

Verhogen van de fiabiliteit van treindeur-systemen

Dries Vanwalleghem, Wim Van der Gucht

Promotoren: prof. dr. ir. Wim De Waele, prof. dr. ir. Patrick De Baets

Begeleiders: prof. Hendrik Bonne, ir. Walter Eeckhout (NMBS)

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master in de ingenieurswetenschappen: werktuigkunde-elektrotechniek

Vakgroep Mechanische Constructie en Productie

Voorzitter: prof. dr. ir. Patrick De Baets

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

Academiejaar 2010-2011



Verhogen van de fiabiliteit van treindeur-systemen

Dries Vanwalleghem, Wim Van der Gucht

Promotoren: prof. dr. ir. Wim De Waele, prof. dr. ir. Patrick De Baets

Begeleiders: prof. Hendrik Bonne, ir. Walter Eeckhout (NMBS)

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master in de ingenieurswetenschappen: werktuigkunde-elektrotechniek

Vakgroep Mechanische Constructie en Productie
Voorzitter: prof. dr. ir. Patrick De Baets
Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Academiejaar 2010-2011



Woord Vooraf

Dit werk is tot stand gekomen naar aanleiding van onze Meesterproef tijdens de opleiding Burgerlijk Ingenieur aan de Universiteit Gent. Door onze uitgesproken interesse voor de spoorwegen, hebben we ervoor gekozen deze thesisopdracht uit te voeren in samenwerking met NMBS Technics.

We hebben dit werk alleen maar tot een goed einde kunnen brengen mede dankzij de medewerking van tal van personen. Graag willen we deze mensen uitvoerig bedanken.

Vooreerst denken we hierbij aan ir. Christiaan Dobbelaere die ons het thesisonderwerp heeft aangereikt en de nodige voorzieningen heeft getroffen teneinde ons de mogelijkheid te geven onze Meesterproef uit te voeren binnen NMBS Technics.

Daarnaast willen we een oprecht woord van dank uiten aan onze twee promotoren prof. dr. ir. Patrick De Baets en prof. dr. ir. Wim De Waele en onze twee begeleiders binnen NMBS Technics prof. ir. Hendrik Bonne en ir. Walter Eeckhout. Hun bijdragen vormden een waardevolle insteek voor de behandeling van het thesisonderwerp.

We bedanken ook ir. Steven Quinteyn, Guido Van Haele en Patrick Pannekoecke die binnen NMBS Technics ons in raad en daad hebben bijgestaan bij de uitvoering van het praktische luik van deze thesisopdracht, alsook Ronny Van Acker die de contacten met NMBS-Mobility verzorgd heeft. Bij de uitvoering van het praktische luik binnen de UGent dienen we dr. ir. Wouter Ost en ir. Joachim Vanwalleghem te bedanken voor hun waardevolle bijdrage bij het tot stand komen van Hoofdstuk 6.

Verder bedanken we nog iedereen, doorheen de volledige structuur van de NMBS en Labo Soete, die op een constructieve manier zijn/haar steentje heeft bijgedragen tot een goede afloop van onze thesis.

Tenslotte verdienen onze ouders en vrienden een speciaal woord van dank. Onze ouders hebben ons de kans gegeven deze studies aan te vatten en tot een goed einde te brengen. Dankzij hen en onze vrienden zijn we er mede in geslaagd om in moeilijke en minder moeilijke momenten door te zetten zodat dit werk tot stand kon komen.

Wim Van der Gucht
Dries Vanwalleghem
Gent, juni 2011

Toelating tot bruikleen

Deze Meesterproef bevat vertrouwelijke informatie en vertrouwelijke onderzoeksresultaten die toebehoren aan de UGent en de NMBS. De inhoud van de Meesterproef mag onder geen enkele manier publiek gemaakt worden, noch geheel noch gedeeltelijk zonder de uitdrukkelijke schriftelijke voorafgaandelijke toestemming van de UGent en de NMBS. Zo mag het eindwerk onder meer onder geen beding door derden worden ingekeken of aan derden worden meegedeeld, is het nemen van kopieën of het op eender welke wijze dupliceren van het eindwerk verboden. Het niet respecteren van de confidentiële aard van het eindwerk veroorzaakt onherstelbare schade aan de UGent en de NMBS. Ingeval een geschil zou ontstaan in het kader van deze verklaring, dient een procedure opgestart te worden naar het Belgisch Recht.

CONFIDENTIALITY NOTICE – IMPORTANT – PLEASE READ FIRST

This document may contain confidential information proprietary to the Universiteit Gent and the SNCB. It is therefore strictly forbidden to publish, cite or make public in any way this document or any part thereof without the express written permission by the Universiteit Gent and the SNCB. Under no circumstance this document may be communicated to or put at the disposal of third parties; photocopying or duplicating it in any other way is strictly prohibited. Disregarding the confidential nature of this document may cause irremediable damage to the Universiteit Gent and the SNCB.

Gent, juni 2011

De promotoren

prof. dr. ir. Patrick De Baets

prof. dr. ir. Wim De Waele

De begeleiders

prof. ir. Hendrik Bonne

ir. Walter Eeckhout

De auteurs

Wim Van der Gucht

Dries Vanwalleghem

Verhogen van de fiabiliteit van treindeur-systemen

Wim Van der Gucht en Dries Vanwalleghem

Promotoren: prof. dr. ir. Wim De Waele, prof. dr. ir. Patrick De Baets

Begeleiders: prof. ir. Hendrik Bonne, ir. Walter Eeckhout (NMBS)

Meesterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van Meester in de ingenieurswetenschappen: werktuigkunde-elektrotechniek

Vakgroep Mechanische Constructie en Productie

Voorzitter: prof. dr. ir. Patrick De Baets

Faculteit ingenieurswetenschappen en Architectuur

Academiejaar 2010-2011

Samenvatting

Spoorwegoperator NMBS streeft naar een verbeterde dienstverlening en dit onder druk van een steeds toenemende vraag naar mobiliteit. Ze ervaart dat tijdens de inzet van haar rollend materieel de instapdeuren één van de hoofdelementen zijn die leiden tot vertragingen en dus een verminderde dienstverlening. Het motorstel AM75-77 laat veel deurincidenten optekenen en wordt binnenkort onderworpen aan modernisatie. Deze thesisopdracht heeft als concreet doel de fiabiliteit van het treindeur-systeem van de AM75-77 te verhogen na modernisatie.

Hiertoe wordt eerst een nulmeting van de fiabiliteit van de verschillende treindeur-systemen op het materieelpark verricht. Om deze studie gestructureerd aan te pakken wordt gesteund op de standaard CENELEC EN 50126 'The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)'. De kwantificatie van de RAMS-parameters voor de verschillende treindeur-systemen vormt het resultaat van deze studie.

Om tot verbeteringsvoorstellen te komen voor de AM75-77, is in deze thesis een Foutenboomanalyse (Eng: Fault Tree Analysis – FTA) uitgevoerd op haar instapdeuren. Hieruit werd de deurcilinder geïdentificeerd als de component met het meeste invloed op de faalfrequentie. De deurcilinder wordt daarom in extenso behandeld waarbij naar de oorzaken van en remedies voor dit falen gezocht wordt.

De techniek van Foutenboomanalyse wordt tot slot een tweede keer toegepast als voorspellingstool om het prototypeontwerp van de instapdeuren voor de gemoderniseerde AM75-77 te evalueren.

Trefwoorden

CENELEC EN 50126, Fiabiliteit, Foutenboomanalyse, Levenscyclusfasen, Mobiliteit, Pneumatische cilinder, RAMS-parameters, Transporttoepassingen, Treindeur-systemen

Reliability analysis of semi-automatic train door systems in service on today's rolling stock of the SNCB

W. Van der Gucht¹, D. Vanwalleghem¹, H. Bonne², W. Eeckhout², W. De Waele³, P. De Baets³

¹Ghent University, Belgium

²SCNB, Belgium

³Ghent University, Laboratorium Soete, Belgium

Abstract- The National Railway Company of Belgium (SNCB) is in a continuous search for optimizing its services in a society that expresses an ever demanding need for mobility. The SNCB experiences that malfunctioning of the entrance doors during the operation of passenger trains is one of the top elements that cause delays. The AM75-77 EMU type passenger train experiences a lot of door problems and will be modernised in the near future. This master thesis analyses the reliability of its semi-automatic door system and gives well-founded advice for its optimisation. At first, a RAMS-analysis was performed in accordance with the standard CENELEC EN 50126 for all series of rolling stock operated by the SNCB. In a next stage, a Fault Tree Analysis (FTA) was carried out on the entrance doors of the AM75-77 EMU. The FTA designated the pneumatic cylinder being the most critical component with regard to the occurrence of failures. Therefore in the master thesis the pneumatic cylinder is subject of a technical study considering all aspects during its operational life. Finally, the FTA methodology is applied to predict the reliability performance of the adopted entrance door design of the modernisation's prototype.

Keywords- FTA, Pneumatic piston, Reliability analysis, SNCB, train door systems, transportation

I. INTRODUCTION

The National Railway Company of Belgium (SNCB) experienced that malfunctioning of the entrance doors during the operation of passenger trains is one of the top elements that cause delays. Furthermore, entrance doors can be a source of safety accidents with passengers and/or train crew. In order to understand the source of these problems, a master thesis is performed (at Ghent University in cooperation with the SNCB) on the reliability of semi-automatic train door systems. The purpose of this master thesis is to analyse the Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) performance of different semi-automatic pneumatic door systems in service on the rolling stock of the SNCB in accordance with the European standard CENELEC EN 50126. The SNCB deploys different types of rolling stock (e.g. hauled trains, push-pull trains, Electric Multiple Units and Diesel Multiple Units). Each series of rolling stock is referred to with its own abbreviation. Note that EMUs and DMUs consist of multiple coaches with own traction facilities.

The master thesis will focus on the Reliability of the door system of an AM75-77 EMU type passenger train, shown in Figure 1, by means of a Fault Tree Analysis (FTA). This EMU will be modernised in the near future and one of the goals of the master thesis is to give well-founded advice for the optimization of its door system.



Figure 1 An AM75-77 EMU

II. RAMS ACCORDING TO STANDARD CENELEC EN 50126

Before conducting a Reliability-analysis, RAMS parameters need to be quantified. Therefore a RAMS method adopted for the specific case of train door systems needs to be developed.

A. Defining a RAMS method for train door systems

At first a clear definition is given for the four acronyms of the abbreviation 'RAMS'. This enables a platform to discuss the performance of train door systems. Hereby the in-depth treatment of 'Failure' through the lifecycles of a component was inevitable. Because a Reliability analysis was put forward as the ultimate goal of the thesis, Fault Tree Analysis (FTA) was discussed as a Reliability analysis methodology.

B. Making RAMS performances comparable

Operational and maintenance databases keep track of events in absolute figures. Series of rolling stock having a large number of coaches or being used more frequently, are likely to appear more in these databases. In order to make a fair comparison it is needed to develop a reference time frame and a reference unity.

As reference time frame the period from **July 2009 until June 2010** has been defined. As reference unit we opted on one hand for **1 million kilometres** travelled, on the other hand for **1 million door cycles** performed. The latter being especially developed for the master thesis subject.

C. Quantification of the Reliability-parameter

It must be noted that the results of the HV M5(m) type passenger train should not be taken into account in the graphs given below. The values for the R-parameter of the AM75-77 are marked in red.

Figure 2 displays the values for the R parameters according to reference unit one, 1 million kilometres travelled.

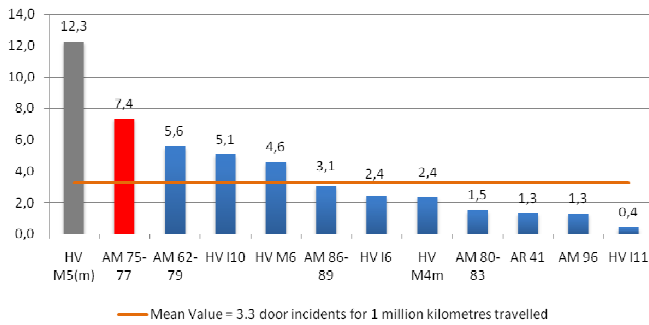


Figure 2 Reliability: number of door incidents for 1 million kilometres travelled

When comparing the R-parameter according to reference unit one, the AM75-77 EMU has the poorest Reliability-performance with 7.4 door incidents for every million kilometre travelled.

Figure 3 displays the value for the R-parameter according to reference unit two, 1 million door cycles performed.

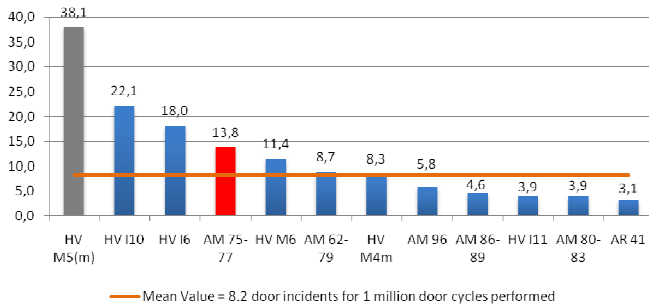


Figure 3 Reliability: number of door incidents for 1 million door cycles performed

When comparing the R-parameter according to reference unit two, the AM75-77 EMU displays 13.8 incidents for 1 million door cycles performed. This means that, on average, one incident occurs every 72,600 door cycles. The door system, however gets only a full maintenance update after every 6 years in service. This is the equivalent of 100,000 door cycles performed. Therefore the door system's reliability needs to be elevated.

III. FTA OF THE ENTRANCE DOORS OF THE AM75-77 EMU

A. Work method

A number of 11 'top events' have been defined for the Fault Tree Analysis (FTA) based on an analysis of different operational databases. For each of the developed fault trees, the minimal Cut Sets were determined. In order not to be limited to a qualitative analysis, failure rates need to be determined for the cut sets. These failure rates were obtained on one hand from MIL-Spec databases, on the other hand from operational and maintenance databases. The failure rate for every top event can be calculated, once failure rates are known for each cut set.

B. Results

The pneumatic piston was found to be the most critical component of influence on the global failure rate.

IV. LIFECYCLE ANALYSIS OF THE PNEUMATIC PISTON

A complete analysis of the operational life of the pneumatic piston has been performed. Figure 4 shows the most remarkable result found during the study of failed pistons. A large number of pistons were totally worn out due to adhesive wear of the rubber-aluminium contact. A lubrication problem was found to be the root cause.



Figure 4: Adhesive wear of the rubber-aluminium contact due to lubrication problems

Figure 5 indicates through a bathtub failure curve the beneficial influence a revision cycle should have on a component.

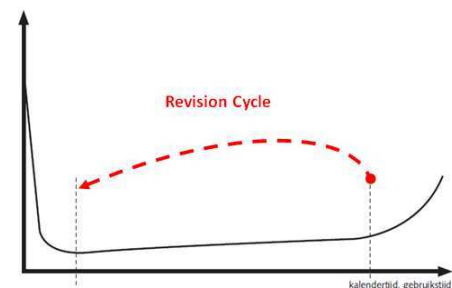


Figure 5: Influence of a Revision Cycle on a bathtub curve

However, the revision cycle for the pneumatic piston was found not to be adequate. Several recommendations are given in the master thesis to improve the effectiveness of the revision cycle. The most obvious one being a change in lubricant.

V. FTA OF THE DOOR SYSTEM DESIGN FOR THE MODERNISATION'S PROTOTYPE

In this case FTA was used as a prediction tool for the Reliability performance of the adapted entrance door design.

A. Work method

The work method applied was similar to the one for the current entrance door. However, for the determination of the failure rates of new bought components datasheets were consulted.

B. Results and points of attention

In the current design stage, the adapted door system will have a reliability performance similar to the door system. However important gains are made considering safety. Because Failure Rates of some adapted components could not be precisely determined, worst-case values were used. Meaning the final design has potential for reliability gains.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the help of many people working at the SNCB and Ghent University, Laboratorium Soete.

Inhoudsopgave

HOOFDSTUK 1 INLEIDING	1
1.1 PROBLEEMSTELLING	1
1.2 DOELSTELLING VAN DE THESIS	2
1.3 GEVOLGDE WERKWIJZE	3
HOOFDSTUK 2 OVERZICHT MATERIEELTYPES EN INSTAPDEUREN AM75-77	4
2.1 TYPES TREINDEUR-SYSTEMEN.....	4
2.2 MATERIEELREEKSEN	5
2.2.1 Motorstellen	6
2.2.2 Motorwagens.....	8
2.2.3 Rijtuig(en).....	9
2.3 HET VIERLEDIG MOTORSTEL AM 75-77 EN HAAR INSTAPDEUREN	11
2.3.1 Technische aspecten instapdeuren AM75-77	11
2.3.2 Voorschriften voor het gebruik van de instapdeuren AM75-77.....	18
HOOFDSTUK 3 FIABILITEIT VAN TREINDEUR-SYSTEMEN: DE RAMS-METHODE (CENELEC EN 50126).....	21
3.1 NORMERING BETREFFENDE RAMS	22
3.2 DEFINITIES VAN RAMS-ELEMENTEN TOEGEPAST OP HET THESISONDERWERP.....	22
3.2.1 Reliability	23
3.2.2 Availability	23
3.2.3 Maintainability	24
3.2.4 Safety.....	25
3.3 EEN RAMS-METHODOLOGIE VOOR HET DEURSYSTEEM VAN DE AM75-77.....	26
3.3.1 Verplichte vereisten voor de toepassing van EN 50126-1.....	26
3.3.2 Onderlinge beïnvloeding van RAMS-parameters.....	26
3.3.3 Definities ‘Falen’ en ‘Betrouwbaarheid’.....	27
3.3.4 RAMS-gegevens doorheen de verschillende levenscyclusfasen (het V-model).....	30
3.4 UITVOEREN VAN EEN RAMS-ANALYSE.....	31
3.4.1 Keuze van Foutenboomanalyse (Eng: Fault Tree Analysis - FTA) als R-analysemethode.....	31
HOOFDSTUK 4 KWANTIFICERING RAMS-PARAMETERS MATERIEELPARK	34
4.1 EN 50126-3	35
4.2 VERGELIJKBAAR MAKEN VAN RAMS-PRESTATIES	35
4.2.1 Definiëren tijds kader.....	35
4.2.2 Buiten beschouwing laten van de gegevens voor HV M5(m)	35
4.2.3 Definiëren Referentie-eenheid (1): 1 miljoen kilometer.....	36
4.2.4 Definiëren Referentie-eenheid (2): 1 miljoen deurcycli.....	38
4.2.5 Vergelijk tussen referentie-eenheden: afgelegde kilometer tussen twee deurcycli.....	41
4.3 KWANTIFICERING SAFETY	43
4.3.1 SafeTrain.....	43
4.3.2 Aantal veiligheidsincidenten waarbij personen rechtstreeks betrokken zijn	43
4.3.3 Aantal incidenten gecatalogeerd als veiligheidsincident in Garantieopvolging HV M6	46

4.3.4	<i>Veiligheidsgerelateerde incidenten in Garantieopvolging HV M6</i>	47
4.3.5	<i>Overzicht Safety instapdeuren AM75-77</i>	48
4.4	KWANTIFICERING MAINTAINABILITY	49
4.4.1	<i>Werkuren gespenseerd aan onderhoud instapdeuren AM62-79/75-77/80-83/96</i>	49
4.4.2	<i>Aantal werkuren per referentie-eenheid (AM62-69/75-77/80-83/96)</i>	51
4.4.3	<i>Analyse werkopdrachten MARS voor de instapdeuren van de AM75-77</i>	53
4.4.4	<i>Overzicht Maintainability instapdeuren AM75-77</i>	56
4.5	KWANTIFICERING AVAILABILITY	57
4.5.1	<i>Geraadpleegde databases & beschikbaarheid versus inzetbaarheid/dienst dagen</i>	57
4.5.2	<i>Aantal dagen beschikbaarheid van het materieel</i>	58
4.5.3	<i>Aantal gepresteerde dienst dagen</i>	59
4.5.4	<i>Aantal afkeuringen voor instapdeuren HV M4m/M5(m)/M6/I11</i>	61
4.5.5	<i>Overzicht Availability instapdeuren AM75-77</i>	63
4.6	KWANTIFICERING RELIABILITY	64
4.6.1	<i>Geraadpleegde Databases</i>	64
4.6.2	<i>Database ‘Stiptheid op het Belgische Net’; Infrabel, directie Netwerk</i>	65
4.6.3	<i>Database ‘D43’; NMBS Mobility</i>	70
4.6.4	<i>Database ‘SMS-Averij’; NMBS Mobility / NMBS Technics</i>	71
4.6.5	<i>Synthese: kwantificatie Reliability materieelpark</i>	74
4.6.6	<i>Betrouwbaarheid van de AM75-77: foutcategorieën</i>	78
4.6.7	<i>Overzicht Reliability instapdeuren AM75-77</i>	80
	HOOFDSTUK 5 R-ANALYSE INSTAPDEUREN AM75-77	81
5.1	BEPALING VAN DE TOPGEBEURTENISSEN	82
5.1.1	<i>Catalogeren uit databases Infrabel, directie Netwerk + D43, NMBS-Mobility</i>	82
5.1.2	<i>Beschouwing omtrent verschillen in uitvoering van een instapdeur bij de AM75-77</i>	84
5.1.3	<i>Kanttekening bij de bekomen gegevens uit de exploitatie</i>	84
5.2	OPSTELLEN VAN DE FOUTENBOMEN	85
5.2.1	<i>Softwareomgeving voor uitvoeren van onze FTA</i>	87
5.2.2	<i>Berekening van de minimale ‘Cut Sets’</i>	90
5.3	BEPALING VAN DE BASISGEBEURTENISSEN	90
5.4	TOEKENNEN VAN FAALFREQUENTIES FR(T)	91
5.4.1	<i>Toekenning van Failure Rates volgens MIL-Spec</i>	92
5.4.2	<i>Toekenning van Failure Rates volgens data uit onderhoud en exploitatie</i>	92
5.4.3	<i>Aannames bij ‘andere invloeden zonder falen van componenten’</i>	93
5.5	BEPALEN VAN DE FAILURE RATE VOOR EEN TOPGEBEURTENIS	94
5.5.1	<i>Vergelijking FR volgens MIL-Spec t.o.v. Exploitatie (Infrabel + D43)</i>	95
5.5.2	<i>Vergelijking FR volgens Onderhoud Exploitatie t.o.v. Exploitatie</i>	95
5.5.3	<i>Vergelijking tussen de topgebeurtenissen</i>	96
5.6	ANALYSE PER TOPGEBEURTENIS	98
5.6.1	<i>Analyse van Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet</i>	98
5.6.2	<i>Analyse van Probleem 2: Deur opent niet</i>	101
5.6.3	<i>Analyse van Topgebeurtenis 3: Deur opent tijdens rit</i>	102
5.6.4	<i>Analyse van Topgebeurtenis 4: Deur opent te traag</i>	102
5.6.5	<i>Analyse van Topgebeurtenis 5: Deur sluit te traag</i>	104
5.6.6	<i>Analyse van Topgebeurtenis 6: Deur vergrendelt niet</i>	105

5.6.7 Analyse van Topgebeurtenis 7: Deur opent bij geïsoleerde deur	107
5.6.8 Analyse van Topgebeurtenis 8: Geen spanning op draad 40/41	107
5.6.9 Analyse van Topgebeurtenis 9: Geen spanning op draad CP1,2	108
5.6.10 Analyse van Topgebeurtenis 10: Geen spanning op draad 44a	110
5.6.11 Analyse van Topgebeurtenis 11: TBS krijgt geen lamp deuren	110
5.7 BESLUIT UIT DE CIJFERANALYSES: INVENTARIS VAN KRITIEKE COMPONENTEN	112
5.7.1 Criteria voor het opstellen van een inventaris	112
5.7.2 Inventaris van componenten (top 3).....	113
HOOFDSTUK 6 DE DEURCILINDER DOORHEEN HAAR LEVENSCYCLUSFASEN	114
6.1 CONCEPT DEURCILINDER AM75-77	115
6.2 REALISATIE DEURCILINDER AM75-77	116
6.2.1 Uitvoering telescopische geleiding AM75-77.....	116
6.2.2 Uitvoering deurcilinder AM75-77	117
6.3 ONTWIKKELING DEURCILINDER AM75-77	126
6.3.1 Ontwikkelingen telescopische geleiding	126
6.3.2 Ontwikkelingen deurcilinder	128
6.4 GEBRUIK VAN DE DEURCILINDERS AM75-77: VASTSTELLINGEN UIT VOORTIJDIG FALEN	130
6.4.1 De demping op in- en/of uitgaande slag kan niet geregeld worden	130
6.4.2 De deurcilinder verliest lucht	131
6.4.3 De deurcilinder zit vast	135
6.5 ONDERHOUD VAN DE DEURCILINDERS AM75-77: REVISIEKETING	137
6.5.1 Uitvoeren van een revisie van de deurcilinder AM75-77	138
6.5.2 Evaluatie revisieketting.....	142
6.6 CONCEPT DEURCILINDER AM75-77M.....	143
6.6.1 Conceptkeuze 1: Aankoop van nieuwe cilinders of behoud huidige cilinders	144
6.6.2 Conceptkeuze 2: Behoud van telescopische geleiding of keuze voor ander systeem.....	148
6.6.3 Vergelijk geleiding instapdeuren AM75-77 & HV M6: metingen met accelerometer.....	150
6.6.4 Besluit: Aandachtspunten bij het maken van Conceptkeuze 2	158
6.7 ONTWIKKELINGEN DEURCILINDER AM75-77M: REVISIEKETING & SMERING	158
6.7.1 Optimalisatie van de revisieketting	159
6.7.2 Keuze van een adequaat smeervet voor de deurcilinder	160
6.7.3 Besluit: Opstarten van proef voor deurcilinders AM75-77.....	172
HOOFDSTUK 7 R-ANALYSE ONTWERP INSTAPDEUREN AM75-77M.....	173
7.1 BEPALING VAN DE TOPGEBEURTENISSEN.....	174
7.1.1 Beknopte beschrijving van de belangrijkste wijzigingen aan het deursysteem	174
7.1.2 Overwogen keuze van de topgebeurtenissen	176
7.1.3 Modeldeur voor FTA van ontwerp instapdeuren AM75-77m	176
7.2 OPSTELLEN VAN DE FOUTENBOMEN	177
7.3 BEPALING VAN DE BASISGEBEURTENISSEN.....	178
7.4 TOEKENNEN VAN FAALFREQUENTIES FR(T)	179
7.4.1 Toekenning van de Failure Rates volgens MIL-Spec	179
7.4.2 Toekenning van Failure Rates volgens data uit onderhoud en exploitatie + datasheets.....	179
7.5 BEPALEN VAN DE FAILURE RATE VOOR EEN TOPGEBEURTENIS	180
7.5.1 Vergelijking FR AM75-77 en AM75-77m.....	181

7.5.2 Vergelijking FR AM75-77m volgens MIL-Spec/Onderhoud en Exploitatie en waargenomen FR in Exploitatie	182
7.6 ANALYSE PER TOPGEBEURTENIS	184
7.6.1 Analyse van Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet.....	184
7.6.2 Analyse Topgebeurtenis 2: Deur opent niet.....	187
7.6.3 Analyse Topgebeurtenis 3: Deur opent tijdens rit.....	189
7.6.4 Analyse Topgebeurtenis 6: Deur vergrendelt niet.....	190
7.6.5 Analyse Topgebeurtenis 7: Deur opent bij geïsoleerde deur	191
7.6.6 Analyse Topgebeurtenis 11: TBS krijgt geen lamp deuren.....	192
7.7 BESLUITEN	194
HOOFDSTUK 8 ALGEMENE BESLUITEN	195
8.1 EEN RAMS-METHODE VOLGENS CENELEC EN 50126	195
8.2 KWANTIFICATIE VAN DE RAMS-PARAMETERS VOOR HET MATERIEELPARK.....	196
8.2.1 Beoordeling huidige dataopvolging NMBS.....	196
8.2.2 Beoordeling RAMS-prestaties instapdeuren AM75-77	196
8.3 UITVOEREN VAN EEN FAULT TREE ANALYSIS (FTA) OP DE INSTAPDEUREN AM75-77	197
8.3.1 Besluiten bij de gehanteerde methode	197
8.3.2 Resultaten voor de instapdeuren van de AM75-77	197
8.4 STUDIE VAN DE LEVENSCYCLUSFASEN VAN DE DEURCILINDER AM75-77	198
8.4.1 Vastgestelde faalmechanismen.....	198
8.4.2 Beoordeling revisieketting	198
8.4.3 Aandachtspunten voor de deurcilinder bij modernisatie.....	198
8.5 FTA ALS VOORSPELLINGSTECHNIEK VOOR HET ONTWERP VAN DE DEUREN AM75-77M.....	199
8.5.1 Aandachtspunten bij het gebruik van FTA als voorspellingstechniek	199
8.5.2 Resultaten en aanbevelingen voor de instapdeuren van de AM75-77m	199
REFERENTIES	200
LIJST VAN FIGUREN.....	201
LIJST VAN TABELLEN	205

Tabel van Afkortingen en Begrippen

Afkorting / Begrip	Omschrijvinging
33-polige koppelaar	Elektrische kabel om twee motorstellen AM75-77 of AM62-79 te koppelen. Deze koppelaar geeft alle benodigde signalen door aan het andere motorstel. Andere motorstellen of rijtuigen beschikken over een analogo systeem
Afzonderen van een deur	Deze deur buiten dienst stellen
AM	AutoMotrice, motorstel, trein met eigen elektrische tractie
AR	AutoRail, motorstel, trein met dieseltractie
AVG	Aanwijzing Verrichtingen Gedaan, betekent dat de treinbegeleider na een halte in het station alle deuren, op één na waar hij zichzelf bevind, heeft gesloten. Dit is een vast systeem op het perron
Constructiegabarit	Een geometrische vorm die aangeeft binnen welke grenzen een spoorvoertuig geconstrueerd dient te worden om geen obstakels te raken (kruisende treinen, seinen, bruggen,...)
Curatief onderhoud	Onvoorzien onderhoud
Eigenaarswerkplaats	Werkplaats die verantwoordelijk is voor een bepaald materieeltype. Dit slaat meestal op het geplande onderhoud
FR	Failure Rate = Faalkans
FTA	Fault Tree Analysis (Ned: Foutenboomanalyse)
HK	Volledige treinsamenstelling
HV	Rijtuig, bezit geen eigen tractie, getrokken of geduwd door een locomotief
Lokale deur	Is de deur van waaruit de treinbegeleider de vertrekprocedure uitvoert
MR	MotorRijtuig
MRQ	MotorRijtuig Quadrupel = vierledig motorstel= motorstel met 4 kasten
Pakwagen	Gedeelte in de trein voorzien om goederen te stockeren voor vervoer. Dit gedeelte is normaal niet toegankelijk voor reizigers
Preventief onderhoud	Voorzien onderhoud
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety; Voorgedefiniëerde parameters om prestaties van systemen te benaderen
RIK	Tussentijdse herziening van de kast waarbij de deuren gereviseerd worden
Stuurpost	Plaats van waaruit de treinbestuurder de trein bestuurt

VG	Verrichtingen Gedaan is een systeem eigen op het rollend materieel met betrekking tot de deurlus. De witte lamp lokale deur geeft de treinbegeleider het signaal dat alle deuren, op zijn eigen deur na, gesloten zijn. De witte lamp stuurpost geeft de treinbestuurder het signaal dat de treinbegeleider als zijn verrichtingen gedaan heeft.
Vierkantsschakelaar	Typische schakelaar voor spoorwegmateriaal. Dient bedient te worden met de vierkantssleutel
Witte lamp stuurpost	Witte lamp in de stuurpost= lamp deuren

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

In de hedendaagse samenleving is er een toenemende vraag naar mobiliteit. De spoorwegen spelen hierin als massavervoerder een cruciale rol. De klant, de reiziger, verlangt van de spoorwegoperator een dienstverlening met oog voor veiligheid, stiptheid en comfort. Het rollend materieel vervult hierin een belangrijke schakel. De spoorwegoperator NMBS ervaart dat tijdens de inzet van dat rollend materieel de instapdeuren voor reizigers één van de hoofdelementen zijn die leiden tot vertragingen en dus een verminderde dienstverlening. Om de dienstverlening te verbeteren, worden talrijke maatregelen genomen waaronder het moderniseren van bestaande materieeltypes.

Het motorstel AM75-77 (Figuur 1) vertoont veel deurproblemen en wordt binnenkort onderworpen aan modernisatie. Het verhogen van de fiabiliteit van haar deursysteem na modernisatie zal bijdragen tot een verbeterde dienstverlening.



Figuur 1: Motorstel AM75-77 (4ledig)

1.2 Doelstelling van de thesis

De thesis heeft als doelstelling het geven van gefundeerde adviezen voor een modernisatie van het deursysteem van de AM75-77 zodoende de fiabiliteit van het deursysteem te verhogen. De focus ligt hierbij op de reiziger die in exploitatie met de instapdeuren in aanraking komt. Het verhogen van de fiabiliteit moet zorgen voor een verhoogde stiptheid en minder ongemakken en kan zo bijdragen tot een tevreden klant. Goed functionerende instapdeuren dragen bovendien bij tot een veiligere reisomgeving.

De doelstellingen van deze thesis liggen dan ook in het verlengde van de hoofddoelstellingen van de NMBS, zoals geformuleerd door haar topmensen in het Jaarverslag 2009 [1]:

Mevr. Laurence Bovy, voorzitter van de raad van bestuur:

“Onze eerste prioriteit is de veiligheid.”

“De verbetering van de stiptheid moet een obsessie worden.”

“In de loop van 2010 moeten we er alles aan doen om onze betrouwbaarheid en onze kwaliteit te verhogen.”



Dhr. Marc Descheemaeker, gedelegeerd bestuurder:

“De spoorwegen zijn steeds een uitermate veilige vorm van vervoer geweest en we hebben nooit bezuinigd op veiligheid.”

“De stiptheid van het treinverkeer blijft ons belangrijkste aandachtspunt.”

1.3 Gevolgde werkwijze

De thesisopdracht is uitgevoerd in actieve samenwerking met NMBS Technics. Zij stellen ons onder andere hun kennis, expertise en infrastructuur ter beschikking.



Eenzijds in de Centrale Werkplaats te Mechelen via prof. ir. Hendrik Bonne en anderzijds op de studiediensten in de Hallepoortlaan 40 te Brussel via ir. Walter Eeckhout.

Om de uitwerking van de probleemstelling gestructureerd aan te pakken, steunen we op de standaard CENELEC EN 50126 'The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)' [2].

Concreet zal de uitwerking bestaan uit twee luiken. In een eerste luik wordt de deurproblematiek in kaart gebracht voor het huidige materieelpark om verschillende bestaande deursystemen met elkaar te vergelijken en een breder inzicht in de problematiek te verwerven. Vervolgens zal de inspanning in het tweede luik toegespitst worden op de instapdeuren van de AM75-77.

Het eerste luik van de thesis vereist een brede benadering over verschillende domeinen. Daarom worden verschillende databases doorgrond die door verschillende diensten binnen de NMBS-groep worden bijgehouden. Deze databases behelzen zowel de stiptheid als veiligheid in exploitatie, het onderhoud en de garantieopvolging van nieuw rollend materieel.

Door deze databases uit te spitten, wordt een beter zicht bekomen op de aard van de deurproblemen die op het rollend materieel voorkomen.

Om het tweede luik van de thesis vanuit een ingenieursoptiek te benaderen, wordt (conform EN 50126) geopteerd foutenboomanalyse (Eng: Fault Tree Analysis – FTA) toe te passen op het huidige deursysteem van de AM75-77. Een FTA laat toe af te dalen naar componentniveau waar de betrouwbaarheid kan gekwantificeerd worden gebaseerd op gegevens uit het onderhoud of de literatuur. Het koppelen van de FTA aan ervaringen uit de praktijk laat de selectie toe van een aantal kritische componenten in het deursysteem. De uitdaging bestaat erin de betrouwbaarheid van deze componenten bij te schaven opdat het aangepaste deursysteem een voldoende fiabiliteit en performantie verkrijgt.

Een FTA kan op het aangepaste deursysteem toegepast worden om de effectiviteit van de aanpassingen aan te tonen.

Hoofdstuk 2 Overzicht materieeltypes en instapdeuren AM75-77

Alvorens de thesisopdracht aan te vatten, geven we een overzicht van de verschillende types rollend materieel en hun treindeur-systemen. We behandelen het vierledige motorstel AM75-77 en haar instapdeuren diepgaander omdat zij het onderwerp van deze thesis vormen.

Doelstellingen van dit hoofdstuk:

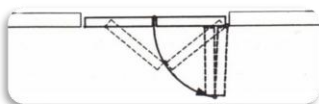
- De lezer vertrouwd maken met het rollend materieel ingezet door de NMBS en de verschillende treindeur-systemen
- Toelichten van de functionaliteiten van de instapdeuren van het vierledige motorstel AM75-77

2.1 Types Treindeur-systemen

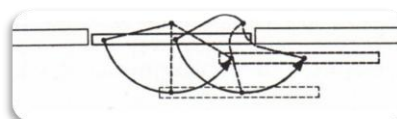
Alle instapdeuren geïmplementeerd op het materieelpark van de NMBS zijn van het elektro-pneumatische type. Zij worden bediend m.b.v. elektrische signalen die de deurmotoren op druklucht sturen. Naar kinematica kunnen 3 verschillende types onderscheiden worden: vouw- of plooideuren, zwenkzwaideuren en zwenkschuifdeuren (Figuur 2).

Semi-automatisch & elektro-pneumatisch gestuurd

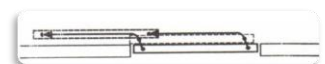
Vouw- of plooideuren



Zwenkzwaideuren



Zwenkschuifdeuren



Figuur 2: Overzicht van de types treindeur-systemen naar kinematisch principe

- **De vouw- of ploideuren** zijn het oudste type en zijn zeer eenvoudig uitgevoerd zowel op conceptueel vlak als naar afregeling en onderhoud. Een deurhelft bestaat uit twee delen met een scharnier tussen beide. Bij het openen brengt een pneumatische cilinder het beweegbare uiteinde van één deurhelft via een geleidingssysteem naar het vaste uiteinde van de andere deurhelft, waarbij de deur door middel van het scharnier geplooid wordt.
- **Een zwenkzwaaideur** is opgebouwd uit een vast deurpaneel uit 1 stuk dat bovenaan op twee en onderaan op één punt bevestigd is aan het open- en sluitmechanisme. Het ophangpunt onderaan en één van de ophangpunten bovenaan is via een vaste arm verbonden met een draaibare stang. Deze stang wordt bovenaan door middel van een pneumatische cilinder rond zijn as gedraaid, waardoor het deurpaneel naar buiten of naar binnen beweegt. Het tweede ophangpunt bovenaan is via een stang verbonden met een vast punt aan de kast. Door het gevormde parallellogram blijft het deurpaneel evenwijdig met de kast bij de beweging naar buiten of naar binnen.
- **Zwenkschuifdeuren** worden op alle recente materieeltypes toegepast omwille van hun elegante look en hun geringe ruimte-inname. Het deurpaneel is een vast en onvervormbaar geheel dat bovenaan opgehangen wordt aan een geleidingsstaaf die in het plafond verwerkt zit. De deur opent en sluit ten gevolge van een pneumatische cilinder waarbij de geleiding van het deurpaneel gerealiseerd wordt door geleidingsrails zowel bovenaan als onderaan ingewerkt in de kast. De vorm van deze rails bepaalt volledig de beweging bij openen en sluiten.

2.2 Materieelreeksen

In het eerste luik van de thesis wordt een beschouwing gemaakt over het gehele materieelpark van de NMBS. Dit park bestaat uit 3 types treinen namelijk rijtuigen (HV) die gesleept of opgeduwd worden door een locomotief, motorstellen met elektrische tractie(AM) en motorstellen met dieseltractie (AR). Een motorstel kan gekoppeld worden met (een) ander motorstel(len) van hetzelfde type of een compatibel type. Bij de elektrische motorstellen slaan de cijfers na 'AM' op het jaar van oplevering van dit type motorstel. Met het inzetten van de 3 types treinen naast elkaar kan de spoorwegoperator NMBS de nodige operationele flexibiliteit bekomen op een economisch verantwoorde manier. De volgende paragrafen visualiseren het materieelpark en hun elementaire kenmerken (verklaring van specifieke begrippen in Tabel 2-1).

Tabel 2-1: Legenda ter verklaring van enkele specifieke begrippen bij de visualisatie van de materieelreeksen

Gemoderniseerd	Sommige materieelreeksen zijn gemoderniseerd in een Centrale Werkplaats van de NMBS om ze een frissere look te geven en aan te passen aan de hedendaagse noden
Éénuurvermogen	Piekvermogen dat kan geleverd worden gedurende een tijdsspanne van 1 uur.

2.2.1 Motorstellen

Tweeledige stellen 'AM62-79'

Motorstel AM 62-65



Bouwjaar: 1962-1965
Max snelheid: 130 km/h
Éénuurvermogen: 735 kW

Type instapdeuren:
Vouw of plooi

Motorstel AM 66-73m



Bouwjaar: 1966-1973
Gemoderniseerd: 1999-2007
Max snelheid: 140 km/h
Éénuurvermogen: 770 kW

Type instapdeuren:
Vouw of plooi

Motorstel AM CR



Bouwjaar: 1966-1979
Gemoderniseerd: 2006-..
Max snelheid: 140 km/h
Éénuurvermogen: 770 kW

Type instapdeuren:
Vouw of plooi

Motorstel AM 75-77



Bouwjaar: 1975-1977
Max snelheid: 140 km/h
Éénuurvermogen: 1535 kW

Type instapdeuren:
zwenkschuif

Motorstel AM 86-89



Bouwjaar: 1986-1989
Max snelheid: 120 km/h
Éénuurvermogen: 770 kW

Type instapdeuren:
Zwenkschuif

Motorstel AM 80-83 / AM80-83m



Bouwjaar: 1980-1983 (Tussenkast: 1991-1993)
Gemoderniseerd: 2009-..
Max snelheid: 160 km/h
Éénuurvermogen: 1400 kW

Type instapdeuren:
Zwenkzwaai

Motorstel AM 96



Bouwjaar: 1996-1999

Max snelheid: 160 km/h

Éénuurvermogen: 1400 kW

Verschilen met HV I11: tractievoorzieningen en geen opklapbare voettegre

Type instapdeuren:

Zwenkschuif

2.2.2 Motorwagens

(Diesel)motorwagen AR 41



Bouwjaar: 2000-2002

Max snelheid: 120 km/h

Vermogen: $2 \times 485 \text{ kW} = 970 \text{ kW}$

Type instapdeuren:

Zwenkschuif

2.2.3 Rijtuigen

2.2.3.1 Rijtuigen geschikt voor Internationaal verkeer

Rijtuig HV I6



Bouwjaar: 1977
Max snelheid: 160/200 km/h
Verschil tov I10:
- compartimentering
- 'rokken' aan zijkant

Type instapdeuren:
Zwenkschuif

Rijtuig HV I10



Bouwjaar: 1987
Max snelheid: 160/200 km/h

Type instapdeuren:
Zwenkschuif

Rijtuig HV I11



Bouwjaar: 1995-1997
Max snelheid: 200 km/h

Type instapdeuren:
Zwenkschuif

2.2.3.2 Rijtuigen enkel geschikt voor Binnenlands verkeer

Rijtuig HV M4m



Bouwjaar: 1979-1984
Gemoderniseerd: 1996-2009
Max snelheid: 160 km/h

Type instapdeuren:
Zwenkzwaai

Rijtuig HV M6



Bouwjaar: 1999-2011
Max snelheid: 160 km/h

Type instapdeuren:
Zwenkzwaai

Rijtuig HV M5(m)



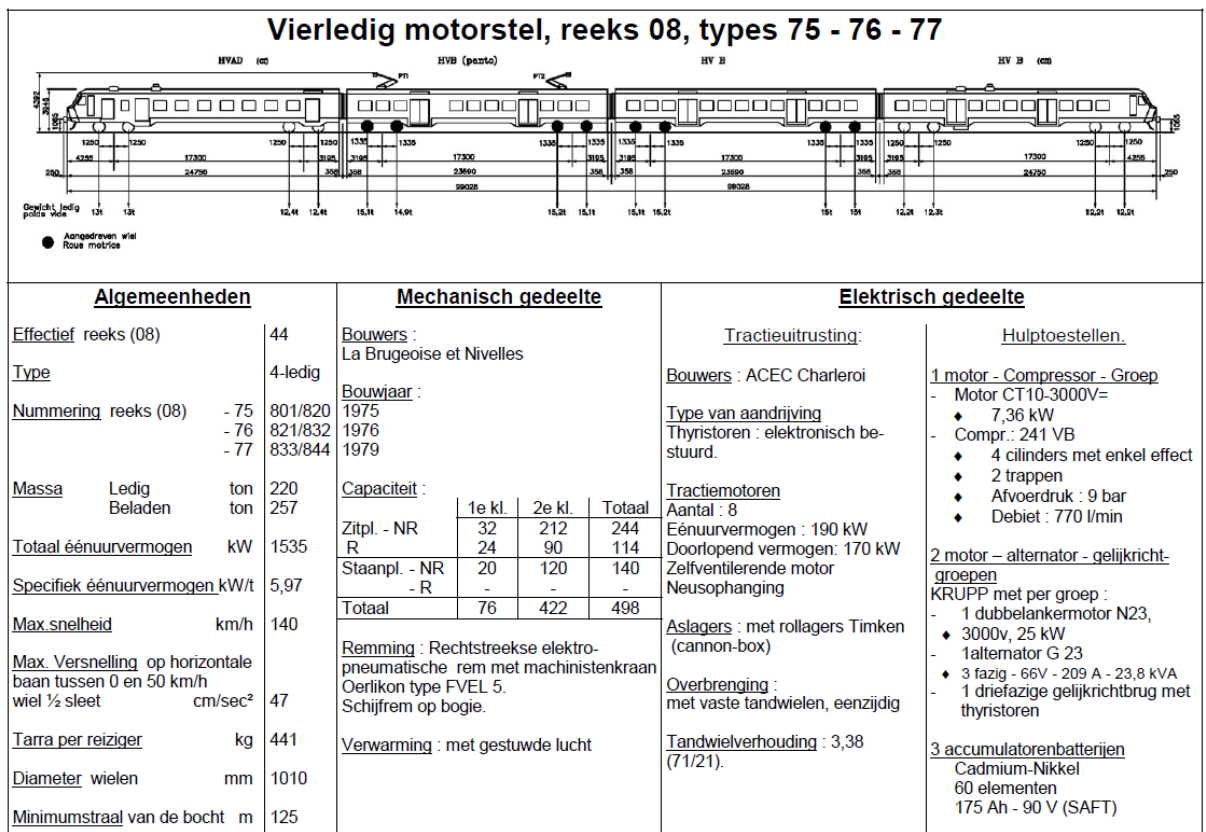
Bouwjaar: 1986-1987
Gemoderniseerd: 2007-2011
Max snelheid: 140 km/h

Type instapdeuren:
Zwenkzwaai

2.3 Het vierledig motorstel AM 75-77 en haar instapdeuren

We starten deze paragraaf met een beschrijvende fiche van het vierledig motorstel (Figuur 3). In deze algemene fiche zijn ook de Hulptoestellen vermeld die mede instaan voor de voeding van de treindeuren.

Vierledig wijst op het aantal 'kasten' waaruit dit motorstel bestaat. Door in 'kasten' te redeneren kunnen parkgroottes van rijtuigen en motorrijtuigen vergeleken worden (zie ook Hoofdstuk 4). Met de benaming 'kast' wordt ook gewezen op het 'skelet' van de trein die de dragende structuur vormt.

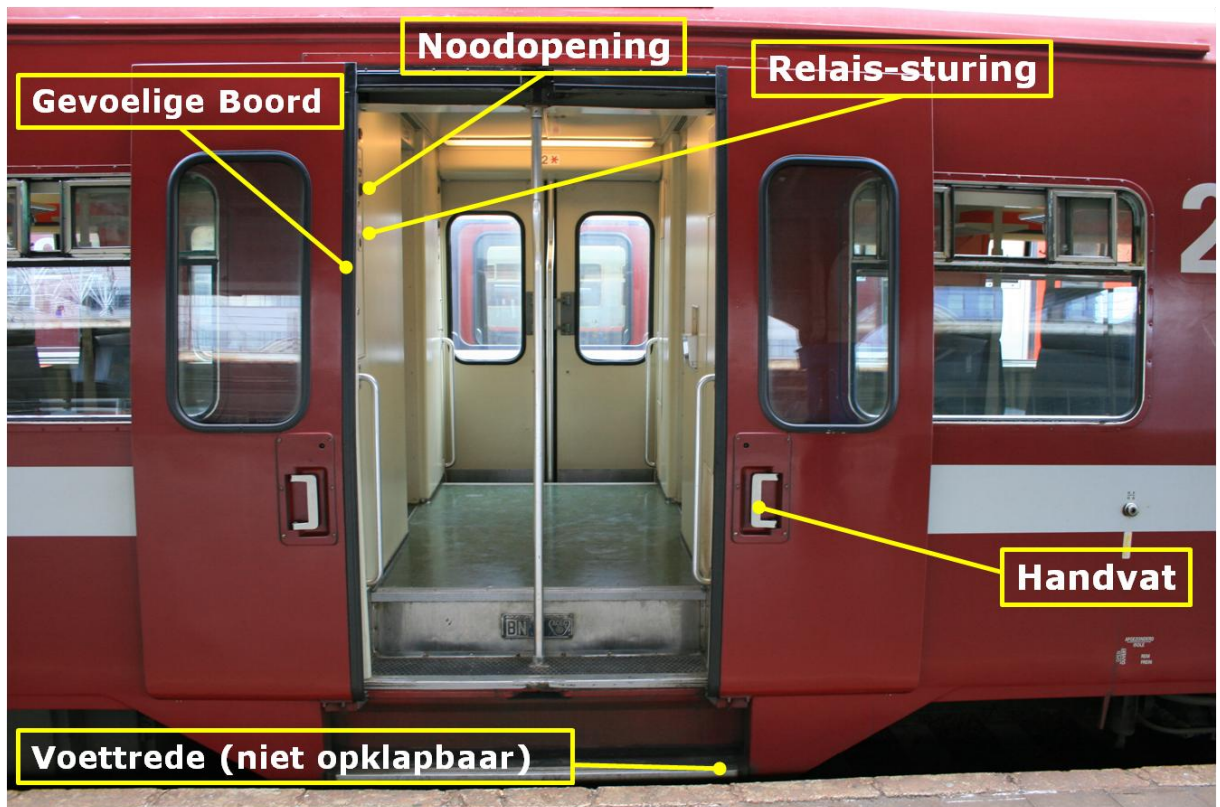


Figuur 3: Beschrijvende fiche van het vierledig motorrijtuig type 75-76-77 (IQUAL nr. 250.00.07)

Verder in dit hoofdstuk focussen we op de instapdeuren van de AM75-77. We behandelen enkele technische aspecten van het deursysteem en behandelen beknopt het gebruik ervan door het treinbegeleidingspersoneel.

2.3.1 Technische aspecten instapdeuren AM75-77

In deze paragraaf behandelen we enkele technische aspecten betreffende instapdeuren. We visualiseren deze concreet aan de hand van het deursysteem van de AM75-77 (Figuur 4). De beschrijving van de vermelde aspecten houden we beknopt maar tegelijk universeel zodat ze toepasbaar is voor het hele materieelpark zoals voorgesteld in onderdeel 2.2



Figuur 4: Technische aspecten deursysteem AM75-77

2.3.1.1 Deursturing – Relais-sturing

Het huidige materieelpark van de NMBS dateert van eind jaren 1960 tot begin de jaren 2000. In deze tijdspanne is de technologie enorm geëvolueerd en dat is ook merkbaar op het vlak van deursturing. Drie implementaties van deursturingen kunnen onderscheiden worden:

- Klassieke aansturing met elektrokleppen (AM75-77)
- Sturing met één elektronische controle-eenheid per kast
- Sturing met Meester-Slaaf elektronische controle-eenheden per kast

De klassieke aansturing met elektrokleppen is de eenvoudigste deursturing. Hierbij worden de elektrische bevelen komende van de deurbediening rechtstreeks doorgegeven aan de elektrokleppen die de luchtdruk voor de deurbeweging sturen.

Dit principe werd verlaten met de komst van de stellen AM96 en de rijtuigen I11. Bij deze twee types materieel neemt één elektronische controle-eenheid per kast de deursturing op zich. Deze controle-eenheid ontvangt de elektrische inputs van de deurbediening en stuurt elektrokleppen aan die de luchtdruk voor de deurcilinders sturen. De controle-eenheid fungeert niet alleen als bevelorgaan maar ook als controleorgaan voor de volledige kast.

In het ontwerp van de dubbeldeksrijtuigen M6 werd geopteerd voor een deursturing met één zogenaamde Meester controle-eenheid per kast en één Slaaf controle-eenheid per deur (Figuur 5).



Figuur 5: Meester (links) en Slaaf (rechts) controle-eenheid van het dubbeldeksrijtuig M6

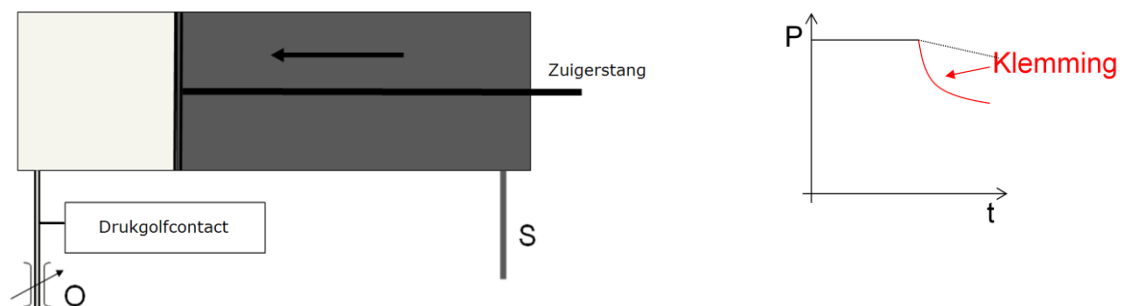
De Slaaf ontvangt voor zijn eigen deur de elektrische inputs van de lokale deurbediening en stuurt de elektrokleppen van de desbetreffende deur. De Meester fungeert dan als controleorgaan voor de Slaafs van één kast en coördineert ze. De Meester verwerkt ook de overdracht van bevelen doorheen de treinsamenstelling. Zo zal deze het bevel tot collectief sluiten van de deuren aan alle Slaafs van de kast doorgeven.

2.3.1.2 Gevoelige boord

Om de veiligheid van de in- en uitstappende reiziger te verhogen werden systemen ontworpen om de kans tot het inklemmen van een persoon of obstakel te minimaliseren. Deze systemen zijn verschillende implementaties van het begrip 'gevoelige boord'. Op de materieelreeksen in exploitatie onderscheiden we 3 invullingen van het concept 'gevoelige boord':

- 1) Geen gevoelige boord
- 2) Gevoelige boord met pneumatisch drukgolfcontact
- 3) Gevoelige boord met elektropneumatisch Bircher-contact (AM75-77)

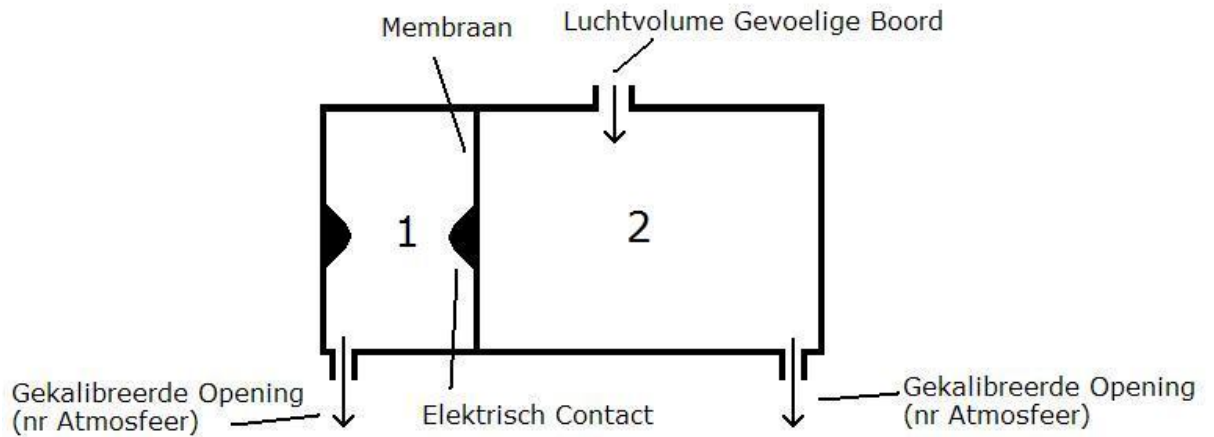
De gevoelige boord met pneumatisch drukgolfcontact is een eerste manier om het concept gevoelige boord te implementeren. Haar werking berust op het principe (Figuur 6) dat de pneumatische zuiger niet meer zal bewegen bij het klemmen van een obstakel tijdens sluiting. Hierdoor zal de uitgedreven lucht langs de sluitzijde een plotse drukdaling vertonen naar atmosferische omstandigheden. Een drukgolfcontact detecteert deze drukdaling en schakelt het bevel de deur opnieuw te openen. Deze implementatie is robuust naar afregeling en onderhoud maar zij wordt als stug ervaren en enige kracht is vereist om haar in werking te stellen.



Figuur 6: Principeschets en diagramma betreffende de werking van een gevoelige boord met drukgolfcontact

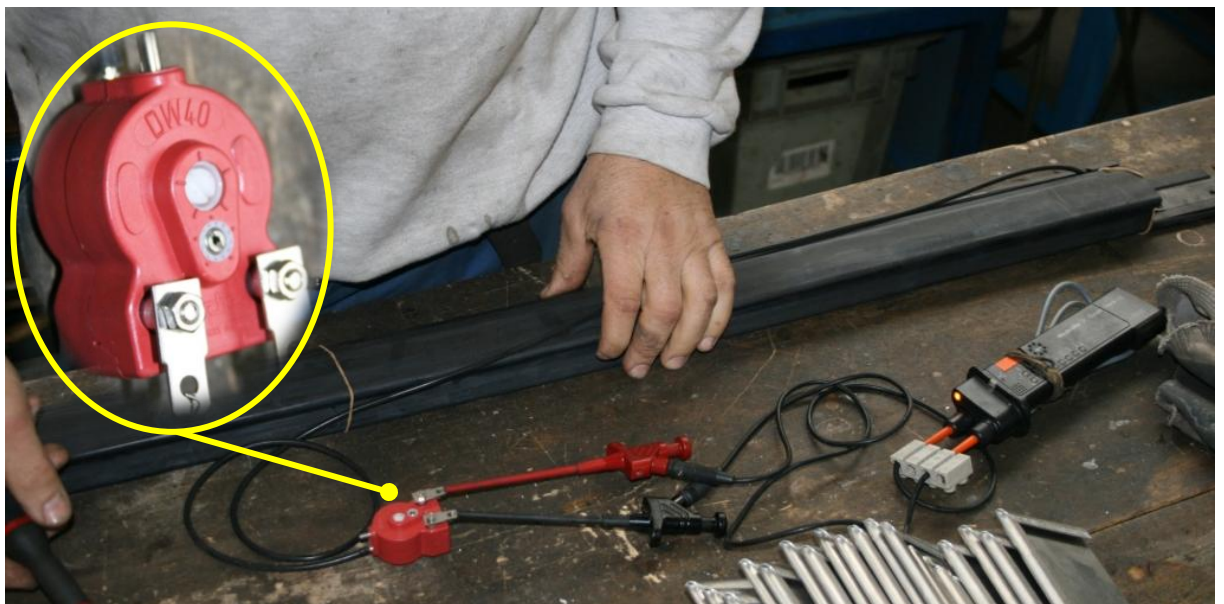
Hoofdstuk 2: Overzicht materietypes en instapdeuren AM75-77

De gevoelige boord met elektropneumatisch Bircher-contact is een tweede manier om het concept gevoelige boord te implementeren en is van toepassing op de AM75-77. Haar werking berust op het insluiten van een luchtvolume in de rubberen deurrand (Figuur 7).



Figuur 7: Principiële werking van een Bircher-Contact

Dit luchtvolume is verbonden met een elektropneumatisch Bircher-contact. Bij het klemmen van een obstakel zal een drukgolf ontstaan in het luchtvolume. Het Bircher-contact zal hierdoor het bevel schakelen de deur opnieuw te openen. Deze implementatie is reactiever en vereist geen grote krachten om haar in werking te stellen maar zij is gevoeliger naar afregeling (Figuur 8).

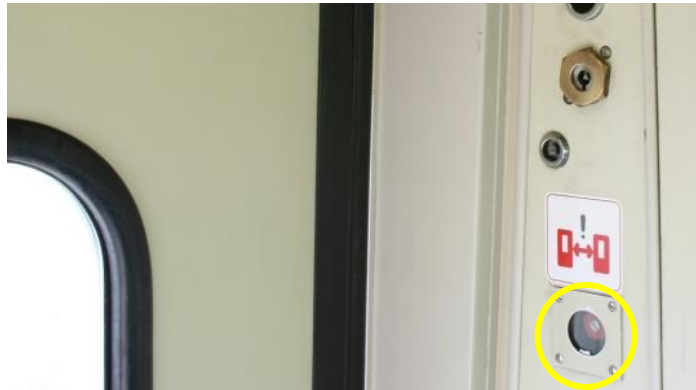


Figuur 8: Bircher-contact (type in AM75-77) en afregeling

Daarnaast is het rubber onderhevig aan de weersomstandigheden en verouderingsverschijnselen. Bovendien kan waterindringing haar goede werking verstoren.

2.3.1.3 Noodopening

Om in geval van nood zich steeds toe- of uitgang tot de trein te kunnen verschaffen, is elke deur voorzien van een noodopening (Figuur 9 uitvoering in AM75-77).



Figuur 9: Noodopening binnenkant deur AM75-77

Om de werking van de noodopening te garanderen onder elke omstandigheid (waaronder het wegvallen van elektrische en/of pneumatische voeding) is deze steeds mechanisch uitgevoerd. De bediening wordt meestal via staalkabels overgebracht naar de deurvergrendeling om daar plaatselijk in te grijpen en de deur te ontgrendelen waarna ze manueel kan geopend worden (ook tijdens rit). Het gebeurt dat er in de media berichten (Figuur 10) verschijnen dat het 'kinderspel' is om de deuren van een rijdende trein te openen en kaarten dit aan als zijnde een veiligheidsprobleem. De noodopening in haar huidige vorm vereist een minimale verantwoordelijkheidszin van de reiziger. Dit is ook een veiligheidsprobleem maar niet het slecht functioneren van de noodopening. Een plausible technische oplossing zou erin kunnen bestaan de bediening van de noodopening te koppelen met de noodrem zodat de trein niet met open deuren kan verder rijden na bediening van de noodopening.



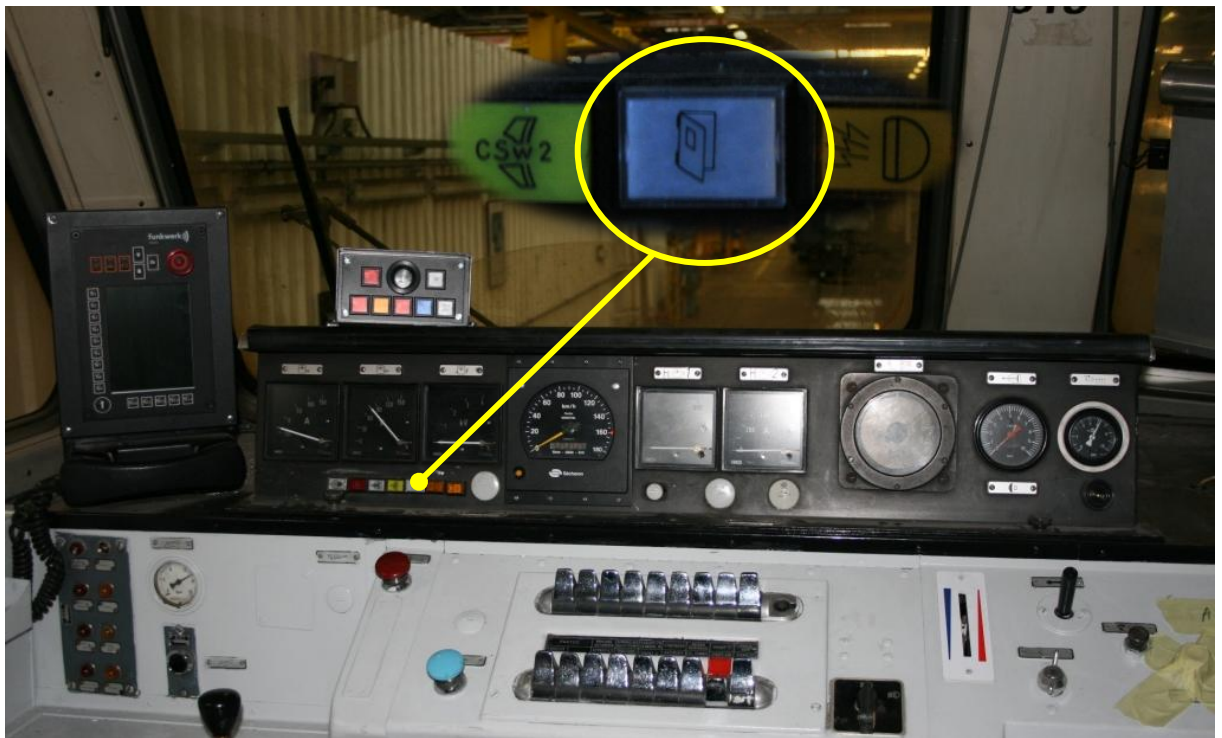
Figuur 10: Artikel 'Te warm: reiziger zet deur rijdende trein open' - Het Nieuwsblad 31 mei 2011 [3].

2.3.1.4 Deurlus

Een deurlus is een lussysteem met schakelaars in serie op treinniveau dat een tweeledige functie heeft. Allereerst doet het een witte lamp branden in de openstaande deur van waaruit de treinbegeleider de vertrekprocedure gestart heeft. Het branden van deze witte lamp, lamp lokale deur, geeft weer dat alle andere deuren gesloten en vergrendeld zijn buiten de ene openstaande deur, waarin de treinbegeleider zich bevindt. Zo krijgt de treinbegeleider een extra controle naast zijn visuele vaststelling. Daarnaast kan de treinbegeleider via dit systeem aan de treinbestuurder communiceren dat zijn verrichtingen gedaan zijn in stations waar geen 'Aanwijzer Verrichtingen Gedaan' (Figuur 11) aanwezig is. In de stuurpost zal 'de lamp deuren' branden wanneer de treinbegeleider na het branden van de lamp lokale deur een zwarte knop indrukt (Figuur 12). Hierdoor wordt het openstaande contact van de deur waarin de treinbegeleider zich bevindt, overbrugd. De deurlus wordt zo gesloten.



Figuur 11: Aanwijzer Verrichtingen Gedaan (AVG) in station Brussel-Zuid



Figuur 12: 'Lamp deuren' in stuurpost AM75-77

Het systeem van een deurlus verhoogt niet alleen de veiligheid maar ook de werkkwaliteit van de treinbegeleiders en treinbestuurders. Het is geïmplementeerd op alle motorstellen met elektrische en diesel tractie. Op sommige types rijtuigen is het systeem ook al hardwarematig geïmplementeerd maar tot op heden is het echter nog niet operationeel.

2.3.1.5 Voettrede

Om de veiligheid en het gemak bij het in- en uitstappen te verhogen, is het reizigersmaterieel uitgerust met een voettrede. Deze mag echter niet in het profiel van vrije ruimte komen (het zogenaamde constructiegabarit) en is bij de AM75-77 niet-opklapbaar uitgevoerd.

Door de voettrede daarentegen beweegbaar uit te voeren kan deze breder worden uitgevoerd.

Op het rollend materieel van de NMBS zijn volgende implementaties te vinden:

- Een schuiftrede op de eindkasten van het motorstel AM80-83
- Een klaptrede op de rijtuigen I11, I10 en I6
- Een klaptrede op de dubbeldeksrijtuigen M6

Op de eindkasten van de **motorstellen AM80-83** (de tussenkast is met een vaste voettrede uitgevoerd) schuift de voettrede als het ware naar buiten. De beweging geschiedt door een mechanische koppeling van de trede met de deurbuis. In de overbrenging zit een stugge veer die ervoor zorgt dat bij een geblokkeerde trede de deurbuis ten allen tijde gegarandeerd blijft. **De rijtuigen I11** beschikken in tegenstelling tot de motorstellen AM 96 over een klaptrede. Deze is ook via mechanische weg gekoppeld aan de beweging van de deurbuis. Ook hier zorgt een stugge veer ervoor dat de deurbuis gegarandeerd blijft wanneer bijvoorbeeld de trede is vastgevroren. We merken op dat bovenstaande implementaties van een beweegbare trede niet tussenkomen in de graad van fiabiliteit van het deursysteem voor de reiziger.

De dubbeldeksrijtuigen M6 beschikken tevens over een klaptrede maar de beweging ervan geschiedt door een aparte zuiger met eigen sturing. Bovendien beschikt de sturing van de voettrede over sensoren die de toestand van de trede controleren. Wanneer de trede niet klapt binnen de voorzien tijd (of bij een defect aan de sensoren) zal de software van de Slaaf controle-eenheid ingrijpen en de deur sluiten. Bij deze implementatie heeft de klaptrede een directe invloed op de fiabiliteit van het deursysteem voor de reiziger.

2.3.1.6 Signaal 5 km/u klep (niet op AM75-77)

Het snelheidsindicatiesignaal van treinen die uitgerust zijn met een ABS systeem kan gebruikt worden om de veiligheid te vergroten. De opnemer van dit signaal wordt vaak de 5km/u klep genoemd omdat de deuren van de trein automatisch sluiten indien de snelheid de drempel van 5km/u overstijgt. Bij treinen die rijden in een internationaal regime wordt dit signaal ook gebruikt om de deuren vrij te geven bij een snelheid onder 5km/u. Op het binnenlandse net wordt dit echter niet toegepast en geschiedt de vrijgave manueel. Het bespreken van het verschil tussen de modus operandi voor de deursystemen in binnenlands en internationaal verkeer zou ons te ver leiden en is daarom bewust achterwege gelaten.

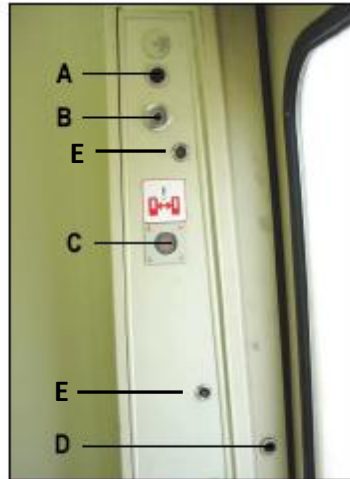
2.3.1.7 Handvat

De reiziger kan een 'vrijgegeven' deur tijdens een halte openen met behulp van een handvat. Dit handvat is zuiver mechanisch (voorzien van o.a. de nodige veren) en is daarom onderhoudsbehoevend. Al het rollend materieel uitgezonderd AM75-77, AM62-79 en HV I6 beschikt echter over elektrische drukknoppen die nauwelijks onderhoud behoeven.

2.3.2 Voorschriften voor het gebruik van de instapdeuren AM75-77

We willen dit hoofdstuk afronden met een document dat vervat zit in de bijlagen van het 'Handboek voor de Treinbegeleider', beheerd door NMBS-Mobility. Aan de hand van deze voorschriften willen we een overzicht geven van de handelingen die het treinpersoneel kan stellen tijdens de exploitatie van een treindeur-systeem.

2.3.2.1 Normaal gebruik



Figuur 13: Bedieningspaneel buitendeur

Collectieve vrijgave

De bestuurder geeft de deuren collectief en zijdeselectief vrij via schakelaars op de 'Faively' in de stuurpost. De deuren kunnen hierna individueel geopend worden door de reizigers langs de zijde waar de vrijgave bevolen werd. Dit kan zowel aan de binnen- als aan de buitenzijde door aan de klink te trekken.

Collectieve sluiting

De treinbegeleider geeft het collectief sluitingsbevel door met de Bernsleutel de driekantschakelaar (Figuur 13, B) in wijzerzin te draaien. Om de deur van waaruit het sluitingsbevel gegeven werd te sluiten, wordt de driekantschakelaar (Figuur 13, B) opnieuw in neutrale stand gebracht.

Gevoelige Boord

Wanneer de deur bij het sluiten op een hindernis stuit, gaat ze opnieuw open door tussenkomst van de gevoelige boord. Zolang het sluitbevel aanhoudt zal de deur automatisch opnieuw dichtgaan.

Installatie "Verrichtingen Gedaan" eigen aan het materieel

De installatie VG eigen aan het materieel staat naast elke buitendeur onder de vorm van een zwarte knop (Figuur 13, A). De bediening ervan doet in de stuurpost de witte lamp 'deuren' oplichten.

Schakelaar I16

Het motorstel is uitgerust met twee schakelaars 'I16' (Figuur 14). De eerste schakelaar staat in de relaiskast van de bagageafdeling. De tweede schakelaar staat in het kastje onder de

geluidsinstallatie, kant Stuurpost 2. De bediening ervan belet de opening van alle buitendeuren van het materieel dat achter het motorstel, vanwaar de I16-schakelaar bediend werd, met de 33-polige koppelaar gekoppeld is.



Figuur 14: Schakelaar I16

De schakelaar heeft twee standen: Normaal -> symbool N
Deuren volgend stel(len) geblokkeerd -> symbool I

2.3.2.2 Evacuatie door bediening noodopening

Aan de binnenkant staat naast elke buitendeur, achter beschermend glas, een rode knop (Figuur 13, C). De noodopening wordt als volgt bediend:

Door het indrukken van de knop kan de deur geopend worden

Door het terug uittrekken van de knop wordt de deur opnieuw in dienst gesteld (dit vereist het bewerken van de twee vierkantschakelaars (Figuur 13, E) van het kastje met de Bernsleutel)

2.3.2.3 Bagagedeuren

De bagagedeuren worden met hetzelfde bedieningspaneel bediend als de overige instapdeuren.

Individuele Opening

De bagagedeur kan vanbinnen geopend worden door de vierkantschakelaar te bewerken. Langs buiten kan men de terugverende vierkantschakelaar in de 'O'-richting draaien.

Individuele Sluiting

Langs buiten kan men de bagagedeur sluiten door de terugverende vierkantschakelaar in de 'S'-richting draaien.

De bagagedeuren sluiten eveneens bij een collectief sluitingsbevel vanuit een andere deur.

2.3.2.4 Afzonderen van deuren bij averij

De instapdeuren kunnen elk apart buiten dienst gesteld worden.

Volgende stappen dienen ondernomen te worden (Figuur 15):

- 1) Aflaten van de lucht door met de Bernsleutel de vierkantschakelaar te bewerken
- 2) De deurvleugels eventueel manueel dichtduwen
- 3) De deurvleugels mechanisch vergrendelen met de vierkantschakelaar (één per deurvleugel)



Figuur 15: Afzonderen deuren AM75-77 bij averij (Illustratie uit IBIS-toestel voor treinbegeleider)

Hoofdstuk 3 Fiabiliteit van treindeur-systemen: de RAMS-methode (CENELEC EN 50126)

Om de fiabiliteitsstudie op een gestructureerde manier aan te pakken, hebben we ervoor geopteerd te werken volgens de RAMS-methode. Deze methode, vastgelegd in normering, drukt volgende aspecten uit in prestaties:

- betrouwbaarheid (**R**eliability)
- beschikbaarheid (**A**vailability)
- onderhoudbaarheid (**M**aintainability)
- veiligheid (**S**afety)

Hierdoor kunnen objectieve parameters bepaald worden waardoor de communicatie over deze aspecten duidelijk en éénduidig is.

Verder in dit hoofdstuk lichten we de RAMS-methode toe voor treindeur-systemen, in het bijzonder van de AM75-77. We baseren ons hiervoor op de standaard CENELEC EN 50126 die speciaal voor spoorwegtoepassingen werd ontwikkeld. Om de RAMS-methode bevattelijk uit te leggen, baseren we onze toelichting op de 'Leidraad RAMS – Sturen op prestaties van systemen' van de Rijkswaterstaat [4]. Deze leidraad is tevens opgesteld conform CENELEC EN 50126.

Doelstelling van dit hoofdstuk:

- Geven van een overzicht van de normering betreffende RAMS
- Definitie van RAMS parameters en concrete invulling naar het thesisonderwerp
- Duiding van een RAMS-methode voor het deursysteem van de AM75-77
- Toelichten van de keuze voor FaultTreeAnalysis als R-analyse methode

3.1 Normering betreffende RAMS

De belangrijkste internationale normen over RAMS zijn

- IEC 61508/62061 *Functional safety of electronic safety-related systems*[5, 6]
- de voor de spoorwegen ontwikkelde EN5012x suite

De EN5012x suite de individuele normen opgenomen in Tabel 3-1:

Tabel 3-1: Verschillende publicaties binnen de EN5012x suite [referentie]

Codering publicatie	Uitgavedatum	Titel
EN 50126	Oktober 1998	The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)
EN 50128	Maart 2001	Railway Applications: Software for railway control and protection systems
EN 50129	Mei 2003	Railway Applications: Safety related electronic systems for signalling

Het toepassingsdomein van de verschillende publicaties kan schematisch worden weergegeven (Figuur 16). Hieruit blijkt dat voor de instapdeuren EN 50126 van toepassing is.

CENELEC Standards			
Railway System			EN 50126
Signalisatie Systeem		EN 50129	
Subsysteem Software	EN 50128		

Figuur 16: Schematische weergave van verschillende publicaties in de EN 5012x suite en hun toepassingsdomein

Om de coherentie tussen de EN 5012x suite en de IEC 61508 te verhogen, wordt sinds mei 2008 de EN 5012x suite herwerkt. Hier gaan we niet verder op in.

3.2 Definities van RAMS-elementen toegepast op het thesisonderwerp

Een goede begripsbepaling is essentieel als vertrekpunt. Daarom behoeven de 4 elementen van het acroniem 'RAMS' elk een specifieke definitie. Deze definities worden gegeven in de verschillende normen. De onderstaande paragrafen lijsten deze op die vermeld worden in EN 50126 en die wij aldus zullen hanteren. Daarnaast projecteren we deze definities in het toepassingsdomein van de instapdeuren en geven verder toelichting.

