

UNIVERSITEIT ANTWERPEN

FACULTEIT TOEGEPASTE INGENIEURSWETENSCHAPPEN

# Gebruik van polymeer gemodificeerd bitumen in dichte toplagen voor zwaarbelaste asfaltverhardingen

Ben Moins

Masterproef voorgedragen tot het bekomen  
van de graad van:

Master of Science in de industriële wetenschappen  
Bouwkunde

Promotor(en): Prof. Dr. Ing. Wim Van den bergh

Copromotor: Ing. Karolien Couscheir



UNIVERSITEIT ANTWERPEN

FACULTEIT TOEGEPASTE INGENIEURSWETENSCHAPPEN

# **Gebruik van polymeer gemodificeerd bitumen in dichte toplagen voor zwaarbelaste asfaltverhardingen**

Ben Moins

Masterproef voorgedragen tot het bekomen  
van de graad van:

Master of Science in de industriële wetenschappen  
Bouwkunde

Promotor(en): Prof. Dr. Ing. Wim Van den bergh

Copromotor: Ing. Karolien Couscheir





# Use of polymer modified asphalt binders for dense graded wearing courses under high traffic loads

B. Moins<sup>a</sup>; W. Van den bergh<sup>a</sup>; K. Couscheir<sup>a</sup>

<sup>a</sup> University of Antwerp, Groenenborgerlaan 171, 2020 Antwerp, Belgium

Contact: [ben.moins@student.uantwerpen.be](mailto:ben.moins@student.uantwerpen.be)  
[wim.vandenbergh@uantwerpen.be](mailto:wim.vandenbergh@uantwerpen.be)  
[karolien.couscheir@uantwerpen.be](mailto:karolien.couscheir@uantwerpen.be)

---

**Abstract:** Raveling, rutting and static indentation are 3 important examples of problems that can happen in port environments. According to the Belgian road standard only open mixtures (stone mastic asphalt (SMA) and open graded friction course (ZOA)) are allowed for the wearing courses of bituminous roads with high traffic loads. Because raveling is such a problem in the Port of Antwerp, the goal of this research was to see whether it was possible to design a dense mixture that still could be used in environments with high traffic loads. To compensate the use of a dense mixture, 2 polymer modified bitumen were compared with a standard binder to see if the modification led to better performances. In this research the resistance against raveling, water sensitivity, static indentation and rutting were determined. The research shows that dense mixtures can perform as good or even better than the specifications that are given for open mixtures.

**Keywords:** *PMB; high traffic loads; Dense wearing layers; Wheel-tracking; ITSR; Rheology; Stiffness; Raveling; Statical indentation*

---

## 1 Introduction

Raveling, rutting and indentation are 3 important examples of problems that can happen in port environments. These types of damage are the result of the high loads that are introduced by transportation in port environments (e.g. reach stackers & straddle carrier).

The Port of Antwerp uses the Belgian road standard (SB250 v3.1) as a guideline for the design of their pavements. Therefore other tests (e.g. % voids, indirect tensile strength ratio (ITSR) and stiffness) will also be important for the design of a mixture that can resist the high traffic loading.

According to the Belgian road standard only open mixtures (stone mastic asphalt (SMA) and open graded friction course (OGFC)) are allowed for the wearing courses of bituminous roads with high traffic loading. In this case the resistance against raveling is so important that the object of the research will be to design a dense mixture that performs as good or better than an open mixture.

According to [1] a dense mixture will have a positive influence on the resistance against raveling. A dense mixture will have less macro texture and will therefore loose less material on the surface.

[2] could not find a conclusive conclusion about the influence of the mixture type on the resistance against rutting. They tested combinations of a base layer with a surface layer. In some cases the use of a dense surface layer led to an increase in resistance against rutting but in other cases the use of a dense surface layer led to a decrease in resistance against rutting.

The resistance against rutting was also tested by [3]. The conclusion was conclusive here: a dense mixture will have a higher resistance against rutting when compared to a SMA mixture. They also demonstrated that dense mixtures will have a higher indirect tensile strength ratio (ITSR).

The resistance against water sensitivity is determined based on the ITSR. The ITSR is the ratio of the indirect tensile strength (ITS) of a conditioned set and the ITS of an unconditioned

set. According to [4] a dense mixture will have higher ITS values when compared to open mixtures.

A second way to enhance the characteristics of an asphalt mixture is by using a modified bitumen. A lot of research has been done about the use of polymer modified bitumen (PmB). [5,6] did research about the influence of a PmB on the resistance against rutting. Both concluded that the resistance against rutting increases after using a PmB.

[6] also concluded that a PmB will have a positive influence on the ITS values of the conditioned and unconditioned set. Therefore a PmB will also have a positive influence on the ITS. The same conclusion was made by [7].

As said before, the resistance against raveling can be increased by changing the mixture composition. [8] demonstrated that the resistance can also be enhanced by using a PmB.

An asphalt test is a time consuming task. Therefore a lot of research has been carried out to provide bitumen tests which can give a first insight in the behavior of asphalt mixtures.

A first way to predict the behavior over a series of temperatures is by constructing the consistency curve based on the penetration, the softening point and the breaking point according to Fraass.

A second technique for the prediction of asphalt behavior is the construction of a master curve and a black diagram. The disadvantage of a master curve is that a given result is frequency

dependent and therefore temperature dependent. For a result that is temperature independent the construction of a black diagram is necessary.

According to [5] a PmB is less sensitive for a frequency change and will therefore perform more consistently over a different range of temperatures. This can be important during the change of the seasons.

The multiple stress creep recovery test (MSCRT) provides an estimate for the resistance against rutting. The test consists out of loading cycles where a DSR specimen experiences a loading for 1 second and a resting period for 9 seconds. Afterwards the non-recoverable compliance can be determined. According to [5, 9, 10] a loading of 3200 Pa gives the best estimation for the resistance against rutting.

## 2 Mixture design

2 dense mixtures were designed by EMIB. The first mixture is an asphalt concrete (AB-4C) designed according to the Belgian road standard SB250. The second mixture is designed according NBN EN 13108-1 and is a dense asphalt mixture with performance characteristics for surface layers (APT-C). The gradations of the mixtures and individual materials are given in Fig. 1.

The mixtures were produced with 3 different binders: 1 standard binder and 2 SBS polymer modified binders. The standard binder will be used as a reference and is a B50/70 (REF). The 2 modified binders are: PmB 10/40-85 (PmB1) and PmB 45/80-50 (PmB2).

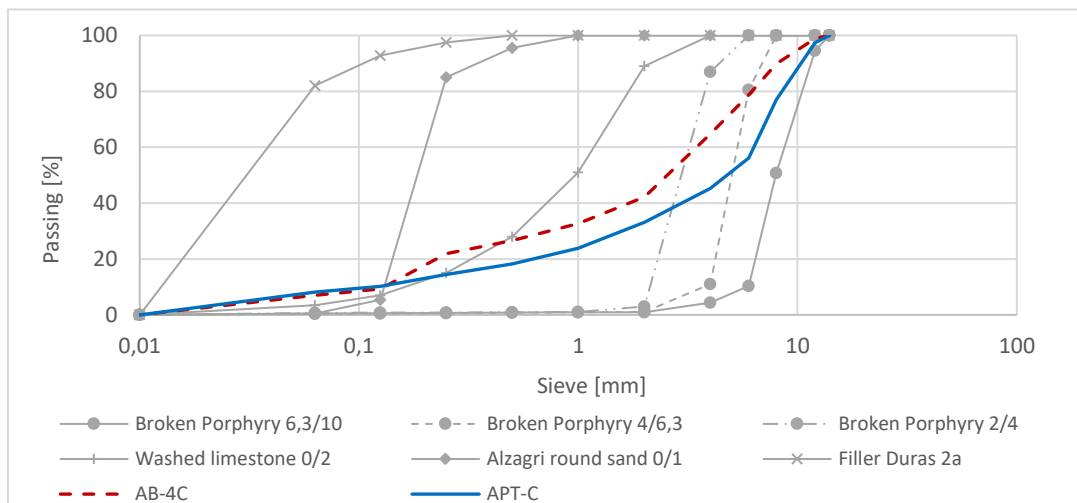


Fig. 1 Mixture and materials gradations [EMIB]

### 3 Test program

The program consists out of 3 stages. During the first stage the asphalt mixtures will be produced with a binder content of 5,8% (in the mixture). The following asphalt performance characteristics will be determined: the void content (NBN EN 12697-8); the ITS (12697-23); the ITSR (12697-12) and the resistance against rutting (NBN EN 12697-22)

Also the following bitumen characteristics will be tested in this stage: the needle penetration (NBN EN 1426); the softening point (NBN EN 1427); the Fraass breaking point (NBN EN 12593) and the rheological characteristics

One PmB will be eliminated after the first stage due to a lack of time. In the second stage the binder content of the remaining mixtures will be increased with 0.3% and 0.6% to see whether an increase can have a positive influence on the void content, the ITS and the ITSR. If the increase of the binder content is positive, the resistance against rutting will also be tested.

The 4 mixtures that are performing the best will be put to another series of asphalt performance tests in the third and final stage: determination of the resistance against raveling (CEN/TS 12697-50); determination of the stiffness (NBN EN 12697-26) and determination of the resistance against static indentation

## 4 Test methods

### 4.1 Bitumen tests

#### 4.1.1 Needle penetration

The determination of the needle penetration at 25 °C is determined according to NBN EN 1426. After the preparation and cooling of the samples, they were placed in a water bath at 25°C for 90 minutes.

#### 4.1.2 Fraass breaking point

The temperature which indicates a penetration of 1 dmm is determined using the Fraass breaking point. This test will be conducted using NBN EN 12593.

#### 4.1.3 Softening point

The softening point will be determined using the ring and ball method (NBN EN 1427). The softening point is the temperature which corresponds to a penetration of 800 dmm. If the expected softening point was below 80°C, water was used as reagent. If the expected softening point was above 80°C, glycerol was used as a reagent.

#### 4.1.4 Mastercurve en Black diagram

Rheological measurements will be carried out on specimens with a diameter of 8mm and 25 mm using the DSR. During the test there will be a frequency sweep (0.01Hz, 0.02Hz, 0.05Hz, 0.1Hz, 0.2Hz, 0.5Hz, 1Hz, 2Hz, 5Hz and 10Hz) and the test will be repeated over a series of temperatures (0°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C and 80°C). The software RHEA from Abatech will be used to shift the different isotherms.

#### 4.1.6 MSCRT

The MSCR test will be performed according NBN EN 16659. During the test a sample of 25mm will be loaded with 20 cycles. The load during the first 10 cycles is 100 Pa and the load during the last 10 cycles is 3200 Pa. Each cycle consist of a load period of 1s and a resting period of 9s.

## 4.2 Asphalt tests

### 4.2.1 voids content

To determine the void content, gyratory specimens will be compacted according to NBN EN 12697-31 with 60 gyrations. Both mixtures should have a void content ( $V_a$ ) between 3% and 8% according to chapter 14 of SB250 v3.1 [11].  $V_a$  will be calculated based on Eq.1.

$$V_a = \frac{\rho_m - \rho_{b,gyratory}}{\rho_m} * 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Where:

- $V_a$  is the air voids content of the bituminous specimen [%]
- $\rho_m$  is the maximum density of the mixture according to NBN EN 12697-5 Annex A [ $\text{kg/m}^3$ ]

- $\rho_{b,gyratory}$  is the bulk density of the specimen according to the gyratory [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

#### 4.2.2 ITS

The specimens will be compacted according to NBN EN 12697-31 with 25 gyration so that the ITS value can be determined. The ITS is determined using Eq.2:

$$ITS = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot H} \quad (\text{Eq.2})$$

Where:

- ITS is the indirect tensile strength of the specimen [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]
- P is the peakload [N]
- D is the average diameter of the specimen [mm]
- H is the average height of the specimen [mm]

#### 4.2.3 ITSR

The resistance against water sensitivity is determined according to NBN EN 12697-12. The ITSR is the ratio of the average ITS of a conditioned set and the average ITS of an unconditioned set. The conditioned set will be placed under water for 72h on 40°C. The unconditioned set is stored at ambient temperature. According to [11] the ITSR should be above 80%.

#### 4.2.4 Resistance against rutting

The resistance against rutting is determined using a wheel tracking device. The test will be carried out using NBN EN 12697-22 where a wheel will distribute a load of 5000N at 50°C and 1 Hz on a slab with dimensions 18cm x 50cm x 5cm. The slabs will be compacted according to table 3 out of NBN EN 12697-33. Each mixture will be tested twice at the same time. According to [11] the rut depth should be less than 10%. Because the mixtures will be used in environments with high traffic loads this will be reduced to 5%..

#### 4.2.5 Resistance against raveling

The resistance against raveling is determined using the Darmstadt Scuffing Device and Annex B of CEN/TS 12697-50. 4 slabs with dimensions 26cm x 26cm x 5cm are sawn out of larger slabs

which are compacted according to table 4 out of NBN EN 12697-33.

The testing procedure will vary from the standard due to a different loading scheme. The loading scheme consists out of 3 sets with each 10 loading cycles:

- 1 tire with a tire pressure of 0.3 MPa and a static force of 1,0 kN.
- 1 tire with a tire pressure of 0.3 MPa and a static force of 1,5 kN
- 1 tire with a tire pressure of 0.3 MPa and a static force of 2,0 kN

#### 4.2.5 Stiffness

The complex modulus  $E^*$  of the mixtures will be determined using trapezoidal specimens and 2 point bending, this is according to NBN EN 12697-26 annex A. A slab with dimensions 60cm x 40cm x 10cm will be compacted according to table 4 out of NBN EN 12697-33. The slab will be sawn in trapezoidal specimens in the week after production.

The specimens will be glued 14 days to 40 days after sawing. The testing of the specimens will start the day after gluing. The specimens will be tested with a strain of 40  $\mu\text{S}$  to insure that the test is nondestructive. According to [11], the complex modulus  $E^*$ , at 15°C and 10 Hz, should be between 7000 MPa and 14000 MPa for an APT-C mixture. There is no specification for an AB-4C mixture, therefore the same specification as the APT-C will be used.

#### 4.2.6 Resistance against static indentation

The resistance against static indentation is tested by loading a steel plate of 6cm x 6cm on a specimen of 18cm x 16,5cm. The test will have a duration of 2h and will be conducted at a temperature of 50°C. The static loading of the steel plate is 15 kN. This test is still under validation at the Belgian Road Research Center (BRRC).

Each mixture will be tested in combination with a dense base layer (APO-B). During compaction, according to table 3 of NBN EN 12697-33, the surface layer (4cm) and base layer (6cm) were compacted at the same time.

## 5 Results and discussion

### 5.1 Bitumen tests

#### 5.1.1 Consistency curves

The consistency curves (Fig. 2) were determined based on the Fraass breaking point, the needle penetration at 25°C and the softening point.

The curve of the reference binder has a  $R^2$  that's almost 1. Therefore we can conclude that the behavior of the reference binder can be predicted by the exponential model.

Modified binders are often used to improve the behavior of the bitumen at a given temperature. This will result in a nod in the consistency curve. Due to this nod, the  $R^2$  of the modified binder drops when the exponential model is used.

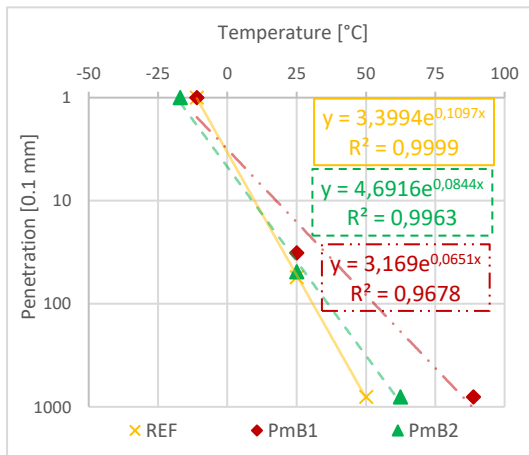


Fig. 2 Consistency curves

In this case, it is clear that the polymers will have a large effect at higher temperatures. This is indicated by the shifting of the softening points to the right.

The penetration at 50°C can give an indication for the resistance against rutting. According to Fig. 2 the mixtures with the reference binder will have the lowest resistance against rutting and the mixtures with PmB1 should have the highest resistance against rutting.

#### 5.1.2 Mastercurve and Black diagram

Fig. 3 shows that there is only a clear difference in complex modulus in the low frequencies. This means that the modified binders (PmB) will perform better in areas with slow driving traffic.

The modified binders (PmB) are also less sensitive for a frequency change. This can be concluded because the mastercurves of the modified binders (PmB) lie more horizontal than the mastercurve of the reference binder (REF). Therefore the modified binders (PmB) will behave more consistently over a variation of temperatures.

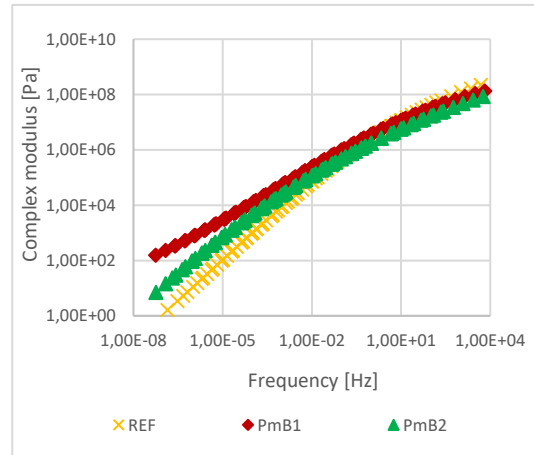


Fig. 3 Master curves

If a frequency, temperature or traffic independent conclusion needs to be made, the construction of a black diagram is advised. Fig. 4 shows the elastic behavior of a PmB: The curve of a PmB shifts to the left for a comparable complex modulus.

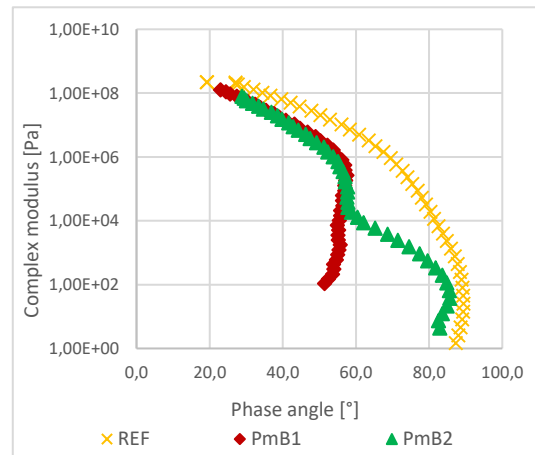


Fig. 3 Black diagram

### 5.1.3 MSCRT

Fig. 5 demonstrates that the strains of the modified binders are lower than the strains of the reference binder. The modified binders are also storing less strain. This is demonstrated by the non-recoverable compliance at a stress of 3200 Pa.

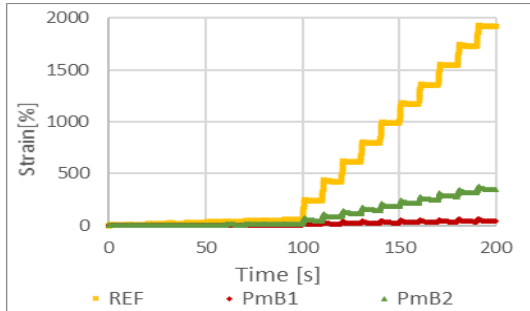


Fig. 4 MSCRT at 50°C

If a binder has a lower parameter  $J_{nr,3200 Pa}$ , then the bitumen will store less strain. It will therefore have a higher resistance against permanent deformation. REF has a  $J_{nr,3200 Pa} = 0.583$ ; PmB1 has a  $J_{nr,3200 Pa} = 0.012$  and PmB has a  $J_{nr,3200 Pa} = 0.105$ . PmB1 will have the highest resistance against rutting based on the non-recoverable compliance at a stress of 3200 Pa.

## 5.2 Asphalt tests

### 5.2.1 Voids percentage

According to Fig. 6, the mixtures with 5,8% PmB have a similar result. If the binder content is increased, the % voids increases for the APT-C mixture with 6,1% PmB. This is the opposite of what was expected. The APT-C mixture with 5,8% REF is not a dense mixture according to [11]. But if the standard deviation is taken into account, the % voids is just under the 8%. Therefore the mixture will be further tested.

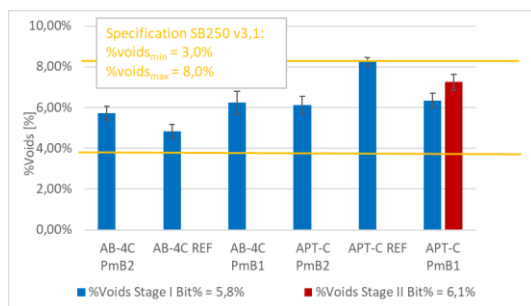


Fig. 5 %Voids after 60 gyrations according to the gyratory

### 5.2.2 ITS and ITSR

According to Fig. 7 the unconditioned sets of the APT-C mixtures have a lower ITS value than the unconditioned sets of the AB-4C mixtures. The opposite conclusion counts for the conditioned sets. 4 out of 6 mixtures are above or around the specification of an ITSR of 80%.

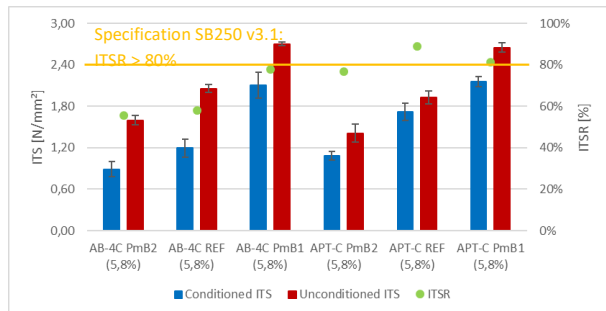


Fig. 7 ITS(R) binder content 5,8%

In Fig. 8 the binder content is increased with 0.3% and 0.6%. 6 out of 8 mixtures have an ITSR around or above the specification of 80%. Fig. 8 shows that the mixture with the lowest % voids has the highest ITS values.

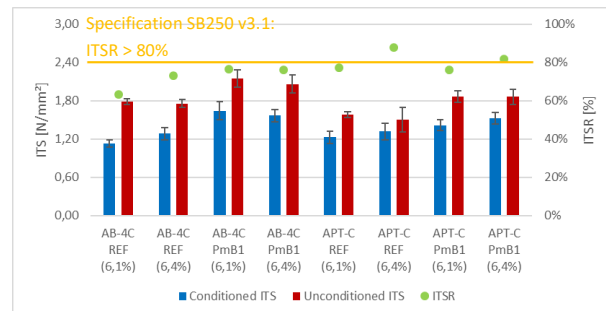


Fig. 8 ITS(R) binder content 6,1% and 6,4%

It can be concluded that a lower % voids will have a positive influence on the unconditioned ITS but a negative influence on the conditioned ITS. Due to this tendency the ITSR of the mixtures with a lower % voids will be lower. Furthermore it can be seen that a PmB can have a positive influence on the ITS(R), but that this is not necessarily the case.

Lastly an increase in binder content will have a positive influence on the ITSR but a negative influence on the ITS. Even though there is no specification in [11] for the ITS, the ITS is important for environments with high loadings. Therefore the ITS is a characteristic that also needs to be taken into account.

### 5.2.3 Resistance against Rutting

According to Fig. 9 all the mixtures meet the specification of a rut depth lower than 5% after 30.000 cycles. There is no clear relationship between the % voids of the mixtures and the resistance against rutting.

If the APT-C mixture with 6,1% PmB1 is compared with the APT-C mixture with 5,8% PmB1, it can be concluded that an increase of the binder content has a negative influence on the resistance against rutting. Further it can be said that the use of a PmB has a positive influence on the resistance against rutting.

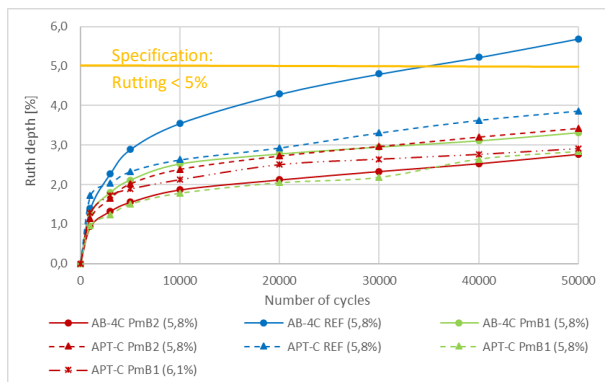


Fig. 9 Results wheel tracking

### 5.2.4 Stiffness

Fig. 10 shows that all mixtures meet the requirement of [11]. According to Fig. 10 and Fig. 5 a denser mixture will have a higher stiffness.

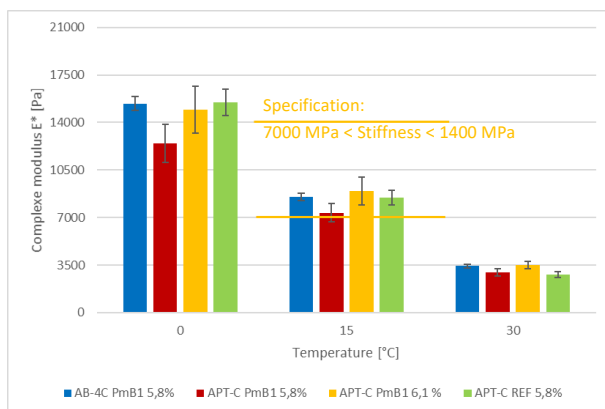


Fig. 10 Stiffness at 10 Hz at 0°C, 15°C and 30°C

Fig. 10 also shows that an increase of the binder content will have a positive influence on the stiffness. If the binder type is compared, it can be seen that in 2 out of 3 cases the mixture with a PmB has a lower stiffness.

### 5.2.5 Resistance against static indentation

According to Fig. 11 the mixture type has the largest influence on the resistance against static indentation. The denser mixture has a lower resistance against static indentation. An increase of the binder content leads to a lower resistance against static indentation.

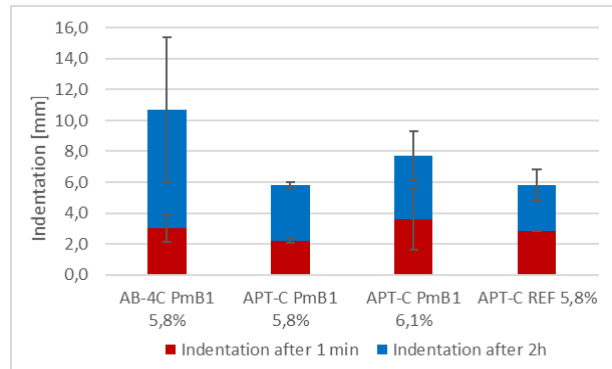


Fig. 11 Static indentation

It seems that the binder type doesn't have an influence on the resistance against static indentation. The initial indentation is lower in the mixture with the PmB but the total indentation is the same for both the binders.

### 5.2.6 Resistance against raveling

The binder type is, according to Fig. 12, the largest influence parameter. The use of a PmB clearly gives a better resistance against raveling. The increase of the binder content has almost no influence. Lastly it can be seen that the denser mixture experiences a bit more material loss.

