandrijving is vernieuwd naar een elektromotor met een inwendig vrijloopsysteem. Deze motor is bevestigd op een driedimensioneel regelbare ophanging om een correcte wieluitlijning te verkrijgen. De ruiten van de Energy 5 werden eerst door middel van thermoforming gevormd. Nadien werd een meer efficiënte en eenvoudige vormgevingsmethode toegepast.

Nadat de wagen volledig opgebouwd was, nam het Energyteam deel aan de Belgian Eco Marathon in Rochefort in België. Met de prestatie van 2655 kilometer met een liter benzine equivalent is de Energy 5 de zuinigste wagen van België!

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 0	Stand van zaken en kritische analyse	12
Hoofdstuk1	Weerstandskracht: inwerkende krachten	15
1	Inleiding	15
2	Rolweerstand.....	15
2.1	Definitie	15
2.2	Rolweerstandcoëfficiënt	16
2.3	Invloedsfactoren van de rolweerstandcoëfficiënt	17
2.3.1	Constructie van de band.....	17
2.3.2	Bandenmateriaal	18
2.3.3	Bandendruk	19
2.3.4	Bandenslijtage:	20
2.3.5	Uitlijning van de wagen	20
3	Lagerweerstand	21
4	Aerodynamische weerstand.....	21
5	Hellingsweerstand	23
6	Versnellingskracht	23
7	Afwegen van weerstanden.....	27
7.1	Wagen op vlakke ondergrond met constante snelheid met bovenstaande parameters	27
7.1.1	Wagen op vlakke grond met constante snelheid en massa 10 % gereduceerd.....	28
7.1.2	Wagen op vlakke grond met constante snelheid en $C_x \cdot A$ 10% gereduceerd.....	29
7.2	Wagen bergop met constante snelheid	30
7.2.1	Wagen bergop met constante snelheid en massa 10 % gereduceerd	31
7.2.2	Wagen bergop met constante snelheid en $C_x \cdot A$ 10% gereduceerd	32
7.3	Wagen op vlakke grond met constante versnelling van 0,3 m/s	33
7.3.1	Wagen op vlakke grond met constante versnelling van 0,3 m/s ² en massa 10% gereduceerd	34
7.3.2	Wagen op vlakke grond met constante versnelling van 0,3 m/s ² en $C_x \cdot A$ 10% gereduceerd	35
8	Besluit van verschillende belastingsgevallen	36
Hoofdstuk 2	wielgeometrie en bochten.....	37
1	Assenstelsel wielopstelling.....	37
2	Krachten en koppels.....	39
3	Krachtwerking tijdens bocht	43
3.1	Algemeen.....	43

3.2	Opstellen vergelijkingen	45
3.3	Resultaten.....	47
3.3.1	Oplossing stelsel	48
3.3.2	Totale rolweerstand	49
Hoofdstuk3: Elektrische aandrijving.....		50
1	Inleiding	50
2	Testen	50
3	Theoretisch verbruik	50
3.1	Constante snelheid	51
3.2	Start en stop strategie	54
3.3	Zuinigste strategie ?	57
4	Crystalyte aanpassen?	59
4.1	Vrijlooplager monteren in de motor	59
4.2	Voedingskabel naar buiten brengen	62
4.3	Crystalyte uitbouwen	62
5	Bafang Hub Motor	63
5.1	Inleiding	63
5.2	Verbruik	64
5.3	Aanpassingen.....	65
Hoofdstuk 4 : Achterwielophanging.....		67
1	Inleiding	67
2	Ontwerp.....	67
2.1	Eerste concept.....	67
2.2	Definitieve concept	68
2.3	Materiaalkeuze onderdelen	68
2.4	Sterkteberekening	69
2.4.1	Krachtsimulatie.....	69
2.5	Resultaat.....	69
Hoofdstuk 5: Ruiten.....		71
1	Inleiding	71
2	Materiaalstudie	71
3	Realisatie van de ruiten	72
3.1	Rechtstreeks in de negatieve mal	72
3.2	Thermoforming op matrijs	73

3.2.1	Eerste poging: manueel vormen van de ruiten	74
3.2.2	Tweede poging: vacuümvormen met polyestervorm	75
3.2.3	Vacuümvormen op gipsvorm	76
4	Realisatie bovenkap van de Energy5	76
Hoofdstuk 6 De eerste wedstrijd: Belgian Eco Marathon		78
1	Verslag	78
2	Analyse Energy 5 na eerste wedstrijdervaring	79
2.1	Verbruik	79
2.2	Rolweerstand.....	79
2.3	Luchtweerstand: vormfouten.....	81
2.3.1	Olifantenhuid.....	81
2.3.2	Vormfout ruiten.....	81
2.3.3	Lamineerfout van de ruiten.....	81
2.3.4	Spiegels.....	82
2.4	Massa.....	82
2.4.1	Constructie nieuwe kap.....	82
2.4.2	Massa monocoque reduceren.....	83
2.4.3	Batterijen	85
2.4.4	Kunststof bouten	86
2.5	Rijstrategie.....	86
Hoofdstuk 7 Future prospects		88
1	Materiaalstudie	90
2	Vormgeving	90
3	Ophanging	91
4	Aandrijving.....	91
5	Velgen	91
6	Besluit	91
Hoofdstuk 8 Evenementen		92
1	Website & social media	92
2	De pers.....	92
3	Evenementen	92
Literatuurlijst		94
Bijlage I: Matlab.....		95
Bijlage II: ERIKS BAUDOIN Datasheets.....		98

Bijlage III: Michelin Datasheets	99
Bijlage IV: Persberichten	100

Figurenlijst

Figuur 1: de versleten ophanging.....	12
Figuur 2: testmodel	13
Figuur 3: wiel met band in contact met vlakke grond.....	15
Figuur 4: Radiaalband.....	15
Figuur 5: Diagonaalband.....	17
Figuur 6: hysteresiscurve.....	18
Figuur 7: rolweerstandscoefficient 45/75R16.....	19
Figuur 8: Rolweerstand in functie van negatieve camber.....	20
Figuur 9: Rolweerstand in functie van toe- en uitspoor.....	21
Figuur 10: Hellingsweerstand.....	23
Figuur 11: vermogencurve simulator	25
Figuur 12: belasting bij constante snelheid.....	28
Figuur 13: belasting bergop.....	31
Figuur 14: belasting op vlakke grond met constante versnelling.....	34
Figuur 15: invloed massa op CxA.....	36
Figuur 16: band-weg contact assenstelsel	37
Figuur 17: inclinatiehoek.....	38
Figuur 18: slijphoek	38
Figuur 19: krachten en koppels	39
Figuur 20: bochtstijfheid in functie van normaalkracht en bandendruk	41
Figuur 21: zelflijningsstijfheid in functie van normaalkracht en bandendruk.....	42
Figuur 22: assenstelsel driewielig voertuig	44
Figuur 23: voertuigdynamica.....	45
Figuur 24: vermogencurve throttlewaarde 76% van vollast.....	52
Figuur 25: Crystalyte hub motor	60
Figuur 26: Naaldlager zonder buitenring(1).....	60
Figuur 27: Naaldlager met buitenring(1).....	60
Figuur 28: naaldlager met kogellager(2)	60
Figuur 29: Complete vrijloplagers met binnen en buitenring(3).....	60
Figuur 30: kogellagers Crystalyte	61
Figuur 31: voedingskabel naar buiten brengen.....	62
Figuur 32: Crystalyte uitbouwen	62
Figuur 33: technische fiche Bafang hub motor	63
Figuur 34: elektrische pakket	64
Figuur 35: Wattsup.....	64
Figuur 36: demontage Bafang	64
Figuur 37: planetair tandwielstelsel.....	65
Figuur 38: planetair tandwielstelsel in Bafang motor	66
Figuur 39: eerste concept vooraanzicht	67
Figuur 40: eerste concept achteraanzicht.....	67
Figuur 41: tweede concept achteraanzicht.....	68
Figuur 42: tweede concept vooraanzicht.....	68

Figuur 43: krachtensimulatie worst case	69
Figuur 44: krachtensimulatie	69
Figuur 45: achterwielophanging Von Mises spanning	69
Figuur 46: achterwielophanging vervorming	70
Figuur 47: zichtbaarheid Energy5.....	71
Figuur 48: matrijsvormen ruiten	73
Figuur 49: polyestermallen.....	73
Figuur 50: olifantenhuid	73
Figuur 51: manueel vormen	74
Figuur 52: versterken met gipslagen	75
Figuur 53: polyester met gipsvorm	75
Figuur 54: versterken met gipslagen	75
Figuur 55: vloeibare gips.....	75
Figuur 56: polyester matrijs versterkt met gips	75
Figuur 57: vacuümmachine	76
Figuur 58: zijruit vorm	76
Figuur 59: structuur bovenkap	76
Figuur 60: vooruit inlamineren.....	77
Figuur 61: ruiten inlamineren.....	77
Figuur 62: bovenkap.....	77
Figuur 63: wagen wedstrijd klaar	77
Figuur 64: Energyteam	78
Figuur 65: de start	79
Figuur 66: velgprofiel voor radiaalband	79
Figuur 67: velgprofiel voor diagonaalband	80
Figuur 68: chassis gemeshd met CTRIA10 elementen	83
Figuur 69: toevoegen star element	83
Figuur 70: Von Mises spanning	84
Figuur 71: doorzakking ten gevolge van centrifugaalkracht	84
Figuur 72: Von Mises spanning	85
Figuur 73: doorzakking ten gevolge van massa piloot	85
Figuur 74: batterijen.....	86
Figuur 75: lagers vrijloopsysteem smeren	88
Figuur 76: resultaten derde wedstrijd Belgian Eco Marathon	89
Figuur 77: Energy5 op prijsuitreiking	89
Figuur 78: de website	92
Figuur 79: Energyteam op Boetiek Techniek.....	93

Tabellenlijst

Tabel 1: overzicht transparante kunststoffen	72
Tabel 2: resultaten.....	78

Tabel 3: overzicht band op velg.....	80
Tabel 4: densiteit composieten	82
Tabel 5: densiteit boutmateriaal	86

Inleiding

De Energy5 is een energiezuinig prototypewagen waarmee zoveel mogelijk afstand afgelegd moet worden met zo weinig mogelijk energie.

Al jaren lang bouwt het Energyteam, studenten aan de Hogeschool Gent, energiezuinige wagens. Het initiatief is er gekomen van Bruno Vermeersch, tevens copromotor van dit eindwerk, die jaarlijks de fakkel doorgeeft aan nieuwe studenten.

Voormalige studenten zorgden reeds voor de realisatie van de monocoque en een voorontwerp van de elektrische aandrijving en ophanging. Door hun ideeën en ervaringen konden wij het concept verfijnen.

Om ons zo goed mogelijk voor te bereiden, zijn we reeds in september 2011 begonnen met het inwerken in het project: door o.a. een blik te gaan werpen op de eerste wedstrijd van de Belgian Eco Marathon.

Tijdens het eerste semester ging onze aandacht vooral naar de theoretische achtergrond van de wagen. Al snel bleek dat onze ideeën en concepten van de ophanging en aandrijving sterk verschillend waren van voormalige studenten. Daarom werd uitvoerig getest en geëxperimenteerd om onze concepten te staven.

Tijdens het tweede semester zijn we van start gegaan met de bouw van de Energy5. De deadline was 1 april, onze eerste zuinigheidswedstrijd (de tweede wedstrijd van de Belgian Eco Marathon). Onze inspanningen werden beloond met een Belgisch record van maar liefst 2655 km met één liter benzine equivalent!

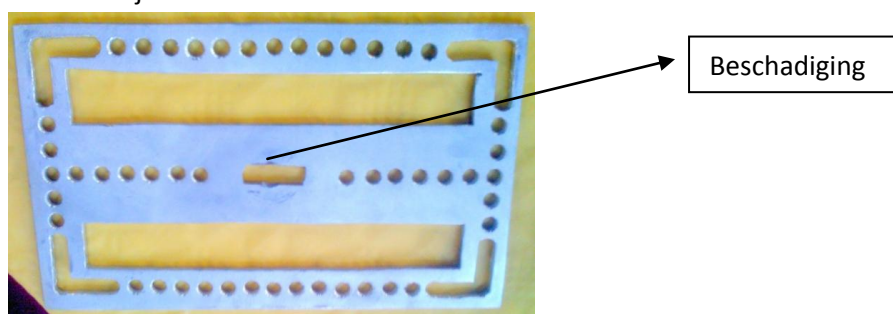
Dit resultaat is nog niet de limiet van onze mogelijkheden. Door enkele aanpassingen aan te brengen kan de Energy5 makkelijk de kaap van de 3000km bereiken.

Voor de toekomstige studenten is het interessant om naast een nieuw ontwerp de Energy5 te blijven optimaliseren.

Hoofdstuk 0 Stand van zaken en kritische analyse

Gedurende de maand september 2011 werden de eindwerken vanaf het jaar 2005 tot op heden volledig doorgenomen. Hieruit trokken we de volgende conclusies:

1. De keramische lagers en banden zijn goed en kunnen nog moeilijk verbeterd worden. (Leenknecht, J., (2005), *Eco-wagen: optimalisatie van de aandrijving en het koetswerk*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement ingenieurswetenschappen). De 75/45 R16 banden van Michelin zijn speciaal bestemd voor dit soort eco-wagens. Het vermogenverlies van keramische lagers is verwaarloosbaar.
2. De aerodynamische studie is zeer goed. De plug en de matrijzen zijn reeds gerealiseerd en kunnen niet meer aangepast worden. Dit is dus ook geen aandachtspunt. (Putteman, G, de Ryck, B, (2007), *Aerodynamisch voorontwerp Energy5*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement ingenieurswetenschappen)
3. De monocoque van de Energy5 bestaat uit topmateriaal. Het onderstel weegt slechts 15 kg en is zeer stijf. Energieverlies ten gevolge van vervorming via het chassis is minimaal.
4. De elektrische aandrijving van 2009-2010 (Van Coster, R, Van Hijfte, P, (2010), *elektrische aandrijving van Energy5*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement ingenieurswetenschappen) is een werkpunt. Na grondige analyse en verschillende testritten met het houten testmodel beslisten we om op zoek te gaan naar een betere elektrische aandrijving (zie hoofdstuk 3 elektrische aandrijving). Bij demontage van de Crystalyte hub motor werden volgende zaken genoteerd:
 - a. De motoras is krom (oorzaak onbekend)
 - b. De aluminium bevestiging is reeds beschadigd door de motoras. Het startkoppel van deze elektromotor is aanzienlijk hoog en bedraagt 50Nm. Een beter en steviger ontwerp lijkt noodzakelijk.



Figuur 1: de versleten ophanging

- c. Bij het ontwerp werd geen rekening gehouden met de regelbaarheid van het achterwiel. De monocoque van de Energy5 is handgemaakt waardoor de wielflappen, waarop de ophanging bevestigd wordt, niet honderd procent recht staan. Een systeem waarbij het wiel in drie dimensies kan uitgeregeld worden is een must en zal een positieve invloed hebben op het eindresultaat. Ons doel is een ophanging te maken dat gedemonteerd kan worden zonder dat de wielafstelling hierbij verloren gaat. Hierover wordt uitgebreid geschreven in 'hoofdstuk 4 achterwielophanging'.
5. De regelbaarheid van de voorwielen is beperkt. Een kleine aanpassing van de stuurinrichting zou gunstig zijn om snel en gemakkelijk de wielen te kunnen uitregelen.

Het houten testchassis van student Fabian Martens (Martens, F, (2011), *Energy5: stuurinrichting en remsysteem*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement ingenieurswetenschappen) was een handig middel om alle onderdelen en theorieën te testen. Eerst werd het chassis verstevigd met aluminium buisprofielen om zoveel mogelijk vervorming van het hout tegen te gaan.



Figuur 2:testmodel

6. De testen zijn afgenomen op de skeelerpiste in de Blaarmeersen te Gent. Voordeel hierbij is dat het circuit zeer gelijkend is op dit van de Belgian Eco Marathon met uitzondering van de kombochten die niet aanwezig zijn. De testritten worden afgenomen door Gery Fossaert. Tijdens de tests gaat onze aandacht vooral naar het verbruik van de Crystalyte hub motor, rekening houdend met het feit dat het chassis, de aerodynamica en de banden van het testmodel allesbehalve optimaal zijn. In het eindwerk van de elektrische aandrijving anno 2009-2010 zijn ook reeds testresultaten opgenomen met de Energy1. Deze werden omgerekend naar de ideale waarden van de Energy5 (Van Coster R, Van Hijfte P, (2010), *elektrische aandrijving van Energy5*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement ingenieurswetenschappen,p137). In praktijk is het echter zeer moeilijk om deze ideale toestand te bereiken. Tijdens de Belgian Eco Marathon moet de wagen een minimaal gemiddelde van 30km/h rijden.

De eerste test was om 5 rondes te rijden van 400m (2000m) met een vrij stevige acceleratie. Resultaat: de Crystalyte heeft een verbruik van 10Wh/km. Deze tests werden drie maal opgenomen om nadien het gemiddelde hiervan te nemen.

De tweede test was optrekken tot 35km/u en uitlopen tot 25km/u om zo aan een gemiddelde te komen van 30km/u. Resultaat: 9,5Wh

De Crystalyte motor ontgoochelt enorm in zijn eigenschappen om uit te lopen. Met andere woorden als de motor niet bekrachtigd wordt, heeft de permanente magneet de neiging om alles te remmen waardoor de motor niet goed uitloopt.

De derde test bestond uit het geleidelijk optrekken tot 30 km/u en nadien constante snelheid behouden. Op de wedstrijd wordt tijdens de eerste ronde afgeweken van het gemiddelde van 30km/u, zodat de mogelijkheid bestaat om geleidelijk op te trekken. Resultaat: 8,5 Wh/km.

Het is logisch dat de derde test het minste verbruikt. Er wordt minder koppel gevraagd van de motor en dus minder stroom. Toch zijn we niet overtuigd van deze rijstrategie: het duurt langer om op snelheid te komen en vragen dus langer vermogen van de motor.

Wij waren van mening dat het beste resultaat kon behaald worden indien er slechts gedurende een korte tijdsperiode gas wordt gegeven en de rest van de afstand wordt uitgelopen, zoals bij de dieselmotor van de Energy4.

Verdere uitwerking hiervan in 'hoofdstuk 3 elektrische aandrijving'.

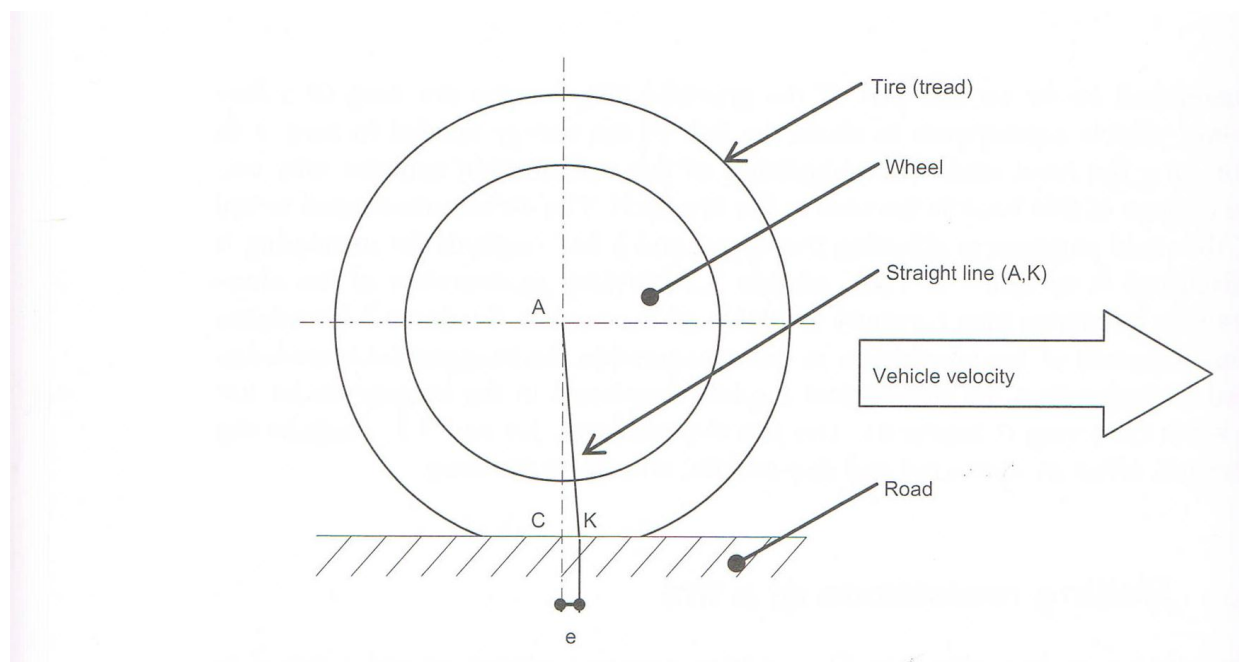
Hoofdstuk1 Weerstandskracht: inwerkende krachten

1 Inleiding

De beheersing van de inwerkende krachten op de wagen vormt één van de belangrijkste aspecten. Wanneer men de aard en grootte van de krachten weet, kan bij sterke benadering het verbruik bepaald worden, wat hier van groot belang is. De inwerkende krachten groepeerd men tot de weerstandskracht van de wagen in longitudinale richting. De weerstandskracht is de kracht volgens de longitudinale richting van de wagen ten gevolge van rol-, lager-, lucht-, hellings- en acceleratieweerstand. Elk van deze krachten wordt nader toegelicht. Het is hier van groot belang om de grootte van elke afzonderlijke kracht te bepalen zodoende de impact van de kracht op de wagen te bepalen en afwegen welke krachten de belangrijkste vormen. Algemeen stelt men: hoe lager de weerstandskracht hoe lager het verbruik.

2 Rolweerstand

2.1 Definitie



Figuur 3: wiel met band in contact met vlakke grond

(bron: Santin, J.J, Onder, C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 3, p42)

A: wielcenter

K: het zwaartepunt van normale drukverdeling in de band

C: theoretisch weg – band contact punt

Een band is gemonteerd op een wiel dat in contact is met een horizontale ondergrond. Er is een verticale belasting ten gevolge van het gewicht van de wagen. De belasting valt in het wielcenter (A). Er zijn geen remmen aanwezig en er wordt geen koppel geleverd. Het wiel rijdt met een constante snelheid in de aangegeven richting. Door de vervorming van de band en het visco – elastisch gedrag van het materiaal van de band ligt de normale weg-band drukverdeling meer naar het voorste deel van de contactzone van de band. In het voorste deel wordt de band radiaal naar binnen geduwd terwijl de achterste zone radiaal naar buiten geduwd wordt. Het resultaat van deze vervorming leidt tot een zwaartepuntverschuiving (K) van de normale weg –band drukverdeling op een afstand (e) van het theoretisch zwaartepunt (C). Dit is het punt waar de niet vervormde zone van de band contact maakt met de weg. Vervolgens zijn de som van alle momenten van de weg – band krachten (loodrecht en rakend aan het vlak) in dit punt gelijk aan nul.

Algemeen: de wiel – band opstelling is onderworpen aan twee krachten en er is geen koppel. De eerste kracht grijpt aan in het wielcenter (A) en de andere in het zwaartepunt (K) van de normale drukverdeling. De som van inwerkende krachten is gelijk aan nul wanneer de krachten in (A) en (K) op de zelfde lijn liggen en tegengesteld zijn. De lijn (A,K) ligt niet loodrecht op de weg. De kracht in (K) ligt dus niet loodrecht op de weg. De kracht kan ontbonden worden in een verticale kracht en een horizontale kracht. De horizontale kracht is de kracht die bekend staat als de rolweerstand. De totale rolweerstand is de som van de rolweerstand van ieder wiel afzonderlijk.

De rolweerstand (F_r) is de kracht op de wielen ten gevolge van de vervorming van de banden:

$$F_r = f_r m g$$

Met:

f_r : rolweerstandcoëfficiënt (dimensieloos)

m : massa (kg)

g : valversnelling = $9,81 \frac{m}{s^2}$

2.2 Rolweerstandcoëfficiënt

$$f_r = \frac{F_r}{F_z}$$

Met:

f_r : rolweerstandcoëfficiënt (dimensieloos)

F_r : rolweerstandkracht (N)

F_z : zwaartekracht op wiel (N)

Voor elk type band wordt een rolweerstandcoëfficiënt opgesteld. De rolweerstandcoëfficiënt is afhankelijk van vooropgestelde voorwaarden. Bijvoorbeeld: de soort ondergrond, temperatuur van band, druk van de band, de snelheid van de wagen, ... De waarde van de rolweerstandcoëfficiënt

verandert bij gegeven condities. Aangezien de wagen geen hoge snelheden haalt, mag men een constante waarde gebruiken. Onderstaande voorbeelden stellen een bepaalde rolweerstand voor:

- 0,013 voor een standaard auto op asfalt;
- 0,006 voor een fietswiel;
- 0,0024 voor 44 – 406 Michelin diagonaalband met binnenband;
- 0,00081 voor 45 – 75R16 Michelin radiaalband zonder binnenband.

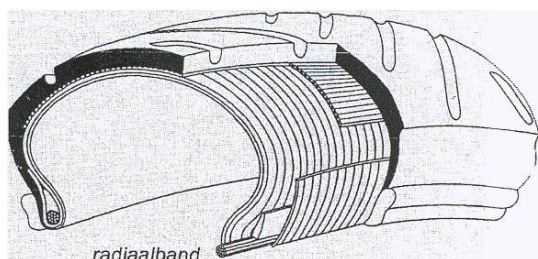
2.3 Invloedsfactoren van de rolweerstandcoëfficiënt

2.3.1 Constructie van de band

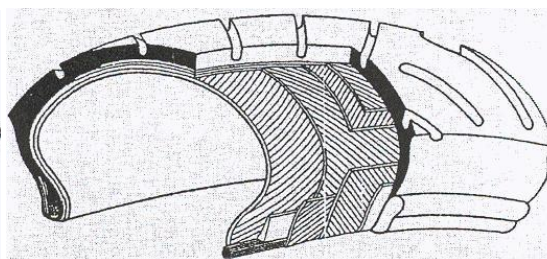
Er zijn twee types banden volgens de bouw van de karkas, namelijk diagonaal – en radiaalbanden. De oriëntatie van de vezels van de band is hierbij verschillend waardoor interne spanningen anders doorgegeven worden. Een band bestaat uit een karkas verstevigd met hieldraden. Het karkas wordt opgebouwd uit verschillende lagen katoen of glasvezeldoeken waarvan de vezels zowel radiaal als diagonaal georiënteerd kunnen zijn. Het rubber dient enkel ter bescherming van het karkas en wordt aan het karkas geïmpregneerd in een mal.

De radiaal band is een band waarbij alle vezels loodrecht op de rijrichting staan, zogenaamd 90 graden banden. De wrijving tussen de glasvezeldoeken onderling gaat stukken omlaag waardoor minder slijtage optreedt. Hierdoor kan zachter en elastischer rubber worden toegepast bij gelijke levensduur. Radiaalbanden hebben tevens een veel geringere hysteresis wat duidelijk wijst op een lager energieverlies.(zie '2.3.2 bandenmateriaal').

Bij diagonaal banden zijn de glasvezel doeken diagonaal over elkaar gelegd met het gevolg dat deze veel meer wrijven over elkaar ter hoogte van het contactoppervlak van de band met het wegdek.



Figuur 4:Radiaalband



Figuur 5: Diagonaalband

(bron: Leenknecht, J, (2005), *Eco-wagen: optimalisatie van de aandrijving en het koetswerk*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen, p27)

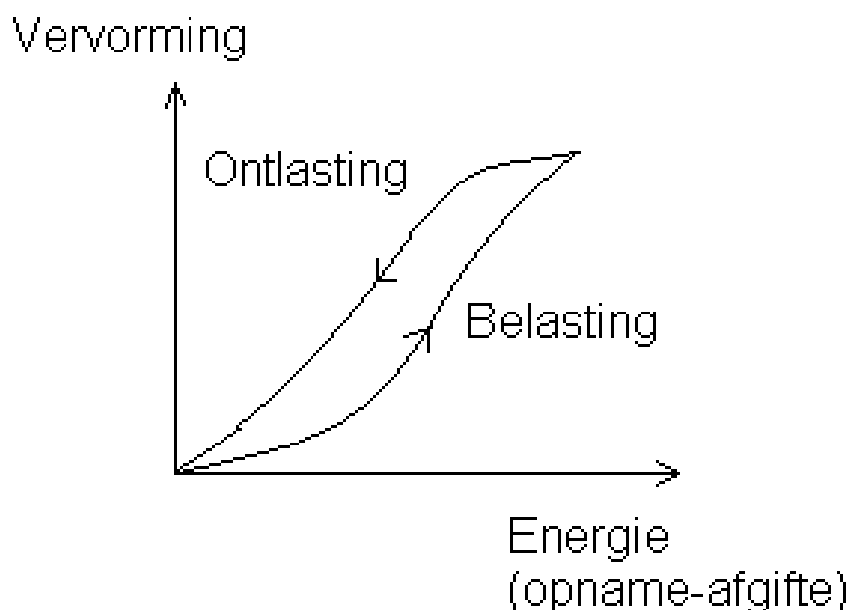
Banden zonder een binnenband hebben ook een lagere rolweerstand dan banden met binnenband. De verliezen van de binnenband zijn afkomstig van de vervorming van de binnenband ten opzichte van buitenband en van de microslip tussen buiten – en binnenband. In het geval van binnenband

mag men deze echter niet verwijderen wegens luchtlekage. Om de microslip te verkleinen kan men een laagje talkpoeder tussen binnen – en buitenband aanbrengen, zodat de rolweerstand ook daalt. De banden met de laagste rolweerstand zijn dus radiaalbanden uitgevoerd zonder binnenband.