3.2.1 Reliability

RAMS	Definitie volgens EN 50126	Toepassing voor deursysteem AM75-77
Reliability Ned. Betrouwbaarheid/ Fiabiliteit	Waarschijnlijkheid dat een item een vereiste functie kan uitvoeren onder gegeven omstandigheden gedurende een bepaald tijdsinterval.	Correct uitvoeren van deurcycli tijdens exploitatie.

Als we vertrekken van een gesloten, vergrendelde en niet vrijgegeven passagiersdeur verloopt een correcte uitvoering van een deurcyclus als volgt:

- Zijdeselectieve vrijgave door de bestuurder in de stuurpost
- Ontgrendelen en openen van de instapdeur door op- en/of afstappende reizigers via het handvat (AM75-77) of drukknop (AM75-77m)
- Sluitbevel door de hoofdwachter m.b.v. driehoekschakelaar. Alle deuren sluiten, behalve de deur waaruit het sluitbevel gegeven is.
- De lamp 'lokale deur' (zie paragraaf 2.3.1.4) licht op aan de deur waarin de hoofdwachter zich bevindt.
- In een station zonder 'Aanwijzer Verrichtingen Gedaan' (AVG) (zie [7]) drukt de hoofdwachter op de zwarte drukknop om de lamp deuren in de stuurpost te laten oplichten. De hoofdwachter sluit zijn deur na vertrek.
- In een station met AVG sluit de hoofdwachter zijn deur bij vertrek. De lamp deuren zal oplichten.

3.2.2 Availability

RAMS	Definitie volgens EN 50126	Toepassing voor deursysteem AM75-77
Availability Ned. Beschikbaarheid	Het vermogen van een product in een toestand te zijn om de vereiste functie onder bepaalde omstandigheden op een bepaald moment of gedurende een bepaald tijdsinterval uit te voeren, ervan uitgaande dat de vereiste externe hulpbronnen zijn verschaft.	Het aantal dagen dat een motorstel beschikbaar is voor exploitatie.

Voor motorstellen zoals de AM75-77 wordt de beschikbaarheid uitgedrukt in het aantal gepresteerde dienstdagen. Deze cijfers zijn beschikbaar en worden behandeld in paragraaf 4.5.3 We merken op dat het afzonderen van één of meerdere instapdeuren een maatregel is om de

beschikbaarheid op treinniveau te garanderen maar niet de beschikbaarheid van een deursysteem. Wanneer een deur niet meer (manueel) kan gesloten worden (door de treinbegeleider) moet het betrokken motorstel of rijtuiginstel uit roulatie gehaald worden. Dit beïnvloedt de beschikbaarheid van het materieel negatief.

3.2.3 Maintainability

RAMS	Definitie volgens EN 50126	Toepassing voor deursysteem AM75-77
Maintainability Ned. Onderhoudbaarheid	De waarschijnlijkheid dat een bepaalde activiteit voor onderhoud voor een item onder gegeven gebruiksomstandigheden kan worden uitgevoerd binnen een vastgestelde tijd, wanneer het onderhoud wordt uitgevoerd volgens vastgestelde voorwaarden en aan de hand van vastgestelde procedures en hulpbronnen.	Het aantal uren (zowel preventief als curatief) onderhoud vereist om het deursysteem operationeel te houden.

Preventief/voorzien onderhoud wordt uitgevoerd volgens onderhoudsschema's waarin de periodiciteit van het onderhoud bepaald is. Deze periodiciteit wordt uitgedrukt in het aantal afgelegde kilometers of het aantal kalenderdagen, afhankelijk welke limiet eerst wordt bereikt. Voor instapdeuren van de AM 75-77 worden volgende onderhoudsmomenten naast het zeer beperkte 'Dagelijks Onderzoek (DO)' gepland (Tabel 3-2):

Tabel 3-2: Momenten van preventief onderhoud voor de instapdeuren van de AM75-77

Benaming	Periodiciteit	Werken aan instapdeuren
Beperkt Onderzoek (BO)	wekelijks	<ul style="list-style-type: none"> - Buitendienstgezette deuren evalueren en terug in dienst stellen of herstellen - Controleren opstaprede - Nazicht van verlodingen
Grondige Schouwing (GS)	14.000±1.400 km of 30±3 kalenderdagen	Een GS heeft betrekking op de veiligheidsorganen, geen specifieke extra aanvullende beschrijving voor instapdeuren
Onderhoud (OH) Uitgevoerd in eigenaarwerkplaats te Charleroi	40.000 ⁺⁰ _{-4.000} km of 108 tot 120 kalenderdagen	<i>Geen specifieke beschrijving gevonden voor de werken verricht aan de instapdeuren</i>
Herziening (van de kast) (tussentijds = RIK1/2, grote = RGK) Uitgevoerd in Centrale Werkplaats Mechelen)	900.000 ⁺⁰ _{-150.000} km of 6 jaar	Volledige demontage en revisie van de onderdelen van het deursysteem waaronder de deurcilinder, de deurpanelen, de vergrendelblokken,..

3.2.4 Safety

RAMS	Definitie volgens EN 50126	Toepassing voor deursysteem AM75-77
Safety Ned. Veiligheid	Vrij van onaanvaardbare risico's m.b.t. letsels.	Het aantal incidenten met op- of afstappende reizigers is een maat voor de veiligheid. Veiligheidsfuncties van een deursysteem zijn enerzijds het afsluiten van het rijtuig tijdens rit en anderzijds de risico's bij het op- en afstappen verminderen. Voor deze laatste functie beschikt het deursysteem van de AM75-77 over een Gevoelige Boord en een (vaste) opstaprede.

Waarden voor de RAMS-parameters zijn niet kant-en-klaar beschikbaar binnen NMBS Technics. Deze zijn echter vereist als vertrekpunt voor elke analyse binnen de RAMS-methode. Daarom zal eerst een gefundeerde schatting van de RAMS-parameters voor de instapdeuren van het materieelpark (zie hoofdstuk 2) uitgevoerd worden in volgend hoofdstuk.

3.3 Een RAMS-methodologie voor het deursysteem van de AM75-77.

We behandelen in volgende paragrafen de verschillende vereisten en aspecten met betrekking tot de toepassing van de RAMS-methodologie voor het deursysteem van de AM75-77.

3.3.1 Verplichte vereisten voor de toepassing van EN 50126-1

Voor een correcte toepassing van EN 50126-1 dient rekening gehouden te worden met volgende vereisten:

- definiëren en toewijzen van verantwoordelijkheden ter uitvoering van RAMS-taken in de corresponderende fase (zie 3.3.4)
- zich ervan verzekeren dat het personeel dat betrokken is bij de uitvoering van de RAMS-taken voldoende opgeleid is
- totstandkoming en implementatie van een RAM-programma en een veiligheidsplan waarbij volgende punten geïdentificeerd en beheerd worden:
 - conflicten tussen RAM en veiligheidstaken
 - details van alle RAMS-analyses, inclusief de grondigheid van de analyse-activiteiten
- zich ervan verzekeren dat alle vereisten van EN 50126-1 geïmplementeerd zijn in de bedrijfsprocessen die ondersteund zijn door een kwaliteitssysteem dat in overeenstemming is met de vereisten gesteld door EN ISO 9000
- totstandkoming en implementatie van een adequaat en effectief configuratiebeheersysteem met daarin tenminste:
 - alle systeemdokumentatie
 - alle andere systeem toebehoren

3.3.2 Onderlinge beïnvloeding van RAMS-parameters.

De 4 RAMS-parameters zijn inherent met elkaar verbonden. Dit is een fundamentele regel binnen de RAMS methodologie! Het werken op één parameter (zoals de betrouwbaarheid) zal zijn invloed hebben op de overige parameters.

Concrete voorbeelden hiervan zijn:

- Voor het ontwerp van de software voor de sturing van het deursysteem van de AM75-77m (zie hoofdstuk 7) wordt vertrokken van volgende eis ter verhoging van de veiligheid: '1 fout aan de inputs mag geen aanleiding geven tot een onveilige situatie'. Deze kan mogelijk een negatieve invloed hebben op de betrouwbaarheid van het systeem. Zo kunnen extra componenten toegevoegd worden om de veiligheid van het systeem te waarborgen. Dit vermeerderen kan echter leiden tot een hogere graad van uitval.
- Voor de bepaling van de kwantificatie van de R- en M-parameter per referentie-eenheid wordt gebruik gemaakt van de gegevens uit de A-parameter (zie paragraaf 4.2.4).

We moeten ons bewust zijn dat we met onze fiabiliteitsverhoging voor de instapdeuren van de AM75-77m werken binnen volgende RAMS-perimeter:

- er mogen geen fouten geïntroduceerd worden die de hele trein buiten dienst zetten
- de onderhoudsschema's moeten gevrijwaard blijven en de vereisten in het aantal onderhoudsuren mag niet toenemen. Dit vertaalt zich in het gegeven dat de Total Cost of Ownership niet mag toenemen. Wanneer kost als bijkomende parameter geïntroduceerd wordt, kunnen afwegingen gemaakt worden op basis van methoden zoals Life Cycle Costing (LCC), Value Engineering (VE) of Kosten Baten Analyse (KBA). RAMS-prestaties kunnen in deze methoden verweven worden (zie [4]). Dit valt echter buiten de scope van de thesisopdracht.
- het huidige veiligheidsniveau dient minstens aangehouden te worden

3.3.3 Definities 'Falen' en 'Betrouwbaarheid'

Alvorens verder in te gaan op de toepassing van de RAMS-aspecten in de levenscyclus en het kiezen van een methode om Reliability kwantitatief te bepalen, verfijnen we het begrip betrouwbaarheid. Hiervoor behandelen we eerst het begrip 'falen' dat inherent verweven is met de definitie van betrouwbaarheid.

3.3.3.1 Falen

Volgens [4] kan falen gedefinieerd worden als:

Een gebeurtenis, of een verzameling gebeurtenissen, waardoor een systeem zijn functionaliteit of een deel van zijn functionaliteit verliest.

Het falen kan hierbij merkbaar of niet-merkbaar zijn. Een instapdeur die opent tijdens rit is een voorbeeld van merkbaar falen. Een elektroklep die niet meer naar behoren fungeert, kan gecatalogeerd worden als een niet-merkbaar falen. Om dit niet-merkbaar falen vast te stellen, moet een deurcyclus in exploitatie ofwel een deurproef worden uitgevoerd.

De faalfrequentie is bovendien niet constant tijdens de levenscyclus van een systeem of component maar is in te delen in verschillende periodes waarin het falen wordt gekenmerkt door verschillende oorzaken.

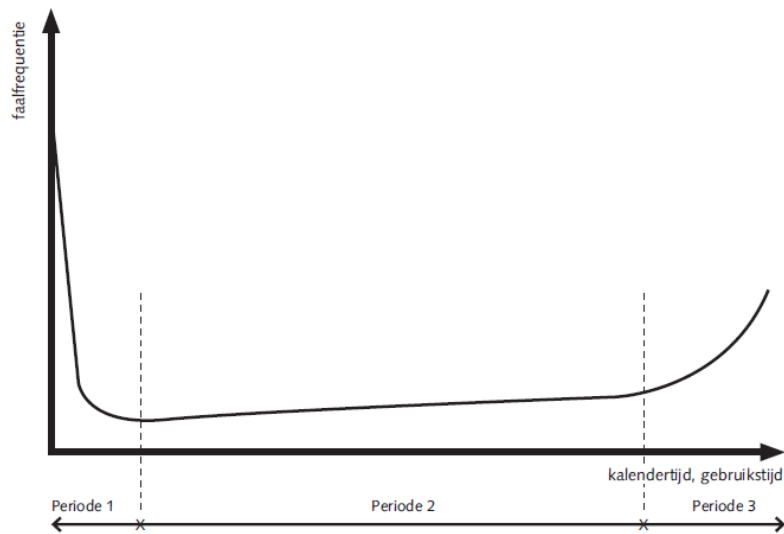
We onderscheiden:

Periode 1: Falen door kinderziektes. Vlak na de inbedrijfstelling worden storingen vaak beschouwd als kinderziektes die te wijten kunnen zijn aan ontwerp- of installatiefouten.

Periode 2: Willekeurig falen. Tussen de periode van falen door kinderziektes en falen door veroudering is de leeftijd van een component minder relevant voor zijn faalfrequentie. Storingen treden hier min of meer willekeurig op eventueel getriggered door externe effecten. Het onderhoudssysteem voor de AM75-77 met tussentijdse/grote herzieningen bepaalt dat het deursysteem constant in deze periode wordt benut.

Periode 3: Falen door ouderdom. Wanneer een component het einde van zijn ontwerp levensduur nadert, wordt degradatie van de component een dominerende oorzaak van falen. Componenten die niet systematisch vervangen worden in een revisieketting kunnen zich in deze periode bevinden.

De verdeling in bovenstaande periodes wordt voorgesteld in een badkuipcurve zoals weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17: badkuipcurve voor een welbepaalde functie in een systeem [4]

Belangrijk om op te merken bij Figuur 17 is:

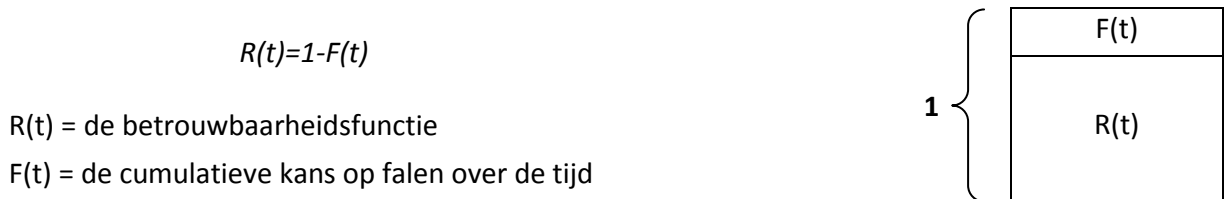
- De cruciale rol die de tijdsdimensie heeft.
- Het feit dat de voorgestelde badkuipcurve bepaald is voor een welbepaalde component/functie van het systeem, bijvoorbeeld de deurcilinder. Het volledige deursysteem vormt de verzameling van een schare van badkuipcurves voor alle componenten.

Uit Figuur 17 stellen we vast dat de faalfrequentie in Periode 1 beduidend hoger ligt dan in Periode 2. Dit beweegt ons ertoe de waarden voor de **RAMS-parameters** (Hoofdstuk 4) van de net gemoderniseerde **M5m** (die zich voor het tijds kader van de analyse (zie 4.2.1)in Periode 1 bevindt) **buiten het vergelijk van de andere materieeltypes te laten** (die zich voor dit tijds kader in Periode 2 bevinden).

3.3.3.2 Betrouwbaarheid

We kunnen de definitie van betrouwbaarheid, $R(t)$, uit paragraaf 3.2.1 herformuleren als 'betrouwbaarheid is de kans op niet-falen gedurende een bepaalde periode'. Dit impliceert dat de faalfrequentie een maat kan zijn voor de betrouwbaarheid. Vaak wordt de periode uitgedrukt in tijd maar ook het aantal gereden kilometer of het aantal deurcycli kan een eenheid voor een periode vormen in het kader van de thesisopdracht.

In plaats van $R(t)$ wordt regelmatig gewerkt met de kans op falen, Failure Rate of $F(t)$, dat het complement vormt van $R(t)$. Onderstaande figuur geeft de relatie tussen beiden weer:



Eenmaal de eenheid van tijd gekozen is, kan een **waarde voor $R(t)$ of $F(t)$** bepaald worden. Deze waardes zijn (helaas) niet kant en klaar af te lezen op de betrokken componenten. We zullen twee wegen bewandelen om een waarde voor één van beide te bekomen die zo nauw mogelijk aansluit met de realiteit.

1) Interpreteren uit gegevensdatabases van operator NMBS

Doordat operator NMBS via zijn directie Technics ook het onderhoud van de instapdeuren op zich neemt, kan het verbruik van wisselstukken een indicatie zijn voor het falen van de verschillende componenten. Het verbruik moet natuurlijk voortvloeien uit een vervanging na het optreden van een defect. Als dit verbruik ontstaat door preventief onderhoud is er geen directe link met falen.

2) Raadplegen van publieke databases.

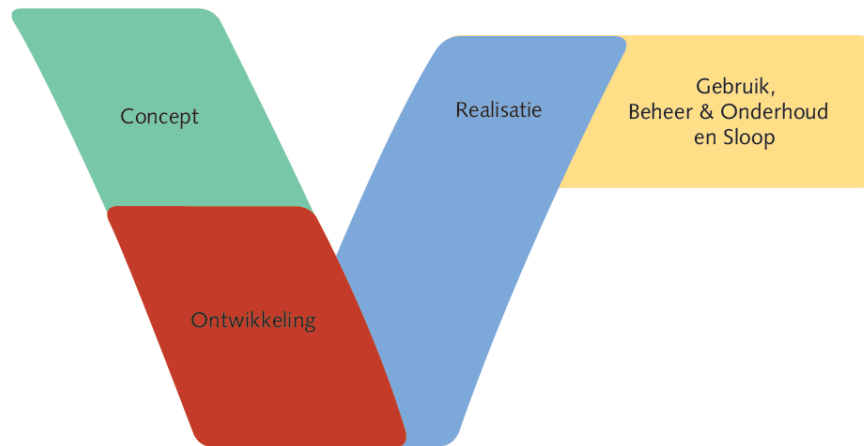
Wanneer voor bepaalde componenten geen betrouwbaarheidsinformatie beschikbaar is in de gegevensdatabases van de NMBS, kan het raadplegen van publieke betrouwbaarheidsdatabases een goed vertrekpunt vormen. In deze thesisopdracht wordt voor MIL-HDBK-217F [8] geadviseerd. Belangrijk is op te merken dat de betrouwbaarheidsgegevens uit deze publieke databases gebaseerd zijn op falen in Periode 2.

De gegevens uit de databases van operator NMBS betreffende de instapdeuren van de AM75-77 mogen ook beschouwd worden als gegevens uit periode 2 daar het deursysteem reeds meer dan 30 jaar operationeel is waarbij het om de 10 jaar volledig gereviseerd wordt. Dit geldt bijvoorbeeld voor de deurcilinder waar **Fout!** **Verwijzingsbron niet gevonden.** dieper op ingaat.

3.3.4 RAMS-gegevens doorheen de verschillende levenscyclusfasen (het V-model)

De RAMS-aspecten van bijvoorbeeld een treindeur-systeem dienen beschouwd te worden doorheen zijn gehele levenscyclus en die van zijn componenten. Dit wordt gerepresenteerd door het V-model (Figuur 18) dat 4 levenscyclusfasen onderscheidt:

1. Concept
2. Ontwikkeling
3. Realisatie
4. Gebruik, Beheer & Onderhoud en Sloop



Figuur 18: Levenscyclusfasen in het V-model [4]

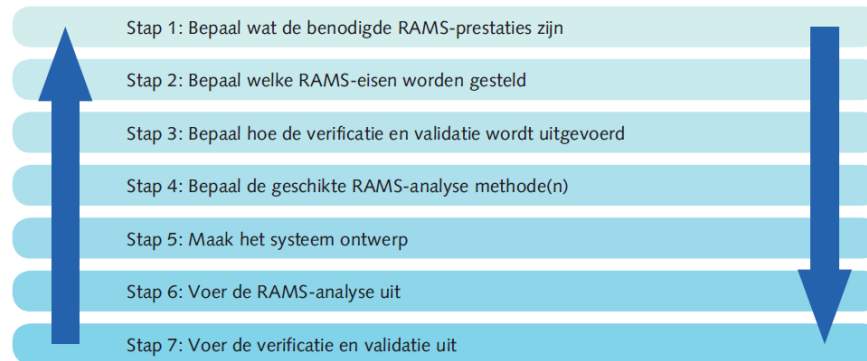
In Hoofdstuk 4 worden de RAMS-gegevens voor de instapdeuren van het materieelpark uiteraard verzameld in fase 4 van hun levenscyclus.

Met de verzamelde RAMS-gegevens kan dan een prestatiemeting worden verricht om te evalueren of de instapdeuren voldoen aan de verwachtingen van de beheerder en gebruikers. Door de prestatiemeting uit te drukken in een industrieel aanvaardbare referentie-eenheid (zie paragrafen 4.2.3 en 4.2.4) kunnen de gegevens van verschillende spoorwegoperatoren met elkaar vergeleken worden om verdere inzichten te verwerven.

We merken ten slotte op dat het deursysteem van de AM75-77m (Hoofdstuk 7) zich bevindt in fases 1 & 2 waarbij nieuwe componenten geïntroduceerd worden. De uitdaging bestaat erin voor deze componenten RAMS-gegevens te verzamelen en de RAMS-aspecten zo getrouw mogelijk te voorspellen zodanig dat vergelijk met het huidige deursysteem mogelijk wordt.

3.4 Uitvoeren van een RAMS-analyse.

Naast het bepalen van de RAMS-gegevens kan ook een RAMS-analyse worden uitgevoerd voor elk van de 4 parameters. De thesisopdracht beperkt zich tot een R-analyse voor het deursysteem van de AM75-77 en de AM75-77m. Door het uitvoeren van een R-analyse op beide systemen kan een indicatie bekomen worden voor de fiabiliteit van beide systemen. Het uitvoeren van een RAMS-analyse is overduidelijk een iteratief proces dat de nodige verificatie vereist. De uitvoering van een RAMS-analyse kan aldus ingedeeld worden in verschillende stappen, grafisch voorgesteld in Figuur 19.



Figuur 19: De belangrijkste RAMS-activiteiten in stappen [4]

Alvorens we kunnen starten met een R-analyse in Hoofdstuk 5 en Hoofdstuk 7 dienen we conform Stap 4 in Figuur 19 een geschikte analysemethode te kiezen.

3.4.1 Keuze van Foutenboomanalyse (Eng: Fault Tree Analysis - FTA) als R-analysemethode

Om een antwoord te bieden op de uitdaging vermeld onderaan paragraaf 3.3.4 hebben we een kwantitatieve analysemethode nodig. Deze zal ons in staat stellen een fiabiliteitsanalyse uit te voeren en een theoretisch onderbouwd vergelijk te maken van beide deursystemen.

We opteren, conform het beslissingsmodel op pagina 75 van de 'Leidraad RAMS – sturen op prestaties van systemen' [4], voor Foutenboomanalyse (FTA, Fault Tree Analysis) als analysemethode voor onze fiabiliteitsanalyses.

Deze analysemethode geeft de bijdrage van individueel falen van componenten of losse gebeurtenissen aan de hand van topgebeurtenissen, die we zelf dienen te bepalen (zie Hoofdstuk 5 en Hoofdstuk 7 waar een toetsing wordt gemaakt aan de realiteit). De bijdrage van alle componenten afzonderlijk zal ons in staat stellen de zwakke elementen in een deursysteem te identificeren. We lijsten de voor ons relevante kenmerken van een FTA op in Tabel 3-3.

Tabel 3-3: Kenmerken Foutenboomanalyse (FTA, Fault Tree Analysis) (zie ook [4])

Kenmerken Foutenboomanalyse (Eng Fault Tree Analysis - FTA)

Voordelen

- Behandeling van complexe systemen (waaronder treindeur-systemen) op een grafische manier waarbij subsystemen hun eigen foutenboom krijgen.
- Hardware- en software-falen komen voor behandeling in aanmerking. Net als andere faalfactoren (zoals menselijk handelen).
- De methode is bruikbaar voor systemen met redundantie.

Nadelen

- Verschillende foutenboommodellen zijn nodig wanneer verschillende topgebeurtenissen worden behandeld. Deze topgebeurtenissen moeten gekend zijn of voorspeld kunnen worden.
- Vereist van de analist een grondige kennis van het systeem. Bovendien is de methode arbeidsintensief en het resultaat afhankelijk van de kunde van de analist.
- Aspecten met betrekking tot het herstellen van gefaalde componenten (zoals de beschikbaarheid van onderhoudspersoneel of bereikbaarheid) kunnen niet adequaat worden gerepresenteerd.
- Kansen op het optreden van topgebeurtenissen kunnen niet eenvoudigweg opgeteld worden.

De nadelen van FTA vermeld in Tabel 3-3 vormen echter geen belemmering om onze R-analyses uit te voeren.

3.4.1.1 Beknopte beschrijving van de uitvoering van een Foutenboomanalyse (FTA)

We geven beknopt weer hoe een FTA concreet kan worden uitgevoerd. Deze beschrijving wordt in extenso uitgewerkt in Hoofdstuk 5.

Uitvoeren van een Foutenboomanalyse

- 1) Een foutenboom vertrekt vanuit een topgebeurtenis (Eng: Top Event). Dit is vaak een algemene beschrijving van een falen dat door een gebruiker van het systeem wordt vastgesteld. De minimale vereiste hierbij is dat de optredende fout reeds op voorhand gekend is of kan voorspeld worden.
- 2) Vertrekkende vanuit de topgebeurtenis wordt het systeem fysisch ontleed waarbij we 'afdalen' in het systeem. Hierbij wordt gekeken welke subsystemen verantwoordelijk zijn voor het optreden van de bovenliggende gebeurtenis. Indien meerdere subsystemen samen optreden of in welbepaalde volgorde dienen te gebeuren, dient Boolse logica aangewend te worden.
- 3) Het 'afdalen' in het systeem stopt bij een 'basisgebeurtenis'. Dit is een onafhankelijke gebeurtenis waarvan de relevante karakteristieken gedefinieerd zijn door andere technieken dan een Fault Tree. Dit kan bijvoorbeeld het falen van een component zijn maar ook invloeden of handelingen die verricht worden die niet behoren tot het systeem.
- 4) Éénmaal alle basisgebeurtenissen geïdentificeerd zijn, kan overgegaan worden tot de analyse van de volledige foutenboom voor een welbepaalde topgebeurtenis. In eerste instantie wordt de kans op optreden van de topgebeurtenis bepaald, vertrekkende van de basisgebeurtenissen.
- 5) In een volgende stap kunnen alle componenten of combinaties van componenten geïdentificeerd worden die de topgebeurtenis teweeg brengen. Hierbij wordt de methode van de zogeheten minimale 'Cut Sets' toegepast. Een 'Cut Set' wordt gedefinieerd als een component/gebeurtenis of een groep componenten/gebeurtenissen, die wanneer ze tezamen gebeuren, de topgebeurtenis als gevolg kunnen hebben.
- 6) Finaal wordt een rangschikking gemaakt die aangeeft welke component of componentgroep de grootste invloed heeft op het teweegbrengen van de topgebeurtenis waarvoor de foutenboom werd opgesteld.

Hoofdstuk 4 Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

Zoals in vorig hoofdstuk vermeld, zijn waarden voor de RAMS-parameters binnen NMBS Technics niet kant-en-klaar beschikbaar. Daarom kwantificeren we de RAMS-parameters in dit hoofdstuk alvorens het deursysteem van de AM75-77 te analyseren. NMBS Technics verwacht dat deze kwantificering betrokken wordt op het materieelpark zoals beschreven in hoofdstuk 2. Op deze manier kunnen de prestaties van de zwenkschuifdeuren van de AM75-77 vergeleken worden. Naast de objectieve RAMS-parameters zijn er ook criteria zoals de appreciatie van de reiziger voor een bepaald deursysteem. Hoewel de operator deze niet uit het oog mag verliezen, worden ze wegens hun subjectieve karakter in dit hoofdstuk niet meegenomen.

Voor de kwantificatie doen we een beroep op allerhande databases die de verschillende directies van operator NMBS bijhouden. Om het overzicht voor de AM75-77 te bewaren, zal gewerkt worden met volgende tabelstructuur:

RAMS AM 75-77	Reliability	Availability	Maintainability	Safety
Database				
Prestatie/miljoen km				
Prestatie/miljoen deurcycli				
Beoordeling				

Bovendien geven de grafieken in dit hoofdstuk de resultaten van de AM75-77 weer in een rode kleur zodat ze beter in het oog springen voor vergelijk.

Doelstellingen van dit hoofdstuk:

- RAMS-prestaties vergelijkbaar maken
- Kwantificeren RAMS-parameters voor het materieelpark van de NMBS
- RAMS-prestaties van het deursysteem van de AM75-77 beoordelen

4.1 EN 50126-3

Voor dit hoofdstuk hebben we ons gebaseerd op de voor onze problematiek relevante paragrafen uit EN50126-3 'Guide to the application of EN 50126-1 for Rolling Stock RAMS'[9]. Zoals in de scope van dit document vermeld staat, verschaft het document begeleiding bij het toepassen van de RAM-vereisten voor rollend materieel uit EN 50126-1 [2] en voor het beheren van RAM-activiteiten gedurende de verschillende levenscyclusfasen van ontwerp tot exploitatie. Het richt zich naar de klanten/operators en hoofdleveranciers van rollend materieel en subsystemen (waaronder treindeur-systemen).

Op het vlak van veiligheid beperkt de toepassing van EN 50126-3 zich tot het verschaffen van een referentielijst van de meest voorkomende 'Hazards' op rollend materieel geassocieerd met exploitatie.

4.2 Vergelijkbaar maken van RAMS-prestaties

4.2.1 Definiëren tijds kader

Om de verschillende RAMS-prestaties vergelijkbaar te maken, moet allereerst een eenduidig **tijds kader** gekozen worden waarbinnen alle databases bekeken worden. De grootte van dit tijds kader moet zodanig gekozen zijn dat ze representatieve data oplevert maar geen onnodig grote hoeveelheden die het door ons voorziene tijdsbestek voor analyse in het gedrang brengen. In deze optiek hebben we geopteerd voor een tijds kader van 1 jaar:

van 1 juli 2009 tot en met 30 juni 2010.

4.2.2 Buiten beschouwing laten van de gegevens voor HV M5(m)

Binnen bovenstaand tijds kader was de modernisatie van de rijkundigen M5 in de werkplaats te Cuesmes volop aan de gang met de indiensttreding van de eerste rijkundigen M5m. Hierdoor stond een groot deel van het park M5 rijkundigen langdurig buiten dienst. We moeten bovendien door de modernisatie de gegevens van het deursysteem van de rijkundigen M5m situeren in periode 1 van de badkuipcurve (zie Figuur 17) terwijl de andere deursystemen zich in periode 2 bevinden. Daar periode 1 gekenmerkt wordt door een hogere faalkans zou het rechtstreeks vergelijken van de gegevens van de rijkundigen M5(m) met de andere materieelreeksen niet representatief zijn. We hebben daarom geopteerd deze gegevens in onze analyses buiten beschouwing te laten. Daarom worden zij in grafieken met een grijze kleur weergegeven. Zij worden tevens niet in rekening gebracht bij het berekenen van de gewogen gemiddelden.

4.2.3 Definiëren Referentie-eenheid (1): 1 miljoen kilometer

Naast het kiezen van een tijds kader moet voor vergelijk een referentie-eenheid gekozen worden. We stellen vast dat het aantal deursystemen in exploitatie van elk type rollend materieel verschillend is. Bovendien wordt elke materieelreeks met een verschillende intensiteit gebruikt (stoptreinen (L/CR) versus InterCity (IC) treinen). Omdat de informatie uit de databases enkel absolute waarden bevat, is vergelijk enkel mogelijk door te schalen naar een afgesproken referentie-eenheid. Voor betrouwbaarheidsgegevens schrijft EN 50126-3 als referentie-eenheid 1 miljoen uren of **1 miljoen kilometer** voor. Binnen de NMBS is het gebruikelijk om het aantal incidenten per miljoen afgelegde kilometer uit te drukken. Conform hieraan zullen we deze conventie waar mogelijk overnemen voor onze thesisopdracht.

Natuurlijk hebben de gekozen referentie-eenheid en het tijds kader een verband. Zo komen we tot het aantal afgelegde kilometer per jaar en kan het aantal incidenten op jaarbasis (verzameld uit de databases) geschaald worden naar een aantal incidenten per miljoen kilometer.

De vereiste gegevens om de koppeling te verwezenlijken, hebben we uit de database van NMBS Technics, die de kilometerproductie bijhoudt, gehaald. We lijsten deze gegevens op voor elke materieelreeks op het binnenlandse net in Tabel 4-1.

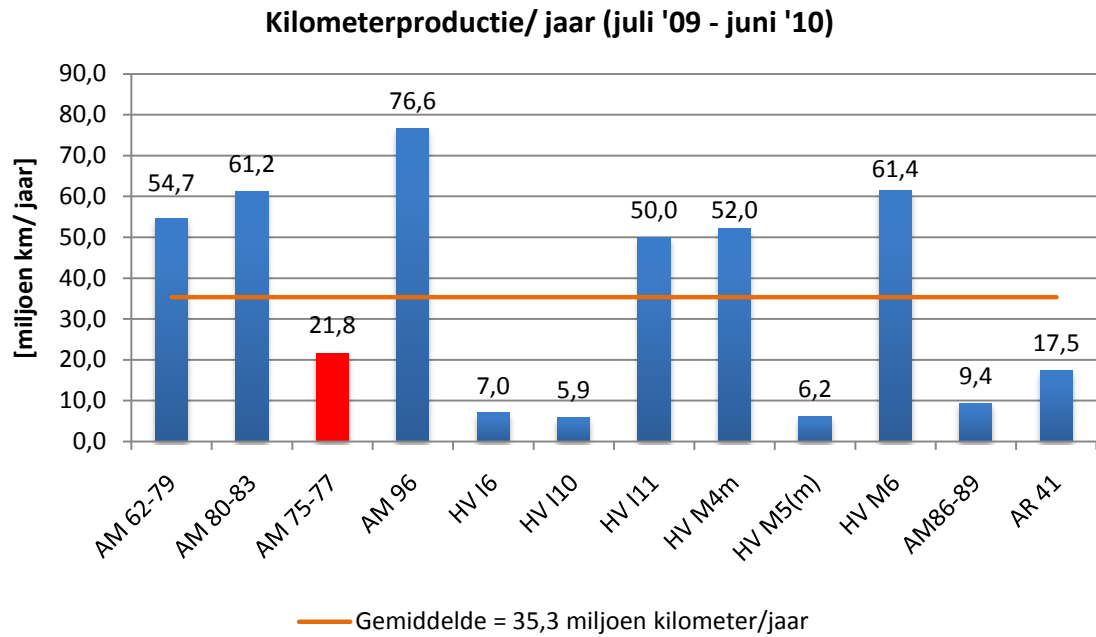
Tabel 4-1: Kilometerproductie / jaar voor de materieelreeksen op het binnenlandse net (juli '09 – juni '10)

Materieelreeks	Parkgrootte [Voertuigen]	# Kasten / voertuig	Parkgrootte [kasten]	Kilometerproductie [kastkm*/jaar]
AM 62-79	298	2	596	54.657.927
AM 80-83	139	3	417	61.193.235
AM 75-77	44	4	176	21.766.952
AM 96	120	3	360	76.577.520
HV I6	78	1	78	6.999.127
HV I10	93	1	93	5.915.738
HV I11	163	1	163	49.983.019
HV M4m	575	1	575	52.032.385
HV M5(m)	130	1	130	6.199.310
HV M6	447	1	447	61.441.716
AM86-89	51	2	102	9.395.928
AR 41	92	2	184	17.480.388
		Gemiddeld	277	35.303.604

* IN TABEL 4-1: EEN 'KASTKILOMETER' KAN AFGELEGD WORDEN DOOR 1 KAST 1 KILOMETER TE LATEN AFLEGGEN OF DOOR 2 KASTEN ELK 0,5 KILOMETER TE LATEN AFLEGGEN ENZ. VOOR HET GEMAK VAN LEZEN, GEBRUIKEN WE LOUTER HET CONVENTIONELE BEGRIP 'KILOMETER'.

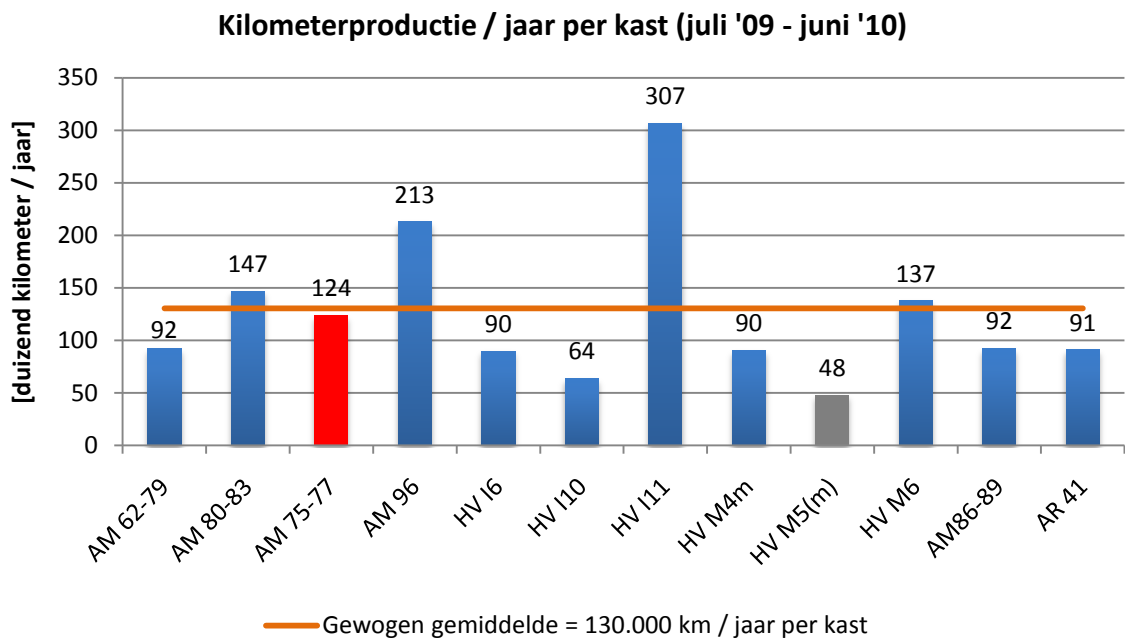
We zetten de bekomen waarden voor de kilometerproductie uit in Figuur 20.

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark



Figuur 20: Grafische weergave 'Kilometerproductie/ jaar' voor materieelpark binnenlands net (juli '09 – juni '10)

We schalen in Figuur 21 de kilometerproductie overeenkomstig de parkgrootte.



Figuur 21: Kilometerproductie / jaar per ingezette kast voor materieelpark binnenlands net (juli '09 - juni '10)

Uit Figuur 21 merken we volgende zaken betreffende de kilometerproductie:

- De motorstellen AM75-77 hebben een kilometerproductie die het gemiddelde benadert
- De motorstellen AM96 en vooral de rytuigen I11 worden gekenmerkt door een hoge kilometerproductie per kast

4.2.4 Definiëren Referentie-eenheid (2): 1 miljoen deurcycli

Omdat de thesisopdracht zich met treindeur-systemen richt naar een specifieke component van het rollend materieel werd in samenspraak met de begeleiders geopteerd om een nieuwe, specifieke referentie-eenheid te introduceren voor treindeur-systemen. Hierdoor is uiteraard rechtstreeks vergelijk met cijfers van andere operatoren of constructeurs niet mogelijk. Maar de prestaties voor de instapdeuren van de verschillende materieeltypes kunnen op deze manier meer representatief vergeleken worden.

Als nieuwe referentie-eenheid hebben we **1 miljoen deurcycli** gekozen

We halen hiervoor volgende argumentering aan:

- Het aantal deurcycli kan gefundeerd op een theoretische manier bevattelijk bepaald worden
- Het is een maat voor het aantal deursystemen in omloop voor elk materieeltype
- Het is een goede indicatie voor de intensiteit van het gebruik van de instapdeuren

We hebben voor de bepaling van het aantal verrichte deurcycli geopteerd voor vergelijking 1:

$$\text{Aantal deurcycli} = \text{Aantal ingezette balkons} \times \text{Aantal stops} \quad (1)$$

Om voor elke materieelreeks getalwaarden voor deze betrekking te bekomen, hebben we volgende gegevens verzameld:

- Het aantal balkons per voertuig
 - Het aantal effectief ingezette voertuigen
 - Het aantal stops dat elk materieeltype uitvoert voor een referentieperiode
- } Bepalen van het aantal ingezette balkons

Het aantal balkons per voertuig hebben we geverifieerd aan de hand van de technische fiches te vinden op [10-12]. Het aantal effectief ingezette balkons bekomen we door het aantal balkons voor elke materieelreeks te vermenigvuldigen met de graad van inzetbaarheid. Dit percentage wordt bekomen door het 'aantal dienstdagen per jaar / 365' te nemen. Een dienstdag is een dag waarop het voertuig in kwestie effectief een treindienst in exploitatie heeft gereden en dus niet buiten dienst of als reserve stond. Voor een verdere uitwerking verwijzen we naar paragraaf 4.5 . De overeenkomstige getalwaarden worden opgelijst in Tabel 4-2.

Het theoretische karakter van vergelijking 1 ligt in de component 'Aantal stops'. Voor de bepaling van het aantal stops maken we volgende veronderstellingen:

- Bij elke stop in een station gaan ALLE deuren aan 1 zijde open en dicht = 1 deurcyclus
- Het aantal stops wordt geschat op basis van enkele representatieve materieelroulaties. Deze roulaties worden vastgelegd in schema's waarop de treinnummers vermeld staan waarvoor het materieel ingezet wordt. Het aantal stops kan gevonden worden door op de site *railtime.be* het corresponderende aantal stops te bepalen per relevant treinnummer. We hebben ervoor geopteerd om voor elke materieelreeks het gemiddeld aantal stops te berekenen uit 4 representatieve roulaties voor een dinsdag en een donderdag. Deze dagen gelden binnen het spoorwezen als referentiedagen.

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

Het aantal deurcycli bekomen door toepassing van vergelijking 1 lijsten we op in Tabel 4-3.

Tabel 4-2: Bepaling van het aantal ingezette balkons voor elke materieelreeks op het binnenlandse net

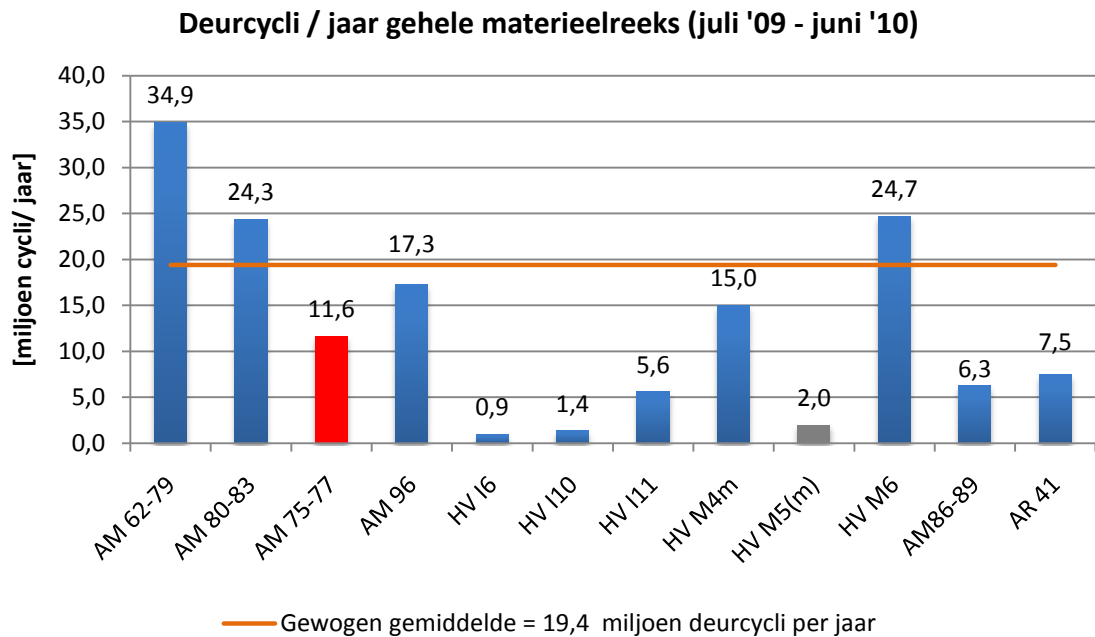
Materieelreeks	Parkgrootte [voertuigen]	# Balkons / voertuig	Parkgrootte [Balkons]	Inzetbaarheid (07/09-06/10)	# Ingezette balkons
AM 62-79	298	4	1.192	65%	777
AM 80-83	139	6	834	72%	603
AM 75-77	44	8	352	68%	241
AM 96	120	6	720	81%	580
HV I6 A+B	63	2	126		
HV I6 BC	15	2	30		
HV I6 totaal	78		156	42%	65
HV I10 A+B	60	2	120		
HV I10 K	29	2	58		
HV I10 R	4	2	8		
HV I10 totaal	93		186	68%	126
HV I11 A+B	142	2	284		
HV I11 Bx	21	1	21		
HV I11 totaal	163		305	83%	254
HV M4m A+B	476	2	952		
HV M4m D	58	1	58		
HV M4m K	10	1	10		
HV M4m Adx	31	1	31		
HV M4m totaal	575		1.051	65%	685
HV M5(m)	130	2	260	46%	119
HV M6	447	2	894	83%	740
AM86-89	51	4	204	70%	142
AR 41	96	3	288	66%	191
		Gemiddeld	537	71%	376

Tabel 4-3: Bepaling aantal deurcycli/jaar (juli 2009 – juni 2010) voor elke materieelreeks op het binnenlandse net

Materieelreeks	Ingezette Balkons	Stops [stops/2 referentiedagen]	Deurcycli [cycli/jaar]
AM 62-79	777	246	34.894.608
AM 80-83	603	221	24.329.448
AM 75-77	241	264	11.616.000
AM 96	580	163	17.251.920
HV I6	65	79	942.235
HV I10	126	59	1.356.922
HV I11	254	121	5.609.926
HV M4m	685	120	15.008.280
HV M5(m)	119	92	1.997.320
HV M6	740	183	24.710.435
AM86-89	142	243	6.295.644
AR 41	191	215	7.492.320
Gemiddeld	377	167	12.625.421

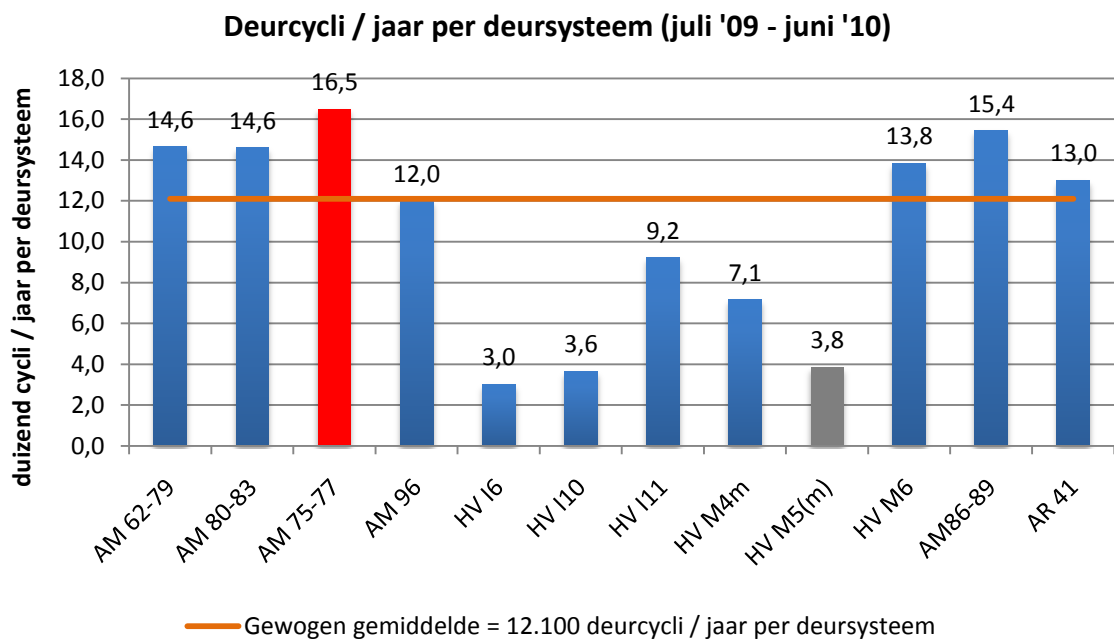
Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

We zetten de bekomen waarden voor het aantal deurcycli grafisch uit in Figuur 22.



Figuur 22: Grafische weergave 'Deurcycli/ jaar totaal' voor elk type in het materieelpark binnenlands net

Het is natuurlijk belangrijk dat we ons een idee kunnen vormen van het aantal cycli dat een deursysteem gemiddeld per jaar aflegt. We bekijken deze cijfers van naderbij in Figuur 23.



Figuur 23: Grafische weergave 'Deurcycli / jaar per deusysteem' voor elk type in het materieelpark binnenlands net

Uit Figuur 23 zien we dat de instapdeuren van de AM75-77 zeer veel cycli per jaar afleggen. Als we rekening houden met een periode van 6 jaar tussen twee herzieningen betekent dit dat een deursysteem van de AM75-77 bijna 100.000 cycli aflegt tussen twee herzieningen in.

4.2.5 Vergelijk tussen referentie-eenheden: afgelegde kilometer tussen twee deurcycli

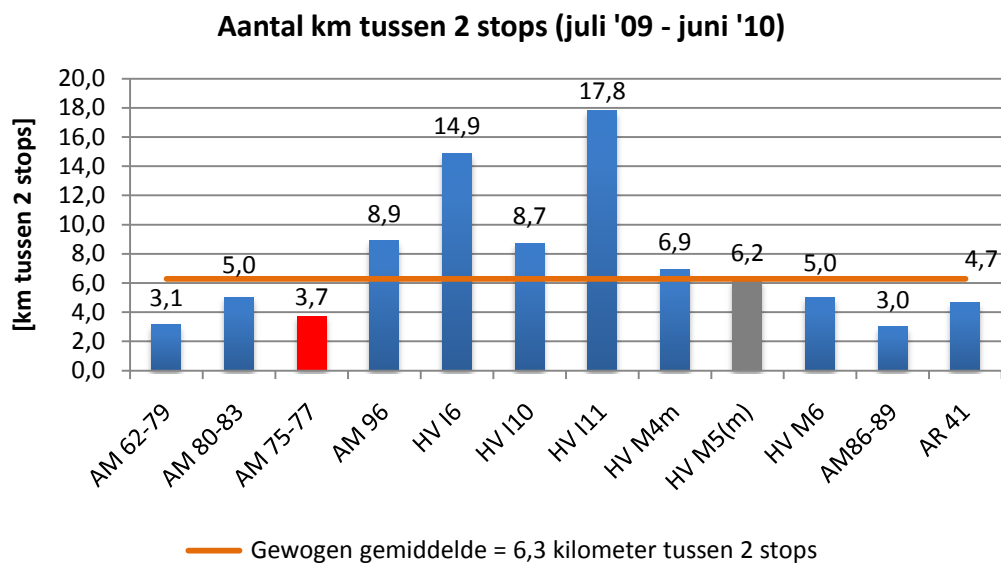
Het lijkt ons interessant verder onderzoek te verrichten naar beide referentie-eenheden en de verhouding tussen beide. Dit onderzoek kan aangewend worden als vertrekpunt voor het opstellen van aangepaste lastenboeken bij de aankoop van nieuw materieel zoals de AM08 (zie Figuur 24).



Figuur 24: AM08 gestationeerd voor de werkplaats van Charlerloi voor proeven (02-03-2011)

4.2.5.1 Het aantal afgelegde kilometer tussen 2 stops per materieelreeks

Uit de productie van het aantal kilometer een het aantal deurcycli kunnen we het gemiddeld aantal kilometer tussen 2 stops afleiden voor elke materieelreeks (Figuur 25).



Figuur 25: aantal afgelegde kilometer tussen 2 stops per materieelreeks op het binnenlands net (juli 2009 - juni 2010)

Uit Figuur 25 merken we op dat:

- De stellingen AM86-89, AM62-79, AM75-77 gemiddeld om de 3 à 4 km een stop uitvoeren
- De rytuigen I11 5 keer meer afstand tussen elke stop afleggen dan bovenstaand materieel

Bovenstaande vaststellingen doen ons vermoeden dat bepaalde materieelreeksen eerder specifiek worden ingezet voor langeafstandsverbindingen (IC-treinen) en dat andere aangepast zijn voor lokaal verkeer (L/CR-treinen).

4.2.5.2 Het aantal afgelegde kilometer tussen 2 stops per type treindienst

Zoals we reeds hierboven gesuggereerd hebben, gaan we verder in op het type treindienst. We bekijken hiervoor het gemiddeld aantal stops en het gemiddeld aantal kilometer tussen 2 stops. We hebben hiertoe voor elk type treindienst 10 representatieve ritten uitgemiddeld. Tabel 4-4 lijst de bekomen resultaten op.

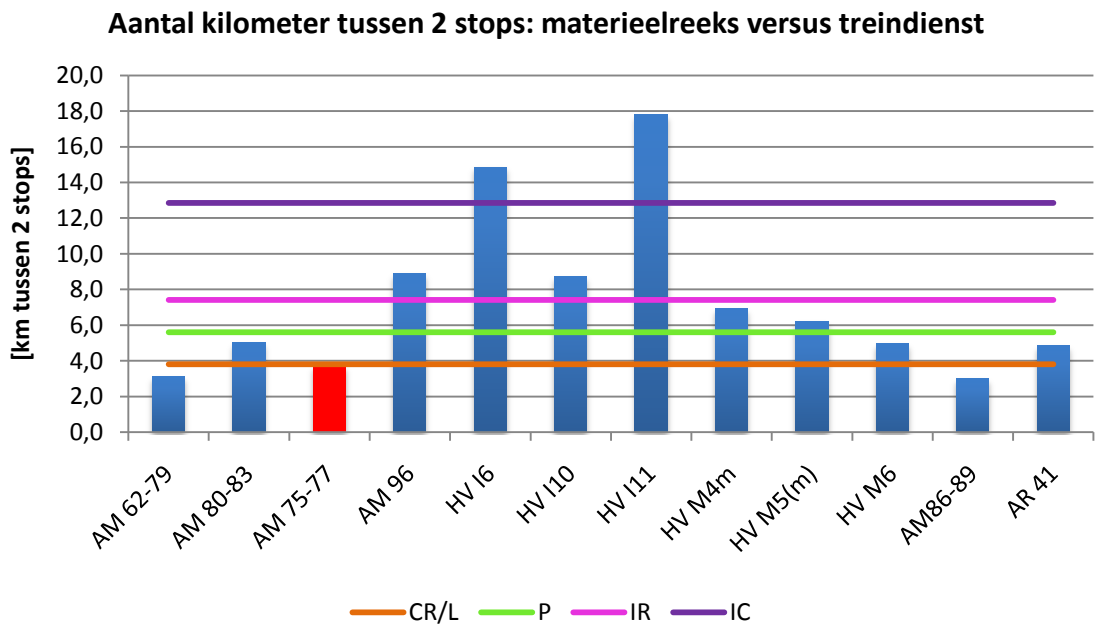
Tabel 4-4: Aantal stops en Aantal kilometer tussen 2 stops per type treindienst

Treindienst	Aantal stops	Aantal kilometer tussen 2 stops
CR	13,0	3,34
L	13,9	3,80
P	12,0	5,61
IR	12,0	7,41
IC	13,2	12,85

Uit Tabel 4-4 stellen we vast dat:

- Het aantal stops per treinrit schommelt rond 13 ongeacht het type treindienst.
- Vooral het aantal kilometer tussen 2 stops verschilt voor de verschillende types treindienst, waarbij de IC-treinen sterk afwijken van de gemiddelde waarde.

We kunnen nu de waarden uit Tabel 4-4 op Figuur 25 superponeren. Zo bekomen we Figuur 26.



Figuur 26: Vergelijk 'aantal kilometer tussen 2 stops': materieelreeks versus treindienst

Uit Figuur 26 zien we dat de karakteristiek van de AM75-77 overeenkomt met L-verkeer.

Na de keuze van een tijds kader en referentie-eenheden kunnen we elke RAMS-parameter vergelijkbaar kwantificeren voor elke materieelreeks. We behandelen de 4 verschillende aspecten in het acroniem RAMS in omgekeerde volgorde. Dit om te eindigen met het voor de thesisopdracht belangrijkste aspect (Reliability) waarop de volgende hoofdstukken steunen.

4.3 Kwantificering Safety

Omdat veiligheid een topprioriteit is van de NMBS-groep, is het belangrijk de prestaties van de verschillende deursystemen op het vlak van veiligheid te beschouwen. Zo hebben de instapdeuren van de AM75-77 volgende functies (zie paragraaf 2.3.1)met het oog op veiligheid:

- Noodopening
- Gevoelige Boord
- Voettrede (niet opklapbaar uitgevoerd)

4.3.1 SafeTrain

We hebben in eerste instantie de database 'SafeTrain' aangesproken. SafeTrain wordt nauw opgevolgd door de overheid en bevat een lijst met veiligheidsincidenten, ingedeeld volgens vooraf gedefinieerde categorieën. We verkregen de gegevens uit de categorieën waartoe incidenten tijdens op- en afstappen en met de instapdeuren zouden kunnen behoren. Het was voor ons echter niet mogelijk om de desbetreffende materieelreeks te identificeren zodat we geen verdere analyse (binnen het voorzien tijdsbestek) hebben kunnen uitvoeren.

4.3.2 Aantal veiligheidsincidenten waarbij personen rechtstreeks betrokken zijn

Omdat het al dan niet opklapbaar uitvoeren van de voettrede een discussiepunt is bij het ontwerpen van treindeur-systemen proberen we te achterhalen hoeveel veiligheidsincidenten er geweest zijn tijdens het op- of afstappen waarbij instapdeuren in ruime mate betrokken zijn. We raadplegen hiervoor de database 'Stiptheid op het Belgische Net' van Infrastructuurbeheerder Infrabel [7]. We hebben hierbij 24 relazen over dergelijke incidenten gevonden. Bij een groot aantal incidenten zijn personen tussen het perron en de trein (HK) gevallen. Door het aantal incidenten op te lijsten per materieelreeks (zie Tabel 4-5) kunnen we verifiëren of op- en afstappen bij materieelreeksen met een opklapbare trede (die breder kan uitgevoerd worden) een verlaagde kans betekent op het vallen van personen tussen het perron en de trein.

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

Tabel 4-5: Overzicht aantal veiligheidsincidenten bij het op- of afstappen uit de database van Infrabel per materieelreeks

Reeks	Aantal mensen tussen perron en HK	Andere
AM62-79	4	1
AM75-77*	1	0
AM80-83	5	0
AM96	0	2
HV I11	2	0
HV M5(m)	1	1
HV M6	3	2
AR41	2	0
Totaal	18	6

* IN Tabel 4-5: IN HET RELAAS WAARBIJ EEN MOTORSTEL AM75-77 BETROKKEN WAS, REED HET MOTORSTEL IN EEN SAMENSTELLING MET EEN MOTORSTEL AM62-79. UIT HET RELAAS WAS ECHTER NIET OP TE MAKEN AAN WELKE DEUROPENING HET INCIDENT ZICH VOORDEED.

Als we het aantal relazen bekijken van mensen die tussen het perron en de trein zijn gevallen voor materieeltypes met en zonder klaptrede dan bekomen we:

Type trede	Aantal mensen tussen perron en HK
Beweegbare trede	9
Vaste trede	9

We moeten vaststellen dat deze (beperkte) cijfers geen sluitend advies kunnen geven in de aanbeveling van een opklapbare trede.

Bovendien blijkt uit de inhoud van de relazen dat naast de voettrede ook andere factoren meespelen zoals:

- de inrichting van de infrastructuur: wanneer infrastructuur en materieel op elkaar zijn afgestemd, kan de veiligheid gemaximaliseerd worden. Figuur 27 toont ter illustratie een schuiftrede die quasi aansluit bij het perron in Düsseldorf Hbf (Duitsland).
- reizigersbewegingen: reizigers dienen over een minimale verantwoordelijkheidszin te beschikken en de vertrekprocedure m.b.t. laattijdig opstappen te respecteren.

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark



Figuur 27: Uitschuifbare voettrede 'Eurobahn' treinstel in Düsseldorf Hbf

Voor de volledigheid lijsten we in Tabel 4-6 de stations op waar mensen tussen de perron en de trein beland zijn.

Tabel 4-6: Stations betrokken bij incidenten met reizigers tussen het perron en de trein

Station	# mensen tussen perron en HK	Station	# mensen tussen perron en HK
Antwerpen-Centraal	2	Ekeren	1
Brugge	2	Groot-Bijgaarden	1
Beringen	1	Kortrijk	1
Brugelette	1	Lier	1
Brussel-Centraal	1	Milmort	1
Brussel-Schuman	1	Namen	1
Brussel-Zuid	1	Zwijndrecht	1
Couvin	1	Louvain-la-neuve Université	1

4.3.3 Aantal incidenten gecatalogeerd als veiligheidsincident in Garantieopvolging HV M6

De rijkundigen M6 zijn besteld in verschillende orderschijven [13].

Na het originele order voor 210 rijkundigen uit 1999 werden de volgende orders geplaatst:

- oktober 2004: order voor 70 rijkundigen, waaronder voor het eerst stuurstandrijtuigen, levering 2006-2007;
- december 2005: order voor 90 rijkundigen, levering 2008-2009;
- november 2007: order voor 50 rijkundigen, levering najaar 2009;
- december 2008: order voor 72 rijkundigen, levering 2010-2011.

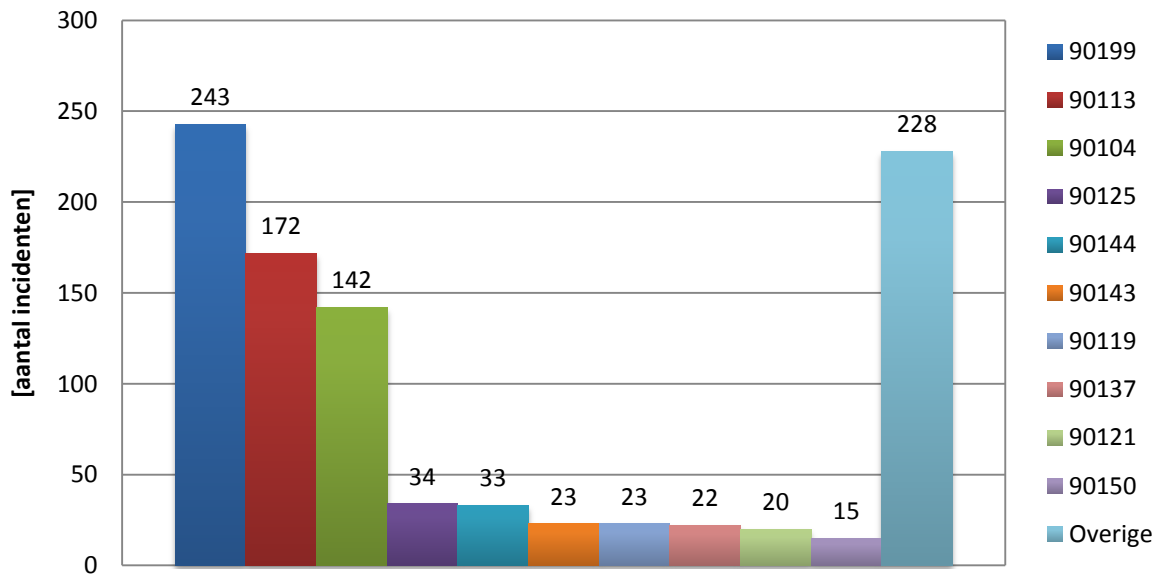
In de loop van 2011 zullen de laatste rijkundigen geleverd zijn en komt het totale aantal M6 dubbeldeksrijtuigen op 492.

Deze dubbeldeksrijtuigen worden opgevolgd volgens orderschijf (basis en optie) in de zogeheten 'garantieopvolging' (voor meer info zie [7]). In de garantieopvolging worden averijen ten laste van de constructeur gecatalogeerd en gecodeerd.

Aan de hand van deze cijfers wordt de fiabiliteit / miljoen kilometer bepaald. Echter de incidenten die niet ten laste zijn van de constructeur vallen buiten deze fiabiliteitsberekening waardoor deze cijfers binnen deze thesisopdracht niet bruikbaar zijn. De incidenten die niet ten laste zijn van de constructeur worden voor elke categorie onderdelen gecodeerd met XXX99. Voor de instapdeuren wordt dit '90199'. Figuur 28 geeft de meest voorkomende incidenten weer. Tabel 4-7 geeft een verklaring voor de codes die optreden in Figuur 28.

4.3.4 Veiligheidsgerelateerde incidenten in Garantieopvolging HV M6

Top 10 Aantal Codes 22 Garantieopvolging M6 Basis + Optie (mei '09 - augustus '10)



Figuur 28: Top 10 Aantal Codes 22 Garantieopvolging rijtuigen M6 Basisorder + Optieorders (periode:05/09-08/10)

Tabel 4-7: Verklaring codes 22 voor Top 10 Garantieopvolging rijtuigen M6 Basisorder + Optieorders (05/09 - 08/10)

Code	Betekenis
90199	Instapdeuren CatPan 9 – niet ten laste van de constructeur
90113	Deurvleugels sluiten niet
90104	Deurvleugels openen niet
90125	Deur opent en sluit direct terug
90144	Klaptrede: Aandraaikoppel UIC-slot > Nominale waarde
90143	Afzondering van deur onmogelijk met RIC-sleutel
90119	Gevoelige board buiten dienst
90137	Geen mechanische werking van 1 deur
90121	Gevoelige board schakelt niet uit
90150	Geen werking zoemer
Totaal aantal meldingen = 769	

In de garantieopvolging wordt onder andere het aantal veiligheidsgerelateerde incidenten met betrekking tot de instapdeuren bijgehouden. Dit zijn (technische) incidenten aan het deursysteem die de veiligheid in het gedrang kunnen brengen. Bij de meeste incidenten is er geen fysieke betrokkenheid van één of meerdere personen. Dit cijfer kunnen we als een kwantificering van de Safety beschouwen voor het rijtuig M6. Omdat een gelijkaardig cijfer niet beschikbaar is voor andere materieeltypes kan het enkel dienen als richtwaarde voor de grootteorde van dit type incidenten (Tabel 4-8).

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

Tabel 4-8: Kwantificering Safety HV M6: Veiligheidsgerelateerde incidenten instapdeuren (periode juni '09 - juli '10)

Aantal veiligheidsgerelateerde incidenten HV M6	Aantal veiligheidsgerelateerde incidenten / miljoen kilometer	Aantal veiligheidsgerelateerde incidenten / miljoen deurcycli
49	0,8	1,98

Uit de gegevens va Tabel 4-8 lezen we af dat bij het **rijtuig M6 gemiddeld 1 veiligheidsgerelateerd incident optreedt per 1,25 miljoen afgelegde kilometer of per 0,5 miljoen deurcycli.**

4.3.5 Overzicht Safety instapdeuren AM75-77

Uit de beschikbare gegevens kunnen we voor het deursysteem van de AM75-77 geen kwantificatie vooropstellen van de Safety-parameter.

RAMS AM 75-77	Reliability	Availability	Maintainability	Safety
Database				SafeTrain
Prestatie/miljoen km				/
Prestatie/miljoen cycli				/
Beoordeling				/

In hoofdstuk 3 (paragraaf 3.3.2) wijzen we op de belangrijkheid van het geïntegreerd opvolgen van elk van de 4 RAMS-parameters. Ondersteund door bovenstaande vaststelling dat we geen kwantificatie kunnen bekomen van de Safety-parameter adviseren we:

- De implementatie van een opvolgingsysteem binnen NMBS (Technics) om de veiligheid van het rollend materieel (waaronder de treindeur-systemen) kwantitatief te bewaken per materieelreeks.

4.4 Kwantificering Maintainability

De behoeften in onderhoud (zowel preventief/voorzien als curatief/onvoorzien) hebben geen directe impact op de reiziger maar zij bepalen wel de kosten die de operator NMBS moet dragen om het rollend materieel in dienst te houden. De gegevens uit het onderhoud zijn tot op heden terug te vinden in het systeem 'Maintenance And Rolling Stock' (MARS) [7]. Op termijn worden de gegevens van dit systeem geïntegreerd in het softwarepakket SAP(versie2).

Het is historisch gegroeid dat het onderhoud van rijkundigen en motorstellen door verschillende diensten beheerd wordt. Doordat motorstellen specifieke onderhoudsbehoeften hebben eigen aan de tractie-uitrusting, worden de databases over het onderhoud van motorrijtuigen en rijkundigen op een andere manier beheerd. We kunnen hierdoor ook geen rechtstreeks vergelijk maken tussen het onderhoud van rijkundigen en motorstellen. Met het oog op het vervolg van de thesis dat het deursysteem van de AM75-77 behandelt, opteren we om het onderhoud van de motorstellen te behandelen. Meer bepaald de reeksen AM62-79, AM75-77, AM80-83 en AM96. Bovendien bevatten deze types allemaal een verschillend deursysteem. De AM62-79 heeft vouw- of plooi-deuren, de AM80-83 is uitgerust met zwenkzwaai-deuren, de AM75-77 heeft zwenkschuifdeuren met relaissturing en de AM96 heeft zwenkschuifdeuren met een elektronische controle-eenheid.

We lijsten het aantal werkuren op gependend aan de instapdeuren van deze motorstellen. Bij dit oplijsten werd het onderscheid gemaakt tussen preventief/voorzien en curatief/onvoorzien onderhoud. Voor de analyses van het onderhoud gebruiken we steeds hetzelfde reeds gedefinieerde tijds kader van 01/07/2009 tot en met 30/06/2010.

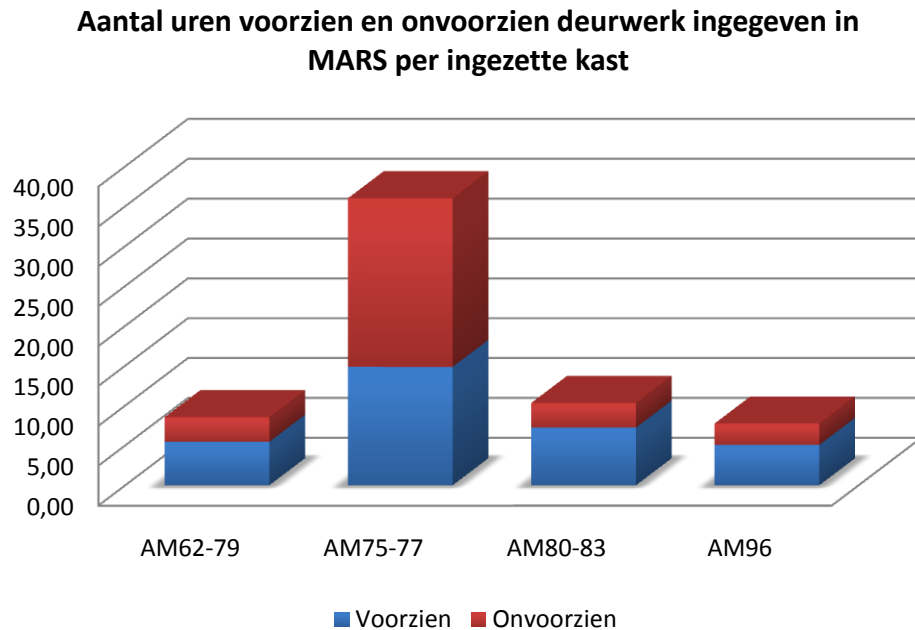
4.4.1 Werkuren gependend aan onderhoud instapdeuren AM62-79/75-77/80-83/96

Tabel 4-9 lijst zowel het totaal aantal uren als het aantal uren gependend aan voorzien en onvoorzien onderhoud voor de 4 geselecteerde types motorstellen. Het aantal uren wordt bekomen door het optellen van ' T_{eff} ' (zie laatste kolom Figuur 33) bij alle werkopdrachten in MARS met betrekking tot de instapdeuren. In Tabel 4-9 wordt ook het aantal ingezette kasten vermeld omdat de verschillende parkgroottes voor elk type uiteraard in beschouwing dienen genomen te worden.

Tabel 4-9: Werkuren gependend aan het onderhoud van de instapdeuren (AM62-79/75-77/80-83/96) Bron: MARS

Type AM	Totaal [uren]	Voorzien [uren]	Onvoorzien [uren]	Parkgrootte [kasten]
AM75-77	6.335	2.613	3.722	176
AM62-79	4.994	3.187	1.807	585
AM80-83	4.304	3.012	1.292	417
AM96	2.786	1.821	965	360

Om een representatieve weergave te hebben, hebben we geopteerd om in Figuur 29 het aantal werkuren weer te geven per kast.



Figuur 29: Werkuren gespendeerd aan onderhoud van instapdeuren per kast (AM62-79/75-77/80-83/96)

Figuur 29 geeft ons volgende belangrijke vaststellingen:

- 1) Het deursysteem van de AM75-77 vergt 3 tot bijna 5 keer meer onderhoud dan de deursystemen van de andere motorstellen.
- 2) Er is een verhouding van 41%-59% tussen het aantal uren gespendeerd aan respectievelijk voorzien en onvoorzien onderhoud. Deze verhouding is uiterst ongezond daar je van elk systeem kan verwachten dat het aandeel aan voorzien onderhoud de bovenhand neemt op het aandeel aan onvoorzien onderhoud.

Uit deze vaststellingen besluiten we respectievelijk dat:

- 1) De omvang van de meerbehoefte aan onderhoud t.o.v. de andere technische reeksen vraagt om na te gaan of het aantal geregistreerde onderhoudsuren werkelijk overeenkomt met het aantal gepresteerde onderhoudsuren.
- 2) De uitgesproken ongezonde verhouding tussen voorzien en onvoorzien onderhoud noopt tot een bijstelling van het preventief onderhoud opdat deze ongezonde verhouding kan omgekeerd worden.

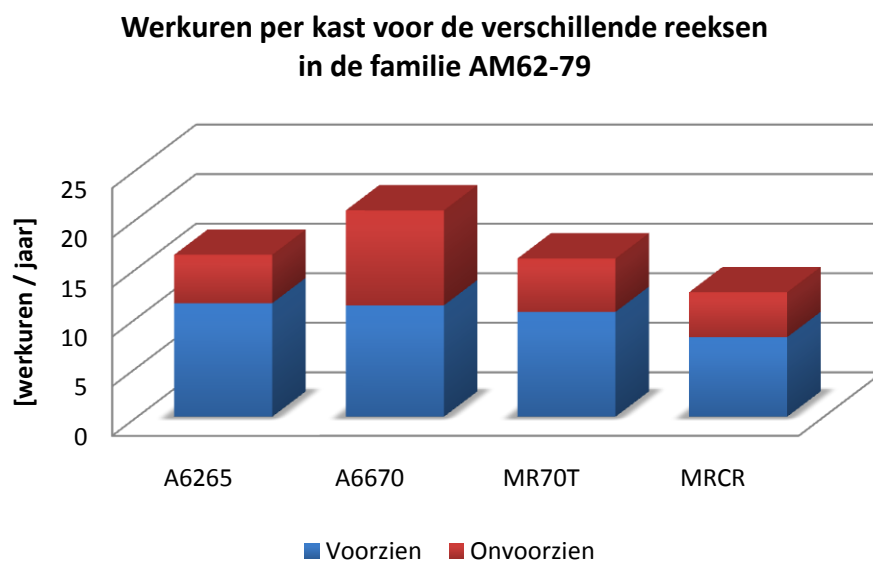
We kunnen natuurlijk opmerken dat de familie AM62-79 uit verschillende technische reeksen bestaat (Tabel 4-10) waarvan allen, uitgezonderd de AM62-65, gemoderniseerd zijn.

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

Tabel 4-10: Technische reeksen en aantal ingezette voertuigen binnen de familie AM62-79

Reeks	Parkgrootte [voertuigen]
A62-65	106
A66-70	69
MR70T	83
MRCR	40
AM62-79	298

Het is mogelijk de verschillende technische reeksen binnen deze familie te vergelijken aan de hand van Figuur 30.



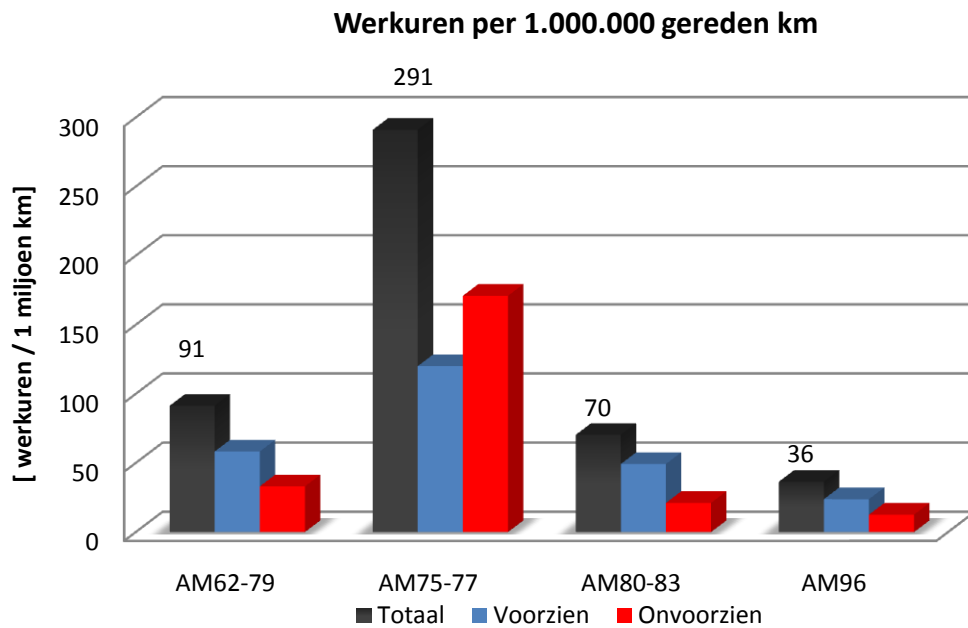
Figuur 30: Werkuren gespendeerd aan onderhoud van instapdeuren per ingezette kast (AM62-65/66-70/70T/CR)

We merken uit Figuur 30 geen noemenswaardige verschillen in het aantal vereiste uren onderhoud voor de verschillende technische reeksen binnen de familie AM62-79.

4.4.2 Aantal werkuren per referentie-eenheid (AM62-69/75-77/80-83/96)

De staafdiagramma's (Figuur 31 en Figuur 32) vermelden telkens de getalwaarden van het aantal uren voorzien en onvoorzien onderhoud en het totaal aantal uren onderhoud (de som van beide voorgaande).