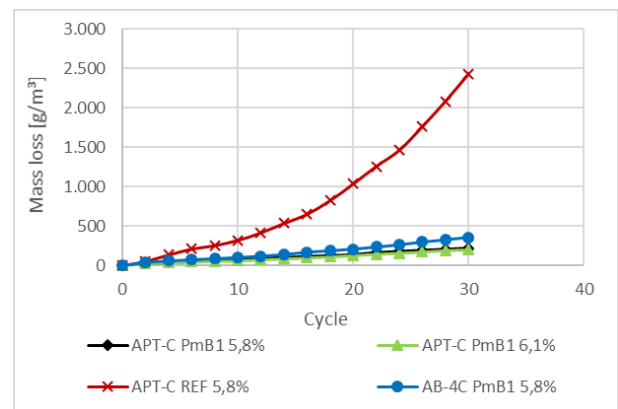


Fig. 12 Resistance against raveling



## 6 Conclusions

- A PmB is less sensitive for a frequency change. It will perform better than a normal binder in environments with slow driving traffic.
- A PmB has a positive influence on the softening point. It will therefore perform better at higher temperatures than a normal binder.
- The non-recoverable compliance with a stress of 3200 Pa is a good parameter to predict the rutting behavior.
- A denser mixture will have a positive influence on the unconditioned ITS. But it will have a negative influence on the conditioned ITS. Therefore a denser mixture will have a negative influence on the ITS. The use of a PmB can lead to an increase in ITS and ITSr, but this is not necessarily the case.
- The use of a PmB has a positive influence on the resistance against rutting.
- A denser mixture will have a higher stiffness. An increase of the binder content leads to an increase of the stiffness. The use of a PmB leads to a lower stiffness.
- A denser mixture has a lower resistance against static indentation. An increase in binder content leads to a decrease of the resistance against static indentation.
- The use of a PmB leads to increase in resistance against raveling. The most dense mixture will have a lower resistance against raveling. An increase of the binder content doesn't seem to have an influence on the resistance against raveling.

## References

- [1] M. Wasilewska, W. Gardziejczyk, and P. Gierasimiuk, "Evaluation of skid resistance using CTM, DFT and SRT-3 devices," *Transp. Res. Procedia*, vol. 14, pp. 3050–3059, 2016.
- [2] S. Hou, X. Shi, Y. Deng, and F. Gu, "Evaluation of rutting and friction resistance of hot mix asphalt concrete using an innovative vertically loaded wheel tester," *Constr. Build. Mater.*, vol. 176, pp. 710–719, 2018.
- [3] A. Vaitkus, V. Vorobjovas, R. Kleiziene, O. Šernas, and J. Graz, "Modified asphalt mixtures for heavy duty pavement wearing layers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 131, pp. 503–511, 2017.
- [4] S. Meena and K. P. Biligiri, "Binder rheological predictive models to evaluate rutting performance of asphalt mixtures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 111, pp. 556–564, 2016.
- [5] V. Radhakrishnan, M. R. Sri, and K. S. Reddy, "Evaluation of asphalt binder rutting parameters," *Constr. Build. Mater.*, vol. 173, pp. 298–307, 2018.
- [6] P. Špaček, Z. Hegr, and J. Beneš, "Practical experiences with new types of highly modified asphalt binders," *Mater. Sci. Eng.*, vol. 236, 2017.
- [7] S. S. Awanti, M. S. Amarnath, and A. Veeraragavan, "Laboratory Evaluation of SBS Modified Bituminous Paving Mix," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 20, no. 4, pp. 327–330, 2008.
- [8] D. Visscher and A. Vanelstraete, "Ravelling by traffic : Performance testing and field validation," *Interna*, vol. 10, pp. 54–61, 2017.
- [9] D. Yinfei, C. Jiaqi, H. Zheng, and L. Weizheng, "A review on solutions for improving rutting resistance of asphalt pavement and test methods," *Constr. Build. Mater.*, vol. 168, pp. 893–905, 2018.
- [10] J. Zhang, L. F. Walubita, A. N. M. Faruk, P. Karki, and G. S. Simate, "Use of the MSCR test to characterize the asphalt binder properties relative to HMA rutting performance – A laboratory study," *Constr. Build. Mater.*, vol. 94, pp. 218–227, 2015.
- [11] Agentschap Wegen en Verkeer Vlaanderen, "Hoofdstuk 14 - Metingen en proeven," in *Standaardbestek 250 versie 3.1*, no. december, 2016.



# Inhoudstafel

<b>1. Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2. Literatuurstudie</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Bespreking literatuurstudie</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Besluit literatuurstudie</b>	<b>17</b>
<b>3. Te beschouwen belastingen</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Bouwklasse volgens het AWW</b>	<b>18</b>
<b>3.2. Belasting van havenvoertuigen</b>	<b>19</b>
<b>3.3. Analyse van de bouwklasse en de SPEC-waarde</b>	<b>21</b>
<b>4. Aanbevolen proevenprogramma</b>	<b>22</b>
<b>5. Proevenprogramma</b>	<b>25</b>
<b>6. Ontwerp van 2 dichte mengsels</b>	<b>27</b>
<b>6.1. APT-C mengsel</b>	<b>28</b>
<b>6.2. AB-4C mengsel</b>	<b>29</b>
<b>7. Eisen SB250 v3.1</b>	<b>30</b>
<b>7.1. Korrelverdeling van het mengsel</b>	<b>30</b>
<b>7.2. Gebruik van bindmiddel</b>	<b>31</b>
<b>7.3. Percentage holle ruimte %HR</b>	<b>31</b>
<b>7.4. Weerstand tegen watergevoeligheid ITSR</b>	<b>31</b>
<b>7.5. Spoorvormingsweerstand</b>	<b>31</b>
<b>7.6. stijfheid van het mengsel</b>	<b>31</b>
<b>8. Beproevingsmethoden</b>	<b>32</b>
<b>8.1. Bitumenproeven</b>	<b>32</b>
8.1.1. Breekpunt Fraass - NBN EN 12593	32
8.1.2. Penetratiewaarde - NBN EN 1426	32
8.1.3. Verwekingspunt - NBN EN 1427	32
8.1.4. LAS-test – AASHTO TP 101-14	32
8.1.5. MSCR-test – NBN EN 16659	33
8.1.6. Opstellen van een mastercurve en blackdiagram	33
<b>8.2. Controleproeven</b>	<b>34</b>
8.2.1. Dichtheden granulaten & vulstof – NBN EN 1097-6 & NBN EN 1097-7	34
8.2.2. Zeefcurves mengsel van granulaten – NBN EN 933-1	34
<b>8.3. Asfaltproeven</b>	<b>35</b>
8.3.1. Bepaling van de maximale volumieke massa MVM – NBN EN 12697-5	35
8.3.2. Bepaling van de schijnbare volumieke massa SVM – NBN EN 12697-6	35
8.3.3. Bepaling van het %HR – NBN EN 12697-8	35
8.3.4. Bepaling van de indirecte treksterkte ITS en weerstand tegen watergevoeligheid ITSR NBN EN 12697-23 & NBN EN 12697-12	36
8.3.5. Bepaling van de weerstand tegen spoorvorming – NBN EN 12697-22	36
8.3.6. Bepaling van de stijfheid – NBN EN 12697-26	36

8.3.7. Bepaling van de weerstand tegen indeuking	36
8.3.8. Bepaling van de weerstand tegen rafeling – CEN/TS 12697-50	37
<b>9. Resultaten</b>	<b>38</b>
<b>9.1. Bitumenproeven</b>	<b>38</b>
9.1.1. Breekpunt Fraass – NBN EN 12593	38
9.1.2. Penetratieproef – NBN EN 1426	38
9.1.3. Verwekingspunt – NBN EN 1427	39
9.1.4. Consistentiecurve: Heukeloms monogram	39
9.1.5. DSR-metingen	40
9.1.6. Besluit uit de bitumenproeven	44
<b>9.2. Controleproeven</b>	<b>45</b>
9.2.1. Dichtheden granulaten & vulstof – NBN EN 1097-6 en NBN EN 1097-7	45
9.2.2. Korrelverdeling mengsel van granulaten – NBN EN 933-1	45
<b>9.3. Asfaltproeven</b>	<b>46</b>
9.3.1. Bepaling van de maximale volumieke massa MVM – NBN EN 12697-5	46
9.3.2. Bepaling van de schijnbare volumieke massa SVM – NBN EN 12697-6	46
9.3.3. Bepaling van het %HR – NBN EN 12697-8	47
9.3.4. Bepaling van de ITS en ITSr – NBN EN 12697-23 en NBN EN 12697-12	48
9.3.5. Bepaling van de weerstand tegen spoorvorming – NBN EN 12697-22	49
9.3.6. Bepaling van de stijfheid – NBN EN 12697-26	50
9.3.7. Bepaling van de weerstand tegen indeuking	51
9.3.8. Bepaling van de weerstand tegen rafeling – CEN/TS 12697-50	52
9.3.9. Besluit uit de asfaltproeven	53
<b>10. Besluit</b>	<b>54</b>
<b>11. Referenties</b>	<b>55</b>
<b>12. Bijlagen</b>	<b>57</b>
<b>12.1. Lijst Figuren</b>	<b>57</b>
<b>12.2. Lijst Tabellen</b>	<b>58</b>
<b>12.3. Lijst Vergelijkingen</b>	<b>58</b>
<b>12.4. Technische fiches granulaten</b>	<b>59</b>
<b>12.5. Technische fiche vulstof Duras 2a</b>	<b>64</b>
<b>12.6. Technische fiches bitumina</b>	<b>65</b>
<b>12.7. Individuele resultaten breekpunt Fraass</b>	<b>67</b>
<b>12.8. Individuele resultaten penetratieproef</b>	<b>68</b>
<b>12.9. Individuele resultaten verwekingspunt</b>	<b>69</b>
<b>12.10. Niet geshifte mastercurves</b>	<b>70</b>
<b>12.11. Resultaten dichtheden granulaten en vulstof</b>	<b>71</b>
<b>12.12. Theoretische korrelverdeling zonder vulstof</b>	<b>72</b>
<b>12.13. Gemeten korrelverdeling zonder vulstof</b>	<b>73</b>
<b>12.14. Resultaten MVM</b>	<b>74</b>
<b>12.15. Resultaten SVM<sub>hydro</sub> &amp; %HR<sub>hydro</sub></b>	<b>79</b>

<b>12.16. Resultaten SVM<sub>gyr</sub> &amp; %HR<sub>gyr</sub></b>	<b>84</b>
<b>12.17. Resultaten ITS &amp; ITSR</b>	<b>88</b>
<b>12.18. Resultaten wielspoorproef</b>	<b>95</b>
<b>12.19. Resultaten stijfheidsmetingen</b>	<b>97</b>
<b>12.20. Resultaten statische drukproef</b>	<b>101</b>
<b>12.21. Resultaten rafelingsproef</b>	<b>103</b>

# Verklaring van afkortingen en symbolen

ZOA		Zeer open asfalt
SMA		Steenmestiekasfalt
PmB		Polymeer gemodificeerde bitumina
APT-C		Asfalt met prestatievoorschriften voor toplagen met gradering 0/10
AB-4C		Asfaltbeton type 4 met gradering 0/10
MVM	[kg/m <sup>3</sup> ]	Maximale volumieke massa
SVM	[kg/m <sup>3</sup> ]	Schijnbare volumieke massa
%HR	[%]	Percentage holle ruimten
ITS	[N/mm <sup>2</sup> ]	Indirecte treksterkte
ITSR	[%]	Weerstand tegen watergevoeligheid
DSR		Dynamic shear rheometer
HMA		Hot mix asphalt
WMA		Warm mix asphalt
CMA		Cold mix asphalt
HEAL		Heat exchanging asphalt layers
G*	[Pa]	Complexe modulus
δ	[°]	Fasehoek
CRMB		Crumb-rubber modified bitumen
F	[N]	Kracht
f	[Hz]	Frequentie
AMPT		Asphalt mixture performance tester
FN		Flow number test
WSP		Wielspoorproef
J <sub>nr</sub>	[1/kPa]	Blijvende vervorming/opgelegde spanning
J <sub>nr,3200</sub>	[1/kPa]	Blijvende vervorming/3,2 kPa
MSCR		Multiple stress creep recovery
LAS		Lineair amplitude sweep
SRT		Skid resistance tester
CTM		Circular track meter
DFT		Dynamic friction tester
DSD		Darmstadt scuffing device
AC		Asphalt concrete (= dicht asfaltmengsel)
AWV		Agentschap wegen & verkeer
D <sub>max</sub>	[mm]	Maximale korrelmaat
m <sub>i</sub>	[g]	Massa van het beschouwde element i
V <sub>i</sub>	[ml]	Volume van het beschouwde element i
ρ <sub>i</sub>	[Mg/m <sup>3</sup> ]	Densiteit van het beschouwde element i
OCW		Opzoekingscentrum voor de wegenbouw
τ	[N/mm <sup>2</sup> ]	schuifspanning
γ	[ ]	Vervorming
T	[°C]	Temperatuur
N <sub>f</sub>	[ ]	Vermoeiingsparameter
γ <sub>max</sub>	[%]	Maximale rek

# 1. Inleiding

Rafeling en spoorvorming zijn 2 voorbeelden van veel voorkomende schadegevallen in havengebieden. Deze worden veroorzaakt door het zware verkeer en zijn duidelijk zichtbaar. Een derde voorbeeld is indeukingsschade, deze schade ontstaat doordat voertuigen hun stempels gebruiken of wanneer er containers op het wegdek geplaatst worden. Naar aanleiding van deze schade is er een samenwerking tussen Port of Antwerp en de Universiteit Antwerpen. Het is de bedoeling om te onderzoeken of een nieuw mengsel beter bestand is tegen de hoge lasten.

Om het onderwerp af te bakenen, zijn er enkele beslissingen op voorhand genomen. Deze masterthesis zal handelen over toplagen. Indien men bitumineuze toplagen in hoofdstuk 6 van het standaardbestek SB250 v3.1 opzoekt, worden zeer open asfaltmengsels (ZOA) en steenmastiek asfaltmengsels (SMA) voorgeschreven voor asfaltwegen met een hoge verkeersbelastingen (wegen met een bouwklasse B1-B2). Voor dit onderzoek is men er echter van uitgegaan dat dichte toplagen een betere weerstand hebben tegen rafeling. Tevens is uit reeds uitgevoerde onderzoeken gebleken dat het gebruik van polymeer gemodificeerd bitumen (PmB) een positieve invloed kan hebben op zaken zoals spoorvorming en weerstand tegen watergevoeligheid.

Door bovenstaande zaken met elkaar te combineren, bekomt men volgende onderzoeksvraag: Wat is de invloed van polymeer gemodificeerd bitumen in dichte toplagen voor zwaarbelaste asfaltverhardingen? Om de hoofdvraag efficiënt te kunnen oplossen, wordt de onderzoeksvraag onderverdeeld in 3 deelvragen:

- Kan men dichte toplagen ontwerpen die voldoen aan de eisen voor wegen in de bouwklasse B1-B2?
- Wat is de invloed van PmB ?
- Hoe houdt men rekening met de hoge belasting ?

Door middel van asfaltproeven zal men nagaan of de ontworpen dichte asfaltmengsels voldoen aan de eisen uit het standaardbestek SB250 v3.1. Men heeft een asfaltbeton type 4 met gradering 0/10 (AB-4C) en een asfalt met prestatievoorschriften voor toplagen met gradering 0/10 (APT-C) ontworpen met behulp van Pradwin. Om na te gaan wat de invloed van PmB is, worden er 2 PmB (PmB1 en PmB2) vergeleken met een standaard wegenbitumen (REF). De hoge belasting zal men in rekening brengen door de eisen voor een bouwklasse B1-B2 uit het standaardbestek SB250 v3.1 op te leggen.

Er zal een literatuurstudie gebeuren om enkele verwachtingen te formuleren. Nadien kan men via asfaltproeven deze verwachtingen toetsen. Het beproeven van de mengsels verloopt in meerdere fases. In een eerste fase zal men elk mengseltype (AB-4C en APT-C) combineren met elk bitumentype (REF, PmB1 en PmB2) waardoor men 6 verschillende mengsels bekomt. De mengselkarakteristieken die bepaald worden in deze fase zijn: de maximale volumieke massa (MVM), de schijnbare volumieke massa (SVM), het percentage holle ruimten (%HR), de indirecte treksterkte (ITS), de weerstand tegen watergevoeligheid (ITSR) en de spoorvorming. Tijdens deze fase zal men tevens volgende bitumenproeven uitvoeren: de penetratieproef, het bepalen van het breekpunt Fraass, het bepalen van het verwekingspunt en DSR-metingen. Na deze fase zal men verdergaan met asfaltproeven. Vanwege een gebrek aan tijd zal men de keuze maken om op basis van deze resultaten één PmB te elimineren voor het verdere verloop van het onderzoek.

Na schrapping van één PmB gaat men van de 4 resterende mengsels (APT-C REF, APT-C PmB, AB-4C REF en APT-C PmB) het bitumenpercentage verhogen met 0,3% en 0,6%. Het is de bedoeling om in deze tweede fase na te gaan of een verhoging van het bitumenpercentage een positieve invloed kan hebben op de ITS(R) en het %HR.

Na de tweede fase zal men 4 uiteindelijke mengsels kiezen, op basis van het %HR en de ITSR, die men verder beproeft in de derde fase. Indien er van een gekozen mengsel nog geen wielspoorproef is uitgevoerd, zal men deze uitvoeren tijdens de laatste en derde fase. Tijdens deze fase worden tevens stijfheidsmetingen, indeukingsproeven en rafelingsproeven uitgevoerd. Op het einde van deze fase zal men een besluit kunnen trekken.

## 2. Literatuurstudie

### 2.1. Bespreking literatuurstudie

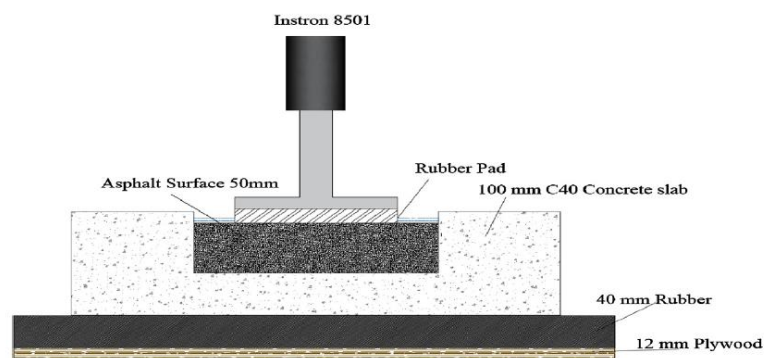
Dit hoofdstuk geeft een overzicht weer van de gelezen papers die een onderdeel van deze thesis behandelen. Het is de bedoeling om beslissing gevende verwachtingen te kunnen formuleren die na het onderzoek getoetst kunnen worden met de verkregen resultaten van het onderzoek.

[1] onderzoekt de invloed van het mengseltype op de ITS-waarde en vergelijkt een dicht mengsel (DG-Dense Graded) met een open mengsel (GAP – Gap Graded). De dichte mengsels werden geproduceerd met niet-gemodificeerde bitumina en de open mengsels werden geproduceerd met gemodificeerde bitumina. Ondanks het gebruik van niet-gemodificeerde bitumina, blijken de dichte mengsels (mengsel 1 tot en met 6) de hoogste pieklasten te hebben bij de ITS-testen, zie Tabel 2-1. Deze hogere weerstand is afkomstig van een betere korrelverdeling en een lager %HR waardoor de krachten beter verdeeld worden.

Tabel 2-1 Pieklasten ITS-test [1]

Mix Type	Peak load, N					
	15 °C		25 °C		35 °C	
	Mean	CV (%)	Mean	CV (%)	Mean	CV (%)
V10JNDG	13461.50	17.5	14293.00	14.8	4233.50	9.8
V30JNDG	25899.50	18.3	18979.00	16.4	9450.00	12.7
V30STPDG	18322.00	15.4	19411.00	13.9	8704.50	12.1
V40JNDG	19832.00	14.4	16172.00	12.5	7648.50	10.9
V40STPDG	22158.50	16.2	13098.00	15.8	6065.50	11.2
V40SHDG	23380.00	16.8	11733.00	13.3	7266.50	9.5
P40JNGAP	9380.50	18.2	3715.00	12.6	1722.00	13.4
P70JNGAP	6374.00	17.3	3893.50	11.5	3661.50	14.1
C55JNGAP	7968.50	15.2	4532.50	15.7	1738.50	11.5
C60JNGAP	8120.00	19.8	3808.00	13.4	3148.00	12.6
C60SHGAP	9078.00	16.4	4265.50	12.6	2268.00	10.0

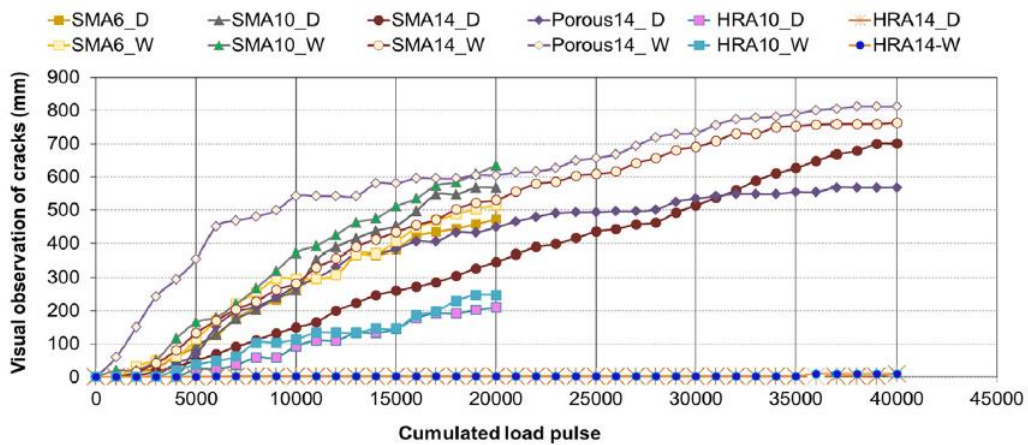
[2] onderzoekt de invloed van water en een dynamische belasting op de oppervlakteschade van asfaltmengsels. Er werden drie verschillende mengseltypes getest: een dicht mengsel (HRA) met een %HR van 4-6%, een poreus mengsel met een %HR > 16% en een SMA mengsel met een %HR van 8-13%. De proefstukken werden dynamisch belast met een stalen plaat van 100 mm<sup>2</sup> waartegen een rubberen bandenprofiel bevestigd is, zie Figuur 2-1. De belasting is een sinusvormige drukkracht  $F$  van 5 kN met een frequentie  $f$  van 5 Hz. De proefstukken werden 20 000 tot 40 000 cycli belast.



Figuur 2-1 Testopstelling dynamische belasting [2]

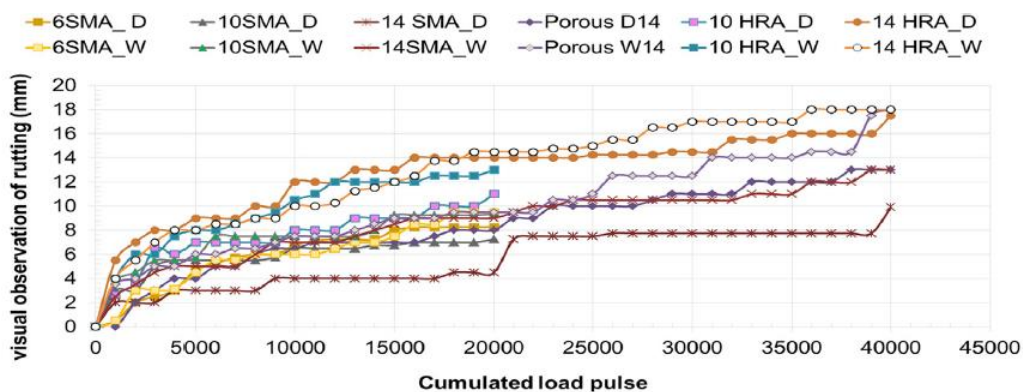
Om de invloed van het water te testen, werden de proefstukken zowel droog als nat getest. Wanneer deze nat getest werden, werden de proefstukken geconditioneerd door deze een nacht op voorhand onder water te dompelen bij kamertemperatuur. Vervolgens werd tijdens de test een constant waterniveau aangehouden van 1-2 mm boven het proefstuk.

Na elke 1000 cycli werd de verticale vervorming van de plaat en de lengte van eventuele scheuren opgemeten. Uit de resultaten blijkt dat de aanwezigheid van water ervoor zal zorgen dat er sneller oppervlaktescheuren ontstaan, zie Figuur 2-2. Tevens blijkt uit de resultaten dat de dichte mengsels een hogere weerstand hebben tegen oppervlaktescheuren.



Figuur 2-2 Gemiddelde cumulatieve scheurvorming in natte en droge omstandigheden [2]

Voor de verticale vervorming geldt de tegenovergestelde bevinding: De dichte mengsels ondergaan een veel grotere vervorming dan de SMA mengsels en het poreus mengsel, zie Figuur 2-3. De mechanische sterkte van het dichte mengsel is vooral afkomstig van zijn mastiek, terwijl bij open mengsels dit afkomstig is van hun steenskelet. Een steenskelet kan hogere krachten overdragen dan een zandskelet waardoor de vervorming in het zandskelet sneller zal optreden. In droge omstandigheden heeft een grotere korrelgrootte een positieve invloed op de weerstand tegen vervorming.



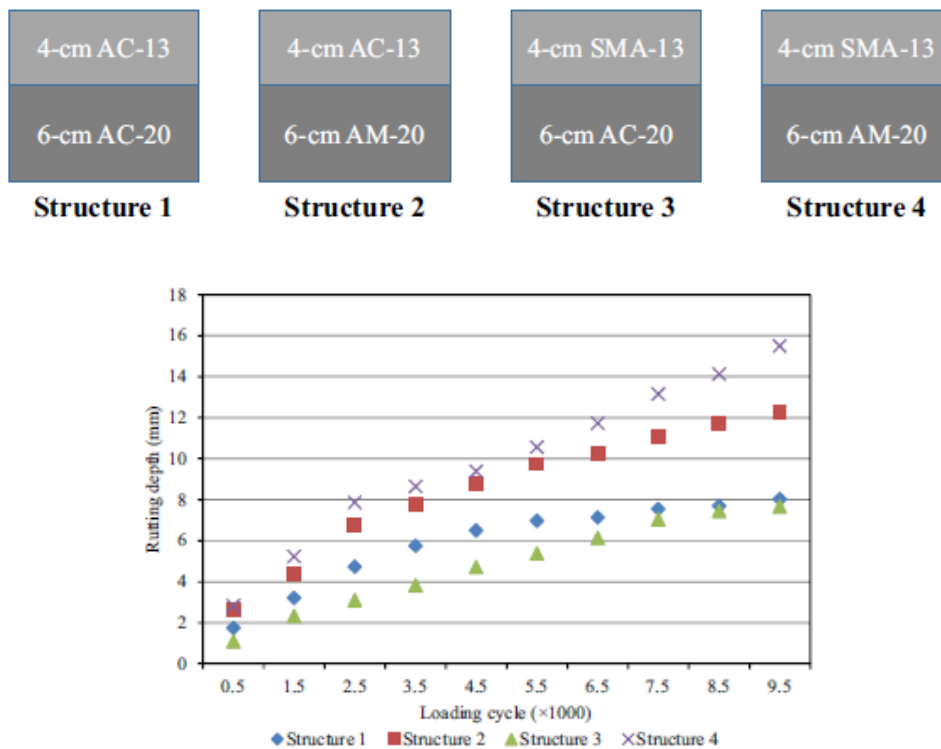
Figuur 2-3 Cumulatieve verticale vervorming in natte en droge omstandigheden [2]

[3] gebruikt een alternatieve methode voor de spoorvorming te testen op 4 verschillende asfaltmengsels. Er wordt gebruik gemaakt van een verticale wiellast test waarbij een wiel binnenin een boog op asfaltproefstukken gedrukt wordt terwijl deze boog ronddraait, zie Figuur 2-4. Het bitumentype dat gebruikt wordt, is een PmB dat gemodificeerd werd met SBS. Verder worden er 4 verschillende mengseltypes getest: AC-13, AC-20, SMA-13 en AM-20 (open mengsel). Het bitumenpercentage van de mengsels hangt af van het optimale bindmiddelgehalte.