2.3.2 Bandenmateriaal

Het rubber van een band is een versterkt rubber elastomeer. Deze bestaan uit polymeren die gecombineerd worden met vulstoffen en zwavel. De polymeren zorgen voor grip met de ondergrond en kunnen vervaardigd zijn uit synthetisch of natuurlijk rubber. Natuurlijk rubber heeft minder hysteresis gedrag dan synthetisch. Hysteresis of elasticiteitshysteresis is het verschijnsel waarbij de energie die nodig is voor de vervorming bij belasting groter is dan bij ontlasting.

Onderstaande figuur geeft de spanning – rek curve van een stuk rubber wat belast en vervolgens ontlast wordt. Deze curve geeft een beeld van de spanning in het rubber in functie van de rek voor de belasting en de ontlasting. De oppervlakte onder de curve is een maat voor de energie die deze vervorming vraagt (bij belasting) of levert (bij ontlasting). De oppervlakte tussen de ontlastingslijn en de belastingslijn is de energie die verloren gaat onder de vorm van warmte.



Figuur 6: hysteresiscurve

(Bron: Leenknecht, J. (2005), *Eco-wagen: optimalisatie van de aandrijving en het koetswerk*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen, p26)

Een band, bestaand uit een natuurlijk rubber, heeft dus een lagere rolweerstandcoëfficiënt dan een band vervaardigd uit synthetisch rubber. De versterkende vulstoffen of additieven zorgen voor minder bandenslijtage. De additieven zorgen ook voor een hogere stijfheid van de band waardoor de rolweerstandcoëfficiënt lager komt te liggen. De zwavel geeft het materiaal een beter cohesie en elasticiteit maar heeft zelf geen grote invloed op de rolweerstandcoëfficiënt van de band.

Als men dus een band met lage rolweerstandcoëfficiënt wil hebben:

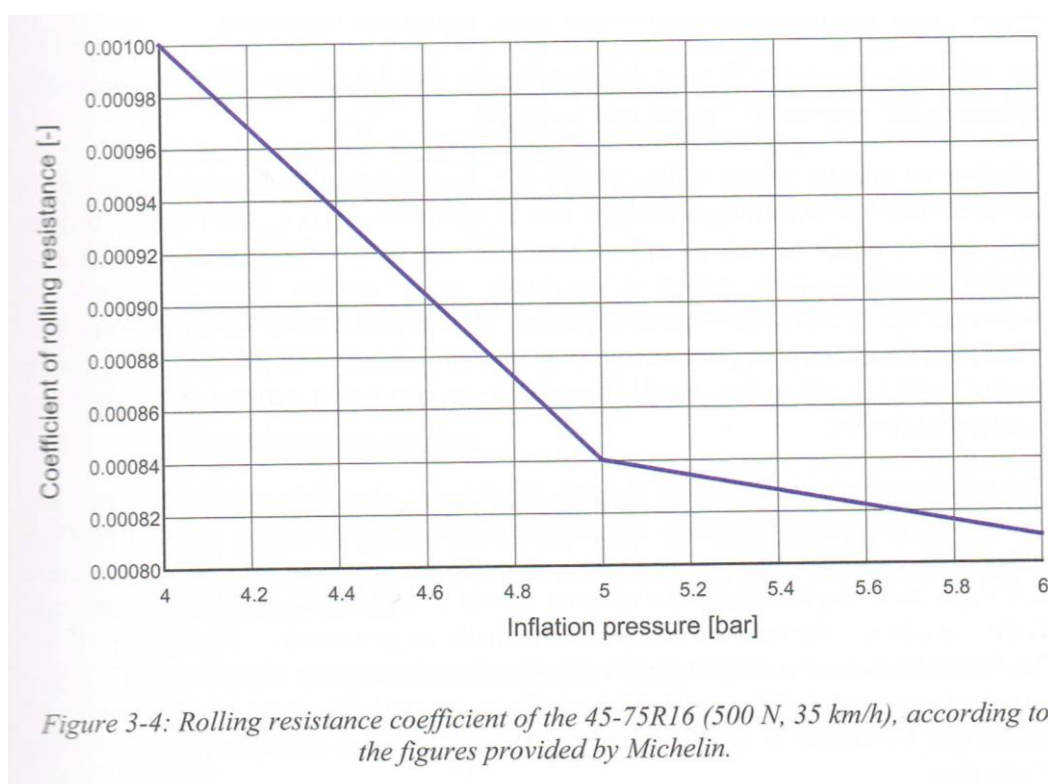
- moet de band vervaardigd zijn uit natuurlijk rubber;
- moet men weten wat voor additieven toegevoegd zijn om de stijfheid te verbeteren.

2.3.3 Bandendruk

De bandendruk heeft een grote invloed op de rolweerstand. Door de druk van de banden te regelen kan men de balans van over – en onderstuur verleggen. Een band met lage druk zal makkelijker vervormen wat bijdragen tot een groter rolweerstandcoëfficiënt. Een band onder hogere druk heeft dus een lager rolweerstandcoëfficiënt, doordat de band minder kan vervormen. Ook is de drifthoek kleiner wat ook bijdraagt tot lagere rolweerstandcoëfficiënt. Er zijn ook wel nadelen gekoppeld aan een band onder hoge druk:

- een band onder hoge druk verhoogt ook de veerconstante van de band waardoor de wagen bij oneffen wegdek meer gaat stuiten. Wanneer de wagen stuitert, vervormt de band bij het neerkomen van de wagen wat bijdraagt tot een energieverlies;
- een band onder hoge druk is ook gevoeliger voor breuk. Het risico op een klapband is dus groter dan bij een band onder lage druk;
- de velgen worden meer belast wat kan leiden tot breuk.

Onderstaande figuur geeft de rolweerstandcoëfficiënt van 45 – 75R16 band van Michelin:



Figuur 7: rolweerstandcoëfficiënt 45/75R16

(bron: Santin, J.J, Onder, C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 3, p53)

2.3.4 Bandenslijtage:

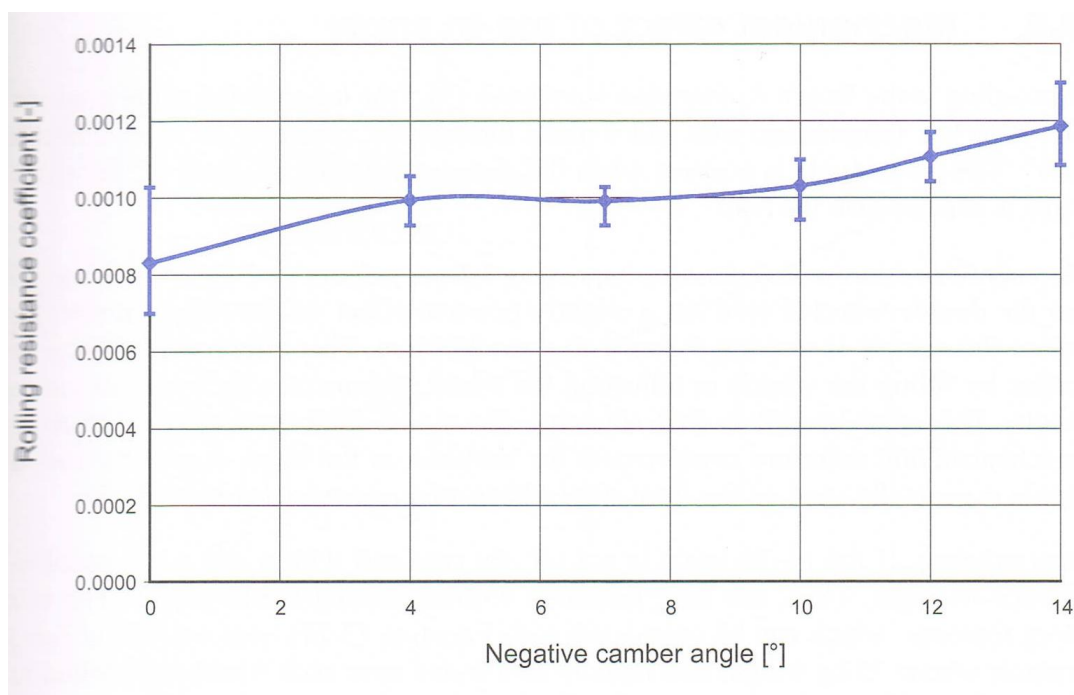
Hoe hoger de bandenslijtage, hoe lager de rolweerstandcoëfficiënt. Een band die aan slijtage onderhevig is, heeft een fijnere laag rubber dan een nieuwe band. Hierdoor is er minder materiaal aanwezig dat vervormbaar is, wat dus bijdraagt tot een lager rolweerstandcoëfficiënt.

2.3.5 Uitlijning van de wagen

De wielgeometrie is een complex fenomeen en omvat enkele parameters, namelijk: camber, caster, inclinatiehoek, sliphoek, toe – en uitspoor. Door het veranderen van deze parameters kan de rolweerstandcoëfficiënt zowel positief als negatief beïnvloed worden. Verdere uitwerking in 'hoofdstuk 2 wielgeometrie en bochten'

Hieronder worden twee figuren vooropgesteld op een Michelin 45 - 75R16

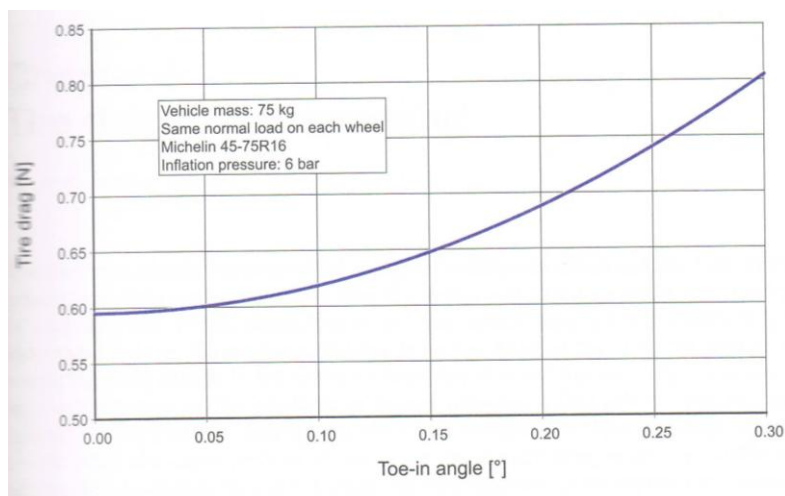
Onderstaande figuur geeft een voorbeeld weer van de invloed op de rolweerstandcoëfficiënt ten gevolge van de camber (wielvlucht):



Figuur 8: Rolweerstand in functie van negatieve camber

(bron: Santin, J.J, Onder, C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 3, p67)

Onderstaande figuur geeft een voorbeeld van de gevolgen weer van toe – en uitspoor weer op de rolweerstand:



Figuur 9: Rolweerstand in functie van toe- en uitspoor

(bron: Santin, J.J, Onder, C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 3, p69)

3 Lagerweerstand

De lagerweerstand (F_L) is de krachtwerking van de lagers op de wagen:

$$F_L = \mu m g \frac{d}{D}$$

Met:

μ : lagerwrijvingcoëfficiënt (dimensieloos)

m : massa van het voertuig (kg)

d : gatdiameter van de lager (m)

D : wioldiameter (m)

g : valversnelling ($9,81 \frac{m}{s^2}$)

De formule is geldig voor ieder type open lager dat correct gemonteerd en gesmeerd wordt.

4 Aerodynamische weerstand

De aerodynamische weerstand F_A is de krachtwerking op de wagen ten gevolge van de luchtweerstand:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A C_x v^2$$

Met:

$$\rho : \text{massadichtheid van de lucht } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$v : \text{snelheid tussen voertuig en lucht } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

C_x : luchtweerstandcoëfficiënt (dimensieloos)

A : frontaal oppervlak van de wagen (m^2)

De snelheid (v) is de snelheid van de wagen t.o.v. van het wegdek als er geen wind aanwezig is. De luchtweerstandcoëfficiënt is afhankelijk van het getal van Reynolds:

$$C_x = f(Re)$$

Met:

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu}$$

Met:

$$\rho : \text{massadichtheid van de lucht } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$v : \text{snelheid tussen voertuig en lucht } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

l : karakteristieke lengte van de wagen (m)

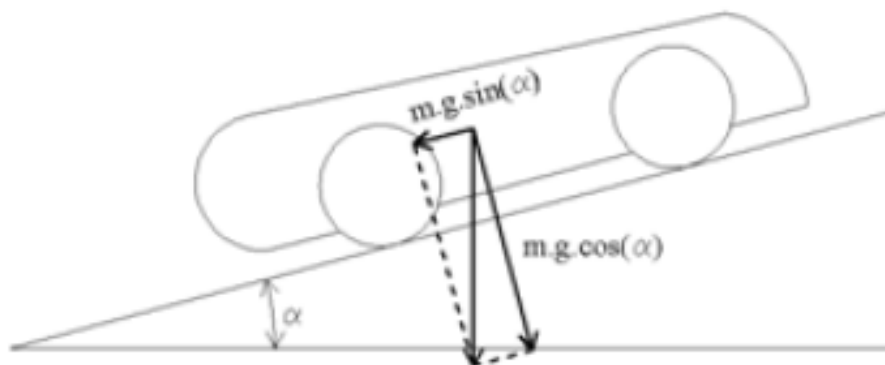
$$\mu : \text{dynamische viscositeit } \left(\text{N} \frac{\text{s}}{\text{m}^2} \right)$$

Neemt men de dichtheid van de lucht en dynamische viscositeit constant dan is er maar één variabele meer, namelijk de snelheid (v).

Algemeen: om de luchtweerstand zo klein mogelijk te houden moet de luchtweerstandcoëfficiënt (C_x) en het frontaal oppervlak (A) zo klein mogelijk zijn.

Het aerodynamische ontwerp van de Energy V werd gerealiseerd door Glen Putteman en Bert de Ryck in 2006-2007. In hun eindwerk 'Aërodynamisch voorontwerp Energy V' beschreven zij hoe het model tot stand is gekomen. Uit hun berekeningen blijkt dat de Energy V een C_x heeft van 0.109832.

5 Hellingsweerstand



Figuur 10: Hellingsweerstand

(Bron: Van Coster, R, Van Hijfte, P, (2010), *elektrische aandrijving van Energy5*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen, p11)

Wanneer de wagen een helling oprijdt, ondervindt deze een hellingsweerstand. Dit is de last door de zwaartekracht te ontbinden in een x – en y – component. De x – component zorgt voor een kracht in de longitudinale richting van de wagen en tegengesteld aan de bewegingszin.

Hellingsweerstand:

$$F_H = m g \sin(\alpha)$$

Met:

m : massa van de wagen (kg)

g : valversnelling $\left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)$

α : hellingshoek ($^\circ$)

6 Versnellingskracht

De versnellingskracht is de kracht op de wagen ten gevolge van de traagheid van de wagen:

$$F_V = m a$$

Met:

m : massa van de wagen (kg)

a : de versnelling van wagen $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

De versnelling (a) is afhankelijk van het beschikbare motorvermogen. Afbeelding X is een simulatie van de motorcurven van de Bafang motor (zie hoofdstuk elektrische aandrijving). Aan de hand van de

motorcurve kan men de beschikbare versnelling afleiden uit het motorvermogen dat vrijkomt bij versnelling. Hieronder wordt een voorbeeld toegelicht. De inputgegevens voor de curve zijn:

Motortype: BPM36V500

Batterij: 48V 10Ah Limn

Controller: 40 A controller

Wielen: 20" fietswielen

Custom parameters: - $C_d * A = 0,1098 * 0,356 = 0,039$

- $C_{rol} = 0,0024$ (Michelin 44 -406)

De custom parameters zijn de theoretische waarden genomen bij een snelheid van 30 km/h. Met een variërende snelheid zullen deze parameters ook veranderen, echter wel in kleine mate. Daarom werkt men in onderstaande simulaties met bovenstaande parameters.

Massa: 45kg (wagen) + 55 kg (piloot) = 100 kg

Figuur X toont twee curven:

Donkere curven: throttlewaarde van 50% (syst A)

lichte curven: throttlewaarde van 55% (Syst B)

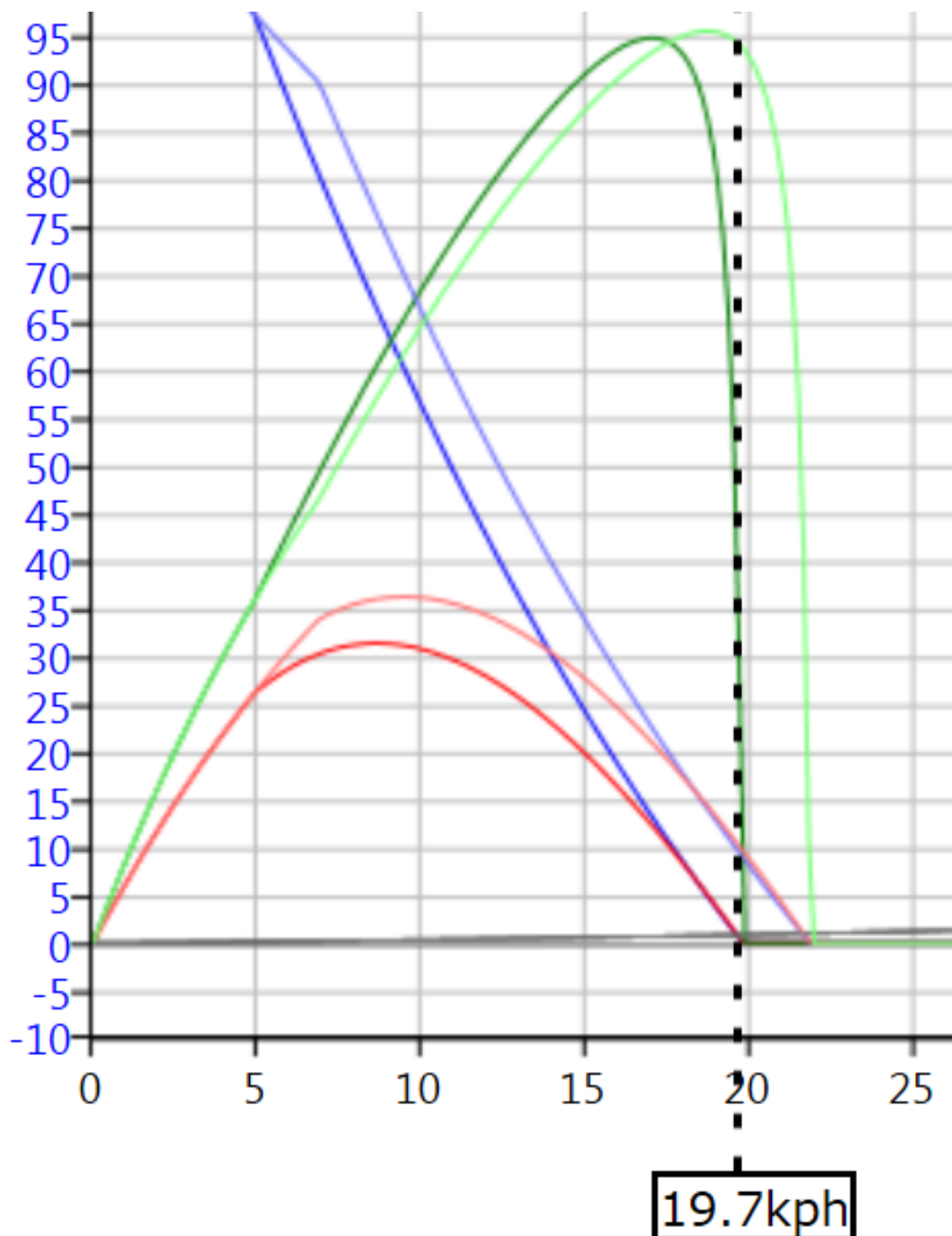
Met:

Groene lijn: efficiëntie (η)

Blauwe lijn: koppel (T)

Rode lijn: vermogen (P)

Grijze lijn: belastingslijn (P)



Figuur 11: vermogencurve simulator

Graph	Syst A	Syst B
Mtr Torque	0.5N-m	9.5N-m
Mtr Power	10W	203W
Load	17W	17W
Efficiency	24.0%	78.4%

Bron: ebikes.ca,(2012), "Thinking Outside the Four-Wheeled Box", geraadpleegd op 12 oktober 2011
 via: <http://www.ebikes.ca/simulator/>

Op een throttlewaarde van 50% rijdt men aan een snelheid van 19,7 km/u en op een constant vermogen van 41,7W (rendement 24%: $\frac{17W}{0,24}$). Geeft men gas bij tot een throttlewaarde van 55%

dan komt er ogenblikkelijk vermogen vrij. De zwarte stippenlijn (bovenstaande figuur X) snijdt de vermogencurve op een throttlewaarde van 55%. Het beschikbare vermogen is hier: $260 W \left(\frac{203}{0,784} \right)$

Het vermogen dat vrijkomt voor versnelling:

$$P_V = P_{systB} - P_{systA} = 260 W - 42 W = 218 W$$

En:

$$P_V = F_v v \Leftrightarrow F_v = \frac{P_v}{v}$$

Met:

F_v : ogenblikkelijke versnellingskracht

v : ogenblikkelijke snelheid (hier: $19,7 \frac{km}{h} = 5,47 \frac{m}{s}$)

Dus:

$$F_v = \frac{218 W}{5,47 m/s} = 39,85 N$$

De ogenblikkelijke versnelling (a) is dan:

$$F_v = m a \Leftrightarrow a = \frac{F_v}{m} = \frac{39,85 N}{100 kg} = 0,4 \frac{m}{s^2}$$

De versnelling neemt echter af bij stijgende snelheid doordat het motorvermogen afneemt. Wanneer het motorvermogen op een throttlewaarde van 55% de belastingslijn snijdt, dan komt de motor in een evenwichtspunt en rijdt de wagen met een constante snelheid.

7 Afwegen van weerstanden

De parameters van de weerstanden worden met elkaar vergeleken. Hierdoor kan men bepalen wat de belangrijkste parameters zijn om de wagen aan te passen of voor een nieuw ontwerp. In het onderstaand voorbeeld worden de parameters opgesomd. Erna behandelt men afzonderlijke belastinggevallen en worden de belangrijkste parameters afgewogen.

Parameters:

Parameter	waarde	eenheid
Rolweerstandcoëfficiënt f_r	0,0024	-
Lagerwrijvingcoëfficiënt μ	0,0015	-
Lagergatdiameter d	0,012	m
Wieldiameter D	0,508	m
Luchtdichtheid ρ	1,29	kg/m ³
Snelheid v	8,3	m/s
Luchtweerstandcoëff. C_x	0,1098	-
Frontaal oppervlak A	0,356	m ²
Totale massa m	100	kg
Valversnelling g	9,81	m/s ²

7.1 Wagen op vlakke ondergrond met constante snelheid met bovenstaande parameters

Wanneer de wagen aan een constante snelheid rijdt, zorgen de rol-, lager-, en luchtweerstand enkel voor de belasting:

Rolweerstand:

$$F_r = f_r m g = 0,0024 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,3544 \text{ N}$$

Luchtweerstand:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A C_x v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,356 \text{ m}^2 \cdot 0,1098 \cdot \left(8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1,7329 \text{ N}$$

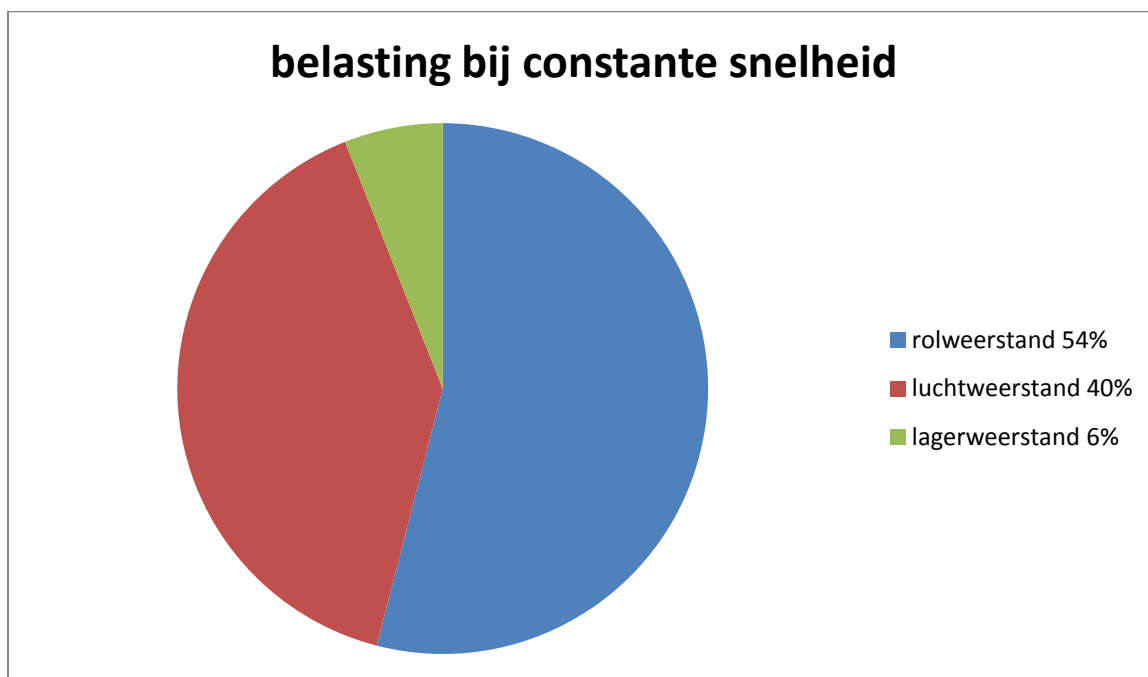
Lagerweerstand:

Men beschikt over zes identieke lagers:

$$F_l = 6 \mu m g \frac{d}{D} = 6 \cdot 0,0015 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0,012 \text{ m}}{0,508 \text{ m}} = 0,2086 \text{ N}$$

De totale belasting op de wagen is de som van de drie bovenstaande weerstanden:

$$F_{tot} = F_r + F_A + F_l = 2,3544 + 1,7329 + 0,2086 = 4,2959 \text{ N}$$



Figuur 12: belasting bij constante snelheid

De rolweerstand heeft de grootste impact op de totale belasting. De lagerweerstand is aanzienlijk kleiner dan de lucht – en rolweerstand. In de meeste gevallen wordt de lagerweerstand verwaarloosd.

Als men de weerstand van de wagen lager wil krijgen, moet men bepaalde parameters aanpassen. Bij de rolweerstand zijn de rolweerstandcoëfficiënt en de massa van groot belang. Aangezien de gegeven rolweerstand (0,0024 van Michelin 44 – 406) al zeer laag is, kan men deze parameter niet op grote schaal veranderen. De massa vormt hier de meest aanpasbare parameter.

Als men de aerodynamica van de wagen wil verbeteren, moet de luchtweerstandcoëfficiënt en het frontaal oppervlak aanpassen. $C_x \cdot A$ moet zo klein mogelijk zijn.

Hieronder zal men twee belastingsgevallen bepalen waar ofwel de massa met 10 % gereduceerd wordt ofwel de $C_x \cdot A$ met 10% gereduceerd wordt om zo de belangrijkste parameter te vinden.