4.4.2.1 Referentie-eenheid (1): 1 miljoen km (Figuur 31)

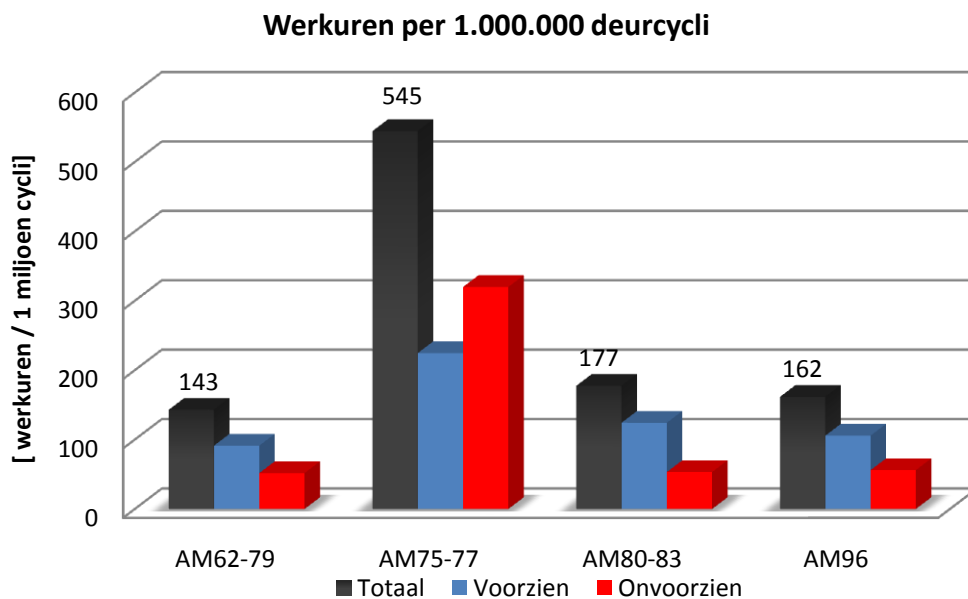


Figuur 31: Aantal werkuren in MARS gespenseerd aan onderhoud van instapdeuren (voorzien/onvoorzien/totaal) geschaald naar referentie-eenheid (1): 1 miljoen gereden km

Uit Figuur 31 stellen we vast:

- De AM96 laat een zeer lage waarde noteren die mede te wijten is aan de hoge kilometerproductie van de reeks (zie Figuur 21).
- De instapdeuren van de AM75-77 vereisen minstens 3 maal meer onderhoud per miljoen gereden kilometer dan de andere deursystemen.

4.4.2.2 Referentie-eenheid (2): 1 miljoen deurcycli (Figuur 32)



Figuur 32: Aantal werkuren in MARS gespenseerd aan onderhoud van instapdeuren (voorzien/onvoorzien/totaal) geschaald naar referentie-eenheid (2): 1 miljoen (theoretische) deurcycli

We stellen vast uit Figuur 32:

- De vouw- of plooideuren van de AM62-79 vergen het minste uren onderhoud per miljoen deurcycli.
- Het aantal uren onderhoud voor de deursystemen van de AM62-79/80-83/96 per miljoen deurcycli ligt in dezelfde grootteorde. Enkel de AM75-77 presteert beduidend slechter, analoog aan de vaststellingen bij Figuur 29 en Figuur 31.

4.4.3 Analyse werkopdrachten MARS voor de instapdeuren van de AM75-77

Paragraaf 4.4.2 heeft aangetoond dat de instapdeuren van de AM75-77 een grote onderhoudsbehoefte hebben. Om een beter beeld te krijgen over de aard van dit onderhoud, hebben we voor het gedefinieerde tijds kader de werkopdrachten in MARS voor de instapdeuren van de AM75-77 diepgaander geanalyseerd.

4.4.3.1 Extractie werkopdrachten uit MARS

Figuur 33 geeft een voorbeeld van een extractie van ingevoerde werkopdrachten in MARS voor de instapdeuren van de AM75-77. We lichten de kolommen toe:

- **Engi:** Nummer van het betrokken motorstel van de reeks AM75-77 (801 tot en met 844)
- **SRTC:** Technische reeks binnen de reeks AM75-77 (A75/A76/A77)
- **Prév:** J voor preventief/voorzien onderhoud ; N voor curatief/onvoorzien onderhoud
- **DESCRIPTION DTTX:** omschrijving van de werkopdracht (manueel ingegeven)
- **OBJM:** codering voor werkopdracht (hier niet gespecificeerd)
- **Teff TRV:** aantal werkuren gespendeerd aan de werkopdracht

datum	Engi	SRTC	Prév	DESCRIPTION DTTX	OBJM	Teff TRV
2/03/2010	823	A76	N	PORTES: REMPLACE DO PORTE 4_+ ESSAIS = OK	A .	0,5
2/03/2010	823	A76	N	PORTES: REMPLACE RACK DE VERROUILLAGE PORTE 16+ ESSAIS_ = OK	A .	0,5
2/03/2010	823	A76	N	PORTES: VERIFICATIONS COMPLETES PORTE 16 = OK + AUTRE PORTES	A .	1,5
2/03/2010	823	A76	N	PORTES: VERIFICATIONS COMPLETES PORTES 4 ET 8	A .	3
2/03/2010	823	A76	N	REPLACE GLACE OS PORTE 8	A .	0,4

Figuur 33: Extractie werkopdrachten instapdeuren AM75-77 uit MARS

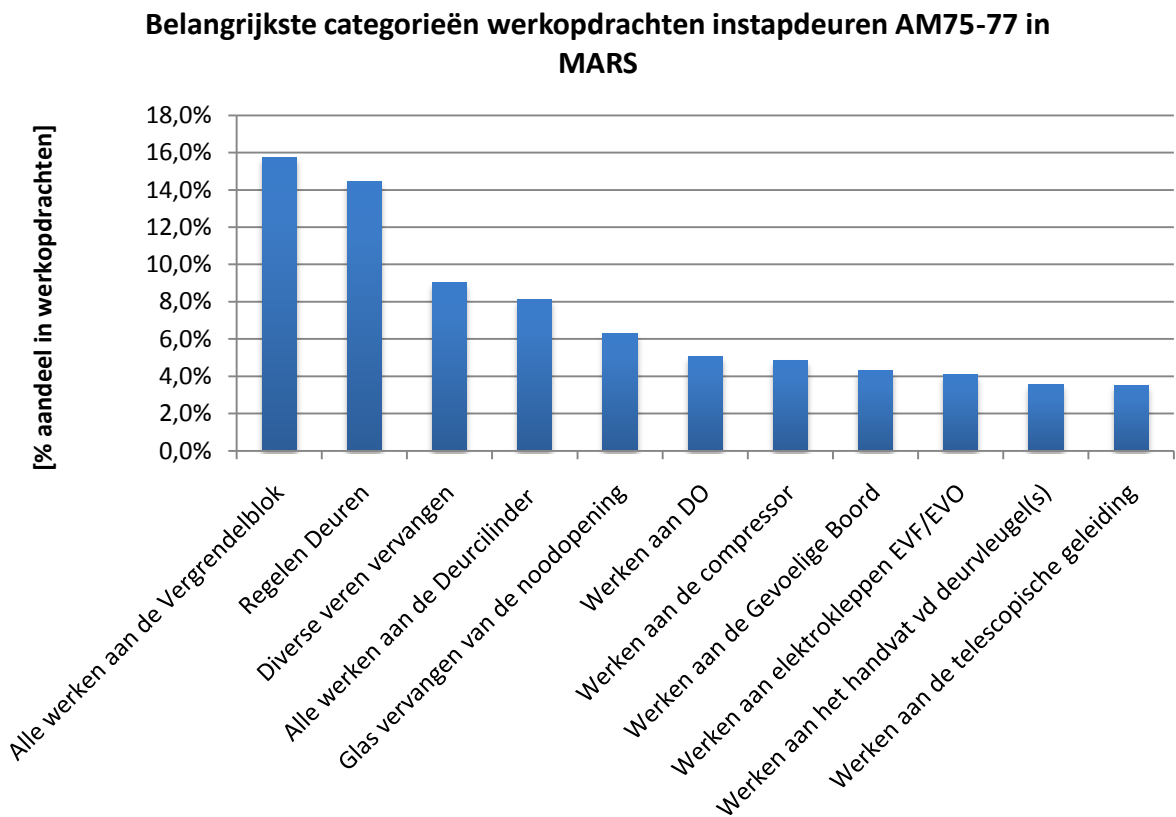
We merken op uit de extractie van de werkopdrachten zoals het voorbeeld in Figuur 33:

- De vrije, niet-gecodeerde omschrijving van de werkopdrachten is niet in de geest van een snelle, doeltreffende opvolging van de M-parameter binnen een RAMS-systeem.
- Niet alle omschrijvingen laten ons toe te achterhalen wat de werkopdracht precies inhield. Sommige, algemene omschrijvingen groeperen verscheidene werken aan 'de deuren' die een halve of hele werkdag in beslag genomen hebben.

4.4.3.2 Categorieën in werkopdrachten met hoogste frequentie van voorkomen

De bevindingen in bovenstaande paragraaf 4.4.3.1 doen ons vaststellen dat MARS geen accurate analyse van de werkopdrachten toelaat. Niettemin willen we ons een beeld vormen van welke componenten frequent het onderwerp vormen van onderhoudsinterventies. Daarom hebben we alle werkopdrachten aan de instapdeuren van de AM75-77 met een relevante beschrijving geselecteerd en onderverdeeld in categorieën.

Onze selectie omvat 1317 werkopdrachten. We bekomen een onderverdeling in 11 grote categorieën die samen 79% van de werkopdrachten omvatten. Deze onderverdeling hebben we weergegeven in Figuur 34.



Figuur 34: Weergave belangrijkste categorieën van werkopdrachten aan de instapdeuren van de AM75-77 in MARS

We maken volgende vaststellingen uit Figuur 34:

- 1) Het vergrendelblok en de deurcilinder zijn zeer onderhoudsintensieve componenten in het deursysteem.
- 2) Het deursysteem wordt zeer vaak bijgeregeld. Dit pleit niet voor de robuustheid van het deursysteem.
- 3) Het frequent vervangen van veren, die zich voornamelijk situeren in het mechanisme om de deur te openen met behulp van het handvat en de werken aan het handvat zelf tonen aan dat deze mechanische deurbediening niet onderhoudsvriendelijk is.
- 4) Het regelmatig vervangen van het glas van de noodopening toont aan dat deze frequenter wordt bediend dan dat we intuïtief zouden vermoeden.

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

De categorieën 'Alle werken aan de vergrendelblok/deurcilinder' groeperen diverse werken aan beide componenten die vaak verder gespecificeerd staan in de beschrijvingen van de werkopdrachten. Door hun grote frequentie van voorkomen vinden we het nuttig deze onderverdelingen op te lijsten. Tabel 4-11 doet dit voor de werkopdrachten aan de vergrendelblok.

Tabel 4-11: Onderverdeling werkopdrachten aan vergrendelblok deursysteem AM75-77 in MARS

Vergrendelblok	# opdrachten
TOTAAL	206
Volledige vergrendelblok vervangen	34
Lekken van vergrendelzuiger	34
Lekken van luchtleiding	27
Mechanisme vervangen/herstellen	22
Regelen	18
Smeren	17
Deblokkeren	14
Smeren vork	13
Bevestigen zuiger	10
Smeren stang zuiger	8
Microswitch (vervangen)	3
Cablage	2
DT regelen	2
Zuiger regelen	2

Tabel 4-12 doet dit voor de werkopdrachten aan de deurcilinder.

Tabel 4-12: Onderverdeling werkopdrachten aan deurcilinder deursysteem AM75-77 in MARS

Deurcilinder	# opdrachten
TOTAAL	107
Vervangen deurcilinder 2e klasse	37
Vervangen deurcilinder 1ste klasse	18
Lekken deurcilinder deur 2e klasse	13
Regelen snelheid	12
Lekken deurcilinder deur 1ste klasse/pakwagen	6
Reinigen staaf	6
Regelen	6
Vervangen deurcilinder onbekend	3
Vetten	2
Onderzoeken averij	1
Bevestigen + circlips vervangen	1
Darm vervangen + bevestigen	1
Reparatie luchtleiding	1

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

Uit Tabel 4-12 maken we volgende vaststelling:

Rekening houdend met de verhouding deurcilinders 1^{ste} klasse/pakwagen tov deurcilinders 2^{de} klasse, namelijk 6 tov 24, stellen we een dubbel zo grote uitval vast van de zuigers 1^{ste} klasse. Een intern rapport van NMBS Technics stelt tevens een verhoogde uitval vast voor de zuiger 1^{ste} klasse.

4.4.4 Overzicht Maintainability instapdeuren AM75-77

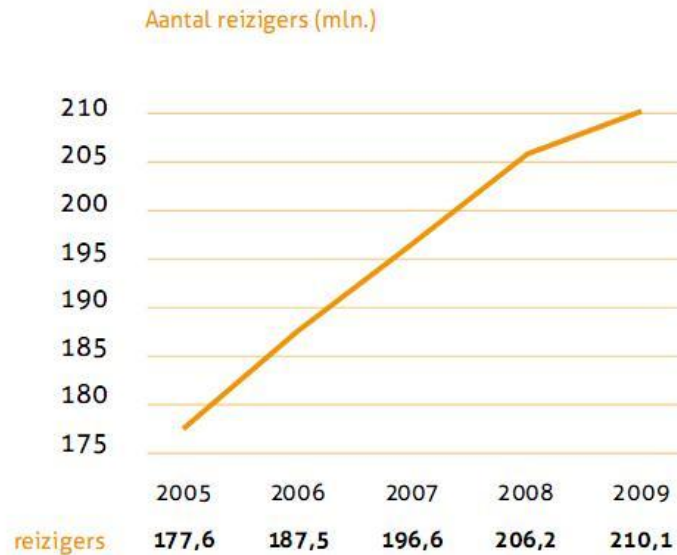
We kunnen de Maintainability-parameter voor de instapdeuren van de AM75-77 kwantificeren.

RAMS AM75-77	Reliability	Availability	Maintainability	Safety
Database			MARS	SafeTrain
Prestatie/miljoen km			291 uren totaal onderhoud	/
Prestatie/miljoen deurcycli			545 uren totaal onderhoud	/
Beoordeling			200% tot 300% slechter t.o.v. andere reeksen AM	/

4.5 Kwantificering Availability

De groei van het aantal reizigers [1] (Figuur 35) betekent een blijvende vraag naar beschikbare zitplaatsen. Een verhoogde beschikbaarheid van het rollend materieel betekent dat de operator NMBS met hetzelfde aantal voertuigen een groter aantal zitplaatsen kan aanbieden.

Daarnaast betekent een grotere beschikbaarheid een verhoogde economische rentabiliteit van het rollend materieel.



Figuur 35: Evolutie aantal reizigers nationaal [1]

4.5.1 Geraadpleegde databases & beschikbaarheid versus inzetbaarheid/dienstdagen

Tabel 4-13 lijst beide geraadpleegde databases op.

Tabel 4-13: Geraadpleegde databases voor de kwantificering van de Availability

Database	Toepasbaar op	Beheerder	Beknopte beschrijving
Toepassing in Portal	HV I6 / HV I10 / HV I11/ HV M6	B-TC.47 – NMBS Technics	Geeft voor elk voertuig of dit in actieve dienst is / als reserve staat of afgekeurd is.
Gepresteerde dienstdagen	Alle AM + AR 41 + HV M4(m) / HV M5(m)	Productie – NMBS Technics	Geeft het aantal gepresteerde dienstdagen per voertuig.

NOOT BIJ TABEL 4-13: DE 4 RIJTOEGREEKSEN WAARVAN DE DATA STEUNT OP DEZE VAN B-TC.47 WORDEN IN DE GRAFIEKEN AANGEGEVEN MET EEN *

Uit de beknopte beschrijvingen in Tabel 4-13 noteren we het begrip ‘gepresteerde dienstdagen’. Dit vraagt een verdere toelichting over de begrippen beschikbaarheid versus inzetbaarheid / gepresteerde dienstdagen.

4.5.1.1 Beschikbaarheid

Onder beschikbaarheid verstaan we het aantal dagen / jaar dat een voertuig beschikbaar is. Dit houdt in dat het voertuig :

- niet afgekeurd is wegens een technisch defect
- niet binnenstaat voor een groot onderhoud / herziening

Het voertuig kan dan:

- actief ingezet worden om ritten in exploitatie te verzekeren
- als reserve fungeren voor voertuigen die onvoorzien uitvallen

4.5.1.2 Inzetbaarheid/gepresteerde dienstdagen

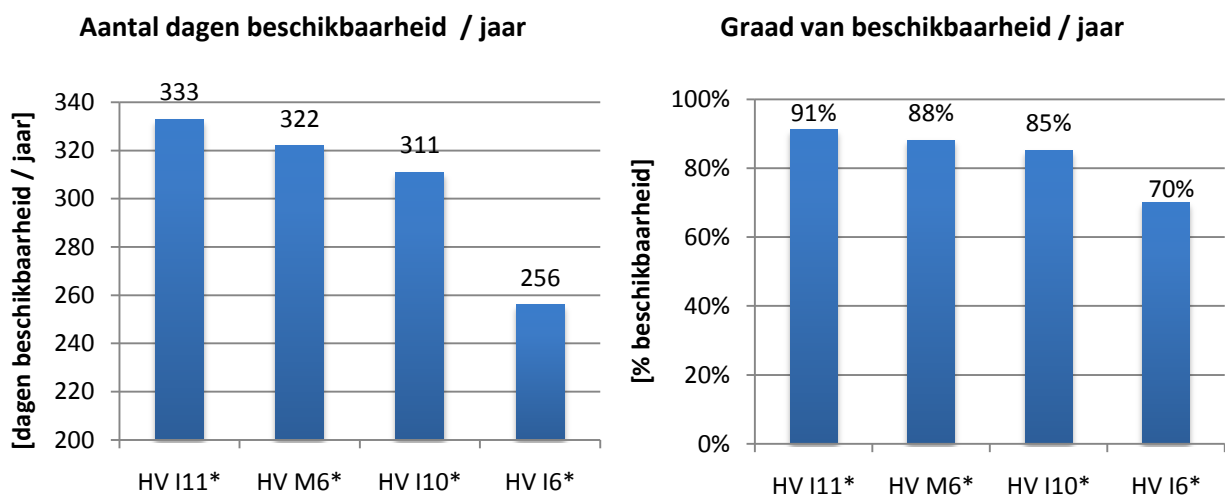
Onder inzetbaarheid verstaan we het aantal dagen / jaar dat een voertuig effectief ingezet wordt om ritten in exploitatie te verzekeren. Dit wordt ook het aantal dienstdagen / jaar genoemd. De inzetbaarheid kan uit de beschikbaarheid worden afgeleid door het aantal dagen beschikbaarheid te verminderen met het aantal dagen dat het voertuig als reserve fungeert.

Voor alle materieelreeksen hebben we het aantal gepresteerde dienstdagen / jaar bekomen. Enkel voor 4 reeksen rijtuigen hebben we de effectieve beschikbaarheidscijfers kunnen bemachtigen.

We moeten wel opmerken dat we voor de bepaling van het aantal deurcycli (zie paragraaf 4.2.4) werken met graad van inzetbaarheid omdat we ervan uitgaan dat materieel dat beschikbaar is maar als reserve fungeert geen deurcycli verricht. Daarom dat in diverse schalingen goed het onderscheid dient gemaakt te worden tussen een schaling per kast of per ingezette kast.

4.5.2 Aantal dagen beschikbaarheid van het materieel

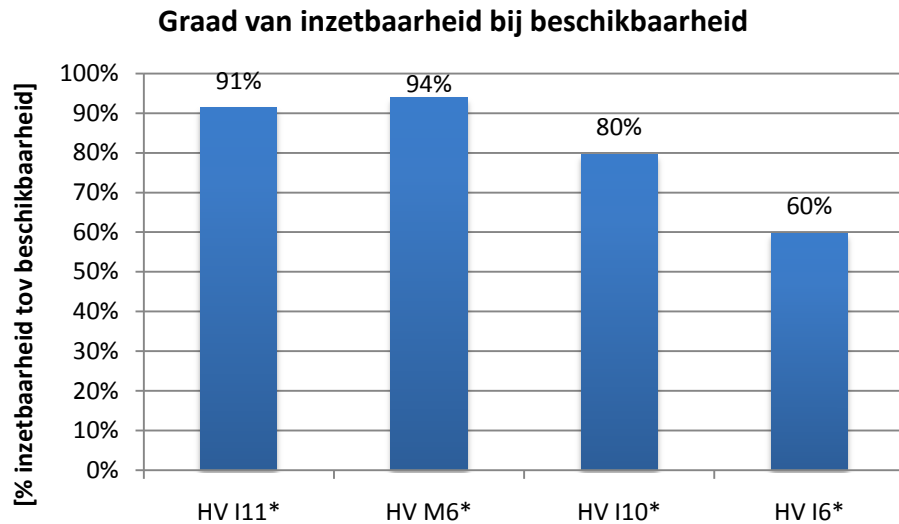
Figuur 36 geeft de beschikbaarheid onder 2 vormen weer voor de 4 rijtuigtypes.



Figuur 36: Aantal dagen beschikbaarheid / jaar en graad van beschikbaarheid voor HV I11 / I10 / I6 / M6

Uit Figuur 36 zien we dat de rijtuigen I11 als enige een beschikbaarheid boven de 90% laten noteren. Dit wordt mede bewerkstelligd dankzij hun roulatieschema en het feit dat de Technische OnderhoudsPost van Oostende, die deze rijtuigen beheert, als enige TOP rangeringen ook 's nachts verricht.

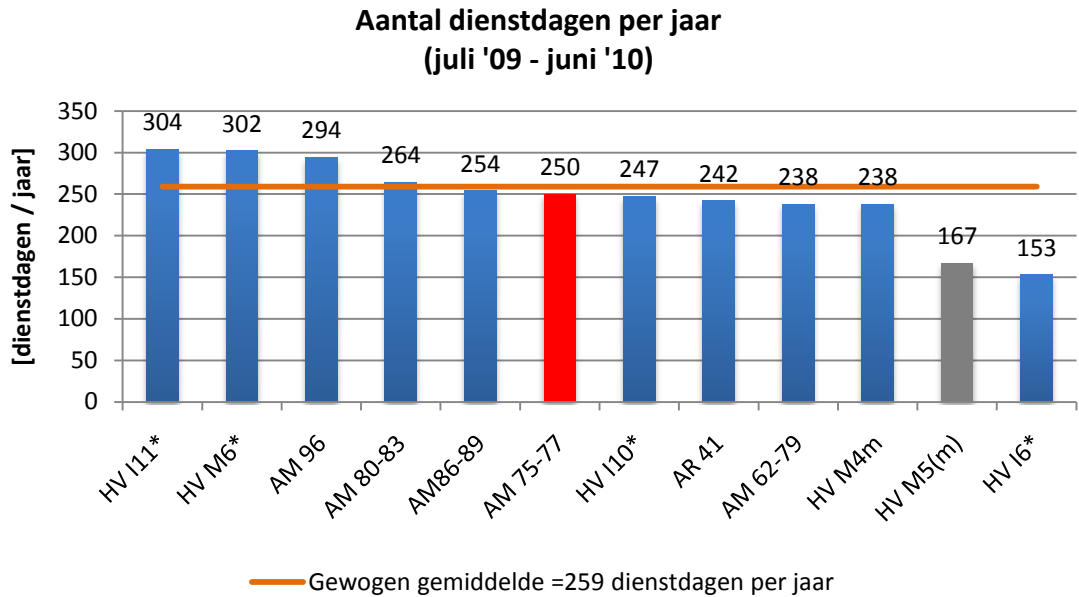
Om de brug te maken naar het aantal gepresteerde dienstdagen, bepalen we de graad van inzetbaarheid bij beschikbaarheid. Dit is de verhouding van gepresteerde dienstdagen / dagen dat een voertuig beschikbaar is. De bekomen verhoudingen voor de 4 rijtuigreeksen lijsten we op in Figuur 37.



Figuur 37: Graad van inzetten bij beschikbaarheid van HV I11 / I10 / I6 / M6

4.5.3 Aantal gepresteerde dienstdagen

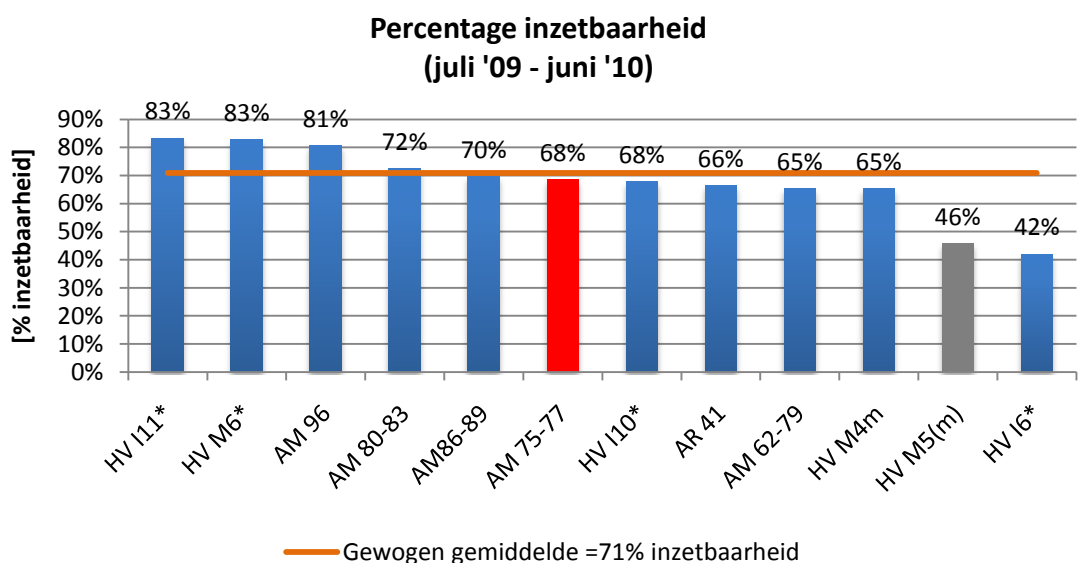
We vermenigvuldigen nu het aantal dagen beschikbaarheid met de graad van inzetbaarheid voor de 4 rijtuigtypes waarvan sprake in vorige paragraaf. Zo bekomen we het aantal dienstdagen / jaar voor deze 4 rijtuigtypes waardoor we hen kunnen vergelijken met de materieelreeksen in de database van de afdeling productie van NMBS Technics. We geven in dalende volgorde voor elke reeks het aantal dienstdagen weer dat berekend werd uit de gemiddelde waarden voor elk voertuig (Figuur 38).



Figuur 38: Aantal uitgevoerde dienstdagen per jaar voor materieelreeksen binnenlands net (juli '09 – juni '10)

Uit Figuur 38 stellen we vast dat:

- 1) Het materieel generatie AM96/I11 en M6 wordt gekenmerkt door een hoog aantal dienstdagen.
- 2) 40% van het rijkuitgenpark I6 deed in de bestudeerde periode dienst als reserve waardoor deze rijkuitgen gemiddeld een laag aantal dienstdagen gepresteerd hebben.
- 3) Als enige van het 'recentere materieel' heeft de AR 41 een relatief laag aantal dienstdagen. Dit kan te wijten zijn aan haar dieseltractie of haar verminderde inzet tijdens de weekends.
- 4) De AM 75-77 presteert 9 dienstdagen minder dan het gemiddelde.
- 5) De inzetbaarheid varieert van 83% tot 42% (Figuur 39).

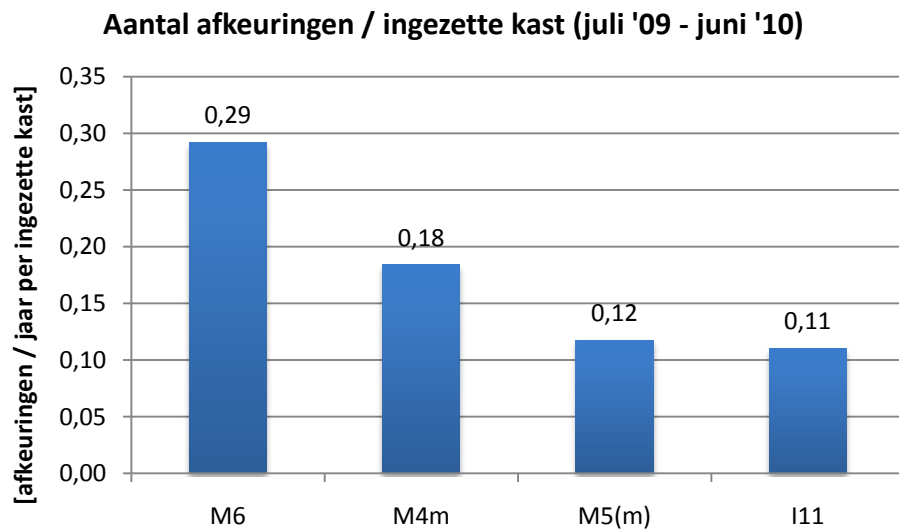


Figuur 39: Percentage inzetbaarheid (juli '09 - juni '10)

4.5.4 Aantal afkeuringen voor instapdeuren HV M4m/M5(m)/M6/I11

De database met het aantal afkeuringen voor rijtuigen stelt ons in staat de instapdeuren van de M4m en M5(m) (zwenkzwaaideuren) te vergelijken met die van de M6 (zwenkschuif, Meester-Slaaf ECUs) en de I11 (zwenkschuif, 1 ECU). Een afkeuring wil zeggen dat de opgetreden fout dermate ernstig is dat de exploitatie niet meer kan verzekerd worden.

Figuur 40 presenteert de getalwaarden voor het aantal afkeuringen per ingezette kast. We dienen wel te herinneren dat de rijtuigen M5 gedurende de periode van analyse gemoderniseerd werden. Hierdoor was een aanzienlijk deel van het park aan M5 rijtuigen buiten dienst. De cijfers van de M5(m) dienen dus met de nodige omzichtigheid benaderd te worden.

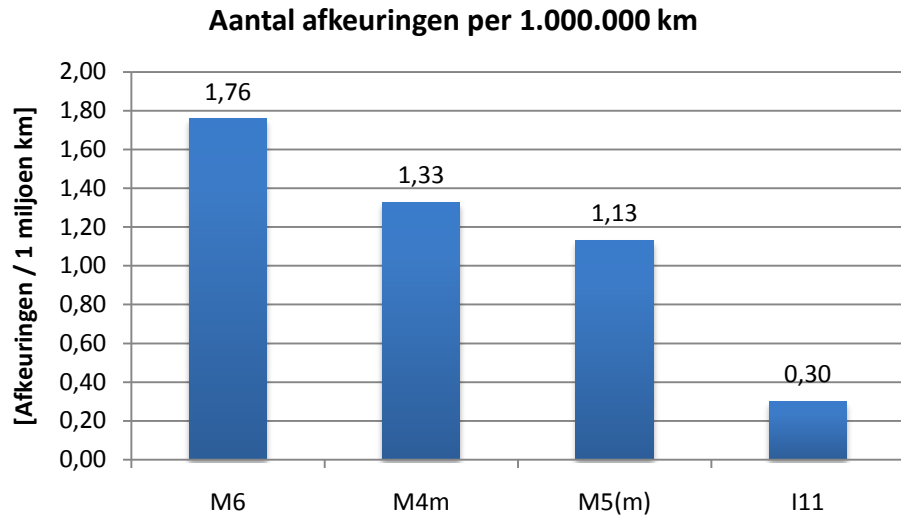


Figuur 40: Aantal afkeuringen per ingezette kast (HV M4m/M5(m)/M6/I11)

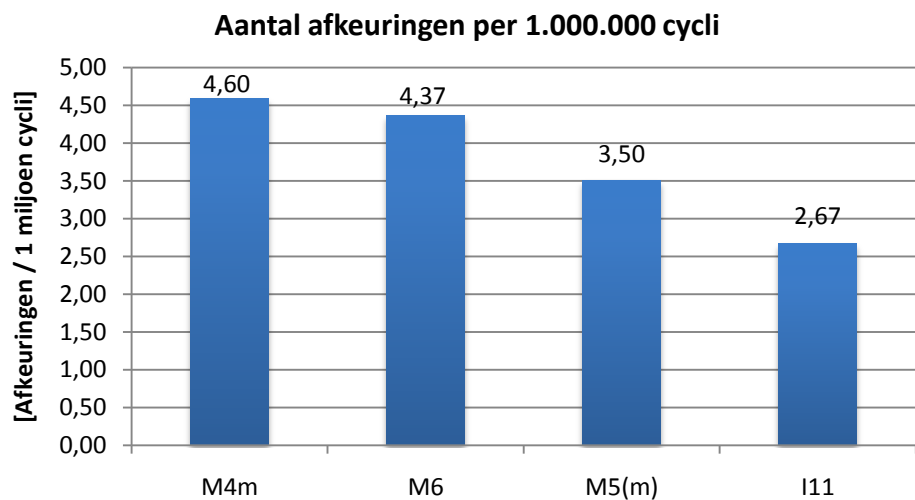
Uit Figuur 40 stellen we vast dat:

- 1) Jaarlijks 1 op 10 rijtuigen type I11 één keer wordt afgekeurd omwille van deurproblemen.
- 2) Dit cijfer bij de rijtuigen M6 daarentegen ruim 1 op 4 bedraagt.

Vooraleer besluiten te trekken is het raadzaam bovenstaande cijfers te schalen naar de referentie-eenheden. Figuur 41 en Figuur 42 geven dit weer voor beide referentie-eenheden.



Figuur 41: Aantal afkeuringen per 1 miljoen gereden km (HV M4m/M5(m)/M6/I11)



Figuur 42: Aantal afkeuringen per 1 miljoen (theoretische) deurcycli (HV M4m/M5(m)/M6/I11)

We merken op dat het rijtuig I11 een hoge kilometerproductie heeft waardoor de waarde voor haar deursysteem in Figuur 41 'kunstmatig' laag is. Dit is analoog aan de waarden van de AM96 in Figuur 31.

Uit Figuur 42 stellen we vast dat:

- 1) Het meest recente deursysteem (rijtuig M6) het hoogste aantal afkeuringen kent per miljoen deurcycli.
- 2) De zwenkschuifdeuren van de rijtuigen I11 kennen 50% minder afkeuringen dan deze van de rijtuigen M6.

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

We besluiten uit Figuur 40 en Figuur 42:

- 1) Het deursysteem van de rijtuigen M6 vertoont een hoog aantal ernstige fouten.
- 2) Een kort (conceptueel) vergelijk van de instapdeuren van de M6 met die van de I11 kan nuttig zijn (zie paragraaf 4.5.4.1).

4.5.4.1 Conceptueel vergelijk instapdeuren rijtuigen M6 & I11.

We beginnen met het olijsten van de belangrijkste kenmerken in Tabel 4-14.

Tabel 4-14: Conceptueel vergelijk instapdeuren HV M6/I11

		HV M6	HV I11
Gelijkenissen	Fabrikant	IFE	
	Type	Zwenkschuif	
	Gevoelige Boord	Birchercontact	
Verschillen	#deurvleugels	Dubbele/enkele deur	Enkele deur
	Sturing	Meester-Slaaf ECUs	1 ECU per HV
	Uitvoering klaptrede	Pneumatisch gestuurd + controle werking met sensoren	Mechanisch gekoppeld met deurbeweging

Tabel 4-14 duidt dat de belangrijkste verschilpunten zitten in de wijze waarop de elektronische sturing wordt afgehandeld en de implementatie van de klaptrede. Ons opzet bestond erin te achterhalen of deze verschilpunten een mogelijke oorzaak zijn van ernstige storingen voor het deursysteem van de rijtuigen M6. Uit de aard van de data in de garantieopvolging bleek verder vergelijk niet mogelijk. Ondanks dat we deze studie niet hebben kunnen verrichten lijkt, dit ons een interessant punt voor toekomstig onderzoek met het oog op het aankopen van nieuw rollend materieel.

4.5.5 Overzicht Availability instapdeuren AM75-77

We kunnen de Availability-parameter voor instapdeuren van de AM75-77 kwantificeren.

RAMS AM75-77	Reliability	Availability	Maintainability	Safety
Database		Gepresteerde dienstdagen	MARS	SafeTrain
Prestatie/miljoen km		250 dienstdagen / jaar	291 uren totaal onderhoud	/
Prestatie/miljoen deurcycli		=68%	545 uren totaal onderhoud	/
Beoordeling		3% slechter dan parkgemiddelde	200% tot 300% slechter t.o.v. andere reeksen AM	/

4.6 Kwantificering Reliability

De kwantificering van de Reliability vormt de hoeksteen voor het verdere vervolg van de thesis. Deze hoeksteen bouwen we op de gegevens uit exploitatie. Deze worden bijgehouden door verschillende diensten van zowel operator NMBS als infrastructuurbeheerder Infrabel en weerspiegelen de rechtstreekse impact van betrouwbaarheid op de klant, de reiziger. Het aantal minuten vertraging en het aantal afgeschafte treinen vormen gangbare maatstaven om deze impact te meten.

We bekijken deze gegevens voor het gehele materieelpark (zie Hoofdstuk 2) met als doel een kwantificeerbare R-parameter te bekomen onder de vorm van een aantal incidenten per miljoen kilometer/deurcycli.

Specifiek voor de instapdeuren van de AM75-77 gaan we, zoals beschreven in EN50126-3, dieper in op de betrouwbaarheid en beschouwen we foutcategorieën.

4.6.1 Geraadpleegde Databases

We kunnen enkel een kwantificeerbare Reliability-parameter bekomen door het samenvoegen van verschillende databases waarbij de dubbeltellingen worden verwijderd. Tabel 4-15 lijst de betrokken databases op en geeft een beknopte omschrijving.

Tabel 4-15: Geraadpleegde databases uit exploitatie voor het kwantificeren van de R-parameter

Database	Beheerder	Beknopte omschrijving
Stiptheid op het Belgische Net	Infrabel, directie Netwerk	Worddocument waarin beknopte relazen worden opgesteld voor elk ongeval of voorval dat een vertraging van meer dan 5 min op het Belgische spoorwegnet oplevert. In spoorwegdialect bekend onder de noemer 'de Gazet'.
D43	NMBS Mobility	Een D43 is een intern document bij operator NMBS dat de treinbegeleider (TBG) dient in te vullen bij elke averij dat de regelmaat, kwaliteit en veiligheid in het gedrang brengt.
SMS-Averij	NMBS Mobility / NMBS Technics	SMS-Averij is een systeem gebaseerd op SMS-texting zodat de TBG kleine voorvallen (waaronder deurincidenten) kan melden via zijn IBIS-toestel. De IBIS is een draagbare computer die de TBG tijdens zijn dienst bij zich heeft. De sms'en worden bijgehouden in onderhoudssysteem 'MARS' zodat de werkplaatsen werkopdrachten kunnen opstarten uitgaande van een sms.

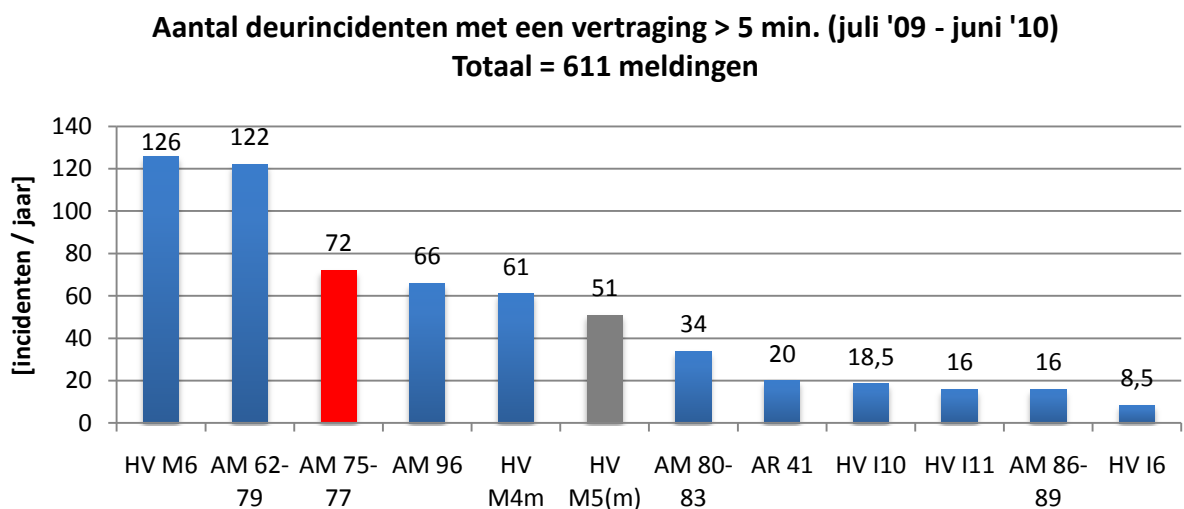
In de volgende paragrafen bespreken we elke database afzonderlijk om tot een synthese te komen in paragraaf 4.6.5 .

4.6.2 Database 'Stiptheid op het Belgische Net'; Infrabel, directie Netwerk

De directie Netwerk van infrastructuurbeheerder Infrabel volgt de stiptheid op de voet aan de hand van een document waarin beknopte relazen worden opgesteld voor elk ongeval of voorval dat een vertraging van meer dan 5 minuten op het Belgische spoorwegnet oplevert. Dit document is in het spoorwegjargon beter bekend onder de noemer 'de Gazet'. Een aantal incidenten uit de Gazet wordt door NMBS Technics verder opgevolgd in haar toepassing Portal.

4.6.2.1 Aantal meldingen van deurincidenten met een vertraging > 5 min.

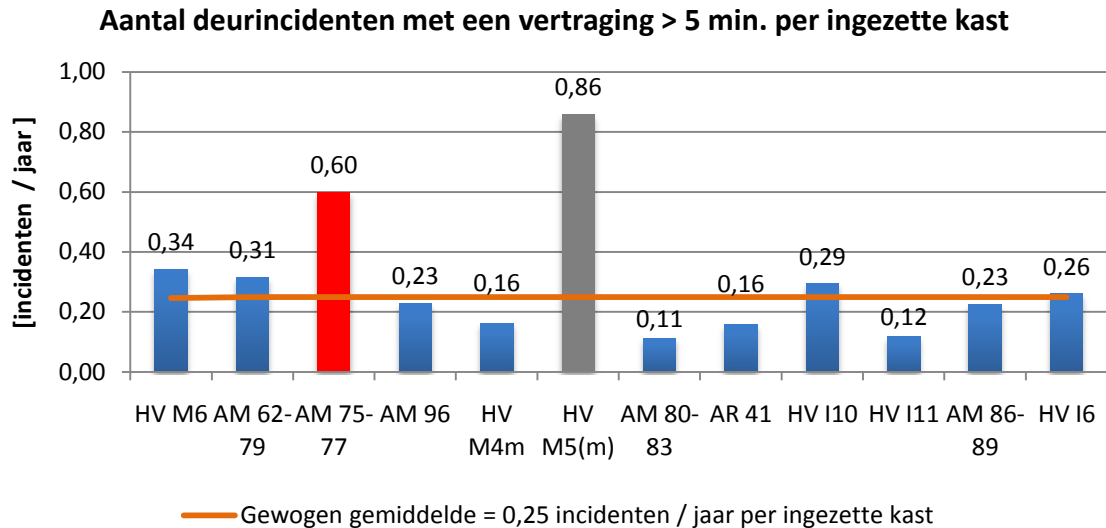
We bekijken nu enkel de relazen die veroorzaakt zijn door problemen met de instapdeuren. Voor het reeds gedefinieerde tijds kader (zie paragraaf 4.2.1) van 1/07/2009 tot en met 30/06/2010 vinden we 611 incidenten met instapdeuren. We lijsten in Figuur 43 deze meldingen op per materieelreeks.



Figuur 43: Aantal deurincidenten (vertraging > 5 minuten) in database Infrabel, directie Netwerk voor elke materieelreeks

Deze 611 incidenten staan tegenover het totaal aantal incidenten in de Gazet die toe te schrijven zijn aan het rollend materieel. Voor het jaar 2009 ging het om 16.119 incidenten.

De cijfers uit Figuur 43 zijn absoluut en houden geen rekening met het aantal ingezette kasten voor elke reeks. Daarom schalen we deze cijfers alvorens besluiten te trekken (Figuur 44).



Figuur 44: Aantal deurincidenten (vertraging > 5minuten) per ingezette kast (juli '09 – juni '10)

Uit Figuur 44 stellen we vast dat:

- 1) Gemiddeld jaarlijks per 4 ingezette kasten zich 1 deurincident voordoet dat een vertraging veroorzaakt > 5 minuten.
- 2) De AM75-77 doet met 0,6 incidenten / jaar per ingezette kast 2,4 keer slechter dan het gemiddelde.
- 3) De zwenkzwaaiendeuren (HV M4m en AM80-83) doen het opmerkelijk beter dan het gemiddelde.
- 4) De zwenkschuifdeuren van de rijtuigen M6 vertonen bijna 3 keer zoveel incidenten met een vertraging > 5 minuten per ingezette kast dan deze van de rijtuigen I11 (extra indicatie voor de noodzaak van een conceptueel vergelijk zoals aangehaald in paragraaf 4.5.4.1).

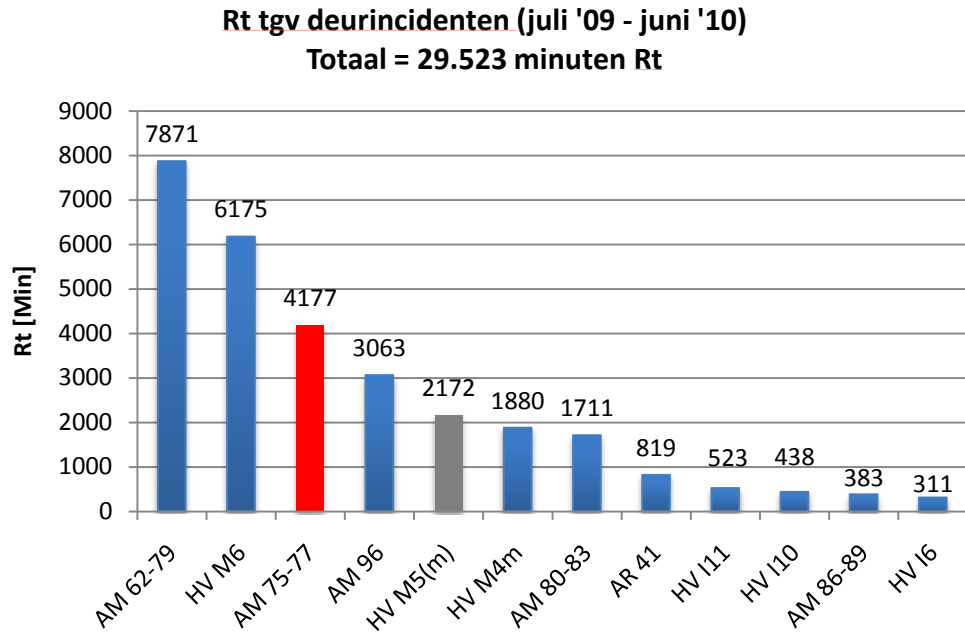
We bekijken nu elk relaas individueel om voor elke materieelreeks te komen tot het olijsten van:

- het aantal minuten vertraging (Rt)
- het aantal afgeschafte treinen

4.6.2.2 Het aantal minuten vertraging (Rt) te wijten aan deurincidenten

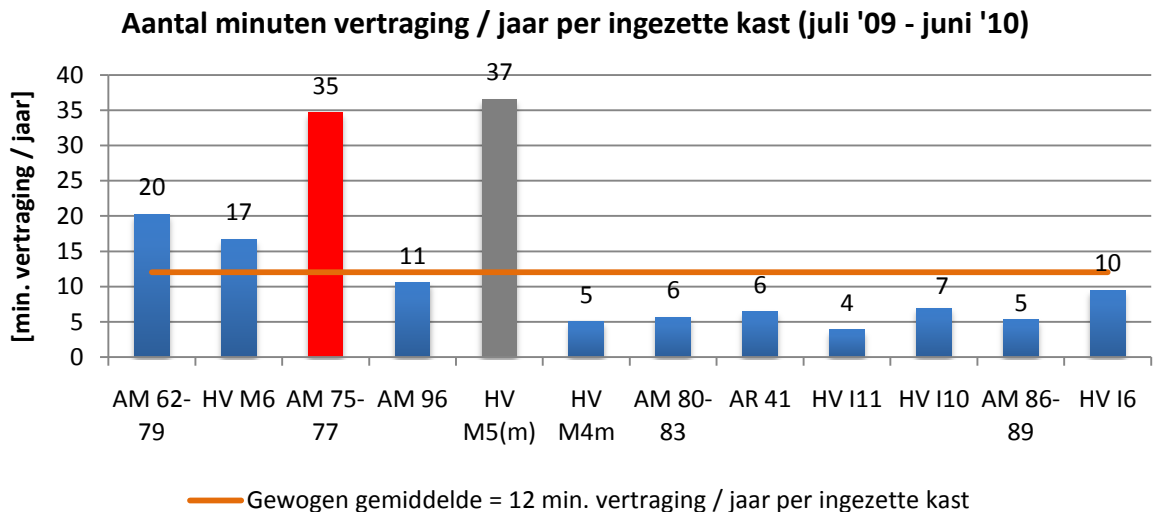
Het aantal minuten Rt (Figuur 45) is de som van de directe en de indirecte vertraging. De directe vertraging bestaat uit de vertraging die de trein, waarop het deurprobleem zich manifesteert, ondervindt. Onder indirecte vertraging valt dan de gevolgvertraging die andere treinen oplopen ten gevolge van een trein die deurproblemen ervaart.

In totaal werd 29.523 minuten Rt gemeten ten gevolge van deuraverijen. Als referentiepunt vermelden we dat, voor het jaar 2009, 455.008 minuten Rt toegeschreven werden aan het rollend materieel.



Figuur 45: Rt ten gevolge van deurincidenten per materieelreeks. Bron: database Infrabel, directie Netwerk

We zien in Figuur 45 dat de materieelreeksen die het grootste aantal incidenten laten optekenen (Figuur 43) ook de meeste vertraging voor hun rekening nemen. Merken we op dat de AM62-79 nu de koppositie inneemt. Om ons een beter beeld te vormen, schalen we het aantal minuten vertraging / jaar naar het aantal ingezette kasten (Figuur 46).



Figuur 46: Aantal minuten vertraging ten gevolge van deurincidenten / jaar per ingezette kast (juli '09 - juni '10)

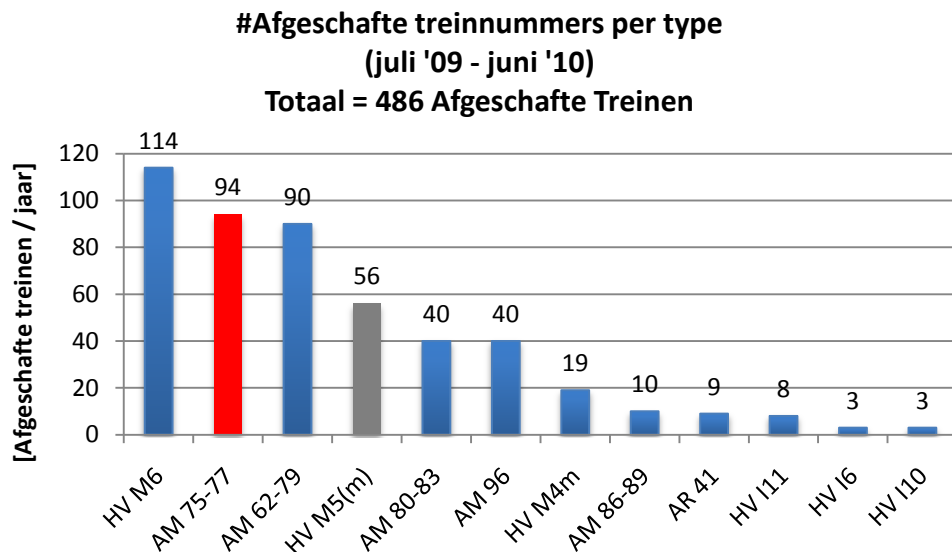
Uit Figuur 46 stellen we vast:

- 1) De instapdeuren van de AM75-77 tekenen bijna 3 keer meer vertraging op per ingezette kast dan het gemiddelde.
- 2) Algemeen doet het materieel van de oudste generatie het slechter (AM62-79/AM75-77).
- 3) De zwenkschuifdeuren van de rijtuigen M6 laten 4 keer meer vertraging per ingezette kast optekenen dan deze van de rijtuigen I11.

4.6.2.3 Het aantal afgeschafte treinnummers te wijten aan deurincidenten

Het is belangrijk een overzicht te hebben van het aantal afgeschafte treinen (Figuur 47). Het afschaffen van treinen zorgt ervoor dat zij niet in de vertragingcijfers worden opgenomen maar bezorgt de reiziger vaak grote ongemakken. We verklaren eerst het begrip ‘treinnummer’.

Een treintraject krijgt een bepaald treinnummer. Het kan zijn (bijv. bij grensoverschrijdend verkeer) dat één IC-verbinding bijvoorbeeld meerdere treinnummers heeft. We werken met treinnummers omdat ze worden opgelijst in de database van Infrabel en ze ook de mogelijkheid bieden het aantal afschaffingen te schalen (zie verder).



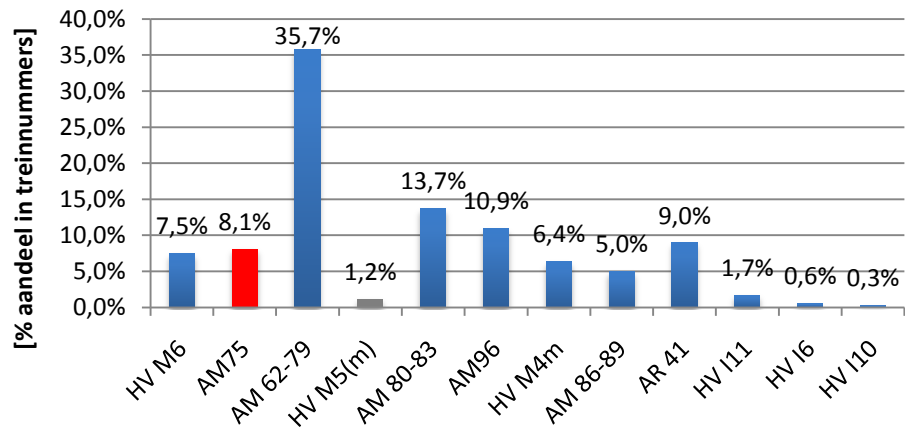
Figuur 47: Aantal afgeschafte treinnummers ten gevolge van deurincidenten per materieelreeks. Bron: database Infrabel, directie Netwerk

We vonden in de database van Infrabel 486 afgeschafte treinnummers ten gevolge deurproblemen (zowel directe afschaffingen als gevolgafschaffingen). Als referentiepunt om de gedachten te vestigen, vermelden we dat 21.556 treinen werden afgeschafte in het jaar 2009. Het aantal afgeschafte treinen kent de laatste jaren overigens een sterk stijgende tendens.

We bemerken in Figuur 47 dat de rijtuigen M6 23,5% van de afschaffingen voor hun rekening nemen. Blijkbaar zijn de deurincidenten bij de rijtuigen M6 van deze aard dat ze leiden tot afschaffingen daar waar bij de deurincidenten van de AM62-79 vooral vertraging wordt veroorzaakt (zie ook Figuur 45).

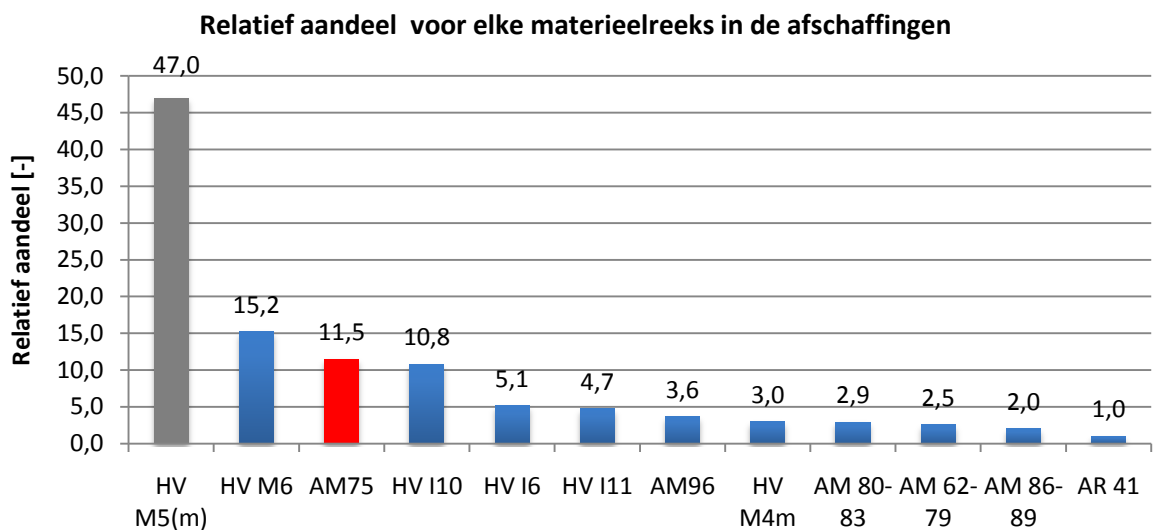
We opteren ervoor het aantal afgeschafte treinen niet te schalen naar het aantal ingezette kisten maar naar het aantal treinnummers dat elke materieelreeks verzekert. We hebben echter geen absolute cijfers voor ons tijds kader. We hebben wel de relatieve aandelen van elke materieelreeks in het aantal treinnummers kunnen bepalen voor een dinsdag tijdens een gewone werkdag/schooldag (Figuur 48).

**Relatief aandeel materieelreeksen in treinnummers
(totaal = 3960 nummers) Bron: B-MO.12**



Figuur 48: Relatief aandeel materieelreeksen in treinnummers

Wanneer we de cijfers uit Figuur 47 vermenigvuldigen voor elke materieelreeks met de gegevens uit Figuur 48 bekommen we het relatief aandeel van elke materieelreeks in het aantal afschaffingen (Figuur 49). Dit is uiteraard een dimensieloos getal dat uitdrukt hoeveel keer ‘slechter’ een materieelreeks presteert tegenover een basisreferentie. We nemen als basisreferentie het materieel met het kleinste relatieve aandeel in de afschaffingen, nl. de motorwagen AR 41.



Figuur 49: Relatief aandeel voor elke materieelreeks in de afgeschafte treinnummers (basisreferentie = AR41)

Uit Figuur 49 onthouden we:

- 1) Deurincidenten op de rijtuigen M6 het vaakst leiden tot afschaffingen.
- 2) De instapdeuren van de AM75-77 doen het met een tweede plaats ook op het vlak van afschaffingen slecht.

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

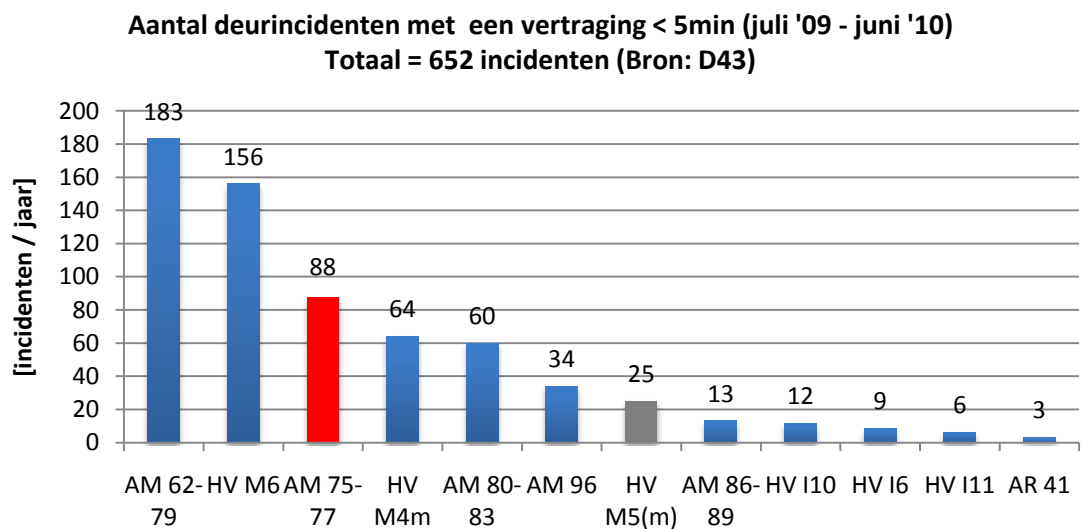
Voor de AM75-77 vatten we de gegevens uit de database van Infrabel, directie netwerk samen in onderstaande Tabel 4-16.

Tabel 4-16: Gegevens AM75-77 uit database Infrabel, directie Netwerk

Database Infrabel, directie Netwerk (periode 01/07/2009-30/06/2010)	AM75-77	Totale materieelpark
Aantal deurincidenten	72	611
Aantal deurincidenten / ingezette kast	0,60	Gemiddelde = 0,25
Aantal minuten Rt	4.177	29.523
Aantal minuten Rt / ingezette kast	35	Gemiddelde = 12
Aantal afgeschafte treinen	94	486

4.6.3 Database 'D43'; NMBS Mobility

Doordat de database D43 niet filtert op het criterium 'vertraging groter dan 5 minuten' geeft zij ons een nauwkeuriger beeld over het aantal deurincidenten dat voorkomt op het rollend materieel. In de database van de D43s zitten uiteraard veel gevallen die ook voorkomen in de Gazet. Wanneer we deze gevallen weglaten, bekomen we het aantal deurincidenten die geen gevolg voor exploitatie hebben of een vertraging veroorzaken < 5 minuten (Figuur 50). We vinden in totaal 652 incidenten wat in dezelfde grootteorde ligt als de incidenten met een vertraging > 5 minuten.

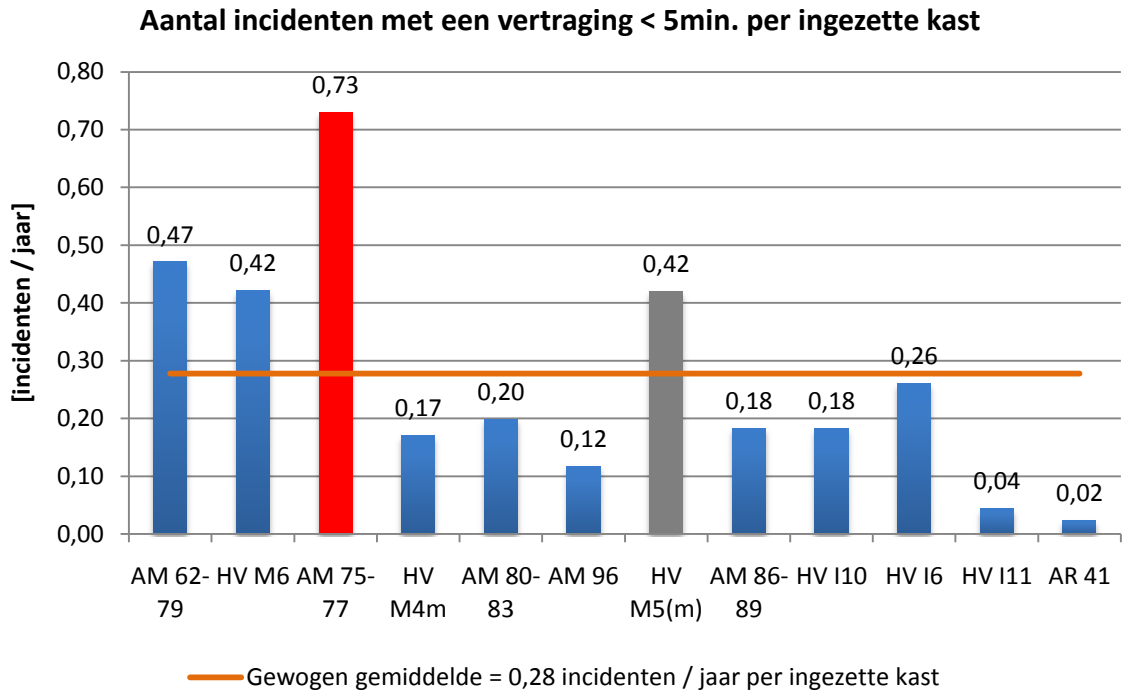


Figuur 50: Aantal deurincidenten met een vertraging < 5minuten voor elke materieelreeks (juli '09 –juni '10)

We stellen vast in Figuur 50:

- 1) Dezelfde materieelreeksen vervolledigen de top 3 als in Figuur 43.
- 2) De zwenkzwaai-deuren (HV M4m / AM80-83) zijn niet vrij van defecten maar hebben een kleinere impact op de exploitatie.

Voor verder vergelijk schalen we bovenstaande cijfers naar het aantal ingezette kasten (Figuur 51).



Figuur 51: Aantal deurincidenten met een vertraging < 5minuten per ingezette kast (juli '09 –juni '10)

Uit Figuur 51 constateren we:

- 1) Analoog aan het aantal deurincidenten met een vertraging > 5 minuten doet zich gemiddeld ongeveer 1 deurincident voor met een vertraging < 5 minuten voor elke 4 ingezette kasten.
- 2) De AM 75-77 presteert het slechtst (2,6 keer slechter dan het gemiddelde).
- 3) De zwenkschuifdeuren van de M6 laten 10 keer meer incidenten per ingezette kast optekenen dan de deuren van de rijtuigen I11.

4.6.4 Database 'SMS-Averij'; NMBS Mobility / NMBS Technics

Omdat kleine problemen zoals het afzonderen of buiten dienst stellen van een deur of een verminderde deurfunctionaliteit niet altijd via een D43 gemeld worden of meer dan 5 minuten vertraging veroorzaken, proberen we onze gegevens verder te verfijnen met behulp van de database SMS-Averij. Elke SMS komt in het systeem MARS terecht waaruit een onderhoudsopdracht kan gegenereerd worden. Voor onze kwantificatie was het belangrijk een extractie van de SMSdatabase uit MARS te bekommen. Hiervoor bestaan twee extractiesystemen.

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

De oudste extractiemethode (voor voorbeeld zie Figuur 52) gaf echter geen mogelijkheid om de deurincidenten uit de database te filteren.

OORSP : IBIS and Stat:Som

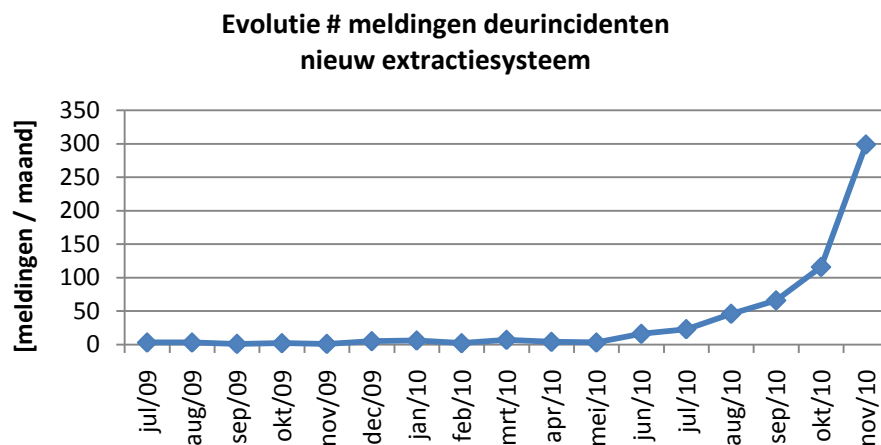
datum	VOER	TRKS	Voorz	OMSCHRIJVING WAUW	WERK	GLDW	UIC	Trst	Teff WRKT
1/02/2010	11704	I10A	N	ok	51881170004- 7	FBMZ- M52	0,5

Figuur 52: Voorbeeld extractie SMS-Averij uit MARS (oude methode)

De nieuwe extractiemethode (voor voorbeeld zie Figuur 53) liet wel toe om deurincidenten uit de volledige database te filteren. We bekijken de evolutie van het aantal meldingen van deurincidenten in het nieuwe extractiesysteem in Figuur 54.

Voertuig						Datum
660	SMS	ACW391	Toegangsdeur	E	IBIS	2/11/2010

Figuur 53: : Voorbeeld extractie SMS-Averij uit MARS (nieuwe methode)

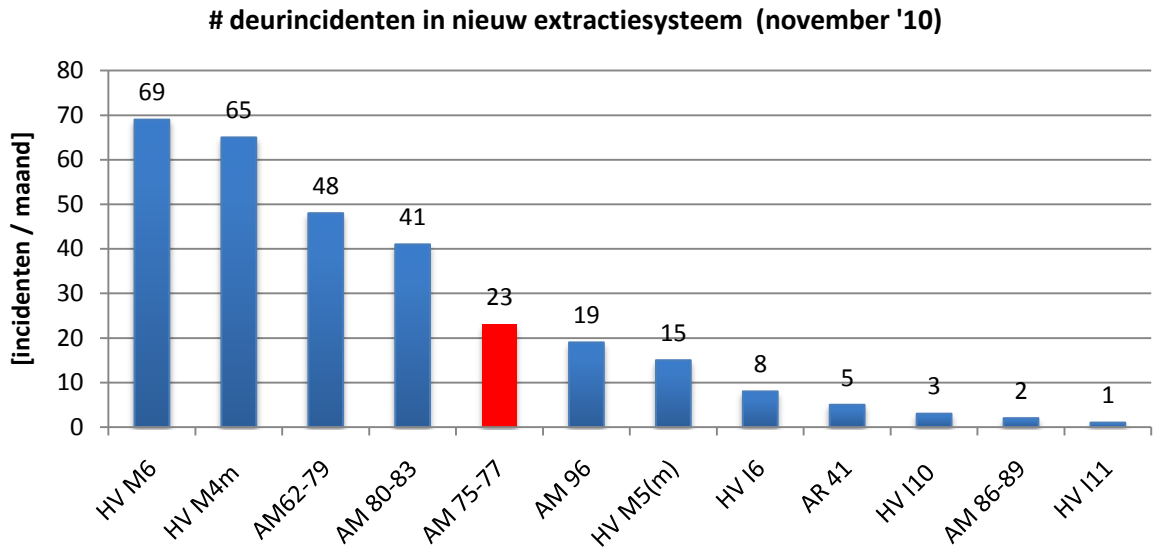


Figuur 54: Evolutie van het aantal meldingen van deurincidenten in het nieuwe extractiesysteem

Uit Figuur 54 stellen we vast:

- 1) Er is een duidelijk opstarteffect voor dit nieuwe extractiesysteem.
- 2) Het zal, in tegenstelling tot ons origineel opzet, niet mogelijk zijn de database SMS-Averij samen te voegen met de deurincidenten opgelijst uit de andere databases.

We opteren om, gezien het verloop van de curve in Figuur 54, de data van november 2010 als enigszins representatief te beschouwen en de absolute aantallen SMS'en uit te zetten voor elke materieelreeks (Figuur 55).

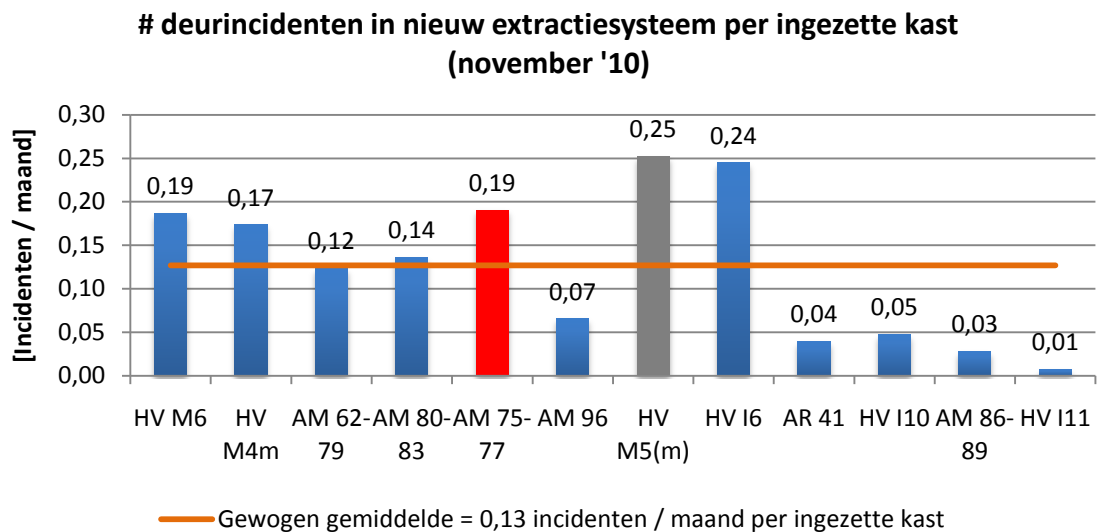


Figuur 55: Aantal deurincidenten vermeld in nieuw extractiesysteem SMS-Averij (november '10)

Uit Figuur 55 stellen we vast:

- 1) De zwenkzwaideuren (HV M4m / AM80-83) nemen een groter aandeel in dan in voorgaande databases.
- 2) Het aantal meldingen voor de AM75-77 is in deze database beperkter.

We lijsten nu het aantal SMS'en op per ingezette kast (Figuur 56).



Figuur 56: Aantal deurincidenten vermeld in nieuw extractiesysteem SMS-Averij per ingezette kast (november '10)

Uit Figuur 56 concluderen we:

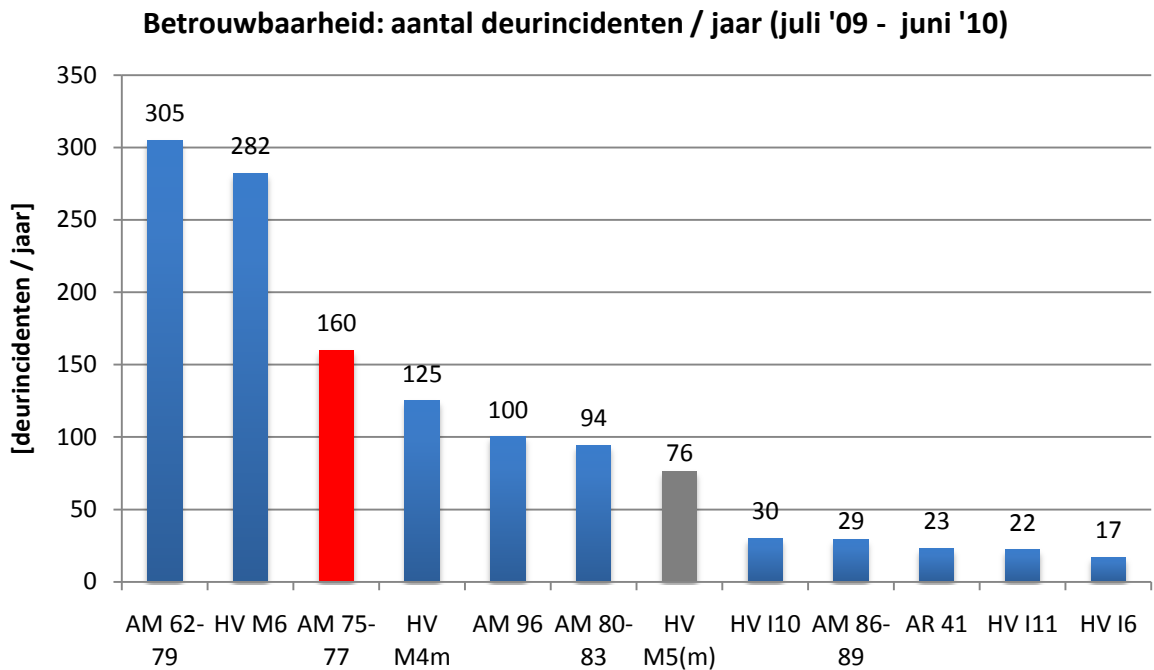
- 1) Zwenkschuifdeuren van de rijtuigen M6 vertonen ook veel kleine gebreken.
- 2) **De zwenkzwaideuren zijn niet foutvrij maar hebben een veel beperktere impact op de exploitatie (vertragingen en afschaffingen) dan andere deursystemen.**

4.6.5 Synthese: kwantificatie Reliability materieelpark

We maken nu de synthese van voorgaande databases. Zoals reeds eerder vermeld was het niet mogelijk de data van SMS-Averij aan deze synthese toe te voegen. De synthese zal ons in staat stellen de Reliability-parameter te kwantificeren voor het materieelpark van de NMBS.

4.6.5.1 Absolute cijfers & per ingezette kast

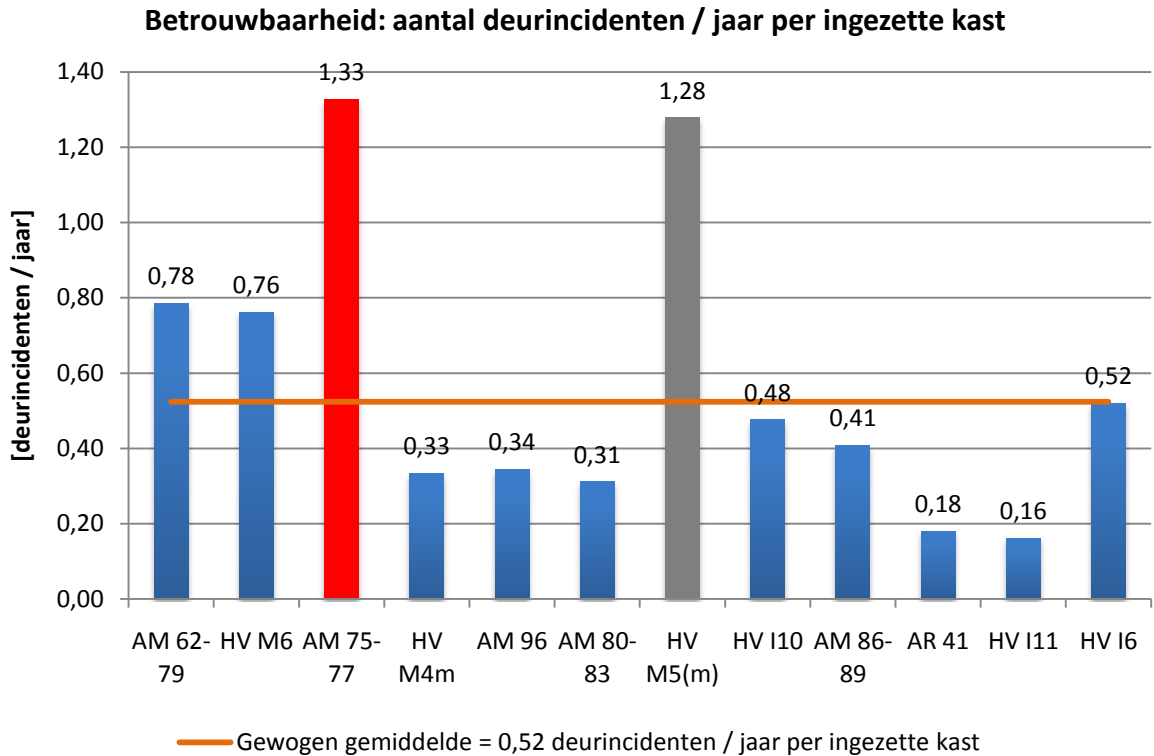
Uit de verschillende databases hebben we 1263 deurincidenten geïdentificeerd voor de periode juli '09 – juni '10 (Figuur 57).