Figuur 2-4 Testopstelling VLWT [3]

De mengsels worden niet afzonderlijk getest, maar worden als structuren met 2 verschillende lagen getest, zie Figuur 2-5. Wanneer men structuur 3 vergelijkt met structuur 4 dan besluit men dat het gebruik van een dicht mengsel als onderlaag leidt tot een hogere weerstand tegen spoorvorming. Indien men structuur 1 en structuur 2 vergelijkt dan besluit men dat het gebruik van 2 dichte mengsels leidt tot een verlaagde weerstand tegen spoorvorming.



Figuur 2-5 Resultaten spoorvorming met bijhorende structuren[3]

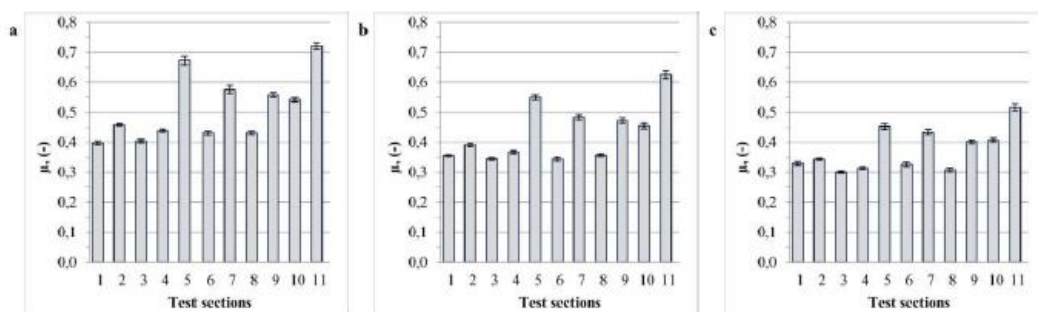


[4] onderzoekt de stroefheid van 11 verschillende mengsels die gebruikt worden in proefvakken, zie Tabel 2-2. De toestellen die gebruikt worden tijdens de metingen zijn de circular track meter (CTM), de dynamic friction tester (DFT) en de skid resistance tester (SRT-3). De CTM maakt gebruik van een lasertechniek om de macrotextuur van de weg op te meten. Via de DFT kan men de wrijvingscoëfficiënt van het geteste vlak bepalen. Door het wiel van de SRT-3 te blokkeren, kan men de weerstand biedende wrijvingskracht opmeten.

Tabel 2-2 Beschrijving proefvakken [4]

Test section No.	Type of wearing course	Maximum aggregates size (mm)	PSV (-)	Date laid	Road No.
1	SMA	12.8	48	2002	DK 65
2	SMA	11	52	2010	DK19
3	SMA	11	53	2010	DK8
4	SMA	11	53	2012	S8
5	AC	11	52	2012	Rural road
6	AC	16	45	2004	DK61
7	Slurry Seal	11	48	2010	DK61
8	AC	16	45	2003	DK79
9	AC	11	53	2010	DK79
10	PCC	8	53	2014	S8
11	AC	11	56	2012	Rural road

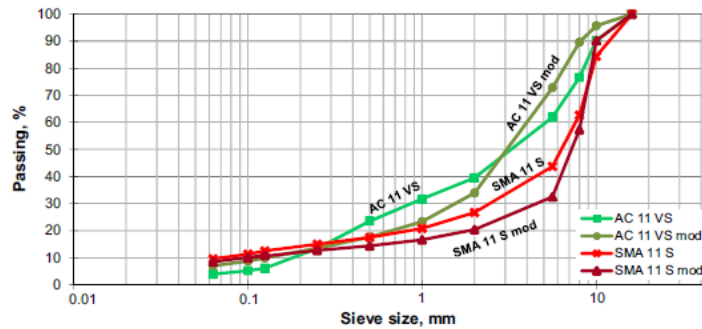
De resultaten van de wrijvingscoëfficiënten worden weergegeven in Figuur 2-6. Uit de resultaten blijkt duidelijk dat de SMA-mengsels (1,2,3 en 4) telkens de laagste wrijvingsweerstand hebben en dat de 2 mengsels met de hoogste wrijvingsweerstand dichte mengsels (5 en 11) zijn. Men besluit dat de wrijvingsweerstand toeneemt bij dichte mengsels vanwege hun microtextuur.



Figuur 2-6 Gemiddelde wrijvingscoëfficiënt bij 30 km/h (a), 60 km/h (b) en 90 km/h (c) [4]

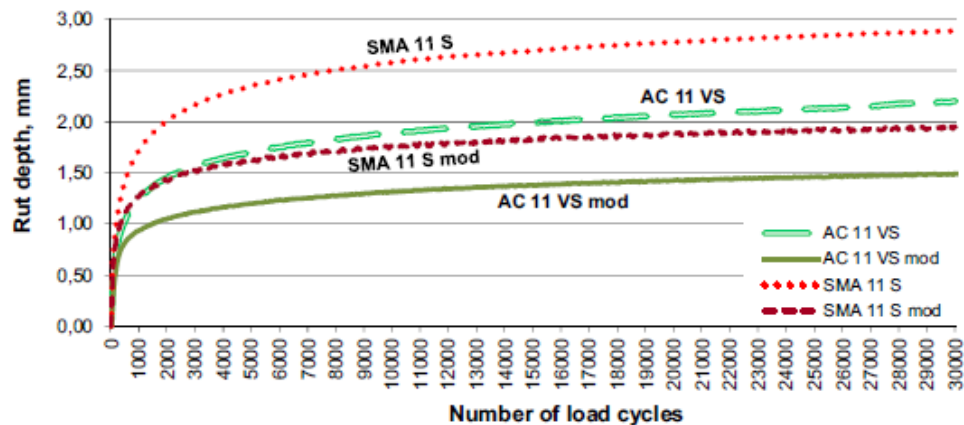
De stroefheid is een karakteristiek die in deze thesis niet aan bod komt. De karakteristiek kan echter wel gebruikt worden om een te verwachten trend op te stellen voor de rafeling. Voor wrijving is voornamelijk de microtextuur belangrijk. Dit werd aangetoond door bovenstaande bevindingen. Wanneer het echter nat is, dient de macrotextuur ervoor te zorgen dat het water afgevoerd kan worden om hydroplaning te voorkomen. Macrotextuur zal er ook voor zorgen dat het materiaal sneller af het oppervlak komt. Hierdoor kan men verwachten dat de dichte mengsels een goede weerstand tegen rafeling zullen hebben.

[5] is gestart met een mengselontwerp van een SMA-mengsel en AC-mengsel. Vervolgens heeft men deze gemodificeerd door de korrelverdeling aan te passen, zie Figuur 2-7. Er werden wielspoorproeven uitgevoerd bij 60°C met een wiellast van 1,52 kN op rechthoekige proefstukken met een hoogte van 4 cm.



Figuur 2-7 Korrelverdeling geteste mengsels [5]

Uit Figuur 2-8 kan men besluiten dat het gemodificeerde dichte mengsel de beste weerstand heeft tegen permanente vervorming en dat het SMA-mengsel de slechtste weerstand heeft tegen permanente vervorming. Tevens valt op dat het dichte mengsel ten opzichte van het overeenkomstige SMA-mengsel (oorspronkelijk versus oorspronkelijk & gemodificeerd versus gemodificeerd) steeds beter scoort. Door het oorspronkelijke SMA-mengsel te modifieren, kan men wel betere resultaten bekomen dan het oorspronkelijke dichte mengsel.



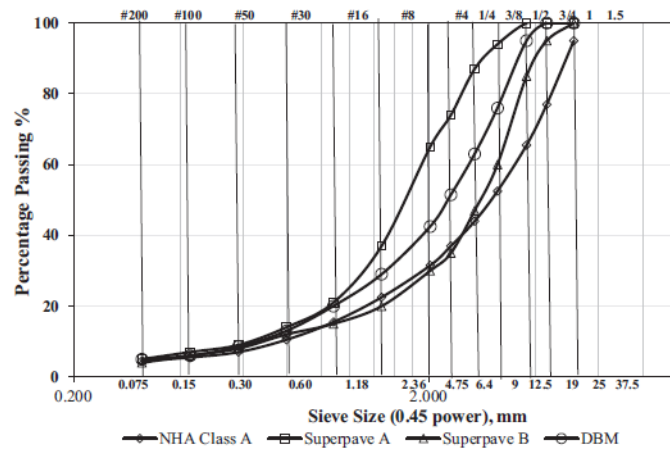
Figuur 2-8 Resultaten spoorvorming [5]

Tabel 2-3 geeft de resultaten weer van de weerstand tegen de watergevoeligheid. Het oorspronkelijke dichte mengsel blijkt de hoogste ITSr te hebben. Door dit mengsel te modifieren, daalt zijn ITSr. Het oorspronkelijke SMA-mengsel heeft de laagste ITSr. Men heeft de weerstand doen stijgen door het mengsel te modifieren.

Tabel 2-3 Resultaten ITSr [5]

Characteristic	Asphalt mixture							
	AC 11 VS		AC 11 VS mod		SMA 11 S		SMA 11 S mod	
	Avg	Std	Avg	Std	Avg	Std	Avg	Std
Indirect tensile strength ratio, %	94.2	0.6	90.1	0.4	84.8	1.0	91.8	0.3
Stiffness modulus at 20 °C, MPa	5407	464	6255	382	4185	246	5208	320

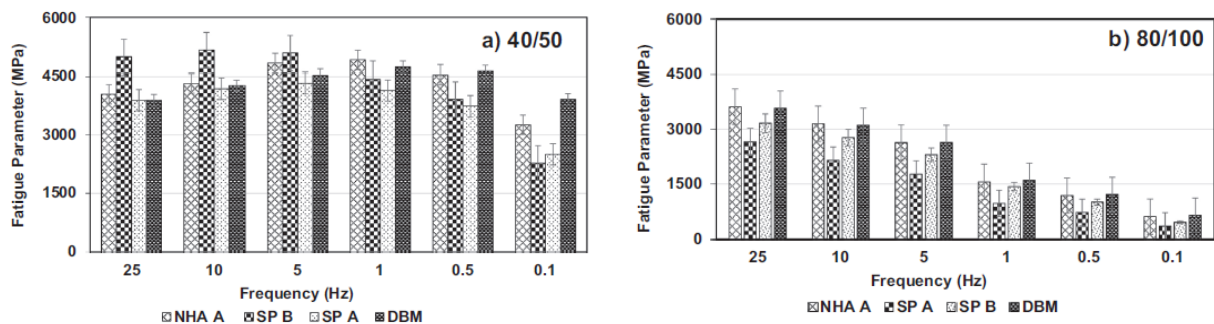
[6] onderzoekt de invloed van de stijfheid van het bitumen op de asfaltprestaties van 4 dichte asfaltmengsels. De 2 penetratiebitumen die men gebruikt zijn een PEN 40/50 en een PEN 80/100. De dichte mengsels die getest worden zijn 2 toplagen (NHA A & SP A) en 2 onderlagen (DBM & SP B). De 4 mengsels hebben elk een verschillende korrelverdeling, zie Figuur 2-9. Door te variëren in het bindmiddelgehalte heeft men ervoor gezorgd dat elk mengsel een %HR van 4,0% heeft.



Figuur 2-9 Korrelverdelingscurves [6]

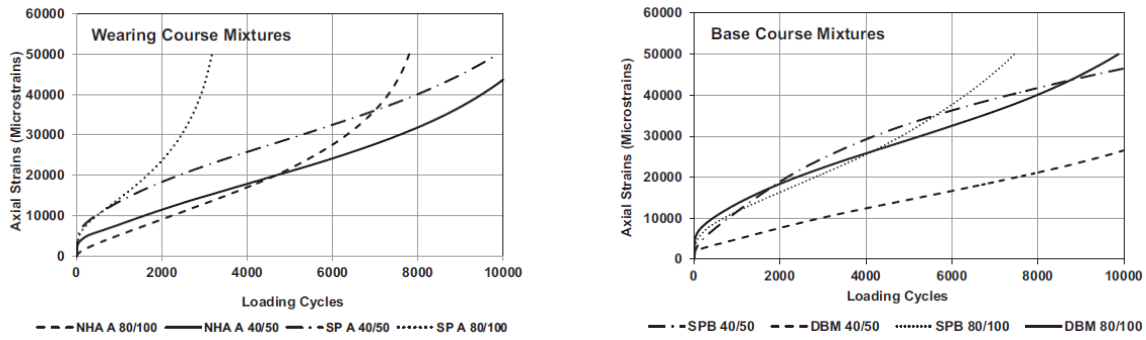
De stijfheidstesten werden uitgevoerd via AMPT-testen waarbij een sinusvormige belasting opgelegd werd tijdens een frequentiesweep van 25 – 0,1 Hz bij temperaturen tussen 4,4 – 54,4 °C. Uit de resultaten blijkt dat de toplagen met 40/50 een gemiddelde stijfheid hebben die 2,8 keer hoger ligt dan de toplagen met 80/100. Voor de onderlagen hebben de mengsels met het bitumen 80/100 een stijfheid die 2,8 keer hoger ligt dan de mengsels met 40/50. Men besluit dat de stijfheid van de mengsels met een grotere maximale korrel en een lager bitumenpercentage minder beïnvloed wordt door de stijfheid van het bitumen.

De vermoeiing van de mengsels werd geanalyseerd aan de hand van de vermoeiingsparameter, hierbij vermenigvuldigt men de complexe modulus  $G^*$  met de sinus van de fasehoek  $\delta$ . Hoe groter deze parameter, hoe lager de weerstand tegen vermoeiing. Uit Figuur 2-10 blijken de mengsels met het stijve bitumen een slechtere weerstand tegen vermoeiing te hebben. Verder blijkt dat de mengsels met een fijnere korrelverdeling SP A en SP B een betere weerstand tegen vermoeiing hebben.



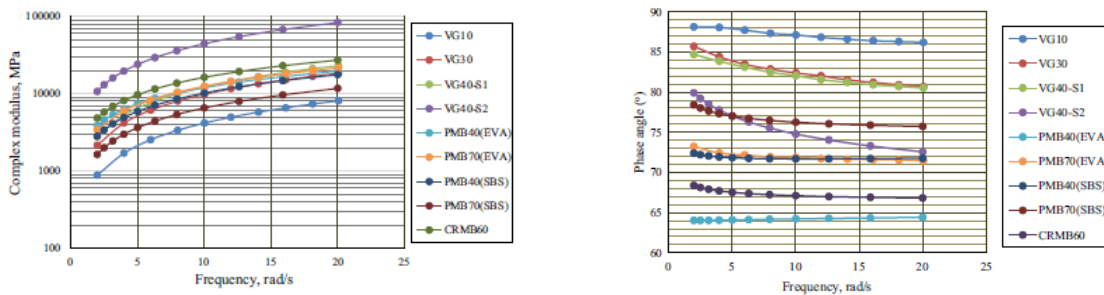
Figuur 2-10 Vermoeiingsparameter in functie van de frequentie [6]

Om de weerstand tegen spoorvorming te beproeven, zijn er flow number testen (FN) uitgevoerd. Hierbij gaat men een proefstuk afwisselend belasten en ontlasten en worden de axiale vervormingen en rekken opgemeten. De test eindigt wanneer de totale opgeslagen rek 5% bedraagt of na 10 000 cycli. Uit Figuur 2-11 blijkt dat de zachte bitumen geen 10 000 cycli belast kunnen worden doordat er sneller en meer vervorming optreedt. Verder valt op dat het einde van de grafieken voor de onderlagen meer naar rechts ligt dan voor de toplagen. Dit toont aan dat de onderlagen minder permanente rek ervaren dan de toplagen en dus een betere weerstand tegen spoorvorming hebben.



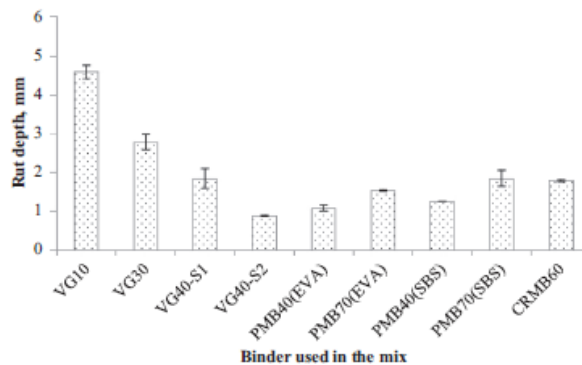
Figuur 2-11 Gecumuleerde rek versus aantal cycli [6]

[7] test de invloed van 9 verschillende bindmiddelen in een dicht mengselontwerp. De bindmiddelen die getest worden zijn: 4 niet-gemodificeerde bitumina (VG), 4 PmB en 1 bitumen dat via rubberkorrels gemodificeerd werd (CRMB). De reologische eigenschappen van de bitumina werden getest door middel van een DSR-toestel. Deze testen werden uitgevoerd bij 60°C en een frequentiesweep van 2 – 20 Hz. Over de complexe modulus  $G^*$  wordt geen eenduidig besluit gevormd omdat de resultaten van de gemodificeerde en niet gemodificeerde bitumina door elkaar lopen, zie Figuur 2-12.



Figuur 2-12 DSR resultaten [7]

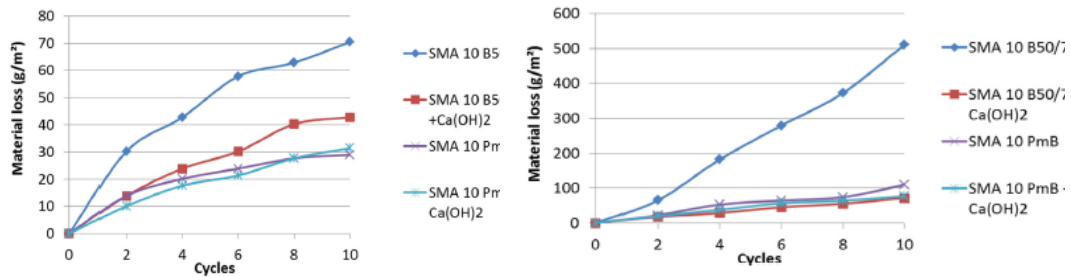
De niet gemodificeerde bitumina vertonen echter een grotere fasehoek  $\delta$  in vergelijking met de gemodificeerde bitumina. Als laatste besluit men dat de niet gemodificeerde bitumina gevoeliger zijn voor een frequentieverandering dan de gemodificeerde bitumina. Dit houdt in dat de grafieken van de gemodificeerde bitumina horizontaler lopen dan de grafieken van de niet gemodificeerde bitumina.



Figuur 2-13 Spoordiepte na 20.000 cycli [7]

Na de reologische testen werd er een dicht asfaltmengsel aangemaakt met elk bitumentype en getest op spoorvorming door middel van een wielspoorproef (WSP) bij 60 °C. De resultaten van de spoordiepte staan weergegeven in Figuur 2-13. In het algemeen besluit men dat de gemodificeerde bitumina een hogere weerstand tegen spoorvorming bieden. Tevens kan men opnieuw besluiten dat de mogelijkheid bestaat om met een niet gemodificeerd bitumen een betere weerstand tegen spoorvorming te bekomen.

De invloed van het bindmiddel op de rafelingsweerstand wordt onderzocht door [8]. Er wordt gebruik gemaakt van de Darmstadt Scuffing Device (DSD) om de metingen uit te voeren. Het onderzoek gebruikt 4 SMA mengsels waarbij men de invloed van een PmB en gehydrateerde kalk onderzoekt. Figuur 2-14 toont aan dat het gebruik van een PmB een positieve invloed uitoefent op de weerstand tegen rafeling. Ook het gebruik van gehydrateerde kalk blijkt een positieve invloed te hebben.



Figuur 2-14 Rafelingsresultaten SMA (links 27 °C, rechts 40 °C) [8]

[9] voert droge ITS-testen uit bij verschillende temperaturen op een dicht mengsel met een PEN 80/100 bitumen en een PmB 70 bitumen. Het gemodificeerde bitumen scoort duidelijk beter dan het niet gemodificeerde bitumen. Uit Tabel 2-4 besluit men dat de resultaten voor het gemodificeerde bitumen 49 – 101 % hoger liggen.

Tabel 2-4 Resultaten ITS [9]

Mix		Temperature [°C]					
		15	20	25	30	35	40
PmB 70	ITS [MPa]	2,26	1,72	1,32	1,04	0,76	0,55
	standard deviation [MPa]	0,33	0,38	0,25	0,2	0,12	0,033
PEN 80/10	ITS [MPa]	1,53	1,27	0,92	0,65	0,42	0,31
	standard deviation [MPa]	0,295	0,285	0,195	0,18	0,11	0,034

Na de ITS testen werd de weerstand tegen watergevoeligheid (ITSR) getest bij 25 °C. De niet geconditioneerde reeks werd bij kamertemperatuur opgeslagen terwijl de geconditioneerde reeks voor 24 h in een waterbad geplaatst werd op 60 °C. Alvorens de test gestart werd, werden de proefstukken voor een duurtijd van 1h in een klimaatkast geplaatst op 25 °C. Uit Tabel 2-5 blijkt het gemodificeerde bitumen een positieve invloed te hebben op de weerstand tegen de watergevoeligheid.

Tabel 2-5 Resultaten ITSR [9]

Mix	Conditioned		Unconditioned		TSR (ITSR) [%]
	ITS [Mpa]	Dev. [MPa]	ITS [Mpa]	Dev. [MPa]	
PmB 70	1,1	0,11	1,2	0,05	91,67
PEN 80/100	0,67	0,08	0,83	0,06	80,72

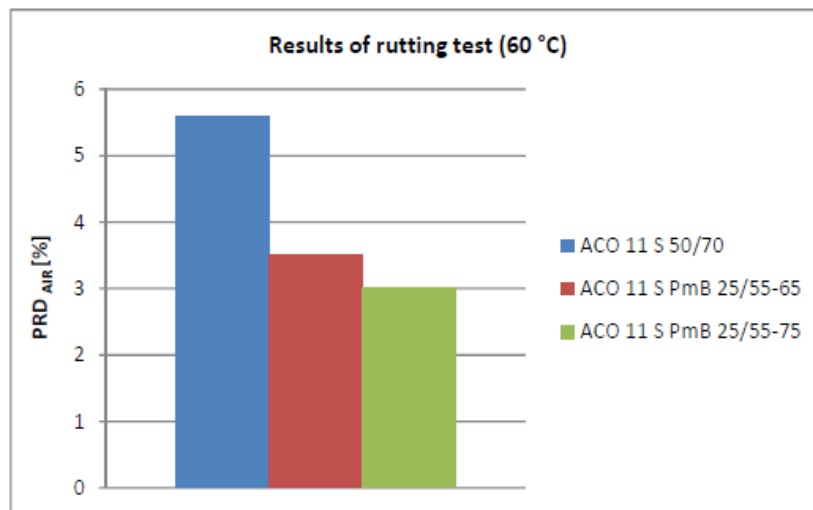
In [10] gaat men 3 verschillende bitumina testen op 1 mengsel. De bitumina die getest worden zijn: een penetratiebitumen 50/70, een PmB 25/55-65 en een zwaar gemodificeerde PmB 25/55-75. De resultaten van de ITS worden weergegeven in Tabel 2-6. Uit de resultaten blijkt dat het mengsel met het zwaar gemodificeerde bitumen de laagste weerstand tegen watergevoeligheid heeft en dat het mengsel met het gemodificeerde bitumen de hoogste weerstand tegen de watergevoeligheid heeft.

Tabel 2-6 Testresultaten ITS [10]

Mixture:	ACO 11 S PmB 25/55-75	ACO 11 S PmB 25/55-65	ACO 11 S 50/70
Ø indirect tensile strength (wet group) [kPa]	885	1010	830
Ø indirect tensile strength (dry group) [kPa]	1040	1050	920
ITSR [%]	85.1	96.2	90.2

Uit de ITS van de niet geconditioneerde reeks blijkt er weinig verschil te zijn tussen het gemodificeerde en het zwaar gemodificeerde bitumen. Het grote verschil tussen beide ITS-waarden is dus afkomstig van de ITS-waarden van de geconditioneerde reeksen. Tevens valt op dat de ITS-waarden van het niet gemodificeerde mengsel lager liggen dan de ITS-waarden van de gemodificeerde mengsels.

Men heeft tevens wielspoorproeven uitgevoerd op de mengsels. Hiervoor werden platen aangemaakt met een dikte van 4 cm. Oorspronkelijk werd de test uitgevoerd bij 50°C, dit gaf echter geen duidelijke conclusie. Hierdoor heeft men de test herhaald bij 60 °C, zie Figuur 2-15. De gemodificeerde mengsels scoren duidelijk beter dan het niet gemodificeerde mengsel. Ditmaal heeft het zwaar gemodificeerde mengsel de laagste spoorvorming.



Figuur 2-15 Resultaten spoordiepte [10]

[11] handelt specifiek over parameters die men van een mengsel kan veranderen om de weerstand tegen spoorvorming te verbeteren. Een eerste oplossing is het modifieren van het bindmiddel. De spoorvorming van asfaltmengsels zou voor 40% bepaald worden door de eigenschappen van het bindmiddel. Twee vaak gebruikte methodes voor de eigenschappen van een bindmiddel te verbeteren zijn het toevoegen van polymeren en rubberkorrels. Een tweede parameter die invloed kan uitoefenen is het type vulstof. Door de minerale vulstof te vervangen door gehydrateerde kalk, grafiet of staalslakken bekomt men een hogere weerstand tegen spoorvorming.

Verder blijkt de meng- en verdichtingstemperatuur een grote invloed te hebben op het gedrag van het asfaltmengsel. Men spreekt van hot mix asphalt (HMA) indien de mengtemperatuur tussen 120 °C en 190 °C ligt, warm mix asphalt (WMA) indien de mengtemperatuur tussen 70 °C en 140 °C ligt en cold mix asphalt (CMA) indien de mengtemperatuur tussen omgevingstemperatuur en 120 °C ligt. De temperatuur heeft een grote invloed omdat het samenhangt met de veroudering van het bitumen. Indien men de temperatuur verlaagt, zal het bitumen minder verouderen waardoor men een hogere weerstand tegen spoorvorming bekomt. Als opmerking dient men rekening te houden met de verwerkbaarheid van het mengsel. Door de verlaagde temperatuur zal de verwerkbaarheid dalen, hierdoor kan een goede verdichting van het mengsel in het gedrag komen. De verlaagde temperatuur zal dus enkel een positieve invloed kunnen uitoefenen op de spoorvorming indien een goede verwerkbaarheid verzekerd kan worden.