7.1.1 Wagen op vlakke grond met constante snelheid en massa 10 % gereduceerd

Massa 10% gereduceerd:

$$m_{red} = m \cdot 0,9 = 100 \text{ kg} \cdot 0,9 = 90 \text{ kg}$$

Men zal opnieuw alle weerstanden bepalen echter met gereduceerde massa:

Rolweerstand:

$$F_r = f_r m_{red} g = 0,0024 \cdot 90 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,1190 \text{ N}$$

Luchtweerstand:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A C_x v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,356 \text{ m}^2 \cdot 0,1098 \cdot \left(8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1,7329 \text{ N}$$

Lagerweerstand:

Men beschikt over zes identieke lagers:

$$F_l = 6 \mu m_{red} g \frac{d}{D} = 6 \cdot 0,0015 \cdot 90 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0,012 \text{ m}}{0,508 \text{ m}} = 0,1877 \text{ N}$$

De totale belasting op de wagen is de som van de drie bovenstaande weerstanden:

$$F_{tot,mred} = F_r + F_A + F_l = 2,1190 + 1,7329 + 0,1877 = 4,0396 \text{ N}$$

Het verschil in totale weerstand is:

$$F_\Delta = F_{tot} - F_{tot,mred} = 4,2959 \text{ N} - 4,0396 \text{ N} = 0,2563 \text{ N}$$

Het percentage dat de weerstand kleiner is:

$$\Delta\% = \frac{0,2563 \text{ N}}{4,2959 \text{ N}} \cdot 100\% = 6\%$$

7.1.2 Wagen op vlakke grond met constante snelheid en $C_x \cdot A$ 10% gereduceerd

$C_x \cdot A$ met 10% gereduceerd:

$$C_x A_{red} = C_x \cdot A \cdot 0,9 = 0,039 \text{ m}^2 \cdot 0,9 = 0,0351 \text{ m}^2$$

Men zal opnieuw alle weerstanden bepalen echter met betere aerodynamica:

Rolweerstand:

$$F_r = f_r m g = 0,0024 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,3544 \text{ N}$$

Luchtweerstand:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A C_x v^2 = 0,9 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,356 \text{ m}^2 \cdot 0,1098 \cdot \left(8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1,5596 \text{ N}$$

Lagerweerstand:

Men beschikt over zes identieke lagers:

$$F_l = 6 \mu m_{red} g \frac{d}{D} = 6 \cdot 0,0015 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0,012 \text{ m}}{0,508 \text{ m}} = 0,2086 \text{ N}$$

De totale belasting op de wagen is de som van de drie bovenstaande weerstanden:

$$F_{tot,mred} = F_r + F_A + F_l = 2,3544 + 1,5596 + 0,2086 = 4,1226 \text{ N}$$

Het verschil in totale weerstand is:

$$F_{\Delta} = F_{tot} - F_{tot,CxAred} = 4,2959 \text{ N} - 4,1226 \text{ N} = 0,1733 \text{ N}$$

Het percentage dat de weerstand kleiner is:

$$\Delta_{\%} = \frac{0,1733 \text{ N}}{4,2959 \text{ N}} \cdot 100 \% = 4\%$$

7.2 Wagen bergop met constante snelheid

De wagen ondervindt dezelfde weerstanden als op vlakke grond, alleen komt de hellingsweerstand erbij:

Wanneer de wagen aan een constante snelheid rijdt, zorgen de rol – en luchtweerstand enkel voor de belasting:

Rolweerstand:

$$F_r = f_r m g = 0,0024 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,3544 \text{ N}$$

Luchtweerstand:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A C_x v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,356 \text{ m}^2 \cdot 0,1098 \cdot \left(8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1,7329 \text{ N}$$

Lagerweerstand:

Men beschikt over zes identieke lagers:

$$F_l = 6 \mu m g \frac{d}{D} = 6 \cdot 0,0015 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0,012 \text{ m}}{0,508 \text{ m}} = 0,2086 \text{ N}$$

Hellingsweerstand bij helling van 1 rad:

$$F_H = m g \sin(\alpha) = 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin(1 \text{ rad}) = 15,4088 \text{ N}$$

De totale belasting op de wagen is de som van de drie bovenstaande weerstanden:

$$F_{tot} = F_r + F_A + F_l + F_H = 2,3544 + 1,7329 + 0,2086 + 15,4088 = 19,7047 \text{ N}$$



Figuur 13: belasting bergop

7.2.1 Wagen bergop met constante snelheid en massa 10 % gereduceerd

massa met 10% gereduceerd:

$$m_{red} = m \cdot 0,9 = 100 \text{ kg} \cdot 0,9 = 90 \text{ kg}$$

Men zal opnieuw alle weerstanden bepalen echter met gereduceerde massa:

Rolweerstand:

$$F_r = f_r m_{red} g = 0,0024 \cdot 90 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,1190 \text{ N}$$

Luchtweerstand:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A C_x v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,356 \text{ m}^2 \cdot 0,1098 \cdot \left(8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1,7329 \text{ N}$$

Lagerweerstand:

Men beschikt over zes identieke lagers:

$$F_l = 6 \mu m_{red} g \frac{d}{D} = 6 \cdot 0,0015 \cdot 90 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0,012 \text{ m}}{0,508 \text{ m}} = 0,1877 \text{ N}$$

Hellingweerstand, bij helling van 1 rad:

$$F_H = m_{red} g \sin(\alpha) = 90 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin(1 \text{ rad}) = 13,8679 \text{ N}$$

De totale belasting op de wagen is de som van de drie bovenstaande weerstanden:

$$F_{tot,mred} = F_r + F_A + F_l + F_H = 2,1190 + 1,7329 + 0,1877 + 13,8679 = 17,9075 N$$

Het verschil in totale weerstand is:

$$F_{\Delta} = F_{tot} - F_{tot,mred} = 19,7047 N - 17,9075 N = 1,7972 N$$

Het percentage dat de weerstand kleiner is:

$$\Delta\% = \frac{1,7972 N}{19,7047 N} \cdot 100\% = 9,12\%$$

7.2.2 Wagen bergop met constante snelheid en $C_x \cdot A$ 10% gereduceerd

Als men de $C_x \cdot A$ met 10% reduceert:

$$C_x A_{red} = C_x \cdot A \cdot 0,9 = 0,039 m^2 \cdot 0,9 = 0,0351 m^2$$

Men zal opnieuw alle weerstanden bepalen echter met verbeterde aerodynamica:

Rolweerstand:

$$F_r = f_r m g = 0,0024 \cdot 100 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 2,3544 N$$

Luchtweerstand:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A C_x v^2 = 0,9 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,356 m^2 \cdot 0,1098 \cdot \left(8,3 \frac{m}{s}\right)^2 = 1,5596 N$$

Lagerweerstand:

Men beschikt over zes identieke lagers:

$$F_l = 6 \mu m_{red} g \frac{d}{D} = 6 \cdot 0,0015 \cdot 100 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{0,012 m}{0,508 m} = 0,2086 N$$

Hellingweerstand, bij helling van 1 rad:

$$F_H = m g \sin(\alpha) = 100 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \sin(1 rad) = 15,4088 N$$

De totale belasting op de wagen is de som van de drie bovenstaande weerstanden:

$$F_{tot,mred} = F_r + F_A + F_l + F_H = 2,3544 + 1,5596 + 0,2086 + 15,4088 = 19,5314 N$$

Het verschil in totale weerstand is:

$$F_{\Delta} = F_{tot} - F_{tot,CdAred} = 19,7047 N - 19,5314 N = 0,1733 N$$

Het percentage dat de weerstand kleiner is:

$$\Delta_{\%} = \frac{0,1733 \text{ N}}{19,7047 \text{ N}} \cdot 100 \% = 0,9 \%$$

7.3 Wagen op vlakke grond met constante versnelling van 0,3 m/s

Wanneer de wagen met een constante versnelling rijdt, zorgen de rol-, lucht- en versnellingskracht voor de totale weerstand.

Rolweerstand:

$$F_r = f_r m g = 0,0024 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,3544 \text{ N}$$

Luchtweerstand:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A C_x v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,356 \text{ m}^2 \cdot 0,1098 \cdot \left(8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1,7329 \text{ N}$$

Lagerweerstand:

Men beschikt over zes identieke lagers:

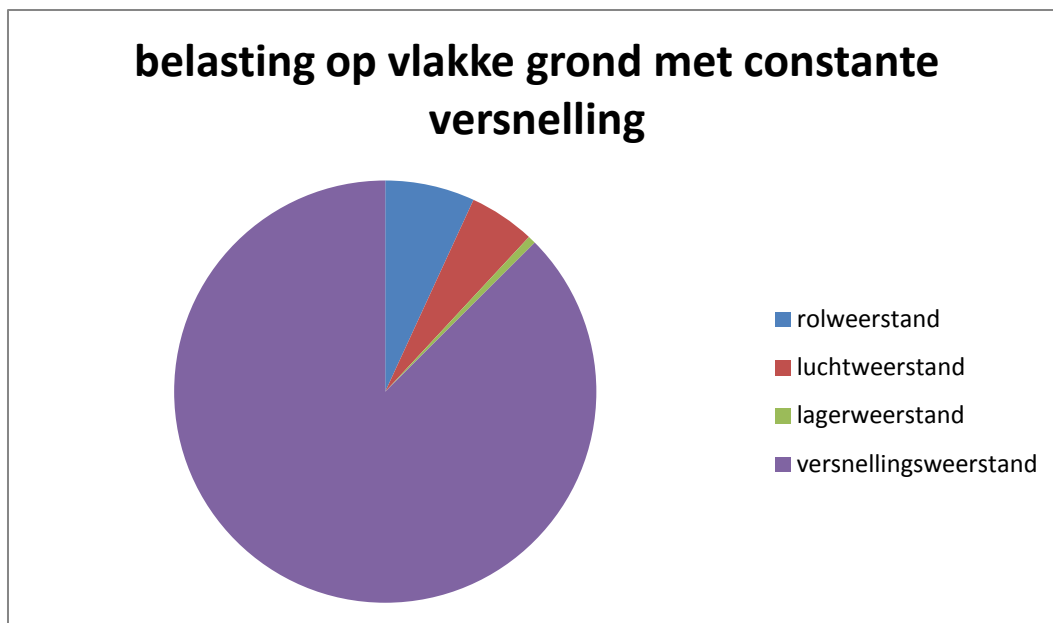
$$F_l = 6 \mu m g \frac{d}{D} = 6 \cdot 0,0015 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0,012 \text{ m}}{0,508 \text{ m}} = 0,2086 \text{ N}$$

Versnellingkracht:

$$F_v = m a = 100 \text{ kg} \cdot 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 30 \text{ N}$$

De totale belasting op de wagen is de som van de drie bovenstaande weerstanden:

$$F_{tot} = F_r + F_A + F_l + F_v = 2,3544 + 1,7329 + 0,2086 + 30 = 34,2959 \text{ N}$$



Figuur 14: belasting op vlakke grond met constante versnelling

7.3.1 Wagen op vlakke grond met constante versnelling van $0,3 \text{ m/s}^2$ en massa 10% gereduceerd

Als men de massa met 10% reduceert:

$$m_{red} = m \cdot 0,9 = 100 \text{ kg} \cdot 0,9 = 90 \text{ kg}$$

Men zal opnieuw alle weerstanden bepalen echter met gereduceerde massa:

Rolweerstand:

$$F_r = f_r m_{red} g = 0,0024 \cdot 90 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,1190 \text{ N}$$

Luchtweerstand:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A C_x v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,356 \text{ m}^2 \cdot 0,1098 \cdot \left(8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1,7329 \text{ N}$$

Lagerweerstand:

Men beschikt over zes identieke lagers:

$$F_l = 6 \mu m_{red} g \frac{d}{D} = 6 \cdot 0,0015 \cdot 90 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0,012 \text{ m}}{0,508 \text{ m}} = 0,1877 \text{ N}$$

Versnellingskracht:

$$F_v = m a = 90 \text{ kg} \cdot 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 27 \text{ N}$$

De totale belasting op de wagen is de som van de drie bovenstaande weerstanden:

$$F_{tot,mred} = F_r + F_A + F_l + F_v = 2,1190 + 1,7329 + 0,1877 + 27 = 31,0396 \text{ N}$$

Het verschil in totale weerstand is:

$$F_{\Delta} = F_{tot} - F_{tot,mred} = 34,2959 \text{ N} - 31,0396 \text{ N} = 3,2563 \text{ N}$$

Het percentage dat de weerstand kleiner is:

$$\Delta\% = \frac{3,2563 \text{ N}}{34,2959 \text{ N}} \cdot 100\% = 9,5\%$$

7.3.2 Wagen op vlakke grond met constante versnelling van $0,3 \text{ m/s}^2$ en $C_x \cdot A$ 10% gereduceerd

Als men de $C_x \cdot A$ met 10% reduceert:

$$C_x A_{red} = C_x \cdot A \cdot 0,9 = 0,039 \text{ m}^2 \cdot 0,9 = 0,0351 \text{ m}^2$$

Men zal opnieuw alle weerstanden bepalen echter met gereduceerde $C_x \cdot A$:

Rolweerstand:

$$F_r = f_r m g = 0,0024 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,3544 \text{ N}$$

Luchtweerstand:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho A C_x v^2 = 0,9 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,356 \text{ m}^2 \cdot 0,1098 \cdot \left(8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1,5596 \text{ N}$$

Lagerweerstand:

Men beschikt over zes identieke lagers:

$$F_l = 6 \mu m_{red} g \frac{d}{D} = 6 \cdot 0,0015 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0,012 \text{ m}}{0,508 \text{ m}} = 0,2086 \text{ N}$$

Versnellingkracht:

$$F_v = m a = 100 \text{ kg} \cdot 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 30 \text{ N}$$

De totale belasting op de wagen is de som van de drie bovenstaande weerstanden:

$$F_{tot} = F_r + F_A + F_l + F_v = 2,3544 + 1,5596 + 0,2086 + 30 = 34,1226 \text{ N}$$

Het verschil in totale weerstand is:

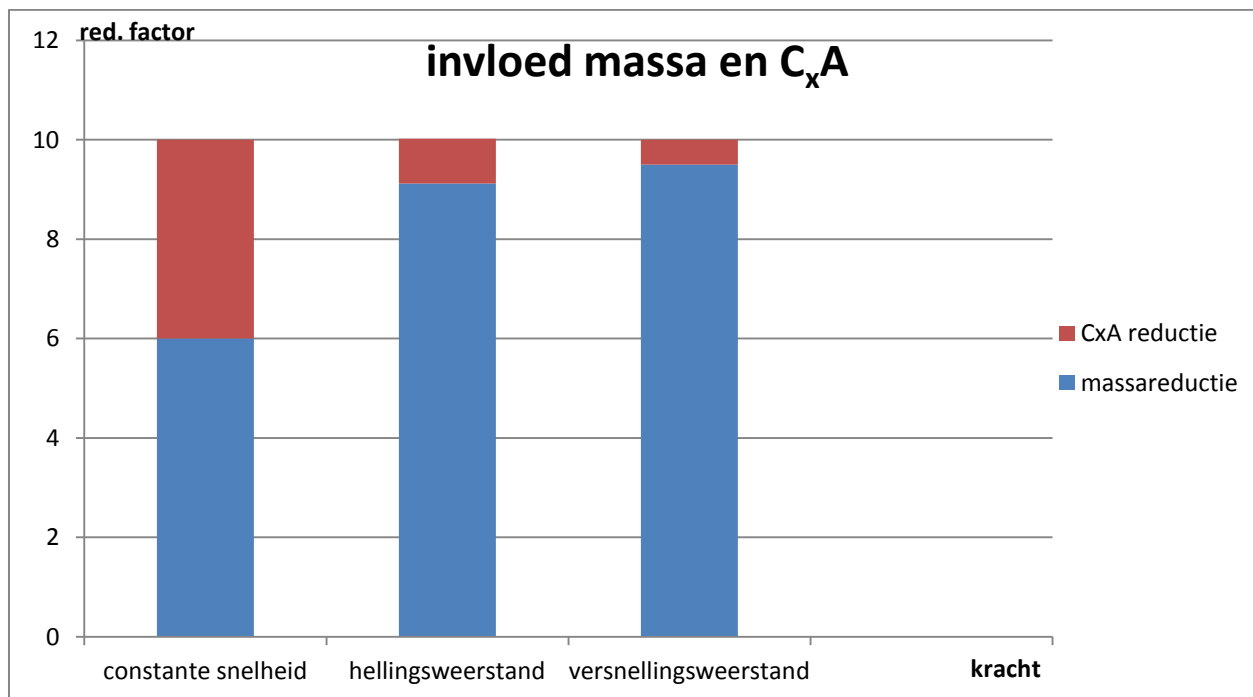
$$F_{\Delta} = F_{tot} - F_{tot, C_x A_{red}} = 34,2959 \text{ N} - 34,1226 \text{ N} = 0,1733 \text{ N}$$

Het percentage dat de weerstand kleiner is:

$$\Delta_{\%} = \frac{0,1733 \text{ N}}{34,2959 \text{ N}} \cdot 100 \% = 0,5 \%$$

8 Besluit van verschillende belastingsgevallen

Onderstaande grafiek geeft de invloed van de twee parameters: massa (m) en $C_x A$.



Figuur 15: invloed massa op C_xA

De reductie van de massa heeft de grootste invloed op de weerstandsbalans van de wagen. De aerodynamica is niet onbelangrijk aangezien de luchtweerstand toeneemt met het kwadraat van de snelheid. De gemiddelde snelheid is hier 30 km/h. Hierdoor is de luchtweerstand in mindere mate aanwezig om de weerstandbalans te beïnvloeden.

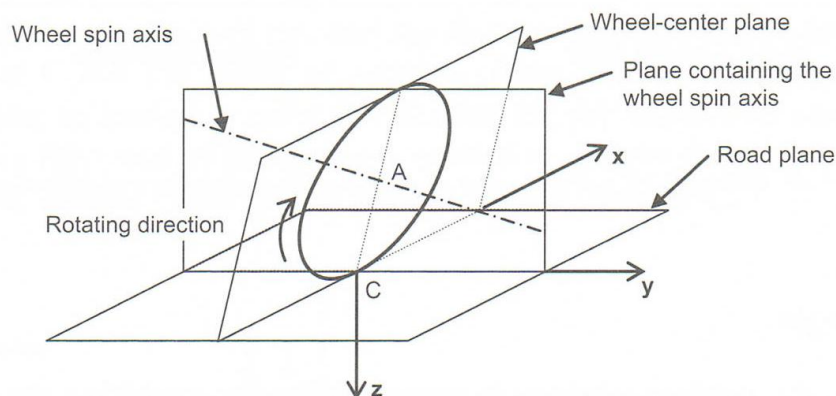
De belangrijkste parameter om het verbruik te doen dalen is dus de massa. Deze moet zo klein mogelijk zijn.

In een volgend stadium, wanneer een nieuwe wagen ontworpen wordt, moet men de wagen kleiner en korter maken om gewicht te besparen. Tevens verlaagt men ook het frontaal oppervlak wanneer men de wagen verkleint, wat ook bijdraagt tot een lagere weerstand.

Hoofdstuk 2 wielgeometrie en bochten

1 Assenstelsel wielopstelling

Figuur 16 geeft de band-weg contact assenstelsels weer (road contact axis system RCAS):



Figuur 16: band-weg contact assenstelsel

(bron: Santin, J.J., Onder, C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 3, p58)

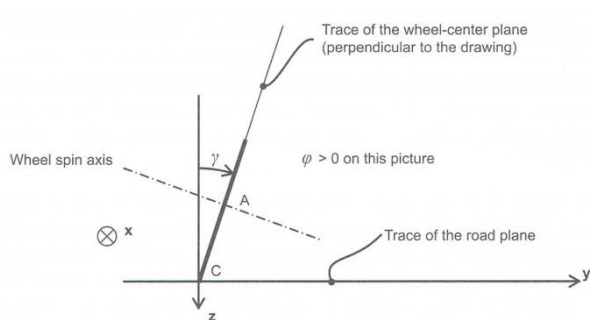
Het RCAS is een rechtshandig orthonormaal assenstelsel waar het theoretisch wegcontactpunt (C) de oorsprong is. Er zijn drie vlakken: het wielcentervlak waar het wiel binnen valt, het grondvlak en het rechtstaand vlak loodrecht op het grondvlak dat de wielas bevat.

Het assenstelsel bestaat uit een x, y en z as:

- x – as is de as waar het wielcentervlak en grondvlak elkaar snijden. De zin van deze as ligt volgens de draairichting van het wiel;
- y – as ligt op het grondvlak en wordt gekozen om te voldoen aan een rechtshandig assenstelsel;
- z – as ligt loodrecht op het contactpunt van wiel en grond en is naar beneden gericht.

Met bovenstaande figuur kan men twee hoekposities van de wielen definiëren, namelijk inclinatie – en sliphoeck.

Inclinatiehoek (γ): dit is de hoek tussen het wielcentervlak en het loodrecht staand vlak. Figuur X schetst de situatie:

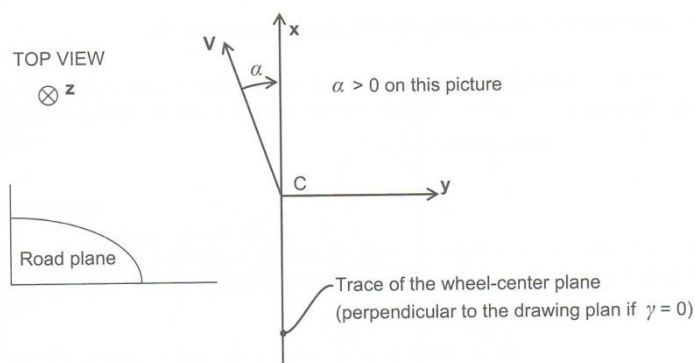


Figuur 17: inclinatiehoek

(bron: Santin, J.J, Onder,C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 3, p56)

Sliphoek (α):

Figuur 18: de sliphoeck ligt volgens de V – as



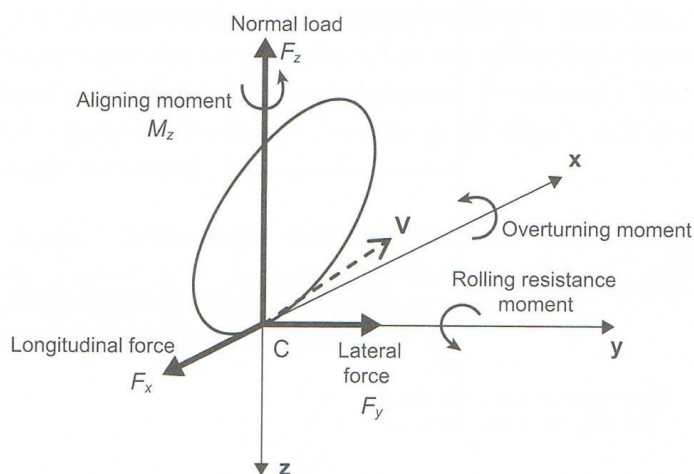
Figuur 18: sliphoeck

(bron: Santin, J.J, Onder,C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 3, p57)

De vector V (V – as) wordt berekend aan de hand van de straal van de bocht en de afstand tussen het theoretisch weg – band contactpunt en het rotatiepunt van het voertuig.

2 Krachten en koppels

Figuur 19 geeft de krachten en koppels weer die inwerken op een wiel. Elke as heeft een kracht of koppel. Er zijn dus zes vectoren in het assenstelsel aanwezig.



Figuur 19: krachten en koppels

(bron: Santin, J.J, Onder, C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 3, p58)

De drie krachtvectoren zijn:

- in de x – richting: de longitudinale kracht F_x
- in de y – richting: de laterale of (bochtnemende) kracht F_y
- in de z – richting: de normaalkracht F_z

De drie momentvectoren werkend op punt C werkend van band op grond:

- in de x – richting: het kantelmoment M_x
- in de y – richting: het rolweerstandmoment M_y
- in de z – richting: het zelflijnend moment M_z

Elke krachtcomponent wordt in detail beschreven:

Normale kracht:

Alle krachten en koppels op het wiel zijn in functie van de normale belasting en andere variabelen. De normaalkracht (F_z) neemt rechtstreeks het gewicht van de wagen op. F_z wordt doorgegeven via de ophanging van het wiel naar het chassis. De belasting per wiel wordt berekend door verdeling van

het gewicht van de wagen en de verticale dynamische effecten ten gevolge van laterale en longitudinale krachtverdeling.

De kracht F_z is altijd tegengesteld aan de richting van de z-as en wordt als positief beschouwd.

De longitudinale kracht:

De longitudinale kracht wordt bekomen door een aandrijf – of remkoppel, alsook door de rolweerstand (F_R). Wanneer geen aandrijf – of remkoppel aanwezig is bestaat deze louter uit de rolweerstand:

$$F_x = -F_R = -f_r F_z$$

De laterale kracht:

De laterale kracht treedt op bij het nemen van een bocht, namelijk door de centrifugaalkracht die aangrijpt in het zwaartepunt van het voertuig. De wielen vormen de elementen die voor het contact tussen weg en wagen zorgen. De wielen brengen dus een kracht ten gevolge van de centrifugaalkracht over op de weg: de laterale kracht F_y .

Bij lage sliphoeken (minder dan 5°) is de relatie nagenoeg lineair:

$$F_y = C_a \alpha$$

Met:

α : de sliphoek (°)

C_a : de bochtstijfheid $\left(\frac{N}{\circ}\right)$

De bochtstijfheidsformule die hieronder vermeld wordt, is een vereenvoudigde vorm van “Pacejka formule”. Voor een gegeven band, normale kracht (F_z) en bandendruk P ziet deze er als volgt uit:

$$C_a = (a_{30} + a_{31} P) \sin \left(2 \tan^{-1} \left(\frac{F_z}{a_{40} + a_{41} P} \right) \right)$$

Met:

P : bandendruk (bar)

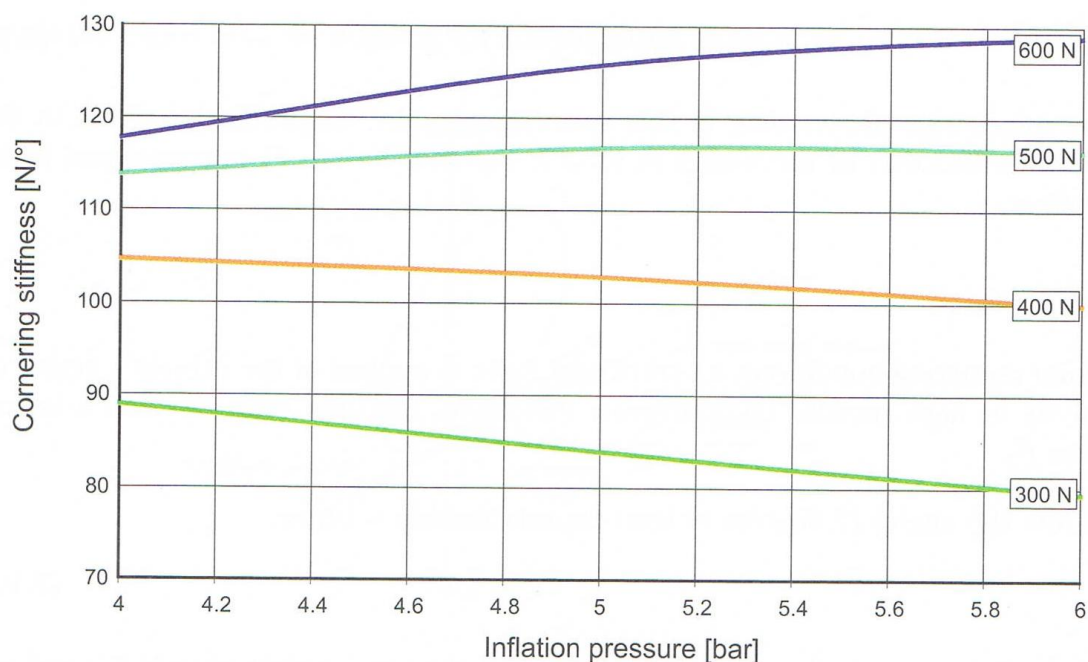
F_z : normaalkracht (kN)

a_{ij} : zijn 4 coëfficiënten van Pacejkas formule

Voor de Michelin 45-75R16 zijn de coëfficiënten:

a_{30}	a_{31}	a_{40}	a_{41}
57,806	15,101	-0,082	0,186

Figuur 20 geeft de bochtstijfheid curven weer bij verschillende normaalkracht en bandendruk:



Figuur 20: bochtstijfheid in functie van normaalkracht en bandendruk

(bron: Santin, J.J, Onder, C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 3, p60)

Zelflijnend moment:

Het zelflijnend moment (M_z) is de weerstand tegen het draaien van de wagen en heeft de grootste invloed op het stuurgedrag van de wagen.