Figuur 57: Betrouwbaarheid: aantal deurincidenten gemeld in de periode (juli '09 – juni '10)

Uit Figuur 57 kunnen we berekenen dat de materieelreeksen in de top 3 in totaal 70% van het aantal deurincidenten voor hun rekening nemen.

Voor verder vergelijk tussen de materieelreeksen onderling voeren we een schaling uit naar het aantal ingezette kasten (Figuur 58).



Figuur 58: Betrouwbaarheid: aantal deurincidenten / jaar per ingezette kast (juli '09 – juni '10)

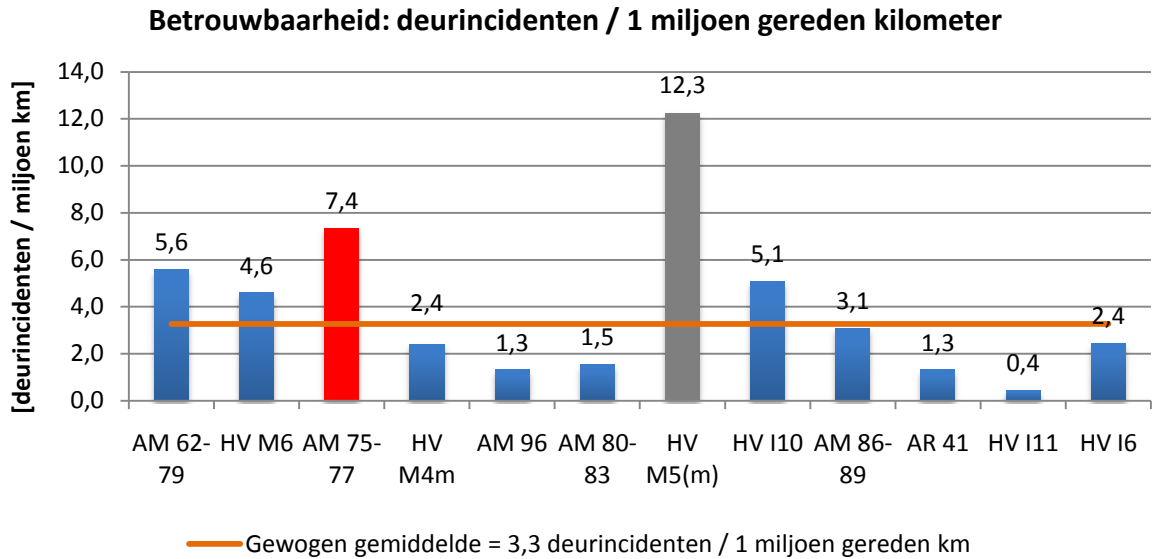
Uit Figuur 58 concluderen we:

- 1) Gemiddeld doet zich 1 deurincident / jaar voor per 2 ingezette kasten
- 2) De zwenkschuifdeuren van de AM75-77 presteren het slechtst met 5 deurincidenten / jaar per ingezet motorstel
- 3) De zwenkschuifdeuren van de rijtuigen M6 laten hetzelfde aantal incidenten optekenen per ingezette kast als de vouw- of plooidoors van de oudste generatie. Hiermee doen de rijtuigen M6 het 4,75 keer slechter dan de rijtuigen I11.

We bekijken nu de cijfers na schaling naar beide referentie-eenheden.

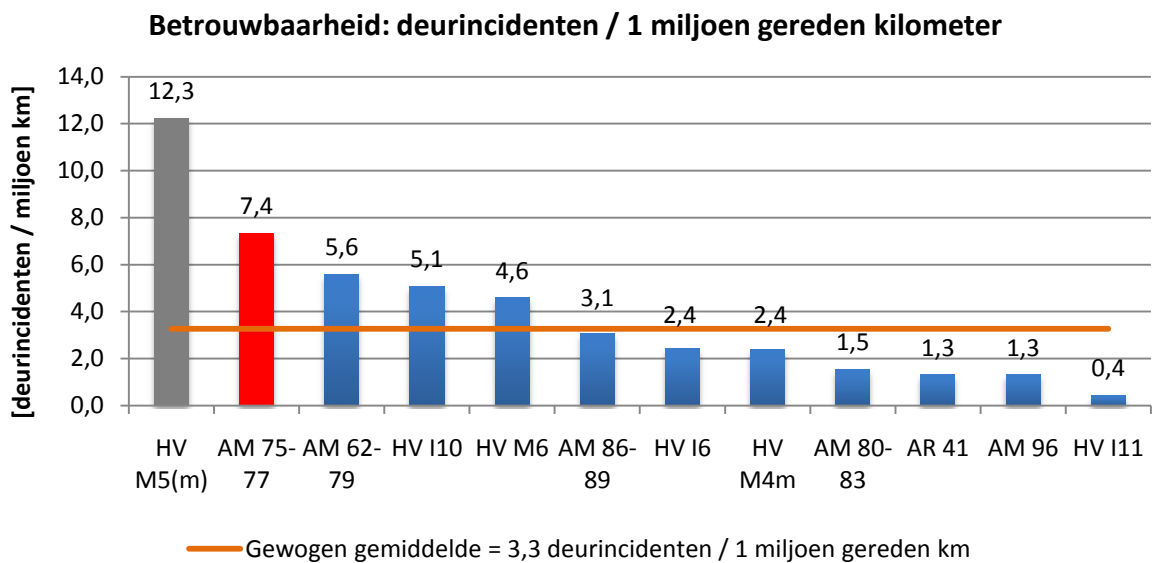
4.6.5.2 Referentie-eenheid (1): 1 miljoen gereden kilometer

We schalen de cijfers uit Figuur 57 naar het aantal gereden kilometer. We bekommen zo Figuur 59.



Figuur 59: Betrouwbaarheid: # deurincidenten / 1 miljoen gereden kilometer voor elke materieelreeks (juli '09 – juni '10)

In Figuur 60 rangschikken we de cijfers uit Figuur 59 in dalende volgorde zodat in een oogopslag de verhoudingen tussen de verschillende materieelreeksen duidelijk wordt.



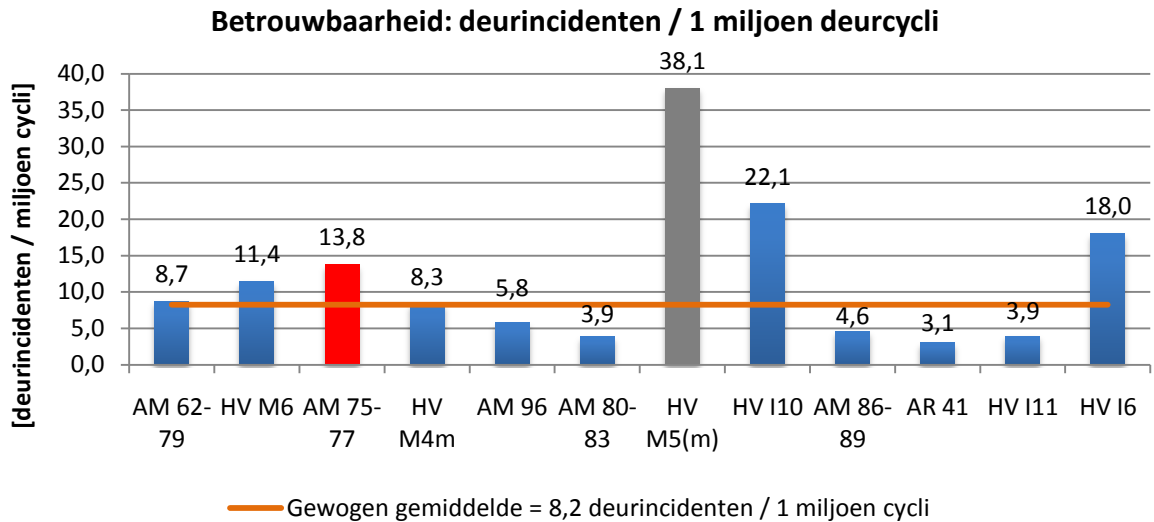
Figuur 60: Rangschikking v/h # deurincidenten / 1 miljoen gereden kilometer voor elke materieelreeks (juli '09 – juni '10)

Uit Figuur 59 en Figuur 60 stellen we vast:

- 1) De AM75-77 presteert het slechtst en laat met 1 deurincident per 135.000 gereden kilometer ruim 2 keer zoveel deurincidenten optekenen als het gemiddelde.
- 2) Het rijtuig I11 laat dankzij zijn hoge kilometerproductie slechts 1 deurincident per 2,5 miljoen gereden kilometer noteren.
- 3) De 'nieuwere generatie' zwenkschuifdeuren (AM96 en AR41, uitgezonderd M6) laten 1 deurincident noteren per 750.000 gereden kilometer.
- 4) De deuren van de rijtuigen M6 presteren slechter dan hun generatiegenoten met 1 deurincident per 220.000 gereden kilometer.

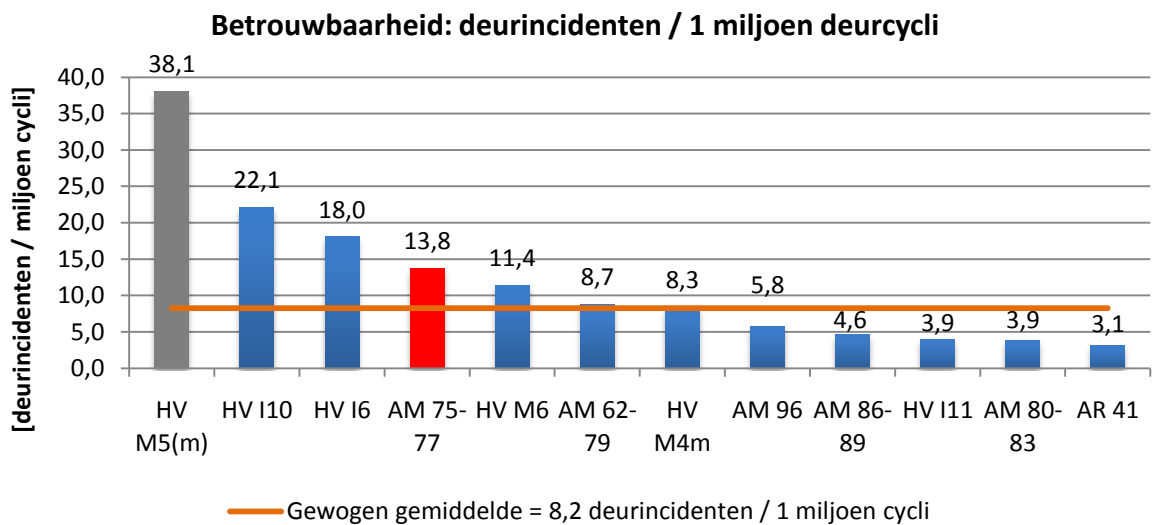
4.6.5.3 Referentie-eenheid (2): 1 miljoen deurcycli

We schalen de cijfers uit Figuur 57 naar het aantal deurcycli. We bekomen zo Figuur 61.



Figuur 61: Betrouwbaarheid: # deurincidenten / 1 miljoen deurcycli voor elke materieelreeks (juli '09 – juni '10)

In Figuur 62 rangschikken we de cijfers uit Figuur 61 in dalende volgorde voor beter vergelijk.



Figuur 62: Rangschikking van # deurincidenten / 1 miljoen deurcycli voor elke materieelreeks (juli '09 – juni '10)

Uit Figuur 61 en Figuur 62 stellen we vast:

- 1) De rytuigen I10 en I6 die louter als versterking in de spits worden ingezet of op de Benelux-treinen hebben een lage betrouwbaarheid per miljoen cycli.
- 2) Van het materieel dat op alle tijdstippen wordt ingezet, presteert de AM75-77 het slechts met 1 deurincident per 72.600 cycli. Uit Figuur 23 weten we dat 100.000 cycli worden verricht tussen 2 herzieningen. Het deursysteem haalt deze periode niet foutvrij.
- 3) De AM96 presteert 49% slechter dan het rytuig I11. Dit is mede te wijten aan de extra deurlusfunctionaliteit en problemen die optreden na (ont)koppeling met andere stellen.
- 4) De instapdeuren van de rytuigen M6 presteren 30% slechter dan de vouw- of plooidooren van de AM62-79.

4.6.6 Betrouwbaarheid van de AM75-77: foutcategorieën

Tijdens de kwantificatie van de Reliability-parameter hebben we al het onderscheid gemaakt tussen deurincidenten die een vertraging opgeleverd hebben > 5 minuten en deurincidenten die geen vertraging of een vertraging < 5 minuten hebben opgeleverd. Omdat deze thesisopdracht zich verder integraal focust op de betrouwbaarheid van de instapdeuren van de AM75-77 en om hun falen en de ernst ervan beter in te schatten, kunnen we hun fouten indelen in categorieën. EN 50126-1 geeft richtlijnen voor een mogelijk toepassing van foutcategorieën (Tabel 4-17).

Tabel 4-17: Foutcategorieën volgens EN 50126-1

Significant (Falen dat leidt tot immobilisatie)	Een falen dat: <ul style="list-style-type: none"> - de trein verhindert te rijden of een vertraging van de exploitatie veroorzaakt groter dan een gespecificeerde tijd en/of - een kost genereert die groter is dan een vooropgesteld bedrag
Major (Service falen)	Een falen dat: <ul style="list-style-type: none"> - moet hersteld worden opdat het rollend materieel haar vooropgestelde performantie haalt en - geen vertraging of kost genereert die groter is dan een minimum drempelwaarde die gespecificeerd is voor een Significant falen
Minor	Een falen dat: <ul style="list-style-type: none"> - Het rollend materieel niet verhindert haar vooropgestelde performantie te halen en - niet beantwoordt aan de criteria voor een Significant of Major falen

De NMBS hanteert voor de garantieopvolging van haar M6-dubbeldekrijtuigen door haar vooraf gedefinieerde foutcategorieën (voor meer informatie zie [7]). Onderstaande Tabel 4-18 geeft de onderverdeling en definitie van deze categorieën weer.

Tabel 4-18: Foutcategorieën gehanteerd in garantieopvolging HV M6 door NMBS

Veiligheidsfouten	Een fout waarbij in om het even welk geval de reizigers gevaar lopen of kans maken zich te blesseren.
Terminale fouten	Een fout waarbij de uitgevoerde dienst niet meer verder gezet kan worden.
Transparante fouten	Een fout waarbij de uitgevoerde dienst nog kan afgewerkt worden maar een reparatie nodig is alvorens de volgende dienst aan te vatten.
Tolerante fouten	De exploitatie kan bij deze fout voortgezet worden maar een reparatie moet zo snel mogelijk uitgevoerd worden.

Hoofdstuk 4: Kwantificering RAMS-parameters materieelpark

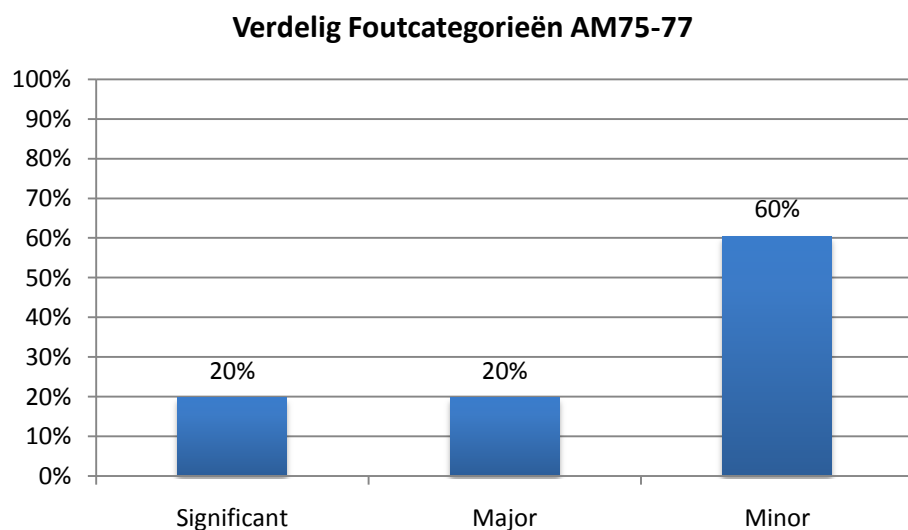
De criteria in Tabel 4-17 en Tabel 4-18 laten ons niet toe een eenduidige indeling te maken van de deurincidenten van de AM75-77 aan de hand van de data uit de databases van Infrabel, directie Netwerk en NMBS Mobility.

We hebben daarom geopteerd de criteria uit EN 50126-1 als vertrekbasis te nemen en in samenspraak met onze begeleiders zelf criteria te definiëren die deze eenduidige indeling wel toelaten. We bekomen aldus Tabel 4-19.

Tabel 4-19: Foutcategorieën gehanteerd in deze thesisopdracht voor de instapdeuren van de AM75-77

Significant	Een incident dat: - afschaffing van een trein oplevert, of - een vertraging veroorzaakt ≥ 30 minuten
Major	Een incident dat een vertraging veroorzaakt ≥ 10 minuten en < 30 minuten
Minor	Een incident dat - geen gevolgen heeft voor de exploitatie, of - een vertraging veroorzaakt < 10 minuten

We passen de indeling uit Tabel 4-19 toe op de gegevens van de 160 deurincidenten uit Figuur 57 en bekomen aldus Figuur 63.



Figuur 63: Verdeling deurincidenten AM75-77 in foutcategorieën volgens Tabel 4-19

Uit Figuur 63 merken we op gelijke verhouding op tussen het aantal incidenten uit de Major en de Significant categorie.

4.6.7 Overzicht Reliability instapdeuren AM75-77

We vatten de RAMS-prestaties van de AM75-77 samen in Tabel 4-20.

Tabel 4-20: samenvatting kwantificering RAMS-prestaties AM75-77

RAMS AM75-77	Reliability	Availability	Maintainability	Safety
Database	Infrabel, Netwerk + D43	Gepresteerde dienstdagen	MARS	SafeTrain
Prestatie/miljoen km	7,4 incidenten (parkgemiddelde = 3,3)	250 dienstdagen / jaar	291 uren totaal onderhoud	/
Prestatie/miljoen deurcycli	13,8 incidenten (parkgemiddelde = 8,2)	=68,5% van een jaar	545 uren totaal onderhoud	/
Beoordeling	125% en 68% slechter dan parkgemiddelde	3% slechter dan parkgemiddelde	200% tot 300% slechter t.o.v. andere reeksen AM	/

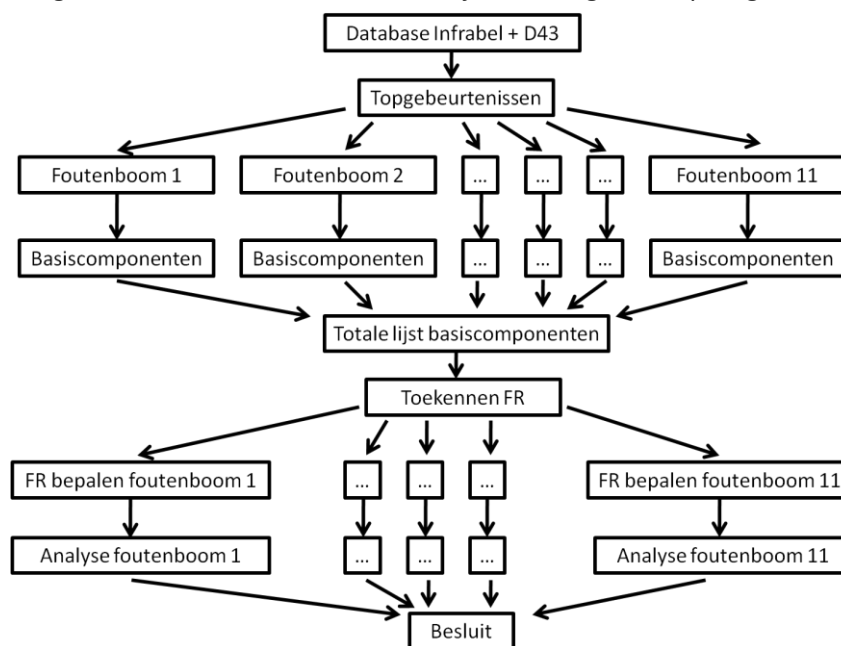
Uit bovenstaande cijfers blijkt dat het deursysteem van de AM75-77 de nodige aandacht verdient bij modernisatie teneinde de RAMS-prestaties op hetzelfde niveau te krijgen als de instapdeuren van de rest van het materieelpark.

Hoofdstuk 5 R-Analyse instapdeuren AM75-77

In Hoofdstuk 4 hebben we de RAMS-parameters gekwantificeerd. Voor de R-parameter van de instapdeuren van de AM75-77 komen we tot 7,4 incidenten per miljoen kilometer en 13,8 incidenten per miljoen cycli. Deze cijfers vormen een nulmeting van het huidige betrouwbaarheidsniveau. Alvorens we op een gerichte manier tot een verhoogde betrouwbaarheid kunnen komen, dienen we een R-analyse uit te voeren. In paragraaf 3.4.1 hebben we geadviseerd voor Foutenboomanalyse (Eng: Fault Tree Analysis – FTA) als R-analysetechniek. Een FTA zal ons allereerst in staat stellen de samenhang tussen de betrouwbaarheid van de verschillende componenten in kaart te brengen. Daarnaast kunnen we ook op een objectieve wijze de kwantitatieve impact van de betrouwbaarheid van 1 component op het hele systeem meten.

Dit zal leiden tot een inventaris van een aantal componenten die een grote impact hebben op de betrouwbaarheid van het deursysteem van de AM75-77. Door bij modernisatie gericht op deze componenten te werken, kan de betrouwbaarheid van het aangepast deursysteem significant verhogen.

Om het overzicht voor de lezer te bewaren in dit hoofdstuk, is de structuur van dit hoofdstuk weergegeven in Figuur 64. Deze vertaalt de werkwijze uiteengezet in paragraaf 3.4.1.1 .

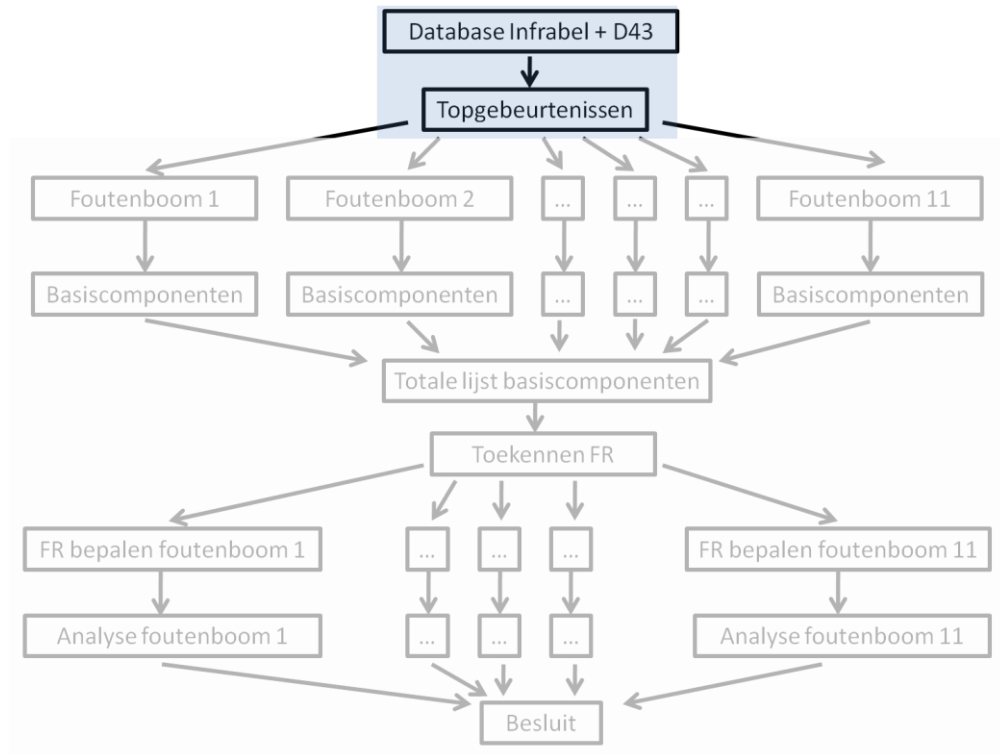


Figuur 64: Gehanteerde structuur bij het uitvoeren van een FTA op de instapdeuren van de AM75-77

De doelstellingen van dit hoofdstuk zijn:

- Doorlopen van een FTA voor de instapdeuren van de AM75-77
- Aandachtspunten formuleren voor de interpretatie van een FTA
- Inventarisatie van componenten die een significante invloed hebben op de betrouwbaarheid van de instapdeuren van de AM75-77

5.1 Bepaling van de topgebeurtenissen



Alvorens we foutenbomen kunnen opstellen voor de instapdeuren van de AM75-77, dienen we topgebeurtenissen te definiëren.

5.1.1 Catalogeren uit databases Infrabel, directie Netwerk + D43, NMBS-Mobility

Om op een gefundeerde basis tot topgebeurtenissen te komen, baseren we ons op de databases 'Stiptheid op het Belgische Net' van infrastructuurbeheerder Infrabel, directie Netwerk (kortweg gekend als 'De Gazet') en de D43 van NMBS Mobility. Voor meer info omtrent deze databases verwijzen we graag naar respectievelijk paragraaf 4.6.2 en 4.6.3 . Uit deze databases werden de incidenten met betrekking tot de instapdeuren van de AM75-77 gelicht en geanalyseerd voor een periode van 1 jaar lopende van juli '09 tot en met juni '10. Deze periode is identiek aan het tijds kader gedefinieerd in paragraaf 4.2.1 .

Om tot een eindig aantal topgebeurtenissen te komen, dienden de betrokken incidenten gecatalogeerd te worden. Tabel 5-1. We bekommen uiteindelijk 11 topgebeurtenissen waarvan Tabel 5-1 zowel het absolute aantal incidenten per categorie weergeeft als de Failure Rate van elke categorie. De **Failure Rate** heeft als eenheid [de kans dat de topgebeurtenis optreedt /deurcyclus]. Wegens de specifieke aard van **Topgebeurtenissen 3 en 7** wordt de Failure Rate in deze gevallen uitzonderlijk uitgedrukt in [de kans dat de topgebeurtenis optreedt / bedrijfsuur].

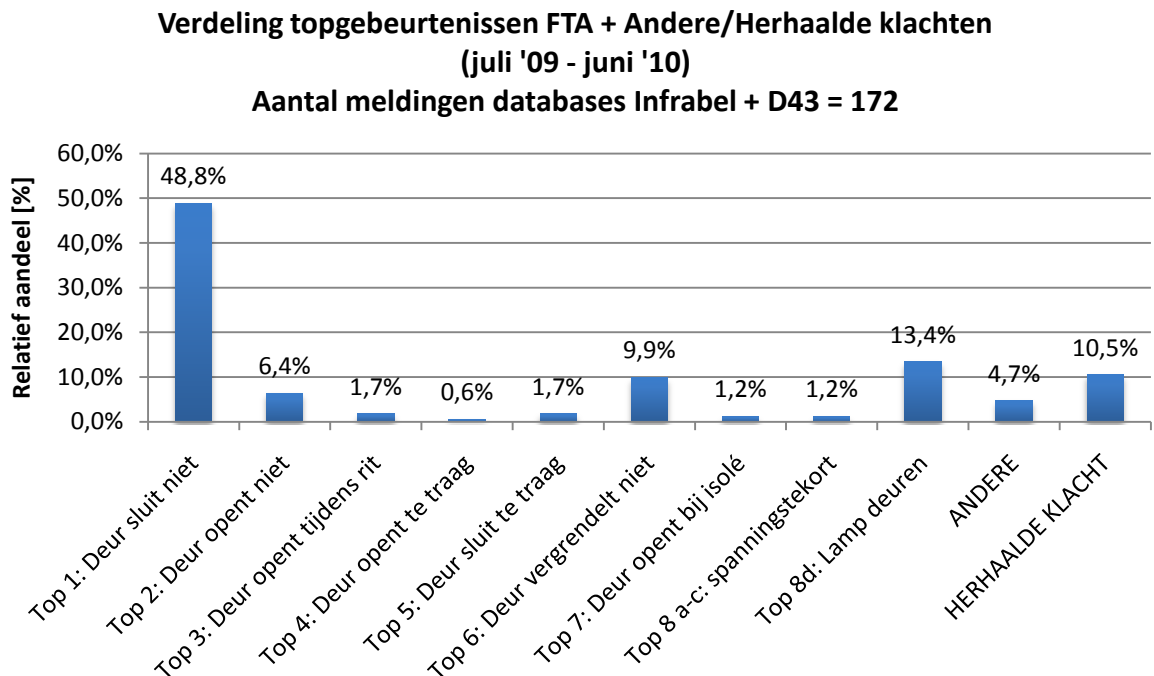
De rekenkundige bepaling van deze Failure Rates wordt behandeld in paragraaf 5.4.2.1 .

Tabel 5-1: Bepaling topgebeurtenissen na analyse deurincidenten AM75-77 in databases Infrabel, directie Netwerk + D43

Topgebeurtenis	# Meldingen database Infrabel + D43	FR(Exploitatie)
1 - Deur sluit niet	84	7,23E-06
2 - Deur opent niet	11	9,47E-07
3 - Deur opent tijdens rit	3	3,13E-06
4 - Deur opent te traag	1	8,61E-08
5 - Deur sluit te traag	3	2,58E-07
6 - Deur vergrendelt niet	17	1,46E-06
7 - Deur opent bij een geïsoleerde deur	2	2,09E-06
8 - Geen spanning op draad 41/40	2	1,72E-07
9 - Geen spanning op draad CP1,2 deurniveau	2	1,72E-07
10 - Geen spanning op draad 44	2	1,72E-07
11 - TBS krijgt geen lamp deuren	23	1,98E-06

We kunnen nu de belangrijkheid van voorkomen van de verschillende topgebeurtenissen uit Tabel 5-1 grafisch weergeven (Figuur 65). In deze grafische weergave zijn twee extra items toegevoegd:

- 1) ANDERE – Onder deze categorie vallen de incidenten uit de database die niet te catalogeren waren bij één van de topgebeurtenissen.
- 2) HERHAALDE KLACHT – Onder deze categorie vallen de incidenten die reeds enige tijd eerder door het personeel in exploitatie gemeld zijn maar nog niet verholpen zijn.



Figuur 65: Verdeling topgebeurtenissen + andere/herhaalde klachten uit databases Infrabel + D43

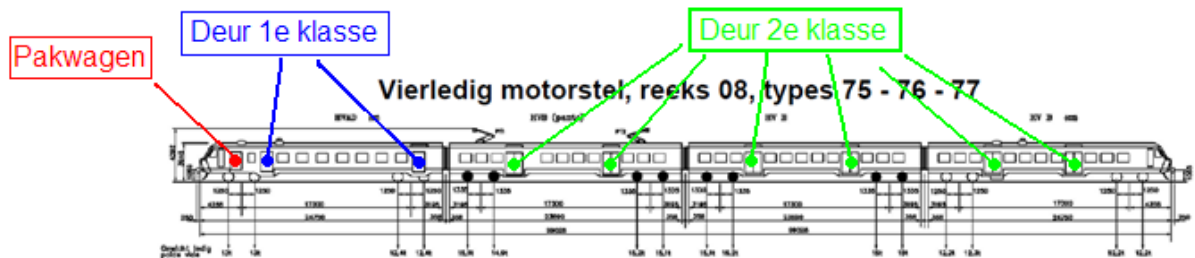
NOOT BIJ FIGUUR 65: BIJ SOMMIGE INCIDENTEN KOMEN 2 TOPGEBEURTENISSEN SIMULTAAN VOOR WAARDOOR HET TOTAAL AANTAL MELDINGEN LICHT AFWIJKT VAN DE GETALWAARDE VOOR DE AM75-77 IN FIGUUR 57.

5.1.2 Beschouwing omtrent verschillen in uitvoering van een instapdeur bij de AM75-77

Bij de melding van incidenten in de databases van Infrabel, directie Netwerk en de D43 wordt nauwelijks gespecificeerd welke instapdeur betrokken is bij het incident.

De instapdeuren van de AM75-77 zijn echter niet allen identiek. Zo is er (Figuur 66):

- Deur pakwagen, enkele deur – zonder gevoelige boord – niet toegankelijk voor de klant
- Deur 1^e klasse, enkele deur – met gevoelige boord
- Deur 2^e klasse, dubbele deur – met gevoelige boord



Figuur 66: Aanduiding verschillende types instapdeuren AM75-77

Bovendien zijn er verschillen in een aantal technische details binnen de subreeksen AM75, AM76 en AM77 (voor een voorbeeld zie inleiding paragraaf 6.2.2).

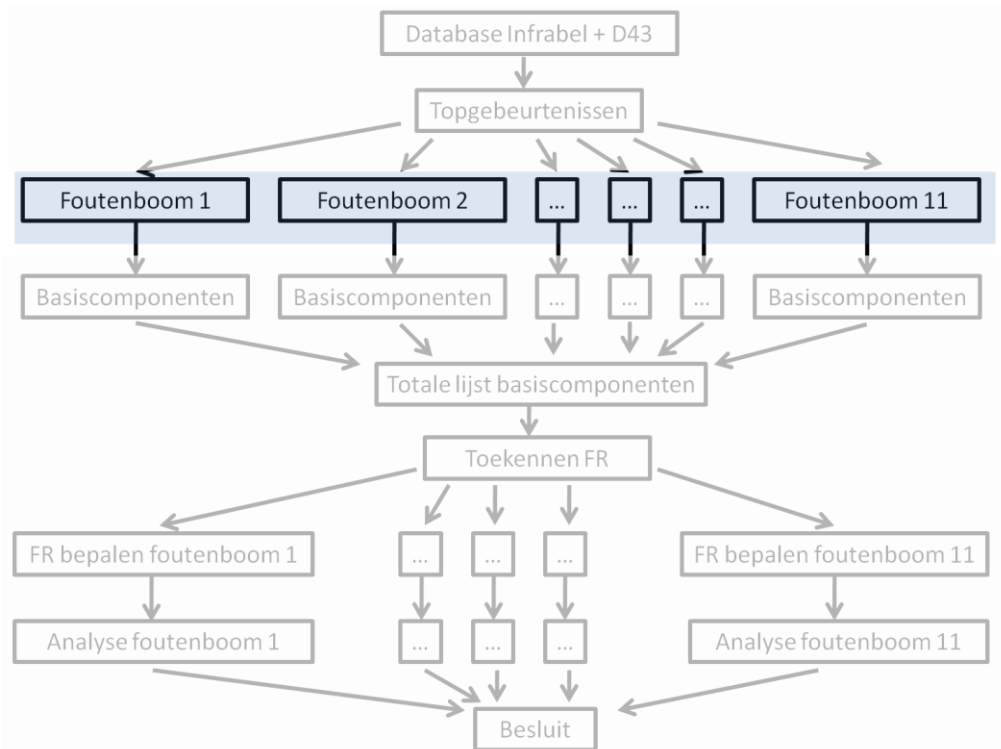
Omdat uit de voor handen zijnde data niet kan opgemaakt worden op welke specifieke instapdeur het incident betrekking heeft, verwaarlozen we de aangehaalde verschillen voor de verdere bepaling van de Failure Rates. Hiertoe definiëren we een ‘modeldeur’ die model staat voor onze FTA. We nemen als invulling van deze ‘**modeldeur**’ de **dubbele deur 2^e klasse van de AM75**, overeenkomstig haar uitvoering op de officiële technische tekeningen en pneumatische/elektrische schema’s.

5.1.3 Kanttekening bij de bekomen gegevens uit de exploitatie.

We kunnen stellen dat de cijferwaarde in Tabel 5-1 de werkelijkheid goed maar niet volledig benaderen. Dit omwille van volgende redenen:

- Bij de melding van incidenten wordt geen onderscheid gemaakt tussen falen t.g.v. technische tekortkomingen of t.g.v. menselijke tussenkomsten. Dit onderscheid valt trouwens zeer moeilijk te achterhalen.
- Wanneer de melding niet nauwkeurig wordt verricht, is het moeilijk te achterhalen welke topgebeurtenis de ‘lading dekt’.
- Bovendien moet het falen merkbaar zijn.

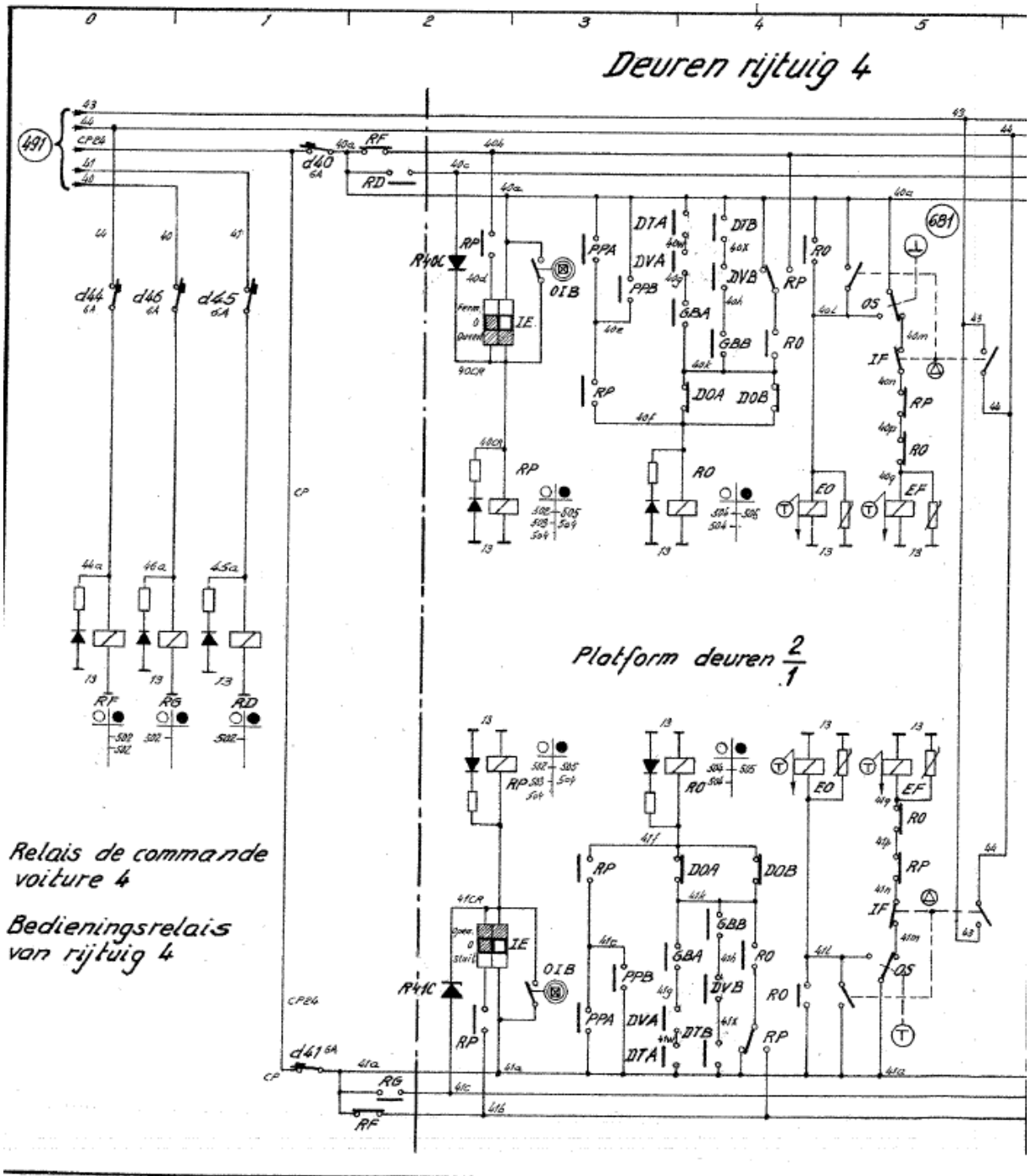
5.2 Opstellen van de foutenbomen



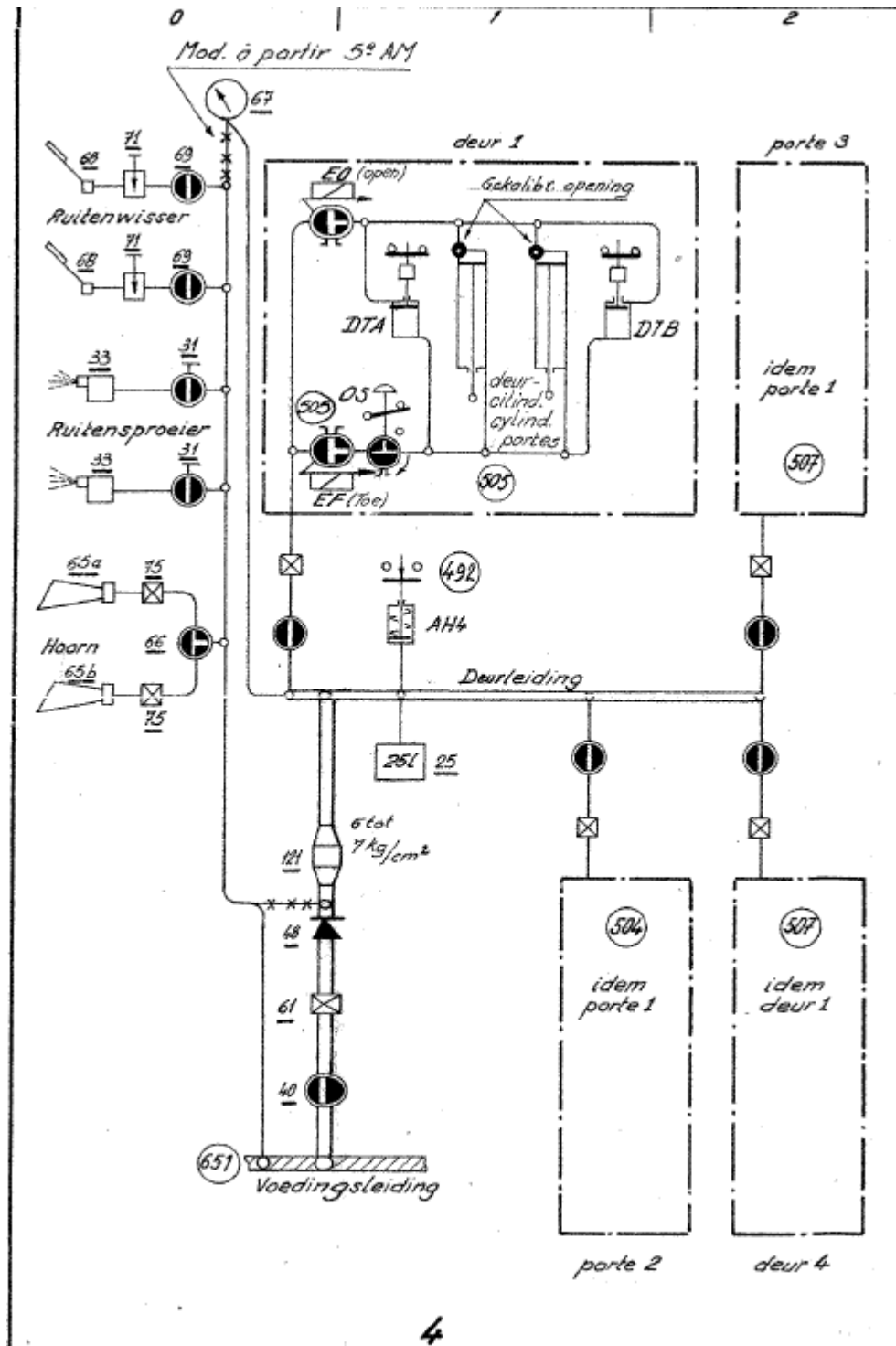
Voor elk van de 11 topgebeurtenissen dienen we nu een foutenboom op te stellen. Alvorens hiermee te starten hebben we de nodige (technische) kennis vergaard van het deursysteem. Hiertoe hebben we zowel elektrische (Figuur 68) en pneumatische (Figuur 69) schema's geraadpleegd als eigenhandig geassisteerd bij de demontage, montage en afregeling van een volledig deursysteem (Figuur 67).



Figuur 67: Demontage deuren AM 843 (CW Mechelen, 26-10-2010)



Figuur 68: Voorbeeld elektrisch schema instapdeuren AM75-77



Figuur 69: Voorbeeld pneumatisch schema instapdeuren AM75-77

5.2.1 Softwareomgeving voor uitvoeren van onze FTA

We hebben ervoor geopteerd onze foutenbomen eerst uit te schrijven en grondig te verifiëren. Daarna dienden we de foutenboom in te voeren in een softwareprogramma dat een eigenlijke cijferanalyse toelaat. Voor de keuze van de softwareomgeving hadden we 2 opties:

- 1) Microsoft Office Excel
- 2) FTA-software, waaronder de beschikbare open-source variant 'OpenFTA'[14]

Tabel 5-2 lijst de voor- en nadelen op van beide keuzes.

Tabel 5-2: Voor- en nadelen Microsoft Office Excel vs. OpenFTA als softwareomgeving voor het uitvoeren van een FTA

	Microsoft Office Excel	OpenFTA
Voordelen	<ul style="list-style-type: none"> - Eenvoud - Eigen controle over formules en berekeningen 	<ul style="list-style-type: none"> - Visueel - Programma genereert de benodigde logische formules automatisch
Nadelen	<ul style="list-style-type: none"> - Niet visueel - Logische formules dienen handmatig ingevoerd te worden met als gevolg een grotere kans op vergissingen 	<ul style="list-style-type: none"> - Geen stabiele werking + beperkte ondersteuning - Data moet component per component ingevoerd en aangemaakt worden

Uiteindelijk opterden we om gebruikt te maken van Microsoft Office Excel. Volgende factoren gaven de doorslag:

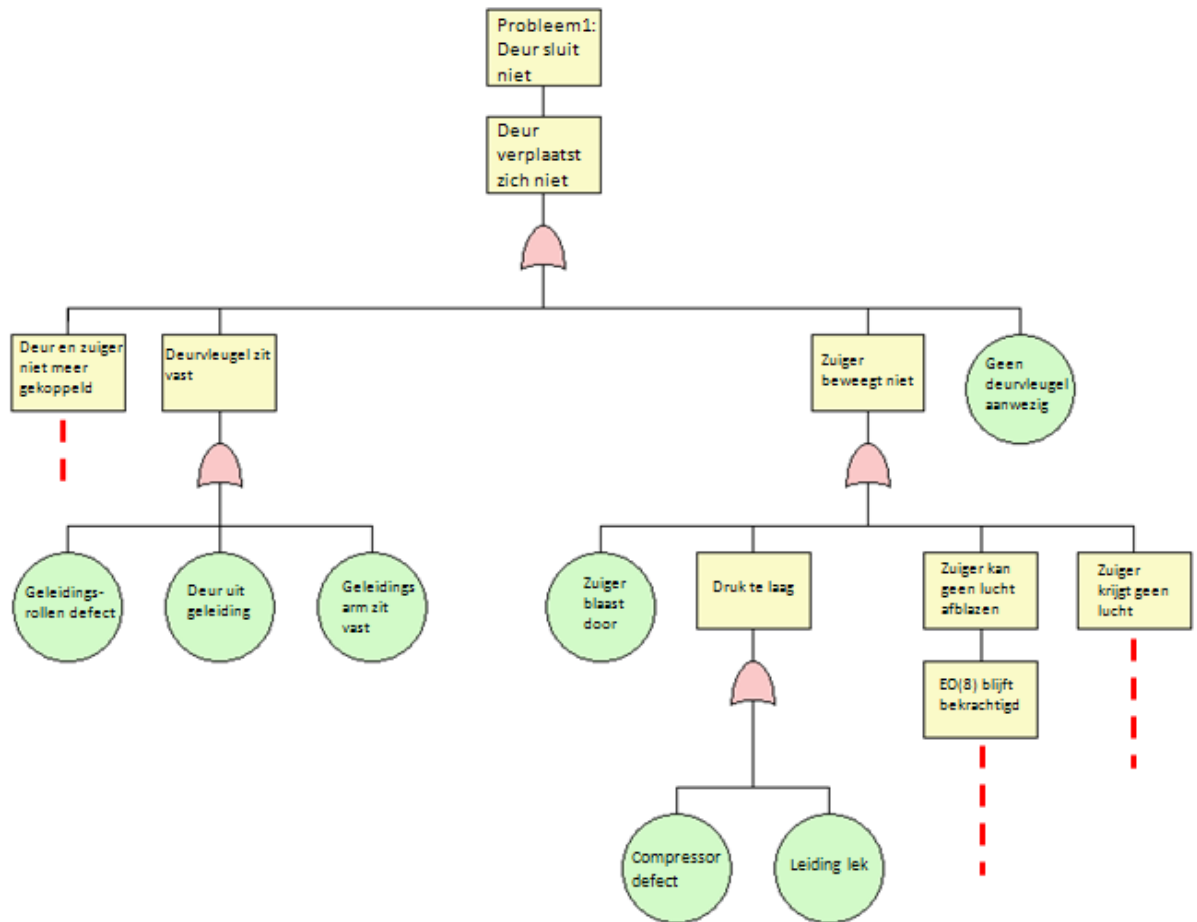
- De niet-stabiele werking en geringe ondersteuning van de OpenFTA software
- De eigen controle over formules en berekeningen in Microsoft Office Excel

We geven een impressie van onze foutenboom in Microsoft Office Excel in Figuur 70 waarin een deel van het tekstuele gedeelte van de foutenboom horende bij 'Topgebeurtenis 1' wordt weergegeven. De bijhorende logische formules worden manueel ingegeven na de kolom 'λ' waarbij de formules gespiegeld worden ingegeven t.o.v. de tekstuele invoer. Hierbij fungeert de kolom 'λ' als waaromheen gespiegeld wordt.

	A	B	C	D	E	F	G	
1	FoutenBoom MRQ (= Vierledige Motorstellen)							λ
2	1e Probleem: Deur Sluit Niet							
3		Geen Deurvleugel Aanwezig (verloren tijdens rit)						
4		Deur en zuiger zijn niet meer gekoppeld						
5			Geleidingsrollen defect					
6		Deurvleugel zit vast	Deur uit geleiding					
7	Deurvleugel		Geleidingsarm zit vast					
8	verplaatst zich		Zuiger blaast volledig door					
9	niet		Druk te laag	Compressor defect				
10		Zuiger beweegt niet	Leiding lek					
11			Zuiger kan geen lucht afblazen	EO (8) blijft bekrachtigd				
12			Leiding is lek					
13			Zuiger krijgt geen lucht	Zuiger krijgt geen lucht				

Figuur 70: Weergave implementatie Foutenboom 'Topgebeurtenis 1' in Microsoft Office Excel

Voor de volledigheid geven we in Figuur 71 de visualisatie in OpenFTA van hetzelfde gedeelte als in Figuur 70.



Figuur 71: Visualisatie aanzet foutenboom 'Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet' in OpenFTA

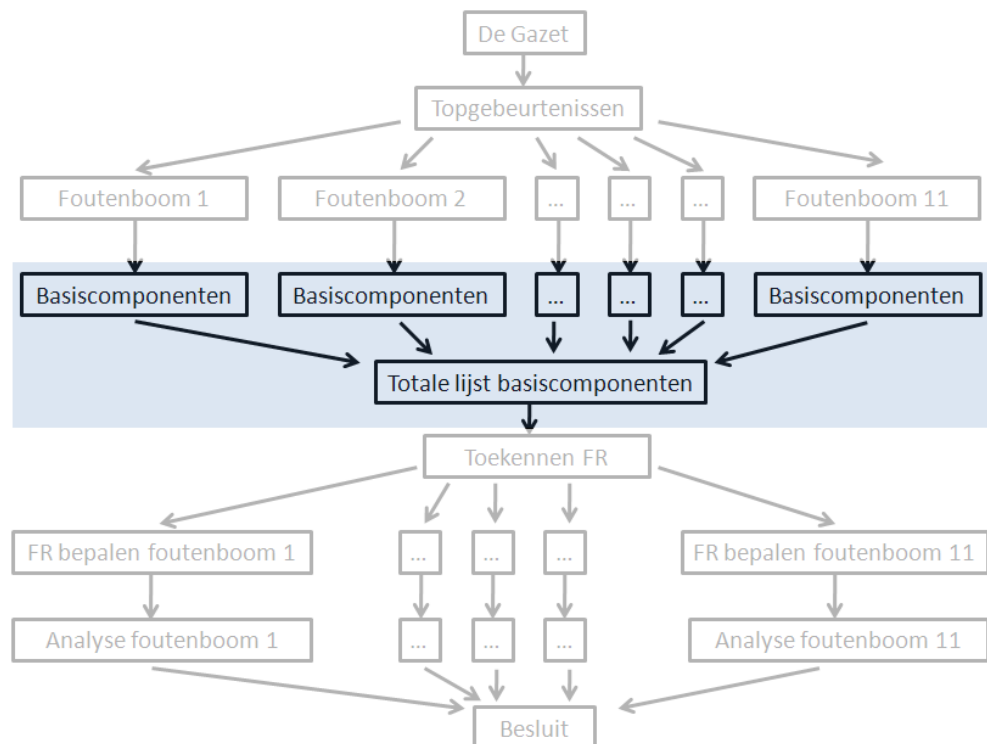
Figuur 71 geeft ook een beeld van hoe een foutenboom volgens de conventies dient te worden gerepresenteerd.

We hebben ervoor geopteerd de volledige uitwerking van de foutenbomen in Excel niet in bijlage op te nemen wegens te omvangrijk. De desbetreffende Excelbestanden zullen onder elektronische vorm bij de thesistekst gevoegd worden. Het ter beschikking stellen onder elektronische vorm heeft ook als bijkomend voordeel dat de foutenboom ook als basis voor bijkomende cijferanalyse kan aangewend worden.

5.2.2 Berekening van de minimale 'Cut Sets'

De input in Microsoft Excel vormt de basis om voor elk probleem de minimale 'Cut Sets' te berekenen. Zoals reeds vermeld in paragraaf 3.4.1.1 wordt een 'Cut Set' gedefinieerd als een component/gebeurtenis of een groep componenten/gebeurtenissen die, wanneer ze tezamen gebeuren, de topgebeurtenis als gevolg kunnen hebben. Om een zo gedetailleerd mogelijke analyse te verkrijgen, werden alle foutenbomen zo diep mogelijk uitgespit tot op het niveau van één enkele component of handeling (bijv. een relais, drukknop)

5.3 Bepaling van de basisgebeurtenissen



Het bepalen van de minimale 'Cut Sets' levert per topgebeurtenis een lijst met basisgebeurtenissen op (bij wijze van voorbeeld wordt een klein stukje in Tabel 5-3 weergegeven). Als we deze lijsten, bekomen voor elke topgebeurtenis, samenvoegen, verkrijgen we een lijst met basisgebeurtenissen die geldig zijn voor alle topgebeurtenissen.

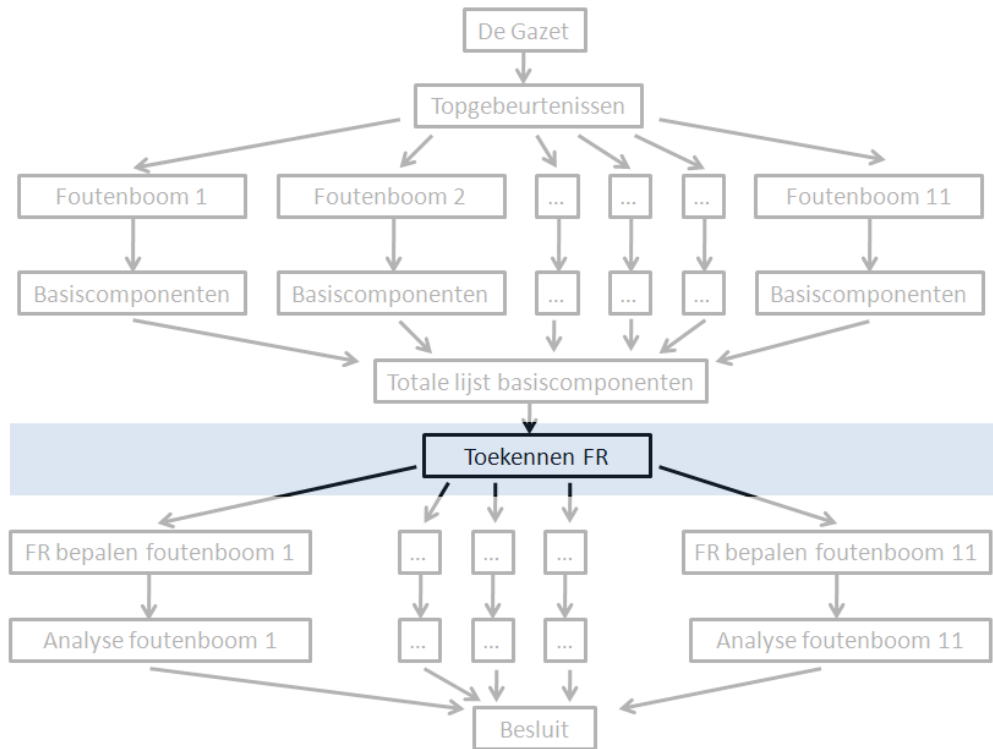
We kunnen de bekomen basisgebeurtenissen in twee categorieën indelen (zie ook Tabel 5-3):

- 1) Hardwarecomponenten die falen, defect zijn
- 2) Andere invloeden zonder het falen van componenten (bijv. door menselijke tussenkomsten van zowel NMBS-personeel als reizigers).

Tabel 5-3: Voorbeeld van oplijsting van basisgebeurtenissen voor elke foutenboom in 2 categorieën

Categorie	Basisgebeurtenis
Defecte componenten	AH4 stuk/ lekt
	RD(1/29) defect (blijft plakken,...)/ RG
	RET defect
Andere invloeden zonder falen van componenten	...
	d4 10N niet gesloten
	d40 staat open
	d42 niet gesloten
	...

5.4 Toekennen van Faalfrequenties FR(t)



Om een cijferanalyse te kunnen uitvoeren op een foutenboom dienen we voor elk van de basisgebeurtenissen een waarde van waarschijnlijkheid van optreden te bepalen. In samenspraak met de begeleiders werd geopteerd om als maatstaf het begrip ‘Faalfrequentie’ (Eng: Failure Rate - FR) te beschouwen. Zoals reeds aangeven is de eenheid voor de Failure Rate **[de kans dat de topgebeurtenis optreedt / deurcyclus]** of wegens de specifieke aard van Topgebeurtenissen 3 en 7 **[de kans dat de topgebeurtenis optreedt / bedrijfsuur]**.

We hebben 2 manieren beschouwd waarop we waarden voor de Failure Rates baseren:

- 1) Volgens militaire specificaties van het Amerikaanse leger (MIL-Spec [8]) voor de betrokken elektrische en mechanische componenten
- 2) Volgens statistische informatie verkregen uit de onderhouds- en exploitatiedatabases beschreven in Hoofdstuk 4.

Door deze duale werkwijze zullen we in al onze cijferanalyses 2 lijsten met Failure Rates bekomen, enerzijds gebaseerd op de MIL-Spec en anderzijds op de onderhouds- en exploitatiegegevens.

5.4.1 Toekenning van Failure Rates volgens MIL-Spec

Omdat het bepalen van Failure Rates volgens MIL-Spec een vaak gebruikte methode is, zijn er softwareprogramma's beschikbaar waarin de waarden voor de Failure Rates volgens MIL-Spec vervat zijn. We hebben voor onze FTA gebruik gemaakt van het programma 'ALD MTBF-Calculator'[15]. De bekomen waardes voor elke component worden in de tabellen met cijferanalyses weergegeven in de kolom 'FR MRQ (MIL-Spec)'.

5.4.2 Toekenning van Failure Rates volgens data uit onderhoud en exploitatie

Omdat we ook een cijferanalyse willen uitvoeren m.b.v. de beschikbare cijfers uit de databases van de NMBS, worden de Failure Rates die bepaald zijn via deze weg in de tabellen met cijferanalyses opgelijst in de kolom 'FR MRQ (Onderhoud en Exploitatie)'. We opteren om ook Failure Rates uit de onderhouds- en exploitatiedata te bekomen omdat het niet zeker is of bepaalde componenten dezelfde, betere of slechtere werkelijke Failure Rates hebben dan deze opgelijst in de MIL-Spec databases.

5.4.2.1 Bepaling van Failure Rates uit de databases van onderhoud en exploitatie

Om de Failure Rate te bepalen, beschouwen we enkel de componenten die bij onvoorziene onderhoudstussenkomsten vervangen worden. De componenten die preventief worden vervangen tijdens een herziening (zie ook Tabel 3-2) worden uiteraard niet meegerekend. Vergelijking 3 wordt gebruikt om de absolute cijfers uit de databases om te zetten naar Failure Rates:

$$FR(\text{component } x) = \frac{\text{Aantal falingen op jaarbasis van componentenreeks } x}{\text{Aantal cycli uitgevoerd op jaarbasis door alle componenten } x} \quad (3)$$

Hoofdstuk 5: R-Analyse instapdeuren AM75-77

Het aantal deurcycli uitgevoerd op jaarbasis is een inputparameter in de berekening van de FR. We lezen uit Tabel 4-3 voor deze parameter voor de AM75-77 een waarde af van 11.616.000 cycli op jaarbasis. Uit de diagramma's van de verdelers kunnen we het overeenkomstig aantal bedrijfsuren schatten. Voor de AM75-77 bekomen we 2.718 bedrijfsuren in exploitatie op jaarbasis. Zo kunnen we de nodige conversie maken ter bepaling van de FR voor de foutenbomen van topgebeurtenissen 3 en 7.

NOOT: WANNEER WE VOOR BEPAALDE BASISGEBEURTENISSEN GEEN DATA GEVONDEN HEBBEN IN DE ONDERHOUDS- EN EXPLOITATIEDATABASES, HEBBEN WE GEOPTERD DE FAILURE RATE UIT DE MIL-SPEC OVER TE NEMEN.

Bij wijze van voorbeeld lijst Tabel 5-4 beide FR op voor de basisgebeurtenissen in Tabel 5-3 .

Tabel 5-4: Voorbeeld van FR volgens MIL-Spec en Onderhouds- en exploitatiedatabases voor enkele basisgebeurtenissen

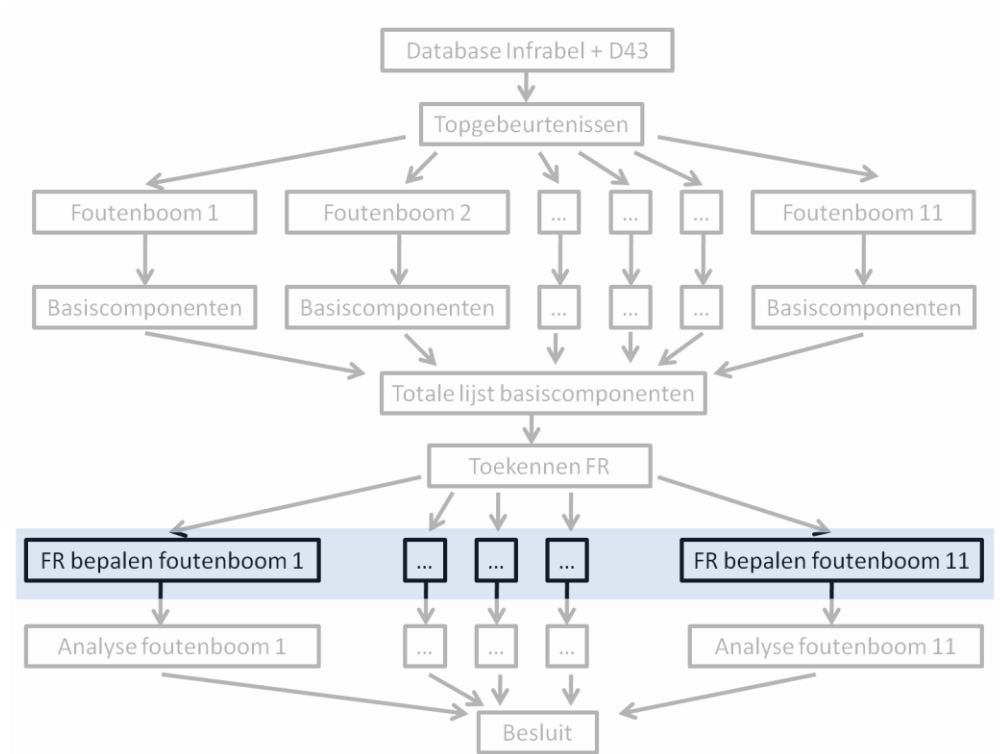
Categorie	Basisgebeurtenis	FR MRQ (MIL-Spec) [per cyclus]	FR MRQ (Onderhoud & Exploitatie) [per cyclus]
Defecte componenten	AH4 stuk/ lekt	8,84E-06	8,61E-08
	RD(1/29) defect (blijft plakken,...)/ RG	2,77E-09	2,77E-09
	RET defect	2,77E-09	2,77E-09
Andere invloeden zonder falen van componenten	d4 10N niet gesloten	1,00E-09	1,00E-09
	d40 staat open	1,00E-09	1,00E-09
	d42 niet gesloten	1,00E-09	1,00E-09

5.4.3 Aannames bij 'andere invloeden zonder falen van componenten'

Merken we op dat de uitgevoerde analyse een Fault Tree Analysis is en geen Risico-Analyse. Bij laatstgenoemde zouden invloeden door menselijke tussenkomsten zeker verder uitgespit moeten worden.

Zoals blijkt uit Tabel 5-4 werd bij onze FTA voor menselijke tussenkomsten een vaste Failure Rate van 1,00E-09 genomen. Dit komt overeen met de in de literatuur terug gevonden waarde voor de FR voor componenten met een verwaarloosbare invloed. Indien invloeden door menselijke tussenkomsten wel dienen meegenomen te worden in deze FTA, kunnen de FR bijgesteld worden indien nauwkeurige data hieromtrent beschikbaar is. Het is echter geen sinecure zulke data te verzamelen.

5.5 Bepalen van de Failure Rate voor een topgebeurtenis



De eerste stap in de effectieve cijferanalyse is het bepalen van de totale kans dat een topgebeurtenis kan optreden a.d.h.v. de toegekende Failure Rates voor de basisgebeurtenissen. De bekomen waarden voor de 11 topgebeurtenissen worden opgelijst in Tabel 5-5 .

De kolommen in Tabel 5-5 geven achtereenvolgens weer:

- 1) De waargenomen Failure Rates uit exploitatie (zelfde getalwaarden als in Tabel 5-1)
- 2) De Failure Rates die voortkomen uit de FTA gebaseerd op de MIL-Spec
- 3) De Failure Rates die voortkomen uit de FTA gebaseerd op de databases van onderhoud en exploitatie

NOOT: DE OPMAAK VAN DE TABELLEN MET CIJFERANALYSES VERSCHILT VAN DE ANDERE TABELLEN IN DEZE THESIS. DIT OMWILLE VAN DE GROTE HOEVEELHEID GEGEVENS DIE DIET WEERGEGEVEN TE WORDEN. WE VERONTSCHULDIGEN ONS NAAR DE LEZER VOOR DEZE NIET-UNIFORMITEIT.

Tabel 5-5: Waargenomen en berekende Failure Rates voor de verschillende topgebeurtenissen

Top-gebeurtenis	Exploitatie (Infrabel + D43)		Failure Rate volgens MIL-Spec [per cycli]		Failure Rate volgens Onderhoud en Exploitatie [per cycli]	
	Absoluut #	FR(Exploitatie) [per cycli]	FR [per cycli]	$\frac{FR_{MILSpec}}{FR_{Expl.}}$	FR [per cycli]	$\frac{FR_{MILSpec}}{FR_{Expl.}}$
1	84	7,23E-06	1,71E-04	24	6,01E-05	8
2	11	9,47E-07	1,73E-04	182	6,87E-05	73
3	3	2,58E-07	6,26E-06	2	1,57E-05	5
4	1	8,61E-08	1,61E-05	187	3,43E-05	398
5	3	2,58E-07	1,54E-05	60	3,01E-05	117
6	17	1,46E-06	1,09E-06	593/799	1,98E-05	14
7	2	1,72E-07	1,94E-09	0	5,12E-09	1/408
8	2	1,72E-07	9,46E-07	5	2,45E-06	14
9	2	1,72E-07	1,24E-05	72	1,38E-05	80
10	2	1,72E-07	1,48E-06	9	3,60E-06	21
11	23	1,98E-06	7,36E-06	4	1,55E-05	8

In de volgende paragrafen vergelijken we de cijferwaarden bekomen in de verschillende kolommen van Tabel 5-5.

5.5.1 Vergelijking FR volgens MIL-Spec t.o.v. Exploitatie (Infrabel + D43)

Wanneer we de cijferwaarden bekomen uit de MIL-Spec vergelijken met het werkelijke optreden in exploitatie merken we dat de berekende kansen groter of gelijk zijn aan deze in exploitatie. Dit is in overeenstemming met de literatuur waarin meestal omschreven wordt dat de berekende waarden volgens de MIL-Spec ongeveer 10 maal strenger zijn (dus hoger liggen) dan de werkelijkheid. In onze situatie liggen de waardes volgens MIL-Spec in 8 van de 11 gevallen 2 à 200 maal hoger. Slechts in één geval is de MIL-Spec iets kleiner dan de waarnemingen in exploitatie, namelijk bij Topgebeurtenis 6: Deur vergrendelt niet.

5.5.2 Vergelijking FR volgens Onderhoud Exploitatie t.o.v. Exploitatie

Bovenstaand beschreven fenomeen treedt nog duidelijker naar voor wanneer we de Failure Rates volgens Onderhoud en Exploitatie naast de waargenomen waarden leggen. De berekende Failure Rates liggen steeds hoger dan de waargenomen waardes (grootteorde 10-100).

Een mogelijke verklaring hiervoor ligt in de wijze waarop de Failure Rates aan de basisgebeurtenissen worden toegekend. Ze zijn gebaseerd op de bijgehouden data en de aantallen aan verbruikte wisselstukken in onvoorziën onderhoud. Dit impliceert dat de nauwkeurigheid van de datavergaring een grote invloed heeft op het eindresultaat.

Daarnaast kunnen we nog volgende bijkomende beschouwingen maken:

- De data wordt in zekere zin 'vervuild' door preventieve voorzorgsmaatregelen in curatief onderhoud. We kunnen dit best illustreren aan de hand van een praktijkvoorbeeld. Zo is het niet ondenkbaar dat wanneer het falen van de Elektroklep Openen wordt vastgesteld de Elektroklep Sluiten preventief vervangen wordt tijdens de herstelling. Zulke acties hebben uiteraard een positief gevolg voor de totale betrouwbaarheid maar geven een vertekend beeld van de effectieve faalfrequenties. Preventieve acties tijdens een curatieve onderhoudstussenkomst kunnen de datavergaring voor een FTA bemoeilijken
- Sommige topgebeurtenissen (bijv. 3 en 7) hebben een zeer laag voorkomen in absoluut aantal voor het beschouwde tijds kader (respectievelijk 3 en 2). Hierdoor is deze data dus sterk ruisgevoelig.

Bovenstaand maakt duidelijk dat de manier waarop incidenten en herstellingen worden opgevolgd en bijgehouden in databases een grote invloed heeft op de nauwkeurigheid van een FTA.

5.5.3 Vergelijking tussen de topgebeurtenissen

Wanneer we de topgebeurtenissen onderling gaan vergelijken, zien we dat volgens de berekende waarden uit de opgestelde foutenbomen 2 paren topgebeurtenissen quasi dezelfde Failure Rate delen. Een ander paar topgebeurtenissen die quasi dezelfde fenomenen beschrijven, verschillen dan weer sterk in Failure Rate. We becommentariëren kort de vaststellingen voor deze 3 paren.

5.5.3.1 Topgebeurtenissen 1 (Deur sluit niet) en 2 (Deur opent niet)

Het is logisch dat deze twee topgebeurtenissen quasi dezelfde berekende FR delen daar het falen voor beide toegewezen kan worden aan het defect zijn van dezelfde componenten.

De waargenomen FR uit exploitatie voor topgebeurtenis 1 is echter significant hoger dan deze voor topgebeurtenis 2. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de treinbegeleider(ster) tijdens de vertrekprocedure dient na te gaan of alle deuren gesloten zijn. Het nagaan of alle deuren effectief openen bij elke halte behoort niet tot zijn/haar takenpakket wat een verklaring kan zijn voor het minder frequent rapporteren van topgebeurtenis 2. Bovendien zal één deur die niet opent de exploitatie niet hinderen. Een deur die niet sluit daarentegen zal de trein immobiliseren.

5.5.3.2 Topgebeurtenissen 4 (Deur opent te traag) en 5 (Deur sluit te traag)

Hier zijn de vaststellingen analoog aan deze in bovenstaande paragraaf 5.5.3.1 .

5.5.3.3 Topgebeurtenissen 3 (Deur opent tijdens rit) en 7 (Deur opent bij een geïsoleerde deur)

Topgebeurtenissen 3 en 7 blijken volgens de waarnemingen in exploitatie (Infrabel + D43) dezelfde grootteorde aan voorkomen te vertonen. Deze vaststelling is verontrustend omdat dit impliceert dat het isoleren/afzonderen van een deur geen afdoende middel is voor de treinbegeleider om de exploitatie veilig verder te zetten.

Indien we de grootteordes van de FTA vergelijken gebaseerd op Failure Rates volgens MIL-Spec en volgens Onderhoud en Exploitatie dan valt op dat topgebeurtenis 3 een veel hogere FR bezit dan topgebeurtenis 7. Dit impliceert dus dat het conceptueel ontwerp er daadwerkelijk voor zorgt dat het isoleren/afzonderen van een deur een goede manier is om de exploitatie veilig verder te zetten.

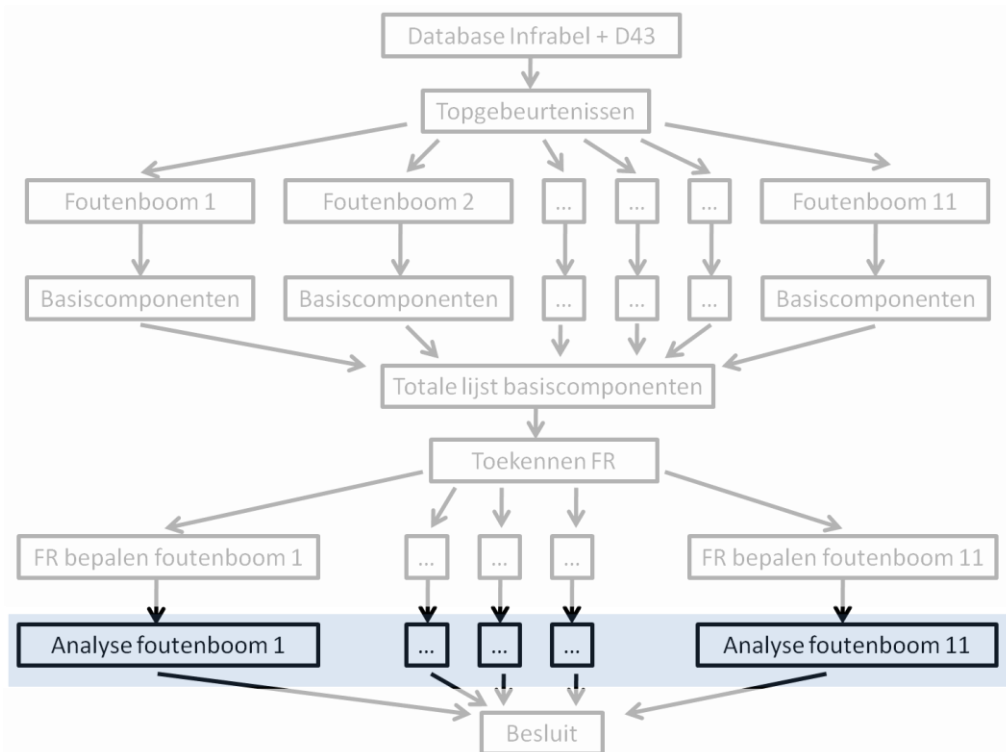
Een mogelijke verklaring waarom dit fenomeen niet in exploitatie wordt vastgesteld is dat tijdens het analyseren van de data uit exploitatie (Infrabel + D43) niet altijd even duidelijk af te leiden was of de deur effectief opende tijdens rit of dat ze voordien eerst werd afgezonderd. Doordat het absolute aantal relazen (3 respectievelijk 2) niet groot is zijn deze dus sterk ruisgevoelig.

Bovendien vertrekt de foutenboom van topgebeurtenis 7 vanuit de situatie van een volgens de procedures correct geïsoleerde deur (lucht afgelaten, deur vergrendeld en klinken buiten werking gesteld). Deze handelingen berusten op menselijk handelen bij technische problemen tijdens commerciële exploitatie. Indien één van de 2 afzonderingsstappen niet of onvoldoende is uitgevoerd dan vergroot de kans op openen tijdens rit aanzienlijk. Verklaring hiervoor zijn:

- Indien de perslucht correct is afgelaten maar de klinken niet buiten dienst zijn gesteld kunnen de deuren zonder probleem geopend worden bij bedienen van de klink
- Indien de klinken buiten dienst zijn gesteld maar de perslucht niet is afgelaten openen de deuren zodra de noodopening bediend wordt.

Hieruit blijkt dus overduidelijk dat de aannames die gekozen werden voor het uitvoeren van de FTA de berekende Failure Rates sterk beïnvloeden.

5.6 Analyse per topgebeurtenis



Enmaal de kansen op voorkomen per topgebeurtenis bepaald zijn, kan voor elk van de topgebeurtenissen een diepgaande analyse uitgevoerd worden. Deze start met het identificeren van de minimum Cut Sets om daarna hun procentuele invloed op de totale FR van de Topgebeurtenis te bepalen.