Vervolgens bespreekt men de invloed van de korrelverdeling en het korreloppervlak. De interne wrijvingshoek van de granulaten draagt 80% bij tot afschuifsterkte van het mengsel. Wanneer de granulaten beter in elkaar haken, zal de schuifsterkte hoger moeten liggen om deze uit elkaar te trekken en is er dus een betere weerstand tegen spoorvorming. Door een optimale korrelverdeling te kiezen, waarbij kleinere korrels de holtes opvullen tussen grotere korrels, bekomt men een hogere weerstand tegen spoorvorming. Hoekige granulaten zullen tevens minder snel afschuiven dan ronde granulaten.

Tabel 2-7 Spoordiepte bij verschillende temperaturen [11]

Mixture type	Temperature (°C)	Load (N)	Rutting rate (µm/min)
D-20C	50	520	3.9
	60		9.6
	70		23.4
M-10C	50		4.2
	60		14.8
	70		37.9
SMA-10C	50		3.4
	60		11.2
	70		24.0

Als laatste bespreekt men de invloed van de inwendige temperatuur van het asfaltmengsel. Een hogere inwendige temperatuur zorgt voor een lagere weerstand tegen spoorvorming, zie Tabel 2-7. De inwendige temperatuur is echter weersafhankelijk en dus niet controleerbaar tenzij men extra technieken toepast. Een voorbeeld van zo'n techniek is het HEAL principe waarbij men via een warmtewisselaar energie van het wegdek opslaat in de bodem. In de zomer kan men de energie afvoeren waardoor de inwendige temperatuur verlaagd wordt. In de winter geldt het omgekeerde principe en zal men energie uit de bodem oppompen om de inwendige temperatuur te verhogen.

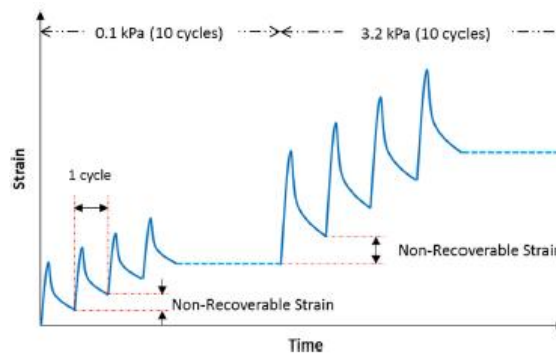
Omdat een wielspoorproef veel tijd in beslag neemt, is er tevens veel onderzoek gebeurd naar alternatieve methoden om de spoorvorming van een asfaltmengsel te voorspellen. [11] gaf reeds aan dat bindmiddelkarakteristieken een grote invloed uitoefenen op de spoorvorming. Hierdoor zullen veel van de alternatieve testmethodes bitumentesten zijn in plaats van asfalttesten. Een hogere weerstand tegen spoorvorming kan men bekomen door de complexe modulus  $G^*$  te verhogen of de fasehoek  $\delta$  te verlagen.

[11] maakt gebruik van de multiple stress creep recovery (MSCR) methode waarbij men het bitumen afwisselend belast en ontlast met een belasting van 100 Pa gevolgd door een belasting van 3200 Pa. Enkele belangrijke parameters die men dient te bekomen zijn de niet herstelbare vervorming en het percentage terugveren van het bitumen. De niet herstelbare vervorming kan een maat zijn voor de spoorvorming. De resultaten van deze test bekomt men met behulp van de DSR.

[12] gaat dieper in op deze methode. De belangrijkste parameter die men dient te bekomen is  $J_{nr}$  en wordt weergegeven door **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Deze parameter stelt de verhouding weer van de onherstelbare rek op de opgelegde spanning die tijdens deze cycli gebruikt wordt.

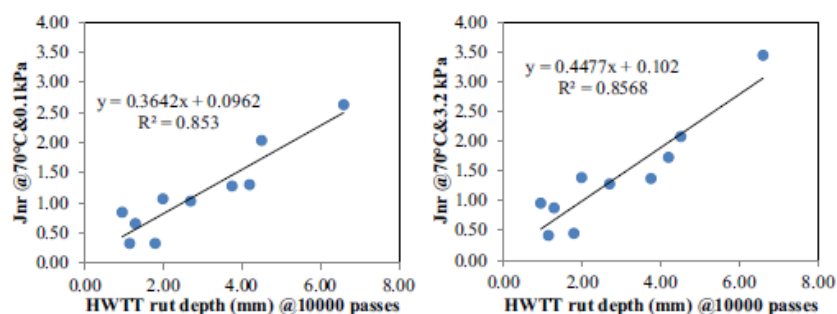
$$J_{nr} = \frac{\text{Onherstelbare rek}}{\text{Opgelegde spanning}} \quad \text{Vgl. 2-1}$$

Een visuele voorstelling van deze parameters wordt weergegeven door Figuur 2-16. Elke cycli bestaat uit een belasting van 1 s die gevolgd wordt door een rustperiode van 9 s. Er worden 10 cycli doorlopen bij een belasting van 100 Pa en 10 cycli doorlopen bij een belasting van 3200 Pa.



Figuur 2-16 Typische vorm MSCR test [12]

Om de correlatie tussen de spoorvorming en de MSCR-test te onderzoeken, werden er 10 mengsels beproefd. Alle samples werden getest bij 64°C, 70°C en 76 °C. De spoorvorming van de mengsels werd bepaald door middel van de Hamburg Wheel Tracking Test. Om een correlatie voor te stellen wordt gebruik gemaakt van  $R^2$ . Uit de resultaten blijkt de correlatie bij een MSCR testtemperatuur van 70 °C de grootste te zijn. Tevens blijkt de correlatie hoger te liggen bij een belasting van 3200 Pa dan bij een belasting van 100 Pa, zie Figuur 2-17.



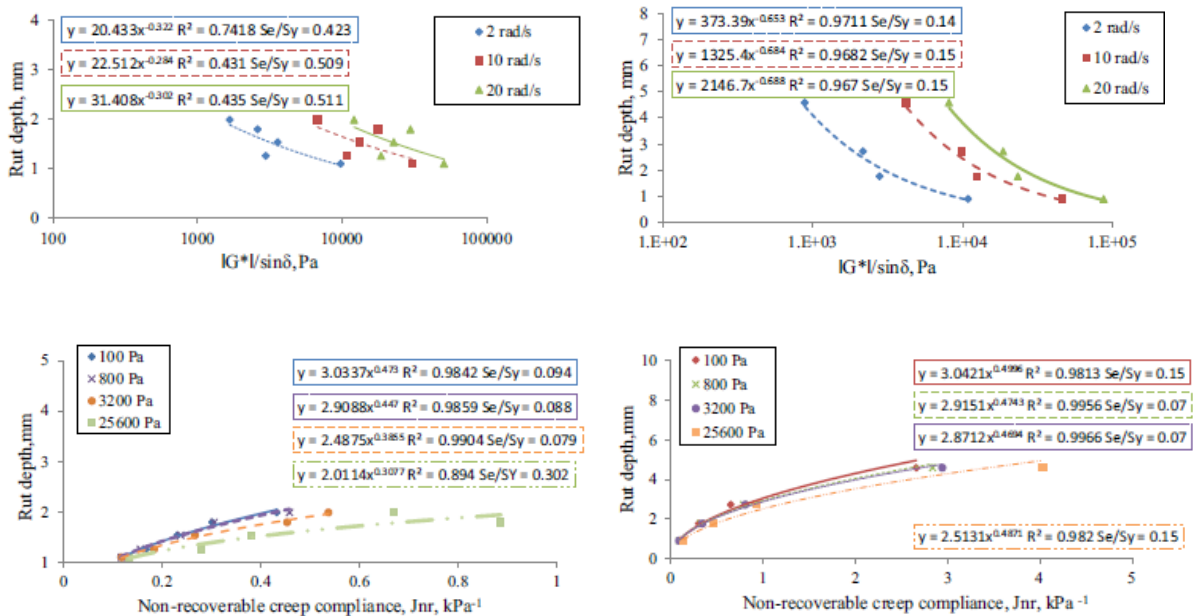
Figuur 2-17 Correlatie tussen  $J_{nr}$  en spoordiepte bij 70 °C (100 Pa links, 3200 Pa rechts) [12]



Een tweede manier om de weerstand tegen spoorvorming te voorspellen via bitumentesten is via de parameter  $G^*/\sin(\delta)$  die men kan bekomen via DSR-testen. Een bindmiddel met een hogere  $G^*/\sin(\delta)$  zal een betere weerstand tegen spoorvorming hebben. [1] maakt gebruik van deze methode en maakt een vergelijking tussen 3 penetratiebitumen, 2 PmB en 2 CRMB.

Men besluit dat de gemodificeerde bitumina in het algemeen een hogere complexe modulus  $G^*$  hebben dan de niet gemodificeerde bitumina. In één geval bleek een niet-gemodificeerd bitumen dezelfde waarden te vertonen als de gemodificeerde bitumina. Omdat de gemodificeerde bitumina elastisch gedrag vertonen, hebben ze een lagere fasehoek  $\delta$ . Door de 2 bovenstaande bevindingen te combineren, bekomt men automatisch dat de parameter  $G^*/\sin(\delta)$  voor de gemodificeerde bitumina hoger zal liggen dan voor de niet gemodificeerde bitumina.

Ook [7] gebruikt alternatieve methoden om de spoorvorming te voorspellen. Het onderzoek tracht de spoordiepte te correleren met parameters zoals:  $G^*/\sin(\delta)$  en de parameter  $J_{nr}$ . Uit Figuur 2-18 blijkt dat de correlatie tussen de spoordiepte en  $J_{nr}$  voor alle bitumina bijzonder goed is. Voornamelijk de correlatie bij een spanning van 3200 kPa is zeer hoog:  $R^2$  voor de niet gemodificeerde bitumina = 0.9966 en  $R^2$  voor de gemodificeerde bitumina = 0.9904.



Figuur 2-18 Resultaten correlatie (links gemodificeerd; rechts niet gemodificeerd) [7]

In het geval van de parameter  $G^*/\sin(\delta)$  kan men besluiten dat er enkel een goede correlatie heerst voor de niet gemodificeerde bitumina. Deze parameter kan men dus niet gebruiken om de spoorvorming te voorspellen bij gemodificeerde bitumina.

## 2.2. Besluit literatuurstudie

Uit de literatuurstudie besluit men dat zowel het mengseltype als het bitumentype een grote invloed uitoefenen op de resultaten. Het verlagen van het %HR heeft een positieve invloed op de ITS, de weerstand tegen oppervlaktescheuren, de weerstand tegen spoorvorming, de ITS<sub>R</sub> en de wrijvingsweerstand. Het nadeel van het verlagen van het %HR is dat men een verlaagde weerstand bekomt tegen verticale vervormingen door indeuking.

Het gebruik van een bitumen met een hogere stijfheid heeft een positieve invloed op de mengselstijfheid en de weerstand tegen spoorvorming, maar een negatieve invloed op de weerstand tegen vermoeiing. Indien men het bitumen modificeert, zal dit een positieve invloed uitoefenen op de weerstand tegen spoorvorming, de weerstand tegen rafeling, de ITS en de ITS<sub>R</sub>. Een gemodificeerd bitumen zal tevens minder gevoelig zijn voor frequentieveranderingen.

## 3. Te beschouwen belastingen

### 3.1. Bouwklasse volgens het AWV

Het standaardbestek SB250 v3.1 stelt eisen aan mengsels in functie van hun bouwklasse. Deze bouwklasse is een rechtstreekse functie van het aantal standaardaslasten van 100 kN. De formule voor het berekenen van het aantal standaardaslasten wordt weergegeven door Vgl. 3-1:

$$N_{100\text{ kN}} = SPEC * N_{as} * C_b * C_{sn} * C_{bb} * (C_r * NVV_1 + NVV_2) \quad \text{Vgl. 3-1}$$

Waarbij:

- SPEC = Assenspectrum = 0.2597
- $N_{as}$  = Gemiddeld aantal assen per vrachtwagen
- $C_b$  = Correctiefactor voor de breedte
- $C_{sn}$  = Correctiefactor voor de snelheid
- $C_{bb}$  = Correctiefactor voor breedbanden
- $C_r$  = Correctiefactor voor aantal rijstroken
- $NVV_1$  = Groeiend verkeer tot verzadiging
- $NVV_2$  = Constant verkeer na maximale capaciteit

De volledige berekeningswijze voor Vlaamse wegen is terug te vinden in een dienstorder van het AWV (MOW/AWV/2010/2) [13]. Wanneer men het aantal standaardassen bepaald heeft, kan men de bouwklasse bepalen via Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Bouwklasse in functie van het aantal 100 kN standaardassen [13]

Aantal standaardassen [ $\times 10^6$ ]	Bouwklasse
64 ... 128	B1
32 ... 64	B2
16 ... 32	B3
8 ... 16	B4
4 ... 8	B5
2 ... 4	B6
1 ... 2	B7
0,5 ... 1	B8
0,25 ... 0,5	B9
< 0,25	B10

Zonder de juiste gegevens is het niet mogelijk om de bouwklasse exact te bepalen. De Haven van Antwerpen stelt dat hun wegen dienen te voldoen aan een bouwklasse B4. Indien men een hogere bouwklasse oplegt, kan men geen dicht mengsel ontwerpen dat voldoet aan het SB250 v3.1. Men kan echter veronderstellen dat men in de hoogste klassen terecht zal komen aangezien men spreekt van zwaar belaste wegen, zie 3.2 Belasting van havenvoertuigen.

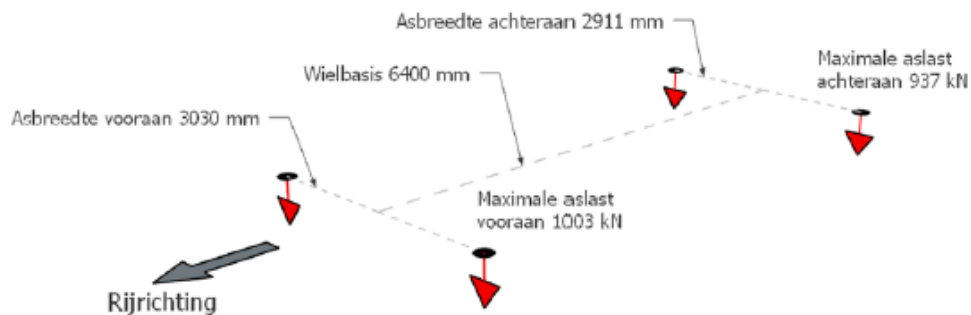
## 3.2. Belasting van havenvoertuigen

In het havengebied worden er andere types van voertuigen gebruikt dan op de openbare weg. Men kan zich de vraag stellen of bouwklassen hier van toepassing zijn. De reachstacker en de straddlecarrier, zie Figuur 3-1, zijn 2 veel voorkomende voertuigen in het havengebied. Deze worden gebruikt bij het vervoeren van containers. Konecranes heeft beide voertuigen in hun gamma en zal daarom als voorbeeld gebruikt worden.



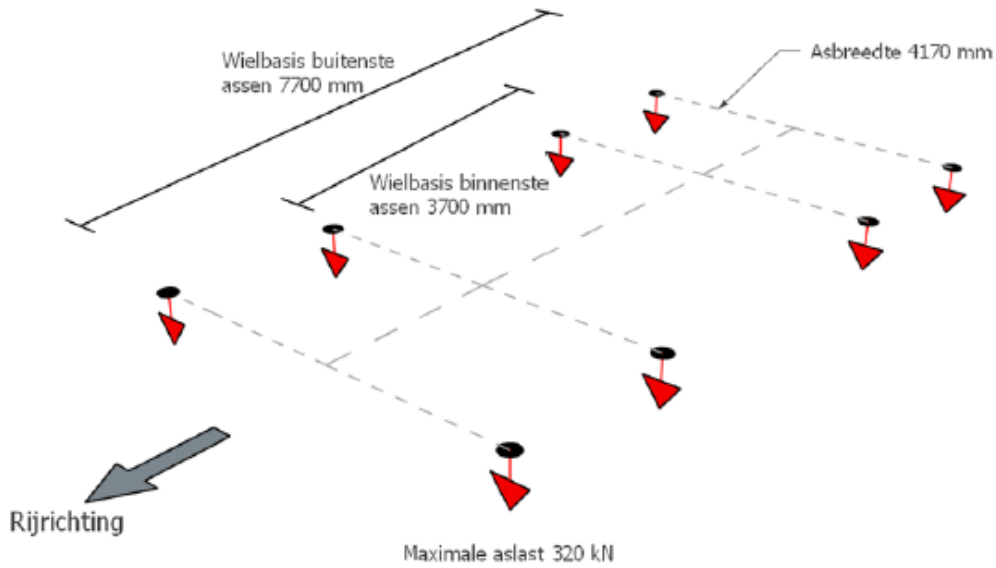
Figuur 3-1 Voorbeelden van een reachstacker [14] (links) en een straddlecarrier [15] (rechts)

Aan de hand van de technische fiches [14] en [15] wordt het mogelijk om de aslasten van deze machines te bepalen. De maximale aslasten zullen steeds bepaald worden op basis van het maximaal draagvermogen. Naarmate een reachstacker zijn last verder voor zich hijst, zal zijn draagvermogen afnemen. Voor de reachstacker (type SMV 4531 TB5) neemt men als maximale last 45 ton waarbij de last zich net voor het voertuig bevindt. Deze last zal nadien verder verdeeld worden over 2 assen. Figuur 3-2 geeft de geometrie en de grootte van de aslasten weer.



Figuur 3-2 Geometrie en grootte van de maximale aslasten voor de reachstacker SMV 4531 TB5

Het maximale draagvermogen van de straddlecarrier (type N SC 644 E) bedraagt 60 ton. Een straddlecarrier heeft meer assen dan een reachstacker. In dit geval wordt de last gelijkmatig verdeeld over 4 assen. Figuur 3-3 geeft de geometrie en de grootte van de maximale aslasten weer.



*Figuur 3-3 Geometrie en grootte van de maximale aslasten voor de straddle carrier N SC 644 E*

De verdeling van de lasten toont voor beide voertuigen aan waarom men in dit onderzoek de eisen zal opleggen voor wegen met een bouwklasse B1. De aslasten liggen ver boven de standaardaslast van 100 kN. Indien men in rekenprogramma's (zoals Qualidim) de standaardaslast van 100 kN gebruikt, zal de verwachte levensduur overschat worden.

### 3.3. Analyse van de bouwklasse en de SPEC-waarde

De hoge aslasten tonen aan dat de gebruikte formule voor het bepalen van het aantal standaardassen van 100 kN, zie Vgl. 3-1, niet correct is voor de beschouwde situatie. In de formule bevindt zich maar één constante, namelijk de SPEC-waarde. Alle andere symbolen zijn afhankelijk van het type weg en kunnen niet veranderd worden.

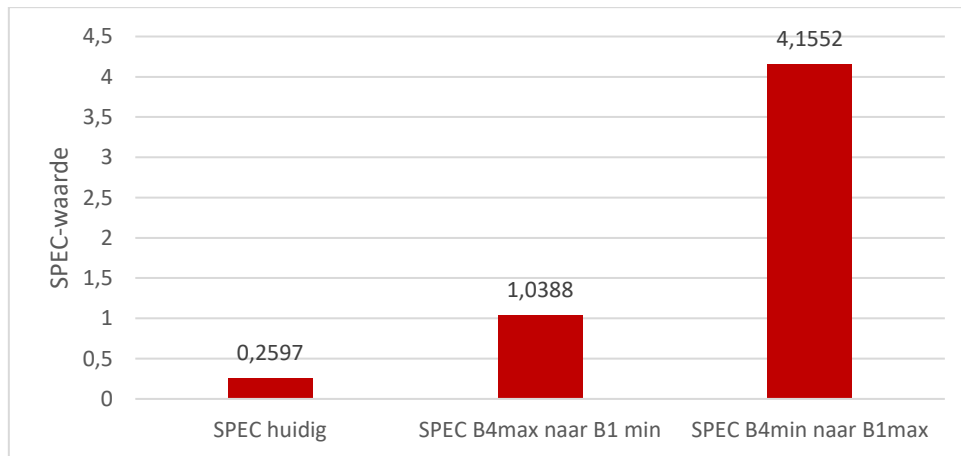
Indien men van een bouwklasse B4 ( $8 \times 10^6 < N_{100kN} < 16 \times 10^6$ ) naar een bouwklasse B1 ( $64 \times 10^6 < N_{100kN} < 128 \times 10^6$ ) wil gaan, zal de SPEC-waarde aangepast moeten worden. Om een vergelijking te maken, zal men de 2 uiterste situaties beschouwen namelijk:

- 1) Kleinste verschil: sprong van het maximaal aantal assen van B4 ( $16 \times 10^6$ ) naar het minimaal aantal assen van B1 ( $64 \times 10^6$ );
- 2) Grootste verschil: sprong van het minimaal aantal assen van B4 ( $8 \times 10^6$ ) naar het maximaal aantal assen van B1 ( $128 \times 10^6$ ).

Door onderstaande vergelijking, zie Vgl. 3-2, om te vormen naar de nieuwe SPEC-waarde kan men bepalen tussen welke grenzen deze nieuwe SPEC-waarde dient te liggen.

$$\frac{N_{100 \text{ kN}, B4}}{SPEC_{\text{huidig}}} = \frac{N_{100 \text{ kN}, B1}}{SPEC_{\text{nieuw}}} \quad \text{Vgl. 3-2}$$

Figuur 3-4 geeft weer dat de SPEC-waarde tussen 1,0388 en 4,1552 dient te liggen wanneer men van een bouwklasse B4 naar een bouwklasse B1 wil gaan. Indien men dit vergelijkt met de huidige waarde dient de waarde te stijgen met 300% tot 1500%. Als de Haven van Antwerpen eisen wil opleggen voor wegen met een bouwklasse B1 zal de bouwklasse niet bepaald kunnen worden volgens de huidige praktijk. Men besluit dat de SPEC-waarde in de formule aangepast dient te worden voor wegen die onderhevig zijn aan zware verkeersbelastingen.



Figuur 3-4 SPEC-waarde in functie van de bouwklasse

## 4. Aanbevolen proevenprogramma

Het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) heeft een handleiding [16] voor de keuze van de asfaltverharding bij het ontwerp of onderhoud van wegconstructies. Hierin bespreken ze welke prestatiekenmerken belangrijk zijn voor een bepaald type verharding. Men dient rekening te houden met langzaam verkeer dat een zware belasting uitoefent op de toplaag. Tabel 4-1 toont dat de volgende prestatiekenmerken belangrijk zijn: stijfheid, weerstand tegen vermoeiing, weerstand tegen thermische en lagetemperatuurscheurvorming, weerstand tegen spoorvorming, weerstand tegen rafeling, stroefheid en samenhang.

Tabel 4-1 Omstandigheden die een functioneel kenmerk belangrijker maken [16]

Algemene functionele prestatiekenmerken van het asfaltmengsel	Omstandigheden die het kenmerk belangrijker maken	
	Positie en soort van asfaltlaag	Andere
Stijfheid	Alle lagen (vooral onderlagen)	Langzaam en zwaar verkeer
Weerstand tegen vermoeiing	Alle lagen	Zwaar belaste wegen
Weerstand tegen thermische en lagetemperatuurscheurvorming	Toplaag en bovenste onderlaag (bij dunne toplaag)	Grote temperatuurschommelingen / lage temperatuur
Weerstand tegen spoorvorming	Alle (vooral de toplaag en bovenste onderlaag*, behalve bij ZOA en SME)	Zwaar belaste wegen, hoge temperaturen, langzaam verkeer
Weerstand tegen rafeling	Toplaag	Zwaar belaste wegen, wringend verkeer, schuifkrachten
Stroefheid	Toplaag	Plaatsen waar (mogelijk) grote tangentiële krachten optreden, vliegveldbanen, racecircuits
Ondoorlatendheid	Alle lagen behalve ZOA	Regen
Samenhang (globaal kenmerk)		Zwaar belaste wegen

\* of een onderlaag die lange tijd als toplaag dient

Het is echter mogelijk dat er enkele bijzondere omstandigheden leiden tot specifieke functionele prestatiekenmerken, zie Tabel 4-2. Zo zal men bij containerterminals, ter hoogte van de steunpunten van de containers, hoge puntlasten kunnen verwachten.

Tabel 4-2 Omstandigheden die aanleiding geven tot specifieke prestatievereisten [16]

Meer bijzondere functionele prestatiekenmerken van het asfaltmengsel	Omstandigheden die tot specifieke vereisten leiden	
	Positie en soort van asfaltlaag	Gecombineerd met
Weerstand tegen puntbelasting	Toplaag en bovenste onderlaag	Zware lasten
Weerstand tegen reflectiescheurvorming	Alle lagen boven voegen of gescheurde lagen	Gescheurde onderlagen of onderlagen met voegen
Weerstand tegen vervorming door schuifkrachten	Toplaag	Schuifspanningen
Waterafvoerend vermogen	Toplaag	Veel regen
Gevoeligheid voor wintergladheid	Toplaag	Vorst en neerslag
Weerstand tegen aantasting door chemische producten	Toplaag	Plaatsen met stilstaand verkeer
Geluidsabsorptie en -reductie	Toplaag	Druk en snel verkeer, woonwijken

Tabel 4-3 geeft een alternatieve manier weer om belangrijke prestatiekenmerken te bekomen. Hierbij dient men te kijken naar de functie van de verharding. Haven- en industriegebieden bestaan voor een groot deel uit opslagterreinen. Voorbeelden hiervan zijn: container- en autoterminals. De wegen die hiertoe leiden, behoren echter tot bedrijfswegen. Indien men rekening houdt met kenmerken die van groot en extra groot belang zijn, voor opslagterreinen en bedrijfswegen, bekomt men volgende prestatiekenmerken:

- Stijfheid;
- Weerstand tegen vermoeiing;
- Weerstand tegen spoorvorming;
- Weerstand tegen rafeling;
- Samenhang;
- Weerstand tegen vervorming door schuifkrachten;
- Weerstand tegen puntbelasting



Tabel 4-3 Voorbeelden van het belang van de prestatiekenmerken naargelang van de toepassing [16]

(DEZE TABEL MAG ENKEL HORIZONTALAAL WORDEN GELEZEN)

Prestatiekenmerk	(DEZE TABEL MAG ENKEL HORIZONTALAAL WORDEN GELEZEN)																							
	Autosnelweg	Stedelijke weg	Plaatselijke weg	ging verkeer	matig verkeer	druk verkeer	Landbouwweg	Bedrijfsweg	Trambaan	Fietspad	Voetgangersweg	Kruispunt	Gevaarlijke bocht	zwaar verkeer	licht verkeer	Parkterrein	Opslagterrein	start- of landingsbaan	taxibaan	opstelplatform voor vliegtuigen	Sportterrein	Brug		
<b>Algemene functionele eisen</b>																								
Stijfheid	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(1)	·	·	(1)	(1)	++	++	+	+++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Weerstand tegen vermoeiing (2)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(1)	·	·	(1)	(1)	++	++	+	+++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Weerstand tegen thermische en lagetemperatuurscheurvorming	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(1)	·	·	(1)	(1)	++	++	+	+++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Weerstand tegen spoorvorming	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(1)	·	·	(1)	(1)	++	++	+	+++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Weerstand tegen rafeling	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(1)	·	·	(1)	(1)	++	++	+	+++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Stroefheid	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(1)	·	·	(1)	(1)	++	++	+	+++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Ondoorlatendheid	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Samenhang	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
<b>Meer bijzondere functionele eisen</b>																								
Weerstand tegen puntbelasting	·	·	·	·	·	·	·	·	(1)	·	·	·	·	+++	+++	+++	+++	·	++	+++	·	(1)	·	(1)
Weerstand tegen reflectiescheurvorming	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(1)	++	++	(1)	(1)	++	++	++	+++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Weerstand tegen vervorming door schuifkrachten	++	++	++	++	++	++	++	++	(1)	·	·	++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Waterafwendend vermogen	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(1)	·	·	(1)	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Gevoeligheid voor wintergladheid	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(1)	·	·	(1)	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Weerstand tegen aantasting door chemische producten	·	·	·	·	·	·	·	·	(1)	·	·	(1)	(1)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)
Geluidsabsorptie en -reductie	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(1)	·	·	(1)	(1)	++	++	++	+++	+++	+++	+++	·	(1)	·	(1)

· van geen belang,  
 + van gering belang,  
 ++ van matig belang,  
 +++ van groot belang,  
 ++++ van zeer groot belang.