Bij lage sliphoeken (minder dan 5°) is de relatie nagenoeg lineair:

$$M_z = G_z \alpha$$

Met:

α : de sliphoek ($^\circ$)

$$G_z = \text{uitlijningsstijfheid} \left(\frac{N}{^\circ} \right)$$

De zelflijnende formule die hieronder vermeld wordt, is een vereenvoudigde vorm van "Pacejka formule". Voor een gegeven band, normale kracht (F_z), bandendruk P en wielen zonder camber ziet deze er als volgt uit:

$$G_z = \frac{(c_{30} + c_{31}P)F_z^2 + (c_{40} + c_{41}P)F_z}{e^{(c_{50} + c_{51}P)F_z}}$$

Met:

P : bandendruk (bar)

F_z : normaalkracht (kN)

c_{ij} : zijn 6 coëfficiënten van Pacejka's formule

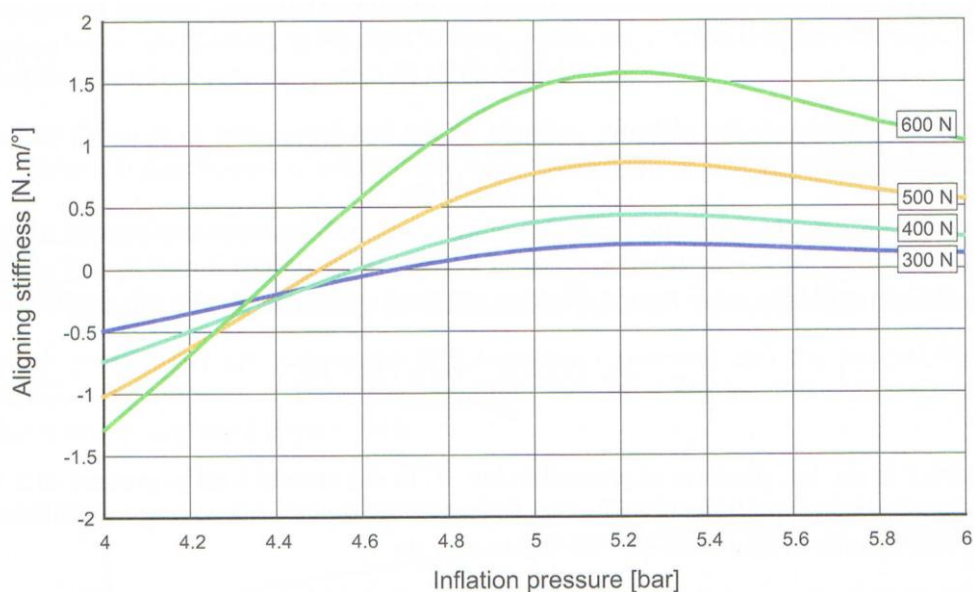
Voor de Michelin 45-75R16 zijn de coëfficiënten:

c_{30}	c_{31}	c_{40}	c_{41}	c_{50}	c_{51}
1,802	-0,201	-1,804	0,194	-2,927	-0,047

De randvoorwaarden waaraan deze coëfficiënten moeten voldoen zijn:

$$4 < P < 6 \text{ bar en } 0,3 < F_z < 0,6 \text{ kN}$$

Figuur 21 geeft de zelflijningsstijfheid weer bij verschillende normaalkracht en bandendruk:



Figuur 21: zelflijningsstijfheid in functie van normaalkracht en bandendruk

(bron: Santin, J.J, Onder, C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 3, p62)

Totale rollende weerstand:

Bij het nemen van een bocht treedt de totale rollende weerstand op (F_r) die bestaat uit de rolweerstand (F_R) en de kracht door het nemen van de bocht (F_y). Beide krachten worden geprojecteerd in de x – richting. De formule ziet er als volgt uit:

$$F_r = F_R \cos \alpha + F_y \sin \alpha$$

Met:

F_r : de totale rollende weerstand (N)

F_R : rolweerstand (N)

α : de sliphoeek (°)

De wrijvingscoëfficiënten:

De statische -en glijcoëfficiënten zijn van belang bij het slippen van een band tijdens het nemen van een bocht. Deze coëfficiënten worden gedefinieerd als de verhouding van de laterale kracht ten opzichte van de normale kracht onder twee verschillende omstandigheden:

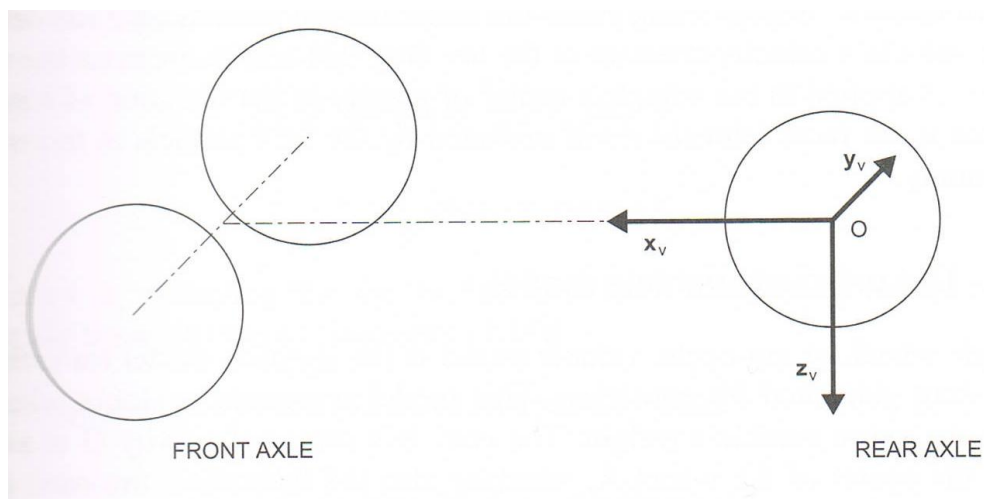
- wanneer de band lateraal op de grond kleeft, is de statische wrijvingscoëfficiënt berekend met de grootste laterale kracht;
- wanneer de band lateraal slipt, is de wrijvingscoëfficiënt berekend gebruikmakend van de laterale kracht dat onafhankelijk is van de slipsnelheid.

3 Krachtwerking tijdens bocht

3.1 Algemeen

Het VFCS (*Vehicle fixed coordinate system*) is een rechtshandig orthogonaal assenstelsel waar de wagen in rijklare staat is op horizontale grond maar zonder piloot. De oorsprong ligt op de achteras en in het symmetrisch longitudinaal vlak.

Figuur 22 geeft het assenstelsel weer bij driewielig voertuig:



Figuur 22: assenstelsel driewielig voertuig

(bron: Santin, J.J, Onder, C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 4, p73)

De coördinaten zijn:

x_v : voorwaarts volgens de longitudinale symmetrisch vlak

y_v : lateraal langs de rechterkant van het voertuig

z_v : verticaal naar beneden gericht

Men bekijkt dit driewielig model in “steady – state”, dit wil zeggen dat alle variabelen niet veranderen in functie van tijd. Hierdoor kan een evenwicht gevonden worden van de krachtbalans in dit assenstelsel.

In dit model beweegt het voertuig vooruit met een constante snelheid (V_G) en een constante bochtradius (R). Het voertuig is onderhevig aan een kracht (F_c) die in het zwaartepunt van het voertuig aangrijpt. De centrifugaal kracht is:

$$F_c = \frac{m V_g^2}{R}$$

Met:

m : totale massa (kg)

V_G : de snelheid van het voertuig

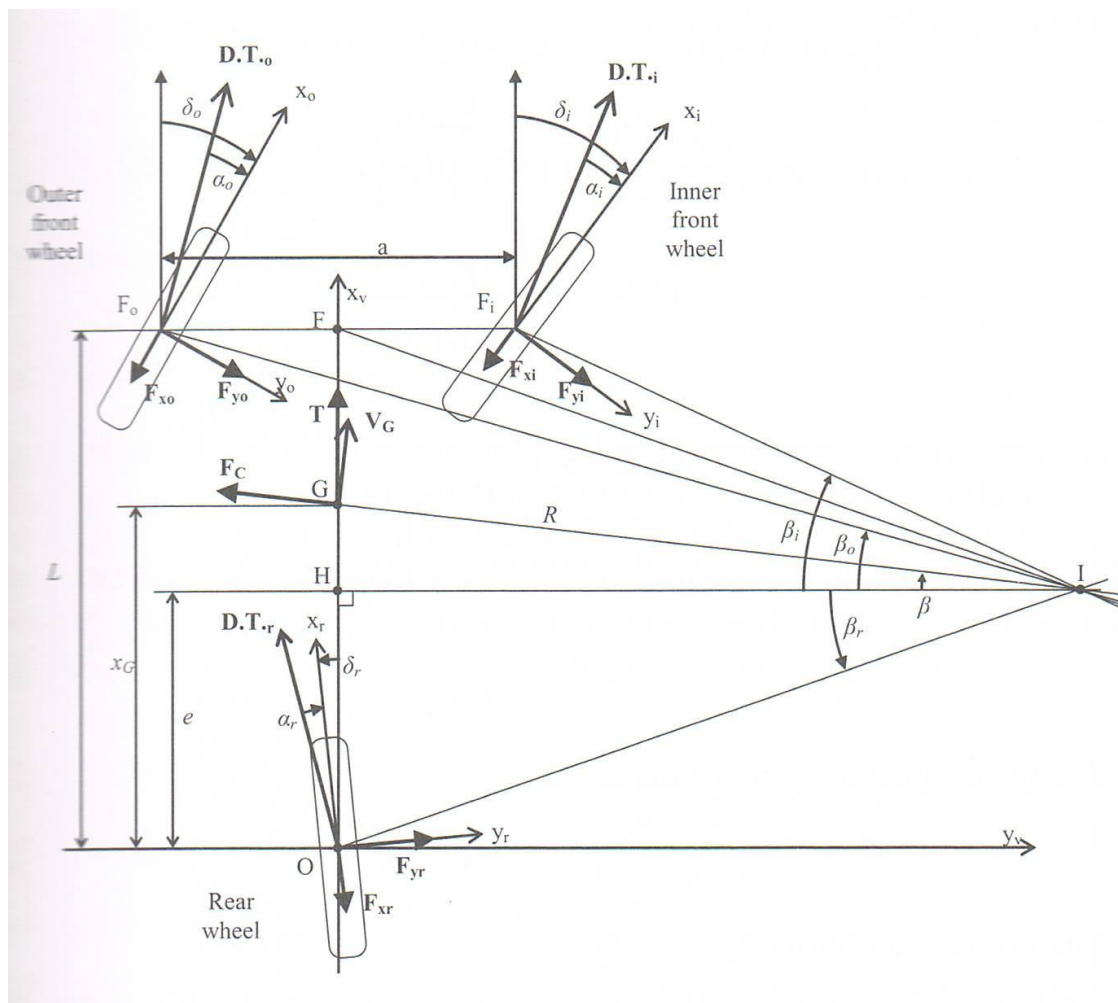
R : bochtradius

De wielen staan loodrecht op de grond. De kracht ten gevolge van een bocht, de normaalkracht en longitudinale kracht worden vermeld. Het zelflijnend moment komt echter niet aan bod aangezien deze geen grote invloed heeft op voertuigdynamica.

Er is dan nog de aandrijfkracht (T), dit is de kracht dat de aandrijving moet leveren om het voertuig op constante snelheid te houden doordat de rolweerstand toeneemt. Deze kracht grijpt ook aan in het zwaartepunt van het voertuig.

3.2 Opstellen vergelijkingen

Figuur 23 geeft de voertuigdynamica weer van een driewielig voertuig.



Figuur 23: voertuigdynamica

(bron: Santin, J.J., Onder, C.H., Bernard, J., Isler, D., Kobler, P., Kolb, F., Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen, hoofdstuk 4, p81)

Volgende parameters moeten gegeven zijn om aan voertuigdynamica te beginnen:

- voertuigkarakteristieken als massa (m), wielbasis (L), spoorbreedte (a) en de coördinaten van het zwaartepunt (x_G, y_G);
- bochtcondities zoals de stuurhoeken ($\delta_r, \delta_i, \delta_o$) respectievelijk het achter-, binnen- en buitenwielen;
- de snelheid (V_G).

De onbekenden zijn:

- de positie van middelpunt van de draaicirkel (I) gedefinieerd door hoek β en de bochtradius R ;
- de drie sliphoecken ($\alpha_r, \alpha_i, \alpha_o$) respectievelijk het achter-, binnen- en buitenwiel;
- de bandkarakteristieken als bochtstijfheid (C_a) en de rolweerstandcoëfficiënt f_r die beide afhankelijk zijn van de normaalkracht en de bandendruk;
- de krachten op de banden voor elk wiel, namelijk de normaalkrachten (F_{zr}, F_{zi}, F_{zo}), de laterale krachten bij het nemen van de bocht (F_{yr}, F_{yi}, F_{yo}) en de longitudinale krachten (F_{xr}, F_{xi}, F_{xo});
- de aandrijfkracht (T) om de wagen op constante snelheid te houden;

In totaal zijn er 19 onbekenden. Er moeten dus 19 vergelijkingen opgesteld worden om het stelsel oplosbaar te maken.

Algemeen stelt men volgende formules op:

→ De bochtstijfheid van ieder wiel apart:

$$C_a = (c_{30} + c_{31} P) \sin \left(2 \tan^{-1} \left(\frac{F_z}{c_{40} + c_{41} P} \right) \right)$$

Met:

P : bandendruk (bar)

F_z : normaalkracht (kN)

→ de longitudinale (F_x) kracht die per wiel afzonderlijk moet berekend worden:

$$F_x = -F_R = -f_r F_z$$

→ de bochtstijfheid en rolweerstandcoëfficiënt zijn afhankelijk van de bandendruk:

$$c_{aj} = f(P_j, F_{zj}) \quad (\text{vergelijking (1), (2), (3)})$$

$$f_{rj} = f(P_j)$$

De longitudinale kracht op de wielen is:

$$F_{xj} = f(f_{rj}, F_{zj}) \quad (\text{vergelijking (4), (5), (6)})$$

het mechanisch gedrag van de banden voor elk wiel afzonderlijk:

$$F_y = f(C_{aj}, \alpha_j) \quad (\text{vergelijking (7), (8), (9)})$$

Met:

$$j = (r, i, o)$$

$$\tan(\delta_i - \alpha_i) = \frac{L - e}{R \cos \beta - \frac{a}{2}} \quad (\text{vergelijking (10)})$$

$$\tan(\delta_o - \alpha_o) = \frac{L - e}{R \cos \beta + \frac{a}{2}} \quad (\text{vergelijking (11)})$$

$$\tan(\delta_r - \alpha_r) = \frac{-e}{R \cos \beta} \quad (\text{vergelijking (12)})$$

$$\sin \beta = \frac{x_G - e}{R} \quad (\text{vergelijking (13)})$$

→ wielgeometrie evenwichtsvergelijkingen:

$$T + F_c \sin \beta - F_{xr} \cos \delta_r - F_{xi} \cos \delta_i - F_{xo} \cos \delta_o - F_{yr} \sin \delta_r - F_{yi} \sin \delta_i - F_{yo} \sin \delta_o = 0$$

(vergelijking (14))

$$-F_c \cos \beta - F_{xr} \sin \delta_r + F_{xi} \sin \delta_i + F_{xo} \sin \delta_o + F_{yr} \cos \delta_r + F_{yi} \cos \delta_i + F_{yo} \cos \delta_o = 0$$

(vergelijking (15))

$$F_{zr} + F_{zi} + F_{zo} = m g \quad (\text{vergelijking (16)})$$

$$\frac{a}{2}(F_{zo} - F_{zi}) - F_c(r_r - z_G) \cos \beta = 0 \quad (\text{vergelijking (17)})$$

$$x_G F_{zr} = (F_{zo} + F_{zi})(L - x_G) \quad (\text{vergelijking (18)})$$

$$\frac{a}{2} \{ (-F_{xo} \cos \delta_o - F_{yo} \sin \delta_o) - (-F_{xi} \cos \delta_i - F_{yi} \sin \delta_i) \} - x_G (-F_{xr} \sin \delta_r + F_{yr} \cos \delta_r) + (L - x_G) \{ (+F_{xo} \sin \delta_o + F_{yo} \cos \delta_o) + (+F_{xi} \sin \delta_i + F_{yi} \cos \delta_i) \} = 0 \quad (\text{vergelijking (19)})$$

Met:

r_r : rolradius van het wiel

z_G : hoogte van het zwaartepunt (m)

3.3 Resultaten

Aan de hand van een stelsel kan men deze vergelijkingen uitwerken. Dit type is een niet – lineair stelsel met 19 vergelijkingen en 19 onbekenden. Dit stelsel kan men onmogelijk uitrekenen met de hand. Daarom werd een beroep gedaan op berekeningsoftware. Men koos eerst voor het programma Maple. Aangezien Maple stelsels analytisch uitrekent, worden de meest juiste resultaten bekomen. Maple kon dit stelsel echter niet oplossen. Daarom werd overgegaan naar het softwarepakket Matlab. Matlab berekent het stelsel numeriek wat altijd een benadering is van de

werkelijke resultaten. Hier moet men zorgen dat de beginvoorwaarden zo juist mogelijk zijn. Dan wordt het programma geschreven dat de iteratie uitvoert. Bij Matlab moet men een vector opgeven als initiële gok. De vector is een schatting van de onbekenden en wordt door het programma in de vergelijkingen ingevuld. Telkenmale men een resultaat bekommt, wordt dit resultaat opnieuw in de vergelijkingen ingevuld totdat het resultaat convergeert. Iedere uitvoering van het softwarepakket is een iteratie. Aan de hand van deze iteraties streeft het programma numeriek naar een oplossing van de vergelijkingen. Het is belangrijk om de initiële gok zo goed mogelijk te kiezen, zodat het programma kan streven naar de zo juist mogelijke convergentiewaarde.

In bijlage I vindt men de uitgebreide berekeningen in matlab.

3.3.1 Oplossing stelsel

Onbekende	resultaat
α_i (°)	6,7779
α_o (°)	7,0048
α_r (°)	6,6865
R (m)	9,1004
e (m)	1,0669
β (°)	0,2086
F_{yo} (N)	782,5958
F_{yi} (N)	275,6544
F_{yr} (N)	680,2342
T (N)	202,4048
F_{zo} (N)	475,2607
F_{zi} (N)	124,2393
F_{zr} (N)	381,5000
F_{xo} (N)	-1,1406
F_{xi} (N)	-0,2982
F_{xr} (N)	-0,9156
$C_{\alpha o}$ (N/°)	115,4630
$C_{\alpha i}$ (N/°)	39,3522
$C_{\alpha r}$ (N/°)	101,7322

Bij het gebruik van een numeriek softwarepakket is het nagaan van de geloofwaardigheid van de resultaten een must. Men zal bovenstaande resultaten beredeneren op hun juistheid.

De sliphoecken ($\alpha_i, \alpha_o, \alpha_r$):

Bij laagverbruik voertuigen waar de snelheden niet al te hoog liggen en draaicirkels relatief groot zijn, zijn de sliphoecken klein. Wanneer dit type voertuigen een rechte beweging maakt, liggen de sliphoecken onder de 5°. Bij het nemen van een bocht liggen deze waarden hoger. Men ziet ook dat het buitenwiel een hogere waarde heeft. Dit komt doordat het buitenwiel aan een hoger toerental draait, wat wil zeggen dat de snelheid van het buitenwiel hoger ligt alsook de sliphoek. Bovenstaande resultaten voldoen hieraan.

Bochtradius (R):

De draaicirkel van het voertuig is twee keer de radius (R) wat hier dus 18,2 meter is. De draaicirkel van de wagen staat nu op 20 meter. De berekende waarden verschillen niet veel met de werkelijkheid.

De normaalkrachten (F_{zo} , F_{zi} , F_{zr}):

Bij het nemen van de bocht heeft de wagen de neiging om te kantelen aan de zijde van het buitenwiel ten gevolge van de centrifugaalkracht. Dit wil zeggen dat het buitenwiel meer dan het binnenwiel belast wordt. Bovenstaande resultaten staven dit.

De rolweerstand (F_{xo} , F_{xi} , F_{xr}):

Bovenstaande waarden tonen dat de rolweerstand negatief en relatief klein zijn. Dit klopt doordat de rolweerstandcoëfficiënt zo klein is. De zin van de kracht is tegengesteld aan de beweging zodat de krachtwerking negatief is volgens het gekozen assenstelsel.

Andere parameters:

De andere bovenstaande parameters zijn in functie van de reeds besproken parameters. Hierdoor kan men ervan uitgaan dat de resultaten goed benaderd zijn.

3.3.2 Totale rolweerstand

De rolweerstand ten gevolge van een bocht definieert men als totaal rollende weerstand. Deze totaal rollende weerstand is al vermeld geweest. De formule is:

$$F_r = F_R \cos \alpha + F_y \sin \alpha$$

Met:

F_r : de totale rollende weerstand (N)

F_R : rolweerstand (N)

α : de sliphoek (°)

Door het softwarepakket Matlab zijn de sliphoeken en de krachten bekend. De totaal rollende weerstand van de wagen bestaat uit de som van de totaal rollende weerstand van elk wiel afzonderlijk:

$$F_{r,tot} = F_{r,i} + F_{r,o} + F_{r,r}$$

$$F_{r,tot} = (F_{x,i} \cos \alpha_i + F_{y,i} \sin \alpha_i) + (F_{x,o} \cos \alpha_o + F_{y,o} \sin \alpha_o) + (F_{x,r} \cos \alpha_r + F_{y,r} \sin \alpha_r)$$

$$F_{r,tot} = (0,3 \cos(6,8)) + (275,7 \sin(6,8)) + (1,1 \cos(7,0) + 782,6 \sin(7,0)) + (0,9 \cos(6,7) + 680,2 \sin(6,7)) \\ = 209,5N$$

Aan de maximale snelheid van 45 km/u en de kleinste draaicirkel 18 m genereert de wagen een totaal rollende weerstand van 209,5 N

Hoofdstuk3: Elektrische aandrijving

1 Inleiding

Voor de elektrische aandrijving van de Energy 5 werd reeds de Crystalyte hub motor aangekocht. De motor was een permanente magneet synchrone motor. De werking hiervan werd uitvoerig beschreven in het eindwerk 'Elektrische aandrijving'(Van Coster R, Van Hijfte P, (2010), *elektrische aandrijving van Energy5*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement ingenieurswetenschappen). Het eindvoorstel van dit onderzoek was om wagen met een constante snelheid van +- 33 km/u te laten rijden met vermogenbegrenzing. Het beste resultaat dat hiermee kon behaald worden was 6,6 Wh/km.

2 Testen

Naast de bouw van de wagen moet ook een geschikte rijstrategie vastgelegd worden. Ter controle van het eindwerk "Elektrische aandrijving 2011-2012" en om voeling te krijgen met de elektromotor werden met het houten testchassis verschillende testresultaten opgenomen:

- Vermogenbegrenzing met constante snelheid van 33 km/u
Resultaat: 20,64 Wh
- Optrekken en uitlopen van 45 naar 25 km/u
Resultaat is hetzelfde als bij vermogenbegrenzing aan constante snelheid

De opbouw van de Crystalyte motor leent er zich niet toe om uit te lopen: door de permanente magneten ondervindt het wiel een tegenwerkende kracht, een remmend effect, wanneer de motor niet bekrachtigd is.

We zien dus eenzelfde verbruik voor de twee rijstrategieën. Indien we nu de motor zouden aanpassen zodat deze beter kan uitlopen, zou de wagen langer in vrijloop kunnen rijden en dus minder verbruiken.

3 Theoretisch verbruik

Alvorens definitief een beslissing te nemen hebben we het verbruik van de twee rijstrategieën eerst theoretisch berekend. Alhoewel we er ons van bewust waren dat tussen de theorie en de praktijk vaak een groot verschil is, was het toch een goede basisevaluatie.

Als de wagen op snelheid is en de aandrijving stopgezet wordt, zal hij verder uitlopen door de inertie. De wrijvingsweerstand zorgen ervoor dat de wagen afgeremd wordt. Hoe lager deze weerstanden, hoe langer de wagen zal uitlopen. De inertie is tevens recht evenredig met de massa. Dit wil zeggen dat indien we de massa zouden verhogen, de wagen ook langer zou uitlopen. Deze optie werd

uitgesloten want de massa heeft een veel slechtere invloed op de wrijvingen. (zie hoofdstuk 1, punt 8 besluit van verschillende belastingsgevallen)

3.1 Constante snelheid

De constante snelheid neemt men hier op 30 km/u of 8,3 m/s (opgelegd door het wedstrijdreglement). Hiervoor moet men de inwerkende krachten op de wagen bepalen (zie hoofdstuk 1). De inwerkende krachten op de wagen zijn de rol – en luchtweerstand. De lagerweerstand laat men hier buiten beschouwing.

De inwerkende krachten op de wagen tegen een snelheid van 8,3 m/s:

$$F_{\text{weerstand}} = F_R + F_A$$

Met:

$$F_R = C_R m g$$

Met:

$$C_R : \text{rolweerstand} = 0,0024 \text{ (Michelin 45 – 406)}$$

$$m: \text{massa van de wagen (100 kg)}$$

$$g: \text{valversnelling} \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

En:

$$F_A = \frac{1}{2} C_X A \rho v^2$$

Met:

$$C_x: \text{luchtweerstandcoëfficiënt (0,1098)}$$

$$A: \text{frontaal oppervlak (0,356 m}^2\text{)}$$

$$\rho: \text{massadichtheid van de lucht} \left(1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$v: \text{de snelheid van de wagen} \left(8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Met behulp van onderstaande curve kan het motorvermogen afgelezen worden:

De gegevens om curve te bekomen zijn:

Motortype: BPM36V500

Batterij: 48V 10Ah LiMn

Controller: 40 A controller

Wielen: 20" wielen

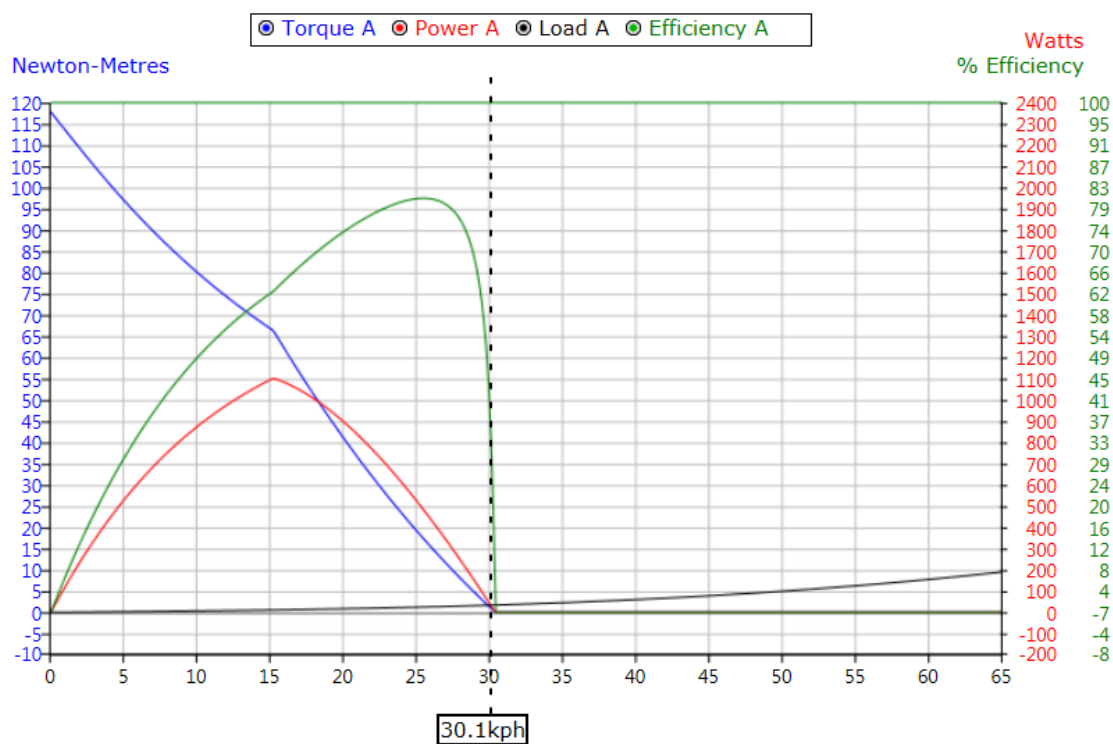
Custom parameters: - $C_d * A = 0,1098 * 0,356 = 0,039$

- $C_{rol} = 0,0024$ (Michelin 44 -406)

De custom parameters zijn de theoretische waarden genomen bij een snelheid van 30 km/h. Bij een variërende snelheid zullen deze parameters ook veranderen, echter in kleine mate. Daarom werkt men in onderstaande simulatie met bovenstaande parameters.