5.6.1 Analyse van Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet

Tabel 5-6 lijst voor alle Cut Sets in Topgebeurtenis 1 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Hoofdstuk 5: R-Analyse instapdeuren AM75-77

Tabel 5-6: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet

Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed
-	Rest (48-tal)	6,81E-06	4%		Rest(34-tal)	1,71E-06	3%
FR51	Compressor stuk	8,49E-07	1%	FR44	Draad los	3,44E-07	1%
FR57	EO/EF (elektroklep)	1,02E-06	1%	FR11	Element 10 defect	3,88E-07	1%
FR84	Probleem 8b: Geen spanning op draad CP1,2 deurniveau	1,24E-05	8%	FR13	Element 3 defect	3,88E-07	1%
FR53	Zuiger defect	1,42E-04	87%	FR12	Element 2 defect	4,30E-07	1%
	Totaal	1,63E-04	100%	FR23	Driehoekschakelaar defect	4,30E-07	1%
				FR37	GBA/ GBB defect	4,30E-07	1%
				FR14	Element 4 stuk	5,11E-07	1%
				FR15	Element 5 lekt	5,11E-07	1%
				FR52	Geleidingsrollen defect	6,03E-07	1%
				FR7	RO defect	1,03E-06	2%
				FR88	Telescopische arm defect	2,31E-06	4%
				FR57	EO/EF (elektroklep)	4,56E-06	7%
				FR45	Pneumatische leiding lek	6,89E-06	11%
				FR30	Schakelaar (a) defect (Faiveley)	7,23E-06	11%
				FR51	Compressor stuk	9,64E-06	15%
				FR53	Zuiger defect	1,34E-05	21%
				FR84	Probleem 8b: Geen spanning op draad CP1,2 deurniveau	1,38E-05	21%
					Totaal	6,46E-05	100%

Uit Tabel 5-6 stellen we vast:

- Bepaalde Cut Sets hebben een kleine tot verwaarloosbare invloed op het voorkomen van de topgebeurtenis (grootteorde 0-1%). Dergelijke Cut Sets zullen in de tabellen met de resultaten van de cijferanalyses van de volgende topgebeurtenissen niet meer apart opgelijst worden. Zij worden dan gebundeld onder de categorie 'Rest (x-tal)'. x-tal wordt meegegeven ter indicatie van hoeveel componenten/basisgebeurtenissen in de restgroep vervat zitten.
- Bij de cijferanalyse volgens MIL-Spec hebben slechts een beperkt aantal componenten/basisgebeurtenissen een significante invloed. Bij de cijferanalyse volgens onderhoud en exploitatie treden meerdere componenten op de voorgrond die elk een kleinere procentuele invloed hebben. Wel stellen we vast dat volgens beide berekeningswijzen het falen van de pneumatische zuiger/deurcilinder het meeste invloed heeft.

Wat de deurcilinder betreft, herinneren we aan het verschil tussen de deurcilinder deuren 1^{ste} klasse en de deurcilinder deuren 2^{de} klasse (zie ook paragraaf 4.4.3.2 en verder in deze thesistekst in Hoofdstuk 6).

De desbetreffende Failure Rates zijn:

- FR(Zuiger 1e klas)= 1,72E-05
- FR(Zuiger 2e klas)= 4,94E-06

Voor de bepaling van de FR volgens onderhoud en exploitatie hebben we de gevonden data voor beide types deurcilinder samengeteld om tot een FR te komen voor onze 'uniseks' deur.

De FR van Topgebeurtenis 1 zal voor een werkelijke deur 1^{ste} klasse hoger liggen dan deze bekomen voor onze modeldeur. Een werkelijke deur 2^{de} klasse zal dan weer een beduidend lagere FR voor Topgebeurtenis 1.

- De Cut Sets die meerdere componenten/gebeurtenissen groeperen hebben een verwaarloosbare invloed (FR in de grootteorde $10^{-40} \dots 10^{-20}$ t.o.v. de totale FR $\pm 10^{-4}$ per cyclus). De mathematische verklaring hiervoor is dat FR bij verplicht gelijktijdig optredende basiscomponenten/ gebeurtenissen vermenigvuldigd dienen te worden (Bij 2 componenten worden de grootteordes: $10^{-7} \cdot 10^{-7} \approx 10^{-14}$ per cyclus).

Hieruit kan een **aanbeveling voor modernisatie** gehaald worden: als het gemoderniseerde deursysteem zo gewijzigd wordt dat het falen van minstens 2 componenten vereist is om de normale deurwerking te verstoren zal de Failure Rate van dit systeem drastisch dalen. Dit is dus een **vraag naar redundantie**. We vermelden uitdrukkelijk dat deze redundantie dient getest te worden zodat het systeem na behandeling in onderhoud nog steeds redundant is.

Hoofdstuk 5: R-Analyse instapdeuren AM75-77

5.6.2 Analyse van Probleem 2: Deur opent niet

Tabel 5-7 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 2 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Tabel 5-7: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 2: Deur opent niet

Topgebeurtenis 2: Deur opent niet

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed
-	Rest (28-tal)	6,66E-06	4%	-	Rest (16-tal)	1,13E-06	2%
FR44	Draad los	9,44E-07	1%	FR11	Element 10 defect	3,88E-07	1%
FR83	Probleem 8a: Geen spanning op draad 41 (idem draad 40)	9,46E-07	1%	FR13	Element 3 defect	3,88E-07	1%
FR57	EO/EF (elektroklep)	1,02E-06	1%	FR44	Draad los	4,02E-07	1%
FR3	AH4 defect	8,84E-06	5%	FR12	Element 2 defect	4,30E-07	1%
FR84	Probleem 8b: Geen spanning op draad CP1,2 deurniveau	1,24E-05	7%	FR23	Driehoekschakelaar defect	4,30E-07	1%
FR53	Zuiger defect	1,42E-04	82%	FR14	Element 4 stuk	5,11E-07	1%
	Totaal	1,73E-04	100%	FR15	Element 5 lekt	5,11E-07	1%
				FR52	Geleidingsrollen defect	6,03E-07	1%
				FR35	PPA/ PPB defect	6,89E-07	1%
				FR7	RO defect	1,03E-06	2%
				FR88	Telescopische arm defect	2,31E-06	3%
				FR83	Probleem 8a: Geen spanning op draad 41 (idem draad 40)	2,45E-06	4%
				FR57	EO/EF (elektroklep)	4,56E-06	7%
				FR60	DOA/B Defect	7,77E-06	11%
				FR45	Pneumatische leiding lek	8,26E-06	12%
				FR51	Compressor stuk	9,64E-06	14%
				FR53	Zuiger defect	1,34E-05	19%
				FR84	Probleem 8b: Geen spanning op draad CP1,2 deurniveau	1,38E-05	20%
					Totaal	6,87E-05	100%

Uit Tabel 5-7 stellen we vast:

- Analoog aan vaststellingen gemaakt bij Tabel 5-6 .

5.6.3 Analyse van Topgebeurtenis 3: Deur opent tijdens rit

Tabel 5-8 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 3 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Tabel 5-8: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 3: Deur opent tijdens rit

Topgebeurtenis 3: Deur opent tijdens rit

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR [per uur]	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR [per uur]	%Invloed
-	Andlussen	2,12E-08	0%	-	AND-lussen	3,42E-08	0%
FR7	RO defect	3,37E-08	1%	FR55	Noodopening defect	3,13E-06	20%
FR55	Noodopening defect	6,20E-06	99%	FR7	RO defect	1,25E-05	80%
Totaal		6,26E-06	100%	Totaal		1,57E-05	100%

Uit Tabel 5-8 stellen we vast:

- De berekende FR van de topgebeurtenis wordt gedomineerd door slechts 2 componenten: het falen van een relais en de noodopening.
- We merken de aanwezigheid op van een Cut Set 'ANDlussen'. Deze groepeert een kluwen van AND-poorten in de foutenboom waardoor meerdere componenten samen moeten optreden om de topgebeurtenis te verwezenlijken. Doordat de procentuele invloed van deze lus verwaarloosbaar klein is, loont het de moeite niet het nodige rekenwerk te verrichten aan het bepalen van de afzonderlijke Cut Sets.

Uit bovenstaande vaststelling moeten we besluiten dat voor systemen met complexe AND-structuren de FTA m.b.v. het bepalen van de minimum Cut Sets niet aangewezen is.

5.6.4 Analyse van Topgebeurtenis 4: Deur opent te traag

Tabel 5-9 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 4 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Tabel 5-9: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 4: Deur opent te traag

Probleem 4: Deur opent te traag

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed
FR25	Smooropening defect	1,00E-09	0%	FR68	Element 2 gesloten	1,00E-09	0%
FR68	Element 2 gesloten	1,00E-09	0%	FR16	Element 9 defect	8,61E-08	0%
FR48	Vat 25l lekt	1,10E-07	1%	FR3	AH4 defect	8,61E-08	0%
FR49	Voedingsleiding lekt	1,10E-07	1%	FR48	Vat 25l lekt	1,10E-07	0%
FR50	Drukreducerder stuk	1,10E-07	1%	FR49	Voedingsleiding lekt	1,10E-07	0%
FR11	Element 10 defect	3,88E-07	2%	FR50	Drukreducerder stuk	1,10E-07	0%
FR13	Element 3 defect	3,88E-07	2%	FR11	Element 10 defect	3,88E-07	1%
FR88	Telescopische arm defect	4,80E-07	3%	FR13	Element 3 defect	3,88E-07	1%
FR14	Element 4 stuk	5,11E-07	3%	FR12	Element 2 defect	4,30E-07	1%
FR15	Element 5 lekt	5,11E-07	3%	FR14	Element 4 stuk	5,11E-07	1%
FR12	Element 2 defect	5,11E-07	3%	FR15	Element 5 lekt	5,11E-07	1%
FR16	Element 9 defect	5,11E-07	3%	FR25	Smooropening defect	6,46E-07	2%
FR45	Pneumatische leiding lek	7,68E-07	5%	FR52	Geleidingsrollen defect	2,41E-06	7%
FR51	Compressor stuk	8,49E-07	5%	FR57	EO/EF (elektroklep)	4,56E-06	13%
FR52	Geleidingsrollen defect	9,61E-07	6%	FR88	Telescopische arm defect	4,62E-06	13%
FR57	EO/EF (elektroklep)	1,02E-06	6%	FR51	Compressor stuk	9,64E-06	28%
FR3	AH4 defect	8,84E-06	55%	FR45	Pneumatische leiding lek	9,64E-06	28%
Totaal		1,61E-05	100%	Totaal		3,43E-05	100%

Uit Tabel 5-9 stellen we vast:

- De resultaten van de cijferanalyse volgens MIL-Spec en volgens onderhoud en exploitatie resulteren in een gelijkaardige rangschikking van de elementen.
- De meest invloedrijke componenten van Topgebeurtenissen 1 en 2 komen hier naar voor, hoewel ze wel in de beweging tussenkomen. Dit is een logisch gevolg van het feit dat de topgebeurtenis het te traag openen van een instapdeur beschrijft. Hierbij wordt ondersteld dat er laagspanning aanwezig is en dat de zuiger functioneert. Hierdoor verdwijnt de invloed van deze 2 Cut Sets uit Topgebeurtenissen 1 en 2.
- Bij de cijferanalyse volgens MIL-Spec treedt drukschakelaar AH4 naar voor. In de data van onderhoud en exploitatie is echter amper iets over deze drukschakelaar terug te vinden, waardoor zijn FR volgens onderhoud en exploitatie zeer laag wordt ingeschat. Dit onderstreept nogmaals de invloed van dataopvolging op een FTA.

5.6.5 Analyse van Topgebeurtenis 5: Deur sluit te traag

Tabel 5-10 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 5 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Hoofdstuk 5: R-Analyse instapdeuren AM75-77

Tabel 5-10: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 5: Deur sluit te traag

Topgebeurtenis 5: Deur sluit te traag

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed
FR25	Smooropening defect	1,00E-09	0%	FR68	Element 2 gesloten	1,00E-09	0%
FR68	Element 2 gesloten	1,00E-09	0%	FR16	Element 9 defect	8,61E-08	0%
FR48	Vat 25l lekt	1,10E-07	1%	FR3	AH4 defect	8,61E-08	0%
FR49	Voedingsleiding lekt	1,10E-07	1%	FR48	Vat 25l lekt	1,10E-07	0%
FR50	Drukreducerder stuk	1,10E-07	1%	FR49	Voedingsleiding lekt	1,10E-07	0%
FR23	Driehoekschakelaar defect	3,47E-07	2%	FR50	Drukreducerder stuk	1,10E-07	0%
FR11	Element 10 defect	3,88E-07	3%	FR11	Element 10 defect	3,88E-07	1%
FR13	Element 3 defect	3,88E-07	3%	FR13	Element 3 defect	3,88E-07	1%
FR88	Telescopische arm defect	4,80E-07	3%	FR12	Element 2 defect	4,30E-07	1%
FR14	Element 4 stuk	5,11E-07	3%	FR23	Driehoekschakelaar defect	4,30E-07	1%
FR15	Element 5 lekt	5,11E-07	3%	FR14	Element 4 stuk	5,11E-07	2%
FR12	Element 2 defect	5,11E-07	3%	FR15	Element 5 lekt	5,11E-07	2%
FR16	Element 9 defect	5,11E-07	3%	FR25	Smooropening defect	6,46E-07	2%
FR45	Pneumatische leiding lek	7,68E-07	5%	FR52	Geleidingsrollen defect	2,41E-06	8%
FR51	Compressor stuk	8,49E-07	6%	FR88	Telescopische arm defect	4,62E-06	15%
FR52	Geleidingsrollen defect	9,61E-07	6%	FR51	Compressor stuk	9,64E-06	32%
FR3	AH4 defect	8,84E-06	57%	FR45	Pneumatische leiding lek	9,64E-06	32%
Totaal		1,54E-05	100%	Totaal		3,01E-05	100%

Uit Tabel 5-10 stellen we vast:

- Analooq aan vaststellingen gemaakt bij Tabel 5-9

5.6.6 Analyse van Topgebeurtenis 6: Deur vergrendelt niet

Tabel 5-11 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 6 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Hoofdstuk 5: R-Analyse instapdeuren AM75-77

Tabel 5-11: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 6: Deur vergrendelt niet

Topgebeurtenis 6: Deur vergrendelt niet

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed
FR78	Geleidingsrollen uit geleiding	1,00E-09	0%	FR78	Geleidingsrollen uit geleiding	2,95E-07	1%
FR58	Vergrendeling Algemeen	1,09E-06	100%	FR58	Vergrendeling Algemeen	1,95E-05	99%
Totaal		1,09E-06	100%	Totaal		1,98E-05	100%

Uit Tabel 5-11 stellen we vast:

- In beide cijferanalyses komt de vergrendelrack (Figuur 72) naar voor. Dit is in lijn met onze verwachtingen daar de vergrendelrack de vergrendelfunctie op zich neemt. Op deze vergrendelrack zou opnieuw een FTA kunnen losgelaten worden om de invloed van al haar componenten (zoals vergrendelcilinder, veren, stangen, hefboommechanisme,..) te achterhalen. Dit zou ons voor deze thesisopdracht te ver hebben geleid.



Figuur 72: Vergrendelrack AM75-77

5.6.7 Analyse van Topgebeurtenis 7: Deur opent bij geïsoleerde deur

Tabel 5-12 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 7 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Tabel 5-12: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 7: Deur opent bij geïsoleerde deur

Probleem 7: Deur opent bij geïsoleerde deur			
FTA volgens MIL-Spec		FTA volgens Onderhoud & Exploitatie	
Totale FR	1,94E-09	Totale FR	5,12E-09

Uit Tabel 5-12 stellen we vast:

Er is geen onderverdeling in Cut Sets. Dit komt omdat de totale Failure Rate afkomstig is van een kluwen van AND-poorten waardoor meerdere componenten samen moeten optreden om de topgebeurtenis te verwezenlijken. Uit bovenstaande vaststelling moeten we besluiten dat voor systemen met complexe AND-structuren de FTA m.b.v. het bepalen van de minimum Cut Sets niet aangewezen is. Om de analyse van deze topgebeurtenis toch uit te voeren dient dit te gebeuren aan de hand van de foutenboom zelf.

Tot hiertoe hadden waren alle Topgebeurtenissen gesitueerd op het niveau van de instapdeuren. Paragrafen 5.6.8 tot en met 5.6.11 behandelen de Topgebeurtenissen die zich situeren op treinniveau.

5.6.8 Analyse van Topgebeurtenis 8: Geen spanning op draad 40/41

‘Geen spanning op draad 40/41’ beschrijft de Topgebeurtenis waarbij de treinbestuurder de deuren niet selectief kan vrijgeven. Tabel 5-13 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 8 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Hoofdstuk 5: R-Analyse instapdeuren AM75-77

Tabel 5-13: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 8: Geen spanning op draad 40/41

Topgebeurtenis 8: Geen spanning op draad 40/41

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed
FR71	Koppeling niet/onvoldoende gebeurd	2,50E-10	0%	FR71	Koppeling niet/onvoldoende gebeurd	2,50E-10	0%
FR73	Schakelaar I16.2 staat verkeerd	2,50E-10	0%	FR73	Schakelaar I16.2 staat verkeerd	2,50E-10	0%
FR62	d4 10N niet gesloten	7,50E-10	0%	FR62	d4 10N niet gesloten	7,50E-10	0%
FR67	dAS niet gesloten	7,50E-10	0%	FR67	dAS niet gesloten	7,50E-10	0%
FR47	Kortsluiting nr Massa op andere plaats	1,00E-09	0%	FR43	Koppeling stuk (elektrisch)	1,43E-08	1%
FR22	d4 10N defect	4,94E-09	1%	FR21	dAS defect	6,46E-08	3%
FR21	dAS defect	4,94E-09	1%	FR22	d4 10N defect	6,46E-08	3%
FR43	Koppeling stuk (elektrisch)	3,37E-08	4%	FR44	Draad los	1,00E-07	4%
FR44	Draad los	2,36E-07	25%	FR47	Kortsluiting nr Massa op andere plaats	1,35E-07	6%
FR34	Schakelaar (a) defect (Faiveley)	2,37E-07	25%	FR34	Schakelaar (a) defect (Faiveley)	2,58E-07	11%
FR26	Manipulator M1 defect	4,26E-07	45%	FR26	Manipulator M1 defect	1,81E-06	74%
Totaal		9,46E-07	100%	Totaal		2,45E-06	100%

Uit Tabel 5-13 stellen we vast:

- Beide cijferanalyses leiden tot een gelijkaardige rangschikking van componenten. De ritwisselaar 'Manipulator M1' heeft hierbij de grootste invloed.

5.6.9 Analyse van Topgebeurtenis 9: Geen spanning op draad CP1,2

'Geen spanning op draad CP1,2' beschrijft het niet aanwezig zijn van laagspanning op deurniveau. Tabel 5-14 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 9 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Hoofdstuk 5: R-Analyse instapdeuren AM75-77

Tabel 5-14: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 9: Geen spanning op draad CP1,2

Topgebeurtenis 9: Geen spanning op draad CP1,2

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed
FR62	d4 10N niet gesloten	1,00E-09	0%	FR62	d4 10N niet gesloten	1,00E-09	0%
FR67	dAS niet gesloten	1,00E-09	0%	FR67	dAS niet gesloten	1,00E-09	0%
FR68	Element 2 gesloten	1,00E-09	0%	FR68	Element 2 gesloten	1,00E-09	0%
FR80	Referentiedruk (Ahx)verkeerd ingesteld	1,00E-09	0%	FR80	Referentiedruk (Ahx)verkeerd ingesteld	1,00E-09	0%
FR47	Kortsluiting nr Massa op andere plaats	1,00E-09	0%	FR3	AH4 defect	8,61E-08	1%
FR22	d4 10N defect	6,59E-09	0%	FR21	dAS defect	8,61E-08	1%
FR21	dAS defect	6,59E-09	0%	FR22	d4 10N defect	8,61E-08	1%
FR48	Vat 25l lekt	1,10E-07	1%	FR48	Vat 25l lekt	1,10E-07	1%
FR50	Drukreducerder stuk	1,10E-07	1%	FR50	Drukreducerder stuk	1,10E-07	1%
FR45	Pneumatische leiding lek	1,10E-07	1%	FR44	Draad los	1,15E-07	1%
FR49	Voedingsleiding lekt	2,20E-07	2%	FR47	Kortsluiting nr Massa op andere plaats	1,35E-07	1%
FR44	Draad los	2,70E-07	2%	FR49	Voedingsleiding lekt	2,20E-07	2%
FR13	Element 3 defect	3,88E-07	3%	FR13	Element 3 defect	3,88E-07	3%
FR14	Element 4 stuk	5,11E-07	4%	FR12	Element 2 defect	4,30E-07	3%
FR15	Element 5 lekt	5,11E-07	4%	FR14	Element 4 stuk	5,11E-07	4%
FR12	Element 2 defect	5,11E-07	4%	FR15	Element 5 lekt	5,11E-07	4%
FR51	Compressor stuk	8,49E-07	7%	FR45	Pneumatische leiding lek	1,38E-06	10%
FR3	AH4 defect	8,84E-06	71%	FR51	Compressor stuk	9,64E-06	70%
Totaal		1,24E-05	100%	Totaal		1,38E-05	100%

Uit Tabel 5-14 stellen we vast:

- Zowel in de cijferanalyse volgens MIL-Spec als volgens onderhoud en exploitatie zijn een behoorlijk aantal pneumatische componenten aanwezig. Dit komt omdat een drukrelais de laagspanning slechts doorgeeft vanaf een minimum luchtdruk . Uit de onderhoudsdata blijkt dat de compressor en het sleutelen aan de pneumatische leidingen de meeste inspanningen vragen.
- We stellen opnieuw vast dat in de cijferanalyse volgens MIL-Spec de drukschakelaar AH4 naar voor komt als de component met de kleinste fiabiliteit. In tegenstelling tot de data opgetekend in het onderhoud. Een mogelijke verklaring ligt in het feit dat indien de drukschakelaar faalt door continu gesloten te blijven dit niet zal opgemerkt worden als zijnde een falen. Enkel wanneer de drukschakelaar zal falen door continu open te blijven zal dit gemerkt worden tijdens exploitatie. In onderhoud kan het falen door continu gesloten te zijn enkel opgemerkt worden door beproeving en uitmeting.

5.6.10 Analyse van Topgebeurtenis 10: Geen spanning op draad 44a

‘Geen spanning op draad 44a’ beschrijft het niet aanwezig zijn van spanning om een algemeen sluitbevel te kunnen geven. Tabel 5-15 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 10 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Tabel 5-15: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 10: Geen spanning op draad 44a

Topgebeurtenis 10: Geen spanning op draad 44a

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed
FR65	d44 staat open	1,00E-09	0%	FR65	d44 staat open	1,00E-09	0%
FR62	d4 10N niet gesloten	1,00E-09	0%	FR62	d4 10N niet gesloten	1,00E-09	0%
FR67	dAS niet gesloten	1,00E-09	0%	FR67	dAS niet gesloten	1,00E-09	0%
FR71	Koppeling niet/onvoldoende gebeurd	1,00E-09	0%	FR71	Koppeling niet/onvoldoende gebeurd	1,00E-09	0%
FR47	Kortsluiting nr Massa op andere plaats	2,00E-09	0%	FR43	Koppeling stuk (elektrisch)	5,74E-08	2%
FR22	d4 10N defect	6,59E-09	0%	FR19	d44 defect	8,61E-08	2%
FR21	dAS defect	6,59E-09	0%	FR21	dAS defect	8,61E-08	2%
FR19	d44 defect	6,59E-09	0%	FR22	d4 10N defect	8,61E-08	2%
FR43	Koppeling stuk (elektrisch)	1,35E-07	9%	FR44	Draad los	1,72E-07	5%
FR23	Driehoekschakelaar defect	3,47E-07	23%	FR47	Kortsluiting nr Massa op andere plaats	2,70E-07	7%
FR44	Draad los	4,05E-07	27%	FR23	Driehoekschakelaar defect	4,30E-07	12%
FR26	Manipulator M1 defect	5,68E-07	38%	FR26	Manipulator M1 defect	2,41E-06	67%
Totaal		1,48E-06	100%	Totaal		3,60E-06	100%

Uit Tabel 5-15 stellen we vast:

- De ritwisselaar M1 en de driehoekschakelaar vormen de componenten met de grootste invloed op het voorkomen van deze topgebeurtenis.

5.6.11 Analyse van Topgebeurtenis 11: TBS krijgt geen lamp deuren

‘TBS krijgt geen lamp deuren’ beschrijft de betrouwbaarheid van de deurlus (zie ook 2.3.1.4) kant treinbestuurder.

Tabel 5-16 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 11 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Hoofdstuk 5: R-Analyse instapdeuren AM75-77

Tabel 5-16: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77 Topgebeurtenis 11: TBS krijgt geen lamp deuren

Topgebeurtenis 11: TBS krijgt geen lamp deuren

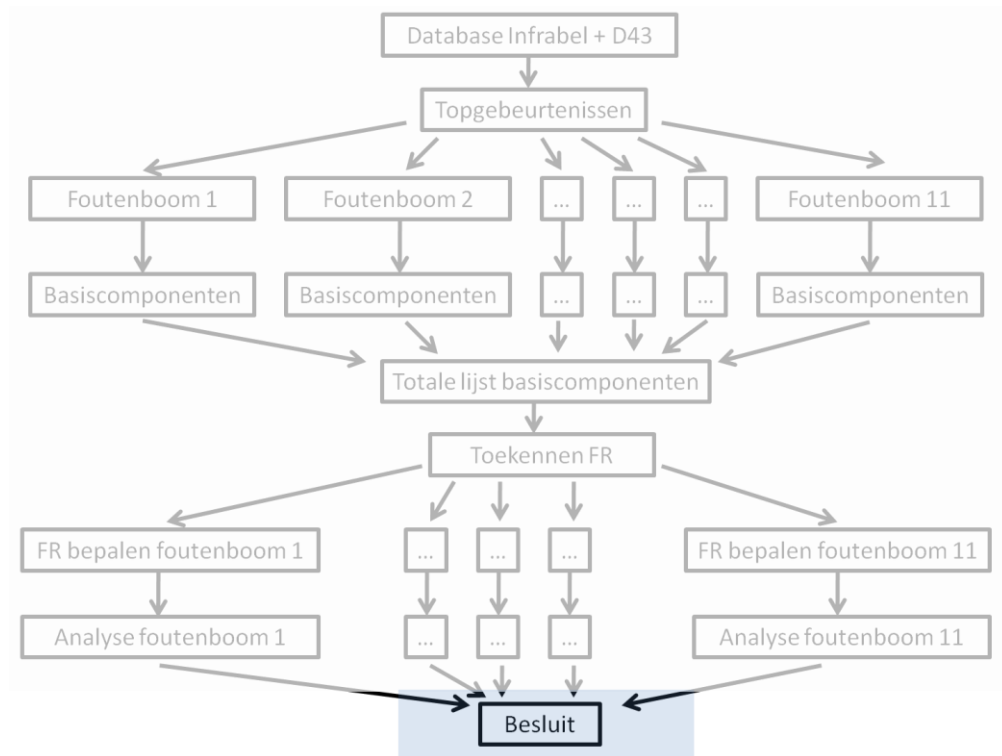
FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR [per cycli]	%Invloed
-	Rest (22-tal)	6,21E-08	1%	-	Rest (18-tal)	9,49E-08	1%
-	Zwarte drukknop defect	3,16E-07	3%	-	Zwarte drukknop defect	8,61E-08	1%
FR24	Microswitch CBF2/ CBF1/ CBR defect	9,47E-07	8%	FR22	d4 10N defect	8,61E-08	1%
FR26	Manipulator M1 defect	1,14E-06	10%	FR21	dAS defect	8,61E-08	1%
FR40	LSP defect	1,79E-06	16%	FR18	d42 defect	1,72E-07	1%
FR44	Draad los	7,15E-06	63%	FR47	Kortsluiting nr Massa op andere plaats	2,70E-07	2%
Totaal		1,14E-05	100%	FR24	Microswitch CBF2/ CBF1/ CBR defect	1,03E-06	8%
				FR10	RS defect	1,55E-06	12%
				FR40	LSP defect	1,79E-06	14%
				FR44	Draad los	3,04E-06	23%
				FR26	Manipulator M1 defect	4,82E-06	37%
				Totaal		1,29E-05	100%

Uit

Tabel 5-16 stellen we vast:

- Volgens beide cijferanalyses hebben de ritwisselaar M1, de lamp stuurpost en de relais die per deur de deurlus sluiten een prominente invloed.

5.7 Besluit uit de cijferanalyses: inventaris van kritieke componenten



Nu we de cijferanalyses uitgevoerd hebben op de foutenbomen van alle topgebeurtenissen, zijn we gekomen aan het synthetiseren van al deze gegevens tot een besluit. Als besluit willen we een inventaris opmaken van de 3 componenten die het meeste invloed hebben op de topgebeurtenissen. Deze zullen we aanduiden met de term ‘kritieke componenten’.

5.7.1 Criteria voor het opstellen van een inventaris

We dienen volgende 3 criteria in acht te nemen

1) De procentuele verdeling van het optreden van elke gebeurtenis.

Figuur 65 toont aan dat 70% van de incidenten ondergebracht kan worden in volgende 3 Topgebeurtenissen:

- Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet
- Topgebeurtenis 6: Deur vergrendelt niet
- Topgebeurtenis 11: TBS krijgt geen lamp deuren

De Failure Rates van de componenten van deze 3 topgebeurtenissen wegen dus zwaarder door op de commerciële exploitatie wanneer we absolute aantallen beschouwen.

2) Faalkansen van de topgebeurtenissen mogen niet opgeteld worden

De deelverzameling van 2 of meer topgebeurtenissen is niet ledig. Hierdoor kan voor elke topgebeurtenis op zich een analyse gemaakt worden maar niet voor allen samen.

3) Sommige componenten vervullen naar hun functie in werking van de instapdeuren ook nog andere functies

Voorbeelden van dergelijke componenten zijn de compressor en de ritwisselaar.

5.7.2 Inventaris van componenten (top 3)

De combinatie van bovenstaande criteria leverde uiteindelijk volgende top 3 in volgorde van belangrijkheid:

1) De pneumatische zuiger/deurcilinder (FR53)

De deurcilinder heeft een zeer grote invloed in topgebeurtenissen 1 en 2. Daar deze topgebeurtenissen samen een dominant aandeel hebben in de incidenten met de instapdeuren van de AM75-77, komt de deurcilinder als meest kritieke component naar boven.

2) De Telescopische geleiding (FR88)

De telescopische geleiding heeft een belangrijk aandeel in topgebeurtenissen 1 en 2 als 4 en 5.

3) De vergrendelrack (FR58)

De vergrendelrack speelt een cruciale rol bij het optreden van topgebeurtenissen 3 en 6.

We hebben ervoor gekozen om in Hoofdstuk 6 te achterhalen welke oorzaken de hoge FR van de pneumatische zuiger/cilinder kunnen verklaren.

De telescopische geleiding wordt hierbij ook in mindere mate betrokken wegens de onderlinge samenhang die zij vertonen bij het uitvoeren van hun functies.

We hebben ervoor geopteerd de vergrendelrack niet in extenso te behandelen.

Eenzijds wegens het gebrek aan adequate data omtrent de prestaties van haar subcomponenten. Anderzijds zal deze vergrendelrack bij de modernisatie grondig 'uitgekleed' worden, wat diepgaand onderzoek van het complexe mechanisme bij voorbaat overbodig maakt.

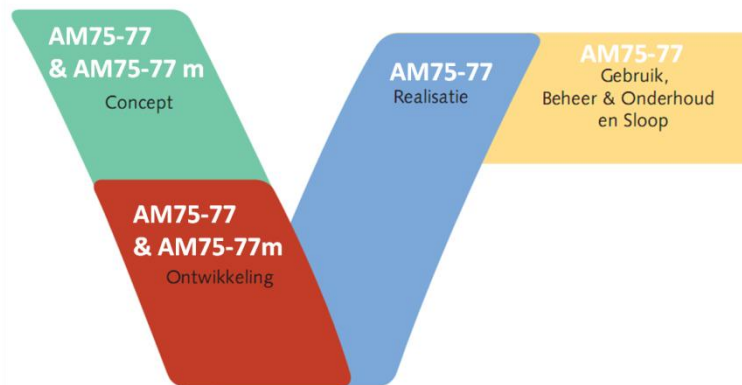
Hoofdstuk 6 De deurcilinder doorheen haar levenscyclusfasen

In het vorige hoofdstuk hebben we na onze inventarisatie (zie paragraaf 5.7) de deurcilinder als meest kritieke component bevonden. Alle deurcilinders worden bij elke grote herziening (=RIK) van een motorstel afgenomen te CW Mechelen. Zij worden te CW Mechelen onderworpen aan een revisie zodanig dat ze blijvend gebruikt kunnen worden.

Een revisie heeft als doel de cilinder vrij van falen te houden tussen twee herzieningen in. Dit betekent dat de beoogde levensduur voor een deurcilinder ongeveer 6 jaar is afhankelijk van het aantal afgelegde kilometer van het motorstel waarop hij gemonteerd is.

De realiteit toont aan dat vele deurcilinders voortijdig uitvallen en hun beoogde levensduur niet halen. Hierbij is gebleken dat de deurcilinder voor de enkelvoudige deuren 1^{ste} klasse het meest onderhevig is aan defecten (zie o.a. paragraaf 4.4.3.1).

Om deze redenen en ook met het oog op de modernisatie bestuderen we de cilinder meer in detail waarbij we al de verschillende levenscyclusfasen in acht nemen (Figuur 73 en eerder in paragraaf 3.3.4). We bekijken allereerst de conceptuele vereisten van de deurcilinder voor de AM75-77. Daarna behandelen we de realisatie in de huidige AM75-77 en de ontwikkelingen die verder verricht werden. De volgende logische stap is het vaststellen van mechanismen die voortijdig falen introduceren en de onderhoudsketting, die dit voortijdig falen moet verhinderen, van naderbij bekijken. In laatste instantie behandelen we de conceptuele vereisten en ontwikkelingen voor de deurcilinder van de AM75-77m.

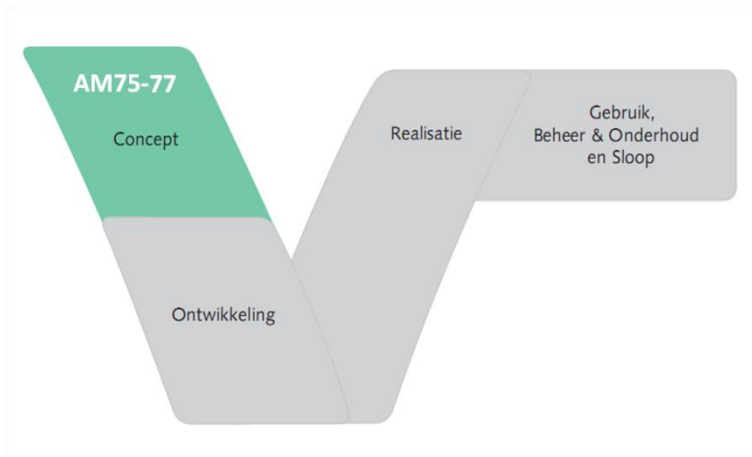


Figuur 73: Hoofdstuk 6 - Levenscyclusfasen deurcilinder AM75-77(m)

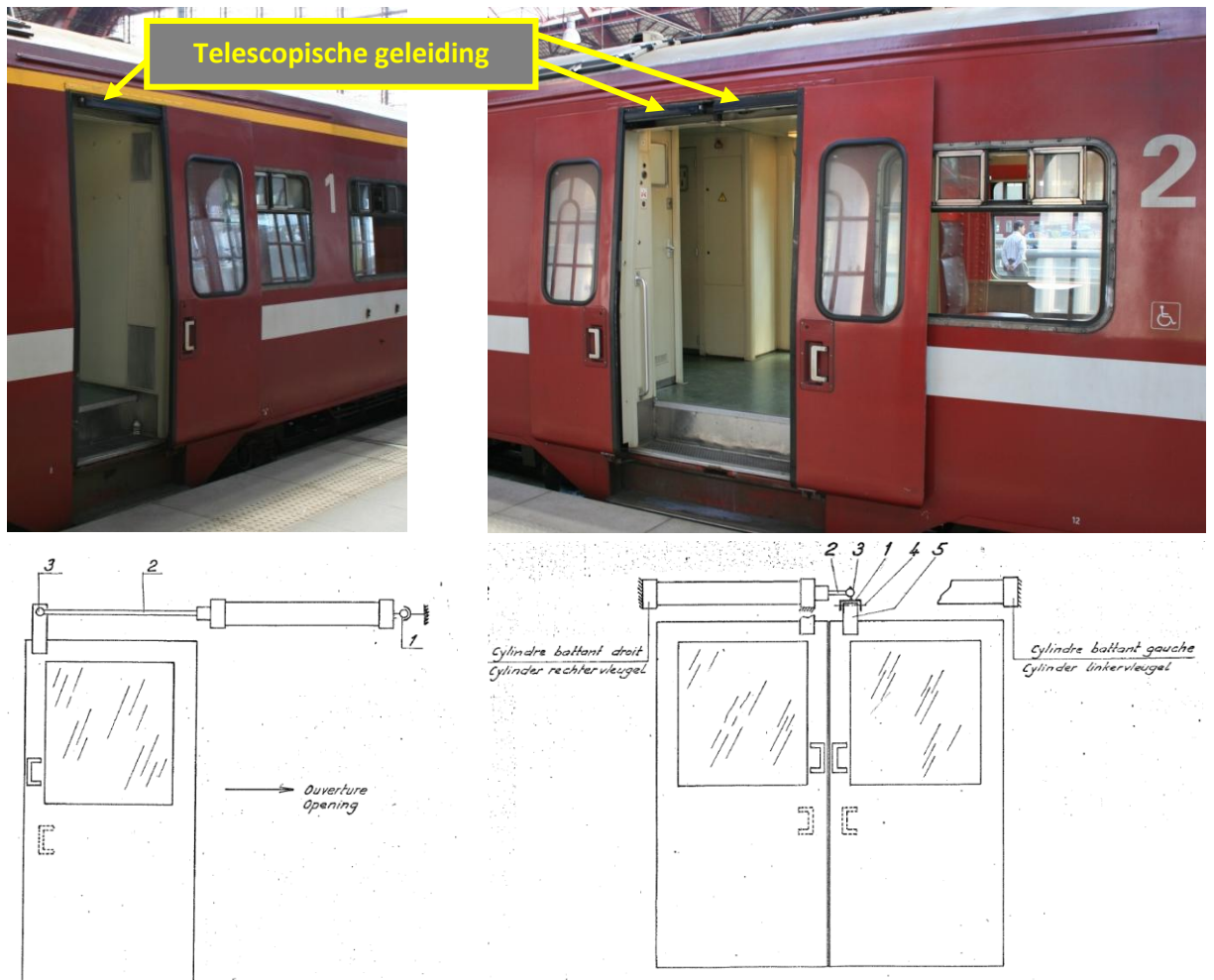
De doelstellingen van dit hoofdstuk zijn:

- Beschrijven van het concept en de ontwikkelingen voor de deurcilinders van de AM75-77 voor en bij modernisatie (AM75-77m)
- Onderzoek naar de faalmechanismen en onderhoudsverrichtingen van/aan de huidige deurcilinders van de AM75-77
- Aandachtspunten formuleren voor de deurcilinders bij modernisatie

6.1 Concept deurcilinder AM75-77



Als concept voor de instapdeuren werd geopteerd voor zwenkschuifdeuren die gedragen worden door een telescopische geleiding (bovenste rij Figuur 74). Als deurmotor wordt een pneumatische cilinder gebruikt. De slag van de deurcilinder neemt hierbij de volledige verplaatsing van een deurvleugel voor haar rekening. Dit impliceert het gebruik van lange, slanke deurcilinders.



Figuur 74: Visualisatie conceptueel verschil deur 1^{ste} klasse (links) en deur 2^{de} klasse (rechts) AM75-77

In Figuur 74 merken we allereerst het geometrisch verschil op tussen een deur 1^{ste} klas en een deur 2^e klas. Deze constructieve verschillen worden concreet voor de deurcilinders vertaald in:

- 1^{ste} klasse deur (+ pakwagendeur): 1 brede deurvleugel gestuurd door 1 deurcilinder met grotere slag. Door de configuratie van de deurcilinder in de kast staat de deurcilinder in uitgeschoven toestand wanneer de deur dicht is.
- 2^e klasse deur: 2 smallere deurvleugels gestuurd door 2 deurcilinders met kortere slag. De configuratie van de deurcilinders in de kast laten toe dat de deurcilinders in ingetrokken toestand zijn wanneer de deur dicht is.

6.2 Realisatie deurcilinder AM75-77



We bekijken met welke componenten bovenstaand concept origineel werd ingevuld voor de AM75-77. Alvorens de verschillende uitvoeringen van de deurcilinder te bespreken, behandelen we kort de uitvoering van de telescopische geleiding die een cruciale rol bij de deurbeweging vervult.

6.2.1 Uitvoering telescopische geleiding AM75-77

De telescopische geleiding van de AM75-77 (Figuur 75, waarbij de afdichtende kap is verwijderd) is vervaardigd door Kiekert in een tweetrapsuitvoering.

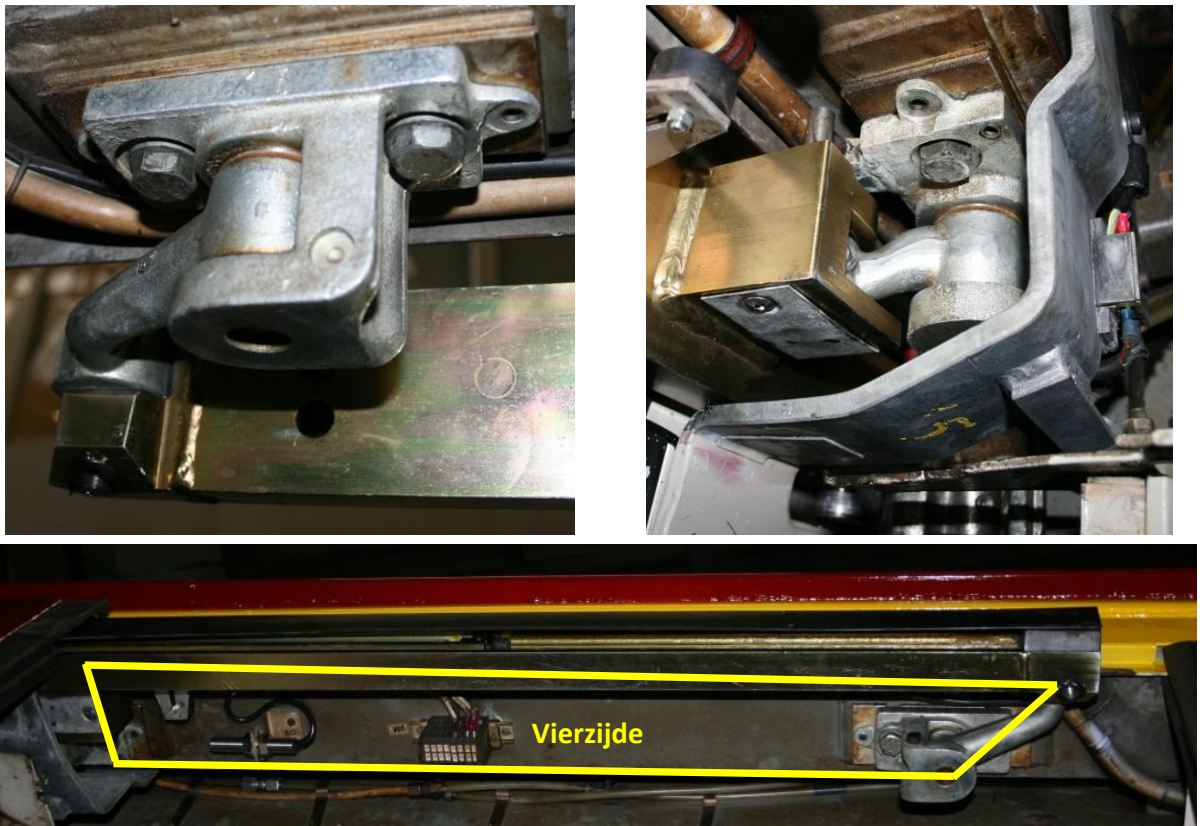


Figuur 75: Uitvoering telescopische geleiding AM75-77

Tussen de metalen geleiders lopen rollende elementen, afwisselend uitgevoerd in staal en kunststof (om de geluidsoverlast tijdens werking te minimaliseren). We wijzen op het feit dat de rollende elementen, in tegenstelling tot het originele ontwerp, niet door een kooi omringd worden. Deze lopen vrij rond in de geleidingsbanen waardoor ze zich zullen groeperen aan één zijde. Bij slijtage kan er speling optreden tussen de kogels en de kogelbanen waardoor de geleiding zal doorbuigen. We merken ook op dat de telescopische geleiding naar uitvoering een lineair kogellager kan genoemd worden.

Hoofdstuk 6: De deurcilinder doorheen haar levenscyclusfasen

De geleiding is in 2 vaste punten scharnierend opgehangen aan de kast (bovenaan Figuur 76). Daardoor kan de beweging kinematisch beschreven worden aan de hand van de principes van een vierzijde (onderaan Figuur 76).



Figuur 76: Ophanging telescopische geleiding aan de kast van de AM75-77

6.2.2 Uitvoering deurcilinder AM75-77

De deurcilinders werden destijds aangekocht bij Westinghouse, dat nu een onderdeel vormt van de Knorr-Bremse groep. Conform het gekozen concept (zie paragraaf 6.1) zijn de deurcilinders vervaardigd in 2 reeksen met een verschillende slaglengte. Daarbij komt nog dat er een verschil is in de deurcilinders aangekocht bij de subreeksen van de AM75-77 (zie ook Figuur 3 in paragraaf 2.3). De AM75 (20 stellen) werd geleverd met deurcilinders uitgevoerd in 2 trappen. Deze uitvoering wordt het 'oud model' genoemd. De latere reeksen AM76 en AM77 (telkens 12 stellen) werden geleverd met deurcilinders uitgevoerd in 1 trap. Deze worden het 'nieuwe model' genoemd. Tabel 6-1 geeft een overzicht van alle types deurcilinders in omloop.

Tabel 6-1: Overzicht verschillende types deurcilinders in omloop op motorstellen AM75-77

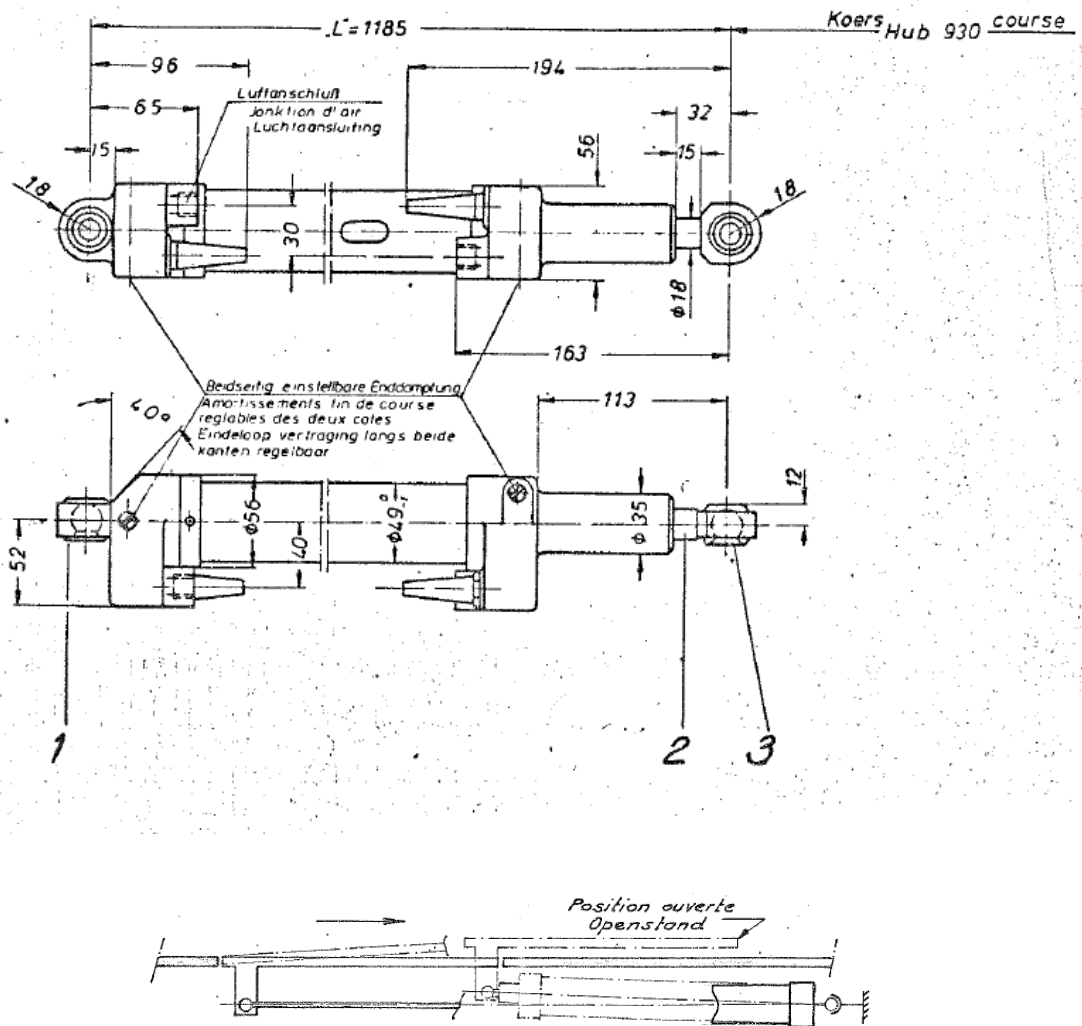
Type	Toegepast op deur	Koers	Model	Toestand bij gesloten deur	Aantal per motorstel
1	1 ^{ste} klasse + pakwagen	930 mm	'oud' (Figuur 81)	Uitgeschoven	6
2			'nieuw' (Figuur 82)		
3	2 ^{de} klasse	640 mm	'oud' (Figuur 81)	Ingetrokken	24
4			'nieuw' (Figuur 82)		

Hoofdstuk 6: De deurbuis doorheen haar levenscyclusfasen

We vervolgen met de afmetingen en operationele karakteristieken van de deurbuis deuren 1^{ste} klasse (+ pakwagen) en deuren 2^{de} klasse. Daarna besluiten we met de visualisatie van de verschillpunten tussen 'oud' en 'nieuw' model.

6.2.2.1 Afmetingen deurbuis 1^{ste} klasse (+ pakwagen)

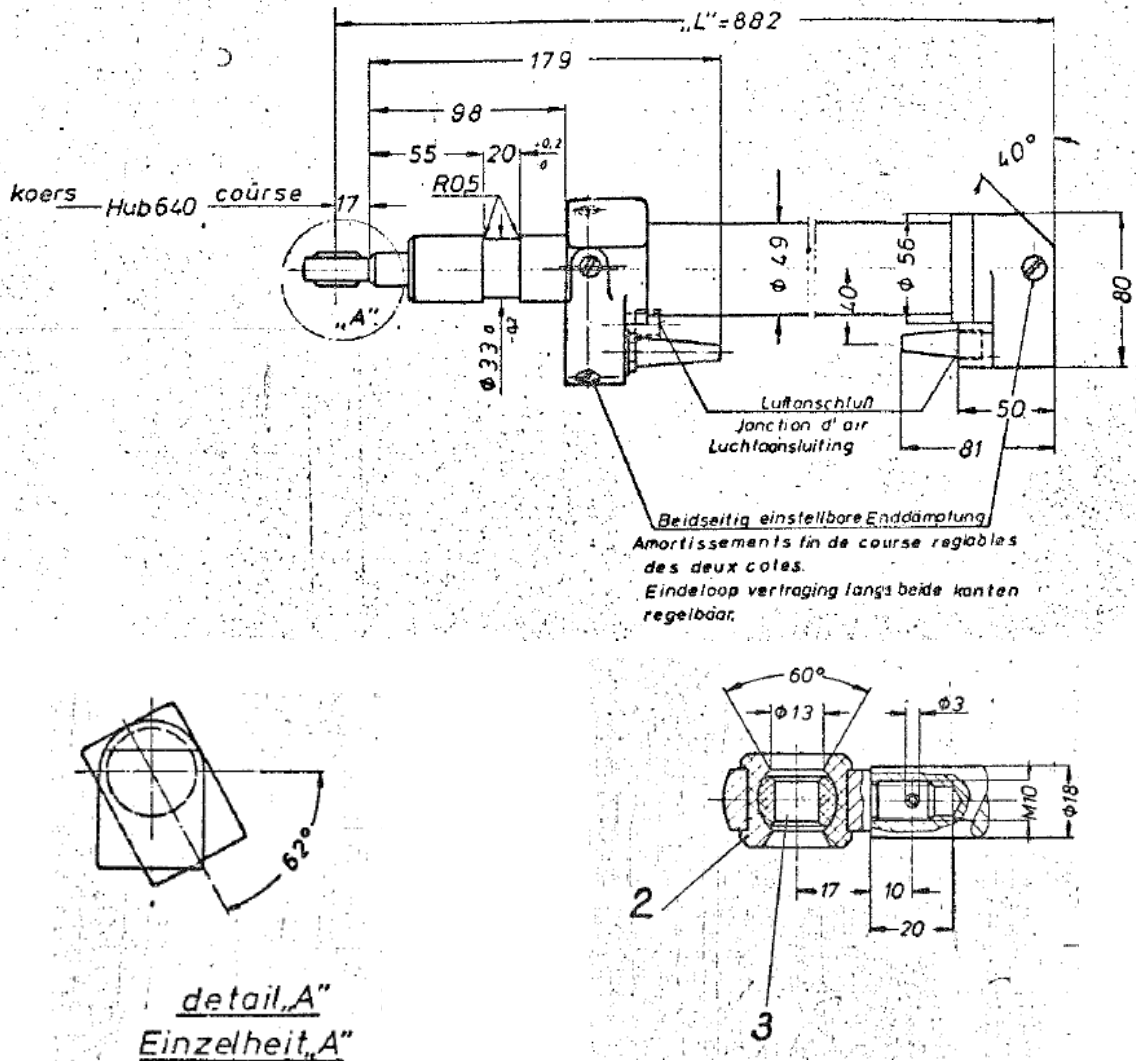
Figuur 77 geeft de afmetingen en de opstelling weer voor een deurbuis deur 1^{ste} klasse.



Figuur 77: afmetingen en opstelling deurbuis AM75-77 deur 1^{ste} klasse

6.2.2.2 Afmetingen deurglijder 2^e klasse

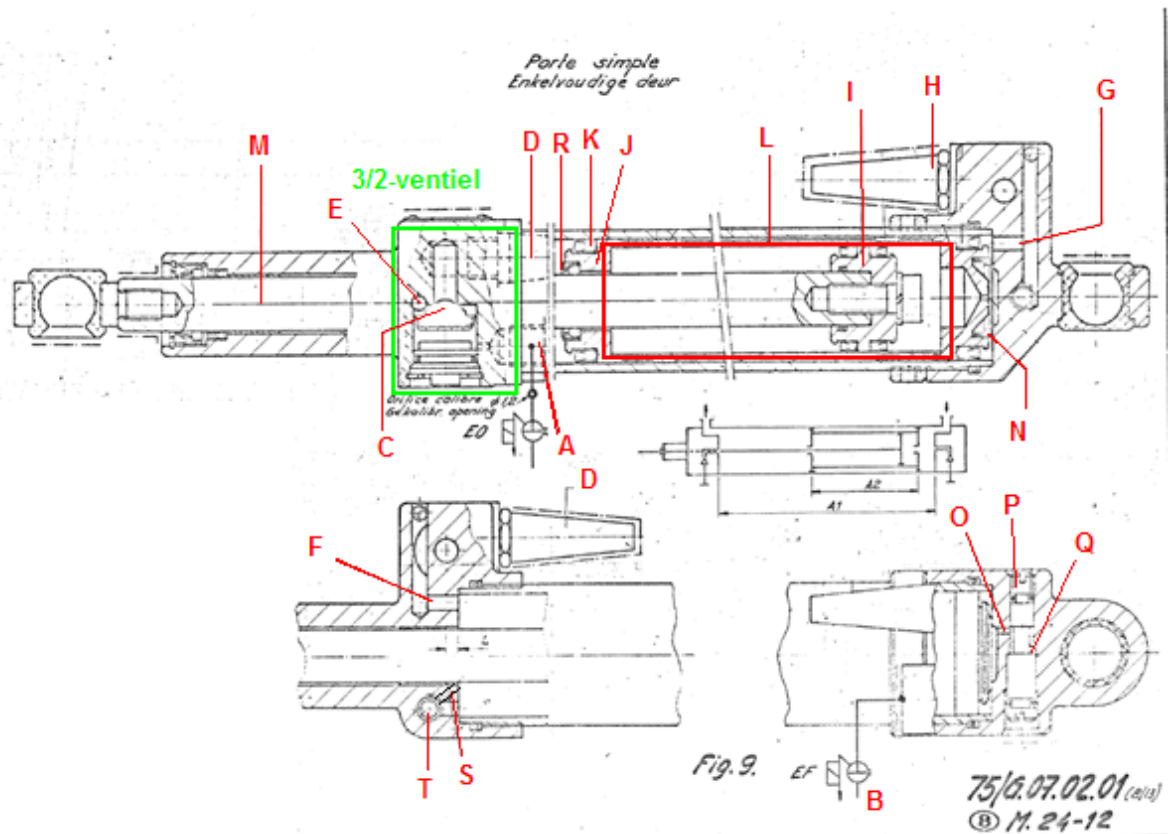
Figuur 78 geeft de afmetingen weer voor een deurglijder deur 2^{de} klasse.



Figuur 78: afmetingen deurglijder AM75-77 deur 2^{de} klasse

6.2.2.3 Werking deurglijders AM75-77

We bespreken de principiële werking van de deurglijders AM75-77 aan de hand van Figuur 79 waarin de functionele onderdelen van de AM75-77 weergegeven worden. Figuur 79 geeft een deurglijder weer van het type 1 uit Tabel 6-1 ('oud' model, deur 1^{ste} klasse). De werking voor een 'oud' model, deur 2^{de} klasse is volledig analoog. Voor de werking van de 'nieuwe' modellen dient de 'tussentrap' weg gedacht te worden.



Figuur 79: Functionele onderdelen deurcilinder AM75-77

Uitgaande slag: Begin van de beweging

De lezer moet zich voor ogen houden dat bij een deur 1^{ste} klasse de deur dicht is indien de cilinder volledig uitgeschoven is. Bij een deur 2^{de} klasse is dit net andersom. Bij een volledig ingeschoven cilinder is de deur dus open bij een deur 1^{ste} klasse. Voor een deur 2^{de} klasse is dit wederom andersom.

Vandaar dat op Figuur 79 de elektrokleppen EO (A, Electrovanne d'Ouverture) en EF (B, Electrovanne de Fermeture) noemen. Dit kan voor verwarring zorgen wanneer de lezer voorgaande niet goed in het achterhoofd houdt.

Ter verduidelijking:

voor een deur 1^{ste} klasse:

- EO zorgt voor het inschuiven van de cilinder en dus het openen van de deur
- EF zorgt voor het uitschuiven van de cilinder en dus het sluiten van de deur

voor een deur 2^{de} klasse:

- EO zorgt voor het inschuiven van de cilinder en dus het sluiten van de deur
- EF zorgt voor het uitschuiven van de cilinder en dus het openen van de deur

We vervolgen met de bespreking van de cilinder van een deur 1^{ste} klasse, vertrekkende van een gesloten deur en dus een uitgeschoven cilinder. Indien EO bekrachtigd wordt, zal deze elektroklep perslucht sturen naar punt A op Figuur 79. Dit punt A is verbonden met een 3/2-ventiel dat in de cilinderkop is ingebouwd. Aan de andere kant van de cilinder is eveneens een

dergelijk ventiel ingebouwd. Enkel het 3/2-ventiel aan de kop van de cilinder is in detail weergegeven (groene kader, Figuur 79). Het 3/2-ventiel aan de andere kant is volledig analoog. De luchtdruk die aan punt A toekomt, gaat door de gekalibreerde opening en komt in het 3/2-ventiel. De luchtdruk zal afsluiter C doen bewegen. Afsluiter C schuift omhoog en sluit hierdoor de verbinding naar atmosfeer af. De verbinding naar atmosfeer kant kop van de cilinder is punt D op Figuur 79. Door de geometrie van de afsluiter zal enkel de verbinding naar atmosfeer afgesloten zijn. Hierdoor kan de perslucht door opening E het huis van de cilinder binnendringen daar opening E intern verbonden is met punt F. Hierdoor wordt de voedingsdruk op de linkerhelft van de cilinder aangelegd.

Aan de rechterhelft zal EF niet bekrachtigd zijn waardoor op punt B geen luchtdruk maar atmosferische druk staat. Doordat de linkerhelft van de cilinder onder druk staat probeert de cilinder naar rechts te bewegen en drukt hierdoor het luchtvolume samen (indien dit niet meer onder druk stond). Via punt G wordt deze druk naar het 3/2-ventiel aan deze zijde van de cilinder gebracht. Daar het 3/2-ventiel langs deze kant niet in detail is weergegeven, wordt de werking besproken a.d.h.v. detail 3/2-ventiel voorkant cilinder. Punt G is met het equivalente punt E van het 3/2-ventiel verbonden. De samengeperste lucht uit de rechterhelft van de cilinder zal tegen de afsluiter drukken en deze omlaag doen schuiven. Hierdoor is de verbinding gemaakt met de uitgang naar atmosfeer (punt H).

Doordat nu links druklucht aanwezig is en rechts atmosferische druk, zal de cilinder naar rechts verschuiven en opent de deur 1^{ste} klasse.

Dit kan natuurlijk alleen maar geschieden indien de trap in het midden fungeert als een cilinder. Initieel bevindt punt I en punt J zich helemaal links (zie Figuur 79), kant kop van de cilinder. Het drukverschil tussen links en rechts zal eerst inwerken op punt K waardoor de eerste trap (aangeduid met L) naar rechts zal verschuiven. Dit punt K stelt op de figuur een machet voor. Dit zal geschieden totdat punt I tegen punt J zal stuiten en pas dan beweegt de cilinderstang (M) zelf ook mee. Opdat deze pneumatische cilinder naar behoren zou werken, zijn 4 machetten aanwezig, telkens twee per trap (heen- en weergaande beweging).

Uitgaande slag: Einde van de beweging

We hervatten de redenering op het moment dat de cilinderstang en de eerste trap bijna op het einde komen van hun slag. Bemerkt dat punt I zich links in de eerste trap (L) zal bevinden. De lucht wordt nog steeds via punt G en H naar atmosfeer uitgedreven. Eenmaal de eerste trap tot tegen het einde van het cilinderhuis gekomen is, bevindt er zich quasi geen lucht meer rechts van de eerste trap. Er bevindt zich enkel nog lucht binnenin de eerste trap.

Deze resterende luchthoeveelheid wordt aangewend om het einde van de slag te dempen. Een O-ring, hier aangeduid met N, sluit de hoeveelheid lucht binnenin de eerste trap af van het stuk rechts ervan. Hierdoor kan de lucht binnenin de eerste trap niet rechtstreeks afgevoerd worden naar atmosfeer. De lucht dient te stromen doorheen een gekalibreerde opening (O) en een regelvijs (P) naar opening (Q). Deze opening Q is intern verbonden met punt G en dus ook met de atmosfeer. Door de gekalibreerde opening en de regelvijs ondervindt de luchtstroming een

grotere weerstand en wordt het einde van de slag gedempt. Het verdraaien van deze regelvijs maakt de demping van de ingaande slag regelbaar.

Uitgaande slag: Begin van de beweging

Het begin van de beweging bij uitgaande slag is nagenoeg analoog aan deze van de ingaande slag. Door het bekrachtigen van EF wordt er perslucht gestuurd naar punt B op Figuur 79. Het 3/2-ventiel zal de uitgang naar atmosfeer afsluiten en deze perslucht doorlaten naar het huis van de cilinder via E.

Aan de linkerhelft zal EO niet bekrachtigd zijn. Hierdoor staat op punt A geen luchtdruk maar atmosferische druk. Doordat de rechterhelft van de cilinder onder druk staat, probeert de cilinder naar links te bewegen en drukt hierdoor het luchtvolume samen (indien dit niet meer onder druk stond). Via punt F wordt deze druk naar het 3/2-ventiel doorgelaten en zal daarbij de verbinding naar atmosfeer openen (D). Hierdoor kan de zijde links van de cilinder ontlucht worden.

Het verschil in druk zal nu de cilinder naar links doen bewegen. Hierbij vertrekt eerst de eerste trap (L) en deze zal pas daarna de cilinderstang (M) meenemen.

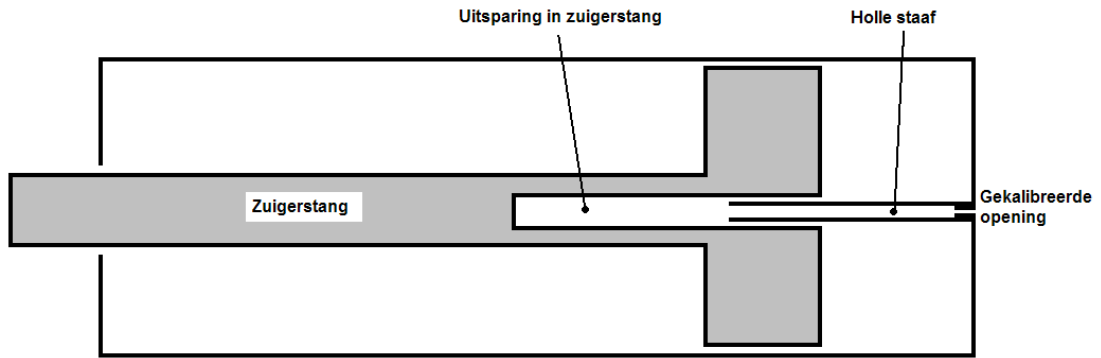
Uitgaande slag: Einde van de beweging

We hervatten de redenering als de cilinderstang en de eerste trap bijna op het einde komen van hun slag. Bemerkt dat punt I zich rechts in de eerste trap (L) zal bevinden. De lucht wordt nog steeds naar atmosfeer uitgedreven. Eenmaal de eerste trap tot tegen het einde van het cilinderhuis gekomen is, bevindt zich quasi geen lucht meer links van de eerste trap. Er bevindt zich enkel nog lucht binnenin de eerste trap.

Deze resterende luchthoeveelheid wordt aangewend om het einde van de slag te dempen. Een O-ring, hier aangeduid met R, sluit de hoeveelheid lucht binnenin de eerste trap af van het stuk links ervan. Hierdoor kan de lucht binnenin de eerste trap niet rechtstreeks afgevoerd worden naar atmosfeer. De lucht dient te stromen doorheen een gekalibreerde opening (S) en een regelvijs (T) naar punt E en dus naar atmosfeer. Door de gekalibreerde opening en de regelvijs ondervindt de luchtstroming een grotere weerstand en wordt het einde van de slag gedempt. Het verdraaien van deze regelvijs maakt de demping van de ingaande slag regelbaar.

Op deze manier is beknopt de werking van de cilinder deur 1^{ste} klasse uitgelegd. De werking van de cilinder deur 2^{de} klasse is gelijkaardig. De werking van de cilinders van het 'nieuwe' model is analoog, zij het zonder de eerste trap. Ook de demping verloopt analoog mits een aantal kleine wijzigingen. Een principeschema van de demping bij de deurbcilinders van het 'nieuwe model' voor de in- en uitgaande slag is weergegeven in Figuur 80.

Hoofdstuk 6: De deurbcilinder doorheen haar levenscyclusfasen



Figuur 80: Principeschema demping in- uitgaande slag pneumatische cilinder, 'nieuwe' model

Bij het 'nieuwe model' verloopt de demping als volgt:

- De demping van de ingaande slag wordt gecreëerd doordat een holle staaf in een uitsparing van de cilinderstang schuift (Figuur 80)Figuur 75. Het luchtvolume ingesloten in de uitsparing van de cilinderstang en de holte van de staaf dient doorheen een gekalibreerde opening en een regelvijs naar atmosfeer te stromen. Hierdoor wordt een regelbare demping bekomen.
- De demping van de uitgaande slag wordt gecreëerd doordat de getrapte cilinderstang de ongedempte luchtstroom naar atmosfeer verhindert. Hierdoor dwingt ze de resterende lucht via een gekalibreerde opening en een regelvijs naar de atmosfeer. Hierdoor wordt opnieuw een regelbare demping verkregen.

Hoofdstuk 6: De deurcilinder doorheen haar levenscyclusfasen

6.2.2.4 Operationele karakteristieken van de deurcilinders AM75-77

Tabel 6-2, Tabel 6-3, en

Tabel 6-4 geven enkele operationele karakteristieken weer voor de deurcilinders van de AM75-77.

Tabel 6-2: Werkomstandigheden deurcilinders AM75-77

Werkomstandigheden	min	max
Temperatuursbereik	-25°C	+80°C
Werkingsdruk	3 bar	5 bar

Tabel 6-3: Nuttige krachten deurcilinders AM75-77

Nuttige krachten	3 bar	4 bar	5 bar
Kant cilinder	23 kp	33 kp	44 kp
Kant stang	16 kp	23 kp	31 kp

Tabel 6-4: Belasting deurcilinders AM75-77

Belasting	1 ^{ste} klasse	2 ^{de} klasse
Massa deurpaneel	80 kg	67 kg

Doordat de deurcilinders deuren 1^{ste} klasse en 2^{de} klasse, op de lengte na, dezelfde afmetingen hebben leveren ze eenzelfde kracht (Tabel 6-3) bij eenzelfde druk. Uit Tabel 6-4 blijkt wel dat de deurcilinders voor de deuren 1^{ste} klasse zwaarder belast worden.

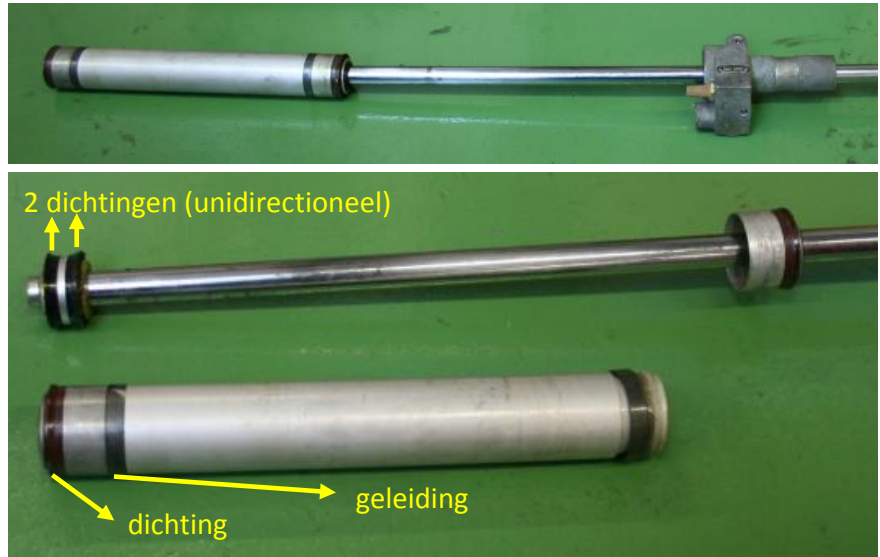
6.2.2.5 Visualisatie 'oud' versus 'nieuw' model deurgilinders AM75-77

We willen het verschil tussen het 'oude model' en het 'nieuwe model' visualiseren aan de hand van Figuur 81 en Figuur 82.

Oud model



Visuele herkenning:
Hoekig ad kop



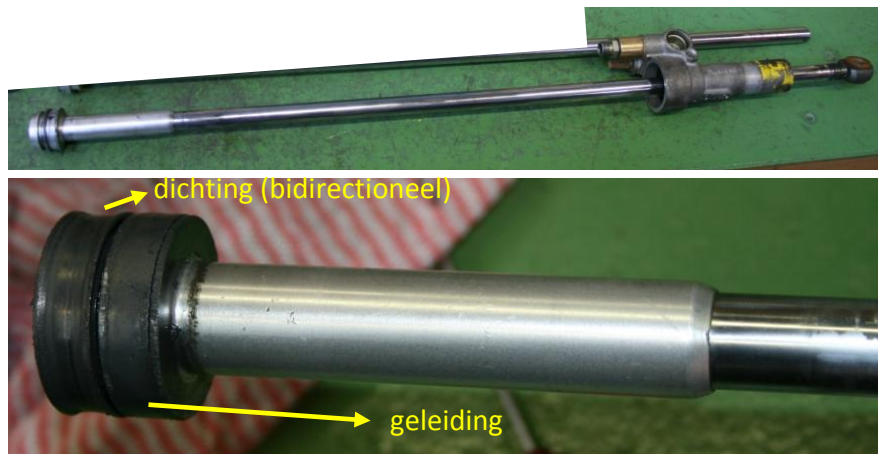
2traps uitvoering: binnenste stang bevat 2 dichtingen voor elke richting

Figuur 81: Deurgilinder MRQ 'oud' model

Nieuw model



Visuele herkenning:
Afgerond ad kop

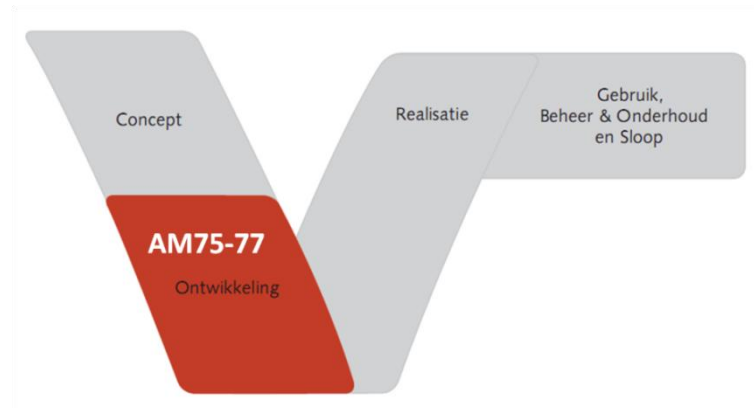


1traps uitvoering:

Figuur 82: Deurgilinder MRQ 'nieuw' model

Beide modellen zijn uitwisselbaar en worden door elkaar gebruikt doorheen het park van 44 stellen.

6.3 Ontwikkeling deurcilinder AM75-77



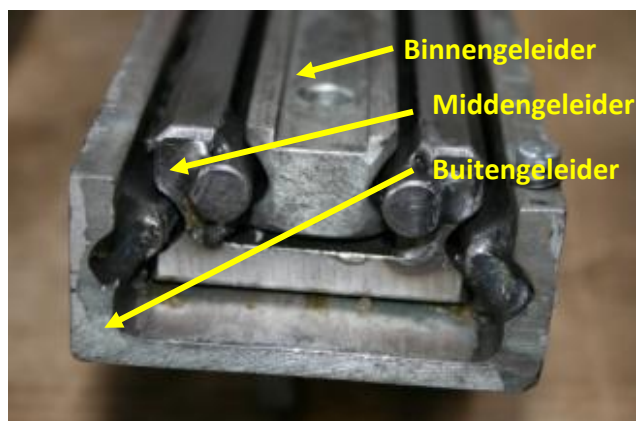
De RAMS-analyse in Hoofdstuk 4 heeft aangetoond dat de prestaties van de zwenkschuifdeuren van de AM75-77 niet op het niveau zijn van de andere materieelreeksen in het park. Daarom heeft B-TC.45, dat instaat voor het beheer van het onderhoud van de motorstellen, verdere ontwikkelingen gedaan aan de componenten van het deursysteem. Hierbij is de focus in de eerste plaats gelegd op de telescopische geleiding en de deurcilinder.

6.3.1 Ontwikkelingen telescopische geleiding

Zoals reeds eerder gezegd zorgt slijtage voor een steeds groter wordende speling op de telescopische geleiding. Wanneer de speling te groot wordt, zal het deurpaneel tijdens een sluitbeweging niet meer naar behoren in haar slot terecht komen. Hierdoor krijgt de treinbestuurder onder andere geen lamp deuren. Bovendien wordt de deurcilinder aan buigkrachten onderworpen bij een te grote speling. Daarom werden oplossingen gezocht om de speling of de slijtage te reduceren.

6.3.1.1 Reduceren van de speling: Economische herstelling

Om de speling te bepalen wordt de geleiding (Figuur 83) op zijn 'zijkant' aan de buitengeleider vastgezet en uitgeschoven in haar uiterste stand. De binnengeleider wordt manueel (zonder indicatie van de aangelegde kracht) naar boven getrokken en naar onderen geduwd. De speling wordt gedefinieerd als de som (in mm) van de uitwijking naar boven en de uitwijking naar onderen. De **toelaatbare bovengrens** voor de **speling**, zoals hierboven gedefinieerd, wordt vastgelegd op **2,2mm** en dit zowel voor de telescopische geleidingen deuren 1^{ste} als 2^{de} klasse.



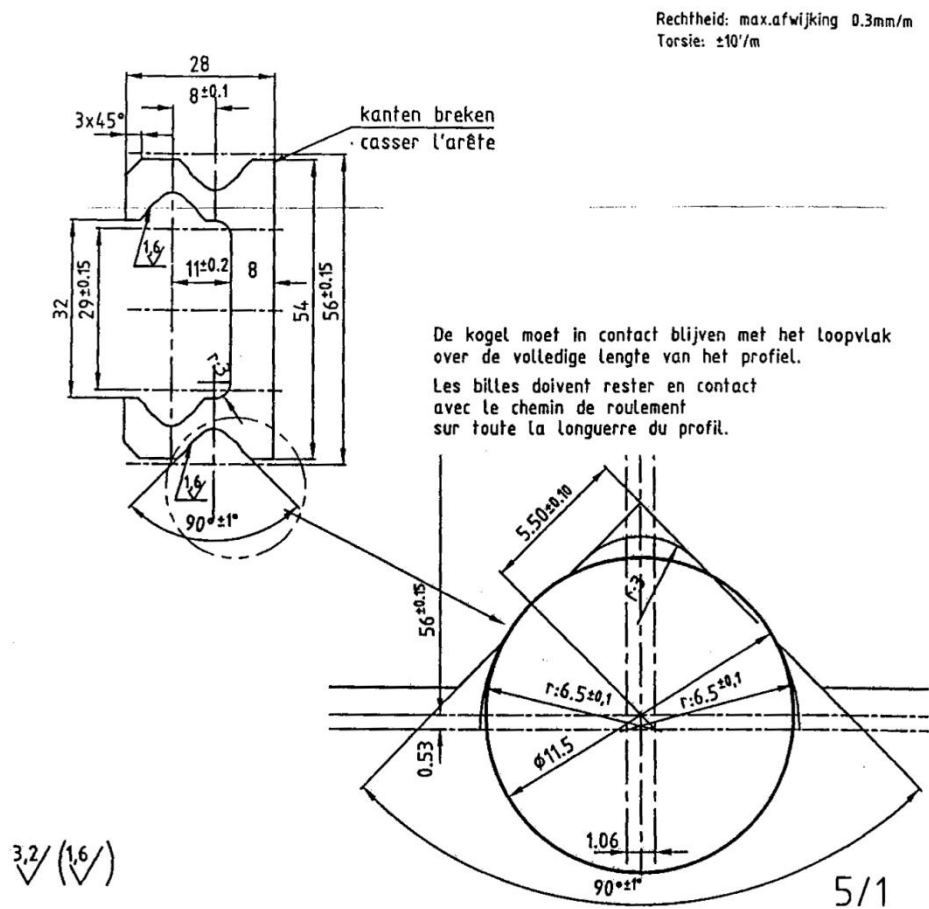
Figuur 83: Verschillende geleiders in de telescopische geleiding van de AM75-77

Hoofdstuk 6: De deurbuis doorheen haar levenscyclusfasen

Wanneer de speling groter is dan 2,2mm wordt geopteerd voor een zogenaamde 'economische herstelling'. Dit houdt volgende in:

- Vervangen van de kogels $\varnothing 11\text{mm}$ naar kogels $\varnothing 11,5\text{mm}$ (rechtsonder Figuur 84)
- Vernieuwen van de middengeleider met aangepaste loopvlak (linksboven Figuur 84)
- Uitfrezen van het loopvlak van de buiten- en binnengeleider aangepast aan de kogels $\varnothing 11,5\text{mm}$

Door deze ingrepen zal de speling na de herstelling weer binnen de tolerantiegrenzen vallen.