(1) zie bijhorende soort van weg.

(2) enkel scheurvorming aan de onderzijde van de asfaltlaag wordt hier behandeld.

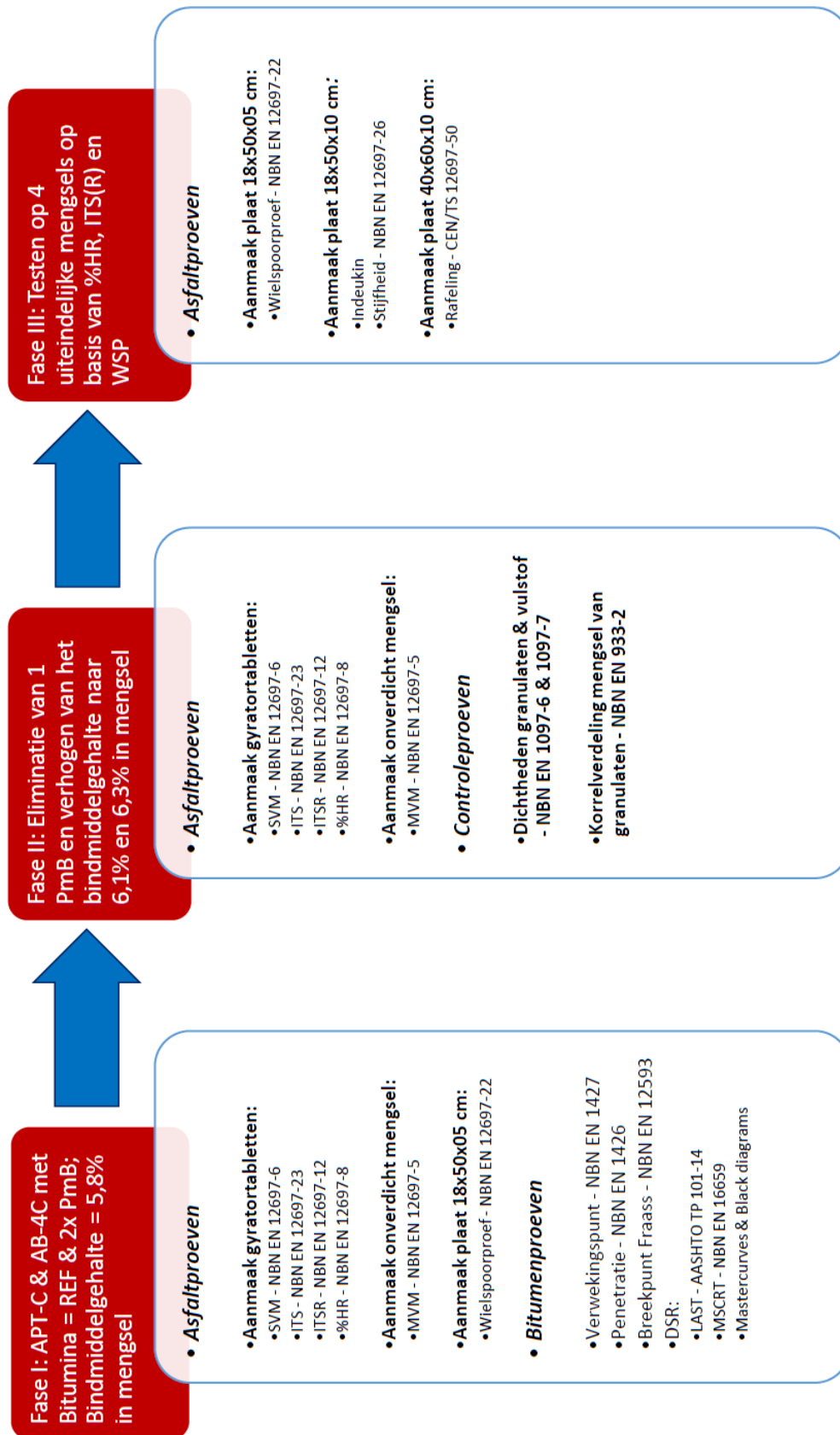
## 5. Proevenprogramma

In dit hoofdstuk wordt een planning voorgesteld van het verloop van het onderzoek. Zoals reeds vermeld, verloopt het onderzoek in 3 fases: een eerste fase van juni 2018 tot en met augustus 2018, een tweede fase van september 2018 tot en met oktober 2018 en een laatste fase van november 2018 tot en met december 2018. Een flowchart van deze planning wordt weergegeven in Figuur 5-1.

In de eerste fase van het onderzoek worden het APT-C mengsel & het AB-4C mengsel getest met de 3 verschillende bitumina (REF, PmB1 en PmB2), in totaal worden er 6 mengsels getest in deze fase. Het bitumenpercentage dat bij de mengsels gebruikt wordt, is 5,8% op de totale massa. Dit bitumenpercentage is de eis voor de minimale hoeveelheid bitumen die men dient toe te voegen. De asfalttesten die men uitvoert op deze mengsels zijn het bepalen van: het %HR volgens de gyrator, de MVM, de SVM, het %HR hydrostatisch, de ITS, de ITSr en de spoorvorming. Verder zal men enkele bitumentesten uitvoeren op de 3 bitumina. Deze testen omvatten: bepalen van het verwekingspunt, bepalen van de penetratiewaarde, bepalen van het breekpunt Fraass en DSR-metingen. Het is de bedoeling om op basis van bovenstaande testen 1 PmB te elimineren alvorens te starten met de tweede fase.

In de tweede fase gaat men het bitumenpercentage, uitgedrukt in massaprocent ten opzichte van de totale massa, van de 4 resterende mengsels (APT-C REF, APT-C PmB, AB-4C REF en AB-4C PmB) verhogen naar 6,1% en 6,4% waardoor er 8 verschillende mengsels beproefd zullen worden. De asfalttesten die men uitvoert zijn het bepalen van: het %HR volgens de gyrator, de MVM, de SVM, het %HR hydrostatisch, de ITS en de ITSr. Het is de bedoeling om na te gaan of een verhoging van het bitumenpercentage een positieve invloed heeft op de ITSr. Wanneer blijkt dat een verhoging van het bitumenpercentage een positieve invloed heeft, wordt van dit mengsel tevens de spoordiepte bepaald. In deze fase zullen er ook controletesten gebeuren op de korrelverdeling van de mengsels van granulaten en op de dichtheid van de granulaten.

Op basis van de resultaten uit fase I en fase II worden er 4 uiteindelijke mengsels gekozen. Op deze mengsels vinden de laatste asfaltproeven plaats. Tijdens deze proeven bepaalt men: de weerstand tegen rafeling, de weerstand tegen indeuking en de stijfheid. Op het einde van deze fase zal men een besluit kunnen vormen over het onderzoek.



Figuur 5-1 Flowchart planning proevenprogramma

## 6. Ontwerp van 2 dichte mengsels

In dit hoofdstuk worden het APT-C en AB-4C mengsel ontworpen. Beide mengsels zijn ontworpen in Pradowin door EMIB vanuit de gedachtegang dat dichte mengsels beter bestand zijn tegen rafeling dan open mengsels. De technische fiches van de gebruikte materialen zijn terug te vinden in Bijlage 12.4 tot en met Bijlage 12.6.

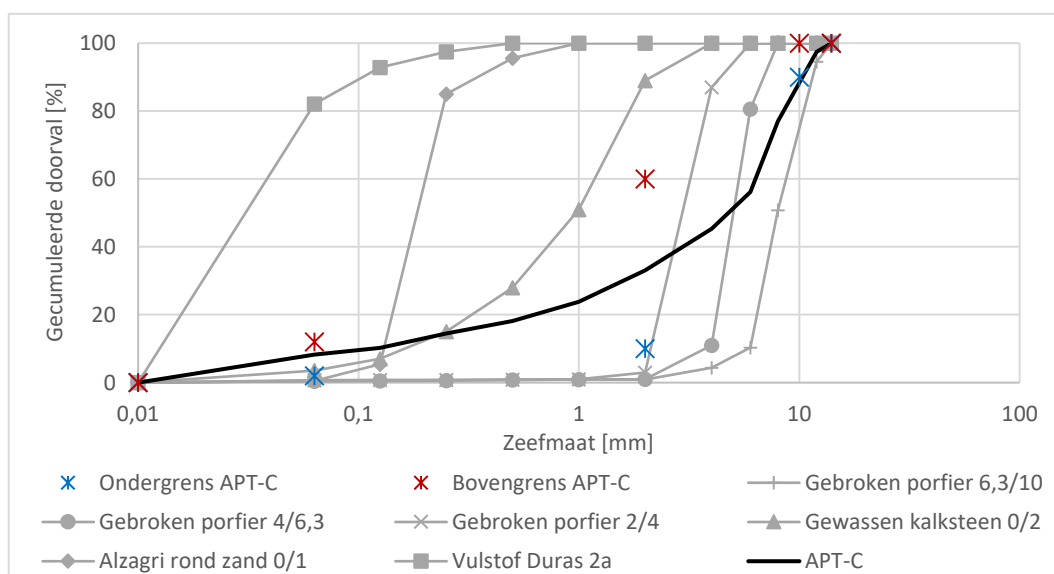
Tijdens de start van de productie gebruikt men 3 verschillende bitumina: 1 penetratiebitumen en 2 gemodificeerde bitumina. Beide gemodificeerde bitumina werden gemodificeerd met het polymeer styrene butadiene styrene (SBS). In een eerste fase van het onderzoek zal men 5,8% bitumen toevoegen. In de tweede fase voegt men 6,1% en 6,4% toe. Deze hoeveelheid is uitgedrukt in massaprocent ten opzichte van het totale mengsel. Wanneer men dit omrekent naar massaprocent ten opzichte van de aggregaten bekomt men respectievelijk 6,16%, 6,50% en 6,84%.

## 6.1. APT-C mengsel

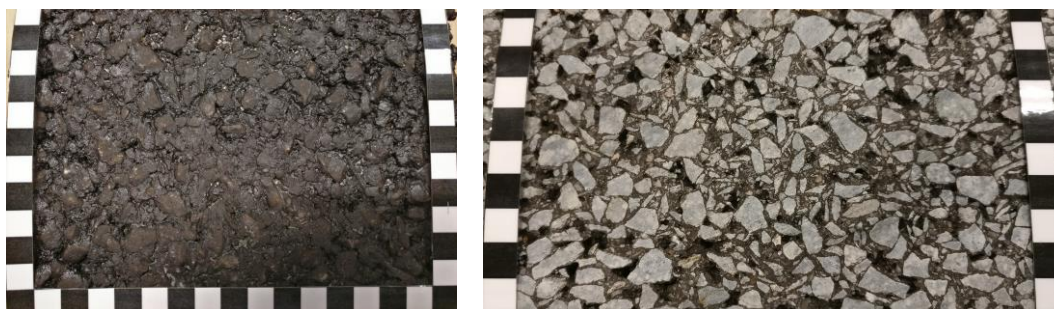
Het eerste mengseltype dat men zal testen is het asfaltmengsel APT-C. De samenstelling van het mengsel is terug te vinden in Tabel 6-1. De theoretische korrelverdeling met bijhorende zeefdoorval is terug te vinden in Figuur 6-1. Figuur 6-2 geeft de inwendige – en uitwendige structuur na verdichting weer.

Tabel 6-1 Mengselsamenstelling APT-C (EMIB)

Materiaal	Massapercentage
Gebroken porfier 6,3/10	46,67%
Gebroken porfier 4/6,3	10,10%
Gebroken porfier 2/4	8,29%
Gewassen kalksteen 0/2	23,89%
Alzagri rond zand 0/1	2,45%
Vulstof Duras 2a	8,60%
<b>Subtotaal:</b>	<b>100,00%</b>
Bitumen op aggregaten	6,16% , 6,50% of 6,84%
<b>Totaal:</b>	<b>106,16% , 106,50% of 106,84%</b>



Figuur 6-1 Theoretische korrelverdeling APT-C (EMIB)



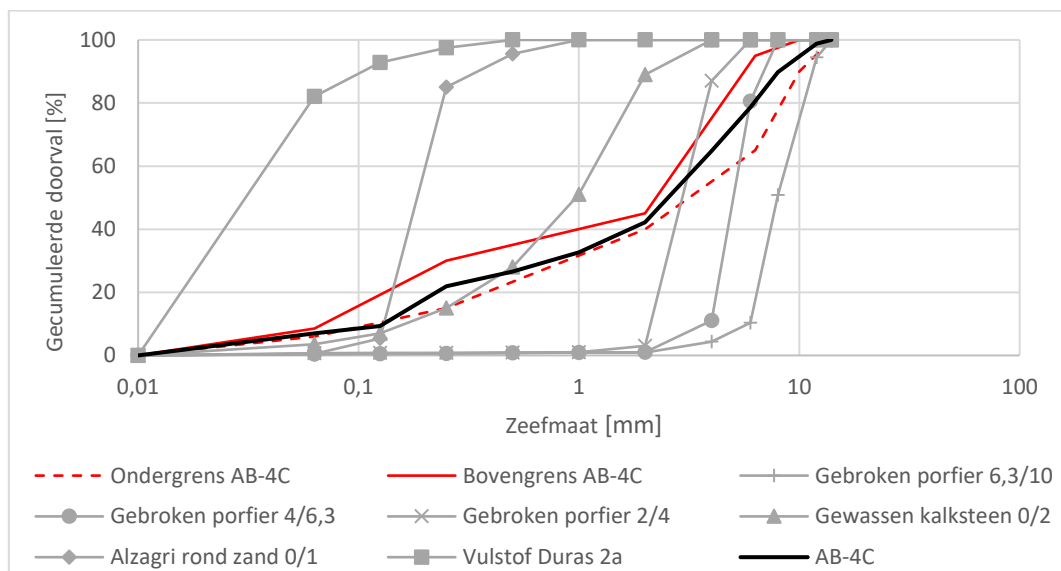
Figuur 6-2 Uitwendige en inwendige structuur APT-C

## 6.2. AB-4C mengsel

Het tweede mengseltype dat men zal testen is het asfaltmengsel AB-4C. De samenstelling van het mengsel is terug te vinden in Tabel 6-2. De theoretische korrelverdeling met bijhorende zeefdoorval is terug te vinden in Figuur 6-3. Figuur 6-4 geeft de inwendige – en uitwendige structuur na verdichting weer.

Tabel 6-2 Mengselsamenstelling AB-4C (EMIB)

Materiaal	Massapercentage
Gebroken porfier 6,3/10	20,72%
Gebroken porfier 4/6,3	14,20%
Gebroken porfier 2/4	21,24%
Gewassen kalksteen 0/2	23,84%
Alzagri rond zand 0/1	12,91%
Vulstof Duras 2a	7,10%
<b>Subtotaal:</b>	<b>100%</b>
Bitumen	6,16% , 6,50% of 6,84%
<b>Totaal:</b>	<b>106,16% , 106,50% of 106,84%</b>



Figuur 6-3 Theoretische korrelverdeling AB-4C (EMIB)



Figuur 6-4 Uitwendige en inwendige structuur AB-4C

## 7. Eisen SB250 v3.1

In onderstaand hoofdstuk zoekt men de eisen op die het standaardbestek SB250 v3.1 oplegt aan de AB-4C en APT-C mengfels. Hiervoor zal men hoofdstuk 6 [17] en hoofdstuk 14 [18] van het standaardbestek raadplegen. Voor de bouwklasse B1-B2 schrijft het SB250 v3.1 geen AB-4C of APT-C mengsel voor. Indien de eis voor de toplagen met een bouwklasse B1-B2 strenger is, zal men deze overnemen. Men neemt tevens de eis over van andere toplagen indien er geen eis gesteld wordt voor een APT-C of AB-4C mengsel.

### 7.1. Korrelverdeling van het mengsel

Voor dichte toplagen maakt [17] een onderscheid tussen asfaltbeton volgens de fundamentele methode en asfaltbeton volgens de empirische methode. Het APT-C mengsel vindt men terug onder de fundamentele methode. De eis omtrent de zeefdoorval van het APT-C mengsel staat beschreven in NBN EN 13108-1 [19], zie Tabel 7-1. Volgens de eis dient men rekening te houden met slechts 4 zeefmaten.

Tabel 7-1 Eisen korrelverdeling APT-C met  $D_{max} = 10$  mm

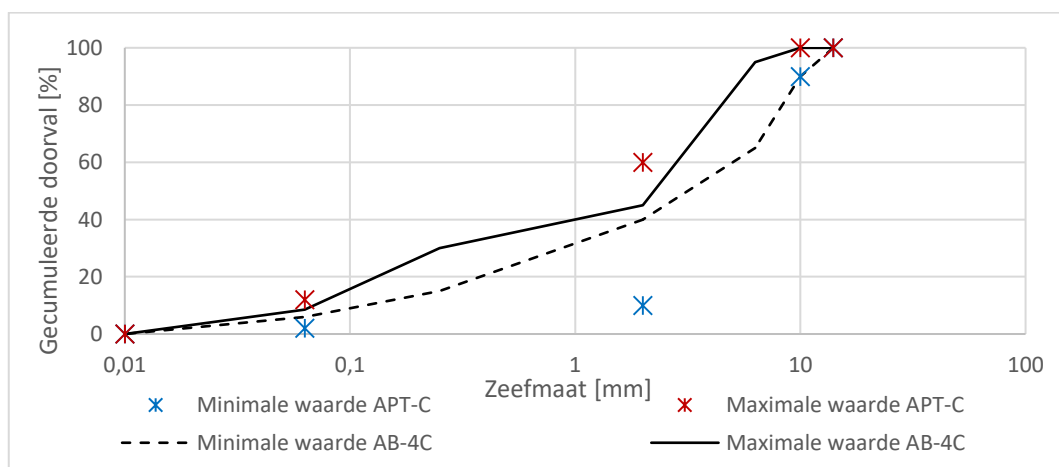
Zeefmaat [mm]		14	10	2	0,063
Gecumuleerde doorval	min [%]	100	90	10	2
	max [%]	100	100	60	12

Het AB-4C mengsel vindt men terug onder de empirische methode. De zeefdoorval dient te voldoen aan Tabel 7-2.

Tabel 7-2 Eisen korrelverdeling AB-4C met  $D_{max} = 10$  mm

Zeefmaat [mm]		14	10	6,3	2	0,250	0,063
Gecumuleerde doorval	min [%]	100	90	65	40	15	6
	max [%]	100	100	95	45	30	8,5

Figuur 7-1 geeft de eisen van beide mengfels weer in een zeefcurve. Het is duidelijk dat de eis voor het AB-4C mengsel strenger is dan de eis voor het APT-C mengsel. De eis is strenger omdat de minimale en maximale waarde dichter tegen elkaar liggen en omdat men rekening dient te houden met een hoger aantal zeven.



Figuur 7-1 Visuele voorstelling eisen omtrent korrelverdeling

## 7.2. Gebruik van bindmiddel

[17] schrijft voor beide mengsels (AB-4C & APT-C) een minimaal bindmiddelgehalte van 5,8 % voor. Deze hoeveelheid is uitgedrukt in massaprocent ten opzichte van het totale mengsel. Dit stemt overeen met een bindmiddelgehalte van 6,16 % ten opzichte van de aggregaten.

Verder legt [17] op dat men voor het AB-4C mengsel enkel gebruik mag maken van het bindmiddel B50/70 of B70/100. Hiervan zal afgeweken worden aangezien er testen uitgevoerd zullen worden met polymeer gemodificeerd bitumen.

## 7.3. Percentage holle ruimte %HR

Hoofdstuk 14 van het standaardbestek SB250 v3.1 [18] stelt dat het %HR voor beide mengsels (AB-4C & APT-C) tussen 3,0 % en 8,0 % dient te liggen. Het %HR dient bepaald te worden door middel van de gyrator na 60 gyraties.

## 7.4. Weerstand tegen watergevoeligheid ITSR

Hoofdstuk 14 van het standaardbestek SB250 v3.1 [18] stelt dat beide mengsels (AB-4C & APT-C) een ITSR van 80 % dienen te hebben. De watergevoeligheid dient bepaald te worden via de ITS van een geconditioneerde en niet geconditioneerde reeks die verdicht worden door 25 gyraties. De eis omtrent de ITSR is dezelfde als voor toplagen met een bouwklasse B1-B2.

## 7.5. Spoorvormingsweerstand

Voor de maximale spoordiepte van het AB-4C mengsel wordt er geen eis opgelegd in [18]. Daarom neemt men de eis over van de toplagen met een bouwklasse B1-B2, namelijk 5%. De strengste eis die men terugvindt voor het APT-C mengsel is 10%. Men heeft ervoor gekozen om de eis te verhogen naar 5% zodat men in de bouwklasse B1-B2 terecht komt. Om de spoordiepte te vergelijken met de eis dient men de spoordiepte te meten na 30 000 wielovergangen.

## 7.6. stijfheid van het mengsel

[18] geeft geen eis weer voor de stijfheid van het AB-4C mengsel. Hierdoor heeft men ervoor gekozen om de eis gelijk te nemen aan die van het APT-C mengsel, namelijk een stijfheid die gelegen is tussen 7 000 MPa en 14 000 MPa. Deze eis is de stijfheid die getest wordt bij 15 °C en 10 Hz.



## 8. Beproevingmethoden

In onderstaand hoofdstuk beschrijft men de gebruikte testprocedures. Er wordt een extra opsplitsing gemaakt tussen bitumenproeven, controleproeven en asfaltproeven. Alle proeven worden, tenzij anders vermeld, conform de overeenkomstige norm uitgevoerd.

### 8.1. Bitumenproeven

#### 8.1.1. Breekpunt Fraass - NBN EN 12593

Tijdens de test van het breekpunt Fraass bepaalt men de temperatuur waarbij men een overeenkomstige PEN-waarde van 1 dmm bereikt. De test is conform NBN EN 12593 [20] uitgevoerd. Per testplaatje (41,00±0,05 mm x 20,00±0,02 mm x 0,15±0,02 mm) dient men 0,41 gram bitumen te smelten en gelijkmatig te verdelen over het oppervlak.

Na afkoeling wordt het plaatje in de opstelling geplaatst en dient het constant afgekoeld te worden met 1°C/min. Vanaf 8 tot 12 °C boven het te verwachten breekpunt start het buigen met 1 buiging/°C. Wanneer de opstelling breuk detecteert, is de proef afgelopen.

#### 8.1.2. Penetratiewaarde - NBN EN 1426

De penetratieproef is uitgevoerd conform NBN EN 1426 [21]. Na de bereiding en afkoeling van de samples heeft men deze telkens voor een duurtijd van 90 min in een waterbad van 25 °C geplaatst. Na de conditionering dient een naald van 100 gram de samples gedurende 5 seconden te penetreren. Vervolgens wordt de indringing gemeten en afgerond tot op het dichtstbijzijnde integer.

#### 8.1.3. Verwekingspunt - NBN EN 1427

Met de ring- en kogelmethode wordt het verwekingspunt van de bitumina bepaald. Het verwekingspunt komt overeen met een PEN-waarde van 800 dmm. De test wordt conform NBN EN 1427 [22] uitgevoerd. De samples dienen na het gieten minstens 30 min af te koelen op kamertemperatuur. Na het afkoelen dient men de samples tot op de juiste hoogte te trimmen.

Indien het te verwachten verwekingspunt onder 80 °C ligt, dient men gedemineraliseerd water te gebruiken als reagens en dient de initiële badtemperatuur (5±1) °C te bedragen. Wanneer het te verwachten verwekingspunt boven 80 °C ligt, wordt er gebruik gemaakt van glycerol als reagens en dient de initiële badtemperatuur (30±1) °C te bedragen. Nadat de samples in het juiste reagens geplaatst worden, dient men de initiële temperatuur aan te houden voor een duurtijd van minstens 15 min en maximum 20 min. Men dient er tevens voor te zorgen dat de kogels ook op de juiste initiële temperatuur zijn.

#### 8.1.4. LAS-test – AASHTO TP 101-14

De LAS-test wordt uitgevoerd conform AASHTO TP 101-14 [23], dit wil zeggen dat men samples voor de DSR dient voor te bereiden van 8 mm. Verder bestaat de test uit 2 delen: een frequentiesweep en een amplitudesweep. Aan de hand van de frequentiesweep bekomt men informatie omtrent de reologische eigenschappen van het bitumen. Tijdens de frequentiesweep doorloopt men onderstaande frequenties:

0,2 Hz	0,4 Hz	0,6 Hz	0,8 Hz	1,0 Hz	2,0 Hz	4,0 Hz	6,0 Hz	8,0 Hz	10,0 Hz	20,0 Hz	30,0 Hz
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------

Via de amplitudesweep, bij een frequentie van 10 Hz, meet men de schadekarakteristieken van het bitumen. Hierbij zal men een last laten oplopen, van 0% tot 30% van de maximale schuifspanning, gedurende 3100 cycli.

Het uiteindelijke doel van de LAS-test is het opstellen van een vermoeiingscurve van het bitumen. Hierbij zet men de vermoeiingsparameter  $N_f$  uit in functie van de opgelegde rek. De formule voor het bekomen van de vermoeiingscurve wordt weergegeven door Vgl. 8-1.

$$N_f = A(\gamma_{max})^{-B} \quad \text{Vgl. 8-1}$$

Waarbij:

- $N_f$  = Vermoeiingsparameter = aantal belastingscycli alvorens vermoeiing [ ]
- $\gamma_{max}$  = Maximale rek [%]
- A en B = Coëfficiënten bepaald volgens AASHTO TP 101-14 [23]

### 8.1.5. MSCR-test – NBN EN 16659

Tijdens de MSCR-test zal men een sample van 25 mm afwisselend belasten en ontlasten met behulp van een DSR-toestel. Deze test is uitgevoerd conform NBN EN 16659 [24]. Allereerst dient men de samples voor te bereiden door deze correct in het toestel te trimmen. Wanneer de test start, zullen de eerste 10 cycli een belasting van 100 Pa ondervinden en de laatste 10 cycli een belasting van 3200 Pa ondervinden. Elke cyclus bestaat uit de belasting die 1s duurt, gevolgd door een rustperiode van 9s. De belangrijkste parameter uit deze test is  $J_{nr,3200}$  en wordt weergegeven door Vgl. 8-2:

$$J_{nr,3200} = \frac{1}{10} \left\{ \sum_{n=1}^{10} \frac{\text{Blijvende vervorming}}{3,2} \right\} \quad \text{Vgl. 8-2}$$

### 8.1.6. Opstellen van een mastercurve en blackdiagram

De belasting op een wegstructuur is in de meeste gevallen dynamisch. Hierdoor zal het asfalt pulserende schuifkrachten ondervinden. Deze krachten zullen een vervorming of inwendige belasting in het materiaal teweeg brengen. Een maat voor de totale weerstand van het materiaal tegen deze situatie is  $G^*$ , zie Vgl. 8-3. Een materiaal met een hoge  $G^*$  zal stijver zijn dan een materiaal met een lage  $G^*$ .

$$G^* = \frac{\tau_{max}}{\gamma_{max}} \quad \text{Vgl. 8-3}$$

Waarbij:

- $G^*$  = de complexe modulus [Pa]
- $\tau_{max}$  = maximale schuifspanning [Pa]
- $\gamma_{max}$  = de maximale vervorming [ ]

Aangezien bitumen een visco-elastisch materiaal is, kan het gebeuren dat er een faseverschuiving ontstaat tussen de opgelegde spanning en de rek die het materiaal ondervindt. Het materiaal zal met andere woorden pas een tijd na de belasting vervorming ondervinden. Een maat voor deze faseverschuiving is de fasehoek  $\delta$ . Een materiaal met een kleine fasehoek zal zich elastisch gedragen en een materiaal met een grote fasehoek zal zich visceus gedragen.