Gewicht: 45kg (wagen) + 55 kg (piloot) = 100 kg

Throttlewaarde (gaspedaal) van 76% van vollast



Figuur 24: vermogencurve throttlewaarde 76% van vollast

Graph	Syst A
Mtr Torque	1.2N-m
Mtr Power	40W
Load	33W
Efficiency	40.3%

Bron: ebikes.ca,(2012), "Thinking Outside the Four-Wheeled Box", geraadpleegd op 12 oktober 2011 via: <http://www.ebikes.ca/simulator/>

De motor werkt op een efficiëntie van 40,3% , dus:

$$P_{toegevoerd} = \frac{P_{as}}{\eta} = \frac{40 \text{ W}}{0,403} = 99,25 \text{ W}$$

Met:

$$\eta: \text{rendement (40,3\%)}$$

Het toegevoerd vermogen aan de motor bedraagt 99,25 Watt om de constante snelheid aan te houden bij bovenstaande belasting.

Als men op een afstand van 1000 meter met een gemiddelde snelheid van 30 km/u rijdt, dan:

$$t = \frac{x}{v} = \frac{1000 \text{ m}}{8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 120 \text{ s}$$

Met:

$$t: \text{tijd (s)}$$

$$x: \text{afstand (m)}$$

$$v: \text{snelheid } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

Het verbruik is dan:

$$W = \int P dt = \int_0^{120} 99,25 dt = [99,25 t]_0^{120} = 99,25 \cdot 120 - 0 = 11910 \text{ J}$$

Het verbruik voor 1km wordt dan:

$$11910 \text{ J} = 3,3 \text{ Wh}$$

3.2 Start en stop strategie

Bij het uitlopen moet men een gemiddelde snelheid van 30 km/u behouden. Daarom loopt de wagen uit van 35 km/u tot 25 km/u. Hierna wordt weer opgetrokken tot 35 km/u. De wagen bezit aan bepaalde snelheid een gegeven energie.

De wagen bezit dus energie, namelijk kinetische en rotatie energie:

$$E_{tot} = E_{kin} + E_{rot} = \frac{m v^2}{2} + \frac{I \omega^2}{2}$$

Met:

m: massa van wagen (kg)

v: snelheid van de wagen ($\frac{m}{s}$)

I: massatraagheidsmoment van wielen (kgm^2)

ω : hoeksnelheid van wielen ($\frac{rad}{s}$)

Het traagheidsmoment van het wiel is:

$$I = \frac{m (R^2 + r^2)}{2} = \frac{1 (0,254^2 + 0^2)}{2} = 0,0323 \text{ kgm}^2$$

Met:

m: massa van het wiel (kg)

R: buitenstraal van het wiel (m)

r: binnenstraal van het wiel (m)

De rotatie energie is:

$$E_{rot} = \frac{I \omega^2}{2} = \frac{I (\frac{v}{r})^2}{2}$$

Met:

$$r \omega = v \Leftrightarrow \frac{v}{r} = \omega$$

Met:

v: snelheid van het wiel

r: straal van het wiel

De kinetische energie van de wagen is:

$$E_{kin} = \frac{m v^2}{2}$$

De totale energie welke de wagen bezit, is de beschikbare arbeid van de wagen:

$$E_{tot} = W = \int F dx$$

Omdat de wagen uitloopt van 35 km/h tot 25km/h is de energie:

$$\Delta E_{tot} = E_{tot,2} - E_{tot,1}$$

Met:

$$E_{tot,2} = E_{kin,2} + E_{rot,2} = \frac{m v_2^2}{2} + \frac{I \left(\frac{v_2}{r}\right)^2}{2}$$

Met:

m : massa (100 kg)

v_2 : snelheid van de wagen $\left(35 \frac{km}{h} = 9,7 \frac{m}{s}\right)$

r : straal van het wiel (0,254 m)

I : traagheidsmoment van het wiel (0,0323 kgm²)

En:

$$E_{tot,1} = E_{kin,1} + E_{rot,1} = \frac{m v_1^2}{2} + \frac{I \left(\frac{v_1}{r}\right)^2}{2}$$

Met:

m : massa (100 kg)

v_1 : snelheid van de wagen $\left(25 \frac{km}{u} = 6,9 \frac{m}{s}\right)$

r : straal van het wiel (0,254 m)

I : traagheidsmoment van het wiel (0,0323 kgm²)

Dus:

$$\Delta E_{tot} = \left(\frac{m v_2^2}{2} + \frac{I \left(\frac{v_2}{r}\right)^2}{2} \right) - \left(\frac{m v_1^2}{2} + \frac{I \left(\frac{v_1}{r}\right)^2}{2} \right)$$

De wagen bezit 3 wielen dus moet men factor 3 bij de wielen vermenigvuldigen.

$$\Delta E_{tot} = \left(\frac{100 \cdot 9,7^2}{2} + 3 \cdot \frac{0,0323 \left(\frac{9,7}{0,254} \right)^2}{2} \right) - \left(\frac{100 \cdot 6,9^2}{2} + 3 \cdot \frac{0,0323 \left(\frac{6,9}{0,254} \right)^2}{2} \right)$$

$$\Delta E_{tot} = 2358,8 J$$

Dit is de energie die opgebruikt wordt wanneer de wagen uitbolt van 35 naar 25 km/u. De totale energie wordt hier omgezet in arbeid (W).

De krachtwerking op de wagen is een tweedegraadsfunctie:

Met:

$$F_{weerstand} = F_R + F_A = C_R m g + \frac{1}{2} C_X A \rho v^2$$

De luchtweerstand neemt kwadratisch toe in functie van de snelheid, maar kan lineair benaderd worden aangezien de snelheid betrekkelijk laag ligt. Zo kan men een gemiddelde kracht interpoleren:

$$F_{weerst,gem} = \frac{F_{weerst,1} + F_{weers,2}}{2}$$

Dus:

$$F_{weers,1} = F_R + F_A = C_R m g + \frac{1}{2} C_X A \rho v^2 = 2,3544 + 0,0252 \cdot 6,9^2 = 3,55 N$$

Met:

C_R : de rolweerstand = 0,0024 (Michelin 45 – 406)

m : de massa van de wagen (100 kg)

g : de valversnelling $\left(9,81 \frac{m}{s^2} \right)$

C_x : de luchtweerstandcoëfficiënt (0,1098)

A : frontaal oppervlak (0,356 m²)

ρ : massadichtheid van de lucht $\left(1,29 \frac{kg}{m^3} \right)$

v : de snelheid van de wagen $\left(\frac{m}{s} \right)$

En:

$$F_{weers,2} = F_R + F_A = C_R m g + \frac{1}{2} C_X A \rho v^2 = 2,3544 + 0,0252 \cdot 9,7^2 = 4,73 \text{ N}$$

En:

C_R : de rolweerstand = 0,0024 (michelin 45 – 406)

m : de massa van de wagen (100 kg)

g : de valversnelling $\left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$

C_x : de luchtweerstandcoëfficiënt (0,1098)

A : frontaal oppervlak (0,356 m²)

ρ : massadichtheid van de lucht $\left(1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

v : de snelheid van de wagen $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

Dus:

$$F_{weerst,gem} = \frac{F_{weerst,1} + F_{weers,2}}{2} = \frac{3,55 + 4,73}{2} = 4,14 \text{ N}$$

$$E = W = \int F dx$$

$$\Leftrightarrow dW = F dx$$

$$\Leftrightarrow dx = \frac{dW}{F}$$

$$\Leftrightarrow \Delta x = \frac{\Delta W}{F} = \frac{2358,8 \text{ J}}{4,14 \text{ N}} = 569 \text{ m}$$

3.3 Zuinigste strategie ?

Wanneer men constant rijdt met een snelheid van 30 km/h, heeft men een permanent constant verbruik van 3,3 Wh/km. Het verbruik is opmerkelijk laag aangezien de motor een laag vermogen naar de as moet overbrengen, doordat de belasting van de wagen zeer klein is.

Wanneer de wagen uitbolt van 35 naar 25 km/u ziet men dat een theoretische benaderde uitbolafstand van 569 meter bereikt wordt. Gedurende deze afstand is de motor niet bekrachtigd en is er géén verbruik.

Het verbruik wordt op een afstand van 1 km berekend. Bij het optrekken van de wagen van 25 naar 35 km/u rijdt men met een constante versnelling $0,3 \text{ m/s}^2$.

Bij de wagen die uitbolt start men de snelheid op 35 km/u. Nu zal men uitbollen tot 25 km/u en legt een afstand van 569 meter af. Dan trekt deze wagen weer op met een constante versnelling van $0,3 \text{ m/s}^2$ op tot een snelheid van 35 km/u.

De krachtwerking op de wagen stijgt met toename van de snelheid. Doordat men met een benaderde lineaire functie werkt, neemt men opnieuw de geïnterpoleerde waarde ($F_{\text{weerst,gem}}$). Naast deze kracht is er nog de traagheidskracht ten gevolge van de snelheid (F_{tr}).

De gemiddelde krachtwerking tijdens het interval van de versnelling is:

$$F_{tot} = F_{\text{weerst,gem}} + F_{tr} = 4,14 + 30 = 34,14 \text{ N}$$

Met:

$$F_{tr} = m a = 100 \cdot 0,3 = 30 \text{ N}$$

En:

m : massa van de wagen (100 kg)

a : versnelling ($0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Men moet ook de tijd bepalen hoe lang deze kracht aangehouden wordt, met behulp van de formule uit de kinematica:

$$v(t) = v_0 + a t$$

Met:

$$v_0: \text{snelheid (op } t = 0 \text{ s)} = \left(6,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$a: \text{versnelling} = 0,3 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$v(t): \text{snelheid na } t \text{ seconden} \left(9,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

t : tijd (s)

$$\Leftrightarrow t = \frac{v(t) - v_0}{a} = \frac{9,7 - 6,9}{0,3} = 9,3 \text{ s}$$

Het gevraagd vermogen op de motoras is:

$$P_{as} = F_{tot} v = 34,14 \cdot 9,7 = 331,5 \text{ W}$$

Met:

v : de ogenblikelijke snelheid ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

De efficiëntie (η) van de motor bij optrekken is 80%.

$$P_{toe} = \frac{P_{as}}{\eta} = \frac{331,5}{0,80} = 414,4 \text{ W}$$

Het verbruik is dan:

$$W = \int P dt = \int_0^{9,3} 414,4 dt = [414,4 t]_0^{9,3} = 414,4 \cdot 9,3 - 0 = 3853,9 \text{ J}$$

De afstand nodig om op te trekken tot 35 km/u is:

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{a t^2}{2} = 6,9 \cdot 9,3 + \frac{0,3 \cdot 9,3^2}{2} = 77,4 \text{ m}$$

De totale afstand dat wordt afgelegd is dus $77,4 + 569 = 646\text{m}$

Het verbruik is hier dus de kortstondige versnelling van de wagen. Het verbruik om een afstand van 1 km af te leggen is:

$$3171,9 \text{ J} = 0,88 \text{ Wh}$$

Besluit: zoals bij de Energy4 (met dieselmotor) opteren we om voor de start -en stopstrategie te kiezen. Het streefdoel is om zoveel mogelijk op het circuit in vrijloop te rijden. Anderzijds waren we er ons ook van bewust dat het energie vraagt om de wagen op snelheid te brengen.

4 Crystalyte aanpassen?

Gedurende enkele weken werd de Crystalyte geanalyseerd. Er werd gebrainstormd en verschillende concepten om de motor aan te passen werden overwogen.

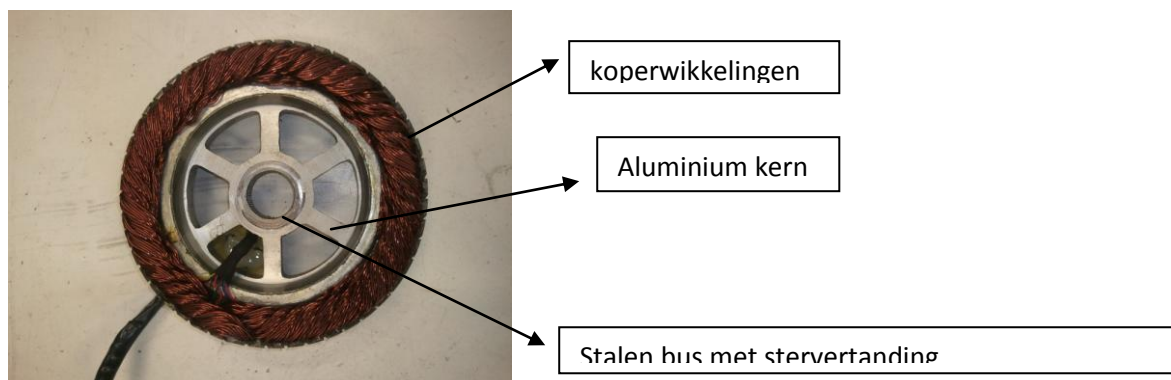
4.1 Vrijlooplager monteren in de motor

De eerste opdracht was om de as van de Crystalyte hub motor te demonteren. Deze was voorzien van een stervertanding en was geperst in het anker (zie foto). Om dit op een correcte manier uit te voeren werd een onderdeel gedraaid dat op het anker steunt en over de as gaat.

De volgende stap was om de stalen ring in het anker uit te boren tot de gewenste diameter.




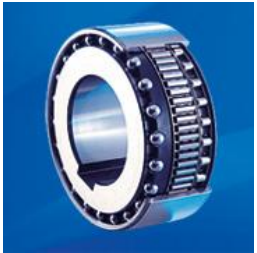
Uiteraard moest dit zo goed mogelijk uitgevoerd worden. Dit zou op de CNC freesmachine niet eenvoudig zijn, aangezien het stuk geen referentiepunt heeft. De buitenkant van het anker is gedraaid. Hierdoor zou de motor simpelweg in een draaibank opgespannen kunnen worden en mits een juiste uitlijning zou de stalen ring uitgedraaid kunnen worden. Het was de bedoeling dat de stalen ring niet volledig werd weggedraaid, omdat het anker uit aluminium bestaat en dus zwakker is dan de stalen ring.

De volgende stap is het inbouwen van het vrijloplager. Door de beperkte inbouwruimte zou het aangewezen zijn naaldlagers te gebruiken. Een vrijloplager is een lager dat in een bepaalde richting een koppel kan overbrengen en in de andere richting niet.



Figuur 25: Crystalyte hub motor

Er zijn verschillende types:

			
Figuur 26: Naaldlager zonder buitenring(1)	Figuur 27: Naaldlager met buitenring(1)	Figuur 28: naaldlager met kogellager(2)	Figuur 29: Complete vrijloplagers met binnen en buitenring(3)

Bron: (1)Geraadpleegd op 12 oktober 2011 via <http://www.gmn.de/en/freewheel-clutches/products/freewheel-insert-elements/product-information.html>

(2) Geraadpleegd op 12 oktober 2011 via: <http://www.gmn.de/en/freewheel-clutches/products/complete-units/product-information.html>

(3) Geraadpleegd op 12 oktober 2011 via: <http://www.gmn.de/en/freewheel-clutches/products/ball-bearing-freewheel-clutches/product-information.html>

Er zijn twee mogelijke opties om het lager in te bouwen: we maken een perspassing tussen lager en huis en een perspassing tussen as en lager. Een dubbele perspassing is echter delicaat. Praktisch gezien: als we het lager in het huis persen en nadien de as in het lager dan bestaat de mogelijkheid dat we het lager er weer uitpersen. De tweede mogelijkheid is lijmen. We voorzien een overgangspassing tussen huis - lager en lager – as en bevestigen het met een Loctite lijm specifiek voor deze omstandigheden.

Indien het lager gelijmd zou worden, is het type vrijloplager FR400 van het merk GMN het meest geschikt. Deze is voorzien van een binnenring en buitenring.

Aangezien de inbouwruimte beperkt is (+/- 26mm) zijn we beperkt in keuze:

300588	FR 422 Z	10	26	12	42	Inquiry
300590	FR 422 Z greased	10	26	12	42	Inquiry
300619	FRS 422 Z2 incl. FE 422 Z2 + RL 422	10	26	12	21	Inquiry

De binnenring heeft een diameter van 10mm.

De ondersteunende lagers in het wielhuis (Figuur X) die bedoeld zijn om de axiale kracht op te vangen, hebben een buitenringdiameter van 42mm. De binnenring heeft een diameter van 20mm. Dit is dus een probleem dat nog moet opgelost worden (verschillende asdiameters). Een mogelijkheid is dat we de stalen ring niet behouden en deze volledig wegdraaien tot de aluminium ankerkern. Volgende maten zijn beschikbaar voor asdiameter 20mm:

306288	FR 432 greased	20	36	12	116	Inquiry
300593	FR 432	20	36	12	116	Inquiry
300594	FR 432 Z	20	36	12	97	Inquiry

20= binnendiameter 36= buitendiameter 12=breedte 116= koppel



Figuur 30: kogellagers Crystalyte

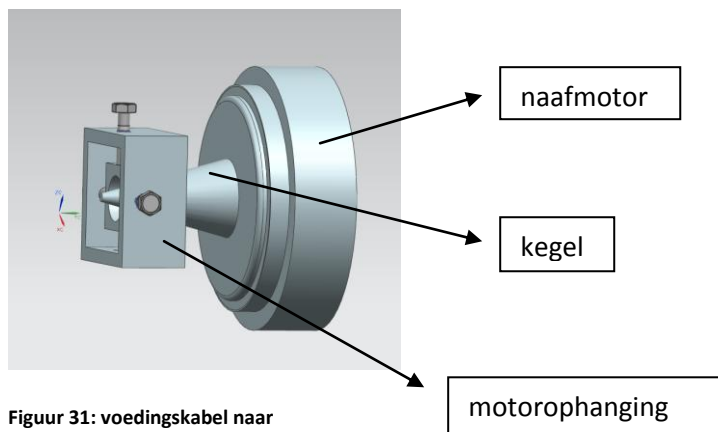
Bij het demonteren stelden we vast dat de ondersteunende lagers defect zijn. Dit komt doordat een fietswiel weinig axiale kracht ondervindt (een fietser gaat 'liggen' in de bochten). Bij de eco car treden er wel axiale krachten op. Dit moest dus zeker in rekening gebracht worden bij de keuze van nieuwe lagers.

De beste lagers zijn deze in hybride (keramische kogels met stalen ring) uitvoering zonder slepende afdichtingsring (Leenknecht, J., (2005), Eco-wagen: optimalisatie van de aandrijving en het koetswerk, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement ingenieurswetenschappen). De huidige lagers zullen dus vervangen worden door dit type. Vrijloplagers bestaan echter niet in hybride uitvoering.

Het probleem was echter dat in vrijloop de voedingskabel zou meedraaien en zich rond de stilstaande as torsen. Dit concept was dus uitgesloten.

4.2 Voedingskabel naar buiten brengen

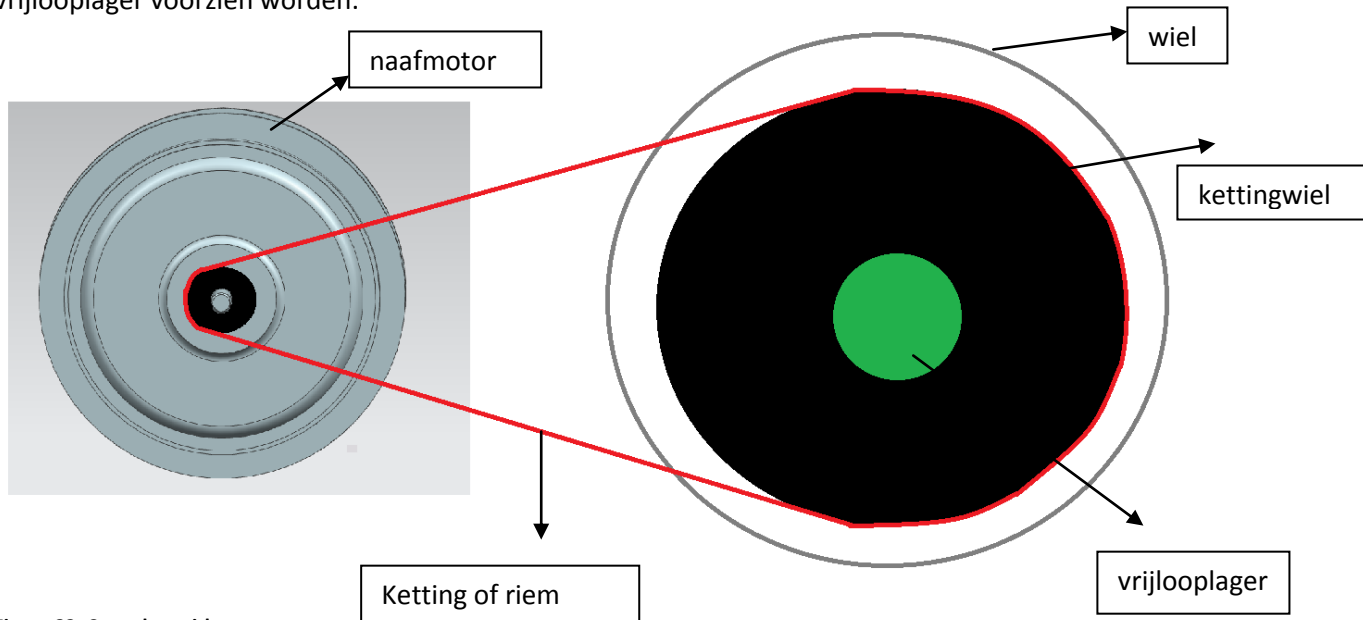
Een tweede concept was om de voedingskabel via een kegel naar een punt te geleiden. Deze kegel zouden we monteren op de motor zelf. De kabel zou zich nu niet meer torsen op de stilstaande as maar zou op zichzelf twisten.



Figuur 31: voedingskabel naar buiten brengen

4.3 Crystalyte uitbouwen

Een derde concept was om de naafmotor uit het wiel te demonteren en voorop te plaatsen. Via een ketting- of riemoverbrenging zou het achterwiel aangedreven worden. In het achterwiel zou dan een vrijlooplager voorzien worden.



Figuur 32: Crystalyte uitbouwen

Door de motor voorop te plaatsen wordt het principe en de efficiëntie van de naafmotor onderuit gehaald. Het rendement van de aandrijving daalt aangezien er rekening moet gehouden worden met het rendement van de overbrenging ($\eta_{\text{overbrenging}} = 0.9$)

$$\eta_{\text{max}} = \eta_{\text{max,Crystalyte}} \cdot \eta_{\text{overbrenging}}$$

Besluit: de Crystalyte werd niet verbouwd en ook niet voorop geplaatst. Er werd geopteerd voor een nieuwe motor: de Bafang naafmotor.

5 Bafang Hub Motor

5.1 Inleiding

Op de markt bestaan twee verschillende soorten naafmotoren: de 'non-g geared' en 'geared' hub motors. De 'geared' hub motors hebben een inwendig planetair tandwielstelsel. De Crystalyte, een non-g geared, heeft dit niet. Dit tandwielstelsel zorgt ervoor dat het wiel in vrijloop kan treden wanneer de motor niet gevoed wordt. Uiteindelijk werd de Bafang BPM36V-500W aangekocht. Dit pakket bestond uit een motor, een 40A controller, een display, een Lithium-Ion batterij, een snelheidsmeter en een WattsUp verbruikersmeter.

Product E-Bike Kit >> Motor >> BPM

partname :	BPM
Rated Voltage (V)	36/48
Rated Power (KW)	250~500
Max Diameter (mm)	φ 180
Max Speed (rpm)	285~300
Rated Efficiency (%)	≥78%
Pole	16
Reduction Ratio	1:5
Weight (kg)	≤4,5
Open size (mm)	100/138/142/145
Drive and freewheel type	F/6s/7s,8s/9s
Spoke Specification	12G/13G
Cable location	Shaft center, right
Hall sensor	Optional
Integrate speed sensor	Optional
Connector	Optional
Brake type	V/Disc (> φ 160)
Surface	Silver/Glossy black painted
Noise (dB)	<55
Salt fog test (h)	24/96
Water proof Grade	IP54
Certification	CE ROHS



Figuur 33: technische fiche Bafang hub motor

(bron: Suzhou Bafang Electric Motor Science-Technology Co, *8 Fun motor*, Geraadpleegd op 3 november 2011 via <http://szbaf.com/product.asp?id=10>)

Een eerste grote voordeel van dit pakket, los van de rijprestaties, is het gewicht. De zware accu van de Crystalyte werd vervangen door een lichter exemplaar (de helft van de capaciteit), en de motor zelf is ook lichter. Het Crystalyte pakket woog 14,70 kg, het Bafang pakket 8,80 kg. Dit betekende 6 kg winst.



Figuur 36: demontage Bafang



Figuur 35: Wattsup



Figuur 34: elektrische pakket

5.2 Verbruik

Tijdens uitlopen elimineert de vrijloop dus de nullastverliezen van de motor. De wrijvende delen van de vrijloop zorgen ook voor een weerstandskracht. Dit is een extra krachtwerking tijdens het uitbollen die de wagen doet vertragen. Hieronder vindt men de berekeningen van de wrijvingskracht van de vrijloop.

We stellen de wagen van de grond en laten het wiel op snelheid komen in nullast. Dan zal men het wiel laten uitlopen tot stilstand. Er is geen rolweerstand en de luchtweerstand is verwaarloosbaar. Het wiel bezit een bepaalde energie.

De beginvoorwaarden zijn:

$$v: \text{ snelheid } \left(12,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$r: \text{ straal wiel } (0,254 \text{ m})$$

Dus:

$$v = r \omega \Leftrightarrow \omega = \frac{v}{r} = \frac{12,5}{0,254} = 49,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Een wiel dat draait met bepaalde hoeksnelheid bezit traagheid en energie:

$$I = \frac{m (r^2 + R^2)}{2} = \frac{5,5 \cdot 0,254^2}{2} = 0,177 \text{ kgm}^2$$

Met:

$$I: \text{ massatraagheidsmoment } (\text{kgm}^2)$$

$$r: \text{ uitwendige straal } (0,254 \text{ m})$$

$$R: \text{ inwendige straal } (0 \text{ m})$$

De energie dat het wiel bezit:

$$E = \frac{I \omega^2}{2} = \frac{0,177 \cdot 49,2^2}{2} = 214,4 J$$

De energie dat het wiel bezit wordt omgezet in arbeid:

$$E = W = \int F dx = F \Delta x = 214,4 J$$

Op de kilometerteller leest men de afgelegde afstand af:

$$\Delta x = 0,090 km = 90 m$$

Hieruit kan de kracht afleiden:

$$F = \frac{W}{\Delta x} = \frac{214,4}{90} = 2,4 N$$

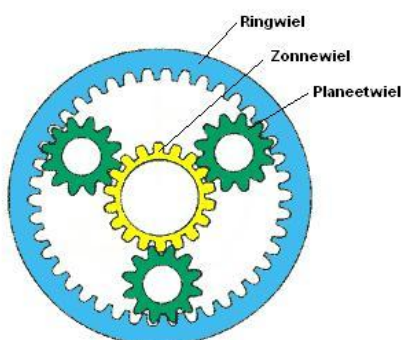
De wrijvingsverlies van de vrijloop bedraagt dus 2,4 N. Wanneer men de interne wrijvingen kan verminderen, neemt de uitbolafstand toe en daalt het verbruik.

5.3 Vrijloopsysteem

De Bafang hub motor is inwendig voorzien van een planetair tandwielmechanisme. Door dit systeem kan de wagen beter uitlopen dan de Crystalyte hub motor.

5.3.1 Werking

Het planetair tandwielsysteem is voorzien van drie tandwielen: het ringwiel, het zonnewiel en de planeetwielen. Het ringwiel is verwerkt in de velg. Het zonnewiel is bevestigd op de stilstaande motoras. De planeetwielen zijn bevestigd op de stator en vormen de overgang tussen zonnewiel en ringwiel.



Figuur 37: planetair tandwielsteseel

Bron: Mike, (2007). *Versnellingsbakken:manueel, automaat*. Geraadpleegd op 25 april 2012 via <http://z6.invisionfree.com/Hondapowerr/ar/t9.htm>



Figuur 38: planetair tandwielstesel in Bafang motor

Bij het aanzetten van de wagen wordt er een koppel overgebracht (afkomstig van de elektromotor) van het zonniewiel via de planeetwielen naar het ringwiel. Hierdoor begint het wiel te draaien. Bij de Crystalyte hub motor is er geen overbrenging door middel van tandwielen. De magneten zijn rechtstreeks in de velg aangebracht waardoor er geen rendementverlies is door overbrenging. Wanneer de piloot stopt met gasgeven en de wagen laat uitlopen, brengt het ringwiel een koppel over ten opzichte van het stilstaande zonniewiel via de planeetwielen. Met andere woorden de planeetwielen 'lopen' over het zonniewiel. Hierdoor kan de wagen langer uitlopen en worden de nullasten geëlimineerd. Er is wel een overbrengingsverlies ten gevolge van de tandwieloverbrenging.