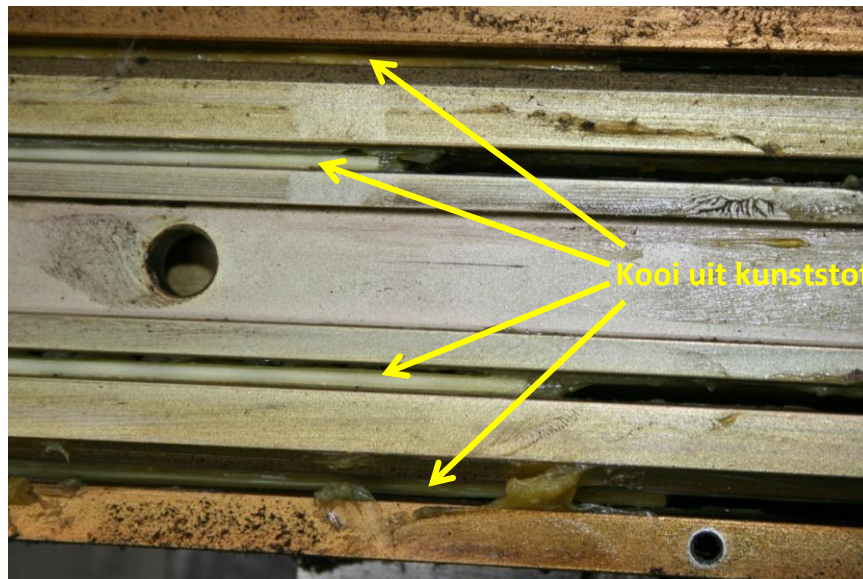
Figuur 84: Economische herstelling telescopische geleiding AM75-77: middengeleider en kogels

Deze economische herstelling wordt maar eenmalig uitgevoerd op de telescopische geleidingen.

6.3.1.2 Reduceren van de slijtage: Harden en aankoop nieuwe geleiders met kooi

Om de slijtage te reduceren werden twee pistes bewandeld.

- 1) De aankoop van geharde middengeleiders voor plaatsing bij een economische herstelling (zie paragraaf 6.3.1.1). Deze wijziging leverde echter geen zichtbaar resultaat op.
- 2) De aankoop van nieuwe geleidingen met een kooi uit kunststof (Figuur 85) die de kogels op hun plaats houdt waardoor de belasting gelijkmatiger verdeeld wordt. Deze kooi zorgt er echter voor dat deze geleidingen de neiging vertonen om vast te lopen. Er werd bijgevolg beslist deze kunststof kooi te verwijderen uit de nieuw aangekochte geleidingen.



Figuur 85: Nieuw aangekochte telescopische geleiding met kunststof kooi

6.3.2 Ontwikkelingen deurcilinder

NMBS Technics heeft overmatige slijtage aan de dichtingen van de deurcilinder vastgesteld. De ontwikkelingen aan de deurcilinder bestaan erin deze slijtage te reduceren.

6.3.2.1 Reduceren van slijtage van de dichtingen

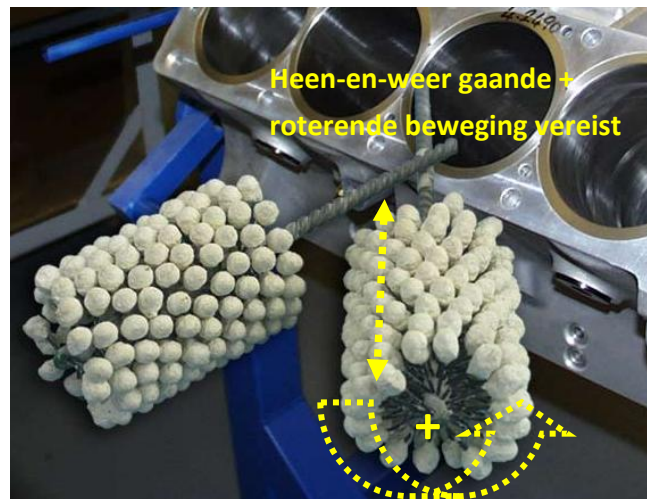
Om de slijtage van de dichtingen te reduceren werden twee pistes bewandeld:

- 1) De fabrikant van de deurcilinders werd aangeschreven voor dit probleem. Een mogelijke oorzaak ligt volgens hen in de te grote gladheid van de cilinderwand. Hierdoor zou het smeervet zich niet kunnen hechten aan de cilinderwand waardoor geen doeltreffende smeerfilm kan opgebouwd worden. De fabrikant geeft als oplossing de cilinderwand op te ruwen. NMBS Technics heeft dit gedaan met behulp van Flexhone.

Flexhone wordt o.a. gebruikt bij verbrandingsmotoren. De koppen (Figuur 86) worden aan een boormachine bevestigd. Al roterend worden ze met een heen-en-weer gaande beweging door de cilindermantel geleid. Deze beweging vlikt de toppen af van het ruwheidsprofiel van de cilindermantel. Door een welbepaalde tijd en volgorde van de bewegingen te respecteren, laat Flexhone toe een patroon te creëren in de cilindermantel. Het is dit patroon waarin het smeervet zich kan hechten, wat dus het gewenste resultaat is voor onze toepassing.

Het uitvoeren van deze operatie is echter een delicaat werk!

Voor een basis instructievideo rond het gebruik van Flexhone zie [16].



Figuur 86: Flexhone boorkoppen [17]

Er werd echter geen bevredigend resultaat bekomen met deze methode.

- 2) B-TC.45 heeft een lot nieuwe dichtingen van het rubbertype HNBR (ipv NBR) aangekocht en onderworpen aan een test. De HNBR dichtingen hebben een grotere hardheid dan de NBR dichtingen. Uit vergelijking 2 (vergelijking van Archard voor slijtage) blijkt dat het volume aan slijtagepartikels (Q) omgekeerd evenredig is met de hardheid (H).

$$Q = \frac{K.W.L}{H} \quad (2)$$

De winst die geboekt wordt uit deze hardheidsverhoging zal in praktijk echter gering blijken te zijn. Zeker omdat het hier om adhesieve en niet abrasieve slijtage gaat.

Het labo van de NMBS-Holding heeft deze dichtingen ook onderzocht op hun chemische en mechanische eigenschappen. De conclusie van dit onderzoek is weergegeven in Figuur 87.

A égalité avec le NBR quant à sa résistance à l'éthanol, le HNBR a des propriétés mécaniques remarquables : il possède une très bonne résistance à l'ozone, une très bonne résistance à la compression, une excellente résistance aux agents atmosphériques, à l'ozone et à l'air chaud. Il possède de plus une très bonne résistance aux huiles.

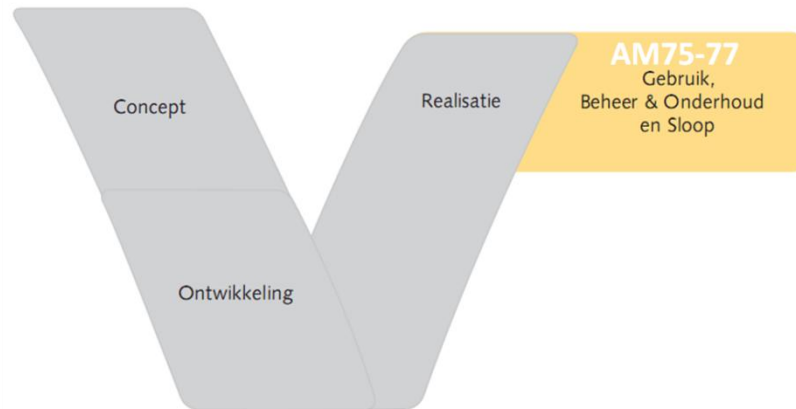
Mécaniquement parlant, il est supérieur au NBR.

Nous vous conseillons fortement d'adopter la formulation des O-rings présentés (éch. 2009/0345-02)

Figuur 87: Conclusie testrapport van de dichtingen uit HNBR van het Labo van de NMBS Holding

Hoewel in Figuur 87 wordt geconcludeerd dat de HNBR dichtingen betere mechanische eigenschappen vertonen, bleken zij nog geen bevredigende oplossing geboden te hebben in de realiteit.

6.4 Gebruik van de deurgilinders AM75-77: vaststellingen uit voortijdig falen



Die deurgilinder zeigen hohe Ausfallraten (siehe Absatz 4.4.3.2). Um die Ursachen hiervon zu untersuchen, müssen wir die Fehlermechanismen untersuchen, die auftreten. Hierfür haben wir 20 deurgilinder genommen, die bereits abgelehnt (und somit defekt) waren, bevor sie bei der Erneuerung entfernt werden würden. Bei diesen Zylindern haben wir hauptsächlich folgende drei Arten von Ausfällen festgestellt (in zunehmendem Maße von Wichtigkeit):

- 1) Die Dämpfung auf ein- und/oder ausgehende Schlag kann nicht geregelt werden
- 2) Die deurgilinder verliert Luft
- 3) Die deurgilinder ist fest

In den folgenden Absätzen behandeln wir jedes dieser Arten von Ausfällen einzeln, wobei wir die Ursachen des Fehlerverhaltens untersuchen wollen.

6.4.1 Die Dämpfung auf ein- und/oder ausgehende Schlag kann nicht geregelt werden

Um laute Türbewegungen zu vermeiden, kann die Dämpfung auf die ein- und/oder ausgehende Schlag geregelt werden.

6.4.1.1 Fehlerbeschreibung

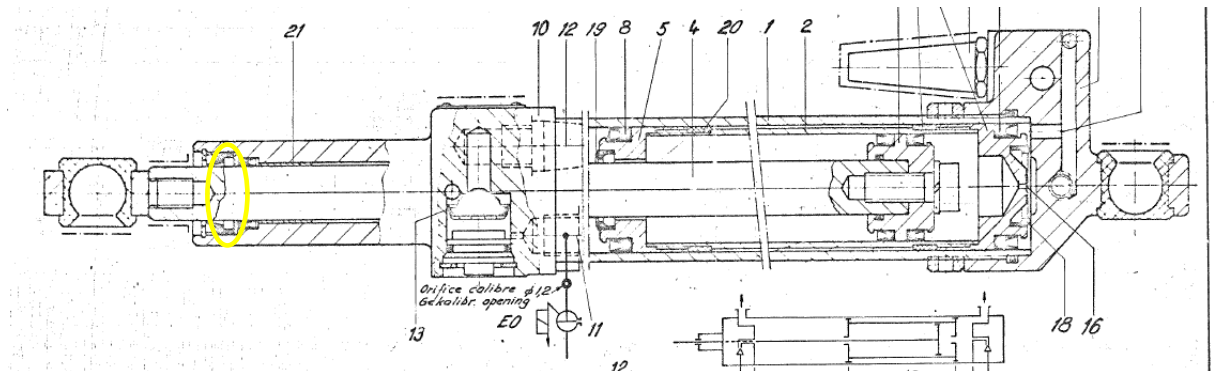
Für die Einstellung dieser Dämpfung bei normaler Arbeit verweisen wir auf Absatz 6.2.2.3. Wenn diese Einstellung nicht mehr korrekt sein kann, wird die Zylinder bei der unregelmäßigen Schlag stark abgerichtet. Hierdurch wird das Türsystem einer Stoßbelastung ausgesetzt. Wir haben während unserer Untersuchung 2 Ursachen festgestellt.

6.4.1.2 Ursache 1: Verschleiß der Dichtung an der Spitze der Zylinder

Wenn eine Dichtung Verschleiß zeigt, kann ein Luftleck entstehen. Dieses Leck führt dazu, dass die dämpfende Wirkung aufgehoben wird. Luftlecks an den Dichtungen an der Zylinderstange führen dazu, dass die Zylinder Luft verliert (siehe Absatz 6.4.2). Eine Dichtung, die hierüber vergessen wird

Hoofdstuk 6: De deurbcilinder doorheen haar levenscyclusfasen

en vooral een invloed heeft op de dempende werking is de dichting in de kop van de cilinder (aangeduid in Figuur 88). Slijtage van deze dichting kan dus als een oorzaak worden aangeduid.



Figuur 88: Aanduiding dichting in de cilinderkop van de deurbcilinder van de AM75-77

6.4.1.3 Oorzaak 2: Bijregelen van de demping bij montage deurbcilinder in de kast

De afregeling tijdens revisie gebeurt op een proefstand zonder belasting (Figuur 89).



Figuur 89: regelen demping op in- en uitgaande slag tijdens revisie deurbcilinder te CW Mechelen

Wanneer de cilinder gemonteerd wordt op de kast is vaak verdere bijregeling vereist. Dit laatste is niet evident omdat de regelvijzen na montage moeilijk bereikbaar zijn. Het bijregelen in dergelijke omstandigheden geeft een verhoogd risico op volledige ontregeling waardoor de deurbcilinder spoedig zal worden afgekeurd.

6.4.2 De deurbcilinder verliest lucht

Wanneer de deurbcilinder lucht verliest, betekent dit dat de dichting(en) zijn/hun functie niet meer vervult/vervullen.

6.4.2.1 Foutbeschrijving

Wanneer de dichtingen lucht lekken, kan de cilinder niet meer haar volle nuttige kracht leveren. Bij een te groot krachtverlies zal de deur niet meer (volledig) openen en/of sluiten. Wanneer het luchtverlies groot genoeg is, kan je de lucht horen ontsnappen. Dit wordt het 'doorblazen' van de cilinder genoemd. Gering luchtverlies kan enkel worden waargenomen op een proefstand zoals deze in Figuur 89. Er zijn twee wijzen waarop de dichting haar functie niet meer kan vervullen:

- 1) partikels wringen zich tussen de dichting en de cilindermantel
- 2) de dichtingen zelf zijn beschadigd

Als we beide wijzen beschouwen, komen we tot een 3-tal oorzaken.

6.4.2.2 Oorzaak 1: Partikels van de stuit worden afgesneden door een braam

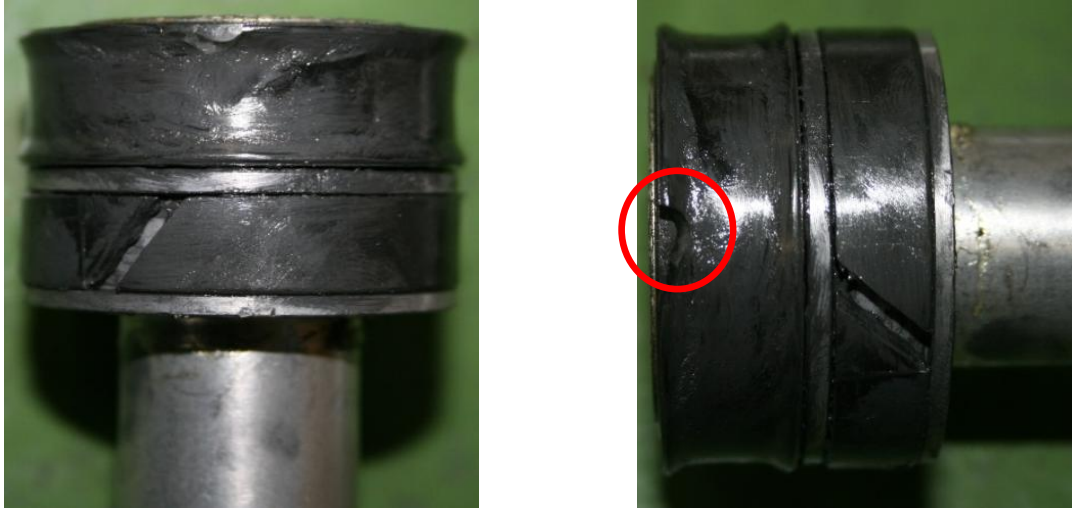
We hebben vastgesteld dat rubberpartikels van de stuit afbreken en zich tussen de dichting en de cilindermantel wringen (zie bovenaan Figuur 90). Dit kan uiteraard alleen maar bij het 'oude' model, daar het 'nieuwe' model geen stuit heeft. Bij het 'oude' model impacteert deze stuit tijdens de cilinderwerking op de metalen rand van de boring van het cilinderdeksel (zie linksonder Figuur 90). Wanneer deze boring een braam bevat, zal dit een snijdende werking hebben. Dergelijke bramen kunnen op deze manier op termijn een oorzaak vormen van luchtverlies.



Figuur 90: Afbreken rubberpartikels stuit (oud model)

6.4.2.3 Oorzaak 2: Afbreken van rubberpartikels uit de dichting tijdens montage

Wanneer er uit de dichting(en) zelf rubberpartikels afbreken, zal daar lokaal een luchtlek ontstaan (Figuur 91).



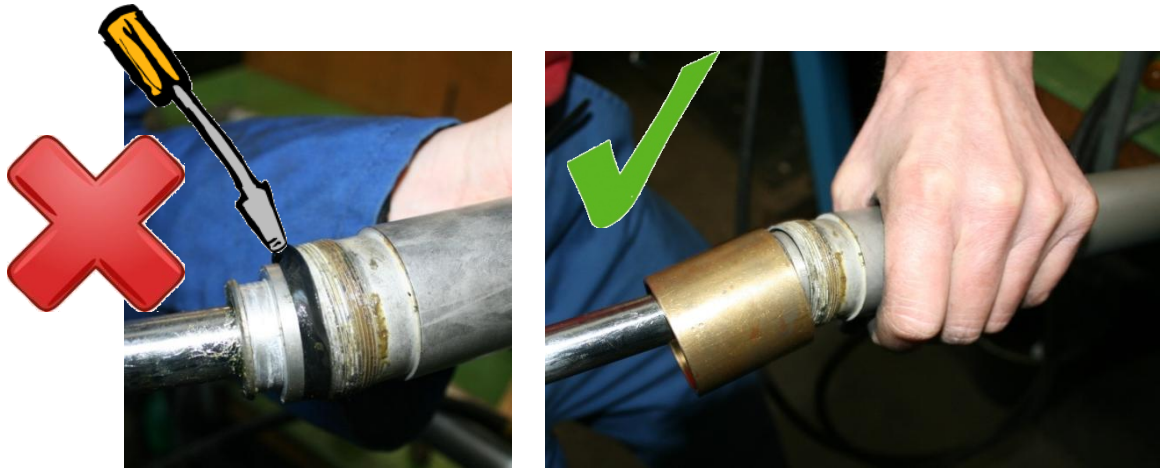
Figuur 91: Afbreken rubberpartikels van dichting (nieuw model)

Rechts op Figuur 91 is een groot partikel uitgebroken aan de rand van de dichting. Dit kan wijzen op schade die aangebracht is tijdens montage. We hebben zelf vastgesteld dat het correct monteren van het uiteinde van de cilinderstang in de cilindermantel (van een nieuw model) quasi onmogelijk is zonder externe hulpmiddelen (Figuur 92).



Figuur 92: poging tot aanbrengen cilinderstang in cilindermantel zonder externe hulpmiddelen (nieuw model)

Het is aan de lezer om creatief voor de dag te komen en oplossingen te bedenken zodat de cilinderstang met dichting wel gemonteerd geraakt. We geven alvast een suggestie in Figuur 93.



Figuur 93: destructieve montage (links) en correcte montage (rechts) van de dichting in de cilindermantel ('nieuw' model)

De linkerhelft van Figuur 93 toont met welke hulpmiddelen je als resultaat de beschadiging rechts in Figuur 91 bekomt. De rechterhelft van Figuur 93 toont hoe het wel op een correcte manier kan en hoe het momenteel tijdens herziening gebeurt. Het bronskleurig tussenstuk werd eigenhandig door de bediende van de werkplaats vervaardigd. Het dubbelplooiën van de dichting in Figuur 94 kan tevens het gevolg zijn van een foute montage.



Figuur 94: dubbelplooide dichting nieuw model

Bovenstaande vaststellingen doen ons concluderen dat het aanbeveling verdient de montagewijze zoals getoond in de rechterhelft van Figuur 93 vast te leggen in een algemene werkinstructie waarbij de het nodige tussenstuk voorzien wordt.

6.4.2.4 Oorzaak 3: uitgesleten geleidingen zorgen voor slijtage aan de dichtingen

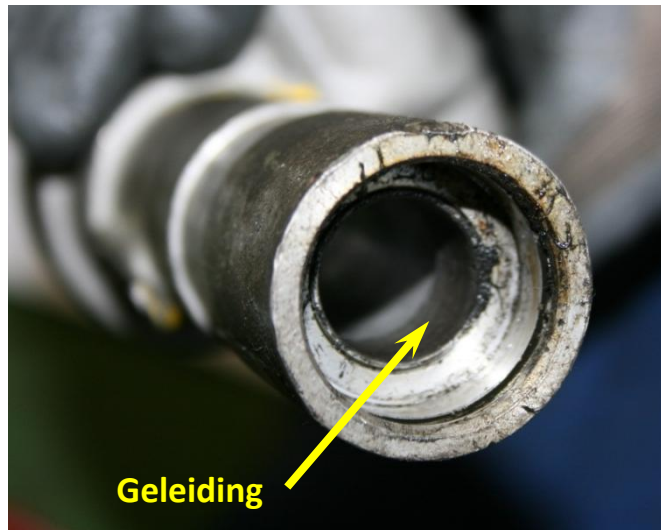
Zoals aangegeven bij Figuur 81 en Figuur 82 heeft een deurgilinder naast dichtingen geleidingsringen uit harde kunststof. Hun functie bestaat erin krachten op te vangen die op de cilinderstang worden uitgeoefend. Zo kunnen buigingskrachten worden geïntroduceerd door doorbuiging van de telescopische geleiding (o.a. door het toenemen van de speling) .

Wanneer de geleidingsringen uitslijten, dienen de rubberen dichtingen mee deze krachten op te vangen. Hierdoor gaan ze overmatige slijtage vertonen. Op die manier dragen uitgesleten geleidingsringen bij tot het lekken van lucht. Figuur 95 toont sporen van slijtage aan een geleidingsring. Deze geleidingen worden bij revisie NIET systematisch vervangen.



Figuur 95: Sporen van slijtage aan geleiding

We mogen ook niet vergeten dat in de cilinderkop een geleidingsbus verwerkt zit (zie Figuur 96). Deze geleidingsbus is echter niet zo gemakkelijk te vervangen als de overige geleidingsringen. Zij is wel de meest cruciale factor in het opvangen van buigende krachten.



Figuur 96: Geleidingsbus in de kop van de cilinder

6.4.3 De deurgilinder zit vast

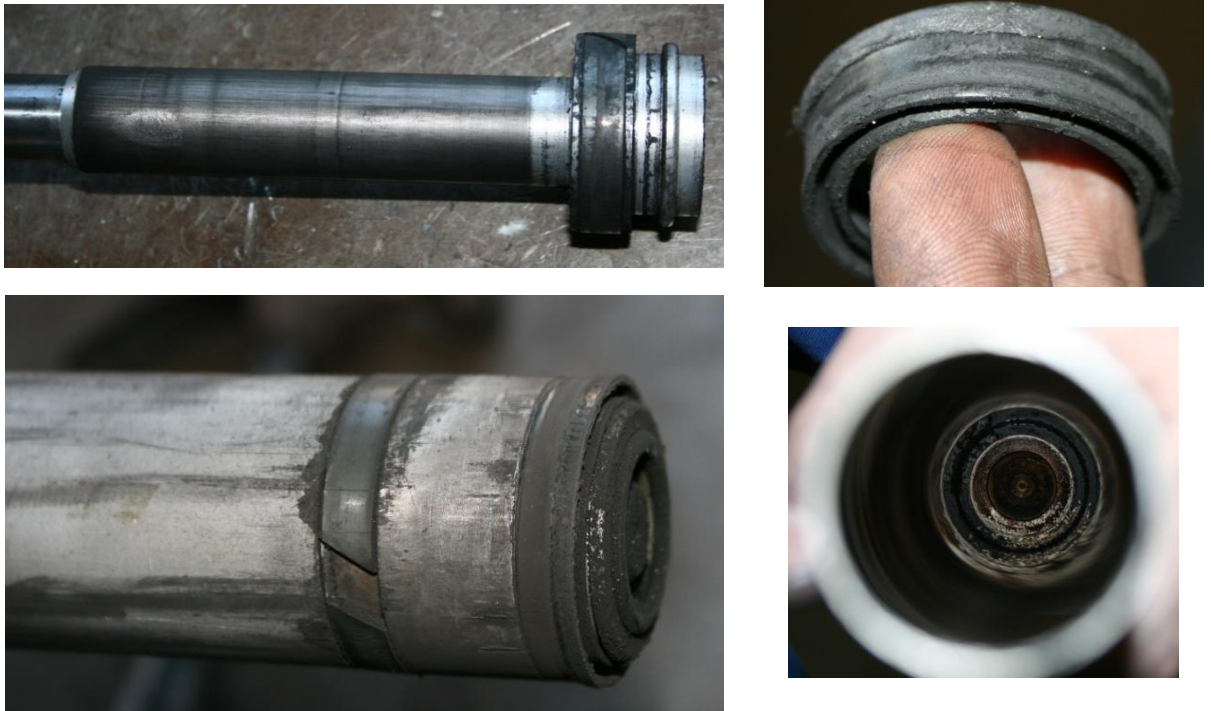
Heel wat afgekeurde deurgilinders bleken te zijn vastgelopen en halen aldus niet de beoogde levensduur van 6 jaar. We beschrijven de fout en maken vaststellingen uit observaties.

6.4.3.1 Foutbeschrijving

Het contact tussen de cilinderwand en de dichting (anodisch geoxideerd aluminium – NBR rubber) kent een grote neiging tot adhesie. Deze adhesieve eigenschap zou goed zijn voor toepassingen waar grip vereist is. In deze toepassing echter wordt er een minimum aan grip/wrijving gevraagd teneinde de slijtage van de dichtingen te minimaliseren. Daarom dient het contact gesmeerd te worden. Voor de deurgilinders van de AM75-77 wordt smering met smeervet toegepast. (voorgaand wordt hernomen en in extenso behandeld in paragraaf 6.7.2)

Wanneer we de vastgelopen deurgilinders open doen, vinden we zwarte rubberafzettingen op de dichting(en), de cilinderstand en in de cilindermantel(Figuur 97).

Hoofdstuk 6: De deurbcilinder doorheen haar levenscyclusfasen



Figuur 97: Rubberafzettingen op verscheidene onderdelen bij vastgelopen deurbcilinders AM75-77

We stellen vast uit de observaties weergegeven in Figuur 97:

- De rubberen dichtingen hebben overmatige gesleten tegen de cilinderwand
- De zwarte afzettingen zijn bijna pure rubber. Er zijn weinig sporen van vetafzetting terug te vinden in het contact dichting – cilindermantel
- De weinig sporen van vet die we wel terugvinden zijn erg kleverig en niet mooi open gesmeerd.

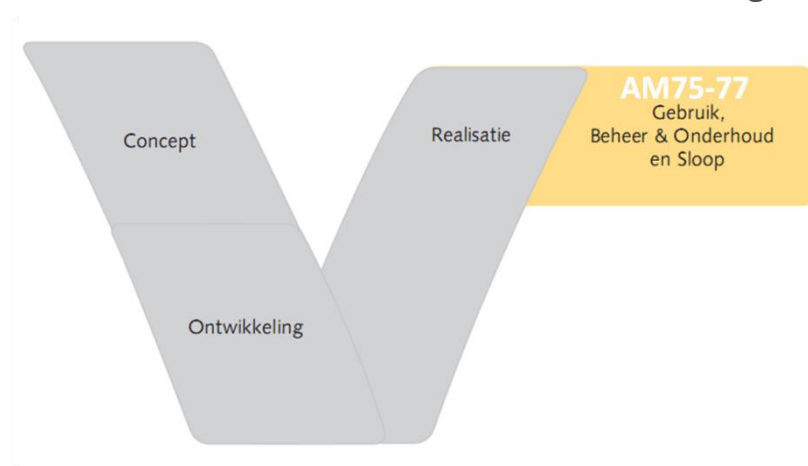
Bovenstaande vaststellingen wijzen onomwonden op een smeringprobleem.

Het probleem is bovendien tweeledig:

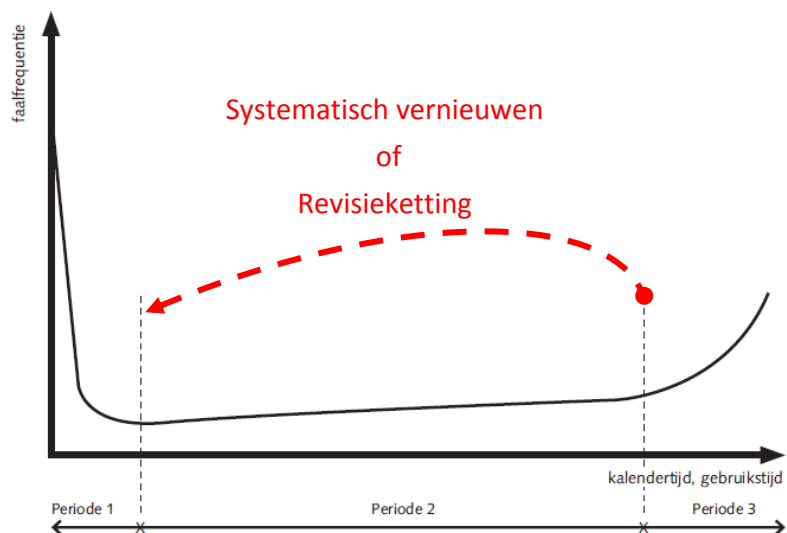
- 1) Aanwezigheid van onvoldoende smeermiddel
- 2) Het smeermiddel dat gebruikt wordt, is niet adequaat voor de toepassing

Nu we bovenstaande faalmechanismen hebben vastgesteld is het goed, alvorens op zoek te gaan naar oplossingen, een blik te werpen op het onderhoudsketting voor de deurbcilinders van de AM75-77.

6.5 Onderhoud van de deurcilinders AM75-77: Revisieketting



Alvorens deze paragraaf aan te vatten, is het goed de badkuipcurve nogmaals te beschouwen (Figuur 98). Door toepassing van preventief/voorzien onderhoud willen we ons treindeur-systeem continu bedienen in Periode 2. Daar aan de deurcilinder geen bijkomende onderhoudsactiviteiten kunnen verricht worden tussen twee herzieningen in dienen ze een levensduur te hebben van minstens 6 jaar.



Figuur 98: Badkuipcurve – Instandhouding van deurcilinders door een revisieketting

Na 6 jaren in bedrijf komen de deurcilinders aan het einde van Periode 2 van de badkuipcurve. Wanneer de deurcilinders zonder meer verder gebruikt worden, zullen zij in Periode 3 fungeren en een hogere faalfrequentie laten optekenen. Zoals Figuur 98 aangeeft, zijn er 2 opties om de deurcilinders in het treindeur-systeem van de AM75-77 continu in periode 2 te bedienen:

- 1) Het systematisch vervangen van de deurcilinders door nieuw aangekochte cilinders bij elke herziening.
- 2) Het opstarten van een revisieketting om de deurcilinder op te waarderen naar het begin van Periode 2.

NMBS Technics opteert momenteel voor de tweede optie. De revisie van de deurcilinders van de AM75-77 wordt uitgevoerd in de Centrale Werkplaats te Mechelen.

6.5.1 Uitvoeren van een revisie van de deurgilinder AM75-77

Tijdens een herziening van de AM75-77 worden de deurgilinders systematisch af het stel gehaald en naar de revisieketting gestuurd. Achtereenvolgens ondergaan ze volgende behandeling:

- Open maken van de cilinder waarbij de dichtingen en de geleidingsringen van de cilinderstang en de eerste trap (enkel voor 'oude' model) worden gehaald. Bij het 'oude' model dient de schroefdraadborging gebroken te worden door verhitting (links Figuur 99) en wanneer dit niet volstaat dient een tang gebruikt te worden (rechts Figuur 99). Deze laatste praktijk, hoewel soms noodzakelijk, is echter niet zonder schadelijke gevolgen.



Figuur 99: Breken van de schroefdraadborging bij eerste trap ('oud' model)

- Wassen van alle onderdelen van de cilinder (inclusief dichtingen, geleidingsringen) om ze vetvrij te maken
- Opnieuw monteren van alle cilinderonderdelen (o.a. mantel, kop, stang, eerste trap) en de dichtingen + geleidingsringen. De dichtingen en geleidingsringen worden gerecupereerd als ze geen zichtbare schade vertonen. De voorraad aan dichtingen wordt aangevuld met nieuw aangekochte dichtingen indien zich een voorraadtekort zou voordoen. De dichtingen worden echter niet systematisch nieuw aangekocht.
- Tijdens montage worden de dichtingen, geleidingsringen en einddempingen van smeervet (Figuur 100) voorzien.

Hoofdstuk 6: De deencilinder doorheen haar levenscyclusfasen



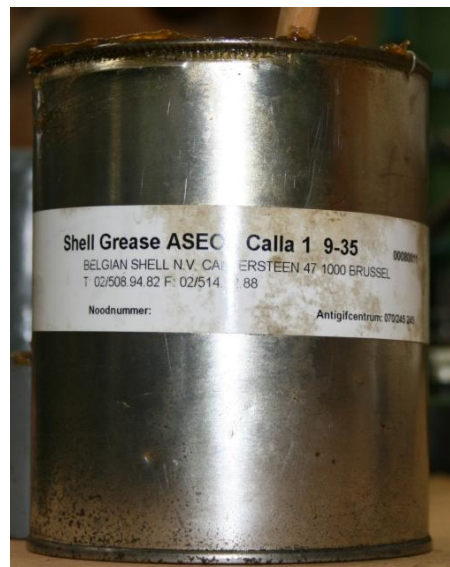
Figuur 100: Eerste trap van deencilinder 'oud' model wordt van smeervet (Autol Top 2000) voorzien

6.5.1.1 Smeervetten gebruikt tijdens revisie

Oorspronkelijk werd bij de revisie van deencilinders van de AM75-77 te CW Mechelen het bruin smeervet 'ASEOL Calla 1 9-35' gebruikt. Wegens leveringsproblemen met dit vet werd geopteerd over te schakelen op het smeervet 'Autol top 2000'. Dit laatste smeervet wordt tot op heden gebruikt voor de revisie van deencilinders van de AM75-77. We geven van beide smeervetten enkele elementaire kenmerken.

ASEOL CALLA 1 9-35 (Shell)

Figuur 101 toont de verpakking waaronder het smeervet te CW Mechelen gestockeerd wordt. Tabel 6-5 lijst de beperkte elementaire specificaties op van dit smeervet die we konden bemachtigen.



Figuur 101: Shell ASEOL Calla 1 9-35

Tabel 6-5: Elementaire specificaties smeervet 'ASEOL Calla 1 9-35'

N° d'art.	Désignation	Classe NLGI	Désignation normalisée	Agent épaississant	Viscosité de l'huile de base [mm ² /s] 40°C 100°C	Point de goutte [°C]	Température d'utilisation [°C]	Utilisations, descriptions, spécifications
9-35	Calla 1	1	K 1 C-20	Ca	105 8,8	> 95	-20 à +60	Graisses résistantes à l'eau et stables à l'oxydation. Protègent contre la corrosion. Bon comportement au froid. Pour paliers lisses et roulements, articulations jusqu'à 60°C. Aussi pour points de graissage sous l'eau. Paliers lisses de pales de turbines à eau, graisse d'étanchéité.

Autol Top 2000 (Shell)

Het smeervet 'Autol top 2000' (Figuur 102) wordt vervaardigd door Agip/Eni en is fluogroen van uitzicht. Figuur 103 geeft bijhorende beschrijvende fiche mee.



Figuur 102: AGIP Autol Top 2000

Super-Longtime-Grease with a synthetic base oil for longer regreasing intervals

Soap Basis		special Ca. soap
Temperature range	°C	-30 to +110
Drop point	°C	150
Base oil viscosity at 40°C	mm ² /s	850
Behaviour to Water		0-90
Corrosion protection properties (EMCOR-Test)		Corr. -grade. 0 and 0

Autol TOP 2000 is a special grease with exceptional adhesive properties and very good extreme-pressure-properties - a real Super-Longtime-Grease suitable for very long regreasing intervals.

Under difficult conditions it reduces wear and is especially resistant to wash outs in the lubrication points. It is extremely resistant to salt water, cooling lubricators, plant preservatives and many lyes.

Due to its composition and if applied as directed, according to the manufacturers regulations, it is physiological harmless and therefore also suitable for the application as lubrication in the foodstuff industry.

Applications:

Autol TOP 2000 is a high pressure grease for the lubrication of vehicles, industrial, constructional and agricultural machines. It can be used without problems in critical lubrication points (impact loads, high moisture, salt water, high pressure with low relative movement). It can also be used for industrial robots, continuous transporters as well as for boats or winter service. Despite the high base oil viscosity the application in central lubricating systems is possible without problems.

For the use in wheel and axle bearings we recommend **AUTOL TOP 2000 High Temp.**

Attention! The highest short-time peak temperature permitted is +125°C.

Please observe the manufacturer's specifications when selecting products.

Figuur 103: Beschrijvende fiche smeervet 'Autol top 2000' (Agip/Eni)

Hoofdstuk 6: De deurcilinder doorheen haar levenscyclusfasen

Zoals reeds eerder vermeld, lagen leveringsproblemen aan de basis voor de overschakeling op dit type smeervet. De keuze voor dit smeervet is tot stand gekomen nadat de werfverantwoordelijke te CW Mechelen dit smeervet bijgevoegd zag in een herstellingskit. Na aankoop werd dit vet verder onderzocht in het Laboratorium van de NMBS-Holding te Schaarbeek. We hebben inzage gekregen in het verslag van dit onderzoek, gedateerd op 11/12/2008.

Het onderzoeksverslag vermeldt volgende gegevens volgens technische fiche (Tabel 6-6) en resultaten van de analyses (Tabel 6-7).

Tabel 6-6: Gegevens volgens technische fiche smeervet 'Autol top 2000' volgens labo NMBS-Holding

Aspect technische fiche	Resultaten
Bestanddelen	Calciumcomplex-vet
	Synthetische basisolie
Eigenschappen	Zeer goede waterbestendigheid
	Zeer goede aanhechting
	Zeer goede stabiliteit van smeermilieu
	Zeer goede afdichting
	Zeer goede anti-slijtage eigenschappen

Tabel 6-7: Resultaten analyses smeervet 'Autol top 2000' in labo NMBS-Holding

Analyse	Resultaten
FTIR-onderzoek	Minerale olie (paraffinisch-aromatisch)
	Alkyldithiofosfaat
	Fenolverbinding
Analyse met ICP-OES	Al: 10mg/m ³
	Ca: 491 mg/m ³
	P: 2453 mg/m ³
	S: 5723 mg/m ³
	Zn: 2724 mg/m ³

Tabel 6-6 toont aan dat dit smeervet theoretisch goede eigenschappen vertoont om gebruikt te worden als smeervet bij de revisie van deurcilinders.

Het onderzoeksverslag bevat echter nog onderstaande belangrijke opmerking:

'Dergelijk vet is niet compatibel met de meeste andere vetten; deze vetten kunnen verharderen bij bijsmering met een ander type vet.'

In principe worden de deurcilinders niet bijgesmeerd in de tractiewerkplaatsen dus deze opmerking zou geen implicaties mogen hebben.

6.5.2 Evaluatie revisieketting

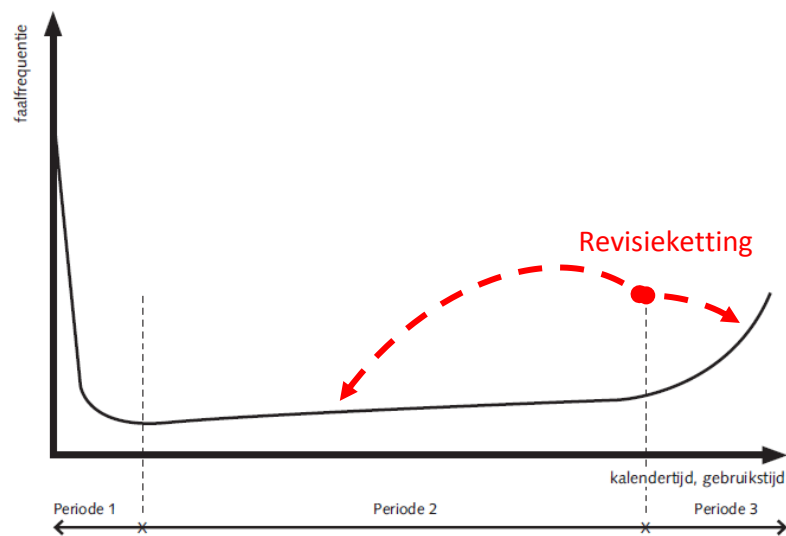
Een evaluatie van de revisieketting houdt in dat we nagaan of de ketting erin slaagt de deurcilinders continu in Periode 2 van de badkuipcurve te bedienen (eerder voorgesteld in Figuur 98).

De voornaamste vaststellingen voor de revisieketting zijn:

- De gebruikte schroefdraadborging heeft een te hoge breeksterkte wat aanleiding geeft tot schade bij demontage.
- Cruciale onderdelen zoals de dichtingen en de geleidingsringen worden niet systematisch vervangen.
- De voorraad dichtingen die dient ter vervangen van uitgesleten exemplaren bestaat voor een groot gedeelte uit gewassen dichtingen die reeds dienst hebben gedaan en gerecupereerd zijn.

Bovenstaande vaststellingen zorgen ervoor dat we moeten besluiten dat de huidige revisieketting niet volstaat om de deurcilinders volledig en blijvend in Periode 2 van de badkuipcurve te bedienen. Hierdoor lopen vele componenten van deurcilinders in Periode 3 van de badkuipcurve die gekenmerkt wordt door een hogere faalfrequentie.

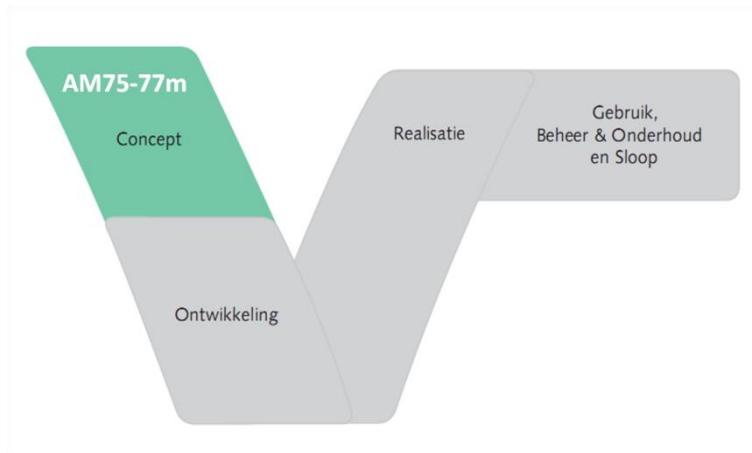
We duiden nu op de badkuipcurve de situatie aan voor de deurcilinders zoals deze zich aandient in de huidige revisieketting (Figuur 104).



Figuur 104: Badkuipcurve – Huidige situatie voor de deurcilinders AM75-77 in de revisieketting

Gewapend met de bevindingen uit het gebruik en het onderhoud kunnen we vervolgen met de behandeling van het concept en de ontwikkeling van de deurcilinders voor het (prototype) van de AM75-77m.

6.6 Concept deurcilinder AM75-77m



De hoge uitvalcijfers (zie o.a. paragraaf 4.4.3.2) maken dat voor de modernisatie de deurcilinder één van de werkpunten vormt. Het prototype van de modernisatie (Figuur 105) laat alvast de geometrie van de deuropeningen voor de instapdeuren (zie Figuur 74) ongemoeid.



Figuur 105: Weergave uitzicht prototype AM75-77m

Dit maakt dat we conceptueel 2 keuzevraagstukken dienen te behandelen wat de deurcilinder en haar werking betreft:

- 1) Aankopen van nieuwe cilinders of behouden van de huidige deurcilinders
- 2) Behouden van de telescopische geleiding of overschakelen op een ander geleidingssysteem

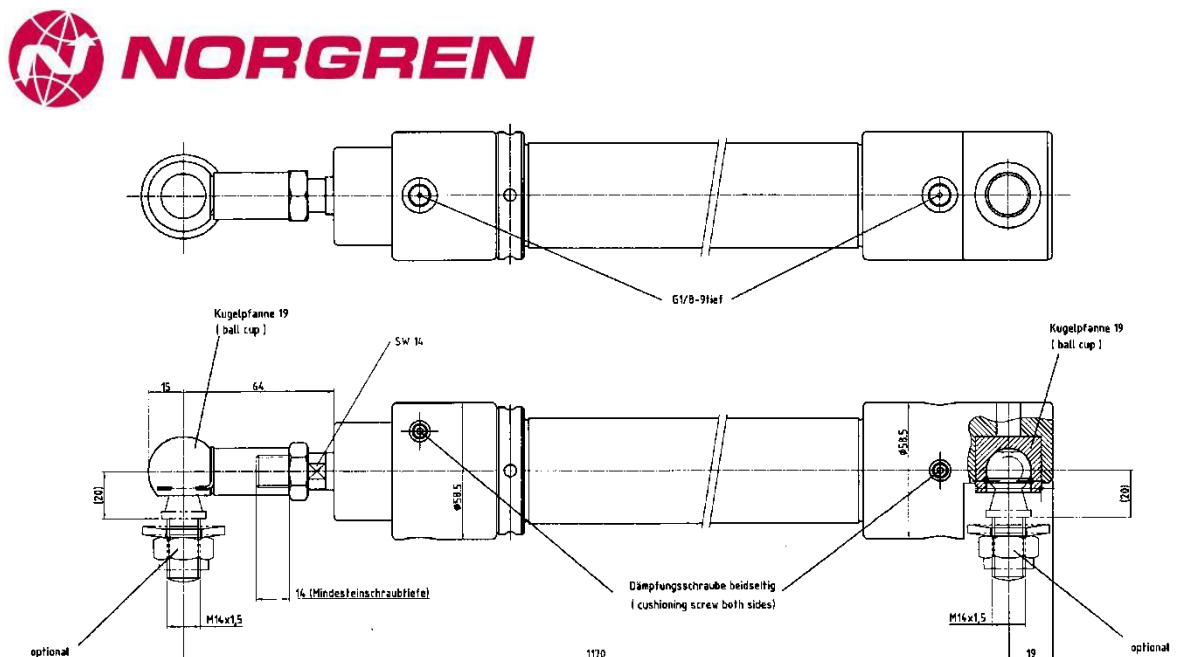
In volgende paragrafen willen we een aanzet geven tot de behandeling van beide vraagstukken waaruit zal blijken dat beide vraagstukken niet geheel los van elkaar staan.

Hoofdstuk 6: De deurbuis doorheen haar levenscyclusfasen

6.6.1 Conceptkeuze 1: Aankoop van nieuwe cilinders of behoud huidige cilinders

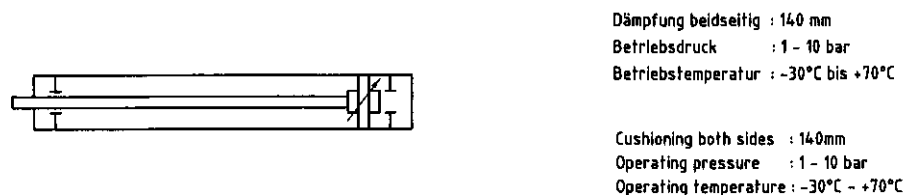
Één van de denkpistes om de hoge uitvalcijfers voor de deurbuis terug te dringen, is het aankopen van nieuwe deurbuizen met dezelfde geometrische eigenschappen. Deze denkpiste is geïnspireerd op de deurbuizen van de rijtuigen M6, die gelijkaardige afmetingen hebben als deze van de deurbuizen deuren 1^{ste} klas (+ pakwagen) van de AM75-77. Zij vertonen echter een veel geringere uitval.

De leverancier van deze deurbuizen, Norgren, werd daarom aangeschreven voor een offerte. Figuur 106 geeft de elementaire afmetingen van de deurbuis die zij voorstellen ter vervanging van het huidige model voor de deuren 1^{ste} klasse. De opbouw van deze cilinder is gelijkaardig aan deze van de rijtuigen M6. We herhalen nog eens de offerte enkel van toepassing is voor de deurbuizen van de deuren 1^{ste} klasse (+ pakwagen).



Figuur 106: Elementaire afmetingen uit offerte voor deurbuis prototype AM75-77m (firma Norgren)

Bij de offerte zaten ook de elementaire operationele kenmerken van de cilinders bijgevoegd (Figuur 107). We merken op dat deze cilinders werkzaam zijn over een groter drukbereik dan de huidige deurbuizen van de AM75-77.



Figuur 107: Elementaire operationele kenmerken uit offerte voor deurbuis prototype AM75-77m (firma Norgren)

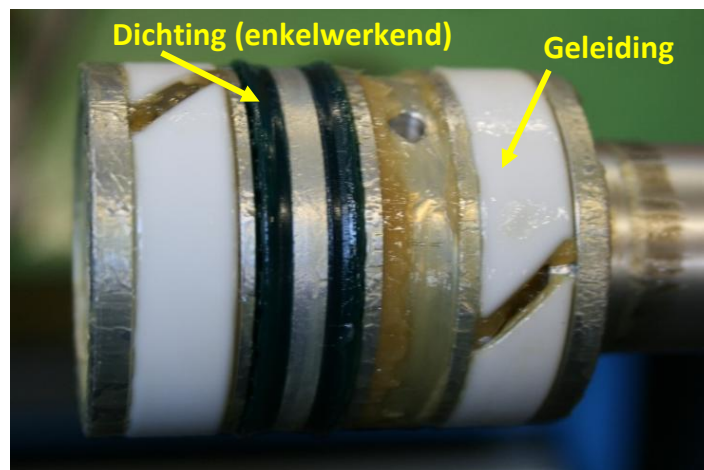
Hoofdstuk 6: De deurcilinder doorheen haar levenscyclusfasen

We zien in Figuur 106 en onderaan Figuur 108 dat de deurcilinders voor de deuren 1^{ste} klasse van de prototype van de AM75-77m (vanaf nu kortweg 'proto' genoemd) opgehangen worden met metalen bolscharnieren. De huidige ophangpunten (bovenaan Figuur 108) zijn semi-bolscharnieren waarbij het contactoppervlak aan de cilinder bekleed is met een harde rubber. De metalen bolscharnieren van de deurcilinder voor de proto zouden performanter moeten zijn in het elimineren van buigkrachten op de cilinder.



Figuur 108: Vergelijk scharnierpunten deurcilinder AM75-77 (boven) en deurcilinder prototype AM75-77m

Omdat de cilinder naar inwendige opbouw identiek is aan deze van de rijtuigen M6 hebben we een lekkende deurcilinder van de M6 uiteen gehaald. De inwendige opbouw wordt weergegeven in Figuur 109. De cilinder bestaat uit 1 trap, net zoals het 'nieuwe' model van de AM75-77.



Figuur 109: Uitvoering dichtingen en geleidingsringen bij cilinderstang deurcilinder HV M6

Hoofdstuk 6: De deurgilinder doorheen haar levenscyclusfasen

Wat de inwendige opbouw betreft, stellen we vast a.d.h.v. Figuur 109:

- De cilinderstang heeft 2 enkelwerkende rubberen dichtingen
- Er zijn 2 geleidingsringen uit witte kunststof voorzien.
- Er is voldoende smeervet aanwezig dat zich opstapelt in de aanwezige groeven

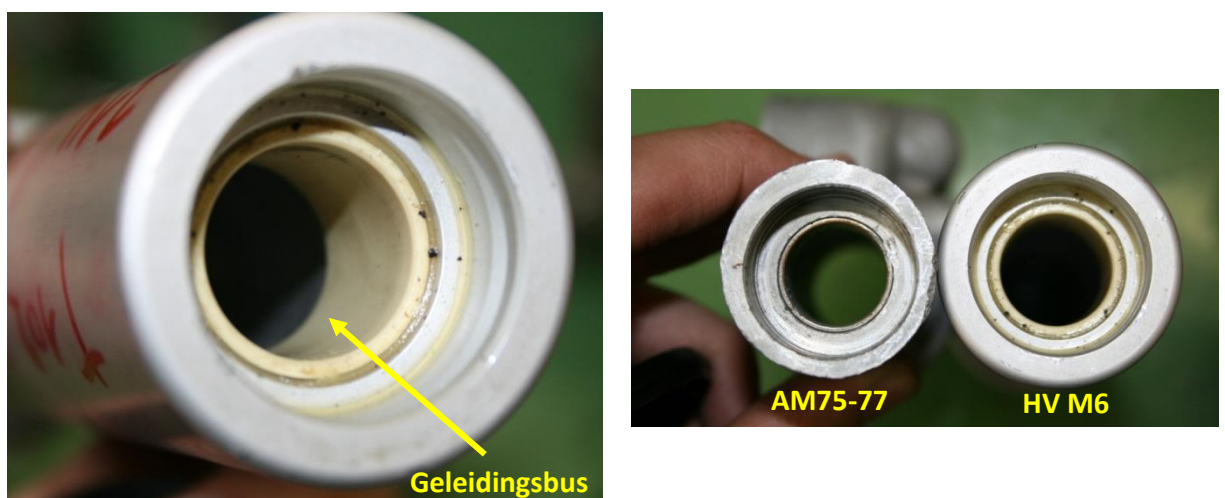
We hadden graag de exacte materialen geweten waaruit zowel de dichtingen als de geleidingen vervaardigd zijn. We hebben meermaals deze informatie bij ISOTHERMOS, dat als tussenbedrijf bij de aankoop van treinmaterieel fungeert, opgevraagd. We hebben echter geen resultaat bekomen binnen het tijdsbestek van de thesisopdracht.

De ons ter beschikking gestelde informatie geeft sterke indicaties dat de **witte** kunststof, waaruit de geleidingsringen vervaardigd zijn, met **teflon** geïmpregneerd is. Teflon staat gekenmerkt om zijn geringe wrijvingscoëfficiënt. De teflonpartikels worden gedurende de gebruiksduur vrijgegeven en gaan zich tussen het contact geleiding/dichting – cilindermantel wringen. Dankzij hun lage wrijvingscoëfficiënt doen zij dienst als vaste smeerparkels. Wanneer het smeervet niet overal in het contact aanwezig is, vormen de teflonpartikels dus een smering van de ‘tweede lijn’. Teflon geïmpregneerde kunststoffen hebben zeker een toegevoegde waarde om vastlopen van een deurgilinder (zoals beschreven in paragraaf 6.4.3) tegen te gaan.

6.6.1.1 Vergelijk kop deurgilinder prototype AM75-77m en HV M6

Wanneer een pneumatische cilinder enkel belast wordt met krachten die in lijn zijn met de cilinderstang, zal de cilinder nooit buigende krachten moeten opvangen.

Bij zwenkschuifdeuren dient de cilinder echter een verplaatsing te maken ‘naar buiten’, loodrecht op de richting volgens de cilinderstang. Dit is inherent aan het kinematisch principe. Zoals beschreven bij Figuur 108 trachten de metalen bolscharnieren de nadelige effecten van deze krachten in eerste instantie te elimineren. Buigende krachten kunnen echter nooit volledig vermeden worden en zullen deels moeten opgevangen worden door de geleidingsringen en de geleidingsbus in de cilinderkop (Figuur 110). Dit werd ook reeds aangehaald in paragraaf 6.4.2.4 .

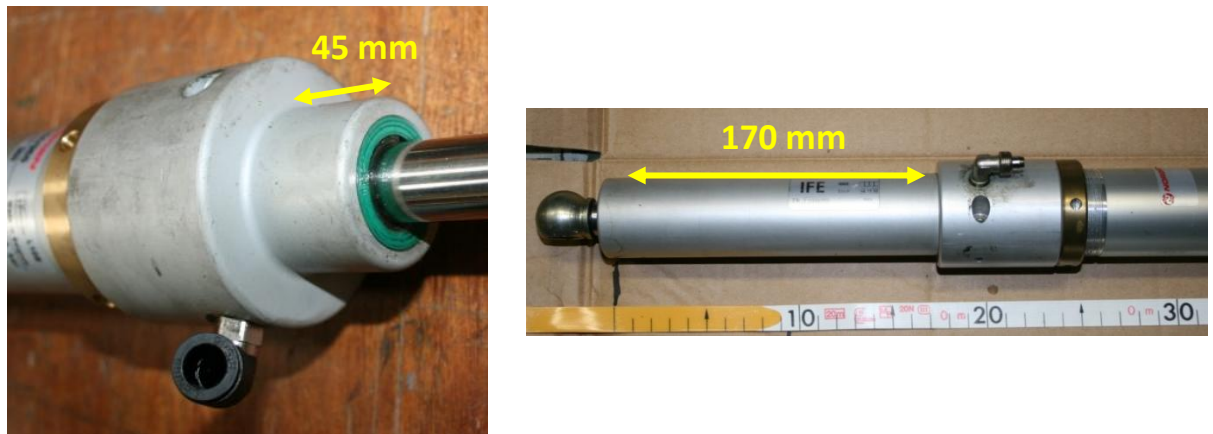


Figuur 110: Geleidingsbus in de cilinderkop van de deurgilinder HV M6 (links) & vergelijk geleidingsbus deurgilinder AM75-77 met HV M6 (rechts)

Hoofdstuk 6: De deurcilinder doorheen haar levenscyclusfasen

De rechterhelft van Figuur 110 demonstreert duidelijk dat de geleidingsbus van de deurcilinder AM75-77 in minder performante staat verkeert.

Met bovenstaande in het achterhoofd willen we nu de cilinderkop van de deurcilinder van de proto en het rijtuig M6 vergelijken (Figuur 111).



Figuur 111: Vergelijk cilinderkop deurcilinder prototype AM75-77m (links) & HV M6 (rechts)

Uit Figuur 111 stellen we vast dat beide cilinderkoppen gelijkaardig zijn naar opbouw maar dat de cilinderkop van de deurcilinder van de proto merklijk korter is dan deze van de deurcilinder M6. Bovendien bevinden zich 2 geleidingsringen in de cilinderkop van de deurcilinder M6. Bij de deurcilinder van de proto lijkt dit laatste weinig waarschijnlijk gezien de geringe lengte van de cilinderkop. Bovendien speelt de afstand tussen de 2 geleidingsringen een rol en die is logischerwijs niet voorhanden bij de deurcilinder van de proto. Dit gegeven is niet onbelangrijk zeker in combinatie met de huidige telescopische geleiding (zie verder in paragraaf 6.6.3)

6.6.1.2 Besluit: Aandachtspunten bij het maken van conceptkeuze 1

We kunnen op dit ogenblik nog geen uitsluitsel geven wat het definitieve antwoord op conceptkeuze 1 moet zijn. Wel willen we de belangrijkste aandachtspunten pro en contra opsommen bij de overweging om nieuwe deurcilinders aan te kopen:

- Pro:
- Ophangpunten zijn uitgevoerd als een volwaardig metalen bolscharnier.
 - Vermoedelijk gebruik van kunststoffen voor de geleidingsringen die met teflon geïmpregneerd zijn.
 - Alle componenten van de deurcilinder zullen zich aan het begin van Periode 2 van de badkuipcurve bevinden. De klok wordt als het ware voor de deurcilinder volledig 'gereset'.
- Contra:
- De kleine, gedrongen cilinderkop is nadelig bij het opvangen van buigende momenten.

6.6.2 Conceptkeuze 2: Behoud van telescopische geleiding of keuze voor ander systeem

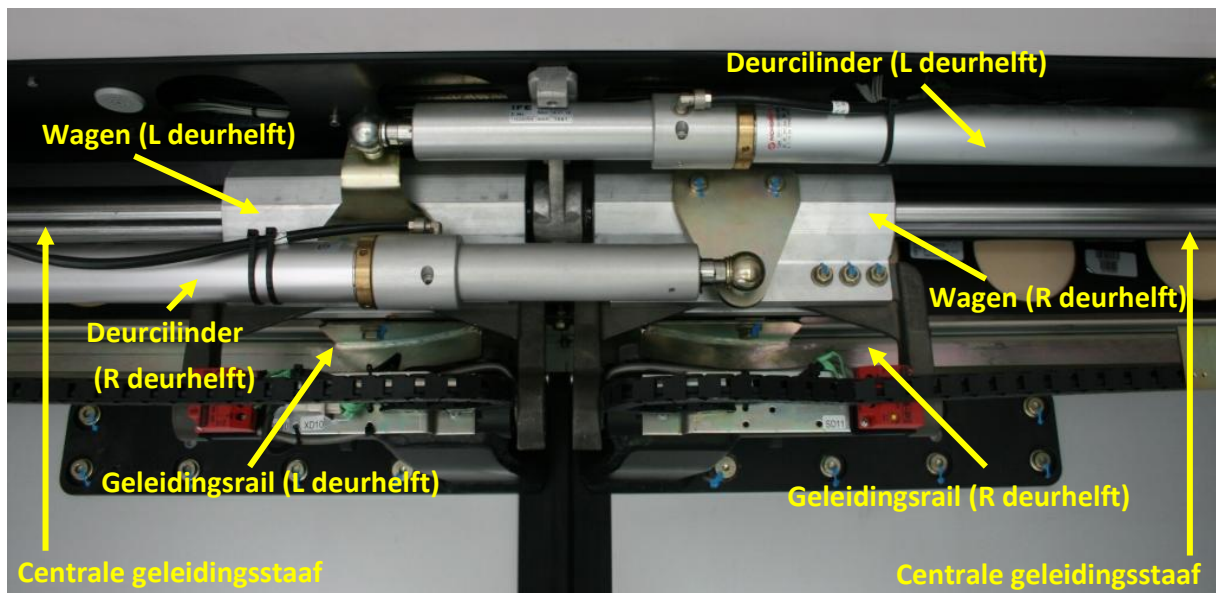
In paragraaf 6.2.1 hebben we telescopische geleiding van de instapdeuren van de AM75-77 besproken. De performantie van deze geleiding bepaalt mede het aandeel aan buigende momenten die de deurcilinder dient op te vangen. Een goed geleidingssysteem verzekert niet alleen een robuuste deurbeweging maar ontlast ook de deurcilinder.

Volgende elementen pleiten om minstens een ander geleidingssysteem te overwegen voor de AM75-77:

- Wanneer de telescopische geleidingen na economische herstelling (zie paragraaf 6.3.1.1) opnieuw aan het einde van hun levensduur gekomen zijn, dienen hoogstwaarschijnlijk sowieso nieuwe geleidingen te worden aangekocht. Eerdere ervaringen met de aankoop van nieuwe geleidingen waren bovendien niet altijd positief (zie paragraaf 6.3.1.2)
- De modernisatie biedt de mogelijkheid om ingrijpende wijzigingen aan het concept van de instapdeuren uit te voeren. Het is 'nu of nooit'.
- De AM75-77 is de enige materieelreeks binnen de NMBS met zwenkschuifdeuren die gebruik maakt van een telescopische geleiding. Uit de inventaris (paragraaf 5.7.2) is gebleken dat haar fiabiliteit niet het gewenste niveau haalt. Daarom is het nuttig andere uitvoeringen van zwenkschuifdeuren te bestuderen.

6.6.2.1 Geleidingssysteem instapdeuren HV M6 (IFE)

Zoals reeds vermeld, vertonen de instapdeuren van het rijtuig M6 enkele mechanische gelijkenissen met deze van de AM75-77. Daarom willen we in Figuur 112 hun geleidingssysteem van naderbij bekijken.



Figuur 112: Deurcilinders en geleidingssysteem van dubbele instapdeur HV M6 (Legenda: L=Linker / R=Rechter)

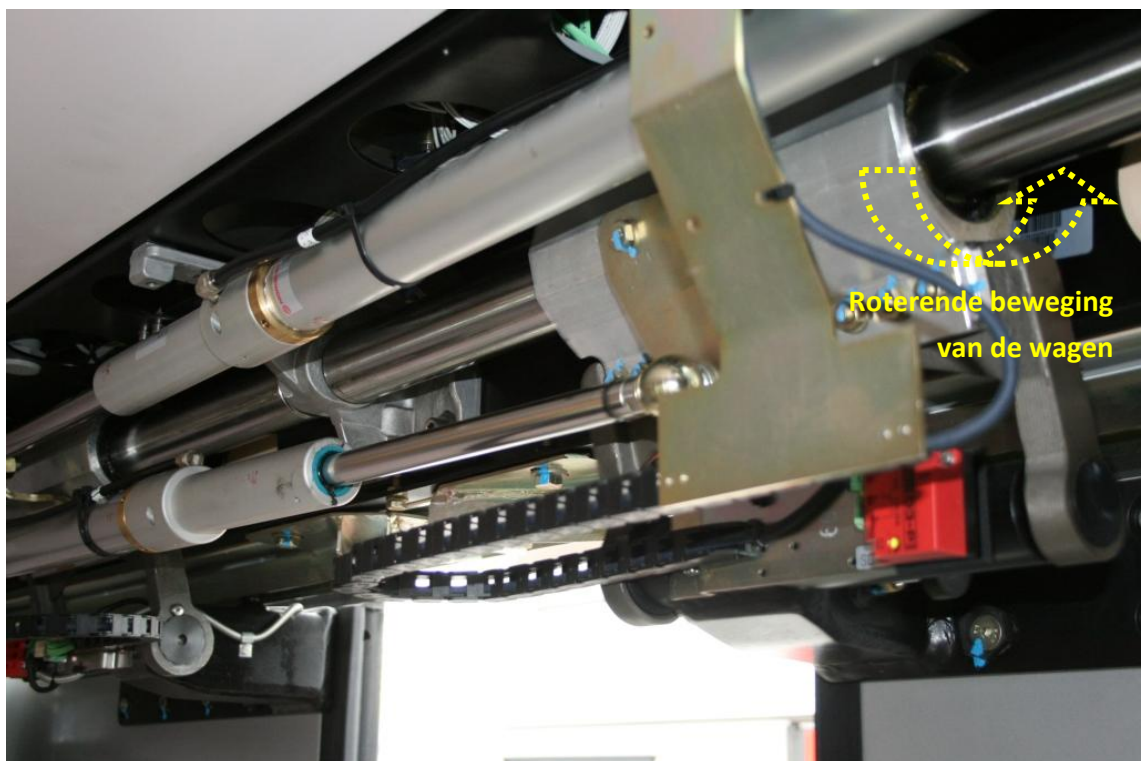
Uit Figuur 112 stellen we vast:

- De geleidingsrail zorgt analoog als bij de AM75-77 voor de zwenkende beweging (Figuur 113)
- De telescopische geleiding is vervangen door een wagen die lineair beweegt over een centrale geleidingsstaaf waarrond de wagen een roterende beweging uitvoert tijdens het zwenken (Figuur 114)

Hoofdstuk 6: De deurgilinder doorheen haar levenscyclusfasen



Figuur 113: Bovenste geleidingsrail met rollen zorgt voor zwenkende beweging dubbele instapdeur HV M6



Figuur 114: Wagen van deurgeleiding dubbele instapdeur HV M6

In volgende paragraaf trachten we de prestatie van de uitvoering met telescopische geleiding van de AM75-77 te vergelijken met de uitvoering met wagen van de HV M6.

6.6.3 Vergelijk geleiding instapdeuren AM75-77 & HV M6: metingen met accelerometer

We hadden twee mogelijke pistes voor ogen om de performantie van de geleiding (vanuit het standpunt van de deurcilinder) te meten:

- 1) Meting van buigende krachten op de cilinderstang door het plaatsen van 4 rekstrookjes
VERKLARING: WANNEER DE GELEIDING GOED IS UITGEVOERD, ZAL DE CILINDERSTANG VOORNAMELIJK IN DRUK OF TREK BELAST WORDEN
- 2) Meting van trillingen op de deurcilinder door het plaatsen van een accelerometer
VERKLARING: WANNEER DE GELEIDING GOED, ROBUUST IS UITGEVOERD, ZAL DE DEURCILINDER MINDER ONDERHEVIG ZIJN AAN TRILLINGEN

Zowel buigende krachten als trillingen zorgen voor extra belasting van het contact tussen de geleidingen/dichtingen – cilindermantel.

Door de uitvoeringen van de deurcilinders en hun werking hadden we geen plaats om rekstrookjes op de cilinderstang te monteren zonder ze te beschadigen tijdens een deurcyclus. We hebben daarom geopteerd om enkel een metingen met een accelerometer uit te voeren.

6.6.3.1 Opzet van de accelerometingen

Met de meetdata uit accelerometingen kunnen twee soorten resultaten gehaald worden:

- 1) Het opgemeten spanningssignaal kan uitgezet worden in de tijd. De spanning van een accelerometer varieert lineair met de aangelegde versnelling. De bekomen grafiek geeft een indicatie voor de intensiteit van de trillingen.
- 2) Het opgemeten spanningssignaal kan met behulp van Fourier transformatie ontleed worden in haar frequentiecomponenten. Door eerst een hamertest uit te voeren (zie Figuur 115) kunnen de eigenfrequenties van de cilinder bepaald worden. Uit het frequentiedomein van de opgemeten signalen kan dan bepaald worden of eigenmodi worden geëxciteerd.



Figuur 115: Uitvoering van de hamertest op deurcilinders HV M6 (boven) en AM75-77 (onder) aan de UGent

Hoofdstuk 6: De deurcilinder doorheen haar levenscyclusfasen

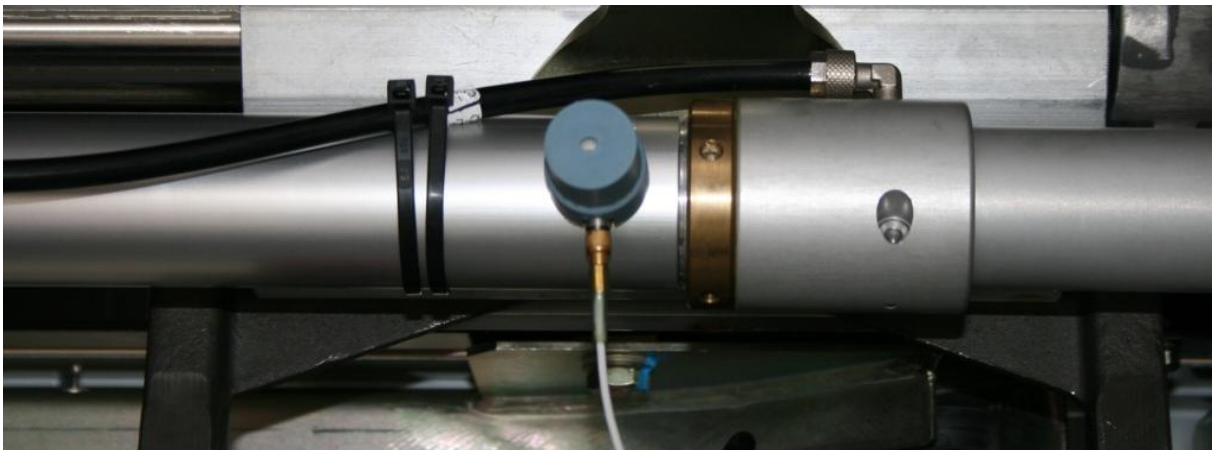
Figuur 115 laat vermoeden dat we initieel beide pistes wilden bewandelen. Echter is na analyse van de bekomen frequentiespectra gebleken dat deze piste geen sluitend antwoord op onze vraagstelling kon geven binnen het voorziene tijdsbestek. Een grondig uitgevoerde frequentieanalyse is bovendien zeer arbeidsintensief en behoort niet tot de kern van deze thesis.

We zullen dus enkel het opgemeten tijdssignaal bekijken als indicator voor de performantie van beide geleidingssystemen.

6.6.3.2 Instrumentatie

In deze paragraaf overlopen we beknopt de instrumentatie die we bij het uitvoeren van onze metingen hebben aangewend. Figuur 116 toont de unidirectionele accelerometer die we aangewend hebben om onze trillingen uit te voeren.

Deze accelerometer geeft een uitgangsspanning van **107mV / aangelegde g**.



Figuur 116: Accelerometer - positionering voor vergelijkende meting

Op de linkerhelft van Figuur 117 is de signaalconditioneringseenheid weergegeven. Haar ingebouwde batterij doet eveneens dienst als voeding voor de accelerometer. Op de rechterhelft van Figuur 117 is de nettop weergegeven waarmee de data van de metingen vergaard werd. Als software omgeving werd geselecteerd voor LabView van National Instruments. De analoge data van de signaalconditioneringseenheid werd aan de USB-poort van de nettop aangeboden met behulp van een DataAcquisitie-eenheid (DAQ) van National Instruments (Figuur 118). De DAQ heeft een ingebouwd Analog naar Digitaal Omzetter (Eng: Analog to Digital Converter - ADC).

Merken we op dat de autonomie van de batterijvoeding van de signaalconditioneringseenheid en de nettop ons in staat stelden metingen uit te voeren bij de afwezigheid van 230V netspanning. Dit is een belangrijk aspect daar de AM75-77, in tegenstelling tot het rijtuig M6, niet voorzien is van stopcontacten voor 230 V wisselspanning!

Hoofdstuk 6: De deurcilinder doorheen haar levenscyclusfasen



Figuur 117: Signaalconditionering / Voeding accelerometer + Nettop met LabView-programma om data van de DAQ te capteren



Figuur 118: National Instruments USB module NI USB-9162 en Analoog naar Digitaal omzetter NI 9215

6.6.3.3 Vergelijk meetresultaten

Voor de AM75-77 hebben we tijdens exploitatie tussen de stations Antwerpen en Brussel-Zuid metingen verricht op deur 15 van stel 844. (Links Figuur 119)

Voor de HV M6 hebben we in de onderhoudspost te Kortrijk metingen verricht op deur 1 van rijtuig nr. 62243 (Rechts Figuur 119)



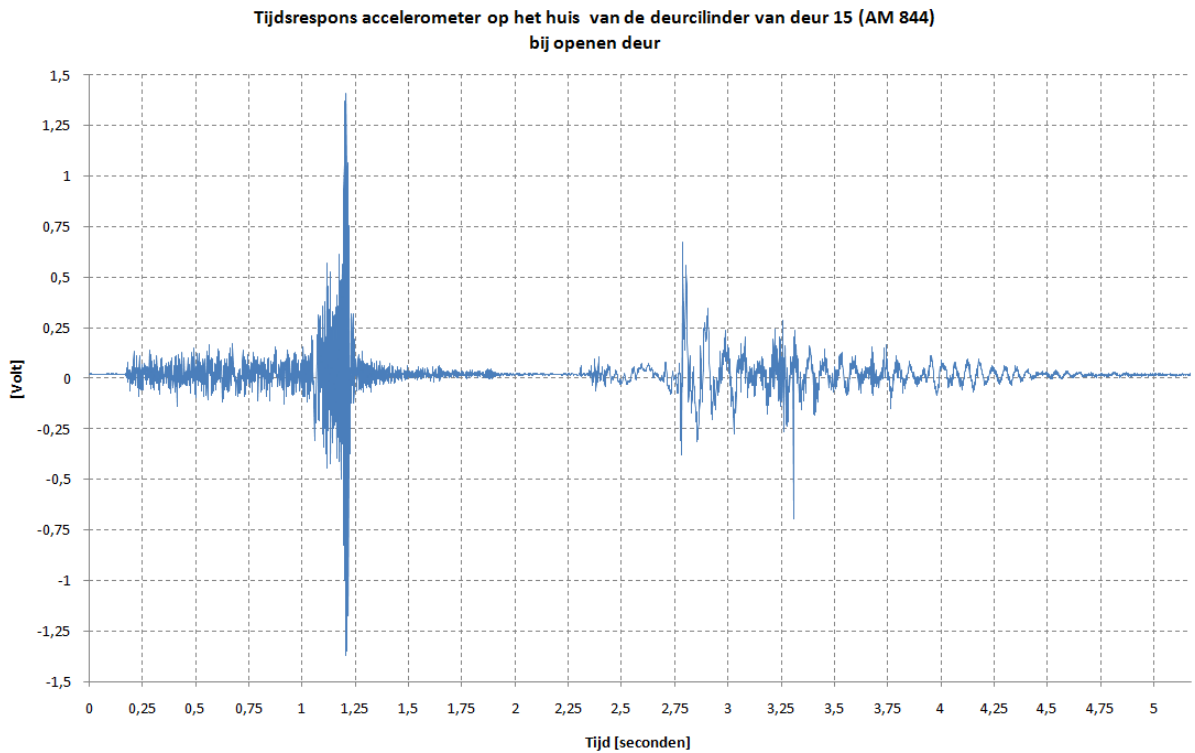
Figuur 119: AM 75-77 stel 844 (Links) en HV M6 nr. 62243 (Rechts) waarop accelerometingen verricht werden

We beschouwen trillingen bij stilstand wanneer de instapdeuren geopend en gesloten worden. Zo elimineren we externe trillingsexcitaties afkomstig van tractievoorzieningen en de klingelse treinbeweging.