Beide parameters kan men bekomen via een DSR-toestel. Om verkeer te simuleren kan men het best de frequentie van de belasting aanpassen: een lage frequentie komt overeen met traag rijdend verkeer en een hoge frequentie komt overeen met snel rijdend verkeer. In het visco-elastisch gebied hebben temperatuur en frequentie equivalente effecten, namelijk hoge temperaturen stemmen overeen met lage frequenties en andersom. Door combinaties te maken van verschillende frequenties met verschillende temperaturen onderzoekt men het volledige spectrum van de bindmideleigenschappen.

In dit onderzoek houdt men per frequentiesweep de temperatuur constant en zal men de sweeps herhalen bij verschillende temperaturen. Wanneer men de resultaten van deze testen plot op een curve, zullen alle temperaturen boven elkaar op een zelfde grafiek liggen. Door gebruik te maken van het tijd-temperatuur

superpositieprincipe shift men deze curves horizontaal waardoor men één aansluitend geheel krijgt, namelijk de mastercurve.

De meeste rekenprogramma's maken gebruik van een iteratief proces om de beste fit van de shiftfactoren te vinden. Dit kan echter een proces zijn dat veel tijd in beslag neemt. Hierdoor kan men best gebruik maken van vereenvoudigde procedures zoals de vergelijking van Williams-Landel-Ferry en de vergelijking van Arrhenius. Voor dit onderzoek werd er gebruik gemaakt van de software RHEA:

Om een frequentie te shiften, dient men de shiftfactor op te tellen bij de logaritme van de frequentie. Indien men een grafiek wilt op stellen die frequentieonafhankelijk is, en bijgevolg dus verkeersonafhankelijk is, kan men een blackdiagram opstellen. Hierbij plot men  $\delta$  in functie van  $G^*$ .

Elke frequentieweep bevat volgende frequenties:

0,01 Hz	0,02 Hz	0,05 Hz	0,1 Hz	0,2 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	10 Hz
---------	---------	---------	--------	--------	--------	------	------	------	-------

Elke frequentiesweep zal bij volgende temperaturen getest worden:

0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

## 8.2. Controleproeven

### 8.2.1. Dichtheden granulaten & vulstof – NBN EN 1097-6 & NBN EN 1097-7

Om de dichtheid van de granulaten te bepalen, wijkt men af van de traditionele norm NBN EN 1097-6 [25] en volgt men de procedure om de maximale dichtheid van asfalt te bepalen, zie 8.3.1 Bepaling van de maximale volumieke massa MVM. Alvorens men start met de test, worden de granulaten gewassen en gedroogd.

Om de dichtheid van de vulstof te bepalen, baseert men zich op NBN EN 1097-7 [26]. Hierbij maakt men gebruik van 3 pyknometers en een geschikt solvent. Als solvent is er gebruik gemaakt van toluen. De dichtheid van de vulstof wordt bepaald via Vgl. 8-4:

$$\rho_f = \frac{m_1 - m_0}{V - \frac{m_2 - m_1}{\rho_t}} \quad \text{Vgl. 8-4}$$

Waarbij:

- $m_0$  = de massa van de lege pyknometer met stop [g]
- $m_1$  = de massa van de pyknometer met stop gevuld met de testhoeveelheid [g]
- $m_2$  = de massa van de pyknometer met stop gevuld met testhoeveelheid en solvent [g]
- $V$  = volume van de pyknometer [ml]
- $\rho_t$  = dichtheid van toluen bij 25°C [Mg/m<sup>3</sup>]
- $\rho_f$  = dichtheid van de vulstof bij 25°C [Mg/m<sup>3</sup>]

### 8.2.2. Zeefcurves mengsel van granulaten – NBN EN 933-1

De zeefcurve van de mengsels van granulaten wordt bepaald volgens NBN EN 933-1 [27]. Voor de controle van de zeefcurve van het mengsel van de granulaten heeft men 3 maal het APT-C en AB-4C mengsel geproduceerd zonder bitumen en vulstof. Alvorens men de test kan starten, dient men de mengsels te wassen op een zeef van 0.063 mm. Nadien worden de mengsels gedroogd over een periode van 48 h op 110 °C. Indien men 3 maal een zeefproef van een mengsel uitgevoerd heeft, kan men de gemiddelde gecumuleerde zeefdoorval bepalen en deze vergelijken met de gegeven korrelverdeling.

## 8.3. Asfaltproeven

### 8.3.1. Bepaling van de maximale volumieke massa MVM – NBN EN 12697-5

De MVM van een mengsel is de volumieke massa waarbij het mengsel geen holle ruimtes vertoont. Men dient deze karakteristiek te kennen om het %HR van een mengsel te bepalen. Het bepalen van de MVM gebeurt conform Methode A van NBN EN 12697-5 [28]. De procedure schrijft voor dat de pyknometer in een waterbad op testtemperatuur geplaatst dient te worden voor een duurtijd die gelegen is tussen 30 min en 180 min. Men heeft alle mengsels gedurende 90 min in het waterbad geplaatst. De maximale volumieke massa wordt bepaald door middel van Vgl. 8-5.

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{10^6 * V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w}} \quad \text{Vgl. 8-5}$$

Waarbij:

- $m_1$  = de massa van de lege pyknometer met stop [g]
- $m_2$  = de massa van de pyknometer met stop gevuld met de testhoeveelheid [g]
- $m_3$  = de massa van de pyknometer met stop gevuld met testhoeveelheid en solvent [g]
- $V$  = volume van de pyknometer [ $m^3$ ]
- $P_{mv}$  = de MVM van het bitumineuze mengsel [ $Mg/m^3$ ]
- $P_w$  = de dichtheid van water bij de testtemperatuur [ $Mg/m^3$ ]

### 8.3.2. Bepaling van de schijnbare volumieke massa SVM – NBN EN 12697-6

Indien men de SVM hydrostatisch bepaalt, doet men dit conform methode B NBN EN 12697-6 [29]. Men kan de SVM tevens bepalen door deze van de gyrator af te lezen. Na het wegen van de droge massa worden de proefstukken voor een duurtijd van 30 min onder water geplaatst. Tijdens het wachten, wordt de temperatuur opgemeten door middel van een steekthermometer. De schijnbare volumieke massa wordt bepaald door middel van Vgl. 8-6.

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} * \rho_w \quad \text{Vgl. 8-6}$$

Waarbij:

- $m_1$  = de massa van het droge proefstuk [g]
- $m_2$  = de massa van het verzadigde proefstuk onder water [g]
- $m_3$  = de massa van het verzadigde proefstuk waarvan de oppervlakte droog is [g]
- $P_{bssd}$  = de SVM van het bitumineuze mengsel [ $Mg/m^3$ ]
- $P_w$  = de dichtheid van water bij de testtemperatuur [ $Mg/m^3$ ]

### 8.3.3. Bepaling van het %HR – NBN EN 12697-8

Er zijn 2 mogelijkheden om het %HR van een mengsel te bepalen. Een eerste manier is door het %HR af te lezen van de gyrator. Een tweede manier is door gebruik te maken van NBN EN 12697-8 [30]. Hierbij bepaalt men het %HR hydrostatisch door gebruik te maken van de MVM en de SVM, zie Vgl. 8-7.

$$\%HR = \frac{MVM - SVM}{MVM} * 100 \quad \text{Vgl. 8-7}$$

Waarbij:

- %HR = het percentage holle ruimte van het mengsel [%]
- MVM = de maximale dichtheid van het mengsel [ $Mg/m^3$ ]
- SVM = de schijnbare dichtheid van het mengsel [ $Mg/m^3$ ]

### 8.3.4. Bepaling van de indirecte treksterkte ITS en weerstand tegen watergevoeligheid ITSr NBN EN 12697-23 & NBN EN 12697-12

De weerstand tegen watergevoeligheid wordt bepaald conform Methode A van NBN EN 12697-12 [31]. De grootte wordt weergegeven door de verhouding van de ITS-waarden van een reeks geconditioneerde proefstukken op de ITS-waarden van een reeks niet geconditioneerde proefstukken, zie Vgl. 8-8.

$$ITS_r = \frac{ITS_{nat}}{ITS_{droog}} * 100 \quad \text{Vgl. 8-8}$$

Waarbij:

- ITS<sub>r</sub> = weerstand tegen watergevoeligheid [%]
- ITS<sub>nat</sub> = gemiddelde ITS van een natte geconditioneerde reeks [N/mm<sup>2</sup>]
- ITS<sub>droog</sub> = gemiddelde ITS van een droge opgeslagen reeks [N/mm<sup>2</sup>]

NBN EN 12697-23 [32] schrijft voor dat men minstens 3 proefstukken dient te testen om de ITS te bepalen. Men heeft ervoor gekozen om per test 4 proefstukken te testen. Alle proefstukken worden 7 dagen na aanmaak getest. De conditionering van de geconditioneerde proefstukken gebeurt door deze 70h in een waterbad te plaatsen op 40°C. Alvorens men de test start, worden alle proefstukken 3h bewaard in een koelkamer op 15 °C. De formule voor het bepalen van de ITS-waarde wordt weergegeven door Vgl. 8-9.

$$ITS = \frac{2 * F}{\pi * D * H} \quad \text{Vgl. 8-9}$$

Waarbij:

- ITS = de indirecte treksterkte van het mengsel [N/mm<sup>2</sup>]
- F = de geregistreerde pieklast [N]
- D = de gemiddelde diameter van het proefstuk [mm]
- H = de gemiddelde hoogte van het proefstuk [mm]

### 8.3.5. Bepaling van de weerstand tegen spoorvorming – NBN EN 12697-22

Voor het testen van de weerstand tegen spoorvorming worden er platen verdicht volgens tabel 3 (Sweep plan, heavy compaction, 1 tyre) van NBN EN 12697-33 [33]. De test zelf gebeurt conform NBN EN 12697-22 [34]. De conditioneringsovergangen gebeuren 11 dagen na aanmaak. Vervolgens test men op de 12<sup>e</sup> dag na aanmaak tot 20 000 cycli. De cycli 30 000 tot en met cycli 50 000 worden op de 13<sup>e</sup> dag na aanmaak getest. De test wordt uitgevoerd bij 50°C waarbij het wiel een frequentie van 1 Hz heeft met een bandendruk van 600 kPa ± 30 kPa.

### 8.3.6. Bepaling van de stijfheid – NBN EN 12697-26

Het bepalen van de stijfheid van de asfaltmengsels gebeurt conform NBN EN 12697-26 Bijlage A [35]. Dit wil zeggen dat men de stijfheid bepaalt via een tweepuntsbuiging op trapezoidale proefstukken. De test wordt uitgevoerd bij 0 °C, 15 °C en 30 °C. Om te verzekeren dat de meting niet destructief is, is er gekozen voor een maximale rek van 40 µε. Per testtemperatuur doorloopt men onderstaande frequenties:

0,1 Hz	0,2 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	10 Hz	20 Hz	25 Hz	30 Hz	0,1 Hz
--------	--------	--------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	--------

### 8.3.7. Bepaling van de weerstand tegen indeuking

De weerstand tegen indeuking wordt getest door middel van een statische drukproef op asfalt voor containerterminals. Hierbij drukt men een stempel van 6 cm op 6 cm in een proefstuk van 18 cm op 16,5 cm. De duurtijd van de test bedraagt 2h waarbij de stempel een kracht uitoefent van 15 kN bij een temperatuur van 50 °C. Aangezien deze test nog steeds onder validatie is bij het OCW bestaat er nog geen normering voor.

Indien men een enkele laag test, dient de totale dikte van het proefstuk 5 cm te bedragen. De beste resultaten bekomt men echter door een onderlaag te combineren met een toplaag. In dit geval dient de totale dikte van het proefstuk 10 cm te bedragen. Voor dit onderzoek heeft men gekozen voor een dikte van 4 cm voor de toplaag en een dikte van 6 cm voor de onderlaag. Alle mengsels worden 3 maal getest in combinatie met een APO-B mengsel als onderlaag.

Aangezien er geen kleeflaag voorhanden is, wordt de hechting bekomen door de mengsels warm in warm te verdichten. Dit doet men door eerst de onderlaag te verdelen in de mal, vervolgens de toplaag te verdelen in de mal en dan pas te starten met de verdichting volgens tabel 3 (Sweep plan, heavy compaction, 1 tyre) van NBN EN 12697-33 [33].

### **8.3.8. Bepaling van de weerstand tegen rafeling – CEN/TS 12697-50**

Om de weerstand tegen rafeling te bepalen, volgt men Bijlage B van TS 12697-50 [36], hierbij maakt men gebruik van de Darmstadt Scuffing Device DSD. Per mengsel test men 4 verschillende platen van 26cm\*26cm\*5cm bij 40 °C. De platen worden vervaardigd uit grote platen die verdicht worden volgens tabel 4 (sweep plan, heavy compaction, 2 tyres) van NBN EN 12697-33 [33].

Er wordt echter van de standaardprocedure afgeweken doordat er 3 reeksen van 10 belastingcycli uitgevoerd worden. Dit doet men opdat er een duidelijker onderscheid zou zijn tussen de verschillende mengsels. De belastingcycli die men uitvoert zijn:

- Reeks 1: Een band met een bandendruk van 3 bar wordt neergelaten op de plaat met een statische drukkracht van 1,0 kN.
- Reeks 2: Een band met een bandendruk van 3 bar wordt neergelaten op de plaat met een statische drukkracht van 1,5 kN.
- Reeks 3: Een band met een bandendruk van 3 bar wordt neergelaten op de plaat met een statische drukkracht van 2,0 kN.

## 9. Resultaten

Dit hoofdstuk bespreekt alle resultaten van het onderzoek. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen bitumen-, controle- en asfaltproeven. Zoals reeds vermeld verloopt het onderzoek in 3 verschillende fasen. Indien een proef in meerdere fasen uitgevoerd werd, zal dit duidelijk vermeld worden in de resultaten.

### 9.1. Bitumenproeven

Bij de start van het onderzoek worden er 3 verschillende bitumina gebruikt: 1 niet gemodificeerd (= REF) en 2 polymeer gemodificeerde bitumina (PmB1 en PmB2). Het is de bedoeling om op basis van deze testen, en de asfalttesten uit de eerste fase, 1 PmB te schrappen voor het verdere verloop van het onderzoek.

#### 9.1.1. Breekpunt Fraass – NBN EN 12593

Een samenvatting van de resultaten van het bepalen van het breekpunt Fraass wordt weergegeven in Tabel 9-1. De individuele resultaten zijn terug te vinden in Bijlage 12.7 Individuele resultaten breekpunt Fraass. Uit de resultaten blijkt dat PmB2 het beste gedrag vertoont bij lage temperatuur. Tevens besluit men dat de gemeten waarden en de waarden van de producent telkens dicht bij elkaar liggen.

Tabel 9-1 Samenvattende tabel breekpunt Fraass

Bitumen	Waarde volgens producent [°C]	Gemiddelde gemeten waarde [°C]	Stdev.s op gemeten waarde [°C]
REF	-12	-11	1,2
PmB2	-16	-17	1
PmB1	-11	-11	1

#### 9.1.2. Penetratieproef – NBN EN 1426

Tabel 9-2 geeft een samenvatting van de resultaten van de penetratieproef. Uit de resultaten blijkt dat PmB1 het stijfste bitumen bij 25 °C is en dat REF zich het minst stijve gedraagt. Tevens valt op dat het verschil tussen de waarde volgens de producent en de gemeten waarde het grootste is bij PmB1, namelijk 10 dmm. De individuele resultaten van de penetratieproef worden weergegeven in Bijlage 12.8 Individuele resultaten penetratieproef.

Tabel 9-2 Samenvattende tabel penetratieproef

Bitumen	Waarde volgens producent [dmm]	Gemiddelde gemeten waarde [dmm]	Stdev.s op gemeten waarde [dmm]
REF	59	55	1
PmB2	53	49	0
PmB1	22	32	1

### 9.1.3. Verwekingspunt – NBN EN 1427

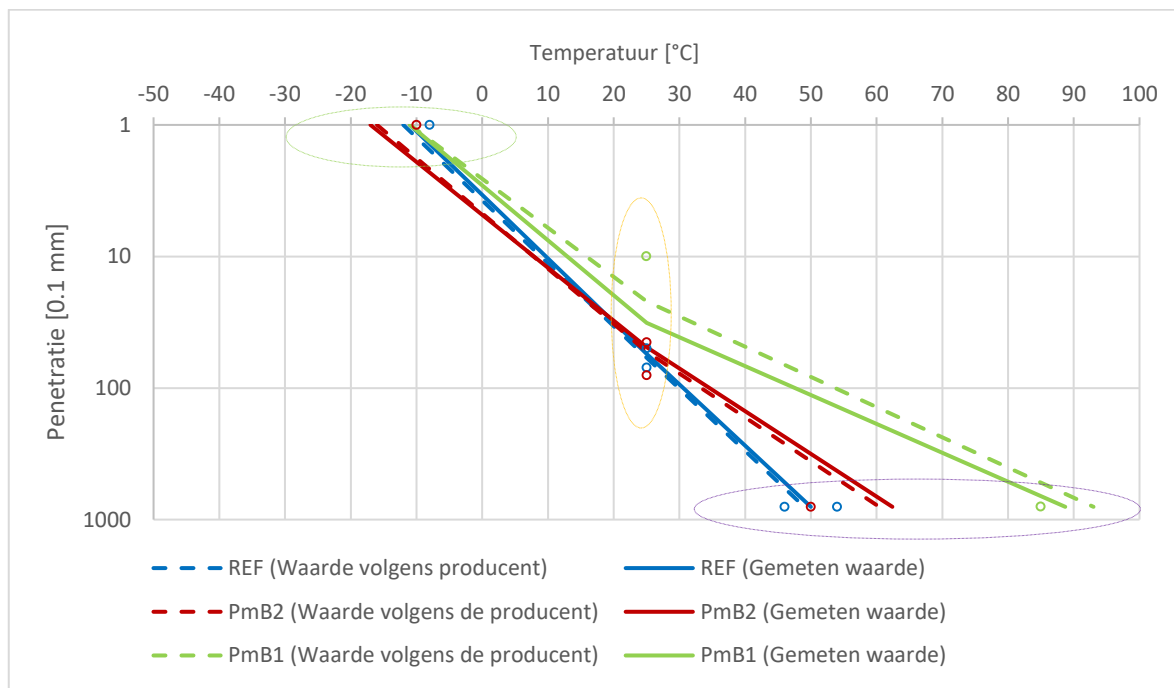
De gemiddelde resultaten van de bepaling van het verwekingspunt van de bitumina staan weergegeven in Tabel 9-3. De individuele resultaten kan men terug vinden in Bijlage 12.9 Individuele resultaten verwekingspunt. De werking van het polymeer wordt bij deze test zeer duidelijk. Het verwekingspunt van PmB2 ligt 12,4 °C boven het verwekingspunt van REF. Verder ligt het verwekingspunt van PmB1 38,7 °C boven het verwekingspunt van REF. De gemodificeerde bitumina vertonen duidelijk een beter gedrag bij hoge temperatuur.

Tabel 9-3 Samenvattende tabel verwekingspunt

Bitumen	Waarde volgens producent [°C]	Gemiddelde gemeten waarde [°C]	Stdev.s op gemeten waarde [°C]
REF	49,0	50,0	0,3
PmB2	60,4	62,4	0,9
PmB1	93,0	88,7	0,1

### 9.1.4. Consistentiecurve: Heukeloms monogram

Een visuele methode om voorgaande bitumentesten voor te stellen, is via een consistentiecurve. Doordat er geen viscositeitsmetingen uitgevoerd zijn, kan men slechts een gedeeltelijke consistentiecurve opstellen. De curve wordt opgesteld door het breekpunt Fraass (groen gebied), de penetratiewaarde (oranje gebied) en het verwekingspunt (paars gebied) uit te zetten in een grafiek waarbij men de penetratie voorstelt in functie van de temperatuur.



Figuur 9-1 Gedeeltelijke consistentiecurve of Heukeloms monogram

Uit Figuur 9-1 blijkt dat de te verwachten consistentiecurves van REF en PmB2 de werkelijke consistentiecurves goed benaderen. Enkel de te verwachten consistentiecurve en de werkelijke consistentiecurve van PmB1 liggen verder uit elkaar. Dit komt door een verschil van  $(10 \pm 1)$  dmm bij de penetratieproef en een verschil van  $(4,3 \pm 0,1)$  °C bij de ring- en kogelproef. Alle consistentiecurves voldoen aan de eisen, voorgesteld door punten op de grafiek, voor minimale en/of maximale waarden.



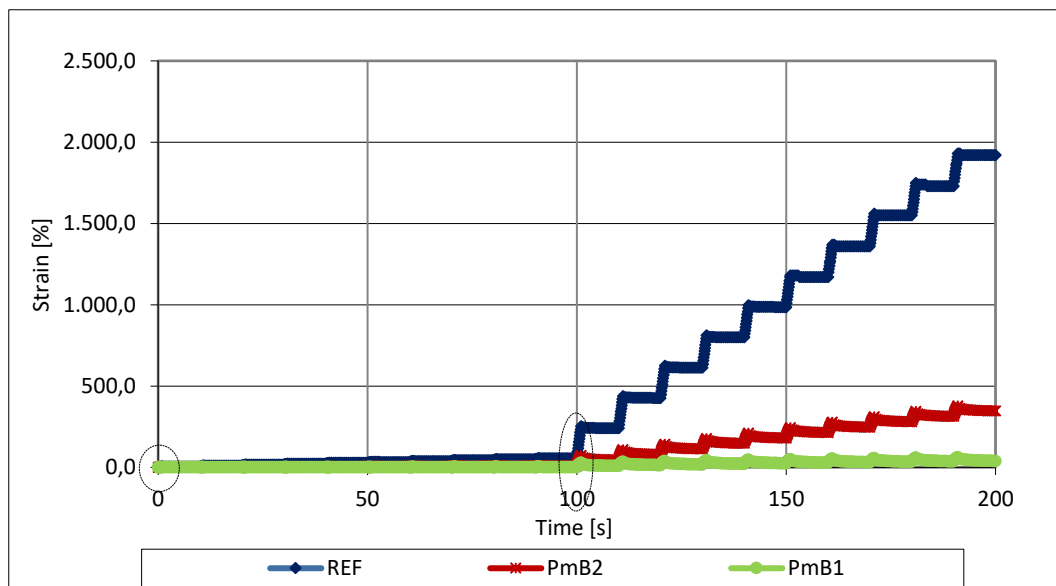
Via deze curve wordt het tevens mogelijk om het gedrag van asfalt bij bepaalde temperaturen te voorspellen. Zo zal de ITS-test bij 15 °C plaatsvinden. Bij 15 °C zal PmB1 zich het stijfst gedragen, terwijl PmB2 zich het minst stijve zal gedragen. Hierdoor valt te voorspellen dat het mengsel met PmB1 de grootste kracht zal kunnen verdragen en het mengsel met het PmB2 de kleinste kracht zal kunnen verdragen bij de test.

De wielspoorproef vindt plaats bij 50°C. Opnieuw zal PmB1 zich het stijfst gedragen. Dit maal scoort REF echter slechter dan PmB2. Men kan voorspellen dat de grootste spoorvorming zal plaatsvinden bij het mengsel met REF en de kleinste spoorvorming zal plaatsvinden bij het mengsel met PmB1.

### 9.1.5. DSR-metingen

#### I. MSCR-test – NBN EN 16659

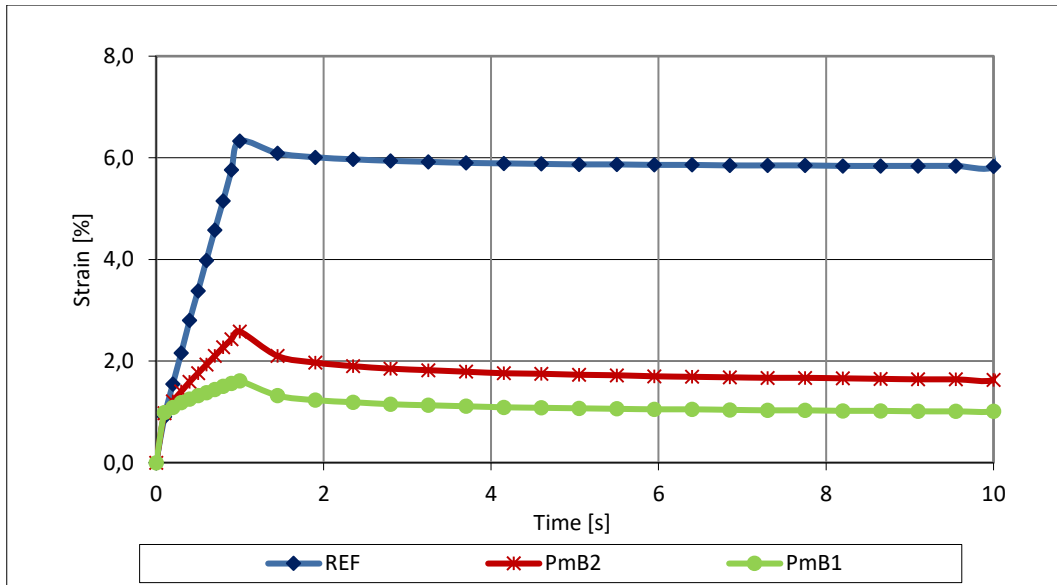
De visuele voorstelling van de MSCR test wordt weergegeven in Figuur 9-2. Zoals reeds vermeld ondervinden de bitumina gedurende de eerste 10 cycli een belasting van 100 Pa en gedurende de laatste 10 cycli een belasting van 3200 Pa. Elke cyclus bestaat uit 10 seconden waarbij men het bitumen gedurende de eerste seconde belast en het bitumen gedurende de resterende 9 seconden ontlast.