5.3.2 Analyse

Het vrijloopsysteem was een doorslaggevend element waarom wij dit type motor aankochten. Toch beseften we dat dit type motor niet hét beste aandrijfmiddel is voor een energiezuinige wagen. Door het tandwielsysteem is het aandrijfmechanisme toch niet zo efficiënt als we vooraf dachten. Een tandwieloverbrenging gaat steeds gepaard met een rendement. Aangezien de Bafang ook een tandwieloverbrenging bevat, zijn er veel betere en lichtere elektromotoren beschikbaar die door middel van een ketting of riemoverbrenging het achterwiel kunnen aandrijven. Een betere en grondigere analyse van bestaande elektromotoren is een must.

5.4 Aanpassingen

Om de motor nog betere prestaties te laten leveren, werden de lagers vervangen door hybride lagers waarvan de afdichting verwijderd is. Alle slepende dichtingen in de motor werden ook verwijderd. Dit betekent wel dat het stof en vuil makkelijk in de motor en lagers kunnen binnendringen. Reinigen na elke rit is bijgevolg een must.

Deze aanpassingen zorgden ervoor dat in nullast de motor +- 20 Watt minder verbruikt. Bij aankoop verbruikte de motor +- 45W in nullast. Na deze aanpassingen slechts 25W.

Hoofdstuk 4 : Achterwielophanging

1 Inleiding

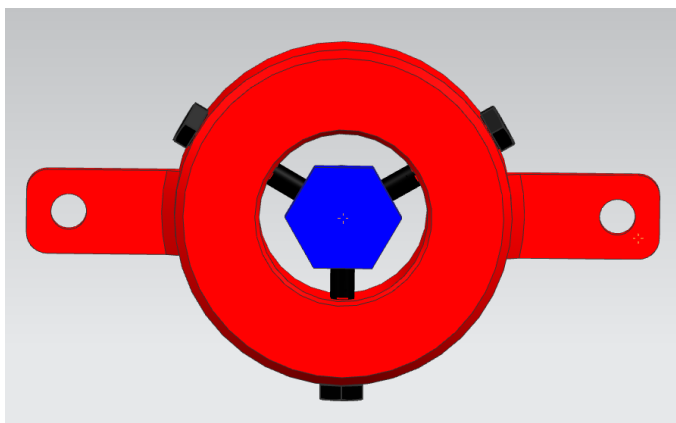
De ophanging ontworpen tijdens het academiejaar 2010-2011 is grondig getest op het houten testmodel. Na demontage bleek dat de platen van de ophanging reeds beschadigd waren door het aanzienlijke startkoppel (+- 50 Nm) van de Crystalyte. Een tweede nadeel van dit ontwerp was de regelbaarheid. Het wiel kon moeilijk afgesteld worden. Rekening houdend met het feit dat de monocoque handgemaakt is en dus geen garantie biedt op juiste afmetingen en haaksheid, is het een must om een afstelbare ophanging te ontwerpen.

Criteria waaraan een de ophanging moet voldoen:

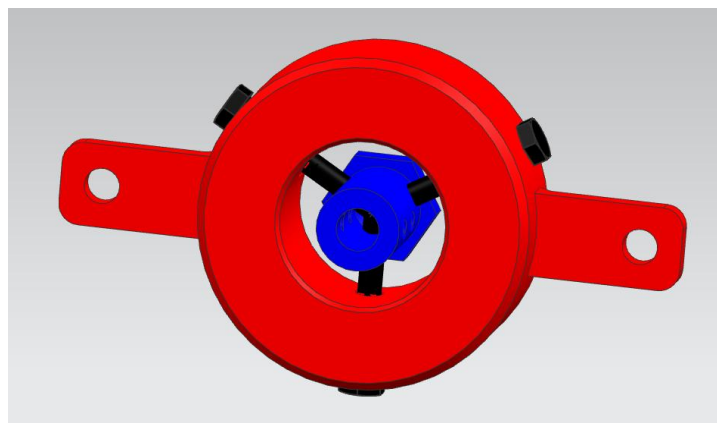
1. Voldoende sterkte
2. Gewicht zo laag mogelijk
3. Demonteerbaar zonder dat de afstelling van het wiel verloren gaat
4. bedrijfszekerheid

2 Ontwerp

2.1 Eerste concept



Figuur 39: eerste concept vooraanzicht

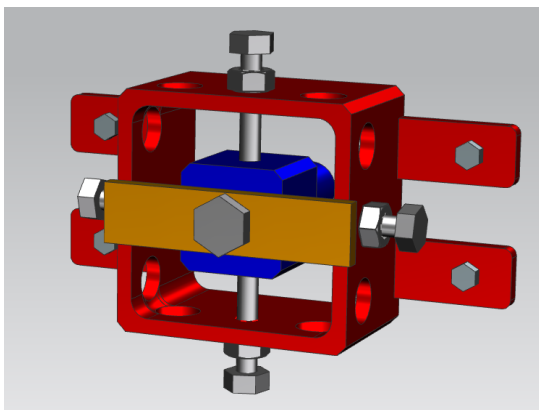


Figuur 40: eerste concept achteraanzicht

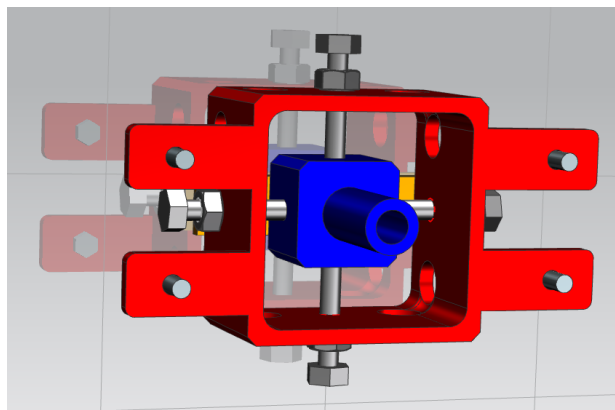
Dit ontwerp maakt gebruik van drie regelbouten (zwart) die klemmen op een rond vlak van een bus (blauw onderdeel) die op de motoras is bevestigd. De klemkracht van de zes bouten (links en rechts tezamen) zou na berekening voldoende moeten zijn om het startkoppel en de axiale kracht in de bocht op te vangen. Uit testritten bleek dat dit concept niet voldeed. De as slipte door ondanks de klemkracht van de bouten.

2.2 Definitieve concept

Het tweede en tevens het definitieve ontwerp voldoet aan alle bovengestelde criteria. Het steunvlak voor de klembouten is niet meer rond maar plat. Hierdoor kan de bout beter de klemkracht overbrengen en kan het startkoppel zeker opgevangen worden. Om 100% garantie te hebben op axiale borging wordt een plaatje voorzien dat klemt tegen het huis.



Figuur 42: tweede concept vooraanzicht



Figuur 41: tweede concept achteraanzicht

2.3 Materiaalkeuze onderdelen

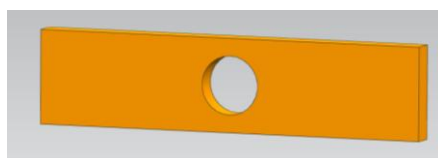
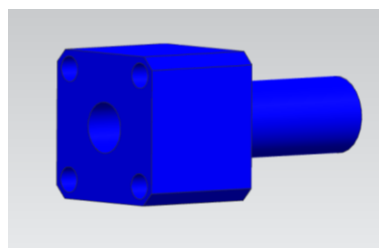
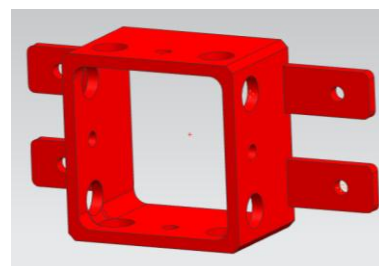
Gewicht is heel belangrijk voor energiezuinige wagens. Hoe lager het gewicht hoe minder vermogen nodig om de wagen op snelheid te brengen.

Het huis is gemaakt uit Aluminium 6081 (AlSiMgMn) en heeft een treksterkte van 280N/mm^2 . De grote gaten zijn gewichtsbesparend. Het materiaal is goed lasbaar.

Gewicht van dit onderdeel: 300gram

Het regelblokje is gemaakt uit RVS. RVS is een harder materiaal dan Aluminium en zal nauwelijks aangetast worden door de klemkracht van de bouten. Gewicht van dit onderdeel bedraagt 294 gram. De vier kleine gaten zijn gewichtsbesparend.

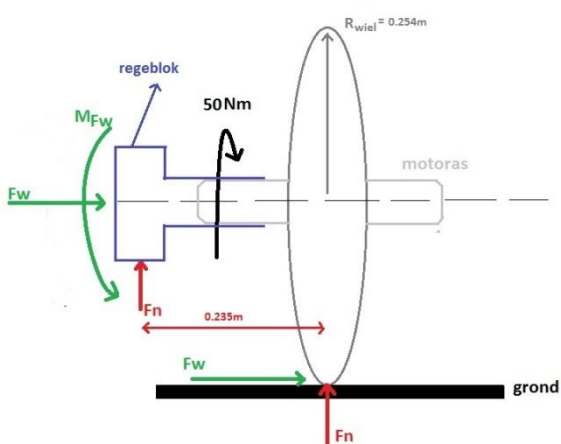
Het plaatje voor de axiale borging is 3mm dik en is gemaakt uit RVS. Gewicht: 62 gram.



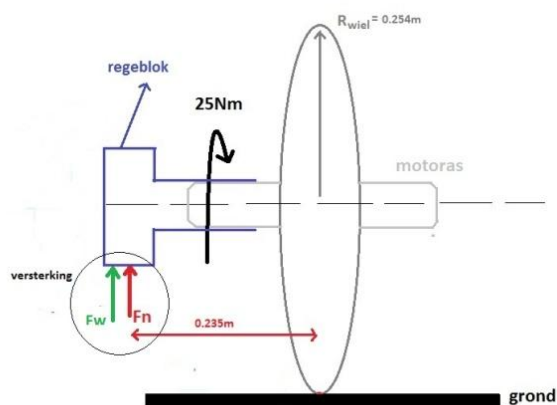
2.4 Sterkteberekening

2.4.1 Krachtensimulatie

1. Startkoppel van de Bafang naafmotor is 50Nm. Per zijde is dit dus 25 Nm. (zwarte pijl)
Dit is een dynamische belasting. Om dit op te nemen wordt een veiligheidscoëfficiënt genomen van 2. Dus 50Nm per zijde.
2. De normaalkracht F_n op het achterwiel is 381,5N. Rekening houdend met stootbelasting afkomstig van oneffenheden op het wegdek wordt een Veiligheidscoëfficiënt in rekening gebracht van 3: $381.5 \times 3 = 1145\text{N}$ afgerond. Per zijde is dit 573N.
3. De centrifugaalkracht F_w ten gevolge van een bocht zorgt voor een axiale kracht op de as van 680N. Deze centrifugaalkracht zorgt tevens voor een moment M_{F_w} . (groene pijlen).
4. Voorspankracht op de bouten: 100N per bout



Figuur 44: krachtensimulatie

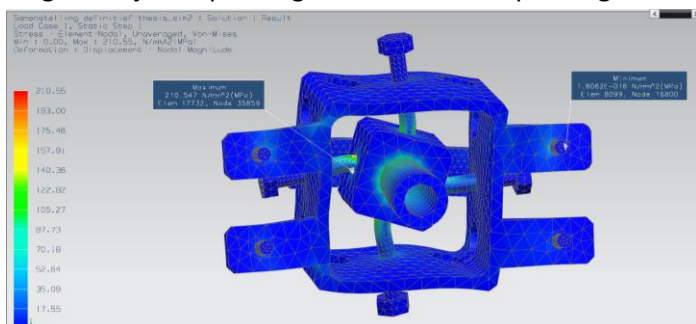


Figuur 43: krachtensimulatie worst case

Het slechtste geval wordt veroorzaakt als het moment ten gevolge van de centrifugaalkracht en de normaalkracht elkaar versterken.

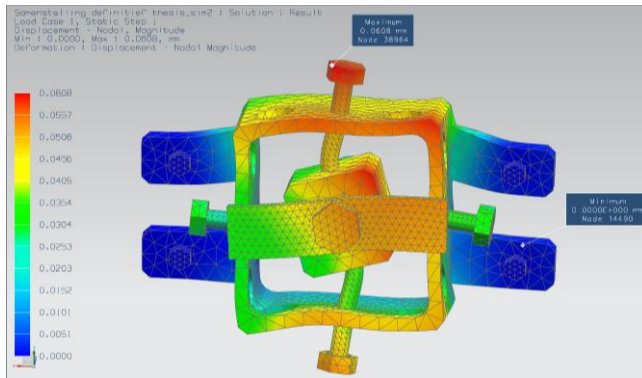
2.5 Resultaat

De gevaarlijkste spanning is de Von Mises spanning:



Figuur 45: achterwielophanging Von Mises spanning

De grootste vervorming is 0.0608 mm.



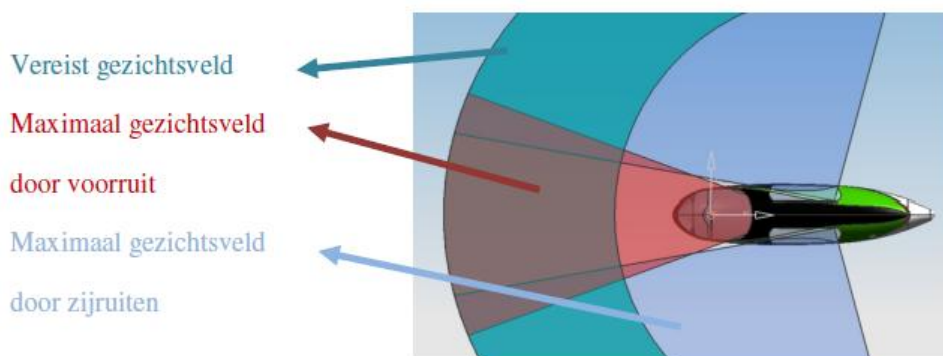
Figuur 46: achterwielophanging vervorming

De ophanging is sterk genoeg en de vervorming blijft binnen de gewenste toleranties.

Hoofdstuk 5: Ruiten

1 Inleiding

De Energy 5 werd voorzien van drie ruiten: een frontale ruit in de neus en twee zijruiten. Bij het ontwerp van de ruiten werd rekening gehouden met de zichtbaarheid van de bestuurder. Rekening houdend met het reglement (Belgian Eco Marathon en Shell Eco Marathon) is een frontale zichtbaarheid van 180° verplicht. Tevens moet de piloot ook zien wat er achter de wagen gebeurt en dit door middel van spiegels. In het eindwerk van Jeroen en Maarten (Smet M, Mees J, (2009), *studie en ontwerp van het chassis – koetswerk van een energiezuinige wagen naar sterkte en aerodynamica*, Hogeschool Gent, Afstudeerwerk, Departement ingenieurswetenschappen, afstudeerwerk) werd reeds uitvoerig onderzocht hoe de ruiten konden gevormd worden. Ook in het meer recentere eindwerk van Olivier Hermans (Hermans, O, (2010), *Materiaalstudie en opbouwprocedure van de Energy 5*, Afstudeerwerk ,Hogeschool Gent, Departement ingenieurswetenschappen) werd een alternatief voorgesteld(zie verder).



Figuur 47: zichtbaarheid Energy5

2 Materiaalstudie

Jeroen Mees en Maarten Smet analyseerden uitvoerig de transparante kunststoffen. Hun conclusie was om de ruiten te vormen met PETG dmv 'thermoforming':

"Algemeen kunnen we besluiten dat PETG het beste materiaal is om te thermovormen op onze installatie. De matige impactbestendigheid en breuksterkte, de weerstand tegen weersinvloeden, de branddovende eigenschap en de gemakkelijke verwerking maakt dat dit materiaal ideaal is om te gebruiken als ruiten in de Energy 5." (Smet, M, Mees, J, (2009), *studie en ontwerp van het chassis – koetswerk van een energiezuinige wagen naar sterkte en aerodynamica*, Hogeschool Gent, Afstudeerwerk, Departement ingenieurswetenschappen, p71).

Thermoforming is een techniek waarbij een kunstofplaat wordt opgewarmd tot de glastransitietemperatuur (T_g) en nadien op een matrices wordt getrokken. Een vacuümmachine zuigt de lucht onder de plaat weg waardoor plaat perfect de vorm van de matrices aanneemt.

Vooraleer over te gaan tot praktische realisatie werd de hierboven vermelde analyse gecontroleerd. In samenwerking met experts van ERIKS BAUDOIN en de nodige datasheets (zie bijlage II) werden de transparante kunststoffen vergeleken. De mogelijke materialen zijn: polystyreen, polycarbonaat,

PMMA en PETG. Belangrijk voor ons project was de goede vervormbaarheid van het materiaal en de veiligheid.

Jeroen Mees en Maarten Smet beweerden dat PC zeer slecht vervormbaar is, wat correct is, maar dat ook PMMA minder goed vervormbaar is, wat niet correct is.

Voor de veiligheid van de piloot bleek PC het beste materiaal. Het is zeer impactbestendig waardoor bij een frontale botsing dit materiaal niet zou breken. PMMA en PETG daarentegen zijn minder impactbestendig maar thermisch veel beter vervormbaar.

Tabel 1: overzicht transparante kunststoffen

	PS	PC	PMMA	PET
Kostprijs (euro)	17.84	34.33	31.25	26.72
Gewicht (kg)	2.1	2.4	2.4	2.7
UV – bestendig	Nee	Ja	Ja	Nee
Brandbestendig	Nee	Ja	Nee	Ja
Slagvast	Hoog	Zeer hoog	Gemiddeld	Gemiddeld
Verwerkbaarheid	Goed	Moeilijk	Goed	Goed
Lichtdoorlaatbaarheid* (%)	95	91	92	89

- 100% - het gegeven percentage, wordt gereflecteerd.

bron: Smet, M, Mees, J, (2009), *studie en ontwerp van het chassis – koetswerk van een energiezuinige wagen naar sterkte en aerodynamica*, Hogeschool Gent, Afstudeerwerk, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen,p71)

In de datasheets van ERIKS staat vermeld dat PC goed gevormd kon worden dmv thermoforming. Wij hebben een poging ondernomen om de ruiten met PC (3mm dikte) te vormen. Dit materiaal warmde heel slecht op en was bijgevolg helemaal niet geschikt voor thermoforming. In de meeste gevallen wordt PC koud vormgegeven (bron: ERIKS expert).

3 Realisatie van de ruiten

Onze enige wens was om de ruiten op een zo professioneel mogelijke manier te verkrijgen. Dit kon het best gebeuren via een externe firma die gespecialiseerd was in ‘thermoforming’. Uiteindelijk bleek dit heel moeilijk te worden omwille van de korte deadline (vijf weken) en tevens ook omwille van de grote afmetingen. Ook de grote kost was een knelpunt. Transparante kunststoffen worden namelijk gevormd op aluminium matrijzen. Daar de ruiten vrij groot waren, zouden de kostprijs zeer hoog oplopen.

Uiteindelijk hebben we zelf pogingen ondernomen om toch de gewenste vormen te verkrijgen.

3.1 Rechtstreeks in de negatieve mal

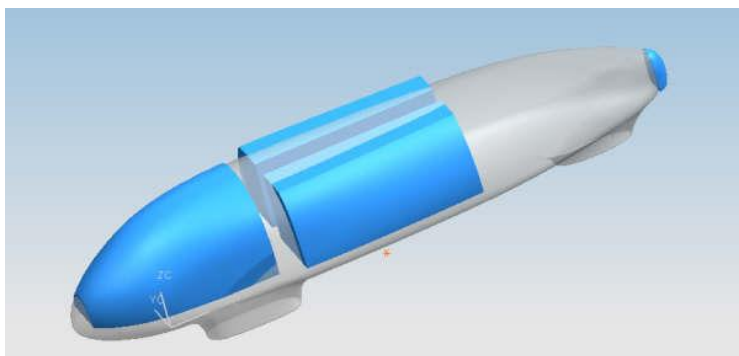
In het eindwerk van Olivier Hermans werd beschreven hoe de ruiten in de negatieve mal van de bovenkap konden gemaakt worden:

“5.2.3.1 Manuele vervorming

*We maken eerst een patroon in papier van de gewenste ruit. Deze wordt uitgesneden uit PS plaat. Deze plaat word nu in de negatieve mal geduwd op de voorziene plaats. Om de interne spanningen van de plaat weg te nemen gaan we deze via een verfafbrander geleidelijk aan gaan verwarmen tot deze overal mooi in ligt.” (Hermans, O, (2010), *Materiaalstudie en opbouwprocedure van de Energy 5*, Afstudeerwerk ,Hogeschool Gent, Departement ingenieurswetenschappen, p 78)*

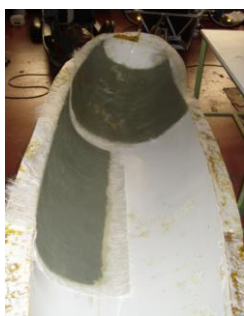
Deze optie is uitgetest maar compleet uitgesloten. Bij opwarming kromp de kunststofplaat en nam deze helemaal zeker niet de vorm van de mal aan. Tevens was het zeer moeilijk om de plaat egaal op te warmen.

3.2 Thermoforming op matrijs



Figuur 48: matrijsvormen ruiten

De eerste stap in het proces om de ruiten te vervaardigen is een positieve matrijs maken. In de mal van de bovenkap van de Energy5 werden opnieuw twee polyester matrijzen (met overmaat) gemaakt op de plaats waar de ruiten moeten komen. Zo hadden we een perfecte matrijs van de ruiten.



Figuur 49: polyestermallen



Figuur 50: olifantenhuid

Dit proces was arbeidsintensief. De negatieve mal van de bovenkap heeft namelijk last van vormfouten (olifantenhuid) waardoor we eerst genoodzaakt waren deze fouten weg te werken met Nakiplast (soort plasticine).

Om de polyestermatrijzen te maken werden volgende stappen ondernomen:

- Gelcoat met grijs kleurpigment
- 125 gr/m² glasvezel met polyesterhars
- 240 + polyesterhars
- 405 + polyesterhars

Na de matrijzen uit de mal te halen, werden deze verder geplamuurd en opgeschuurd om een optimaal oppervlak te bekomen.

De afmetingen van de ruiten zijn vrij groot. Op school maakten we houten kaders waarin PMMA van 1mm wanddikte werd opgespannen. Deze dikte was heel kritisch aangezien de kunststofplaat over de matrijs diende getrokken te worden en dus fel uitrok. De wanddikte verkleinde dus naar minder dan 1mm. Kleine teststukken leerden ons dat het materiaal ook bros werd(veiligheid!). Door de grote afmetingen van de ruiten werden we genoodzaakt op zoek te gaan naar een externe firma, CCM uit Sint-Denijs-Westrem, die de apparatuur heeft om dergelijke grote platen op te warmen. Zij zijn gespecialiseerd in het maken van orthopedische braces en beschikten over een grote oven van 1,30m op 1,50m.

3.2.1 Eerste poging: manueel vormen van de ruiten

De plaat werd eerst opgewarmd tot 150° C (T_g). Als de plaat voldoende flexibel was,duwde men met manuele kracht het kader over de matrijs. Probleem hierbij was dat de matrijzen niet sterk genoeg waren om de hoge drukkracht te trotseren en dus vervormden ondanks hun bevestiging op een houten statief. Tweede probleem was dat de plaat niet 100% de vorm van de matrijs aannam. Er trad een onaanvaardbare golving op.

Deze poging mislukte dus.



Figuur 51: manueel vormen

3.2.2 Tweede poging: vacuümvormen met polyestervorm

CCM beschikte over een krachtige vacuümmachine die tot -0.5 bar onderdruk kon. Door deze krachtige onderdruk werden we verplicht stevigere matrijzen te maken: gipsmatrijzen.

Zo maakten we de gipsmatrijzen:

- stap1: versterken met gipslagen aan de buitenkant
De uitharding gaat heel snel (+- 20min) door toevoeging van zout.



Figuur 54: versterken met gipslagen



Figuur 52: versterken met gipslagen



Figuur 53: polyester met gipsvorm

- Stap2: Na de uitharding kon de vorm omgedraaid en volgegoten worden met vloeibare gips. De versterking aan de buitenkant zorgde ervoor dat de vorm behouden blijft onder het gewicht van de vloeibare gips. Na +-45min is deze vloeibare gips ook uitgehard en hebben we een volle stevige, maar wel heel zware +- 60 kg, gipsvorm onder de polyester.



Figuur 55: vloeibare gips



Figuur 56: polyester matrijs versterkt met gips

Deze massieve vorm werd in zijn geheel op de vacuümtafel gelegd. Vervolgens spanden we PMMA van 3mm wanddikte op in een stalen kader en warmden we op tot de T_g. Als de plaat voldoende flexibel was, werd het kader op de vacuümachine geplaatst en vacuüm gezogen.

De plaat nam perfect de vorm van de matrijs aan.

Probleem echter was dat de transparantie van de PMMA verloren ging en niet meer bruikbaar was als ruit.

Deze poging mislukte dus ook.

3.2.3 Vacuümvormen op gipsvorm

Bij de derde poging hebben we de polyestervorm van de gipsvorm verwijderd. De gipsvorm werd bijgewerkt en zo goed mogelijk vlakgeschuurd. Bovenstaand procédé (kader opspannen-opwarmen-vacuümmachine plaatsen) werd herhaald.

Het resultaat was vrij goed. De vorm van de ruit is aanwezig en de transparantie is aanvaardbaar.

Tevens zijn de ruiten veel minder bros dan de teststukken op school.

Enige nadeel was de heel lichte golving op de ruiten, afkomstig van de gipsvorm. Door tijdsgebrek kon de gipsvorm niet tot de perfectie afgewerkt worden.



Figuur 57: vacuümmachine



Figuur 58: zijruit vorm

4 Realisatie bovenkap van de Energy5

Na het vormen van de ruiten kon de bovenkap verder afgewerkt worden. In het eindwerk van Olivier werd de structuur van de bovenkap reeds voorgeschreven. Hij bracht ook reeds de gelcoat en carbonlaag aan.



Figuur 59: structuur bovenkap

Vervolgens werd de carbonvorm uit de mal gehaald en met een dremel sneden we de nodige ruimte voor de ruiten uit. Van de PMMA vormen werd het overbodige materiaal weggesneden. De ruiten, met +- 2 cm overmaat, werden door middel van waterbidons op de juiste plaats gehouden. Vervolgens lamineerden we twee lagen glasvezel bovenop de carbonlaag om kap de nodige stijfheid te geven en de ruiten vast te lijmen.



Figuur 61: ruiten inlamineren



Figuur 60: voorruit inlamineren

Resultaat:



Figuur 62: bovenkap

Wanneer onze piloot plaatsnam in de wagen, viel op dat de ruiten niet 100 procent transparant zijn. Het probleem was dat de piloot onder een scherpe hoek op de voorruit keek. De ruit, zoals vermeld in 'vacuümvormen op gipsvorm', heeft een lichte golving waardoor een breking optreedt. Dit hebben we in samenwerking met Carrosserie Malfait proberen weg te werken. Door het polieren heeft de ruit aan transparantie gewonnen doch is de breking niet weggewerkt. De zijruiten hebben minder last van deze golving. Toch moesten we op de dag van de wedstrijd de spiegels buiten op de wagen plaatsen omwille van slechte zichtbaarheid.



Figuur 63: wagen wedstrijd klaar

Hoofdstuk 6 De eerste wedstrijd: Belgian Eco Marathon

1 Verslag

Zaterdag 30 maart en zondag 1 april vond de tweede wedstrijd van de Belgian Eco Marathon plaats op de velodroom van Rochefort. De eerste wedstrijd was in oktober 2011, toen de Energy5 nog niet klaar was. Nu was de wagen net op tijd wedstrijd klaar. Door onze uitgebreide analyse, de aankoop van een nieuw elektrisch aandrijfpakket en de moeilijkheden bij het vormen van de ruiten, konden we pas na de examenperiode in februari starten met de bouw van de wagen.

Voor de wedstrijd werden twee batterijen aangekocht. Daar we de nodige capaciteit niet vooraf kenden, kozen we de capaciteit op 300Wh. Kostprijs voor de batterijen is 1 euro per Wh.