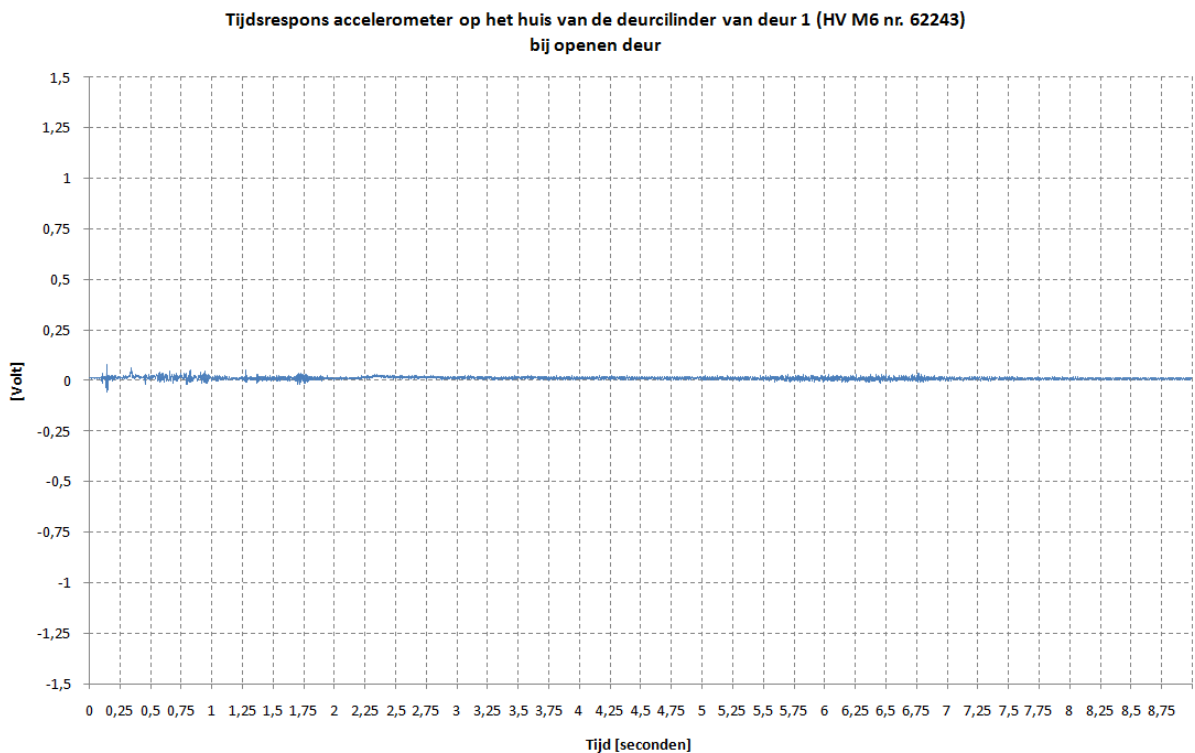
We geven in beide situaties eerst de meetresultaten van de AM75-77 (Figuur 120 en Figuur 123), waarna we de meetresultaten van de HV M6 weergeven op dezelfde schaal (Figuur 121 en Figuur 124). Hierdoor is in één oogopslag het verschil in trillingsamplitude duidelijk. Daarna schalen we de y-as om het trillingssignaal beter weer te geven (Figuur 122 en Figuur 125).

Hoofdstuk 6: De deurgilinder doorheen haar levenscyclusfasen

Openen Deur

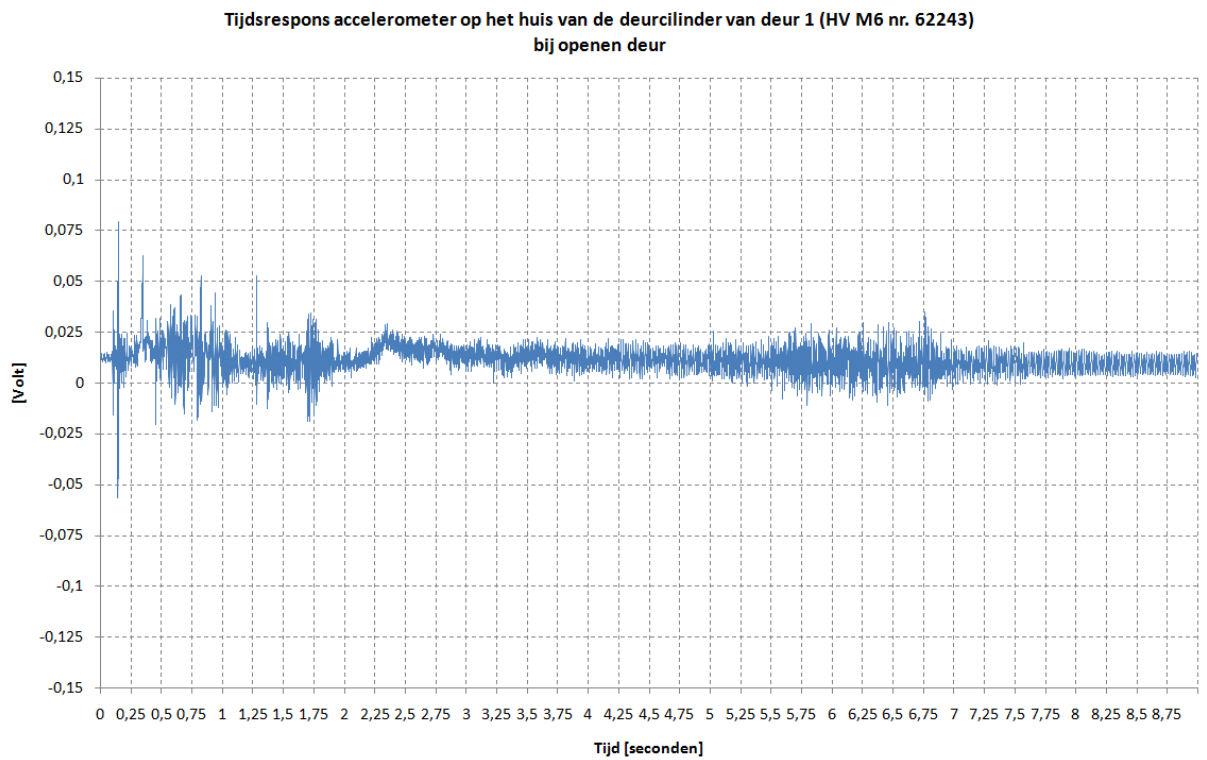


Figuur 120: Opgemeten spanning in de tijd tijdens meten met een accelerometer op het huis van de cilinder bij openen deur 15 AM 844



Figuur 121: Opgemeten spanning in de tijd tijdens meten met een accelerometer op het huis van de cilinder bij openen deur 1 HV M6 nr. 62243 – zelfde schaal voor de spanning als in Figuur 120.

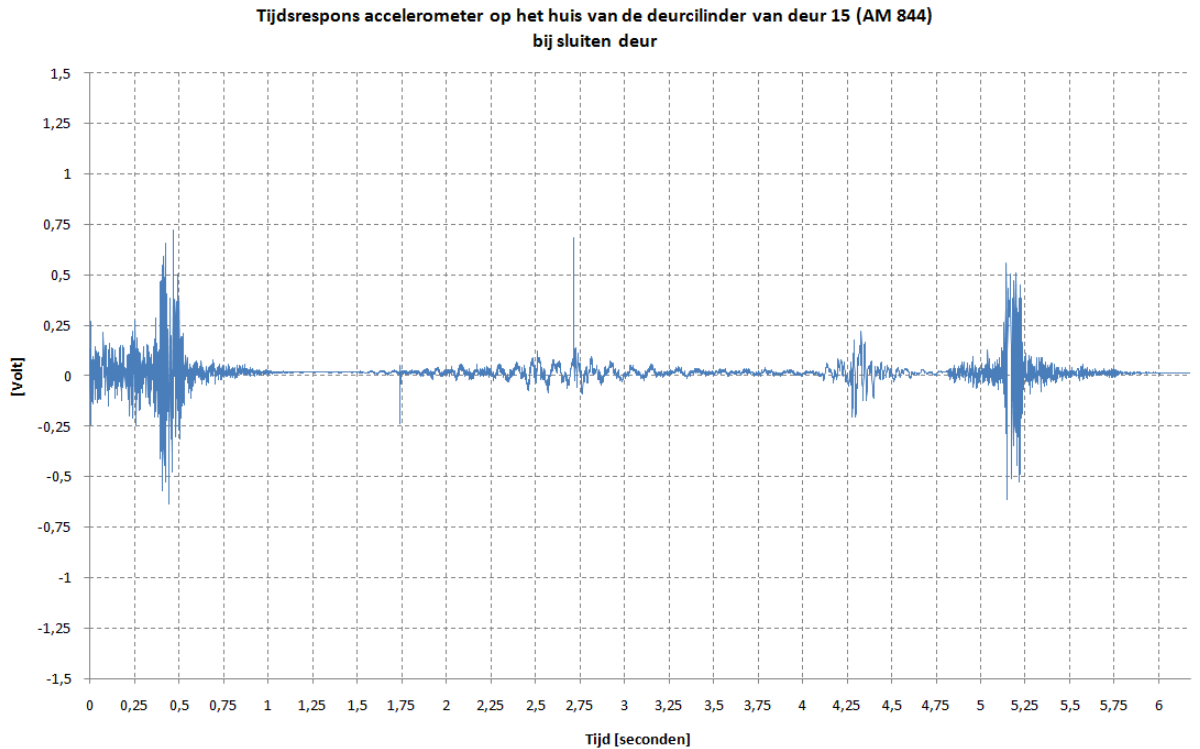
Hoofdstuk 6: De deurcilinder doorheen haar levenscyclusfasen



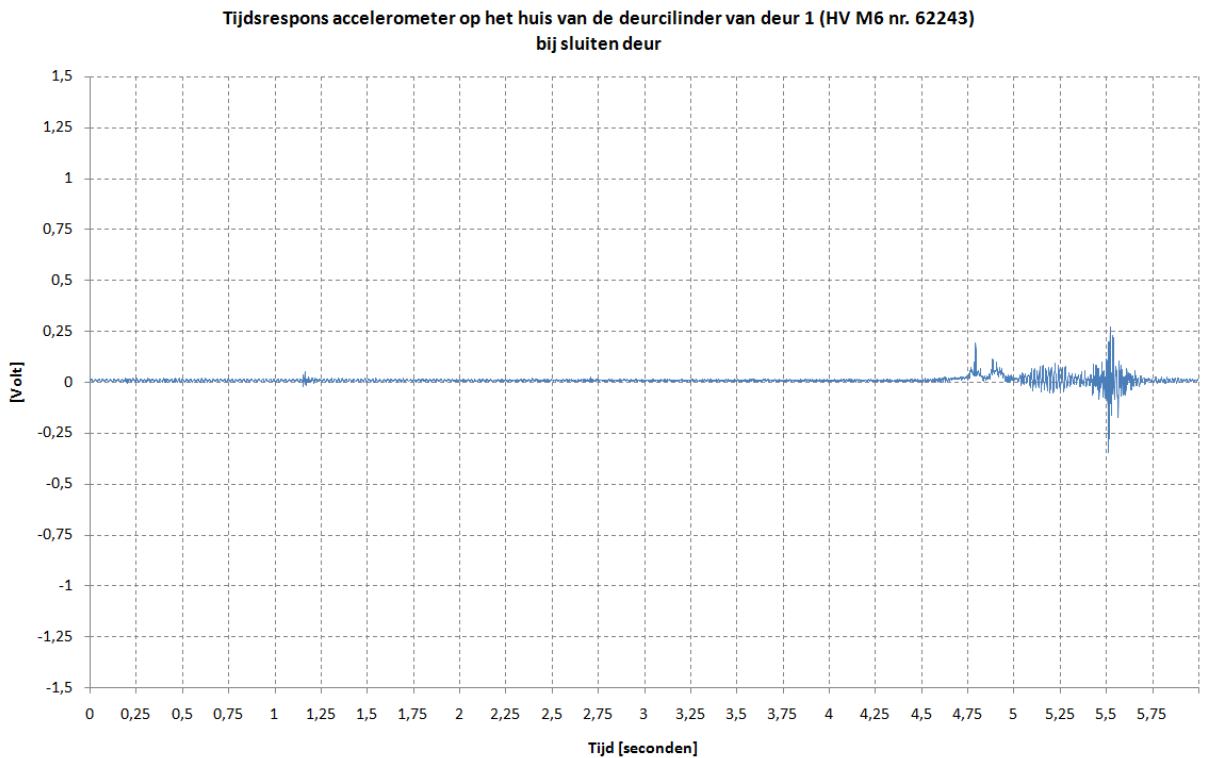
Figuur 122: Opgemeten spanning in de tijd tijdens meten met een accelerometer op het huis van de cilinder bij openen deur 1 HV M6 nr. 62243 – aangepaste schaal voor de spanning.

Hoofdstuk 6: De deencilinder doorheen haar levenscyclusfasen

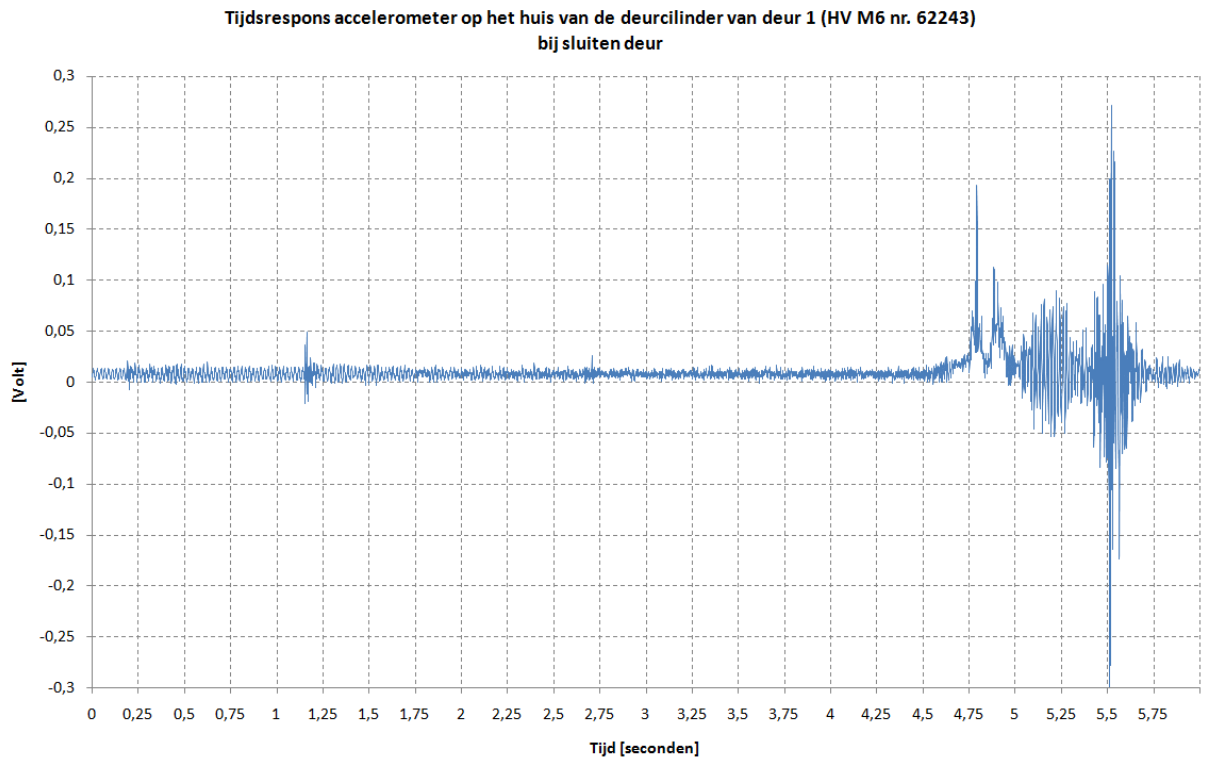
Sluiten deur



Figuur 123: Opgemeten spanning in de tijd tijdens meten met een accelerometer op het huis van de cilinder bij sluiten deur 15 AM 844



Figuur 124: Opgemeten spanning in de tijd tijdens meten met een accelerometer op het huis van de cilinder bij sluiten deur 1 HV M6 nr. 62243 – zelfde schaal voor de spanning als in Figuur 123.



Figuur 125: Opgemeten spanning in de tijd tijdens meten met een accelerometer op het huis van de cilinder bij sluiten deur 1 HV M6 nr. 62243 – aangepaste schaal voor de spanning.

Uit Figuur 120 tot en met Figuur 125 stellen we vast:

- De waargenomen maximale trillingsamplitudes bij de AM75-77 zijn een factor 3 tot 5 keer groter
- Bij het opengaan vertonen beide deurcilinders trillingen bij het uitzwenken aan het begin van de beweging. Dit ligt in lijn met de verwachtingen. De AM75-77 vertoont echter sterke trillingen aan het einde van de openende beweging. Dit is te wijten aan de telescopische geleiding die niet in staat is de deur op het einde van haar beweging mooi af te remmen zonder trillingen.
- Bij het sluiten vertonen beide deurcilinders trillingen bij het inzwijken aan het einde van de beweging. Dit ligt in lijn met de verwachtingen. Aan het begin van de sluitbeweging vertoont de AM75-77 ook sterke trillingen. Dit is opnieuw te wijten aan de telescopische geleiding.

Bovenstaande vaststellingen doen ons besluiten dat de geleiding met wagen, zoals toegepast bij de zwenkschuifdeuren van de HV M6, een hogere performantie heeft voor de deurcilinder dan de telescopische geleiding, zoals toegepast bij de zwenkschuifdeuren van de AM75-77.

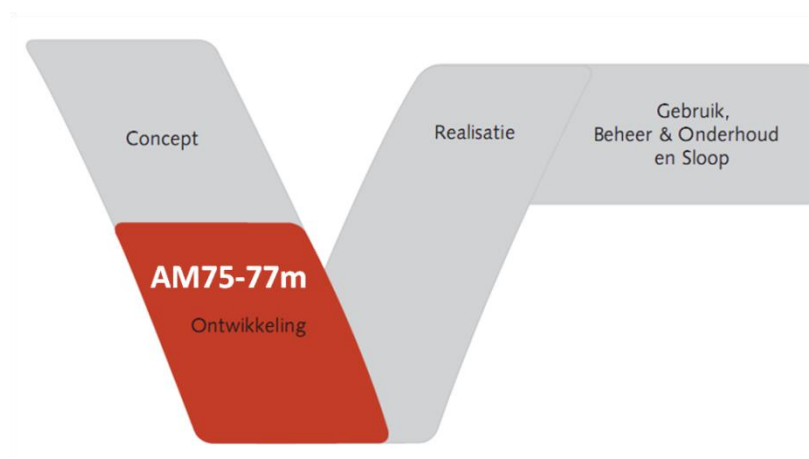
6.6.4 Besluit: Aandachtspunten bij het maken van Conceptkeuze 2

Uit de observaties en meetresultaten in paragraaf 6.6.3.3 is gebleken dat een geleidingssysteem met een wagen die een lineaire en roterende beweging uitvoert om een centrale geleidingsstaaf performanter is dan de telescopische geleiding van de AM75-77.

Dit aspect dient ook meegenomen te worden bij conceptkeuze 1. Het potentieel om met een deurcilinder gelijkaardig aan deze in de HV M6 een fiabiliteitswinst te boeken, hangt niet alleen af van de geometrische overeenkomsten (waaronder de cilinderkop) maar ook van de deurgeleiding.

Beide conceptkeuzes zijn dus gedeeltelijk inherent met elkaar verweven. Natuurlijk dient bij de uiteindelijke beslissing de economische factor ook beschouwd te worden.

6.7 Ontwikkelingen deurcilinder AM75-77m: Revisieketting & Smering



Bij het schrijven van deze thesistekst heeft NMBS Technics nog geen definitieve beslissing genomen over het al dan niet aankopen van nieuwe deurcilinders voor de AM75-77m en of zowel de cilinders deuren 1^{ste} als 2^e klasse vervangen worden. Maar niet alleen daarom is het nuttig de revisieketting te optimaliseren en ons te buigen over het smeringsvraagstuk. Deze twee items kunnen bovendien nuttig blijken voor andere reeksen deurcilinders die eveneens een revisie ondergaan te CW Mechelen.



We hebben voor de zaken die in paragraaf 6.7 aan bod komen beroep gedaan op de expertise van het Labo Soete. Zij zijn gespecialiseerd in tribologie en vermoeiing.

6.7.1 Optimalisatie van de revisieketting

In paragraaf 6.5 werd de huidige revisieketting van de deurbcilinders AM75-77 onder de loep genomen. Ze bleek echter niet te volstaan om de deurbcilinders te behoeden voor voortijdig falen. Nochtans kan voor een cilinder een quasi oneindige levensduur bekomen worden. Hierbij dienen wel volgende basisregel in acht genomen te worden:

De metalen delen van een cilinder mogen niet aan slijtage onderworpen worden!

Aan bovenstaande basisregel kan voldaan worden mits volgende 'regels van goede praktijk':

- Wanneer een deurbcilinder wordt open gedaan, dienen alle contactmakende componenten vervangen te worden. Dit houdt in dat alle geleidingsringen en dichtingen vervangen worden. De aluminium onderdelen dienen gewoon afgewassen te worden.
- Wanneer deze componenten vervangen worden, worden ze vervangen door nieuw aangekochte componenten. Voor recente uitvoeringen van deurbcilinders zijn hiervoor kits beschikbaar zoals deze voor de deurbcilinder HV M6 in Figuur 126.
- Wanneer de geleidingsbus in de cilinderkop (zie Figuur 110) overmatig uitgesleten is, dient de cilinderkop vervangen te worden. Overmatige slijtage kan opgemerkt worden doordat met de cilinderstang een 'roerende' beweging kan gemaakt worden.



Figuur 126: Kit met dichtingen en geleidingsringen voor de deurbcilinder HV M6 van Norgren

Bij de **aankoop van nieuwe geleidingsringen** voor de deurbcilinders AM75-77 kan overwogen worden om over te schakelen op geleidingsringen vervaardigd uit **zelfsmerende materialen**. Als typevoorbeeld vermelden we geleidingsringen die met **teflon geïmpregneerd** zijn.

Een goede smering van de contactoppervlakken tussen de cilindermantel en –stang vormt de noodzakelijke sluitschakel bij deze 'regels van goede praktijk' om tot een lange levensduur van de deurbcilinder te komen.

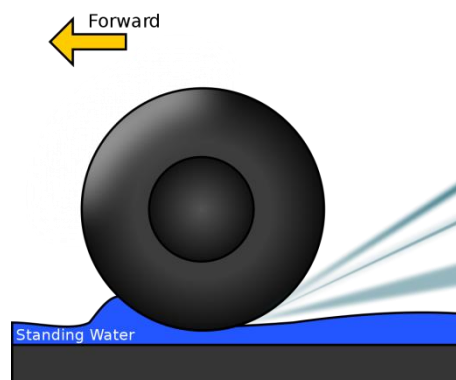
6.7.2 Keuze van een adequaat smeervet voor de deurcilinder

In paragraaf 6.4.3 hebben we vastgesteld dat een groot deel van de afgekeurde deurcilinders vastgelopen is. Dit wijst op een acuut smeringsprobleem. We gaan daarom dieper in op het rubber-aluminium contact in de deurcilinder en haar smering.

6.7.2.1 Eigenschappen van het rubber-aluminium contact

We geven in eerste instantie een beknopt overzicht van de eigenschappen van het rubber-aluminium contact:

- Door haar elastische karakter zal het rubber zich aanpassen aan het contactoppervlak waarmee het gepaard is. Dit resulteert in een goed contactoppervlak op microscopische schaal. We zeggen dat het rubber neiging tot adhesie heeft. Macroscopisch vertaalt zich dat in een goede grip. Dit is gewenst bij het rubber-wegdek contact bij wegvoertuigen. Voor onze deurcilinder is deze adhesie echter uit den boze. Adhesieve slijtage zal de rubberen dichting snel degraderen.
- Wanneer echter een vloeistoffilm zich nestelt tussen het rubber en het contactoppervlak waarmee het gepaard is, verliest het rubber alle grip. We gaan niet dieper in op de mechanismen die hiervoor verantwoordelijk zijn. Dit zou ons te ver leiden. Wel kunnen we dit opnieuw illustreren aan de hand van het rubber-wegdek contact bij wegvoertuigen (Figuur 127). Wanneer een wegvoertuig aan een bepaalde snelheid door een strook met stilstaand water rijdt, kan er aquaplaning optreden. Hierbij nestelt het water zich tussen het rubber-wegdek contact waardoor bijna alle grip verloren gaat en ook geen stuurkrachten meer kunnen overgebracht worden. Wat nadelig en zelfs gevaarlijk is voor wegvoertuigen, is voor de slijtage van onze rubberen dichtingen voor onze deurcilinder een uitermate positief gegeven.



Figuur 127: Aquaplaning bij wegvoertuigen [18]

- Het rubber-aluminium contact is zeer mild naar smeringsvereisten. Zolang er geen sprake is van droogloop is, is elke vorm van smering met een vloeistof goed. We kunnen dus gebruik maken van water, olie of vetsmering. Een staal – op – staal contact daarentegen is veel strenger naar smeringeisen. Daar kan allereerst wegens corrosie geen water aangewend worden. Bovendien breken de ruweheidspieken in het staal – op – staal contact door de smeringsfilm.

6.7.2.2 Beperkingen opgelegd aan de smering van het rubber-aluminium contact

Het feit dat we te maken hebben met een rubber-aluminium contact in een pneumatische deurcilinder voor treinmaterieel legt ons enkele beperkingen op:

- 1) Open smeersystemen waarbij het smeermiddel (bijvoorbeeld water) gewoon weglekt, kunnen hier niet aangewend worden.
- 2) Een vaak toegepaste smeringstechniek is het meesturen van oliedruppels in de luchttoevoer. Doordat de perslucht op de trein ook wordt aangewend voor de voeding van de remtoestellen is dit echter geen optie.
- 3) Het bijsmeren van een deurcilinder die op een treinstel gemonteerd is, is geen optie. Dit betekent dat het aangebrachte smeermiddel de tijd tussen twee herzieningen moet overleven.

Rekening houdend met de eigenschappen besproken in paragraaf 6.7.2.1 en bovenstaande beperkingen, dienen we te opteren voor vetsmering van het contact bij herziening. Hoewel dit overeenkomstig de huidige praktijk is, hebben we toch vastgesteld in paragraaf 6.4.3 dat de rubberdichtingen adhesieve slijtage ondergaan. We moeten ons daarom de vraag stellen of het gebruikte smeervet wel voldoet. Alvorens verder in te gaan op deze vraag moeten we natuurlijk volgend basisprincipe voor vetsmering in deurcilinders respecteren:

Alle contactmakende oppervlakken dienen voldoende ingesmeerd te worden met het smeervet zodat zij een 'nat' uitzicht vertonen!

Bovenstaand basisprincipe is natuurlijk een logisch gevolg van het sterke adhesieve karakter van drooglopend rubber over aluminium.

6.7.2.3 Specificatievereisten voor smeervet in deurcilinders

De keuze van een adequaat smeermiddel is uiteraard cruciaal maar helemaal niet evident. In deze paragraaf overlopen we enkele kenmerkende eigenschappen van een smeervet teneinde specificatievereisten te bepalen waaraan ons smeervet dient te voldoen.

We geven eerst een definitie van het begrip smeervet [19]:

Smeervet is gedefinieerd als een halfvloeibare tot vaste dispersie van een verdikkingsmiddel in een vloeistof (basisolie). Het bestaat uit een mengsel van maximaal 90% minerale of synthetische olie en een verdikkingsmiddel. In bijna 90% van alle vetten is het verdikkingsmiddel een metallische zeep, dat gevormd wordt door een metaalhydroxide te laten reageren met een vetzuur. Een voorbeeld hiervan is lithiumstearaat, ook wel lithiumzeep genoemd. De basisolie zal tijdens de gebruiksduur langzaam worden vrijgegeven door de zeepstructuur. Dit wordt het 'bloeden' van smeervet genoemd.

We bekijken vervolgens de voor ons relevante eigenschappen die de verschillende zeepstructuren vertonen (bewerking van [19]):

- **Calciumzeepvetten (Ca)** hebben een gladde, boterachtige structuur en een goede mechanische stabiliteit. Ze lossen niet op in water en mogen niet gebruikt worden bij temperaturen boven 60 °C. Calciumzeepvetten worden aanbevolen voor installaties die zijn blootgesteld aan water en waarbij de temperatuur niet boven 60°C komt. Calciumzeepvetten die gestabiliseerd zijn met andere media dan water kunnen gebruikt worden bij temperaturen tot 120°C. Een voorbeeld hiervan zijn de calciumcomplexvetten.
- **Natriumzeepvetten (Na)** ook wel sodavetten genoemd, kunnen gebruikt worden in een breder temperatuurgebied dan normale calciumzeepvetten. Deze vetten hebben goede hechtende en afdichtende eigenschappen. Tevens hebben ze goede corrosiewerende eigenschappen omdat ze water opnemen, al gaat dit ten koste van het smerend vermogen. Wanneer er teveel water doordringt, bestaat er een kans dat het vet uitgespoeld wordt. Deze vetten kunnen daarom niet in "natte" toepassingen gebruikt worden. Synthetische natriumzeepvetten voor hoge temperaturen zijn bestand tegen temperaturen tot 120°C.
- De structuur **Lithiumzeepvetten (Li)** is gelijk aan die van calciumzeepvetten. Ze hebben de positieve eigenschappen van calcium- en natriumzeepvetten en praktisch geen van de nadelen. Ze hechten goed aan metalen oppervlakken. Ze zijn zeer stabiel bij hogere temperaturen. De meeste lithiumzeepvetten kunnen over een breed temperatuurgebied worden gebruikt. Lithiumzeepvetten lossen vrijwel niet op in water. Ze kunnen gebruikt worden in "natte" toepassingen, bijvoorbeeld wanneer de temperatuur te hoog is voor calciumzeepvetten.

De gebruikte **basisolie** kan van minerale of synthetische aard zijn (voor meer achtergrondinformatie zie [20]). In vele industrietakken bestaat de neiging om over te schakelen naar synthetische basisoliën. Dit is voor rubberen dichtingen niet zonder risico.

Bij gebruik van synthetische basisolie dient de compatibiliteit van de olie met het rubber van de dichting vooraf onderzocht te worden!

Voor onze toepassing in de deurcilinder zijn volgende 3 eigenschappen van smeervet relevant:

- 1) **Temperatuursbereik** – Het is belangrijk dat de deurcilinder gedurende de 4 seizoenen optimaal blijft functioneren. Dit houdt in dat het smeervet minstens dienst moet kunnen verrichten in een temperatuursinterval variërend van -20°C tot +55°C. Het vet mag hierbij niet uitharden of helemaal leegbloeden
- 2) **Consistentie** – De consistentie, de graad van dikte van een vet, wordt hoofdzakelijk bepaald door het type en de hoeveelheid verdikkingsmiddel. De consistentie wordt onderverdeeld volgens een door het Amerikaanse NLGI (National Lubricating Grease Institute) ontwikkelde schaal. Deze schaal is gebaseerd op de mate waarin een standaard conus in een tijd van 5 seconden in het vet zakt, gemeten in tienden van millimeters. Het resultaat is de WP-index (Worked Penetration, mechanische indringing). Hoe zachter het vet, des te kleiner de NLGI-index [19]. Een NLGI-index van 0 of 1 zou in onze toepassing een goede smering betekenen van het rubber-aluminium contactoppervlak. Omdat het vet niet te snel mag 'weglopen', wordt beter geopteerd voor een vet met NLGI-index 2
- 3) **Aanwezigheid van vaste smeerpertikels** – Bij het smeervet kunnen vaste smeerpertikels worden gevoegd. Deze gaan zich hechten aan het contactoppervlak en oefenen een smering van de 'tweede lijn' uit wanneer de basisolie op bepaalde contactpunten niet meer aanwezig is. In de productfiches wordt naar deze partikels verwezen onder het begrip '**antislijtage additieven**'. Twee veelgebruikte varianten zijn teflon (geeft een witte kleur aan het vet) en grafiet (geeft een zwarte kleur aan het vet). Daar vetten, in tegenstelling tot kunststoffen, niet van kleurstoffen worden voorzien, is de kleur van het vet een goede indicator voor de aanwezigheid van deze partikels

Noot: IN DE WINTERPERIODE WERD ETHANOL VERDAMPT IN DE LUCHTLEIDING ALS ANTI-VRIESMIDDEL. DEZE PRAKTIJK ZOU ECHTER NIET MEER IN VOEGE ZIJN. INDIEN WEL NOG GEBRUIK GEMAAKT WORDT VAN ETHANOL DIENT HET GEBRUIKTE SMEERVET GECONTROLEERD TE WORDEN OP HAAR RESISTENTIE TEGEN ETHANOL.

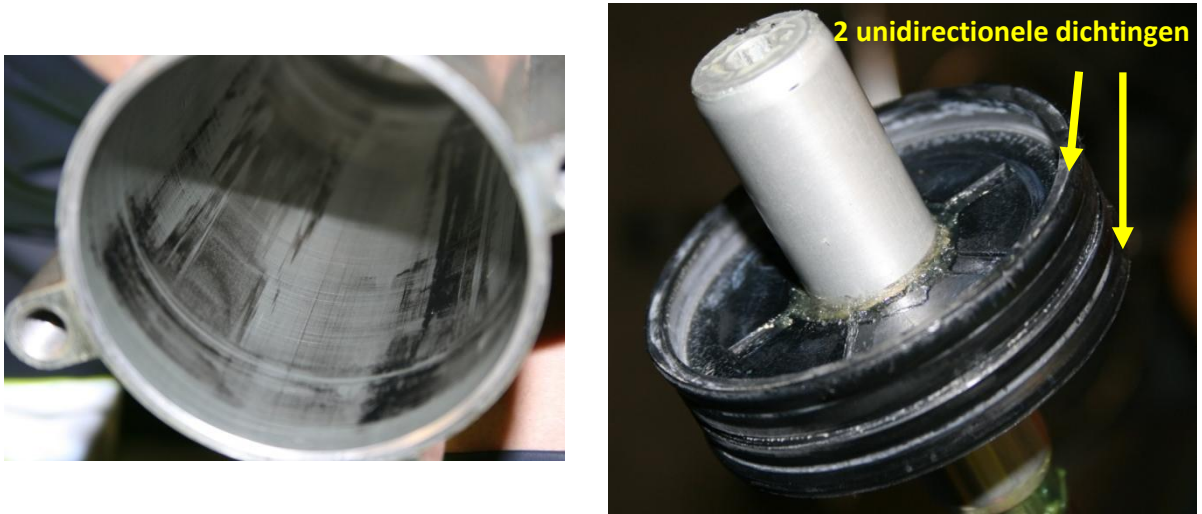
Andere vaak geciteerde eigenschappen zoals additieven voor hoge druk (Eng: Extreme Pressure additives – EP) en de viscositeit van de basisolie zijn voor onze toepassing minder cruciaal. Hiervoor kunnen standaardwaarden genomen worden.

Nu we gewapend zijn met de nodige basiskennis over smeervetten kunnen we het smeervet 'Autol Top 2000' dat gebruikt wordt bij de revisie van de deurcilinders AM75-77 gaan evalueren en bekijken of een plaatsvervangend vet nodig is.

Alvorens de verschillende productfiches te analyseren, hebben we navraag gedaan in CW Mechelen of ze bij de revisie van andere deurcilinders een gelijkaardig probleem van vastlopen hebben ervaren.

6.7.2.4 Vaststellingen bij vastgelopen deurcilinders AM96/HV I11

We hebben ook het vastlopen van verscheidene deurcilinders AM96/HV I11 (beide materieelreeksen gebruiken dezelfde deurcilinder) vastgesteld (Figuur 128)



Figuur 128: Sporen van adhesieve slijtage van de rubberen dichtingen op de cilindermantel (links) en de rubberen dichtingen zelf (rechts) bij een vastgelopen deurcilinder AM96/I11

Figuur 128 vertoont dezelfde fenomenen als deze vastgesteld in paragraaf 6.4.3 :

- Rubberafzettingen op de binnenkant van de cilindermantel
- Rubberafzettingen op de dichtingsring die droog aanvoelt

Omdat het vastlopen van deze cilinders duidelijk het gevolg is van een smeringsprobleem, hebben we een inventarisatie gemaakt van de afgekeurde cilinders die gestockeerd waren in het magazijn van de remwerf te CW Mechelen waar de revisie uitgevoerd wordt. Tabel 6-8 geeft het beknopt resultaat van onze inventarisatie weer.

Tabel 6-8: Inventarisatie afgekeurde deurcilinders AM96/I11 in magazijn remwerf te CW Mechelen

Aantal afgekeurde deurcilinders AM96/I11 in magazijn remwerf (20/04/2011)			
46			
Nog niet gereviseerd		Reeds gereviseerd te CW Mechelen	
21		25	
Andere defecten	Aantal vastgelopen	Aantal vastgelopen	Andere defecten
21	0	11	14

Uit Tabel 6-8 stellen we vast dat:

- Bijna 25% van de afgekeurde deurcilinders vastgelopen is
- Al deze vastgelopen cilinders reeds eerder gereviseerd waren te CW Mechelen

NOOT: WE NOTEREN DAT DE NOG NIET GEREVISEERDE DEURCILINDERS AL DIENST DOEN SINDS 1995-1997 ZONDER VAST TE LOPEN. DIT IS EEN NIEUWE INDICATIE VOOR HET FEIT DAT DE BEOOGDE LEVENSDUUR VAN 6 JAAR TUSSEN 2 HERZIENINGEN KAN GEHAALD WORDEN MITS EEN GOEDE SMERING.

Hoofdstuk 6: De deurgelopen doorheen haar levenscyclusfasen

Aan de hand van de identificatiestickers (Figuur 129) lijsten we de datum van voorgaande revisie van deze cilinders op (Tabel 6-9).



Figuur 129: Identificatiesticker revisie deurgelopen te CW Mechelen

Tabel 6-9: datum revisie van vastgelopen deurgelopen AM96/I11

	Datum eerdere revisie te CW Mechelen	
Vastgelopen deurgelopen	6/09/2006	28/09/2009
	6/02/2008	28/09/2009
	18/05/2009	28/09/2009
	2/06/2009	30/09/2009
	8/09/2009	17/12/2009
	11/09/2009	

We hebben geopteerd om 4 van de 25 afgekeurde en reeds gereviseerde deurgelopen AM96/I11 te laten inspecteren in het Labo Soete

Van deze 4 deurgelopen waren er

- 2 cilinders vastgelopen
- 2 cilinders die een ander defect vertoonden

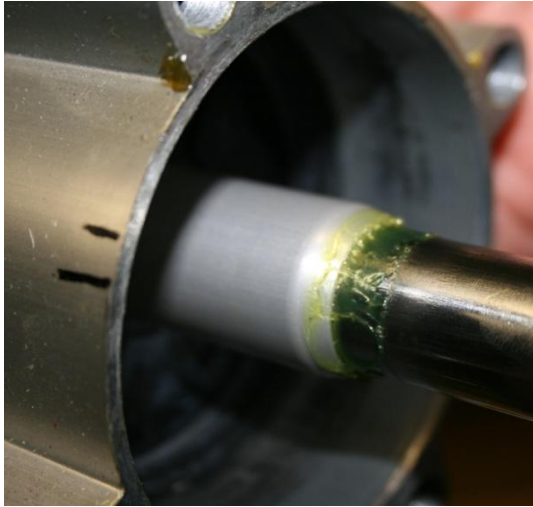
Voor de 2 vastgelopen cilinders werd vastgesteld:

- Gebruik van fluogroen vet (linkerhelft Figuur 130)
- Smeervet werd **niet overal aangebracht waar het moet**, er is weinig of geen vet op de dichting te bespeuren (rechterhelft Figuur 130)
- Kleverig aanvoelen, slechte smering

Voor de 2 andere cilinders werd vastgesteld:

- Gebruik van witachtig vet
- Er is telkens een mooie vetafzetting op de lip van de dichting. De dichting is mooi nat (Figuur 131)
- Goede smering

Hoofdstuk 6: De deurglijcilinder doorheen haar levenscyclusfasen



Figuur 130: Sporen van adhesieve slijtage op de cilindermantel en fluogroen vet op de demping (links) – Weinig tot geen vetafzetting op de dichting (rechts) van de deurglijcilinder AM96/I11 bij onderzoek te Labo Soete



Figuur 131: Afzetting van witachtig vet op dichting deurglijcilinder AM96/I11 bij onderzoek te Labo Soete

Hoofdstuk 6: De deurgilinder doorheen haar levenscyclusfasen

Aan de hand van de identificatiegegevens hebben we kunnen achterhalen dat :

- het fluogroen vet in de deurgilinders van de AM96/I11 het smeervet 'Autol Top 2000' is. Dit is hetzelfde smeervet als gebruikt voor de deurgilinders AM75-77. Dit vet werd slechts gedurende de periode opgelijst in Tabel 6-9 gebruikt voor de deurgilinders van de AM96/I11.
- het witachtige smeervet dat momenteel voor revisie van de deurgilinders AM96/I11 gebruikt wordt, is het smeervet 'Renolit HLT 2'

Ook bij de deurgilinders AM86/89 hebben we een vastgelopen cilinder open gedaan (Figuur 132). Ook hier werd fluogroen smeervet (= 'Autol top 2000) gebruikt in dezelfde periode als de vastgelopen deurgilinders AM96/I11.



Figuur 132: Vastgelopen deurgilinder AM86-89

Uit de vaststellingen in deze paragraaf kunnen we concluderen dat:

- 1) ook bij de revisie van andere reeksen deurgilinders af en toe te weinig smeervet op de contactoppervlakken wordt aangebracht.
- 2) het fluogroen smeervet 'Autol Top 2000' niet geschikt is voor toepassing in deurgilinders.
- 3) het witachtige smeervet 'Renolit HLT 2' betere prestaties vertoont voor onze toepassing

In volgende paragraaf zullen we deze twee smeervetten analyseren voor de eigenschappen vermeld in paragraaf 6.7.2.3

6.7.2.5 Vergelijk smeervetten 'Autol Top 2000' en 'Renolit HLT2'

Autol Top 2000 (Agip)

We hernemen in Figuur 133 en Tabel 6-10 de belangrijkste eigenschappen voor dit smeervet. We wijzen hierbij op de aandachtspunten (conform paragraaf 6.7.2.3)

Super-Longtime-Grease with a synthetic base oil for longer regreasing intervals

Soap Basis		special Ca. soap
Temperature range	°C	-30 to +110
Drop point	°C	150
Base oil viscosity at 40°C	mm ² /s	850
Behaviour to Water		0-90
Corrosion protection properties (EMCOR-Test)		Corr. -grade. 0 and 0

Autol TOP 2000 is a special grease with exceptional adhesive properties and very good extreme-pressure-properties - a real Super-Longtime-Grease suitable for very long regreasing intervals.

Under difficult conditions it reduces wear and is especially resistant to wash outs in the lubrication points. It is extremely resistant to salt water, cooling lubricators, plant preservatives and many lyes.

Due to its composition and if applied as directed, according to the manufacturers regulations, it is physiological harmless and therefore also suitable for the application as lubrication in the foodstuff industry.

Applications:

Autol TOP 2000 is a high pressure grease for the lubrication of vehicles, industrial, constructional and agricultural machines. It can be used without problems in critical lubrication points (impact loads, high moisture, salt water, high pressure with low relative movement). It can also used for industrial robots, continuous transporters as well as for boats or winter service. Despite the high base oil viscosity the application in central lubricating systems is possible without problems.

For the use in wheel and axle bearings we recommend **AUTOL TOP 2000 High Temp.**

Attention! The highest short-time peak temperature permitted is +125°C.

Please observe the manufacturer's specifications when selecting products.

Figuur 133: Beschrijvende fiche smeervet 'Autol top 2000' (Agip/Eni)

Tabel 6-10: Gegevens volgens technische fiche smeervet 'Autol top 2000' volgens labo NMBS-Holding

Aspect technische fiche	Resultaten
Bestanddelen	Calciumcomplex-vet
	Synthetische basisolie
Eigenschappen	Zeer goede waterbestendigheid
	Zeer goede aanhechting
	Zeer goede stabiliteit van smeerfilm
	Zeer goede afdichting
	Zeer goede antislijtage eigenschappen

Hoofdstuk 6: De deurbilinder doorheen haar levenscyclusfasen

Uit Figuur 133 stellen we vast:

- Het smeervet heeft een Calciumcomplex zeepstructuur
- Het is geschikt voor een temperatuursbereik van -30°C tot $+110^{\circ}\text{C}$
- Het is een smeervet voor gebruik bij hoge drukken. Deze hoge drukken treden echter NIET op in onze toepassing
- Het smeervet is geschikt voor gebruik in de voedingsnijverheid. Smeermiddelen die geschikt zijn voor gebruik in de voedingsnijverheid mogen echter weinig additieven bevatten. Hierdoor lijkt het onwaarschijnlijk dat vaste smeerpakketten zoals teflon aanwezig zijn in het vet. Er wordt enerzijds in de fiche geen gewag gemaakt van antisluitage additieven, anderzijds wijst ook de kleur van het vet niet in deze richting

Uit Tabel 6-10 stellen we vast:

- Het smeervet heeft een synthetische basisolie. De compatibiliteit met de gebruikte rubberen dichtingen dient geverifieerd te worden.
- De zeer goede antisluitage eigenschappen wijzen niet op de aanwezigheid van smeerpakketten zoals teflon en grafiet

Renolit HLT 2 (Fuchs)

Figuur 134 toont de vorm waaronder het smeervet 'Renolit HLT 2' van de fabrikant Fuchs wordt gestockeerd te CW Mechelen. Op de website van Fuchs-Europe wordt dit smeervet **specifiek aanbevolen voor pneumatische toepassingen**. Dit smeervet heeft een witachtige kleur en haar productfiche wordt gegeven in Figuur 135. We wijzen ook hier op de aandachtspunten (conform paragraaf 6.7.2.3)



Figuur 134: Fuchs 'Renolit HLT 2'

Technische Informatie



RENOLIT HLT 2

Synthetisch, adhesief smeervet

Omschrijving

De RENOLIT HLT 2 is een smeervet op basis van synthetische basisolie met een lithium complex zeep en geselecteerde EP en **antisluitage additieven**

Toepassingen

RENOLIT HLT 2 is aanbevolen voor alle mogelijke smeringstoepassingen waar de te smeren onderdelen blootgesteld worden aan zeer variabele temperaturen en waar een grote adhesiviteit noodzakelijk is.

RENOLIT HLT 2 is goed waterbestendig en biedt een uitstekende bescherming tegen corrosie.

Specificaties

- TL VW 778 / A
- SNCF goedkeuring
- Deutsche Bahn
- Flottweg
- Infracor
- Robert Bosch GmbH

Eigenschappen en Voordelen

- Groot temperatuurbereik
- Zeer goede aanhechting op metalen oppervlakken.
- Goede waterbestendigheid
- Prima corrosiebescherming
- Oxidatie-stabiel
- **Extreme pression (EP)**

Product Management FB, 26/03/07

De bovenstaande informatie is volgens huidige kennis en onderhevig aan veranderingen

FUCHS BELGIUM N.V.

e-Mail: fuchsbelgium@fuchs-oil.com

Tel: +32 (0)2 / 363.19.10

Fax: +32 (0)2 / 363.19.55

URL: <http://www.fuchs-oil.com>

Technische Informatie



Technische karakteristieken :

RENOLIT HLT 2

Eigenschappen	Testmethode	Eenheid	Waarde
Kleur/Uiterlijk			beige
Uiterlijk			glad
NLGI klasse	DIN 51818		2
Penetratie bewerkt	ISO 2137	0.1 mm	265 – 295
Zeeptype			Lithium Complex
Druppelpunt	ASTM D 566	°C	> 220
Basis olie Type			Synthetisch
Basisolie viscositeit	ASTM D 445		
@ 40 °C		mm ² /s	105
@ 100 °C		mm ² /s	12.5
Waterbestendigheid	DIN 51807	quotatie	1-90
EMCOR test	ISO 11007		0/0
Verpompbaarheid @ -35 °C	DIN 51805	hPa	400
Temperatuurbereik		°C	van -50 tot +130
Piek temperatuur		°C	+ 150

Product Management FB, 23/03/07

De bovenstaande informatie is volgens huidige kennis en onderhevig aan veranderingen

FUCHS BELGIUM N.V.

Tel: +32 (0)2 / 363.19.10

Fax: +32 (0)2 / 363.19.55

e-Mail: fuchsbelgium@fuchs-oil.com

URL: <http://www.fuchs-oil.com>

Figuur 135: Beschrijvende fiche 'Renolit HLT 2' [21]

Hoofdstuk 6: De deurcilinder doorheen haar levenscyclusfasen

Uit Figuur 135 stellen we vast:

- Het smeervet heeft een Lithiumcomplex zeepstructuur.
- Het is geschikt voor een temperatuursbereik van -50°C tot $+130^{\circ}\text{C}$.
- Het is een smeervet NLGI klasse 2.
- Het smeervet bevat antislijtage additieven (dit zijn teflonpartikels vandaar de witte kleur).
- Het is een smeervet met EP additieven. Hoge drukken treden echter NIET op in onze toepassing waardoor dit geen noodzakelijke vereiste is voor onze toepassing.
- Het smeervet heeft een synthetische basisolie. De compatibiliteit met de gebruikte rubberen dichtingen dient geverifieerd te worden.
- De referenties die worden opgegeven sluiten beter aan bij het toepassingsdomein waarvoor we het vet gaan gebruiken.

We maken nu een vergelijking van beide smeervetten aan de hand van Tabel 6-11.

Tabel 6-11: Vergelijk smeervetten 'Autol Top 2000' en 'Renolit HLT 2'

	Autol Top 2000	Renolit HLT 2
Zeepstructuur	Calciumcomplex	Lithiumcomplex
Basisolie	synthetisch	
Temperatuursbereik	-30°C tot $+110^{\circ}\text{C}$	-50°C tot $+130^{\circ}\text{C}$
NLGI klasse	?	2
Antislijtage additieven	/	Teflon

Uit Tabel 6-11 kunnen we besluiten, conform de vereisten van paragraaf 6.7.2.3 , dat specificaties van het smeervet 'Renolit HLT 2' beter aansluiten bij de vereisten voor de toepassing in de deurcilinders van de AM75-77. Dit wordt ondersteund door de bevindingen van paragraaf 6.7.2.4 .

6.7.3 Besluit: Opstarten van proef voor deurcilinders AM75-77

Na voorgaande vaststellingen verdient het aanbeveling dat NMBS Technics een proef opstart waarbij de deurcilinders AM75-77:

- voorzien worden van nieuwe rubberen dichtingen en geleidingsringen bestaande uit kunststof die met teflon geïmpregneerd is
- hun contactoppervlakken voldoende gesmeerd worden met het smeervet 'Renolit HLT 2' van Fuchs, dat reeds voorradig is binnen NMBS Technics

Het is belangrijk dat deze proef afdoende wordt opgevolgd zodat ze bruikbare resultaten kan opleveren.

Hoofdstuk 7 R-analyse ontwerp instapdeuren AM75-77m

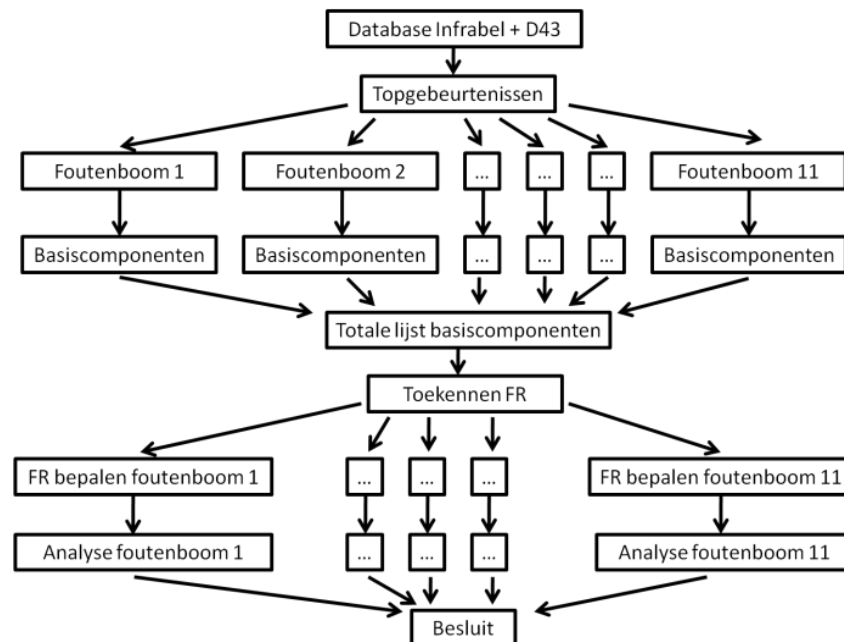
In Hoofdstuk 5 hebben we een R-analyse uitgevoerd op de instapdeuren van de AM75-77. Hierbij werd Foutenboomanalyse (Eng: Fault Tree Analysis – FTA) als R-analysetechniek aangewend. Het resultaat van deze FTA was een inventaris van kritieke componenten waarvan de Failure Rate een grote invloed heeft op de betrouwbaarheid van het deursysteem. De deurcilinder is hierbij de meest kritieke component gebleken.

In Hoofdstuk 6 hebben we deze component daarom in extenso behandeld waarbij ook de concept- en ontwikkelfase van het prototype voor de AM75-77m bekeken werd.

Als sluitstuk van deze thesisopdracht willen we een R-analyse, FTA uitvoeren op het ontwerp van het deursysteem van het prototype voor de AM75-77m zoals het momenteel op tafel ligt.

We zullen trachten hierbij de FTA als voorspellingstool te gebruiken om in de concept- en ontwikkelfase proactief in te grijpen teneinde de RAMS-parameters zoals gekwantificeerd in Hoofdstuk 4 te bewaken voor de instapdeuren van de AM75-77m.

Om het overzicht voor de lezer te bewaren in dit hoofdstuk, werken we met dezelfde structuur als eerder gehanteerd in Hoofdstuk 5. We hernemen hiertoe Figuur 136.

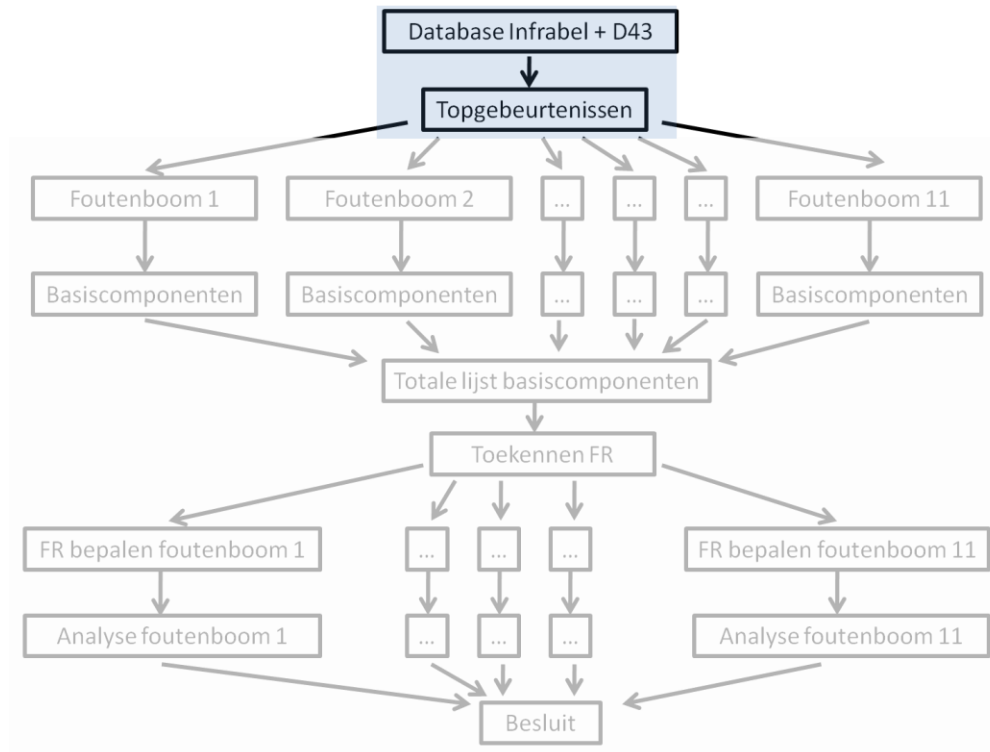


Figuur 136: Gehanteerde structuur bij het uitvoeren van een FTA op het ontwerp van de instapdeuren van de AM75-77m

De doelstellingen van dit hoofdstuk zijn:

- Uitvoeren van een FTA voor het ontwerp van de instapdeuren van de AM75-77m
- Aandachtspunten formuleren voor de modernisatie van het deursysteem
- Wijzen op opportuniteiten om deze FTA te optimaliseren

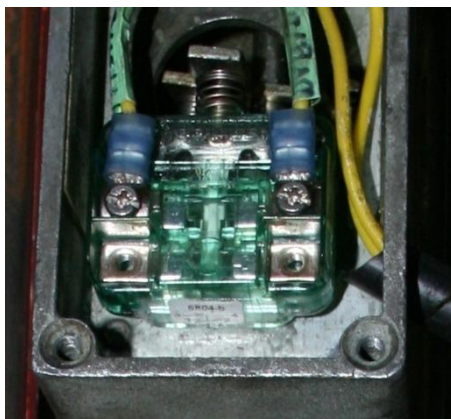
7.1 Bepaling van de topgebeurtenissen



7.1.1 Beknopte beschrijving van de belangrijkste wijzigingen aan het deursysteem

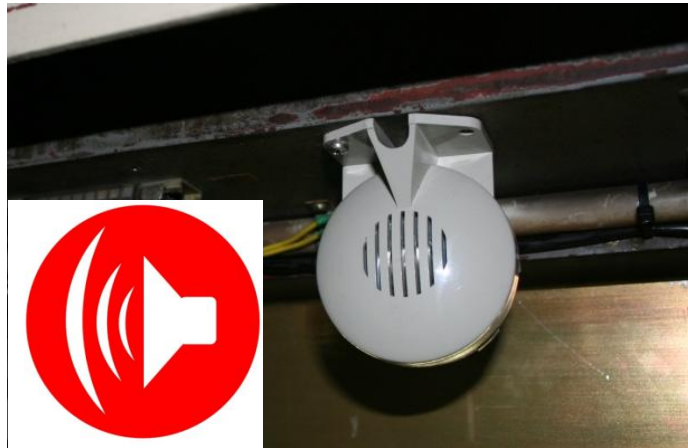
We stellen volgende wijzigingen vast in het ontwerp van het deursysteem voor de AM75-77m:

- 1) De vergrendelrack wordt vereenvoudigd. Het mechanisme om de deuren via trekhendels te openen verdwijnt en wordt vervangen door drukknoppen. De 2 microswitches (Links Figuur 137) in de vergrendelrack verdwijnen eveneens. De microswitch die het openingssignaal doorgeeft aan het andere deurpaneel bij een deur 2^{de} klasse is door de bediening met drukknoppen overbodig geworden. De microswitch die de vergrendelstatus controleert zal vervangen worden door een robuuster model (Rechts Figuur 137). Merken we op dat de noodopening, teneinde deze ten allen tijde mechanisch te kunnen uitvoeren, rechtstreeks met staalkabels zal ingrijpen op de vergrendeling om het deurpaneel te ontgrendelen.



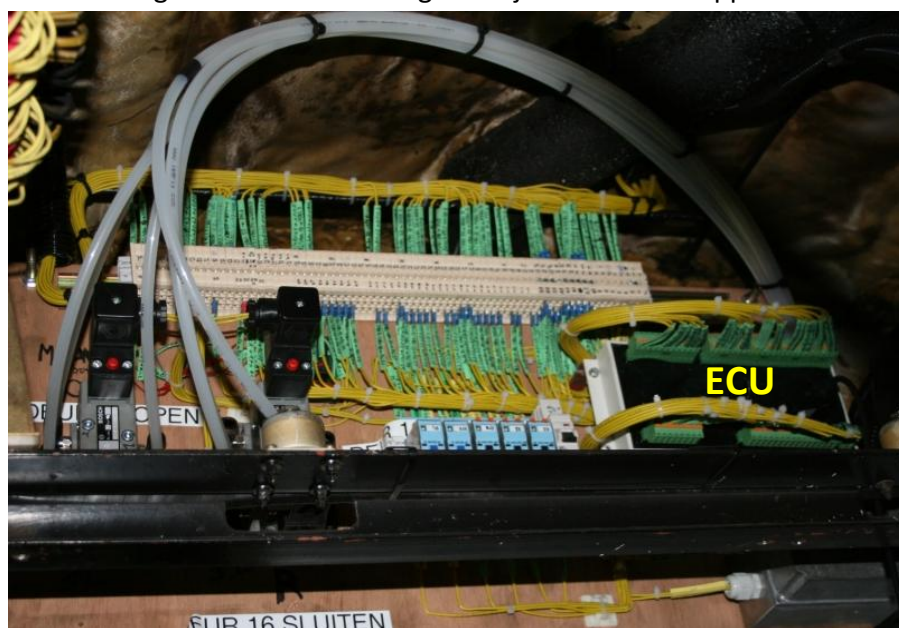
Figuur 137: Microswitch vergrendelrack AM75-77 (Links) – Microswitch controleren vergrendelstatus AM75-77m (Rechts)

- 2) De deurcilinder deuren 1^{ste} klasse zal hoogstwaarschijnlijk vervangen worden door een nieuwe deurcilinder van de firma Norgren. Dit werd reeds in extenso behandeld in paragraaf 6.6.1)
- 3) Analoog aan de huidige generatie instapdeuren wordt een zoemer (Figuur 138) voorzien met 2 waarschuwingstonen. Één daarvan weerklinkt wanneer de instapdeur gesloten wordt bij een algemeen sluitbevel en de tweede als de noodopening bediend wordt.



Figuur 138: Zoemer instapdeuren AM75-77m

- 4) De grootste wijziging vindt plaats op het niveau van de treinsturing. Het huidige deursysteem wordt gestuurd m.b.v. relaislogica, zowel op trein- als deurniveau. In het ontwerp voor de AM75-77m wordt het deursysteem op treinniveau nog steeds gestuurd m.b.v. relaislogica maar zal de sturing op deurniveau geschieden m.b.v. een programmeerbare elektronische controle eenheid (Eng: Electronic Control Unit – ECU, Figuur 139). Doordat met een programmeerbare ECU gewerkt wordt, kunnen alle inputsignalen van de deursturing (bijv. van de drukknoppen, microswitches) rechtstreeks met de ingangen van de ECU verbonden worden. Aan de uitgangen van de ECU vertrekken dan de signalen voor de sturing van bijv. de elektrokleppen.



Figuur 139: Prototypeontwerp voor deursturing AM75-77m

7.1.2 Overwogen keuze van de topgebeurtenissen

Omdat het deursysteem voor de AM75-77m volop in ontwikkeling is, diende een bruikbare FTA op korte tijdsspanne beschikbaar te zijn. Daarom hebben we geopteerd om enkel foutenbomen op te stellen voor de meest invloedrijke topgebeurtenissen (Tabel 7-1). Door de modulaire opbouw kan de FTA in een later stadium door de medewerkers van B-TC.42 uitgebreid worden naar alle topgebeurtenissen zoals bepaald in paragraaf 5.1 .

Tabel 7-1: Topgebeurtenissen beschouwd voor de FTA van het ontwerp van de instapdeuren van de AM75-77

Topgebeurtenis	# Meldingen database Infrabel + D43	FR(Exploitatie)
1 - Deur sluit niet	84	7,23E-06
2 - Deur opent niet	11	9,47E-07
3 - Deur opent tijdens rit	3	3,13E-06
6 - Deur vergrendelt niet	17	1,46E-06
7 - Deur opent bij een geïsoleerde deur	2	2,09E-06
11 - TBS krijgt geen lamp deuren	23	1,98E-06

Om éénduidig vergelijk met de FTA uit Hoofdstuk 5 te kunnen maken, opteren we om dezelfde nummering te gebruiken voor de topgebeurtenissen als in Hoofdstuk 5.

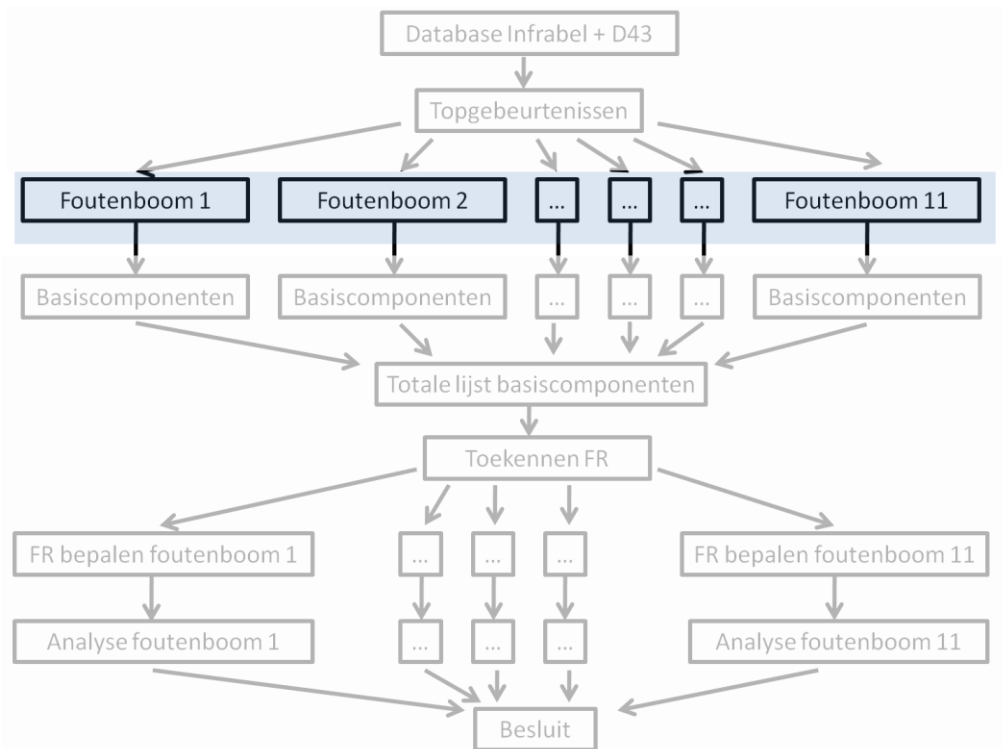
We overlopen vervolgens waarom we de andere topgebeurtenissen niet beschouwen:

- Topgebeurtenissen 4 en 5: zij worden zelden in exploitatie waargenomen en het opstellen van deze foutenbomen is even tijdsintensief als deze voor bijvoorbeeld topgebeurtenis 1.
- Topgebeurtenissen 8, 9 en 10: we hebben geopteerd om deze foutenbomen te integreren in de foutenbomen van de andere topgebeurtenissen.

7.1.3 Modeldeur voor FTA van ontwerp instapdeuren AM75-77m

Analoog aan de beschouwingen gemaakt in paragraaf 5.1.2 definiëren we een ‘**modeldeur**’ voor de AM75-77m die model staat voor onze FTA. We nemen als invulling van deze ‘modeldeur’ het **ontwerp voor de dubbele deur 2^{de} klasse van de AM75-77m**, overeenkomstig haar uitvoering op de voorlopige technische tekening en schema’s van B-TC.42.

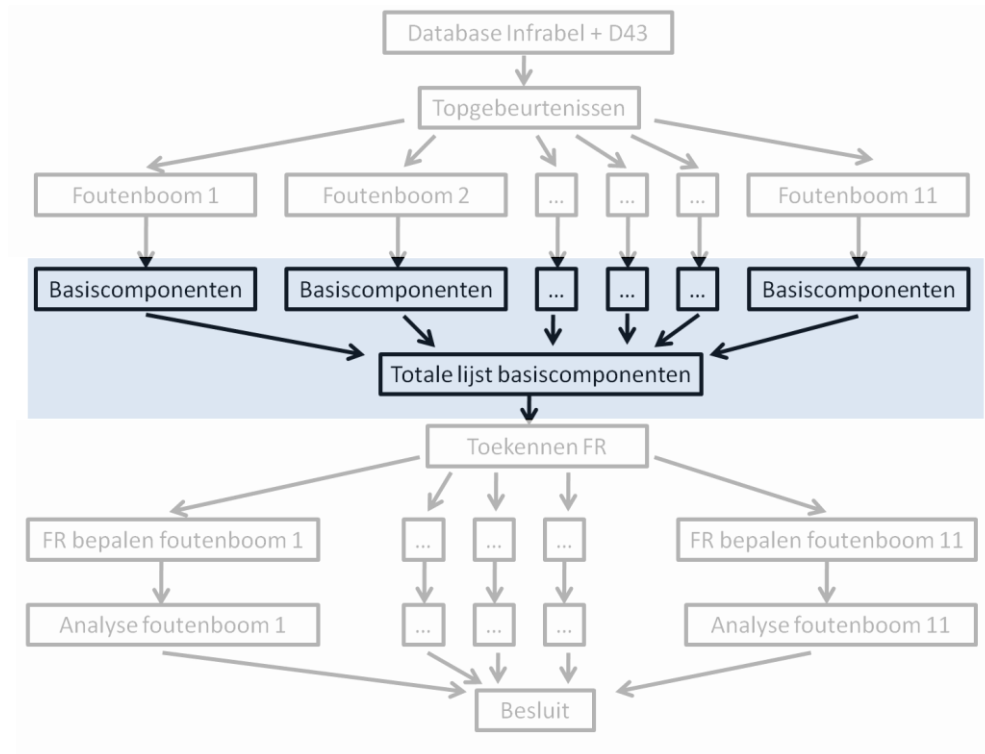
7.2 Opstellen van de foutenbomen



Om de modellen voor de foutenbomen zo nauwkeurig mogelijk op te stellen, hebben we ons gebaseerd op de meest recente pneumatische, elektrische en softwareschema's. De foutenbomen werden reeds geverifieerd door de medewerkers van B-TC.42 die verantwoordelijk zijn voor het ontwerp van het deursysteem voor de AM75-77m.

Ook voor deze foutenbomen hebben we geopteerd om Microsoft Excel als softwareomgeving aan te wenden. De Foutenboom is onder elektronische vorm beschikbaar bij deze thesistekst.

7.3 Bepaling van de basisgebeurtenissen

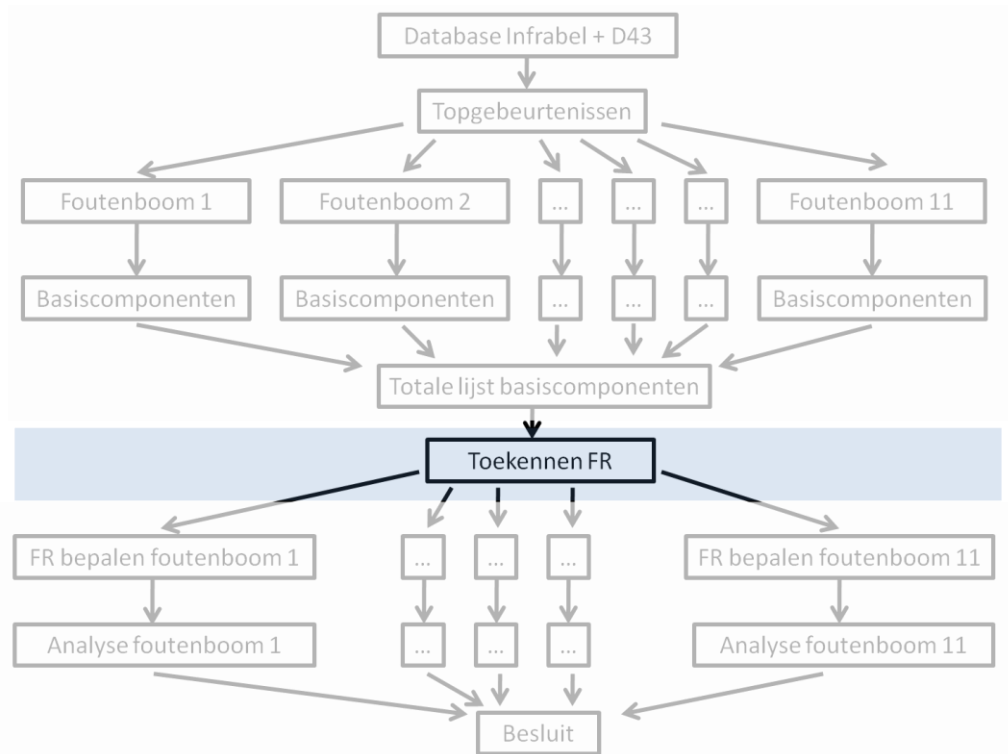


De volgende stap bestaat uit het opstellen van de lijsten met daarin de minimale Cut Sets per foutenboom. Deze lijsten bevatten grotendeels dezelfde componenten als bekomen in Hoofdstuk5.

Er zijn echter enkele verschilpunten te noteren:

- Door aanpassingen in het ontwerp worden nieuwe componenten geïntroduceerd
- Enkele componenten kregen bij de modernisatie een vernieuwde, duidelijkere naamgeving
- Doordat we met de cijferanalyse van het deursysteem van de AM75-77 reeds een FTA achter de rug hadden, konden we uit de opgedane ervaringen een grotere nauwkeurigheid aan de dag leggen.

7.4 Toekennen van Faalfrequenties FR(t)



Het toekennen van de getalwaarden voor de Failure Rates gebeurde op een duale wijze analoog aan de werkwijze gehanteerd in Hoofdstuk 5:

7.4.1 Toekenning van de Failure Rates volgens MIL-Spec

Het toekennen van de Failure Rates werd opnieuw uitgevoerd m.b.v. het programma 'ALD MTBF Calculator'[15]. Voor de reeds gebruikte componenten in de foutenboom van de AM75-77 is deze data identiek aan deze in Hoofdstuk 5.

7.4.2 Toekenning van Failure Rates volgens data uit onderhoud en exploitatie + datasheets

Voor de componenten die niet gewijzigd worden bij modernisatie kunnen we beroep doen op de waarden voor de Failure Rate bepaald in paragraaf 5.4.2 . Voor nieuw aangekocht componenten is deze data echter niet beschikbaar. We hebben geopteerd om de data aan te vullen met gegevens die constructeurs opgeven in hun datasheets. Echter slechts bij een beperkt aantal nieuwe componenten stond nuttige informatie m.b.t. de Failure Rate in de datasheet vermeld. Voor deze componenten lijkten we de bekomen FR op in Tabel 7-2.

Tabel 7-2: Bekomen getalwaarden voor de FR uit de datasheets van nieuw aangekochte componenten

Component	Failure Rate [per cycli]
ECU	2,00E-06
Relais	5,00E-08
DC-DC-omvormer	1,21E-06
Druknop binnen	2,00E-05
Druknop buiten	5,00E-07

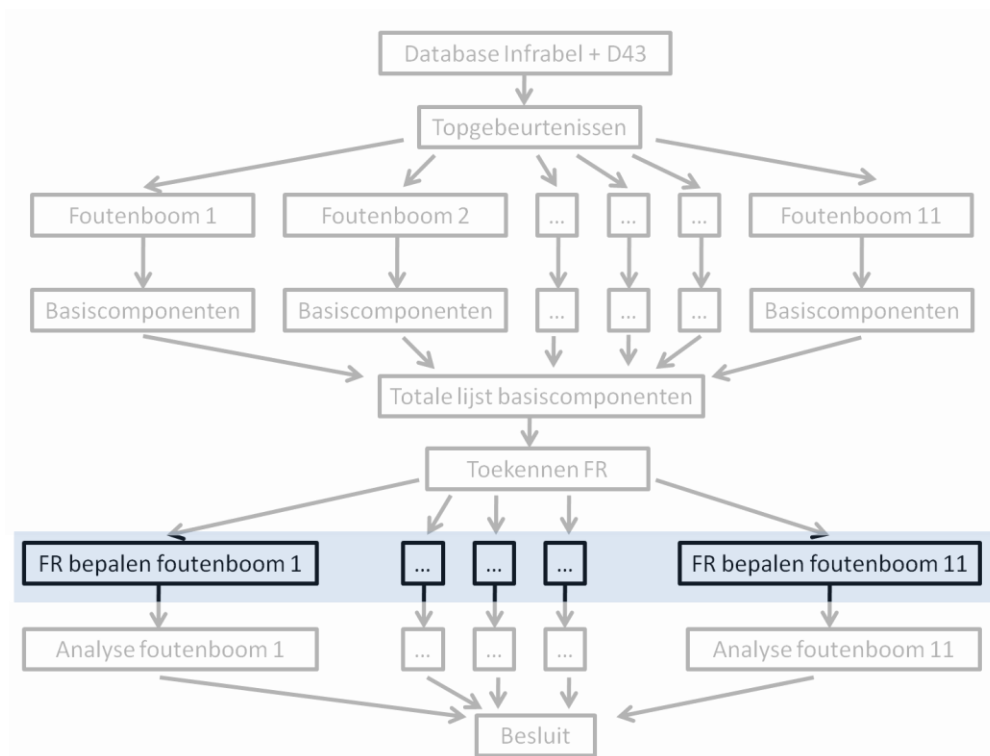
Voor de nieuw aangekochte componenten waarvan de datasheets geen bruikbare informatie leveren, hanteren we de getalwaarden voor de FR bekomen uit de MIL-Spec.

We formuleren hierbij graag volgend advies:

Indien technisch mogelijk kan bij het ontwerp van de instapdeuren van de AM75-77m gebruik gemaakt worden van componenten die geplaatst zijn op andere deursystemen in het materieelpark van de NMBS. Dit heeft een tweeledig voordeel:

- 1) Een doorgedreven standaardisatie zorgt voor minder verschillende wisselstukken in omloop.
- 2) Doordat het gedrag van de componenten in andere deursystemen reeds observeerbaar is, kan het falen beter ingeschat worden waardoor de FR voor deze componenten nauwer zal aansluiten bij de werkelijkheid.

7.5 Bepalen van de Failure Rate voor een topgebeurtenis



Tabel 7-3 geeft de FR weer voor de topgebeurtenissen van zowel de AM75-77 als de AM75-77m.

Hoofdstuk 7: R-analyse ontwerp instapdeuren AM75-77m

Tabel 7-3: Waargenomen en berekende Failure Rates voor de Topgebeurtenissen van zowel AM75-77 als AM75-77m

Top-gebeurtenis	Exploitatie 'Infrabel + D43'		AM75-77		AM75-77m	
	Absoluut #	FR(Exploitatie)	Failure Rate volgens MIL-Spec	Failure Rate volgens Onderhoud en Exploitatie	Failure Rate volgens MIL-Spec	Failure Rate volgens Onderhoud en Exploitatie
1	84	7,23E-06	1,63E-04	6,46E-05	1,63E-04	5,67E-05
2	11	9,47E-07	1,73E-04	6,87E-05	2,30E-04	7,00E-05
3	3	2,58E-07	6,26E-06	1,57E-05	1,07E-05	5,64E-05
6	17	1,46E-06	1,09E-06	1,98E-05	1,09E-06	1,98E-05
7	2	1,72E-07	1,94E-09	5,12E-09	2,51E-14	2,34E-13
11	23	1,98E-06	1,14E-05	1,29E-05	2,23E-05	4,45E-05

In de volgende paragrafen vergelijken we de cijferwaarden voor de verschillende kolommen van Tabel 7-3

7.5.1 Vergelijking FR AM75-77 en AM75-77m

Tabel 7-4 maakt de vergelijking tussen de FR van de AM75-77 en de AM75-77m. Het eigenlijk vergelijk wordt gemaakt door toevoeging van een kolom die de verhouding weergeeft tussen de FR van de AM75-77 en de FR van de AM75-77m. Deze kolom dient als volgt geïnterpreteerd te worden:

- Indien de getalwaarde < 1 dan heeft het deursysteem van de AM75-77m een hogere FR dan het deursysteem van de AM75-77 voor de beschouwde topgebeurtenis. Dit zal een negatieve impact hebben op de fiabiliteit.
- Indien de getalwaarde ≈ 1 dan heeft het deursysteem van de AM75-77m een vergelijkbare FR voor de beschouwde topgebeurtenis als het deursysteem van de AM75-77. Dit zal geen invloed hebben op het huidige fiabiliteitsniveau.
- Indien de getalwaarde > 1 dan heeft het deursysteem van de AM75-77m een lagere FR dan het deursysteem van de AM75-77 voor de beschouwde topgebeurtenis. Dit zal een positieve impact hebben op de fiabiliteit.