Figuur 9-2 Resultaat MSCR test

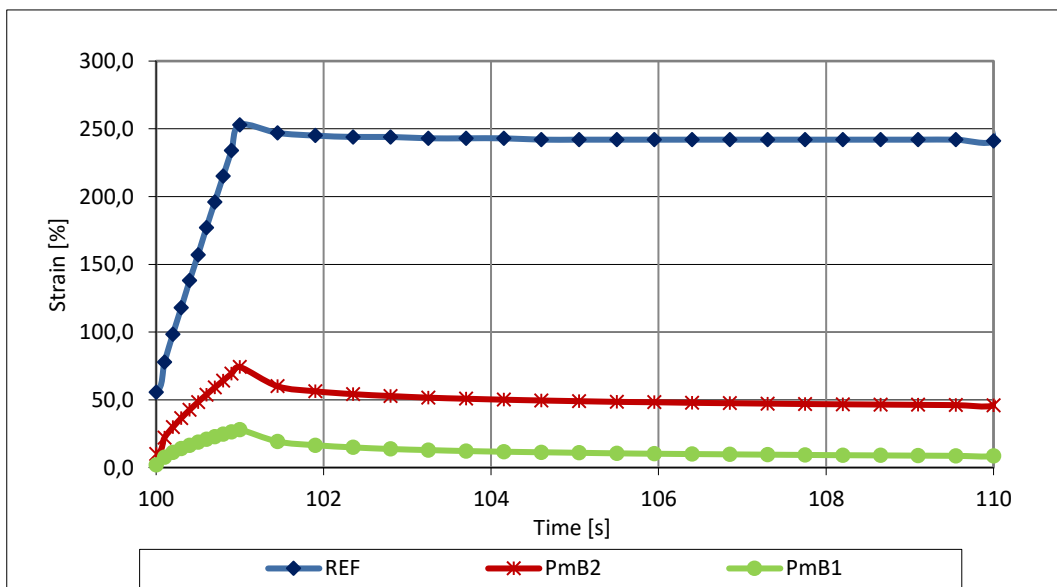
Figuur 9-2 toont aan dat de vervormingen van de gemodificeerde bitumina lager liggen dan de vervorming van het niet gemodificeerde bitumen. Deze bevinding wordt duidelijker indien men een cyclus in detail bekijkt.

Figuur 9-3 is een detail van de eerste cyclus bij 100 Pa en Figuur 9-4 is een detail van de eerste cyclus bij 3200 Pa. Het verloop van de curves is voor beide figuren dezelfde. Indien men echter naar de rekken kijkt, ziet men duidelijk een verschil tussen beide figuren. De details geven weer wat men verwacht: bij een hogere belasting ondervindt men meer vervorming. Verder ziet men bij de start van het detail bij 3200 Pa de curve van REF verticaal omhoog schuiven. Deze sprong is de opgeslagen rek van de eerste 10 cycli.



Figuur 9-3 Detail cyclus 1 bij 100 Pa

De parameter  $J_{nr,3200}$  wordt duidelijk via Figuur 9-4. Wanneer het bitumen belast wordt, vindt er een stijging van de rek plaats. Vervolgens zal het bitumen gedeeltelijk terugveren en bouwt de rek opnieuw af. Het verschil tussen de maximale rek van de cyclus en de rek na terugvering is de opgeslagen rek. Wanneer men de verhouding van de opgeslagen rek en 3200 Pa als belasting neemt, bekomt men de parameter  $J_{nr,3200}$ . Hoe lager deze parameter, hoe lager de permanente vervorming. Men bekomt de volgende resultaten voor  $J_{nr,3200}$ : PmB1 = 0,012, PmB2 = 0,105 en REF = 0,583. Hierdoor verwacht men dat de spoorvorming het hoogste zal zijn bij de mengsels met REF en het laagste zullen zijn bij de mengsels met PmB1.

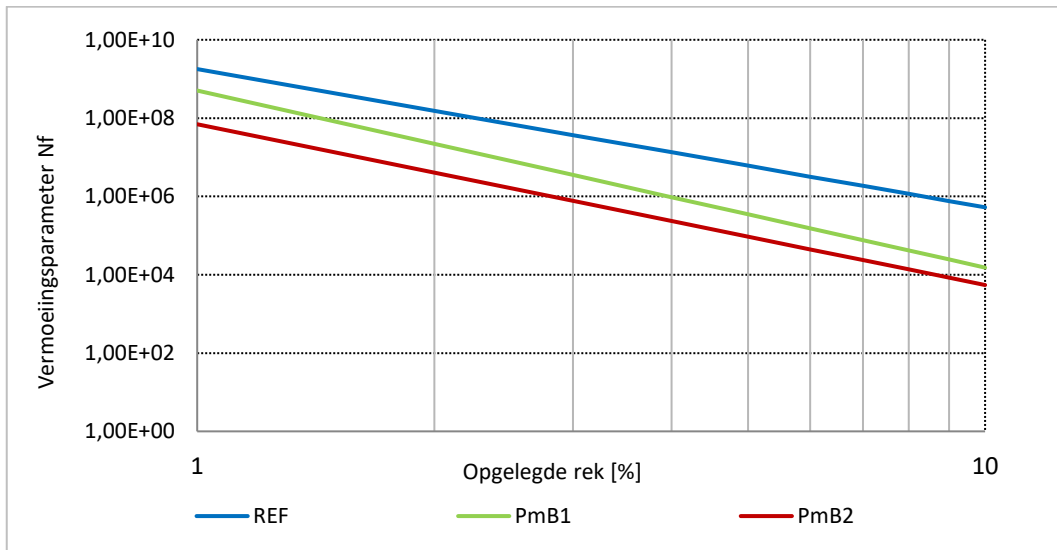


Figuur 9-4 Detail cyclus 1 bij 3200 Pa

Figuur 9-4 geeft tevens een goede visuele voorstelling van het doel van modificatie: een stijver bitumen dat zich elastischer gedraagt. De verlaging van de piek van de rek toont aan dat men door modificatie een stijver bitumen bekomt. Uit de figuur blijkt tevens dat de gemodificeerde bitumina een hoger percentage terugvering hebben waardoor men de stijging van het elastisch gedrag door modificatie aantooit.

## II. LAS-test – AASHTO TP 101-14

Via de LAS test beschrijft men het vermoeiingsgedrag van de bitumina. Figuur 9-5 geeft de vermoeiingsparameter in functie van de opgelegde rek weer. Als eerste besluit men wat men verwacht, namelijk dat er sneller vermoeiing optreedt bij een hogere rek.



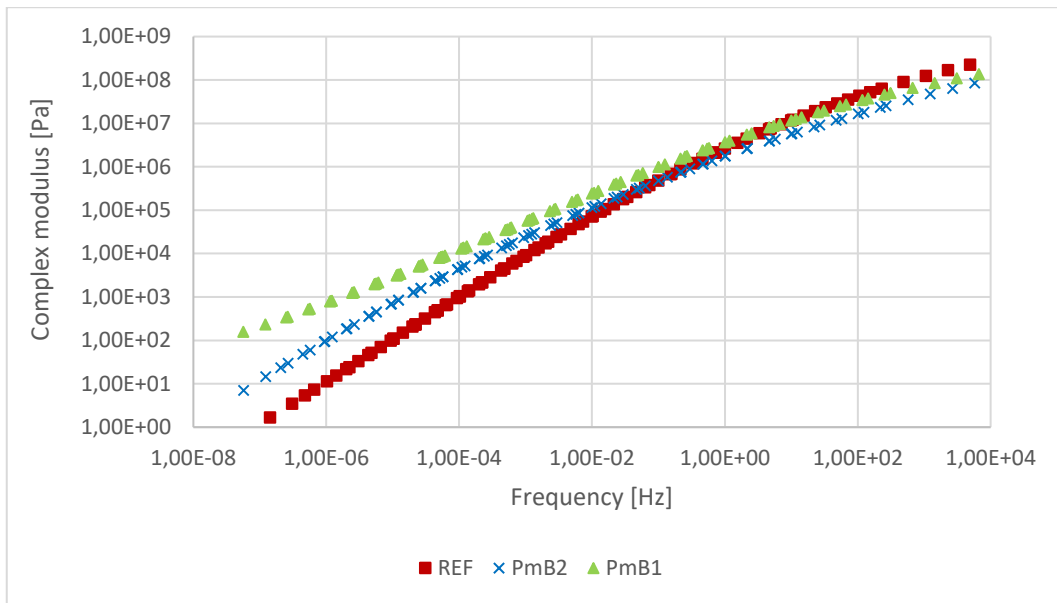
*Figuur 9-5 Vermoeiingsparameter in functie van de beschouwde rek*

Een bitumen met een lagere vermoeiingsparameter zal minder belast kunnen worden alvorens er schade optreedt, het zal zich dus stijver gedragen. Aangezien de test uitgevoerd wordt bij 10 °C, kan men de resultaten vergelijken met de PEN-waarde bij 10 °C, zie Figuur 9-1. Volgens de consistentiecurve is PmB1 het stijfst en PmB2 het minst stijve. Volgens de consistentiecurve dan zou PmB1 de laagste vermoeiingsparameter moeten hebben en PmB2 de hoogste vermoeiingsparameter moeten hebben.

Dit komt niet overeen met wat men besluit uit deze test. Volgens de LAS-test gedraagt PmB2 zich het stijfst waardoor deze de minste weerstand tegen vermoeiing heeft. REF zou zich het minst stijve gedragen en dus de beste weerstand tegen vermoeiing hebben.

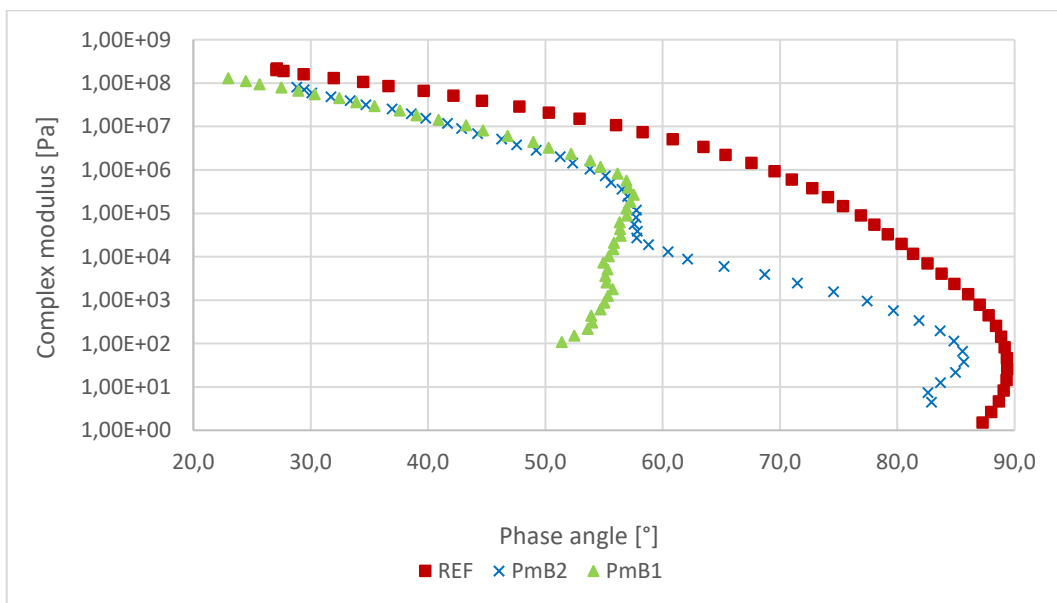
### III. Mastercurve en blackdiagram

Figuur 9-6 maakt de vergelijking tussen de mastercurves van de 3 bitumina. De niet geshifte curves zijn terug te vinden in Bijlage 12.10 Niet geshifte mastercurves. Bij de lagere frequenties heeft PmB1 de hoogste weerstand en REF de laagste weerstand tegen de opgelegde belasting. Naarmate de frequentie toeneemt, ziet men de mastercurves dichter tegen elkaar verschuiven. Bij de hoge frequenties zal REF de hoogste weerstand en PmB2 de laagste weerstand tegen de opgelegde belasting hebben. Men besluit dat men bij traag rijdend verkeer beter PmB1 gebruikt en bij snel rijdend verkeer beter REF gebruikt.



Figuur 9-6 Vergelijking mastercurves bij een referentietemperatuur van 15°C

Door de blackdiagrammen met elkaar te vergelijken, kan men een verkeersonafhankelijk besluit vormen. Figuur 9-7 toont duidelijk het elastisch gedrag van een PmB aan: wanneer men voor eenzelfde  $G^*$  de curves vergelijkt, ziet men de curves van de PmB's naar links verschuiven.



Figuur 9-7 Vergelijking blackdiagrammen

### 9.1.6. Besluit uit de bitumenproeven

Uit de gedeeltelijke consistentiecurve besluit men dat PmB2 het beste gedrag vertoont bij lagere temperaturen en dus een hogere weerstand tegen brosse breuk zal hebben. Bij de hogere temperaturen vertoont PmB1 de beste weerstand tegen vervorming en REF de minste weerstand tegen vervorming.

Uit de MSCR-test besluit men dat REF de meeste vervorming ondervindt en het laagste percentage terugvering heeft. PmB1 ondervindt de minste vervorming en heeft het hoogste percentage terugvering. Hierdoor verwacht men dat PmB1 de minste spoorvorming zal ondervinden en REF de meeste spoorvorming zal ondervinden. De LAS-test toont aan dat REF de hoogste weerstand tegen vermoeiing heeft en dat PmB2 de minste weerstand tegen vermoeiing heeft.

Bij lage frequenties zal PmB1 de hoogste  $G^*$  hebben en REF de laagste  $G^*$  hebben. Hierdoor verwacht men dat mengsels met PmB1 bij traag rijdend verkeer de minste vervormingen zullen ondervinden en mengsels met REF de hoogste vervormingen zullen ondervinden. Bij hoge frequenties heeft REF de hoogste  $G^*$  en PmB2 de laagste  $G^*$ . Men verwacht dat bij snel rijdend verkeer de mengsels met REF de minste vervormingen zullen ondervinden en de mengsels met PmB2 de hoogste vervormingen zullen ondervinden.

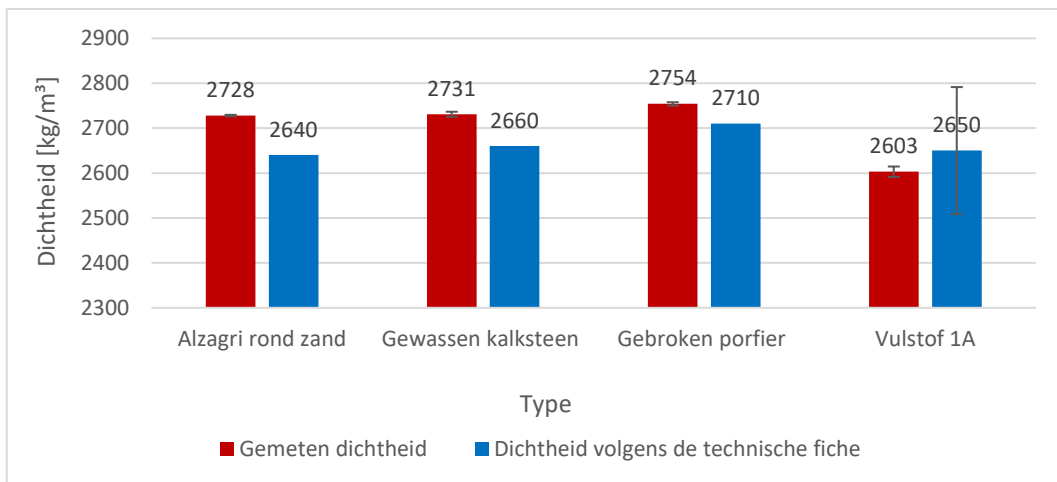
Het blackdiagram toont duidelijk het elastisch gedrag van de PmB's aan: bij eenzelfde  $G^*$  hebben de PmB's een lagere  $\delta$ . PmB1 vertoont de laagste fasehoeken waardoor het zich elastischer gedraagt dan de andere bitumina. REF vertoont de hoogste fasehoeken waardoor het zich visceuzer gedraagt dan de andere bitumina.

Aangezien men in de tweede fase slechts 1 PmB wilt vergelijken met het referentiebitumen, dient men PmB1 met PmB2 te vergelijken. Wanneer men PmB1 met PmB2 vergelijkt, heeft PmB2 enkel een beter gedrag bij negatieve temperaturen. PmB1 scoort het beste bij de andere testen en zal dus aanbevolen worden bij het verder verloop van de asfalttesten in de tweede en derde fase.

## 9.2. Controleproeven

### 9.2.1. Dichtheden granulaten & vulstof – NBN EN 1097-6 en NBN EN 1097-7

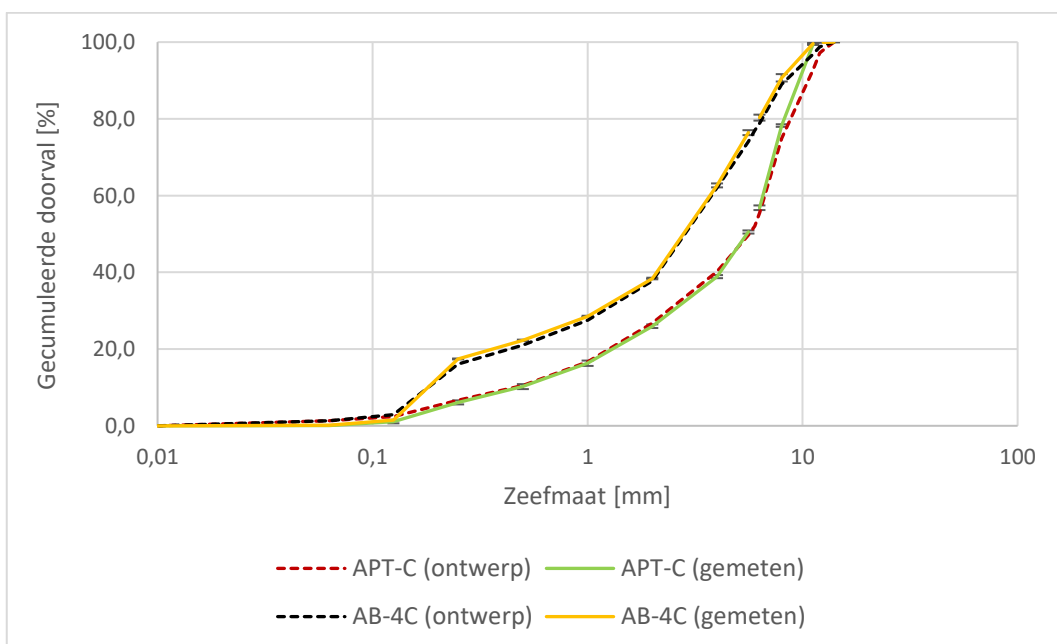
Figuur 9-8 maakt de vergelijking tussen de dichtheden volgens de technische fiche en de gemeten dichtheden van de granulaten en de vulstof. De individuele testresultaten zijn terug te vinden in Bijlage 12.11 Resultaten dichtheden granulaten en vulstof. Uit de resultaten van de granulaten blijkt dat deze een hogere dichtheid hebben dan men verwacht. Hierdoor zal de te verwachten MVM van de asfaltmengsels ook stijgen. Er wordt geen besluit genomen omtrent de vulstof vanwege de grote afwijking op de technische fiche.



Figuur 9-8 Vergelijking gemeten dichtheid en dichtheid volgens de producent

### 9.2.2. Korrelverdeling mengsel van granulaten – NBN EN 933-1

Figuur 9-9 geeft de resultaten weer van de zeefproef, hierin vergelijkt men de bekomen zeefcurves met de zeefcurves zonder vulstof volgens Pradowin. Uit de resultaten besluit men dat de ontworpen korrelverdelingen en de gemeten korrelverdelingen elkaar goed benaderen. De korrelverdeling zonder vulstof is terug te vinden in Bijlage 12.12 Theoretische korrelverdeling zonder vulstof. De zeefresten per zeefmaat zijn terug te vinden in Bijlage 12.13 Gemeten korrelverdeling zonder vulstof.

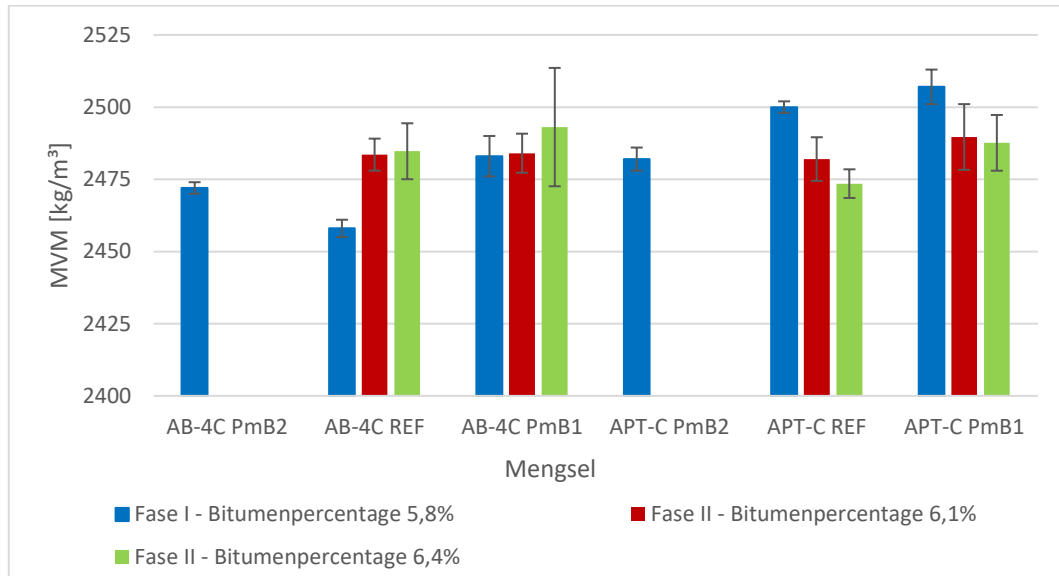


Figuur 9-9 Nazicht korrelverdeling van mengsel van granulaten

## 9.3. Asfaltproeven

### 9.3.1. Bepaling van de maximale volumieke massa MVM – NBN EN 12697-5

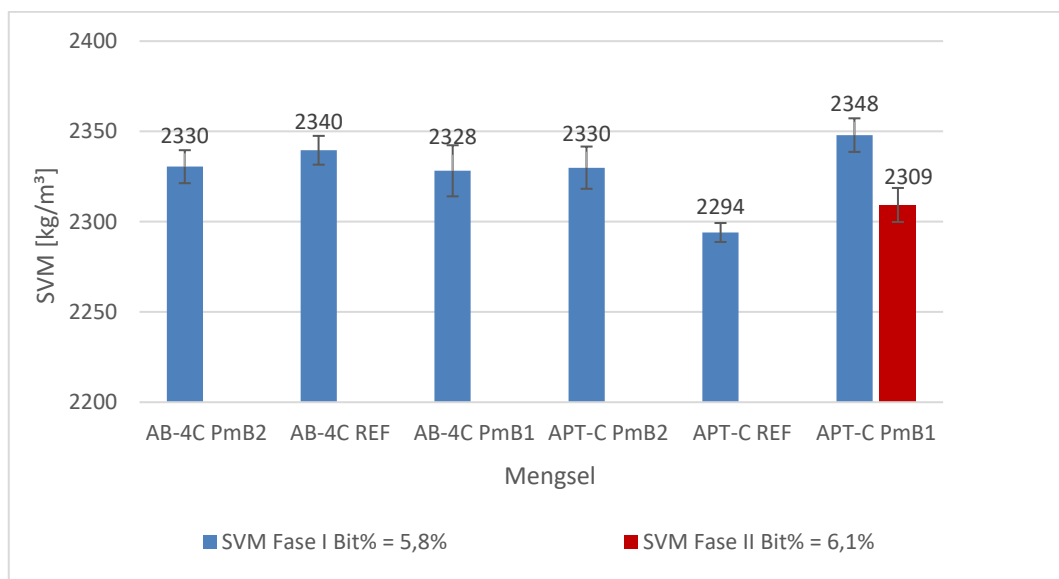
Figuur 9-10 maakt de vergelijking tussen de resultaten van de MVM van de mengsels uit de eerste fase en de MVM van de mengsels uit de tweede fase. Er valt geen eenduidig besluit te vormen over de invloed van het mengseltype en het bitumenpercentage. De individuele resultaten van de MVM-metingen zijn terug te vinden in Bijlage 12.14 Resultaten MVM.



Figuur 9-10 Vergelijking resultaten MVM

### 9.3.2. Bepaling van de schijnbare volumieke massa SVM – NBN EN 12697-6

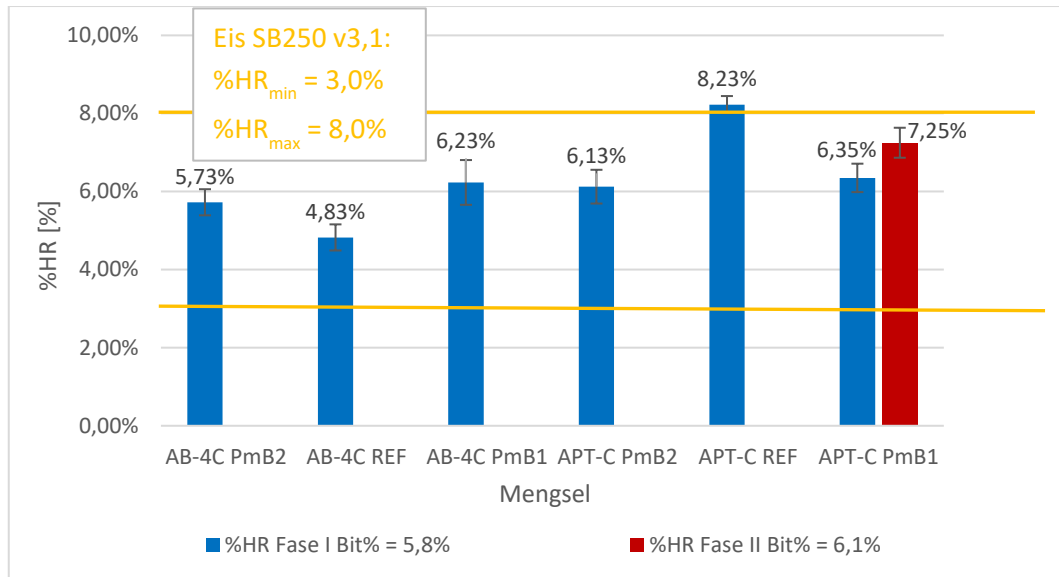
Indien men de standaardafwijking mee in rekening neemt, toont Figuur 9-11 aan dat 5 mengsels een vergelijkbare SVM hebben tijdens de eerste fase. Enkel het APT-C mengsel met het referentiebitumen wijkt af van deze grootteorde. Om een fout tijdens de productie uit te sluiten, werd het mengsel opnieuw aangemaakt en getest. Bij het bepalen van de nieuwe SVM bleken de resultaten gelijkaardig te zijn aan de resultaten van de eerste meting. De individuele resultaten van alle metingen zijn terug te vinden in Bijlage 12.15 Resultaten SVM<sub>hydro</sub> & %HR<sub>hydro</sub> en Bijlage 12.16 Resultaten SVM<sub>gyr</sub> & %HR<sub>gyr</sub>.