Zaterdag werden de testritten georganiseerd. De wagen onderging eerst een technische keuring. We werden verplicht extra wielkappen aan te brengen, zodat de piloot niet met de handen aan de wielen kan (wat niet in het reglement vermeld stond). De zichtbaarheid door de ruiten is beperkt, zoals vermeld in het 'hoofdstuk 5 ruiten'. Voor de keuring moet de piloot in staat zijn een cijfer te lezen op drie meter achter de wagen via spiegels. Door de breking op de zijruit was dit niet mogelijk. Daarom werden de spiegels buiten op de wagen bevestigd waardoor de aerodynamica grondig verstoord was.



Figuur 64: Energyteam

Volgens het aerodynamisch ontwerp stond de wagen op 20 mm van de grond. Tijdens de testritten schuurde de wagen tegen de grond. Hierdoor waren we genoodzaakt 2 cm van de wielkappen af te slijpen.

Zondag 1 april, tijdens de wedstrijd, werd vier maal gereden. Per manche kregen we 42 Wh (equivalent van 12ml diesel) toegewezen. Deze energie moest onze pilote verbruiken. Aan de hand van de Watssup verbruiksmeter aan het stuur kon ze exact op 42Wh het elektrisch circuit afschakelen dmv een noodstopschakelaar en de wagen laten uitlopen tot stilstand.

Tabel 2: resultaten

	Manche 4			Total							meilleure
1+2+3	dist	détours	dist suppl	total dist	Perfo 4	Manch1+2+3+4	perf 1	perf 2	perf 3	perf 4	perfo
47,917	0	16	418	6870,000	572,500	2120,417	469,271	523,063	555,583	572,500	572,500
0,000	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
34,042	0	12	28	4867,000	405,583	1469,625	284,583	375,063	404,396	405,583	405,583
0,000	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
45,104	0	18	424	7682,500	640,208	1785,313	70,542	500,875	573,688	640,208	640,208

De eerste twee manches behaalden we respectievelijk 1789 km en 1911 km. De derde manche opteerden we ervoor om ook op de achterste velg, die eigenlijk niet geschikt is, de 45/75R16 band te monteren. Alle lagers werden grondig gereinigd en gesmeerd. Het resultaat van de derde manche

was een topprestatie van 2337 km met een liter diesel equivalent. Goed voor het Belgisch record! Met de Energy5 haalden we drie prijzen binnen: beste elektrische wagen, beste wagen algemeen en meest innovatieve wagen.



Figuur 65: de start

2 Analyse Energy 5 na eerste wedstrijdervaring

2.1 Verbruik

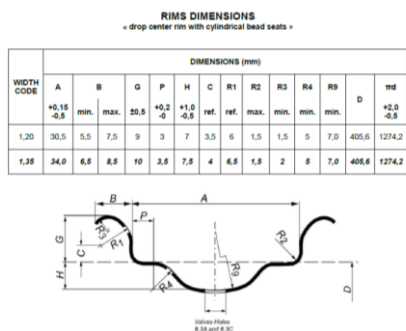
Het beste resultaat van de wedstrijd is 2337 km met een liter diesel equivalent. Omgerekend is dit 4,06 Wh/km (1Wh = 3600J en 1l diesel = 34164 kJ). Volgens de theorie zou de wagen 0,88 Wh/km (zie 3.3 zuinigste strategie?) verbruiken. Het theoretisch model wijkt dus sterk af van de praktijk. Men zal dus parameters moeten zoeken en aanpassen, zodat het verbruik van de Energy 5 dichter aanleunt bij de theorie. Zoals reeds aangetoond in hoofdstuk 1 is de weerstandskracht bepalend voor het verbruik. De rol –en luchtweerstand vormen hier de hoofdzakelijke parameters. Hieronder bespreken we de verschillende oorzaken van het hoger verbruik.

2.2 Rolweerstand

De rolweerstand daalt wanneer de massa en de rolweerstandcoëfficiënt dalen. De massa is de meest invloedrijke parameter om het verbruik aanzienlijk te doen dalen. De massa staat vast en verandert niet ten opzichte van het theoretisch model. Een eerste oorzaak is dus een verschillende rolweerstandcoëfficiënt.

De Michelin 45-75R16 banden zijn brede banden. De huidige velgen van de Energy 5 zijn fietsvelgen en zijn niet geschikt voor dit type banden. Datasheet zie bijlage III.

De band is ontworpen voor onderstaand velgprofiel:

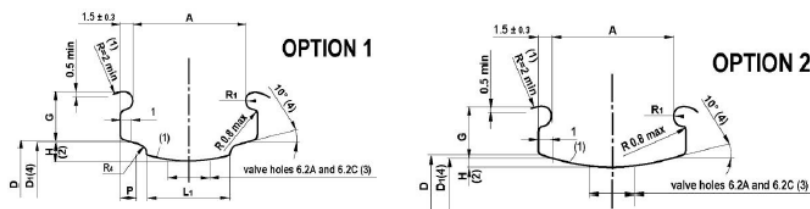


Figuur 66: velgprofiel voor radiaalband

Bron: Michelin, *Michlin tyres and rims characteristic, Prototype vehicles*, geraadpleegd op 23 september 2011 via www.eshopsem.com/

Het huidige velgprofiel ziet er zo uit:

Rim contour	DIMENSIONS (mm)									
	A	G	H		L ₁	P	R ₁	R ₄	D	D ₁
	±0,5	±0,5	min.	max	min.	min.	±0,25	min.		±0,5
406x19C	19	6	2.2	6	11	3	1.5	1.5	405.6	405.25
406x21C	21	6	2.2	6	11	3	2	2	405.6	405.25
406x23C	23	6.5	3.5	6.5	11	3	1.1	2.5	405.6	405.25
406x25C	25	6.5	3.5	6.5	14	3	1.1	2.5	405.6	405.25


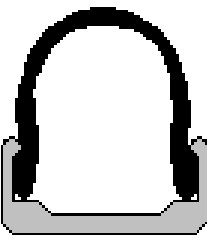



Figuur 67: velgprofiel voor diagonaalband

Bron: Michelin, *Michlin tyres and rims characteristic, Prototype vehicles*, geraadpleegd op 23 september 2011 via www.eshopsem.com/

De wielen van de Energy5 zitten nu op een te smalle velg. Onderstaande figuren schetsen de situatie:

Tabel 3: overzicht band op velg

Te smalle velg	Juiste velg	Te brede velg
		

(bron: Leenknecht, J, (2005), *Eco-wagen: optimalisatie van de aandrijving en het koetswerk*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen, p30)

Bovenstaande drie figuren zijn doorsneden van de montage van dezelfde band gemonteerd op een te smalle, een juiste of een te brede velg. Het is duidelijk dat wanneer een band op een te smalle velg gemonteerd wordt, deze zich op de velg zet als een ballon. Deze band heeft een smalle stam (= afstand tussen de hieldraden) en zal dus niet stabiel zijn in een bocht wanneer de band axiaal belast wordt. Wanneer dezelfde band op een geschikte velg gemonteerd wordt, zal de band een voldoende grote stam hebben, met een stabiele band tot gevolg. Dezelfde band op een te brede velg zal bij axiale belasting de hieldraden van de schouder duwen wat kan leiden tot het van de velg lopen van de band.

Door het gebruik van fietsvelgen waren we ook genoodzaakt binnenbanden te gebruiken. Hierdoor ontstaat er microslip tussen binnen en buitenband waardoor de rolweerstand stijgt (zie 2.3.1 constructie van de band).

Een verkeerde keuze van velg leidt tot een verhoogde rolweerstand in de bochten. Om de rolweerstandcoëfficiënt te verminderen moet de band op de juiste velg gemonteerd worden.

2.3 Luchtweerstand: vormfouten

Bij de luchtweerstand vormen het weerstandsoppervlak ($C_x A$) en de snelheid de bepalende factoren. De gemiddelde snelheid is een gegeven waar we weinig aan kunnen veranderen. Het weerstandsoppervlak is de bepalende factor om het theoretisch model te benaderen. Volgens het computermodel is de wagen perfect glad. In werkelijkheid zit men met vormfouten:

2.3.1 Olifantenhuid

Doordat de negatieve mallen uit polyester vervaardigd zijn in plaats van epoxy, treden er krimpfouten op. In vaktermen: 'olifantenhuid'. Dit wordt op de wagen overgebracht doordat de gelcoat alle vormen aanneemt. Dit zorgt voor plaatselijke ruwe oppervlakken die de stroomlijnen verstoren. Hierdoor stijgt het weerstandsoppervlak wat tot een hoger verbruik leidt.

2.3.2 Vormfout ruiten

De ruiten hebben een lichte golving. Dit kwam doordat de matrijzen niet perfect gladgeschuurd waren. De golving van de ruiten zorgen voor een verstoring van de stroomlijnen waardoor de luchtweerstand toeneemt.

2.3.3 Lamineerfout van de ruiten

De ruiten werden aan de binnenzijde van de kap aangebracht. Ze werden vervolgens met glasvezel en epoxy ingelamineerd. Hierdoor zit men met een rand tussen carbon en ruit die de stroomlijnen verstoort. De randen van de ruiten werden afgetapet om het probleem zoveel mogelijk te verhelpen. Dit is nog niet de ideale oplossing.

2.3.4 Spiegels

Door gebrek aan zichtbaarheid door de ruiten werden de spiegels aan de buitenkant van de wagen geplaatst. Hierdoor was de aerodynamica grondig verstoord. In '2.4.1 constructie nieuwe kap' leest u hoe we dit opgelost hebben.

Wanneer bovenstaande oorzaken aangepast worden, kan men nog beter het theoretisch model benaderen.

2.4 Massa

Uit het hoofdstuk 1 "inwerkende krachten" weet men dat de massa de meest invloedrijke parameter is om het verbruik te doen dalen. Het lichter maken van de Energy 5 realiseerden we op volgende manieren:

2.4.1 Constructie nieuwe kap

De bovenkap van de Energy5 woog 4 kg, wat vrij veel is. De bovenkap heeft enkel een aerodynamische functie en hoeft dus geen krachten op te vangen. Voor de structuur van de bovenkap zie 4: 'realisatie bovenkap Energy 5'. Deze structuur is overgedimensioneerd. De massadichtheid van PMMA is 1.19 g/cm^3 . Dit is minder dan koolstofvezel-epoxy (zie tabel 4). Maar door de dikte van drie millimeter zorgen de grote ruiten voor extra gewicht.

Tabel 4: dichtheid composieten

Composites

Material	Density - ρ - (10^3 kg/m^3)	Tensile Modulus - E - (GPa)	Tensile Strength - σ - (GPa)	Specific Modulus - E/ρ -	Specific Strength - σ/ρ -	Maximum Service Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
Short-fiber						
Glass-filled epoxy (35%)	1.9	25	0.3	8.26	0.16	80 - 200
Glass-filled polyester (35%)	2.0	15.7	0.13	7.25	0.065	80 - 125
Glass-filled nylon (35%)	1.6	14.5	0.2	8.95	0.12	75 - 110
Unidirectional						
S-glass epoxy (45%)	1.8	39.5	0.87	21.8	0.48	80 - 215
Carbon epoxy (61%)	1.6	142	1.73	89.3	1.08	80 - 215
Kevlar epoxy (53%)	1.35	63.6	1.1	47.1	0.81	80 - 215

Bron: http://www.engineeringtoolbox.com/engineering-materials-properties-d_1225.html

Voor de tweede wedstrijd werd een nieuwe kap gemaakt die slechts uit 2 lagen carbon-epoxy bestaat. Het oppervlak van de ruiten werd geminimaliseerd om het gewicht te reduceren. Door de kleinere ruitafmetingen was het niet meer nodig om de ruiten vorm te geven dmv thermoforming. De complexe 3D vorm van de voorruit is nu een eenvoudigere 2D vorm. Hierdoor konden we door middel van lichte druk de ruiten opspannen in de negatieve mal en hadden we geen last meer van

breking. De PMMA vervingen we door polycarbonaat van 1mm dikte, wat de veiligheid sterk verhoogde. Door deze veranderingen door te voeren weegt de kap nu slechts 2.5 kg (zie addendum).

2.4.2 Massa monocoque reduceren

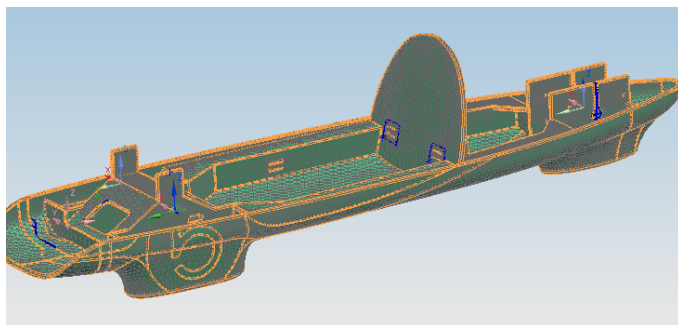
De monocoque van de Energy 5 is overgedimensioneerd op alle vlakken. De wagen was ontworpen voor een dieselmotor. Deze is echter vervangen door een elektrische aandrijving waardoor de ruimte achter de piloot veel te groot is. Ten tweede is het chassis véél te sterk gemaakt. Plaatsen waar weinig krachten optreden hebben geen nood aan een sterke structuur. De wielkappen kunnen bijvoorbeeld gemaakt worden uit 2 lagen carbon ipv een 12mm dikke sandwich structuur.

Meer hierover in hoofdstuk 8: future prospects.

Het chassis kon verlicht worden door gaten te boren in de aangebrachte “inserts”. Aan de hand van EEM leidden we af welke plaatsen spanningsloos zijn, zodat zeker geen gaten gemaakt werden op zwakke plaatsen; dit om breuk te vermijden.

De krachten die de wagen ondervindt bij 45km/u en een draaicirkel van 18,2 meter werden in hoofdstuk 2 berekend. Er zijn twee belastingsgevallen die we apart behandelen: de krachten afkomstig van de wielen en de kracht ten gevolge van de massa van de piloot.

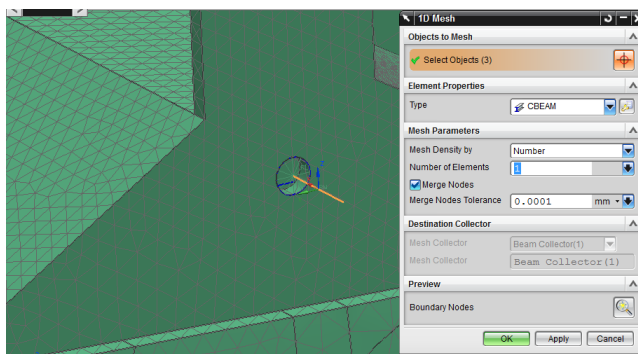
In NX Nastran werd het chassis gemeshd met CTRIA 10 elementen:



Figuur 68: chassis gemeshd met CTRIA10 elementen

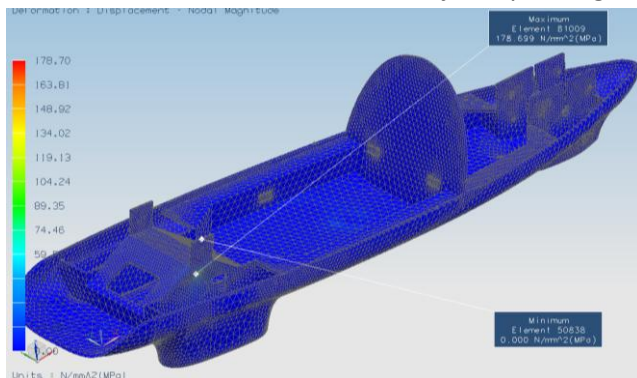
De krachten afkomstig van de wielen werden gesimuleerd met CBEAM elementen.

Deze BEAM – elementen kan men met een spider (1D connection) vast maken aan het chassis met behulp van RE2 elementen, zodat de ophanging een stijf geheel is die enkel de krachten overzet naar het chassis.



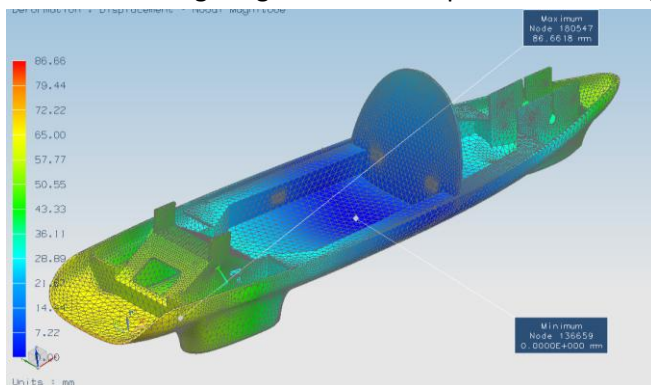
Figuur 69: toevoegen star element

Het chassis werd fully fixed gekozen in het zwaartepunt omdat het model bekeken werd als steady – state. Dat wil zeggen, dat de toestand als van het chassis als momentopname beschouwd wordt. De spanningsconcentraties zijn het hoogst waar de ophanging met het chassis verbonden is: 178 N/mm². De rest van het chassis is vrijwel spanningsloos (blauw).



Figuur 70: Von Mises spanning

Onderstaande figuur geeft het verloop van de doorbuiging weer:

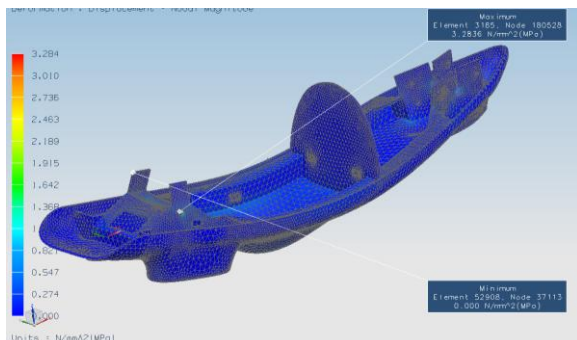


Figuur 71: doorzakking ten gevolge van centrifugaalkracht

De doorbuiging is hier niet dezelfde als de realiteit aangezien carbonlaminaten orthotroop zijn en in deze analyse ABS als materiaal gekozen is, wat isotroop is. Bovenstaande figuur toont hoe het chassis zou willen vervormen tijdens het nemen van een bocht. De binnenzijde van het chassis krijgt een lift terwijl de buitenzijde een drukkracht krijgt. Het chassis zal wringen rond zijn zwaartepunt. Aangezien het achterwiel op de centerlijn van chassis ligt, is deze niet in grote mate onderhevig aan lift.

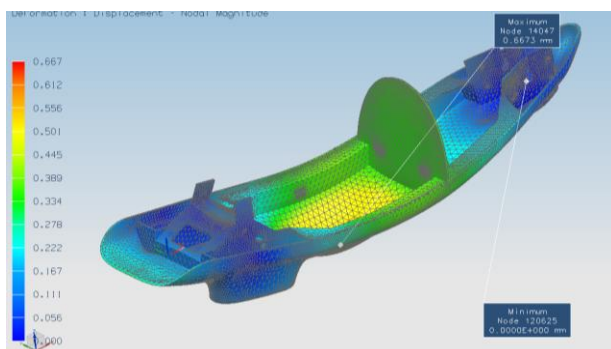
In onderstaande case wordt een totaal gewicht op chassis gelegd van 600 N.

Op figuur 70 zijn de spanningen opnieuw het grootst ter hoogte bij de ophanging. De spanningen zijn zeer klein: 3 N/mm²



Figuur 72: Von Mises spanning

Op onderstaande figuur ziet men dat de doorzakking het grootst is op de plaats waar de piloot ligt.



Figuur 73: doorzakking ten gevolge van massa piloot

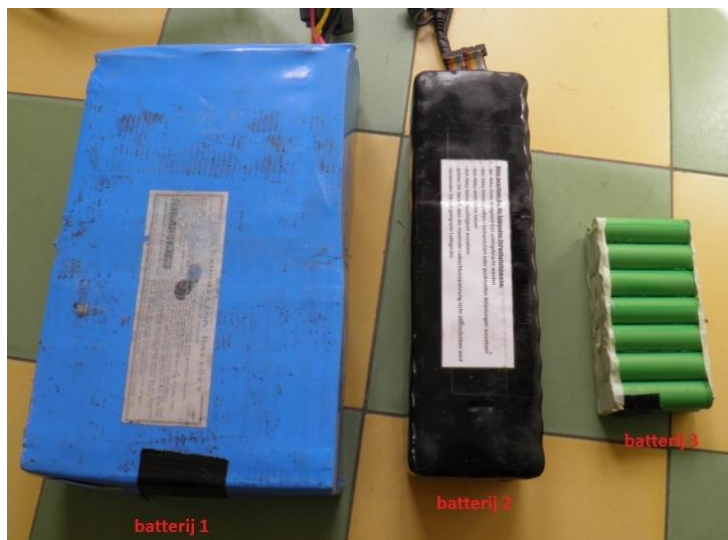
De grootte van de vervorming is ook hier niet correct en dit om dezelfde reden als hierboven.

Om de monocoque lichter te maken hebben we dus gaten geboord in de inserts. Deze zorgen enkel voor een verhoogde stijfheid maar nemen weinig spanning op.

2.4.3 Batterijen

De batterij die in het begin van het academiejaar beschikbaar was, had een capaciteit van 900Wh (zie afbeelding 72 , batterij 1) en woog 7.5 kg. Hiermee zou de Energy5 meer dan 100 kilometer kunnen rijden, wat onrealistisch was voor een wedstrijd.

Voor de eerste wedstrijd was niet gekend hoeveel energie precies nodig was. Daarom bestelden we twee batterijen (zie afbeelding 72 , batterij 2) van elk 300Wh die 2.5 kg weegt, wat een massawinst van 5 kg opleverde. Op de wedstrijd werd slechts 42Wh toegewezen per manche (er zijn vier manches). De capaciteit kon dus gereduceerd worden naar ongeveer 60Wh per batterij per manche, rekening houdend met de procentuele diepontlading (zie afbeelding 72 , batterij 3). De massa van de batterij is nu slechts 500gram.



Figuur 74: batterijen

2.4.4 Kunststof bouten

De bouten en moeren van de Energy5 bestonden uit verzinkt staal. Door gebruik te maken van lichtere maar toch even sterke materialen kon de massa naar dalen. Tabel 5 geeft de dichtheid weer van verschillende boutmaterialen:

Tabel 5: dichtheid boutmateriaal

Materiaalsoort	Soortgelijk gewicht (g/cm ³)
Aluminium	2,70
Polyamide (nylon)	1,15
Roestvast staal	8
Staal	7,8
Titanium	4,5

Polyamide bouten zijn extreem licht. Aan de hand van sterkte analyses van de wagen vervingen we de staalbouten door polyamide 6.6 bouten daar waar toegelaten was.

2.5 Rijstrategie

De wedstrijd verloopt op een velodroom. Op dit soort circuits heeft de wagen te maken met hellingsweerstand. De bochten zijn hellend waardoor de centrifugaalkracht verkleint maar de wagen wel de neiging heeft om te kantelen.

Ieder circuit heeft zijn voor- en nadelen. Bij de uitbolstrategie is het dus belangrijk om te weten wanneer men moet accelereren en hoe men de bochten moet aansnijden om zo efficiënt mogelijk uit te lopen. Door op het circuit experimentele testen te doen, kan men verschillende acceleratiepunten proberen om zo tot de juiste rijstrategie te komen. Veel hangt ook af van de input van de piloot.

Tijdens het uitlopen vraagt de motor geen vermogen. Er gaat dus geen energie naar de motor. Toch leest men op de Wattsup verbruiksmeter een vermogen van 2W af. Dit is het vermogen dat geleverd

wordt om de elektronica (controller en display) te voeden. De velodroom van Rochefort heeft een omtrek van 400m. De gemiddelde snelheid is 30km/h. De tijd waarin een ronde moet afgelegd zijn, is dan:

$$t = \frac{x}{v} = \frac{400}{8,3} = 48 \text{ s}$$

met:

x: afstand (400 m)

$$v: \text{snelheid} \left(30 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 8,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

De verhouding gas/uitlopen is 30/70. Dit wil zeggen dat 70 % van de ronde uitgebld wordt. Dus:

$$t_{\text{uitbollen}} = 0,7 t = 0,7 \cdot 48 = 33,6 \text{ s}$$

Het uitlopen duurt 33,6 s. Tijdens deze tijd staat de vermogenelektronica aan, deze verbruikt:

$$E = P t = 2 \cdot 33,6 = 67,2 \text{ J}$$

Met:

P: vermogen van vermogenelektronica (2 W)

t: tijd (33,6 s)

Per ronde verbruikt men 67,2 J aan vermogenelektronica. Per manche legt men 22 ronden af, dus:

$$E_{\text{elektronica}} = \# \text{ ronden} \cdot E = 22 \cdot 67,2 = 1478,4 \text{ J} = 0,4 \text{ Wh}$$

Op de wedstrijd kreeg men 42 Wh ter beschikking. De verhouding tussen het verbruik van elektronica en totale beschikbare energie is:

$$\frac{0,4}{42} = 0,01 = 1 \%$$

Dit wil zeggen dat op een afstand van 2337 km men 23,37 km extra aflegt als men het elektronicaverbruik elimineert.

Dit verlies is niet noemenswaardig groot. Men kan een schakelaar plaatsen die de elektronica afzet tijdens het uitbollen zodat men minder verbruikt. Wanneer men dit doet, kan de piloot de snelheidsmeter niet meer lezen. Dan moet men aparte snelheidsmeter plaatsen op onafhankelijke batterij.

Hoofdstuk 7 Tweede wedstrijd Belgian Eco Marathon

1 Aanpassingen

De PMMA ruiten van 3 mm dik werden vervangen door polycarbonaat ruiten van slechts 1mm dik. Hierdoor werd de zichtbaarheid fel verbeterd. Ook de massa is hierdoor afgenomen. De spiegels konden binnen in de wagen gemonteerd worden waardoor de luchtweerstand met 50% afnam. De nieuwe batterijen waren helaas niet op tijd klaar zodat we verplicht waren de zwaardere batterij van de eerste wedstrijd te gebruiken.

We hebben een nieuwe kap gerealiseerd maar deze is door uithardingsproblemen onbruikbaar. Hierdoor was ons doel om de wagen met 4,5 kg te verlichten mislukt. Wel werden gaten geboord in de monocoque die leiden tot 500 gram massareductie.

De vrijloop van de motor werd volledig gedemonteerd en gereinigd. De dichtingen van de lagers van de planeetwielen werden verwijderd. Lagers werden met hoogwaardige smeerolie gesmeerd.



Figuur 75: lagers vrijloopsysteem smeren

2 Wedstrijdevaluatie

Zaterdag 30 juni was het technische controle en vrije training. De wagen ging vlot voorbij de controle. Er was dus voldoende tijd over om de wagen af te stellen naar de piloot en een geschikte rijstrategie te bepalen. De piloot moest opnieuw 30km/h gemiddeld rijden per ronde. Dit betekende 48,7 seconden per ronde. De rijstrategie werd afgestemd op deze tijd: uit de verbruiksanalyse konden we besluiten dat de piloot zeker geen gas mocht geven op de helling. De plaats van acceleratie lag dus juist voor de helling van de kombocht.

3 Resultaat

De aanpassingen hebben resultaat opgeleverd. Met 2655 km met 1 liter benzine equivalent verbroken we ons eigen record met 300 km meer. Bovendien zijn we de winnaars van het kampioenschap zuinigheidsrijden Belgian Eco Marathon 2011-2012. We wonnen vier prijzen: beste prestatie met 2655km, beste wagen algemeen, beste elektrische wagen en meest innovatieve wagen.