Hoofdstuk 7: R-analyse ontwerp instapdeuren AM75-77m

Tabel 7-4: Vergelijk FR AM75-77 en AM75-77m volgens MIL-Spec en volgens Onderhoud en Exploitatie

Top-gebeurtenis	AM75-77		AM75-77m		$\frac{FR(AM75 - 77)}{FR(AM75 - 77m)}$	
	Failure Rate volgens MIL-Spec	Failure Rate volgens Onderhoud en Exploitatie	Failure Rate volgens MIL-Spec	Failure Rate volgens Onderhoud en Exploitatie	MIL-Spec	Onderhoud en Exploitatie
1	1,63E-04	6,46E-05	1,63E-04	5,67E-05	1	1
2	1,73E-04	6,87E-05	2,30E-04	7,00E-05	1	1
3	6,26E-06	1,57E-05	1,07E-05	5,64E-05	1	2/7
6	1,09E-06	1,98E-05	1,09E-06	1,98E-05	1	1
7	1,94E-09	5,12E-09	2,51E-14	2,34E-13	77353	21893
11	1,14E-05	1,29E-05	2,23E-05	4,45E-05	1/2	2/7

Uit Tabel 7-4 stellen we vast:

- Het fiabiliteitsniveau blijft voor de meeste van de beschouwde topgebeurtenissen nagenoeg ongewijzigd. Individuele analyse van elke topgebeurtenis kan eventuele verklaringen hiervoor achterhalen.
- Topgebeurtenis 7: 'Deur opent bij een geïsoleerde deur' heeft een veel lagere kans op voorkomen bij de AM75-77m dan bij de AM75-77. Dit is niet alleen bevorderlijk voor de fiabiliteit maar betekent ook een enorme stap voorwaarts voor de veiligheid (bemerken we hier wederom de samenhang tussen de RAMS-parameters waarop in Hoofdstuk 4 al gewezen werd). Ook hier kan een individuele analyse inzicht geven in de bekomen getalwaarden.

7.5.2 Vergelijking FR AM75-77m volgens MIL-Spec/Onderhoud en Exploitatie en waargenomen FR in Exploitatie

Tabel 7-5 maakt de vergelijking tussen de berekende FR van de AM75-77m en de waargenomen FR in Exploitatie. We bemerken wel dat deze waargenomen FR betrekking hebben op het deursysteem van de AM75-77. Deze vergelijking kan dus beschouwd worden als het aantal incidenten die zullen optreden in exploitatie na modernisering van de instapdeuren. Het eigenlijke vergelijk wordt weer gemaakt door toevoeging van een extra kolom. Deze kolom dient als volgt geïnterpreteerd te worden:

- Indien de getalwaarde < 1 dan zal, volgens de FTA voorspelling, het aantal incidenten waargenomen in Exploitatie met betrekking tot de beschouwde topgebeurtenis dalen.
- Indien de getalwaarde > 1 dan zal, volgens de FTA voorspelling, het aantal incidenten waargenomen in Exploitatie met betrekking tot de beschouwde topgebeurtenis dalen.

Hoofdstuk 7: R-analyse ontwerp instapdeuren AM75-77m

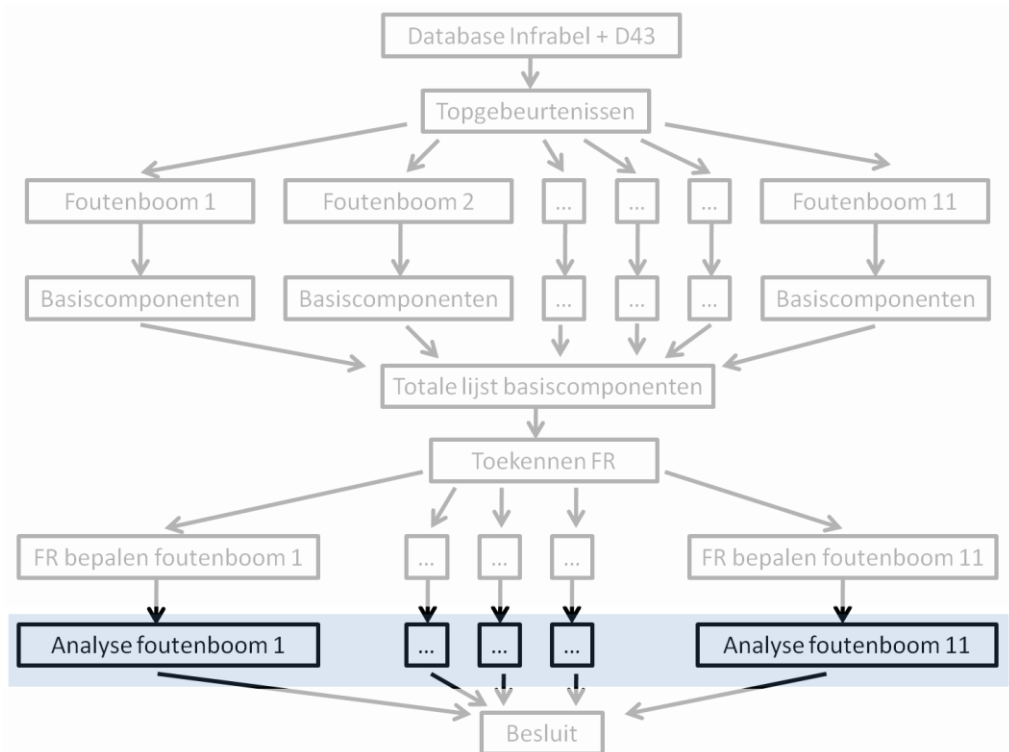
Tabel 7-5: Vergelijk FR AM75-77m volgens MIL-Spec /Onderhoud en Exploitatie en waargenomen FR in Exploitatie

Top-gebeurtenis	Exploitatie 'Infrabel + D43'		AM75-77m		$\frac{FR(AM75 - 77m)}{FR(Exploitatie)}$	
	Absoluut #	FR(Exploitatie)	Failure Rate volgens MIL-Spec	Failure Rate volgens Onderhoud en Exploitatie	MIL-Spec	Onderhoud en Exploitatie
1	84	7,23E-06	1,63E-04	5,67E-05	23	8
2	11	9,47E-07	2,30E-04	7,00E-05	243	74
3	3	2,58E-07	1,07E-05	5,64E-05	3	18
6	17	1,46E-06	1,09E-06	1,98E-05	3/4	14
7	2	1,72E-07	2,51E-14	2,34E-13	1,E-08	1,E-07
11	23	1,98E-06	2,23E-05	4,45E-05	11	22

Uit Tabel 7-5 stellen we vast:

- Topgebeurtenis 7: 'Deur opent bij een geïsoleerde deur' zou veel minder mogen waargenomen worden in exploitatie na de modernisatie. Aangezien het optreden van deze topgebeurtenis een kritieke veiligheidsfout is, is dit een zeer positief resultaat.
- Bij quasi alle overige topgebeurtenissen voorspelt de berekende FR een grotere kans van voorkomen in exploitatie na modernisatie. Hier dienen wel enkele kanttekeningen bij gemaakt te worden:
 - 1) De literatuur [22-26] vermeldt dat berekende FR grosso modo een factor 10 'strenger' zijn dan waargenomen FR. Dit hebben we reeds geobserveerd in Hoofdstuk 5 bij het vergelijken van de waargenomen FR en de berekende FR van de AM75-77.
 - 2) De beschikbare data i.v.m. de FR van een aantal componenten is conservatief opgesteld. Zo is de FR van de ECU gebaseerd op het falen van een uitgang na x-aantal cycli waarbij de ECU telkens een inductieve kring diende te onderbreken. In het deursysteem van de AM75-77m dient de ECU slechts Ohmse kringen te onderbreken, daar over de uitgangen vrijloopdiodes voorzien zijn.

7.6 Analyse per topgebeurtenis



We identificeren de minimum Cut Sets en bepalen daarna hun procentuele invloed op de totale FR van de beschouwde topgebeurtenissen. Bij de cijferanalyse vergelijken we telkens de bekomen resultaten met de resultaten van de overeenkomstige topgebeurtenis in paragraaf 5.6

7.6.1 Analyse van Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet

Tabel 7-6 lijst voor alle significante Cut Sets in topgebeurtenis 1 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Hoofdstuk 7: R-analyse ontwerp instapdeuren AM75-77m

Tabel 7-6: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77m Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet

Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed
-	Rest (40-tal)	9,10E-06	6%	-	Rest (22-tal)	1,29E-06	2%
FR39	Compressor stuk	8,49E-07	1%	FR55	Geleidingsrollen uit geleiding	2,95E-07	1%
FR33	Draad los	2,16E-06	1%	FR10	Element 3 defect	3,88E-07	1%
FR3	AH(1..4) defect	8,84E-06	5%	FR8	Element 10 defect	3,88E-07	1%
FR41	Zuiger defect	1,42E-04	87%	FR9	Element 2 defect	4,30E-07	1%
Totaal		1,63E-04	100%	FR17	Driehoekschakelaar defect	4,30E-07	1%
				FR27	Bicher-Contact Defect	4,30E-07	1%
				FR11	Element 4 defect	5,11E-07	1%
				FR12	Element 5 defect	5,11E-07	1%
				FR40	Geleidingsrollen defect	6,03E-07	1%
				FR19	Smoorventiel defect	6,46E-07	1%
				FR21	Microswitch deur 98% dicht defect	6,89E-07	1%
				FR76	ServiceSchakelaar defect	6,95E-07	1%
				FR33	Draad los	9,18E-07	2%
				FR70	Omvormer defect	1,21E-06	2%
				FR66	ECU defect	2,00E-06	4%
				FR43	5/2-ventiel defect	2,00E-06	4%
				FR58	Geleidingsarm zit vast	2,31E-06	4%
				FR20	Manipulator M1/ Keerkruk S1 defect	2,41E-06	4%
				FR22	Schakelaar (a) defect (Faiveley)	7,23E-06	13%
				FR34	Pneumatische leiding lek	8,26E-06	15%
				FR39	Compressor defect	9,64E-06	17%
				FR41	Zuiger defect	1,34E-05	24%
				Totaal		5,67E-05	100%

Uit Tabel 7-6 stellen we vast:

- De pneumatische zuiger/deurcilinder heeft de grootste invloed bij het optreden van topgebeurtenis 1. Deze invloed is voor de brekende FR volgens MIL-Spec meer uitgesproken dan de berekende FR volgens Onderhoud en Exploitatie. Vooral de componenten in het pneumatisch circuit treden op de voorgrond.
- Van de componenten die een significante invloed hebben zal enkel de deurcilinder (gedeeltelijk) aangepakt worden tijdens modernisatie (vermoedelijke aankoop van nieuwe deurcilinders enkel voor de deuren 1^{ste} klasse bij de firma Norgren). De FR voor deze nieuwe component hebben we niet beschikbaar gevonden maar kan in een later stadium door medewerkers van B-TC.42 verwerkt worden in de FTA. Zoals ook aangehaald in paragraaf 5.6.1 zijn de FR volgens onderhoud en exploitatie voor de deurcilinder van onze 'modeldeur' gebaseerd op de FR van alle types deurcilinder samen. We kunnen nu het onderscheid maken tussen de cijferanalyse bekomen met de FR voor de cilinder deuren 1^{ste} als 2^{de} klasse.

Tabel 7-7 zoomt hier verder op in door weergave van de cijferanalyse van topgebeurtenis 1: Deur sluit niet voor het ontwerp van de instapdeuren van de AM75-77m waarbij de FR volgens onderhoud en exploitatie voor de deurcilinders deuren 1^{ste} klasse en 2^{de} klasse apart beschouwd wordt. We herrinneren:

- FR(Zuiger 1^e klas)= 1,72E-05
- FR(Zuiger 2^e klas)= 4,94E-06

Hoofdstuk 7: R-analyse ontwerp instapdeuren AM75-77m

Tabel 7-7: Resultaten cijferanalyse Topgebeurtenis 1 AM75-77 waarbij FR voor deurcilinder deuren 1^e en 2^e klasse apart beschouwd worden.

Topgebeurtenis 1: Deur sluit niet

FTA volgens Onderhoud & Exploitatie met onderscheid zuiger deuren 1^{se} en 2^e klasse

Cut Set	Benaming	FR van zuigers 1 ^e klasse		FR van zuigers 2 ^e klasse	
		Totale FR	%Invloed	Totale FR	%Invloed
-	Rest (25-tal)	2,36E-06	3%	2,36E-06	4%
FR9	Element 2 defect	4,30E-07	1%	4,30E-07	1%
FR17	Driehoekschakelaar defect	4,30E-07	1%	4,30E-07	1%
FR27	Bicher-Contact Defect	4,30E-07	1%	4,30E-07	1%
FR11	Element 4 defect	5,11E-07	1%	5,11E-07	1%
FR12	Element 5 defect	5,11E-07	1%	5,11E-07	1%
FR40	Geleidingsrollen defect	6,03E-07	1%	6,03E-07	1%
FR19	Smoorventiel defect	6,46E-07	1%	6,46E-07	1%
FR21	Microswitch deur 98% dicht defect	6,89E-07	1%	6,89E-07	1%
FR76	ServiceSchakelaar defect	6,95E-07	1%	6,95E-07	1%
FR33	Draad los	9,18E-07	1%	9,18E-07	2%
FR70	Omvormer defect	1,21E-06	2%	1,21E-06	2%
FR66	ECU defect	2,00E-06	3%	2,00E-06	4%
FR43	5/2-ventiel defect	2,00E-06	3%	2,00E-06	4%
FR58	Geleidingsarm zit vast	2,31E-06	3%	2,31E-06	4%
FR20	Manipulator M1/ Keerkruk S1 defect	2,41E-06	3%	2,41E-06	5%
FR22	Schakelaar (a) defect (Faiveley)	7,23E-06	9%	7,23E-06	14%
FR34	Pneumatische leiding lek	8,26E-06	11%	8,26E-06	16%
FR39	Compressor defect	9,64E-06	12%	9,64E-06	18%
FR41	Zuiger defect	3,44E-05	44%	9,88E-06	19%
Totaal		7,77E-05	100%	5,32E-05	100%

Uit Tabel 7-7 stellen we vast dat ondanks het verschil in FR zowel de deurcilinder deuren 1^{ste} klasse als deuren 2^{de} klasse de grootste invloed heeft op het voorkomen van Topgebeurtenis 1. Hoe hoger de FR van de deurcilinder, hoe meer uitgesproken haar invloed.

7.6.2 Analyse Topgebeurtenis 2: Deur opent niet

Tabel 7-8 lijst voor alle significante Cut Sets in topgebeurtenis 2 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Hoofdstuk 7: R-analyse ontwerp instapdeuren AM75-77m

Tabel 7-8: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77m Topgebeurtenis 2: Deur opent niet

Topgebeurtenis 2: Deur opent niet

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed
-	Rest (34-tal)	8,13E-06	4%	-	Rest (19-tal)	2,43E-06	3%
FR3	AH(1..4) defect	8,84E-06	4%	FR8	Element 10 defect	3,88E-07	1%
FR84	Vergrendelzuiger defect	7,09E-05	31%	FR10	Element 3 defect	3,88E-07	1%
FR41	Zuiger defect	1,42E-04	62%	FR9	Element 2 defect	4,30E-07	1%
Totaal		2,30E-04	100%	FR87	Drukknoppen defect (binnen)	5,00E-07	1%
				FR11	Element 4 defect	5,11E-07	1%
				FR12	Element 5 defect	5,11E-07	1%
				FR40	Geleidingsrollen defect	6,03E-07	1%
				FR19	Smoorventiel defect	6,46E-07	1%
				FR70	Omvormer defect	1,21E-06	2%
				FR66	ECU defect	2,00E-06	3%
				FR43	5/2-ventiel defect	2,00E-06	3%
				FR58	Geleidingsarm zit vast	2,31E-06	3%
				FR85	Wrijvingskrachten te groot	2,31E-06	3%
				FR84	Vergrendelzuiger defect	2,44E-06	3%
				FR34	Pneumatische leiding lek	8,26E-06	12%
				FR39	Compressor defect	9,64E-06	14%
				FR41	Zuiger defect	1,34E-05	19%
				FR65	Drukknoppen defect (buiten)	2,00E-05	29%
				Totaal		7,00E-05	100%

Uit Tabel 7-8 stellen we vast:

- Dezelfde componenten treden op de voorgrond als bij Tabel 7-6 uitgezonderd de vergrendelzuiger bij de FR volgens MIL-Spec. Deze vergrendelzuiger komt echter in de overeenkomstige Tabel 5-7 niet expliciet naar de voorgrond. De verklaring hiervoor is dat bij het deursysteem van de AM75-77 de deur mechanisch kan ontgrendeld worden door manuele bediening van de trekhendel of pneumatische sturing van de vergrendelzuiger (wanneer de trekhendel van het andere deurpaneel bediend wordt). Dit vormt een zekere vorm van redundantie waardoor ze niet naar voor komen in Tabel 5-7. Bij modernisatie worden de mechanische trekhendels verwijderd. Hierdoor wordt deze redundantie opgeheven waardoor het falen van de pneumatische vergrendelzuiger sterk naar voor komt.
- Bij de cijferanalyse gebaseerd op FR volgens Onderhoud en Exploitatie heeft de drukknop de grootste invloed. Dit is mede te verklaren door het conservatieve karakter van de waarde voor de FR uit de datasheet. Deze waarde is opgegeven voor een nominale werkingsspanning van 600V bij een stroom van 6A. In het ontwerp voor de instapdeuren zal deze drukknop echter dienst doen bij een spanning van 24V waarbij een kleinere stroom zal vloeien.

7.6.3 Analyse Topgebeurtenis 3: Deur opent tijdens rit

Tabel 7-9 lijst voor alle significante Cut Sets in Topgebeurtenis 3 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Tabel 7-9: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77m Topgebeurtenis 3: Deur opent tijdens rit

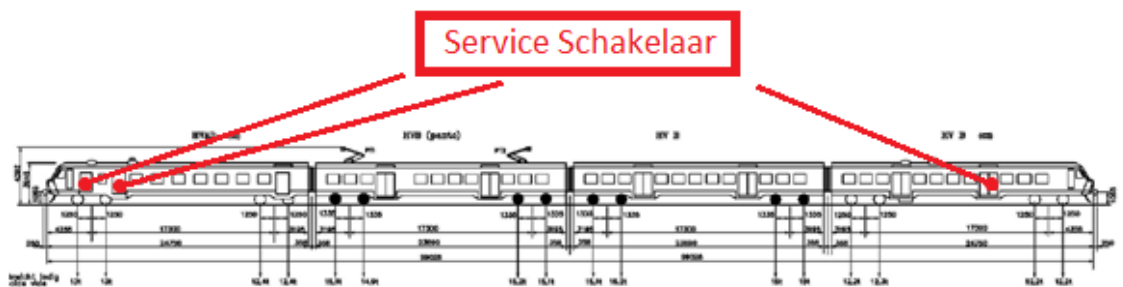
Topgebeurtenis 3: Deur opent tijdens rit

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed
-	Rest (4-tal)	1,21E-08	0%	-	Rest (4-tal)	1,76E-08	0%
And Lus 2	AND-lus	1,12E-07	1%	FR55	Geleidingsrollen uit geleiding	3,58E-06	6%
FR66	ECU defect	1,90E-07	2%	FR76	ServiceSchakelaar defect	4,22E-06	7%
FR76	ServiceSchakelaar defect	4,22E-06	39%	FR43	5/2-ventiel defect	2,43E-05	43%
FR43	5/2-ventiel defect	6,20E-06	58%	FR66	ECU defect	2,43E-05	43%
Totaal		1,07E-05	100%	Totaal		5,64E-05	100%

Hoofdstuk 7: R-analyse ontwerp instapdeuren AM75-77m

Uit Tabel 7-9 stellen we vast:

- Volgens beide cijferanalyses hebben telkens 2 componenten een grote invloed bij de kans op optreden van een open deur tijdens rit. Hiervan is er 1 component gemeenschappelijk, namelijk het 5/2-ventiel. De FR voor deze component was niet te vinden in zijn datasheet. Deze component is echter ook geïnstalleerd op de HV M6. De FR werden ons hiervoor aangereikt door medewerkers van B-TC.42 die zich gebaseerd hebben op het aantal onvoorziene vervangingen van deze component.
- Bij de cijferanalyse volgens MIL-Spec heeft de ServiceSchakelaar een grote invloed. Deze schakelaar bevindt zich echter niet op alle instapdeuren maar enkel op de pakwagendeur, deur 1^{ste} klasse kant stuurpost en de deur 2^{de} klasse kant stuurpost (zie Figuur 140).



Figuur 140: Positionering Service Schakelaars bij AM75-77(m)

- Bij de cijferanalyse volgens Onderhoud en Exploitatie heeft de ECU een grote invloed. Dit is te wijten aan het conservatieve karakter van de FR uit de datasheet (zie ook paragraaf 7.5.2)

7.6.4 Analyse Topgebeurtenis 6: Deur vergrendelt niet

Tabel 7-10 lijst voor alle significante Cut Sets in topgebeurtenis 6 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Tabel 7-10: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77m Topgebeurtenis 6: Deur vergrendelt niet

Topgebeurtenis 6: Deur vergrendelt niet

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed
FR72	Reiziger drukte op vergrendel-V	1,00E-09	0%	FR72	Reiziger drukte op vergrendel-V	1,00E-09	0%
FR55	Geleidingsrollen uit geleiding	1,00E-09	0%	FR55	Geleidingsrollen uit geleiding	2,95E-07	1%
FR44	Vergrendeling Algemeen	1,09E-06	100%	FR44	Vergrendeling Algemeen	1,95E-05	99%
Totaal		1,09E-06	100%	Totaal		1,98E-05	100%

Uit Tabel 7-10 stellen we vast:

- Na vergelijk met Tabel 5-11 concluderen we dat de wijzigingen bij modernisatie weinig invloed hebben op de kans op voorkomen van deze topgebeurtenis. Dit komt door de precieze invulling van deze topgebeurtenis. Met 'deur vergrendelt niet' wordt bedoeld dat de deur (mechanisch) niet in het vergrendelslot valt. Bij modernisatie wordt vooral het elektrische gedeelte van de vergrendelrack gewijzigd. De mechanische wijziging betreft het verdwijnen van de trekhendels maar dit heeft geen invloed op kans op voorkomen van topgebeurtenis 6.

7.6.5 Analyse Topgebeurtenis 7: Deur opent bij geïsoleerde deur

Tabel 7-11 lijst voor alle significante Cut Sets in topgebeurtenis 7 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Tabel 7-11: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77m Topgebeurtenis 7: Deur opent bij geïsoleerde deur

Probleem 7: Deur opent bij geïsoleerde deur

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed
FR35^4	Bouten falen / bevestiging los (geleidingspunten)	3,84E-32	0%	FR35^4	Bouten falen / bevestiging los (geleidingspunten)	1,21E-35	0%
AND-lus	AND-lus	2,51E-14	100%	AND-lus	AND-lus	2,34E-13	100%
Totaal		2,51E-14	100%	Totaal		2,34E-13	100%

Uit Tabel 7-11 stellen we vast:

- Zoals reeds eerder aangehaald is de totale FR voor deze topgebeurtenis na modernisatie zeer klein geworden.
- Volgens beide cijferanalyses komen slechts 2 Cut Sets tussen in deze FR waarvan de AND-lus alle invloed voor zijn rekening neemt. Bij het huidige deursysteem hadden de noodopening en het openingsrelais (RO) een significante invloed. Door de conceptuele wijziging in het systeem komen ze niet meer tussen. We lichten deze topgebeurtenis verder toe.

Het begrip 'geïsoleerde deur' omvat het buiten dienst stellen van een deur. Dit kan gebeuren omdat het deursysteem bijvoorbeeld faalt t.g.v. een andere topgebeurtenis en buiten dienst moet gesteld worden teneinde de exploitatie te kunnen verderzetten.

Het huidige deursysteem wordt buiten dienst gesteld door het dichtdraaien van een kraan zodat aan de desbetreffende deur geen luchtdruk meer toekomt. Daarna wordt de deur dichtgeklapt en worden de mechanische trekhendels afgezonderd zodanig dat de beweging van deze trekhendels niet meer wordt doorgegeven. Eenmaal dit gebeurd is, worden de stickers op het deurpaneel gekleefd zodat de klant, de reiziger, geïnformeerd wordt.

Bij het gemoderniseerde systeem zullen geen trekhendels meer aanwezig zijn zodat het afzonderen ervan overbodig is. Bij het afzonderen wordt wel opnieuw de luchttoevoer onderbroken naar de desbetreffende deur(en). Na het dichtklappen van het deurpaneel zal dan via een afzonderingsschakelaar een pal in de uitsparing van de kast worden gedraaid. De implementatie van deze pal is verantwoordelijk voor het drastisch dalen van de FR van Topgebeurtenis 7. Verklaring:

Opdat de deur nu tijdens rit zou openen bij een geïsoleerde deur moet minstens aan 2 voorwaarden voldaan zijn:

- Pal moet breken of de afzonderingsschakelaar moet defect zijn

AND

- Deurpaneel moet naar buiten bewegen (=subgebeurtenis)

Bij het huidige deursysteem is het louter het naar buiten bewegen van de deur dat reeds aanleiding geeft tot het openen van de deur. Daar bij het gemoderniseerde systeem dus onmiddellijk een AND-lus ontstaat door de conceptuele wijziging, zal de totale Failure Rate drastisch dalen daar deze het product is van beide Failure Rates. Nemen we als voorbeeld een AND-lus bestaande uit 2 componenten met elk hun Failure Rate in de grootte-orde van 10^{-7} dan zal de totale Failure Rate van deze AND-lus van de grootte-orde $10^{-7} \cdot 10^{-7} \approx 10^{-14}$ zijn.

7.6.6 Analyse Topgebeurtenis 11: TBS krijgt geen lamp deuren

Tabel 7-12 lijst voor alle significante Cut Sets in topgebeurtenis 11 de totale Failure Rate en hun procentuele invloed op als resultaat van de cijferanalyse van de bijhorende foutenboom.

Tabel 7-12: Resultaten cijferanalyse voor foutenboom AM75-77m Topgebeurtenis 11: TBS krijgt geen lamp deuren

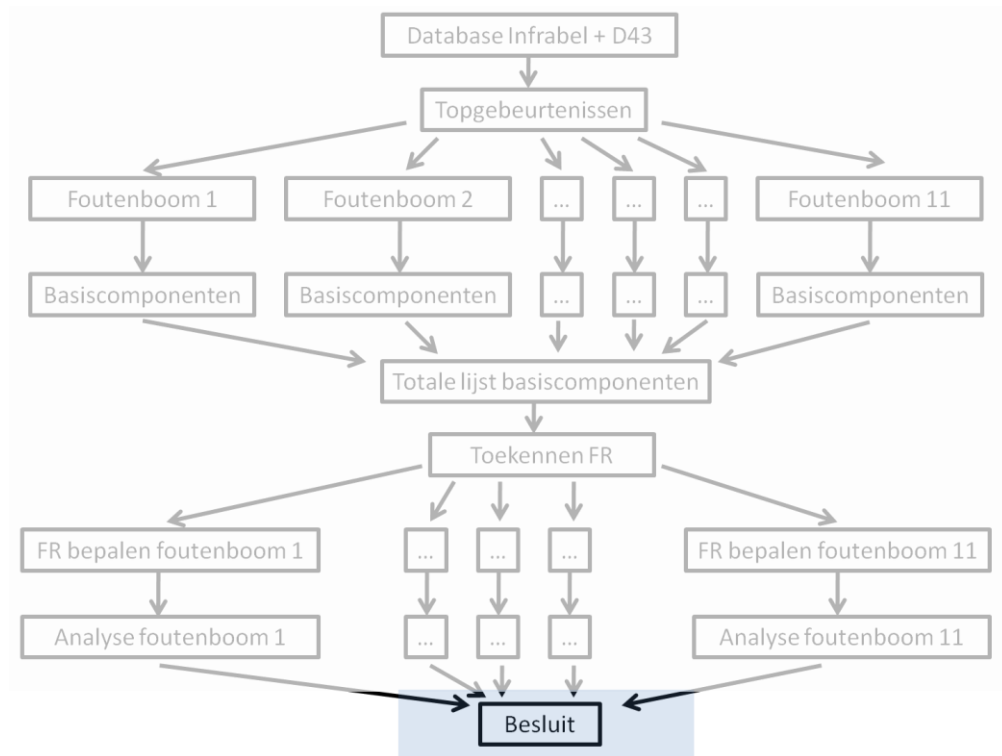
Topgebeurtenis 11: TBS krijgt geen lamp deuren

FTA volgens MIL-Spec				FTA volgens Onderhoud & Exploitatie			
Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed	Cut Set	Benaming	Totale FR	%Invloed
-	Rest (13-tal)	2,37E-07	1%	-	Rest (11-tal)	5,32E-07	1%
FR70	Omvormer defect	1,65E-07	1%	FR76	ServiceSchakelaar defect	3,47E-07	1%
FR75	Zwarte drukknop defect	3,16E-07	1%	FR7	RSa/b defect	3,50E-07	1%
FR17	Driehoekschakelaar defect	3,47E-07	2%	FR17	Driehoekschakelaar defect	4,30E-07	1%
FR76	ServiceSchakelaar defect	3,47E-07	2%	FR15	Q2.1 defect	7,75E-07	2%
FR18	Microswitch CBF2/ CBF1/ CBR defect	9,47E-07	4%	FR18	Microswitch CBF2/ CBF1/ CBR defect	1,03E-06	2%
FR20	Manipulator M1/ Keerkruk S1 defect	1,14E-06	5%	FR28	LSP defect	1,79E-06	4%
FR28	LSP defect	1,79E-06	8%	FR33	Draad los	3,73E-06	8%
FR80	LDTA/ LDTB/ RDTB/ RDTA defect	8,21E-06	37%	FR20	Manipulator M1/ Keerkruk S1 defect	4,82E-06	11%
FR33	Draad los	8,77E-06	39%	FR80	LDTA/ LDTB/ RDTB/ RDTA defect	8,21E-06	18%
Totaal		2,23E-05	100%	FR70	Omvormer defect	8,48E-06	19%
				FR66	ECU defect	1,40E-05	31%
				Totaal		4,45E-05	100%

Uit Tabel 7-12 stellen we vast:

- Bij de cijferanalyse volgens MIL-Spec komen vooral het openen van de elektrische kring (draad los) en de schakelaars die de vergrendelings-toestand van de deur controleren tussen.
- Bij de cijferanalyse volgens Onderhoud en Exploitatie komt vooral de ECU tussen, gevolgd door de elektrische omvormer en de schakelaars die de vergrendelings-toestand van de deur controleren. Opnieuw dient voor de ECU rekening gehouden te worden met het conservatieve karakter van haar FR. (zie paragraaf 7.6.2).

7.7 Besluiten



Als we alle beschouwde topgebeurtenissen overlopen, dan kunnen we volgende algemene besluiten formuleren betreffende het ontwerp van het deursysteem voor de AM75-77m.

- 1) Onze FTA met de gebruikte getalwaarden voor de Failure Rates geeft de indicatie dat de fiabiliteit van het gemoderniseerde deursysteem minstens op hetzelfde niveau zal liggen als deze van het huidige deursysteem daar onze FTA als een bovengrens voor falen mag beschouwd worden. Door bij modernisatie erover te waken dat de nieuwe componenten een lagere Failure Rate hebben, kan bij het herrekenen van onze cijferanalyse de Failure Rate alleen dalen. Hierdoor kan gericht naar een betrouwbaarheidsverhoging gewerkt worden.
- 2) Door nieuwe componenten te introduceren die reeds in bestaande deursystemen worden geïmplementeerd wordt niet alleen naar standaardisatie gestreefd maar wordt ook een deel van de onzekerheid op de Failure Rate van deze componenten weggenomen. Hierdoor kan de voorspelling van de potentiële betrouwbaarheidswinst accurater gebeuren.
- 3) Op het vlak van veiligheid wordt bij modernisatie een grote winst geboekt doordat de kans op het verschijnen van topgebeurtenis 7: deur opent bij een geïsoleerde deur sterk wordt teruggedrongen.

Merken we hierbij op dat de uitvoering van een FTA bij gebruik van een ECU minder complex wordt doordat alle componenten van het systeem (zijnde in- en outputs) een parallel karakter vertonen in de foutenboom. Deze vereenvoudiging gaat echter alleen op wanneer een duidelijke softwarebeschrijving beschikbaar is!

Hoofdstuk 8 Algemene besluiten

Het uitvoeren van een fiabiliteitsanalyse steunt op de kennis en kunde van verschillende disciplines. Hierdoor hebben we een brede waaier aan inzichten verworven over de grenzen van verscheidene domeinen heen. In dit hoofdstuk willen we deze inzichten bundelen. Hierbij formuleren we zowel adviezen als algemene besluiten betreffende de fiabiliteit van treindeur-systemen in het algemeen en deze van de AM75-77 in het bijzonder.

8.1 Een RAMS-methode volgens CENELEC EN 50126

Vaak wordt gezegd dat een veilige werkomgeving bekomen wordt door middel van een veiligheidscultuur. Iedereen binnen het bedrijf moet ervan doordrongen zijn. Hetzelfde geldt voor de toepassing van een RAMS-methode. De methode vereist het 'denken in RAMS'. Enkel op deze manier kan betekenisvolle data worden verzameld. Deze datavergaring is van cruciaal belang daar de verschillende RAMS-parameters elkaar kwantitatief beïnvloeden.

Het is daarom belangrijk dat NMBS Technics de opvolging van haar instapdeuren op een geïntegreerde manier verzorgt waarbij alle RAMS-aspecten gedekt worden. De database waarin de data onderbracht wordt, moet bovendien gebruiksvriendelijk zijn voor het uitvoeren van cijferanalyses.

Indien aan deze voorwaarden voldaan is, biedt een RAMS-methode een objectieve basis waarop verschillende systemen snel met elkaar kunnen vergeleken worden. Hierdoor kunnen niet alleen statistieken bijgehouden worden over de performantie van verschillende systemen maar kan ook proactief de performantie van gewijzigde systemen voorspeld worden waardoor bijsturing in de concept- en ontwikkelfase mogelijk wordt.

8.2 Kwantificatie van de RAMS-parameters voor het materieelpark

8.2.1 Beoordeling huidige dataopvolging NMBS

De effectieve uitvoering van een kwantificatie van de RAMS-parameters voor het gehele materieelpark illustreert dat met de huidige dataopvolging van de NMBS geen volledige kwantificatie van de 4 RAMS-parameters bekomen kan worden:

- We hebben voor de AM75-77 geen kwantificatie van de **Safety**-parameter kunnen verrichten ondanks het feit dat veiligheid de topprioriteit van de NMBS is.
- De kwantificatie van de **Maintainability**-parameter was zeer omslachtig in uitvoeren en slechts voor een paar materieeltypes beschikbaar.
- Bij de kwantificatie van de **Availability**-parameter kwam aan de oppervlakte dat de onderhoudsdiensten van rijtuigen en motorstellen verschillende definities hanteren van beschikbaarheid. Hierdoor is enige omzichtigheid geboden alvorens instapdeuren van rijtuigen en motorstellen vergeleken kunnen worden.
- Om tot een complete bepaling van de **Reliability**-parameter te komen, was het raadplegen van minstens 3 databases vereist die door verschillende diensten beheerd worden. Bovendien bevatten deze databases dubbelstellingen zodat bundeling van alle data omslachtig is.

Slechts een volledige kwantificatie van de RAMS-parameters laat toe deze uit te balanceren in een RAMS-systeem om zo tot de juiste actieplannen te komen

8.2.2 Beoordeling RAMS-prestaties instapdeuren AM75-77

De kwantificatie van de RAMS-parameters heeft geleid tot een beeld van de prestaties van de instapdeuren van de AM75-77 getoetst aan de andere deursystemen in omloop. De belangrijkste bevindingen in dit opzicht zijn:

- Het deursysteem van de AM75-77 vereist tot 300% meer onderhoud dan de instapdeuren van andere motorstellen. Bovendien is de AM75-77 het enigste type motorstel waarbij het aantal uren gependeed aan onvoorzien/curatief onderhoud van de instapdeuren groter is t.o.v. het aantal uren voorzien/preventief onderhoud.
- Het deursysteem van de AM75-77 heeft het hoogste aantal incidenten per miljoen kilometer en per miljoen cycli van de materieeltypes die frequent worden ingezet. 13,8 incidenten per miljoen deurcycli betekent dat een instapdeur van de AM75-77 gemiddeld faalt na 72.600 cycli. De betrouwbaarheid van het huidige deursysteem voldoet niet, daar de tijd tussen twee herzieningen van het deursysteem 6 jaar of 100.000 cycli bedraagt. Een betrouwbaarheidswinst van minstens 38% dient geboekt te worden.

8.3 Uitvoeren van een Fault Tree Analysis (FTA) op de instapdeuren AM75-77

8.3.1 Besluiten bij de gehanteerde methode

De keuze voor FTA als objectieve en gestructureerde analysemethode is zowel voor onze thesisopdracht als NMBS Technics geslaagd gebleken:

- De FTA stelde ons in staat de volledige elektrische, mechanisch en pneumatische werking van het deursysteem te doorgronden.

- De bekomen resultaten sluiten aan bij de geobserveerde werkelijkheid. Dit toont aan dat het model een zekere graad van accuraatheid heeft bereikt. Op dit model kan NMBS Technics dus verder bouwen.

Wel hangt de effectiviteit van een FTA in sterke mate af van adequate input van data!

8.3.2 Resultaten voor de instapdeuren van de AM75-77

Het uitvoeren van cijferanalyses voor de FTA heeft ons gebracht tot een top 3 van componenten die het meeste invloed hebben op het faalgedrag van het deursysteem:

- 1) de pneumatische deurcilinder
- 2) de telescopische geleiding
- 3) de vergrendelrack

Wegens zijn enorme impact op de betrouwbaarheid van het deursysteem hebben we geopteerd de pneumatische deurcilinder in extenso te bestuderen voor zijn verschillende levenscyclusfasen, in overeenstemming met de RAMS-methode. Daar de deurgeleiding een kapitale rol vervult in de goede werking van de deurcilinder, werd deze ook betrokken in de studie.

8.4 Studie van de levenscyclusfasen van de deurcilinder AM75-77

8.4.1 Vastgestelde faalmechanismen

Het belangrijkste vastgestelde faalmechanisme is het vastlopen van de deurcilinder. Een smeringsprobleem ligt aan de basis van dit falen. Daarnaast worden herhaaldelijk luchtverliezen vastgesteld aan de dichtingen.

8.4.2 Beoordeling revisieketting

Analyse van de revisieketting toont aan dat zij in haar huidige vorm niet volstaat om de deurcilinder in goede staat te houden en bijdraagt tot het optreden van de vastgestelde faalmechanismen. Volgende aanpassingen/aanvullingen aan de revisieketting worden aanbevolen:

- Voldoende smeren van de kritische rubber-aluminium contactoppervlakken met het smeervet 'Renolit HLT 2' van de firma Fuchs dat reeds binnen NMBS Technics voor handen is.
- Bij elke revisie van een deurcilinder consequent de rubberen dichtingen en kunststof geleidingen vervangen door nieuw aangekochte exemplaren.
- De aangekochte kunststof geleidingen dienen bij voorkeur met teflon geïmpregneerd te zijn.
- De schroefdraadborging voor het 'oude model' dient lichter uitgevoerd te worden.

8.4.3 Aandachtspunten voor de deurcilinder bij modernisatie

Volgende punten dienen in acht genomen te worden betreffende de deurcilinder bij modernisatie:

- Bij een eventuele aankoop van nieuwe deurcilinders dient erover gewaakt te worden dat de geleiding in de cilinderkop voldoende wordt uitgevoerd teneinde buigende momenten op te vangen afkomstig van de telescopische geleiding.
- Het vervangen van de telescopische geleiding door een deurgeleiding met wagensysteem is te overwegen als conceptkeuze om de deurcilinder te ontlasten.
- Wanneer geopteerd wordt (een deel) van de huidige deurcilinders te blijven gebruiken na revisie dient allereerst gecontroleerd te worden of de metalen onderdelen nog in goede staat zijn. Indien het antwoord hierop positief is, kunnen de desbetreffende deurcilinders blijvend gereviseerd worden indien voor de revisieketting de aanbevelingen geformuleerd in paragraaf 8.4.2 toegepast te worden.

8.5 FTA als voorspellingstechniek voor het ontwerp van de deuren AM75-77m

8.5.1 Aandachtspunten bij het gebruik van FTA als voorspellingstechniek

Bij het aanwenden van nieuw aangekochte componenten dienen datasheets geraadpleegd te worden. In deze datasheets zijn echter de benodigde gegevens voor een cijferanalyse vaak niet beschikbaar of niet representatief voor de omgeving waarin de component effectief aangewend zal worden.

8.5.2 Resultaten en aanbevelingen voor de instapdeuren van de AM75-77m

Het ontwerp voor het deursysteem van de AM75-77m vertoont in zijn huidige designfase volgens de cijferanalyse een gelijkaardig betrouwbaarheidsniveau als het huidige deursysteem van de AM75-77. Wel dienen we op te merken dat op veiligheidsvlak al een grote winst geboekt werd. Verdere verbeteringen aan het ontwerp zijn nodig op dat de beoogde fiabiliteitswinst van minstens 38% (zie paragraaf 8.2.2) behaald wordt.

Uit de uitgevoerde FTA kunnen we tot slot volgende aanbevelingen voorop plaatsen:

- Het aanwenden van **meetbare redundantie** in het ontwerp kan de betrouwbaarheid significant verhogen.
- Bij de introductie van nieuwe componenten in het deursysteem dient zoveel mogelijk geopteerd te worden voor bestaande componenten die in andere materieelreeksen terug te vinden zijn. Dit bevordert de standaardisatie binnen de wisselstukken. Daarnaast verhoogt de nauwkeurigheid van de cijferanalyse (en dito voorspelling) bij de aanwending van deze componenten in een FTA.

Referenties

- [1] "NMBS Jaarverslag 2009," Juli, 2010.
- [2] CENELEC, "EN 50126: Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)," ed, 1998.
- [3] KBA, "Te warm: reiziger zet deur rijdende trein open," in *Het Nieuwsblad*, ed, 31 mei 2011.
- [4] J. Bakker, *et al.* (mrt 2010). *Leidraad RAMS - sturen op prestaties van systemen*. Available: <http://www.scribd.com/doc/45633945/Leidraad-RAMS-sturen-op-prestaties-van-systemen>
- [5] CEI/IEC, "61508: Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems," ed, 1998.
- [6] CEI/IEC, "62061: Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems," ed, 2005.
- [7] V. d. G. W. and V. D., "Verslag ingenieursstage - Exploitatie en Onderhoud van instapdeuren," UGent - NMBS Technics, 2010.
- [8] MIL-HDBK-217F, "Reliability Prediction of Electronic Equipment," ed, 02/1995.
- [9] CENELEC, "EN 50126 Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) Part 3: Guide to the application of EN50126-1 for Rolling Stock RAMS," ed: European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), 2004.
- [10] D. D. Neef. *Voitures SNCB*. Available: <http://www.belrail.be/F/fiches/car.index.php>
- [11] D. D. Neef, "Automotrices SNCB."
- [12] D. D. Neef, "Autorails SNCB."
- [13] *M6 (spoorwegrijtuig)*. Available: [http://nl.wikipedia.org/wiki/M6_\(spoorwegrijtuig\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/M6_(spoorwegrijtuig))
- [14] *Open FTA - Fault Tree Analysis for the most demanding studies*. Available: http://www.openfta.com/FTA/OpenFTA_02.pdf
- [15] *Advanced Logistics Development - Free MTBF Calculator Installation*. Available: <http://www.aldservice.com/en/reliability-software/free-mtbf-calculator-installation.html>
- [16] *Flexhone instructievideo*. Available: <http://www.youtube.com/watch?v=u9mZClv5Nfo>
- [17] http://2.bp.blogspot.com/TtQoT-ucvsc/SnB76Pe7Y-I/AAAAAAAAAIO/A04L8biunqc/s1600-h/levigated_alumina_flexhones.jpg, ed.
- [18] *Hydroplaning.svg*. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hydroplaning.svg>
- [19] *Vetsmering - lagers*. Available: <http://www.tandwiel.info/kennisbank/vetsmering-lagers>
- [20] A. v. Beek, "Chapter 8 - Lubricant selection and lubrication management," in *Advanced Engineering Design, Lifetime performance and reliability*, ed, 2009.
- [21] Product Information 'RENOLIT HLT 2 Synthetic Lithium Soap Based Grease' [Online]. Available: <http://www.opieoils.co.uk/pdfs/FUCHS%20-%20TDS/RENOLIT%20HLT%202.pdf>
- [22] [Anon], "Reliability Prediction and Mil-Hdbk-217," *Ieee Transactions on Reliability*, vol. 37, pp. 257-257, Aug 1988.
- [23] d. i. G. C. Avontuur, "Betrouwbaarheidsanalyse bij werktuigbouwkundig ontwerpen," 2000.
- [24] i. A. D. ing. Kurt Lintermans. *Fault Tree Analysis (FTA)*. Available: <http://users.khbo.be/catrysse/fta.pdf>
- [25] R. L. R. Cuyvers, J. Peperstraete, "Risicobeheersing door middel van fout-tolerantie."
- [26] F. F. G. W.E. Vesely, N.H. Roberts, D.F. Haasl, "Fault Tree Handbook," 1981.

Lijst van Figuren

FIGUUR 1: MOTORSTEL AM75-77 (4LEDIG)	1
FIGUUR 2: OVERZICHT VAN DE TYPES TREINDEUR-SYSTEMEN NAAR KINEMATISCH PRINCIPE.....	4
FIGUUR 3: BESCHRIJVENDE FICHE VAN HET VIERLEDIG MOTORRIJtuig TYPE 75-76-77 (IQUAL NR. 250.00.07).....	11
FIGUUR 4: TECHNISCHE ASPECTEN DEURSYSTEEM AM75-77	12
FIGUUR 5: MEESTER (LINKS) EN SLAAF (RECHTS) CONTROLE-EENHEID VAN HET DOBBELDEKSRIJtuig M6	13
FIGUUR 6: PRINCIPESCHETS EN DIAGRAMMA BETREFFENDE DE WERKING VAN EEN GEVOELIGE BOORD MET DRUKGOLFCONTACT	13
FIGUUR 7: PRINCIPIËLE WERKING VAN EEN BIRCHER-CONTACT	14
FIGUUR 8: BIRCHER-CONTACT (TYPE IN AM75-77) EN AFREGELING	14
FIGUUR 9: NOODOPENING BINNENKANT DEUR AM75-77	15
FIGUUR 10: ARTIKEL 'TE WARM: REIZIGER ZET DEUR RIJDENDE TREIN OPEN' - HET NIEUWSBLAD 31 MEI 2011 [3].	15
FIGUUR 11: AANWIJZER VERRICHTINGEN GEDAAN (AVG) IN STATION BRUSSEL-ZUID.....	16
FIGUUR 12: 'LAMP DEUREN' IN STUURPOST AM75-77	16
FIGUUR 13: BEDIENINGSPANEEL BUITENDEUR	18
FIGUUR 14: SCHAKELAAR I16	19
FIGUUR 15: AFZONDEREN DEUREN AM75-77 BIJ AVERIJ (ILLUSTRATIE UIT IBIS-TOESTEL VOOR TREINBEGELEIDER)	20
FIGUUR 16: SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN VERSCHILLENDE PUBLICATIES IN DE EN 5012X SUITE EN HUN TOEPASSINGSDOMEIN.....	22
FIGUUR 17: BADKUIPCURVE VOOR EEN WELBEPAALE FUNCTIE IN EEN SYSTEEM [4].....	28
FIGUUR 18: LEVENSCYCLUSFASEN IN HET V-MODEL [4].....	30
FIGUUR 19: DE BELANGRIJKSTE RAMS-ACTIVITEITEN IN STAPPEN [4]	31
FIGUUR 20: GRAFISCHE WEERGAVE 'KILOMETERPRODUCTIE/ JAAR' VOOR MATERIEELPARK BINNENLANDS NET (JULI '09 – JUNI '10) .	37
FIGUUR 21: KILOMETERPRODUCTIE / JAAR PER INGEZETTE KAST VOOR MATERIEELPARK BINNENLANDS NET (JULI '09 - JUNI '10).....	37
FIGUUR 22: GRAFISCHE WEERGAVE 'DEURCYCLI/ JAAR TOTAAL' VOOR ELK TYPE IN HET MATERIEELPARK BINNENLANDS NET	40
FIGUUR 23: GRAFISCHE WEERGAVE 'DEURCYCLI / JAAR PER DEURSYSTEEM' VOOR ELK TYPE IN HET MATERIEELPARK BINNENLANDS NET	40
FIGUUR 24: AM08 GESTATIONEERD VOOR DE WERKPLAATS VAN CHARLERLOI VOOR PROEVEN (02-03-2011)	41
FIGUUR 25: AANTAL AFGELEGDE KILOMETER TUSSEN 2 STOPS PER MATERIEELREEKS OP HET BINNENLANDS NET (JULI 2009 - JUNI 2010)	41
.....	41
FIGUUR 26: VERGELIJK 'AANTAL KILOMETER TUSSEN 2 STOPS': MATERIEELREEKS VERSUS TREINDIENST	42
FIGUUR 27: UITSCHUIFBARE VOETTREDE 'EUROBAHN' TREINSTEL IN DÜSSELDORF HBF	45
FIGUUR 28: TOP 10 AANTAL CODES 22 GARANTIEOPVOLGING RIJtuIGEN M6 BASISORDER + OPTIEORDERS (PERIODE:05/09-08/10)	47
.....	47
FIGUUR 29: WERKUREN GESPENDEERD AAN ONDERHOUD VAN INSTAPDEUREN PER KAST (AM62-79/75-77/80-83/96).....	50
FIGUUR 30: WERKUREN GESPENDEERD AAN ONDERHOUD VAN INSTAPDEUREN PER INGEZETTE KAST (AM62-65/66-70/70T/CR) .	51
FIGUUR 31: AANTAL WERKUREN IN MARS GESPENDEERD AAN ONDERHOUD VAN INSTAPDEUREN (VOORZIEN/ONVOORZIEN/TOTAAL)	52
GESCHAALD NAAR REFERENTIE-EENHEID (1): 1 MILJOEN GEREDEN KM.....	52
FIGUUR 32: AANTAL WERKUREN IN MARS GESPENDEERD AAN ONDERHOUD VAN INSTAPDEUREN (VOORZIEN/ONVOORZIEN/TOTAAL)	52
GESCHAALD NAAR REFERENTIE-EENHEID (2): 1 MILJOEN (THEORETISCHE) DEURCYCLI	52
FIGUUR 33: EXTRACTIE WERKOPDRACHTEN INSTAPDEUREN AM75-77 UIT MARS	53
FIGUUR 34: WEERGAVE BELANGRIJKSTE CATEGORIEËN VAN WERKOPDRACHTEN AAN DE INSTAPDEUREN VAN DE AM75-77 IN MARS	54
.....	54
FIGUUR 35: EVOLUTIE AANTAL REIZIGERS NATIONAAL [1].....	57
FIGUUR 36: AANTAL DAGEN BESCHIKBAARHEID / JAAR EN GRAAD VAN BESCHIKBAARHEID VOOR HV I11 / I10 / I6 / M6	58
FIGUUR 37: GRAAD VAN INZETTEN BIJ BESCHIKBAARHEID VAN HV I11 / I10 / I6 / M6	59
FIGUUR 38: AANTAL UITGEVOERDE DIENSTDAGEN PER JAAR VOOR MATERIEELREEKSEN BINNENLANDS NET (JULI '09 – JUNI '10)	60

Lijsten van Figuren en Tabellen

FIGUUR 39: PERCENTAGE INZETBAARHEID (JULI '09 - JUNI '10)	60
FIGUUR 40: AANTAL AFKEURINGEN PER INGEZETTE KAST (HV M4M/M5(M)/M6/I11)	61
FIGUUR 41: AANTAL AFKEURINGEN PER 1 MILJOEN GEREDEN KM (HV M4M/M5(M)/M6/I11)	62
FIGUUR 42: AANTAL AFKEURINGEN PER 1 MILJOEN (THEORETISCHE) DEURCYCLI (HV M4M/M5(M)/M6/I11)	62
FIGUUR 43: AANTAL DEURINCIDENTEN (VERTRAGING > 5 MINUTEN) IN DATABASE INFRABEL, DIRECTIE NETWERK VOOR ELKE MATERIEELREEKS	65
FIGUUR 44: AANTAL DEURINCIDENTEN (VERTRAGING > 5MINUTEN) PER INGEZETTE KAST (JULI '09 – JUNI '10)	66
FIGUUR 45: RT TEN GEVOLGE VAN DEURINCIDENTEN PER MATERIEELREEKS. BRON: DATABASE INFRABEL, DIRECTIE NETWERK	67
FIGUUR 46: AANTAL MINUTEN VERTRAGING TEN GEVOLGE VAN DEURINCIDENTEN / JAAR PER INGEZETTE KAST (JULI '09 - JUNI '10) .	67
FIGUUR 47: AANTAL AFGESCHAFTE TREINNUMMERS TEN GEVOLGE VAN DEURINCIDENTEN PER MATERIEELREEKS. BRON: DATABASE INFRABEL, DIRECTIE NETWERK	68
FIGUUR 48: RELATIEF AANDEEL MATERIEELREEKSEN IN TREINNUMMERS	69
FIGUUR 49: RELATIEF AANDEEL VOOR ELKE MATERIEELREEKS IN DE AFGESCHAFTE TREINNUMMERS (BASISREFERENTIE = AR41)	69
FIGUUR 50: AANTAL DEURINCIDENTEN MET EEN VERTRAGING < 5MINUTEN VOOR ELKE MATERIEELREEKS (JULI '09 –JUNI '10)	70
FIGUUR 51: AANTAL DEURINCIDENTEN MET EEN VERTRAGING < 5MINUTEN PER INGEZETTE KAST (JULI '09 –JUNI '10)	71
FIGUUR 52: VOORBEELD EXTRACTIE SMS-AVERIJ UIT MARS (OUDE METHODE).....	72
FIGUUR 53: : VOORBEELD EXTRACTIE SMS-AVERIJ UIT MARS (NIEUWE METHODE).....	72
FIGUUR 54: EVOLUTIE VAN HET AANTAL MELDINGEN VAN DEURINCIDENTEN IN HET NIEUWE EXTRACTIESYSTEEM	72
FIGUUR 55: AANTAL DEURINCIDENTEN VERMELD IN NIEUW EXTRACTIESYSTEEM SMS-AVERIJ (NOVEMBER '10).....	73
FIGUUR 56: AANTAL DEURINCIDENTEN VERMELD IN NIEUW EXTRACTIESYSTEEM SMS-AVERIJ PER INGEZETTE KAST (NOVEMBER '10) 73	
FIGUUR 57: BETROUWBAARHEID: AANTAL DEURINCIDENTEN GEMELD IN DE PERIODE (JULI '09 – JUNI '10)	74
FIGUUR 58: BETROUWBAARHEID: AANTAL DEURINCIDENTEN / JAAR PER INGEZETTE KAST (JULI '09 – JUNI '10)	75
FIGUUR 59: BETROUWBAARHEID: # DEURINCIDENTEN / 1 MILJOEN GEREDEN KILOMETER VOOR ELKE MATERIEELREEKS (JULI '09 – JUNI '10)	76
FIGUUR 60: RANGSCHIKKING VH # DEURINCIDENTEN / 1 MILJOEN GEREDEN KILOMETER VOOR ELKE MATERIEELREEKS (JULI '09 – JUNI '10)	76
FIGUUR 61: BETROUWBAARHEID: # DEURINCIDENTEN / 1 MILJOEN DEURCYCLI VOOR ELKE MATERIEELREEKS (JULI '09 – JUNI '10) ...	77
FIGUUR 62: RANGSCHIKKING VH # DEURINCIDENTEN / 1 MILJOEN DEURCYCLI VOOR ELKE MATERIEELREEKS (JULI '09 – JUNI '10)	77
FIGUUR 63: VERDELING DEURINCIDENTEN AM75-77 IN FOUTCATEGORIEËN VOLGENS TABEL 4-21	79
FIGUUR 64: GEHANTEERDE STRUCTUUR BIJ HET UITVOEREN VAN EEN FTA OP DE INSTAPDEUREN VAN DE AM75-77	81
FIGUUR 65: VERDELING TOPGEBEURTENISSEN + ANDERE/HERHAALDE KLACHTEN UIT DATABASES INFRABEL + D43	83
FIGUUR 66: AANDUIDING VERSCHILLENDE TYPES INSTAPDEUREN AM75-77	84
FIGUUR 67: DEMONTAGE DEUREN AM 843 (CW MECHELEN, 26-10-2010).....	85
FIGUUR 68: VOORBEELD ELEKTRISCH SCHEMA INSTAPDEUREN AM75-77	86
FIGUUR 69: VOORBEELD PNEUMATISCH SCHEMA INSTAPDEUREN AM75-77	87
FIGUUR 70: WEERGAVE IMPLEMENTATIE FOUTENBOOM 'TOPGEBEURTENIS 1' IN MICROSOFT OFFICE EXCEL	88
FIGUUR 71: VISUALISATIE AANZET FOUTENBOOM 'TOPGEBEURTENIS 1: DEUR SLUIT NIET' IN OPENFTA	89
FIGUUR 72: VERGRENDLRACK AM75-77	106
FIGUUR 73: HOOFDSTUK 6 - LEVENSCYCLUSFASEN DEURCILINDER AM75-77(M)	114
FIGUUR 74: VISUALISATIE CONCEPTUEEL VERSCHIL DEUR 1 ^{STE} KLASSE (LINKS) EN DEUR 2 ^{DE} KLASSE (RECHTS) AM75-77	115
FIGUUR 75: UITVOERING TELESCOPISCHE GELEIDING AM75-77	116
FIGUUR 76: OPHANGING TELESCOPISCHE GELEIDING AAN DE KAST VAN DE AM75-77	117
FIGUUR 77: AFMETINGEN EN OPSTELLING DEURCILINDER AM75-77 DEUR 1 ^{STE} KLASSE.....	118
FIGUUR 78: AFMETINGEN DEURCILINDER AM75-77 DEUR 2 ^{DE} KLASSE	119
FIGUUR 79: FUNCTIONELE ONDERDELEN DEURCILINDER AM75-77.....	120
FIGUUR 80: PRINCIPESHEMA DEMPING IN- UITGAANDE SLAG PNEUMATISCHE CILINDER, 'NIEUWE' MODEL.....	123

Lijsten van Figuren en Tabellen

FIGUUR 81: DEURCILINDER MRQ 'OUD' MODEL.....	125
FIGUUR 82: DEURCILINDER MRQ 'NIEUW' MODEL	125
FIGUUR 83: VERSCHILLENDE GELEIDERS IN DE TELESCOPISCHE GELEIDING VAN DE AM75-77	126
FIGUUR 84: ECONOMISCHE HERSTELLING TELESCOPISCHE GELEIDING AM75-77: MIDDENGELEIDER EN KOGELS	127
FIGUUR 85: NIEUW AANGEKOCHE TELESCOPISCHE GELEIDING MET KUNSTSTOF KOOI	128
FIGUUR 86: FLEXHONE BOORKOPPEN [17]	129
FIGUUR 87: CONCLUSIE TESTRAPPORT VAN DE DICHTINGEN UIT HNBR VAN HET LABO VAN DE NMBS HOLDING	129
FIGUUR 88: AANDUIDING DICHTING IN DE CILINDERKOP VAN DE DEURCILINDER VAN DE AM75-77	131
FIGUUR 89: REGELEN DEMPING OP IN- EN UITGAANDE SLAG TIJDENS REVISIE DEURCILINDER TE CW MECHELEN	131
FIGUUR 90: AFBREKEN RUBBERPARTIKELS STUIT (OUD MODEL).....	132
FIGUUR 91: AFBREKEN RUBBERPARTIKELS VAN DICHTING (NIEUW MODEL).....	133
FIGUUR 92: POGING TOT AANBRENGEN CILINDERSTANG IN CILINDERMANTEL ZONDER EXTERNE HULPMIDDELEN (NIEUW MODEL)....	133
FIGUUR 93: DESTRUCTIEVE MONTAGE (LINKS) EN CORRECTE MONTAGE (RECHTS) VAN DE DICHTING IN DE CILINDERMANTEL ('NIEUW' MODEL)	134
FIGUUR 94: DUBBELGEPLOIDE DICHTING NIEUW MODEL.....	134
FIGUUR 95: SPOREN VAN SLUITAGE AAN GELEIDING	135
FIGUUR 96: GELEIDINGSBUS IN DE KOP VAN DE CILINDER.....	135
FIGUUR 97: RUBBERAFZETTINGEN OP VERSCHIEDENE ONDERDELEN BIJ VASTGELOPEN DEURCILINDERS AM75-77	136
FIGUUR 98: BADKUIPCURVE – INSTANDHOUDING VAN DEURCILINDERS DOOR EEN REVISIEKETING	137
FIGUUR 99: BREKEN VAN DE SCHROEFDRAADBORGING BIJ EERSTE TRAP ('OUD' MODEL)	138
FIGUUR 100: EERSTE TRAP VAN DEURCILINDER 'OUD' MODEL WORDT VAN SMEERVET (AUTOL TOP 2000) VOORZIEN	139
FIGUUR 101: SHELL ASEOL CALLA 1 9-35	139
FIGUUR 102: AGIP AUTOL TOP 2000	140
FIGUUR 103: BESCHRIJVENDE FICHE SMEERVET 'AUTOL TOP 2000' (AGIP/ENI)	140
FIGUUR 104: BADKUIPCURVE – HUIDIGE SITUATIE VOOR DE DEURCILINDERS AM75-77 IN DE REVISIEKETING	142
FIGUUR 105: WEERGAVE UITZICHT PROTOTYPE AM75-77M.....	143
FIGUUR 106: ELEMENTAIRE AFMETINGEN UIT OFFERTE VOOR DEURCILINDER PROTOTYPE AM75-77M (FIRMA NORGREN)	144
FIGUUR 107: ELEMENTAIRE OPERATIONELE KENMERKEN UIT OFFERTE VOOR DEURCILINDER PROTOTYPE AM75-77M (FIRMA NORGREN)	144
FIGUUR 108: VERGELIJK SCHARNIERPUNTEN DEURCILINDER AM75-77 (BOVEN) EN DEURCILINDER PROTOTYPE AM75-77M	145
FIGUUR 109: UITVOERING DICHTINGEN EN GELEIDINGSRINGEN BIJ CILINDERSTANG DEURCILINDER HV M6	145
FIGUUR 110: GELEIDINGSBUS IN DE CILINDERKOP VAN DE DEURCILINDER HV M6 (LINKS) & VERGELIJK GELEIDINGSBUS DEURCILINDER AM75-77 MET HV M6 (RECHTS)	146
FIGUUR 111: VERGELIJK CILINDERKOP DEURCILINDER PROTOTYPE AM75-77M (LINKS) & HV M6 (RECHTS)	147
FIGUUR 112: DEURCILINDERS EN GELEIDINGSSYSTEEM VAN DUBBELE INSTAPDEUR HV M6 (LEGENDA: L=LINKER / R=RECHTER) ...	148
FIGUUR 113: BOVENSTE GELEIDINGSRAIL MET ROLLEN ZORGT VOOR ZWENKENDE BEWEGING DUBBELE INSTAPDEUR HV M6.....	149
FIGUUR 114: WAGEN VAN DEURGELEIDING DUBBELE INSTAPDEUR HV M6	149
FIGUUR 115: UITVOERING VAN DE HAMERTEST OP DEURCILINDERS HV M6 (BOVEN) EN AM75-77 (ONDER) AAN DE UGENT	150
FIGUUR 116: ACCELEROMETER - POSITIONERING VOOR VERGELIJKENDE METING.....	151
FIGUUR 117: SIGNAALCONDITIONERING / VOEDING ACCELEROMETER + NETTOP MET LABVIEW-PROGRAMMA OM DATA VAN DE DAQ TE CAPTEREN.....	152
FIGUUR 118: NATIONAL INSTRUMENTS USB MODULE NI USB-9162 EN ANALOOG NAAR DIGITAAL OMZETTER NI 9215.....	152
FIGUUR 119: AM 75-77 STEL 844 (LINKS) EN HV M6 NR. 62243 (RECHTS) WAAROP ACCELEROMETINGEN VERRICHT WERDEN ..	153
FIGUUR 120: OPGEMETEN SPANNING IN DE TIJD TIJDENS METEN MET EEN ACCELEROMETER OP HET HUIS VAN DE CILINDER BIJ OPENEN DEUR 15 AM 844.....	154

Lijsten van Figuren en Tabellen

FIGUUR 121: OPGEMETEN SPANNING IN DE TIJD TIJDENS METEN MET EEN ACCELEROMETER OP HET HUIS VAN DE CILINDER BIJ OPENEN DEUR 1 HV M6 NR. 62243 – ZELFDE SCHAAL VOOR DE SPANNING ALS IN FIGUUR 111.....	154
FIGUUR 122: OPGEMETEN SPANNING IN DE TIJD TIJDENS METEN MET EEN ACCELEROMETER OP HET HUIS VAN DE CILINDER BIJ OPENEN DEUR 1 HV M6 NR. 62243 – AANGEPASTE SCHAAL VOOR DE SPANNING.	155
FIGUUR 123: OPGEMETEN SPANNING IN DE TIJD TIJDENS METEN MET EEN ACCELEROMETER OP HET HUIS VAN DE CILINDER BIJ SLUITEN DEUR 15 AM 844	156
FIGUUR 124: OPGEMETEN SPANNING IN DE TIJD TIJDENS METEN MET EEN ACCELEROMETER OP HET HUIS VAN DE CILINDER BIJ SLUITEN DEUR 1 HV M6 NR. 62243 – ZELFDE SCHAAL VOOR DE SPANNING ALS IN FIGUUR 119.....	156
FIGUUR 125: OPGEMETEN SPANNING IN DE TIJD TIJDENS METEN MET EEN ACCELEROMETER OP HET HUIS VAN DE CILINDER BIJ SLUITEN DEUR 1 HV M6 NR. 62243 – AANGEPASTE SCHAAL VOOR DE SPANNING.	157
FIGUUR 126: KIT MET DICHTINGEN EN GELEIDINGSRINGEN VOOR DE DEURCILINDER HV M6 VAN NORGRN	159
FIGUUR 127: AQUAPLANING BIJ WEGVOERTUIGEN [18]	160
FIGUUR 128: SPOREN VAN ADHESIEVE SLIJTAGE VAN DE RUBBEREN DICHTINGEN OP DE CILINDERMANTEL (LINKS) EN DE RUBBEREN DICHTINGEN ZELF (RECHTS) BIJ EEN VASTLOPEN DEURCILINDER AM96/I11	164
FIGUUR 129: IDENTIFICATIESTICKER REVISIE DEURCILINDER TE CW MECHELEN	165
FIGUUR 130: SPOREN VAN ADHESIEVE SLIJTAGE OP DE CILINDERMANTEL EN FLUOGROEN VET OP DE DEMPING (LINKS) – WEINIG TOT GEEN VETAZETTING OP DE DICHTING (RECHTS) VAN DE DEURCILINDER AM96/I11 BIJ ONDERZOEK TE LABO SOETE.....	166
FIGUUR 131: AFZETTING VAN WITACHTIG VET OP DICHTING DEURCILINDER AM96/I11 BIJ ONDERZOEK TE LABO SOETE.....	166
FIGUUR 132: VASTGELOPEN DEURCILINDER AM86-89	167
FIGUUR 133: BESCHRIJVENDE FICHE SMEERVET 'AUTOL TOP 2000' (AGIP/ENI)	168
FIGUUR 134: FUCHS 'RENOLIT HLT 2'	169
FIGUUR 135: BESCHRIJVENDE FICHE 'RENOLIT HLT 2' [21]	171
FIGUUR 136: GEHANTEERDE STRUCTUUR BIJ HET UITVOEREN VAN EEN FTA OP HET ONTWERP VAN DE INSTAPDEUREN VAN DE AM75-77M	173
FIGUUR 137: MIRCOSWITCH VERGRENDELRAK AM75-77 (LINKS) – MICROSWITCH CONTROLEREN VERGRENDELSTATUS AM75-77M (RECHTS).....	174
FIGUUR 138: ZOEMER INSTAPDEUREN AM75-77M	175
FIGUUR 139: PROTOTYPEONTWERP VOOR DEURSTURING AM75-77M.....	175
FIGUUR 140: POSITIONERING SERVICE SCHAKELAARS BIJ AM75-77(M)	190

Lijst van Tabellen

TABEL 2-1: LEGENDA TER VERKLARING VAN ENKELE SPECIFIEKE BEGRIPPEN BIJ DE VISUALISATIE VAN DE MATERIEELREEKSEN.....	5
TABEL 3-1: VERSCHILLENDE PUBLICATIES BINNEN DE EN5012X SUITE [REFERENTIE].....	22
TABEL 3-2: MOMENTEN VAN PREVENTIEF ONDERHOUD VOOR DE INSTAPDEUREN VAN DE AM75-77	25
TABEL 3-3: KENMERKEN FOUTENBOOMANALYSE (FTA, FAULT TREE ANALYSIS) (ZIE OOK [4])	32
TABEL 4-1: KILOMETERPRODUCTIE / JAAR VOOR DE MATERIEELREEKSEN OP HET BINNENLANDSE NET (JULI '09 – JUNI '10)	36
TABEL 4-2: BEPALING VAN HET AANTAL INGEZETTE BALKONS VOOR ELKE MATERIEELREEKS OP HET BINNENLANDSE NET	39
TABEL 4-3: BEPALING AANTAL DEURCYCLI/JAAR (JULI 2009 – JUNI 2010) VOOR ELKE MATERIEELREEKS OP HET BINNENLANDSE NET.....	39
TABEL 4-4: AANTAL STOPS EN AANTAL KILOMETER TUSSEN 2 STOPS PER TYPE TREINDIENST.....	42
TABEL 4-5: OVERZICHT AANTAL VEILIGHEIDSINCIDENTEN BIJ HET OP- OF AFSTAPPEN UIT DE DATABASE VAN INFRABEL PER MATERIEELREEKS	44
TABEL 4-6: STATIONS BETROKKEN BIJ INCIDENTEN MET REIZIGERS TUSSEN HET PERRON EN DE TREIN	45
TABEL 4-7: VERKLARING CODES 22 VOOR TOP 10 GARANTIEOPVOLGING RIJTUIGEN M6 BASISORDER + OPTIEORDERS (05/09 - 08/10)	47
TABEL 4-8: KWANTIFICERING SAFETY HV M6: VEILIGHEIDSGERELATEERDE INCIDENTEN INSTAPDEUREN (PERIODE JUNI '09 - JULI '10)	48
TABEL 4-9: WERKUREN GESPENDEERD AAN HET ONDERHOUD VAN DE INSTAPDEUREN (AM62-79/75-77/80-83/96) BRON: MARS	49
TABEL 4-10: TECHNISCHE REEKSEN EN AANTAL INGEZETTE VOERTUIGEN BINNEN DE FAMILIE AM62-79	51
TABEL 4-11: ONDERVERDELING WERKOPDRACHTEN AAN VERGRENDSELBLOK DEURSYSTEEM AM75-77 IN MARS	55
TABEL 4-12: ONDERVERDELING WERKOPDRACHTEN AAN DEURCILINDER DEURSYSTEEM AM75-77 IN MARS	55
TABEL 4-13: GERAADPLEEGDE DATABASES VOOR DE KWANTIFICERING VAN DE AVAILABILITY	57
TABEL 4-14: CONCEPTUEEL VERGELIJK INSTAPDEUREN HV M6/I11.....	63
TABEL 4-15: GERAADPLEEGDE DATABASES UIT EXPLOITATIE VOOR HET KWANTIFICEREN VAN DE R-PARAMETER.....	64
TABEL 4-16: GEGEVENS AM75-77 UIT DATABASE INFRABEL, DIRECTIE NETWERK	70
TABEL 4-17: FOUTCATEGORIEËN VOLGENS EN 50126-1	78
TABEL 4-18: FOUTCATEGORIEËN GEHANTEERD IN GARANTIEOPVOLGING HV M6 DOOR NMBS	78
TABEL 4-19: FOUTCATEGORIEËN GEHANTEERD IN DEZE THESISOPDRACHT VOOR DE INSTAPDEUREN VAN DE AM75-77	79
TABEL 4-20: SAMENVATTING KWANTIFICERING RAMS-PRESTATIES AM75-77	80
TABEL 5-1: BEPALING TOPGEBEURTENISSEN NA ANALYSE DEURINCIDENTEN AM75-77 IN DATABASES INFRABEL, DIRECTIE NETWERK + D43.....	83
TABEL 5-2: VOOR- EN NADELEN MICROSOFT OFFICE EXCEL VS. OPENFTA ALS SOFTWAREOMGEVING VOOR HET UITVOEREN VAN EEN FTA	88
TABEL 5-3: VOORBEELD VAN OPLIJSTING VAN BASISGEBEURTENISSEN VOOR ELKE FOUTENBOOM IN 2 CATEGORIEËN.....	91
TABEL 5-4: VOORBEELD VAN FR VOLGENS MIL-SPEC EN ONDERHOUDS- EN EXPLOITATIEDATABASES VOOR ENKELE BASISGEBEURTENISSEN	93
TABEL 5-5: WAARGENOMEN EN BEREKENDE FAILURE RATES VOOR DE VERSCHILLENDE TOPGEBEURTENISSEN	95
TABEL 5-6: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 1: DEUR SLUIT NIET.....	99
TABEL 5-7: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 2: DEUR OPENT NIET.....	101
TABEL 5-8: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 3: DEUR OPENT TIJDENS RIT.....	102
TABEL 5-9: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 4: DEUR OPENT TE TRAG	103
TABEL 5-10: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 5: DEUR SLUIT TE TRAG.....	105
TABEL 5-11: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 6: DEUR VERGRENDSELT NIET	106
TABEL 5-12: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 7: DEUR OPENT BIJ GEÏSOLEERDE DEUR	107

Lijsten van Figuren en Tabellen

TABEL 5-13: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 8: GEEN SPANNING OP DRAAD 40/41	108
TABEL 5-14: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 9: GEEN SPANNING OP DRAAD CP1,2	109
TABEL 5-15: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 10: GEEN SPANNING OP DRAAD 44A	110
TABEL 5-16: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77 TOPGEBEURTENIS 11: TBS KRIJGT GEEN LAMP DEUREN	111
TABEL 6-1: OVERZICHT VERSCHILLENDE TYPES DEURCILINDERS IN OMLOOP OP MOTORSTELLEN AM75-77	117
TABEL 6-2: WERKOMSTANDIGHEDEN DEURCILINDERS AM75-77	124
TABEL 6-3: NUTTIGE KRACHTEN DEURCILINDERS AM75-77	124
TABEL 6-4: BELASTING DEURCILINDERS AM75-77	124
TABEL 6-5: ELEMENTAIRE SPECIFICATIES SMEERVET 'ASEOL CALLA 1 9-35'	139
TABEL 6-6: GEGEVENS VOLGENS TECHNISCHE FICHE SMEERVET 'AUTOL TOP 2000' VOLGENS LABO NMBS-HOLDING.....	141
TABEL 6-7: RESULTATEN ANALYSES SMEERVET 'AUTOL TOP 2000' IN LABO NMBS-HOLDING.....	141
TABEL 6-8: INVENTARISATIE AFGEKEURDE DEURCILINDERS AM96/I11 IN MAGAZIJN REMWERF TE CW MECHELEN	164
TABEL 6-9: DATUM REVISIE VAN VASTGELOPEN DEURCILINDERS AM96/I11	165
TABEL 6-10: GEGEVENS VOLGENS TECHNISCHE FICHE SMEERVET 'AUTOL TOP 2000' VOLGENS LABO NMBS-HOLDING.....	168
TABEL 6-11: VERGELIJK SMEERVETTEN 'AUTOL TOP 2000' EN 'RENOLIT HLT 2'	172
TABEL 7-1: TOPGEBEURTENISSEN BESCHOUWD VOOR DE FTA VAN HET ONTWERP VAN DE INSTAPDEUREN VAN DE AM75-77	176
TABEL 7-2: BEKOMEN GETALWAARDEN VOOR DE FR UIT DE DATASHEETEN VAN NIEUW AANGEKOCHE COMPONENTEN.....	180
TABEL 7-3: WAARGENOMEN EN BEREKENDE FAILURE RATES VOOR DE TOPGEBEURTENISSEN VAN ZOWEL AM75-77 ALS AM75-77M	181
TABEL 7-4: VERGELIJK FR AM75-77 EN AM75-77M VOLGENS MIL-SPEC EN VOLGENS ONDERHOUD EN EXPLOITATIE.....	182
TABEL 7-5: VERGELIJK FR AM75-77M VOLGENS MIL-SPEC /ONDERHOUD EN EXPLOITATIE EN WAARGENOMEN FR IN EXPLOITATIE	183
TABEL 7-6: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77M TOPGEBEURTENIS 1: DEUR SLUIT NIET	185
TABEL 7-7: RESULTATEN CIJFERANALYSE TOPGEBEURTENIS 1 AM75-77 WAARBIJ FR VOOR DEURCILINDER DEUREN 1 ^E EN 2 ^E KLASSE APART BESCHOUWD WORDEN.	187
TABEL 7-8: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77M TOPGEBEURTENIS 2: DEUR OPENT NIET.....	188
TABEL 7-9: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77M TOPGEBEURTENIS 3: DEUR OPENT TIJDENS RIT	189
TABEL 7-10: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77M TOPGEBEURTENIS 6: DEUR VERGRENDT NIET.....	190
TABEL 7-11: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77M TOPGEBEURTENIS 7: DEUR OPENT BIJ GEÏSOLEERDE DEUR	191
TABEL 7-12: RESULTATEN CIJFERANALYSE VOOR FOUTENBOOM AM75-77M TOPGEBEURTENIS 11: TBS KRIJGT GEEN LAMP DEUREN	193