Classement général final										
Pl	km/l	No	Energie	Cat	Voiture	Equipe	Ecole	Pilote 1	Pilote 2	
1	2547,148	30	Electricité	Proto	ENERGY V	Hogeschool Gent	Hogeschool Gent	KORTE	Sara	FOSSAERT Gery
2	1357,647	1	Electricité	Proto	Flash	A VOS MARCQ	Lycée Alfred Mongy	VALIN	Tanguy	BONNAERT Guillaume
3	1319,259	20	Electricité	Proto	Blue	U.L.B. Ecol Polyt.	ULB/Ecole Polytechnique	VANDEPUTTE	Christine	SLUYS Maïte
4	483,751	22	Electricité	Replica	C.A. Marcq	A VOS MARCQ	Lycée Alfred Mongy	VINCENT	Tony	
5	324,844	23	Ethanol	Proto	Ecomotion	Ecomotion	Hte Ecole Prov Liège	DIAZ-MARTIN	isabel	
6	294,406	26	Ethanol	Proto	Utécia 2012	Team Utécia	Univ.Techn.Compiègne	BENABDESSELAM	Fatinne-Zohra	HARLE Clémence
7	292,479	3	Ess/Benz	Proto	La Gerbille	ECAM.be	ecam	DUMMA	Tracy	WENDERS Valérie
8	143,854	21	Diesel	Proto	A.V.Marcq-Lan.	A VOS MARCQ	Lycée Alfred Mongy	FROMENT	Julien	VALIN Tanguy

Classement par catégorie Classement Prototypes										
Pl	km/l	No	Energie	Cat	Voiture	Equipe	Ecole	Pilote 1	Pilote 2	
1	2547,148	30	Electricité	Proto	ENERGY V	Hogeschool Gent	Hogeschool Gent	KORTE	Sara	FOSSAERT Gery
2	1357,647	1	Electricité	Proto	Flash	A VOS MARCQ	Lycée Alfred Mongy	VALIN	Tanguy	BONNAERT Guillaume
3	1319,259	20	Electricité	Proto	Blue	U.L.B. Ecol Polyt.	ULB/Ecole Polytechnique	VANDEPUTTE	Christine	SLUYS Maïte
4	324,844	23	Ethanol	Proto	Ecomotion	Ecomotion	Hte Ecole Prov Liège	DIAZ-MARTIN	isabel	
5	294,406	26	Ethanol	Proto	Utécia 2012	Team Utécia	Univ.Techn.Compiègne	BENABDESSELAM	Fatinne-Zohra	HARLE Clémence
6	292,479	3	Ess/Benz	Proto	La Gerbille	ECAM.be	ecam	DUMMA	Tracy	WENDERS Valérie
7	143,854	21	Diesel	Proto	A.V.Marcq-Lan.	A VOS MARCQ	Lycée Alfred Mongy	FROMENT	Julien	VALIN Tanguy

Classement par énergie Classement Electricité										
Pl	km/l	No	Energie	Cat	Voiture	Equipe	Ecole	Pilote 1	Pilote 2	
1	2547,148	30	Electricité	Proto	ENERGY V	Hogeschool Gent	Hogeschool Gent	KORTE	Sara	FOSSAERT Gery
2	1357,647	1	Electricité	Proto	Flash	A VOS MARCQ	Lycée Alfred Mongy	VALIN	Tanguy	BONNAERT Guillaume
3	1319,259	20	Electricité	Proto	Blue	U.L.B. Ecol Polyt.	ULB/Ecole Polytechnique	VANDEPUTTE	Christine	SLUYS Maïte
4	483,751	22	Electricité	Replica	A.V.Marcq-Lan.	A VOS MARCQ	Lycée Alfred Mongy	VINCENT	Tony	

Classement par meilleure performance										
Pl	km/l	No	Energie	Cat	Voiture	Equipe	Ecole	Pilote 1	Pilote 2	
1	2655,705	30	Electricité	Proto	ENERGY V	Hogeschool Gent	Hogeschool Gent	KORTE	Sara	FOSSAERT Gery
2	1876,426	1	Electricité	Proto	Flash	A VOS MARCQ	Lycée Alfred Mongy	VALIN	Tanguy	BONNAERT Guillaume
3	1641,153	20	Electricité	Proto	Blue	U.L.B. Ecol Polyt.	ULB/Ecole Polytechnique	VANDEPUTTE	Christine	SLUYS Maïte
4	720,854	23	Ethanol	Proto	Ecomotion	Ecomotion	Hte Ecole Prov Liège	DIAZ-MARTIN	isabel	
5	654,588	22	Electricité	Replica	C.A. Marcq	A VOS MARCQ	Lycée Alfred Mongy	VINCENT	Tony	
6	599,521	26	Ethanol	Proto	Utécia 2012	Team Utécia	Univ.Techn.Compiègne	BENABDESSELAM	Fatinne-Zohra	HARLE Clémence
7	401,896	3	Ess/Benz	Proto	La Gerbille	ECAM.be	ecam	DUMMA	Tracy	WENDERS Valérie
8	296,000	21	Diesel	Proto	A.V.Marcq-Lan.	A VOS MARCQ	Lycée Alfred Mongy	FROMENT	Julien	VALIN Tanguy

Figuur 76: resultaten derde wedstrijd Belgian Eco Marathon



Figuur 77: Energy5 op prijsuitreiking

Hoofdstuk 8 Future prospects

1 Materiaalstudie

1.1 Negatieve matrijs

De positieve plug van de Energy het basismodel van de wagen. Deze is gemaakt uit Polystyreen schuim dat handmatig is afgewerkt tot een spiegelglad model. De afwerkingsgraad van het oppervlak is direct een maat voor de afwerkingsgraad van de negatieve matrijs. Hoe gladder het oppervlak, hoe gladder de negatieve matrijs en hoe beter het resultaat. Hoe gladder de negatieve mal, hoe gemakkelijker men het eindproduct (wagen) kan realiseren.

Voor de matrijsen te maken, heeft men gebruik gemaakt van glasvezel met polyester. Polyester is echter een verkeerde keuze omdat de krimp (6 à 8 %) veel te groot is. Hierdoor treden er vorm – en oppervlaktefouten op (olifantenhuid).

In de toekomst mag er enkel met epoxy gewerkt worden. Dit product heeft nagenoeg geen krimp (0,5 %). Bovendien is een epoxylaminaat veel sterker dan een polyesterlaminaat.

Handlamineren is een arbeidsintensieve opdracht dat veel productkennis en ervaring vereist. Het is dan ook aangewezen om dit samen met een expert uit te voeren.

1.2 Monocoque

Het materiaal waaruit de Energy5 is opgebouwd is overgedimensioneerd. De honinggraadstructuur van de Energy4 had een dikte van +- 12mm. Uit materiaalonderzoek bleek dat de PVC-glasvezel-carbon structuur sterker is dan de honingraad. Het is dan overbodig om de Energy5 van een monocoque structuur te voorzien die ook 12mm dik is en veel te sterk is voor de belasting die op de wagen komt. Op plaatsen waar zeer weinig belasting is, kan men het laminaat verfijnen naar twee lagen carbon-epoxy. Enkel de plaats waar de piloot ligt en de ophanging bevestigd is, wordt zwaarder belast. Hierdoor reduceert men opnieuw de massa zonder breukgevaar te creëren. Men moet enkel opletten dat de doorbuiging binnen de toleranties blijft. Hiervoor kan men kleine en stijve profielen inlamineren.

2 Vormgeving

De monocoque van de Energy5 was oorspronkelijk ontworpen voor een dieselmotoraandrijving. Voor een elektrische aandrijving is veel minder ruimte nodig. De monocoque kan in de toekomst korter gemaakt worden. Hierdoor kan de massa van het voertuig gereduceerd worden. Een kortere wagen draagt ook bij tot een hogere stijfheid en een kortere wielbasis, wat leidt tot minder over-en onderstuur.

Aan de hand van het gekende stelsel (zie 'hoofdstuk 2 wielgeometrie en bochten', 'punt 3.2 Opstellen vergelijkingen') kan men onderzoeken hoe de wagen gedimensioneerd moet zijn om de rolweerstand zo laag mogelijk te houden. Men zou bijvoorbeeld een programma kunnen schrijven waarin alle aanpasbare parameters (bvb wielbasis, zwaartepunt, spoorbreedte, etc...) opgenomen worden. Door deze geometrische parameters van de wagen af te stemmen naargelang het circuit, kan men streven naar een ideaal model dat onderhevig is aan minimale krachtwerking. Natuurlijk is niet elk circuit gelijk. Extreem gezien zou men dan voor elk circuit een andere set-up aan de wagen kunnen geven.

3 Ophanging

De krachten die inwerken op de wagen (zie hoofdstuk 2 wielgeometrie) zijn nu allemaal gekend. Hierdoor kan in de toekomst de ophanging lichter geconstrueerd worden. Men kan bijvoorbeeld de onderdelen laten printen in een geschikt materiaal.

De assen van de wielen kunnen uit een sterker materiaal vervaardigd worden. Hierdoor kunnen de asdiameters tot een minimum herleid worden en kunnen kleinere lagers gemonteerd worden, wat de wrijving en de massa doet afnemen.

4 Aandrijving

De wagen is nu voorzien van een naafmotor. Voordeel hiervan is de eliminatie van de overbrengingsverliezen. Nadeel van de motor is de hoge massa (5.5 kg). De aandrijving wordt nu gebruikt met een stop & go strategie. Voor deze strategie bestaan er lichtere motoren met een nog hogere rendementscurven. Een laag vermogen tractiemotor (DC-motor) leent zich uitstekend bij deze toepassing. Natuurlijk moet men dan weer rekening houden met overbrengingsverliezen.

5 Velgen

De 45/75R16 banden zijn enkel geschikt voor een specifiek velgprofiel (zie hoofdstuk 6 : De eerste wedstrijd: Belgian Eco Marathon). Indien men dit velgprofiel met een zo laag mogelijk gewicht kan realiseren, kan de band opgepompt worden tot zijn maximum toelaatbare druk, de binnenband kan achterwege gelaten worden en is de rolweerstand tot een minimum herleid. Men kan bijvoorbeeld velgen laten frezen in aluminium, printen in een geschikt materiaal of carbonwielen maken.

6 Besluit

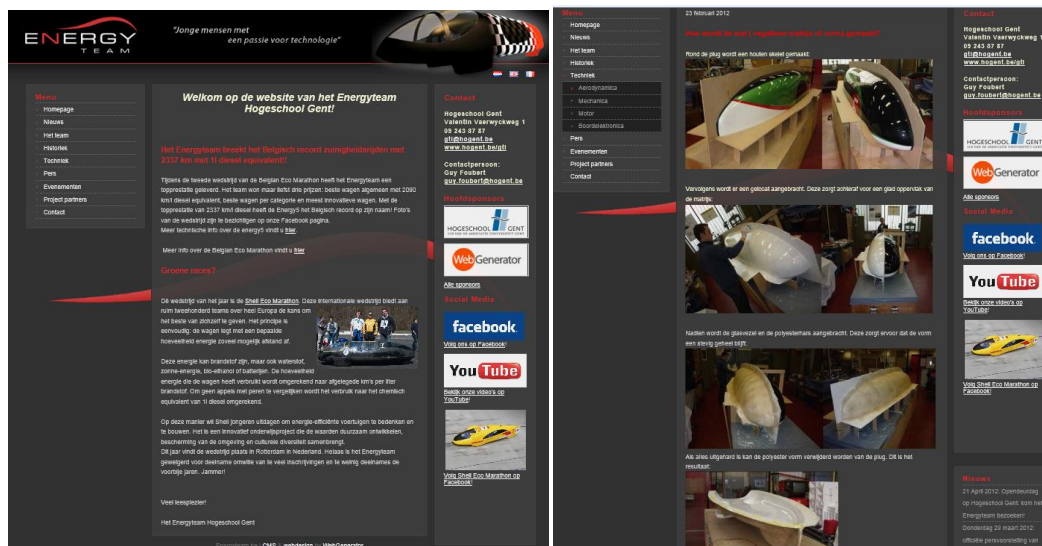
Indien men al deze aandachtspunten tot in de puntjes kunnen uitgewerkt worden, kan men streven naar een model dat zeker de kaap van de 3500 km met één liter diesel equivalent zal overschrijden tijdens de Belgian Eco Marathon. De tijd tussen studie en realisatie moet men beperken tot maximaal drie jaar om zo innovatief mogelijk te werken. Bij praktische realisatie van de wagen is hulp van experts een vereiste. Hierdoor verliest men minder tijd gedurende het arbeidsproces en worden fouten geminimaliseerd.

Hoofdstuk 9 Evenementen

1 Website & social media

Een website is vandaag de dag een handig en snel middel om het publiek de nodige informatie te geven. Uiteraard moet de website dan up to date zijn. Er werd een nieuwe tekst geschreven en een korte technische samenvatting met foto's hoe de Energy5 gerealiseerd is.

De website van het team is: www.energyteam.be



Figuur 78: de website

Om het Energyteam populair te maken mag een Facebookpagina niet ontbreken. Via dit middel bereiken we nog sneller een breed publiek. Op deze pagina werden foto's, persartikels, reportages geplaatst en ook evenementen waarop het Energyteam aanwezig zou zijn. Op de website werd dan ook een link gemaakt naar deze social media: Facebookpagina van het Energyteam, Facebookpagina van Shell Eco marathon en het Youtube kanaal.

De Facebookpagina van het Energyteam is: www.facebook.com/energyteam.Hogent

2 De pers

Toen de Energy 5 wedstrijd klaar was voor de Belgian Eco marathon, werd een eerste persbericht verspreid (zie bijlage IV). Uit onze testritten bleek dat de wagen, indien er geen complicaties zouden optreden, de 2000 km zou kunnen halen. Op onze persvoorstelling ontvingen we Kanaal-Z en AVS voor een beeldreportage en Radio2 voor een radiofragment. Tal van kranten en tijdschriften schreven een artikel. (zie CD-ROM)

Na de wedstrijd werd opnieuw een persbericht verstuurd met de boodschap dat de Energy5 2337 km kan rijden met een liter diesel equivalent. De persbelangstelling was groot met als koploper een reportage in het nieuws op VTM. Verder werden we ook geïnterviewd op de radio voor Radio2, MNM, StudioBrussel, Topradio en het Waalse Radiocontact.

3 Evenementen

Het Energyteam was aanwezig op verschillende evenementen. Op de opendeurdag stelden we ons materiaal ten toon voor het publiek. Aan de hand van posters maakten we duidelijk hoe de wagen

tot stand is gekomen. (zie CD-ROM)

Voor enkele secundaire scholen werden workshops georganiseerd waarbij de leerlingen konden kennismaken met het Energy 5 en enkele proefstanden Toegepaste Mechanica in de garage.

Van 2 tot en met 6 mei was er op het circuit van Zolder de CleanWeek 2020 waar tal van Hogescholen en Universiteiten, waaronder onze collega's uit Nederland, hun eco wagens ten toon stelden. Voornamelijk elektrische wagens stonden in de belangstelling. Er was ook de mogelijkheid om op het circuit van Zolder te rijden.

Op 12 mei 2012 organiseerde stad Gent 'Boetiek Techniek'. Op deze beurs stond techniek centraal. Het was de bedoeling om jongeren tot 14 jaar warm te maken voor techniek. De belangstelling was groot.



Figuur 79: Energyteam op Boetiek Techniek

Literatuurlijst

Hermans, O, (2010), *Materiaalstudie en opbouwprocedure van de Energy 5*, Afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Leenknecht, J, (2005), *Eco-wagen: optimalisatie van de aandrijving en het koetswerk*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Martens, F, (2011), *Energy5: stuurinrichting en remsysteem*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Naessens, J, (2005), *Eco-wagen: vergelijkingsstudie chassis*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Putteman, G, de Ryck, B, (2007), *Aerodynamisch voorontwerp Energy5*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Santin, J.J, Onder, C.H., Bernard, J, Isler, D, Kobler, P, Kolb, F, Weidmann, N & Guzzella, L, (2007), eerste uitgave, *The world's most fuel efficient vehicle Design and development of PAC CAR II*, Zürich/Singen

Smet, M, Mees, J, (2009), *studie en ontwerp van het chassis – koetswerk van een energiezuinige wagen naar sterkte en aerodynamica*, Hogeschool Gent, Afstudeerwerk, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Van Gheluwe, K, (2005), *Eco-wagen: de stuurinrichting*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Van Coster, R, Van Hijfte, P, (2010), *elektrische aandrijving van Energy5*, afstudeerwerk, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen

Wouters, M, *CAE: assembly_contact*. Cursus, Hogeschool Gent, Departement Toegepaste Ingenieurswetenschappen.

Bijlage I: Matlab

Vergelijkingen:

```
function F = myfun2(x)
%bekende parameters
L=1.8;
a=0.45;
M=100;
d_i=11.5/180*pi;
d_o=11.5/180*pi;
d_r=0;
V=12.5;
x_g=1.1;
z_g=0.3;

%parameters voor c_alfa's te berekenen
a_30=57.806;
a_31=15.101;
a_40=-0.082;
a_41=0.181;
P=5;
r_r=10*0.0254;

%19 vergelijkingen
y1=tan(d_i-x(1))-(L-x(5))/(x(4)*cos(x(6))-a/2); %tan(d-a)=...
y2=tan(d_o-x(2))-(L-x(5))/(x(4)*cos(x(6))+a/2);
y3=tan(d_r-x(3))+x(5)/(x(4)*cos(x(6)));
y4=sin(x(6))-(x_g-x(5))/x(4); %sin b = ...
y5=x(7)-x(17)*x(1)*180/pi; %Fy=C*alfa
y6=x(8)-x(18)*x(2)*180/pi;
y7=x(9)-x(19)*x(3)*180/pi;
y8=x(10)+(M*V^2/x(4))*sin(x(6))-x(16)*cos(d_r)-x(14)*cos(d_i)-
x(15)*cos(d_o)-x(9)*sin(d_r)-x(7)*sin(d_i)-x(8)*sin(d_o);
y9=- (M*V^2/x(4))*cos(x(6))-
x(16)*sin(d_r)+x(14)*sin(d_i)+x(15)*sin(d_o)+x(9)*cos(d_r)+x(7)*cos(d_i)+x(
8)*cos(d_o);
y10=a/2*((-x(15)*cos(d_o)-x(8)*sin(d_o))-(-x(14)*cos(d_i)-x(7)*sin(d_i)))-
x_g*(-x(16)*sin(d_r)+x(9)*cos(d_r))+(L-
x_g)*((x(15)*sin(d_o)+x(8)*cos(d_o))+(x(14)*sin(d_i)+x(7)*cos(d_i)));
y11=a/2*(x(12)-x(11))- (M*V^2/x(4))*(r_r-z_g)*cos(x(6));
y12=x_g*x(13)-(x(12)+x(11))*(L-x_g);
y13=x(11)+x(12)+x(13)-M*9.81;
y14=x(15)+0.0024*x(12);
y15=x(14)+0.0024*x(11);
y16=x(16)+0.0024*x(13);
y17=x(17)-(a_30+ a_31*P)*sin(2*atan(x(11)/(1000*(a_40+a_41*P))));
y18=x(18)-(a_30+ a_31*P)*sin(2*atan(x(12)/(1000*(a_40+a_41*P))));
y19=x(19)-(a_30+ a_31*P)*sin(2*atan(x(13)/(1000*(a_40+a_41*P))));

F = [y1;y2;y3;y4;y5;y6;y7;y8;y9;y10;y11;y12;y13;y14;y15;y16;y17;y18;y19];

%lijst variabelen

%x1: a_i
%x2: a_o
%x3: a_r
%x4: R
%x5: e
```

```

%x6: beta
%x7: F_yi
%x8: F_yo
%x9: F_yr
%x10: T
%x11: F_zi
%x12: F_zo
%x13: F_zr
%x14: F_xi
%x15: F_xo
%x16: F_xr
%x17: c_alfa_i
%x18: c_alfa_o
%x19: c_alfa_r

```

Programma met beginvoorwaarden

```

x1 = [0.1;0.1;0.1;10;1;0.01;800;300;700;200;500;100;400;-1;-1;-1;100;100;100]; % initiële gok (19)
options=optimset('Display','iter'); %aantal iteraties tonen
[y,fval]=fsolve(@myfun2,x1,options)

%uitkomst tonen
a_i_graden=y(1)*180/pi
a_o_graden=y(2)*180/pi
a_r_graden=y(3)*180/pi
R=y(4)
e=y(5)
beta_graden=y(6)*180/pi
F_yi=y(7)
F_yo=y(8)
F_yr=y(9)
T=y(10)
F_zi=y(11)
F_zo=y(12)
F_zr=y(13)
F_xi=y(14)
F_xo=y(15)
F_xr=y(16)
c_alfa_i=y(17)
c_alfa_o=y(18)
c_alfa_r=y(19)

```


resultaten:

a_i_graden = 6.7779

a_0_graden =7.0048

a_r_graden = 6.6865

R = 9.1004

e = 1.0669

beta_graden =0.2086

F_yo=782.5958

F_yi =275.6544

F_yr =680.2342

T =202.4048

F_zo =475.2607

F_zi = 124.2393

F_zr =381.5000

F_xo= -1.1406

F_xi = -0.2982

F_xr =-0.9156

c_alfa_o =115.4630

c_alfa_i =39.3522

c_alfa_r =101.7322

Bijlage II: ERIKS BAUDOIN Datasheets

Bijlage III: Michelin Datasheets

Bijlage IV: Persberichten

Bericht 1

Gent, 2012

PERSUITNODIGING

HO GENT ECO CAR TEAM RIJDT 2000 KM MET SLECHTS 1 LITER DIESEL

Het HoGent ECOcar team, een ploeg masterstudenten industrieel ingenieur elektromechanica, willen dit jaar het Belgisch Kampioenschap energiezuinig rijden winnen en daarbij de kaap van 2000 kilometer met slechts één liter diesel overschrijden. Het huidige record staat op 1640 kilometer. Op donderdag 29 maart geven ze een persdemonstratie van hun baanbrekende wagen.

Het doel van het HoGent ECOcar team is om de wagens (prototypes) zo veel mogelijk kilometers te laten afleggen met een **zo laag mogelijk energieverbruik**. De energiebron mag elektriciteit of brandstof zijn, maar ook alternatieve energiebronnen zoals waterstof en zonne-energie zijn toegestaan. Om het verbruik van de wagens met elkaar te vergelijken, wordt alles omgerekend naar het chemisch equivalent van 1 liter diesel.

BAANBREKENDE TECHNOLOGIE

Deze wagen – de HoGent ECOcar5 – is de opvolger van de Energy4, een model uit 2005. De **innovaties en verbeteringen aan de HoGent ECOcar5** zijn zeer uiteenlopend. “De grootste vernieuwing is de aandrijving”, zegt Michel Remon, die samen met Gery Fossaert dit jaar aan de wagen bouwt. “De dieselmotor heeft plaatsgemaakt voor een elektromotor. Deze is afkomstig van een elektrische fiets en zit in het wiel verwerkt. Overbrengingsverliezen zijn dus uitgesloten. De motor wordt gevoed met een lithium-ionaccu die op maat is gemaakt voor de energie die we nodig hebben om één manche te rijden op een wedstrijd.”

De accu van de HoGent ECOcar5 weegt slechts drie kilogram. De **elektromotor** is een synchrone motor met een permanente magneet en is voorzien van een inwendige vrijloopkoppeling. Die zorgen ervoor dat, in combinatie met uitstekende lagers, banden met ultralage rolweerstand en een goede aerodynamische vorm, de wagen lang kan uitlopen.

“Volgens het wedstrijdreglement moeten deelnemers gemiddeld 30 km/u rijden. Door onze rijstrategie moet de piloot slechts één keer gas geven per ronde, een ovaal van 400 meter lang”, zegt Gery Fossaert trots.

VAN ENERGY4 NAAR ECOCAR5

HoGent ECOcar team is de nieuwe naam van het Energy Team, dat al sinds 1995 superzuinige wagens bouwt. **In 2005 verbraken zij het Belgische record met de Energy4.** Die legde met een dieselmotor niet minder dan 1367 kilometer af met slechts 1 liter diesel. De voorbije jaren is het HoGent ECOcar team druk bezig geweest met de ontwikkeling van het nieuwe model: de ECOcar5. Het aerodynamisch model van de Energy4 is volledig vernieuwd en heeft nu een druppelvorm. Hierdoor is er nog minder luchtweerstand. Daarnaast is het honingraatchassis vervangen door een stijver en lichter monocoque. Deze bestaat uit PVC-schuim dat versterkt is met carbon en glasvezel en amper 15 kilogram weegt. De carrosserie is vervaardigd uit carbon en glasvezel, de ruiten uit PMMA (beter bekend als plexiglas).

BELGISCH KAMPIOENSCHAP

Het Belgisch Kampioenschap vindt plaats op drie verschillende tijdstippen, waarvan de eerste al gereden werd in oktober 2011. De wedstrijd bevat drie manches op één dag. Per manche krijgen deelnemers een bepaalde hoeveelheid energie waarmee de wagen zo ver mogelijk moet rijden. Helaas was de ECOcar5 toen nog niet klaar en kon het team dus niet deelnemen. Maar voor de volgende wedstrijd op 31 maart en 1 april in Rochefort staat het HoGent ECOcar team paraat! De laatste wedstrijd van het Belgische Kampioenschap vindt plaats op 30 juni en 1 juli.

>> Volg de ontwikkelingen van het HoGent ECOcar team via www.energyteam.be

>> Neem ook een kijkje op de [Facebook-pagina](#)

WAT

Persdemonstratie ECOcar5 - energiezuinige wagen HoGent

Ook de oudere modellen zijn te bezichtigen

WANNEER

29 maart – 11 uur

De tweede ronde van het Belgisch Kampioenschap vindt plaats op 31 maart en 1 april in Rochefort. De derde rond vindt plaats op 30 juni en 1 juli.

WAAR

HoGent – campus Schoonmeersen

V.Vaerwyckweg 1 (post, auto)

Voskenslaan 270

9000 Gent

CONTACT (NIET VOOR PUBLICATIE)

Michel Remon

0478 21 36 28

HoGent ECOcar team

marijke.dekeyser@hogent.be

HoGent

0498 15 69 38

michel_remon@hotmail.com

Johan Persyn

Dienst Communicatie

HoGent

Gery Fossaert

0475 54 94 16

HoGent ECOcar team

johan.persyn@hogent.be

HoGent

0472 91 16 06

gery.fossaert@telenet.be

Marijke De Keyser

Toegepaste Ingenieurswetenschappen

HoGent

Bericht 2

Gent, 2 april 2012

PERSBERICHT

HO GENT ENERGY TEAM RIJDT BELGISCH RECORD MET ENERGIEZUINIGE WAGEN



Het HoGent Energy Team, een ploeg masterstudenten industrieel ingenieur elektromechanica, heeft het Belgisch record energiezuinig rijden verbroken. Ze deden dat door 2337 kilometer te rijden met amper één liter diesel. Het vorige record stond op 1640 kilometer. Het Energy Team haalde niet minder dan drie prijzen binnen: beste wagen algemeen met een gemiddelde van 2090 km met 1 liter diesel (gezien over de 4 manches gereden op zondag), beste wagen binnen de categorie van prototypes (elektrisch) en als laatste: mooiste en meest innoverende wagen!

“Na een moeilijke testdag op zaterdag, vlak voor de wedstrijd, hebben we op de dag van de wedstrijd dan toch een ongelooflijke prestatie kunnen neerzetten. Onze pilote, Sara Korte, deed het meesterlijk. Ze had enorm veel lef, reed perfecte ronde tijden en volgde onze adviezen met glans op”, zegt Michel Remon van het HoGent Energy Team.

Het doel van het HoGent Energy Team is om de wagens (prototypes) zo veel mogelijk kilometers te laten afleggen met een **zo laag mogelijk energieverbruik**. De energiebron mag elektriciteit of brandstof zijn, maar ook alternatieve energiebronnen zoals waterstof en zonne-energie zijn toegestaan. Om het verbruik van de wagens met elkaar te vergelijken, wordt alles omgerekend naar het chemisch equivalent van 1 liter diesel.

BAANBREKENDE TECHNOLOGIE

Deze wagen – de HoGent Energy5 – is de opvolger van de Energy4, dat in 2005 al het toenmalige Belgische record brak. De **innovaties en verbeteringen aan de HoGent Energy5** zijn zeer uiteenlopend. “De grootste vernieuwing is de aandrijving”, zegt Michel Remon, die dit jaar samen met Gery Fossaert aan de wagen bouwt. “De dieselmotor heeft plaatsgemaakt voor een elektromotor. Deze is afkomstig van een elektrische fiets en zit in het wiel verwerkt. Overbrengingsverliezen zijn dus uitgesloten. De motor wordt gevoed met een lithium-ionaccu die op maat is gemaakt voor de energie die we nodig hebben om één manche te rijden op een wedstrijd.”

De accu van de HoGent Energy5 weegt slechts drie kilogram. De **elektromotor** is een synchrone motor met een permanente magneet en heeft een inwendige vrijlooppkoppeling. In combinatie met uitstekende lagers, banden met ultralage rolweerstand en een goede aerodynamische vorm, zorgt die ervoor dat de wagen lang kan uitlopen. “Volgens het wedstrijdreglement moeten deelnemers gemiddeld 30 km/u rijden. Door onze rijstrategie moet de piloot maar één keer gas geven per ronde, een ovaal van 400 meter lang”, zegt Gery Fossaert trots.

>> Volg de ontwikkelingen van het HoGent Energy Team via www.energyteam.be

>> Neem ook een kijkje op de [Facebook-pagina](#)

CONTACT (NIET VOOR PUBLICATIE)

Michel Remon

HoGent Energy Team

HoGent

0498 15 69 38

michel_remon@hotmail.com

Gery Fossaert

HoGent Energy Team

HoGent

0472 91 16 06

gery.fossaert@telenet.be

Marijke De Keyser

Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen

HoGent

0478 21 36 28

marijke.dekeyser@hogent.be

Johan Persyn

Dienst Communicatie

HoGent

0475 54 94 16

johan.persyn@hogent.be