Figuur 9-11 Vergelijking resultaten hydrostatische SVM

### 9.3.3. Bepaling van het %HR – NBN EN 12697-8

Uit Figuur 9-12 blijkt dat het APT-C mengsel met 5,8% REF over de bovengrens van het standaardbestek SB250 v3.1 ligt. Hierdoor kan men technisch gezien niet meer spreken van een dicht mengsel. Wanneer men de afwijking echter in rekening neemt, komt men op de grens te liggen. Hierdoor zal men het mengsel toch aan verdere testen onderwerpen. Om een fout tijdens de productie uit te sluiten, werd het mengsel opnieuw aangemaakt en getest. Men bekam dezelfde resultaten, hierdoor neemt men aan dat er geen productiefout heeft plaats gevonden.



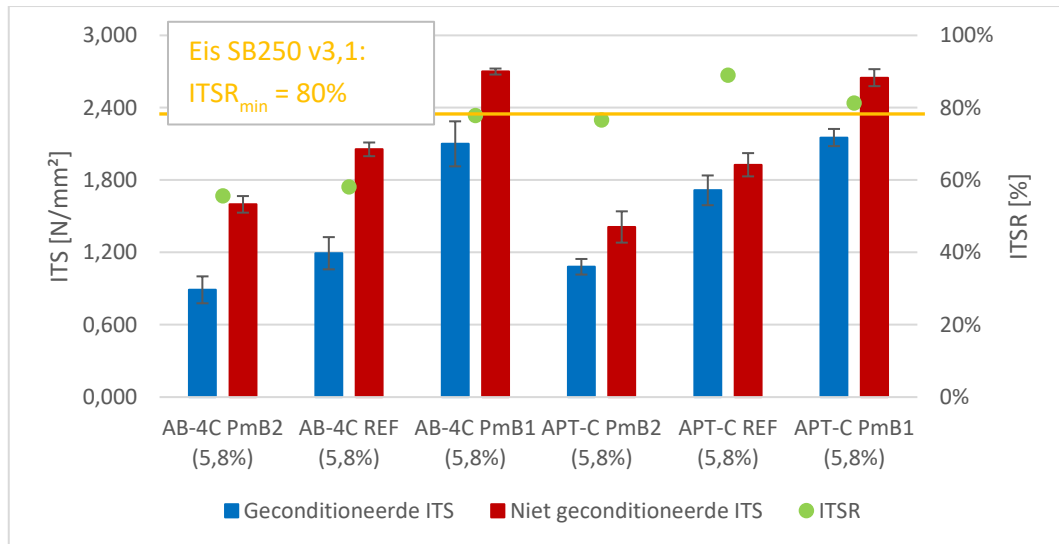
Figuur 9-12 Vergelijking resultaten %HR volgens de gyrator

Indien men de standaardafwijking in rekening neemt, is er geen verschil tussen het %HR van de AB-4C mengsels met PmB en de APT-C mengsels met PmB. Enkel voor de mengsels met REF ziet men dat het AB-4C mengsel een lager %HR heeft dan het APT-C mengsel. Door het bitumenpercentage te verhogen, bekomt men een hoger %HR. Dit is het tegenovergestelde van wat men verwacht. De individuele resultaten zijn terug te vinden in Bijlage 12.15 Resultaten SVM<sub>hydro</sub> & %HR<sub>hydro</sub> en Bijlage 12.16 Resultaten SVM<sub>gyr</sub> & %HR<sub>gyr</sub>.



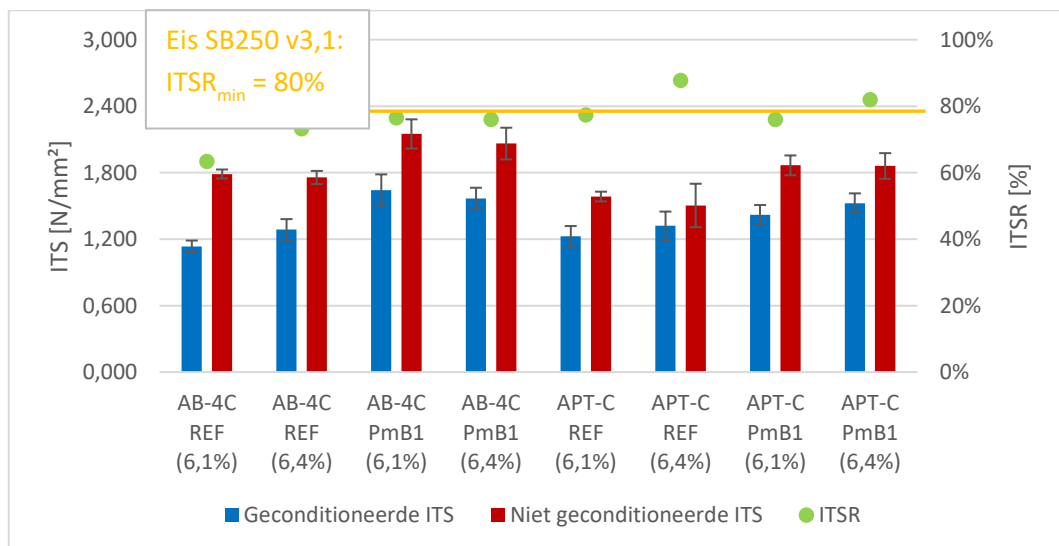
### 9.3.4. Bepaling van de ITS en ITSr – NBN EN 12697-23 en NBN EN 12697-12

Figuur 9-13 toont de resultaten van de ITS(R) van de mengfels uit de eerste fase. De niet geconditioneerde reeksen van de AB-4C mengfels hebben hogere ITS waarden dan de niet geconditioneerde reeksen van de APT-C mengfels. Voor de geconditioneerde reeksen geldt het tegenovergestelde, namelijk dat de APT-C mengfels een hogere ITS waarde hebben dan de AB-4C mengfels. Door bovenstaande bevindingen te combineren, bekomt men automatisch dat de ITSr van de APT-C mengfels hoger liggen dan de ITSr van de AB-4C mengfels. Alle individuele resultaten zijn terug te vinden in Bijlage 12.17 Resultaten ITS & ITSr.



Figuur 9-13 Vergelijking resultaten ITS(R) - Fase I

PmB1 oefent duidelijk een positieve invloed uit op de ITS waarden ten opzichte van het referentiebitumen. PmB2 oefent daarentegen een negatieve invloed uit op de ITS waarden ten opzichte van het referentiebitumen. Indien men dit vergelijkt met de voorspellingen uit de consistentiecurve bekomt men hetzelfde resultaat.



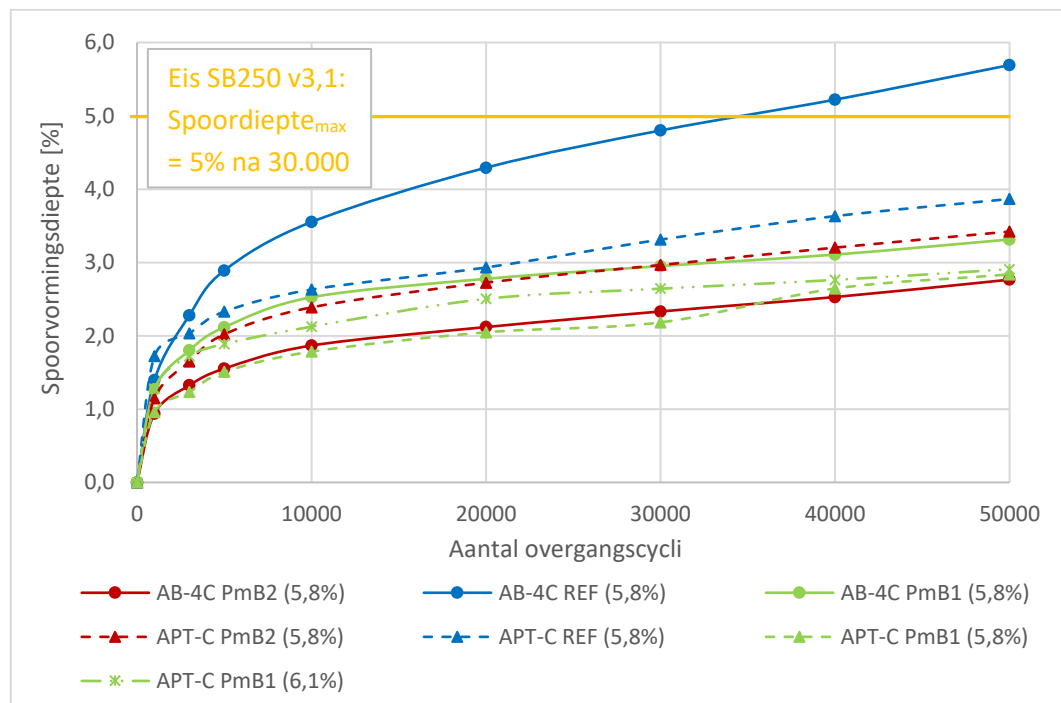
Figuur 9-14 Vergelijking resultaten ITS(R) - Fase II

Indien men tijdens fase II het bitumenpercentage verhoogt, ziet men dat de ITS waarden van de niet geconditioneerde reeksen van de AB-4C mengsels opnieuw hoger liggen dan de waarden van de APT-C mengsels. Over de geconditioneerde reeksen valt geen eenduidig besluit te vormen. Uit Figuur 9-14 blijkt dat de ITS waarden stijgen wanneer men het bitumenpercentage verhoogt. Wanneer men enkel en alleen rekening houdt met de ITS waarde heeft het verhogen van het bitumenpercentage een positieve invloed.

Men dient ook echter rekening te houden met de hoge lasten waardoor de ITS waarde tevens van belang is. Een stijging van het bitumenpercentage heeft een negatieve invloed op de ITS waarden. Daarom besluit men dat een verhoging van het bitumenpercentage een negatieve invloed zal hebben op de mengsels voor deze test.

### 9.3.5. Bepaling van de weerstand tegen spoorvorming – NBN EN 12697-22

Uit Figuur 9-15 kan men besluiten dat alle mengsels voldoen aan de opgelegde eis van 5% uit het standaardbestek SB250 v3.1. Het AB-4C mengsel met 5,8% REF vertoont de grootste spoorvorming. Het APT-C mengsel met 5,8% PmB1 vertoont samen met het APT-C mengsel met 5,8% PmB2 de minste spoorvorming.

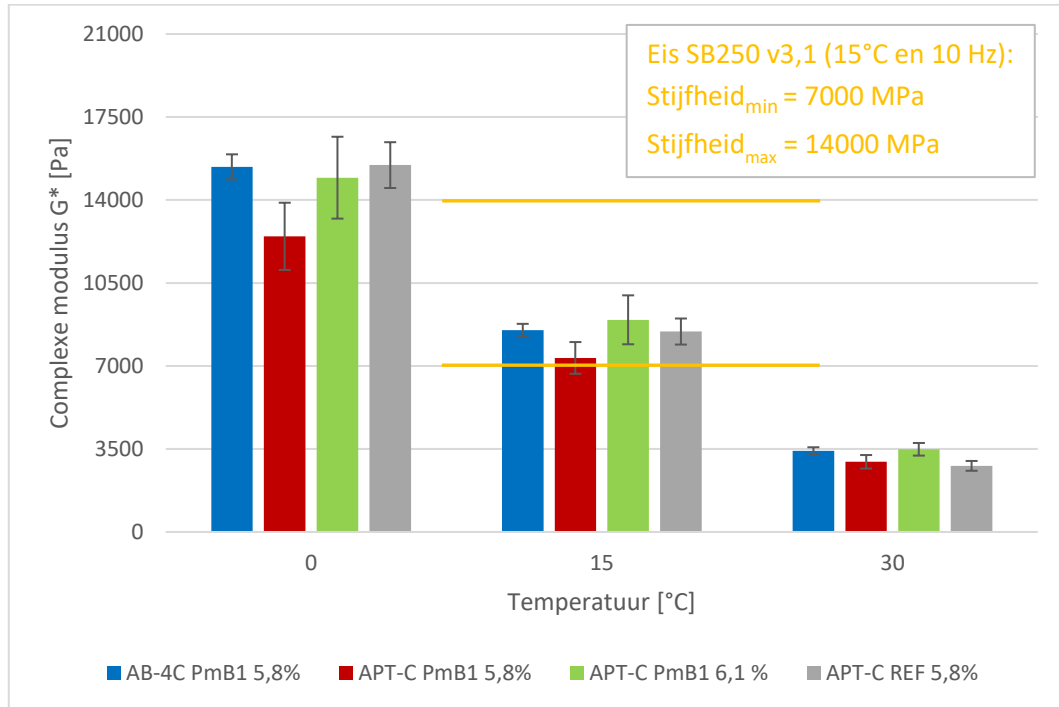


Figuur 9-15 Vergelijking resultaten wielspoorproef

Indien men het APT-C mengsel met 6,1% PmB1 vergelijkt met het APT-C mengsel met 5,8% PmB1, dan ziet men dat een verhoging van het bitumenpercentage een negatieve invloed heeft op de weerstand tegen spoorvorming. Verder ziet men dat het gebruik van een PmB een positieve invloed uitoefent op de weerstand tegen spoorvorming. Indien men dit besluit vergelijkt met het besluit uit de bitumentesten, bekomt men dezelfde bevinding. De individuele resultaten van de wielspoorproeven vindt men terug in Bijlage 12.18 Resultaten wielspoorproef.

### 9.3.6. Bepaling van de stijfheid – NBN EN 12697-26

Figuur 9-16 toont de resultaten van meerdere metingen. Het standaardbestek legt echter enkel een eis op voor de stijfheid bij 15°C en 10 Hz. De metingen die aan de eis moeten voldoen, worden weergegeven tussen de oranje lijnen. Men besluit dat alle mengsels voldoen aan de gestelde eis. De individuele resultaten van de stijfheidsmetingen zijn terug te vinden in Bijlage 12.19 Resultaten stijfheidsmetingen.



Figuur 9-16 Stijfheden bij 0°C, 15°C en 30 °C op 10 Hz

Door het AB-4C mengsel met 5,8% PmB1 te gaan vergelijken met het APT-C mengsel met 5,8% PmB1 kan men de invloed van het mengseltype bepalen. Uit Figuur 9-16 blijkt dat het AB-4C mengsel telkens een hogere stijfheid heeft in vergelijking met het APT-C mengsel.

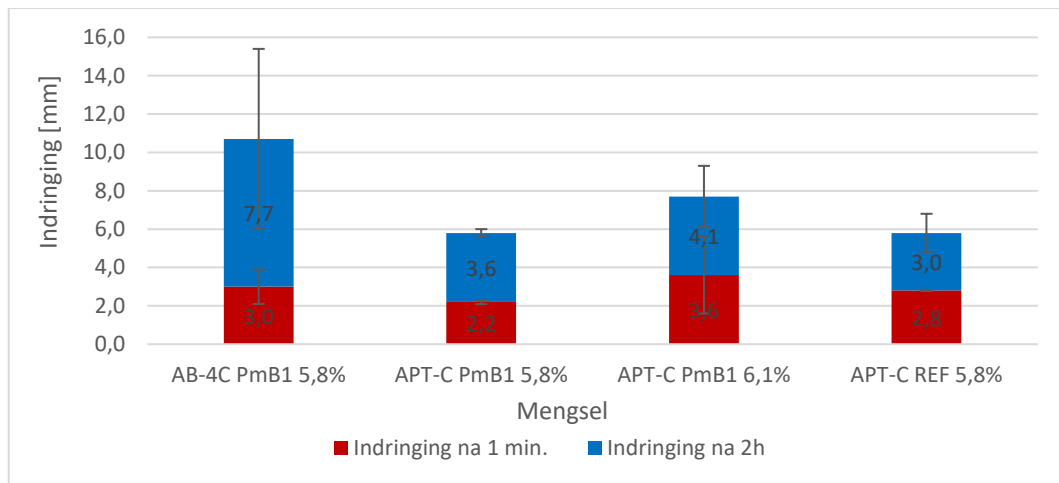
Indien men de invloed van het bitumenpercentage op de stijfheid wil bepalen, zal men het APT-C mengsel met 5,8% PmB1 kunnen vergelijken met het APT-C mengsel met 6,1% PmB1. Uit de resultaten blijkt dat een verhoging van het bitumenpercentage van PmB1 een verhoging van de stijfheid zal veroorzaken.

Als laatste kan men uit Figuur 9-16 de invloed van het bitumentype bepalen door het APT-C mengsel met 5,8% PmB1 te gaan vergelijken met het APT-C mengsel met 5,8% REF. Bij de testen op 0°C en 15°C blijkt het APT-C mengsel met REF zich stijver te gedragen dan het APT-C mengsel met PmB1. Bij 30°C ziet men echter het tegenovergestelde, hier zal het APT-C mengsel met PmB1 zich stijver gedragen.

### 9.3.7. Bepaling van de weerstand tegen indeuking

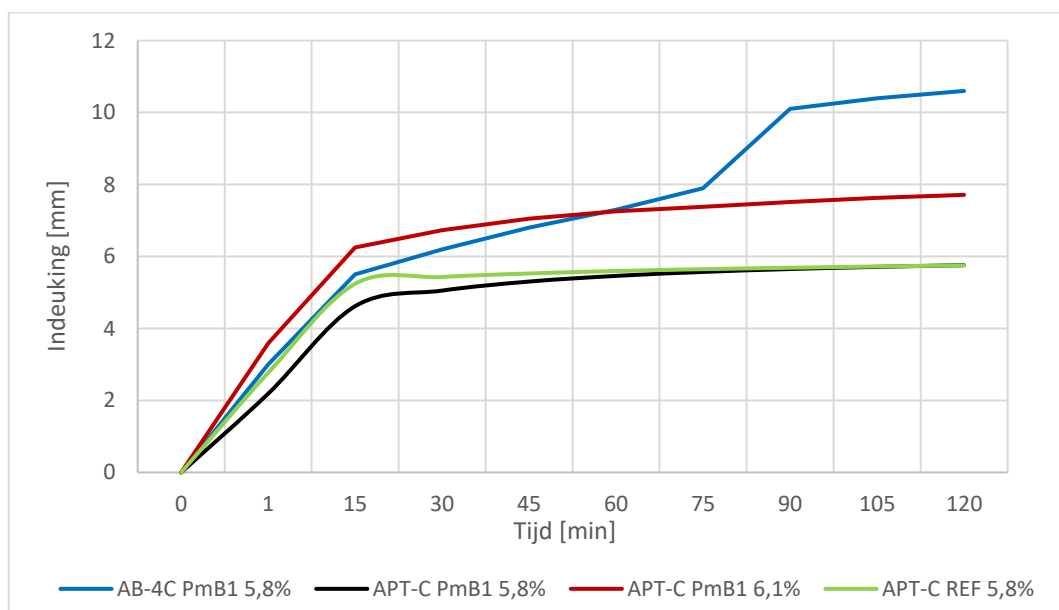
Figuur 9-17 toont aan dat de grootste invloedparameter op de indeuking het mengseltype is. Het AB-4C mengsel met 5,8% PmB1 heeft een lagere initiële indeuking als het overeenkomstig APT-C mengsel. De totale indeuking na 2h ligt echter hoger voor het AB-4C mengsel met 5,8% PmB1. De afwijking van het AB-4C mengsel is hoog vanwege het doorscheuren van een proefstuk. Na controle van de resultaten bleek dit echter geen uitschieter te zijn waardoor men deze toch in rekening neemt. De individuele resultaten zijn terug te vinden in Bijlage 12.20 Resultaten statistische drukproef.

Het type bindmiddel en de hoeveelheid bindmiddel tonen een kleinere invloed aan. Indien men de afwijking in rekening neemt, is er op het einde van de proef geen verschil tussen het APT-C mengsel met 5,8% REF en het APT-C mengsel met 5,8% PmB1. Het gemodificeerde bitumen zal beter bestand zijn tegen de initiële indeuking maar zal een lagere weerstand hebben tegen het verdere verloop van de indeuking. Het verhogen van het bitumenpercentage heeft een negatieve invloed op de weerstand tegen indeuking.



Figuur 9-17 Resultaten indeukingsproef OCW

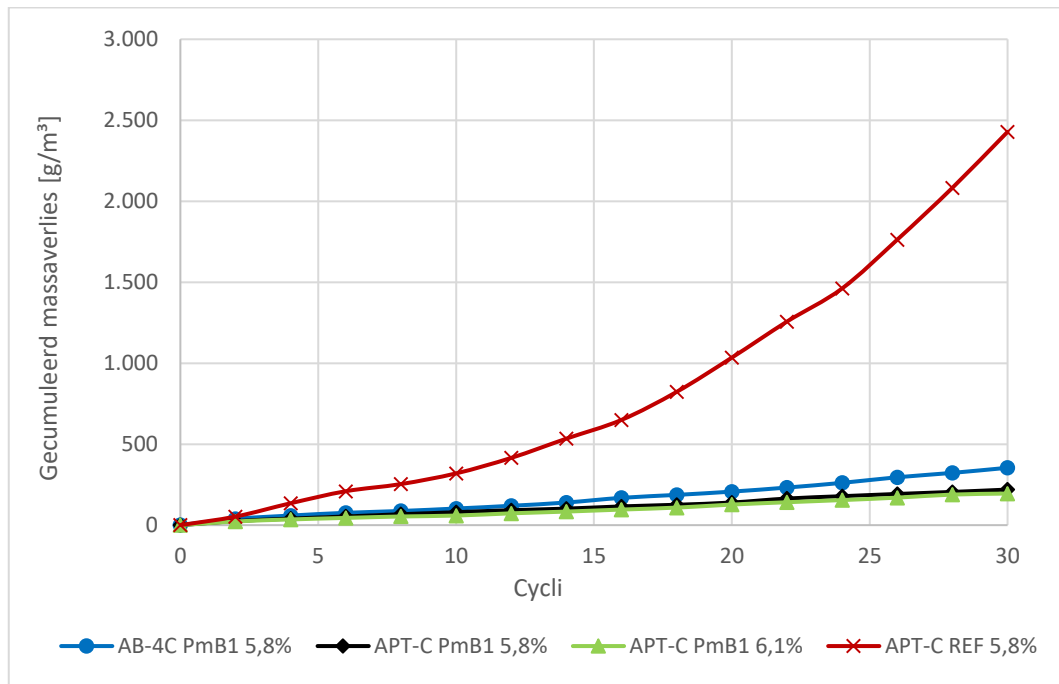
Figuur 9-18 geeft het indeukingsverloop weer tijdens verschillende tijdstippen. Uit de grafiek blijkt dat de grootste indeuking plaats vindt gedurende het eerste kwartier van de proef. Na dit tijdstip zwakken de curves af. Enkel het AB-4C mengsel toont rond 75 minuten opnieuw een grote stijging, dit komt doordat het proefstuk volledig doorscheurde.



Figuur 9-18 Vergelijking indeukingsverloop OCW

### 9.3.8. Bepaling van de weerstand tegen rafeling – CEN/TS 12697-50

Figuur 9-19 toont duidelijk aan dat het type bitumen een grote invloed uitoefent op de weerstand tegen rafeling. Het APT-C mengsel met een klassiek wegebitumen scoort beduidend slechter dan de mengsels met een gemodificeerd bitumen.



Figuur 9-19 Vergelijking rafelingsproef OCW

Het verhogen van het bitumenpercentage heeft nagenoeg geen invloed op de weerstand tegen rafeling. Beide curves lopen over het volledige verloop gelijk. Wanneer men de invloed van het mengseltype wil onderzoeken, blijkt het AB-4C mengsel een iets slechtere weerstand tegen rafeling te hebben dan het APT-C mengsel. De resultaten van de individuele testen zijn terug te vinden in Bijlage 12.21 Resultaten rafelingsproef.

### 9.3.9. Besluit uit de asfaltproeven

Indien men de 4 uiteindelijk gekozen mengsels wil rangschikken, kan men dit best doen via een matrix. Elke kolom bevat een mengsel en elke rij bevat een prestatiekenmerk. De score gebeurt op basis van het symbool "+". Indien mengsels gelijkaardig scoren, zullen ze dezelfde score krijgen. Indien een mengsel niet aan een eis voldoet, krijgt het geen score. Om de globale prestatie van de mengsels te vergelijken, dient men de totale scores met elkaar te vergelijken. Dit wordt weergegeven in Tabel 9-4.

Tabel 9-4 Rangschikking van de uiteindelijk gekozen mengsels

	<b>AB-4C PmB1 5,8%</b>	<b>APT-C PmB1 5,8%</b>	<b>APT-C PmB1 6,1%</b>	<b>APT-C REF 5,8%</b>
<i>%HR</i>	++	++	+	
<i>ITS<sub>droog</sub></i>	+++	+++	+	+
<i>ITS<sub>nat</sub></i>	+++	+++	+	++
<i>ITSR</i>		+		++
<i>Spoordiepte na 30 000 cycli</i>	++	++++	+++	+
<i>Stijfheid bij 15 °C en 10 Hz</i>	++	+	+++	++
<i>Weerstand tegen initiële indeuking</i>	++	+++	+	++
<i>Weerstand tegen verder verloop indeuking</i>	+	+++	++	++++
<i>Weerstand tegen rafeling</i>	+++	++++	++++	+
<b>Totale score</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>15</b>

Het APT-C mengsel met 5,8% PmB1 behaalt duidelijk de hoogste score gevolgd door het AB-4C mengsel met 5,8% PmB1. Het APT-C mengsel met 6,1% PmB1 en het APT-C mengsel met 5,8% REF behalen dezelfde globale score. Op basis van Tabel 9-4 besluit men volgende zaken:

- Een verhoging van het bitumenpercentage heeft een negatieve invloed op de prestatiekenmerken;
- Het gebruik van polymeer gemodificeerd bitumen heeft een positieve invloed op de prestatiekenmerken;
- Het is mogelijk om een AB-4C mengsel te ontwerpen dat beter presteert dan een APT-C mengsel.

## 10. Besluit

Om een duidelijk besluit te kunnen vormen over de onderzoeksvraag, worden er eerst besluiten gevormd omtrent de bijvragen. De bijvragen *“Kan men dichte toplagen ontwerpen die voldoen aan de eisen?”* & *“Hoe houdt men rekening met de hoge belasting?”* worden samen genomen. Een hogere belasting wordt in rekening genomen door een strengere eis op te leggen of de test aan te passen. Een voorbeeld van een test waarbij men een hogere belasting oplegt, is de rafelingsproef.

Indien men rekening houdt met de eisen van het standaardbestek SB250 v3.1 zijn er per mengsel 4 eisen die gehaald moeten worden: een eis omtrent het %HR; een eis omtrent de ITS<sub>R</sub>; een eis omtrent de spoorvorming en een eis omtrent de stijfheid. Aangezien er in totaal 4 uiteindelijke mengsels zijn, dienen er dus 16 eisen gehaald te worden. Wanneer men naar alle eisen kijkt, worden 13/16 eisen gehaald. Het APT-C mengsel met 5,8% PmB1 haalt alle eisen, bij de overige mengsels is er telkens 1 eis die niet gehaald wordt. Men besluit dat het mogelijk is om dichte mengsels te ontwerpen die voldoen aan de eisen. Wanneer men rekening houdt met andere testen, waarvoor er geen eis geldt, blijken de mengsels ook goed te presteren.

De laatste bijvraag handelt over de invloed van een polymeer gemodificeerd bitumen. Hiervoor dient men te kijken naar de resultaten van de bitumen- en asfaltproeven. Uit de bitumenproeven besluit men dat de gemodificeerde bitumina in het algemeen beter presteren dan het referentiebitumen. Er geven slechts 2 proeven een negatieve invloed van een PmB weer. Volgens de consistentiecurve ondervindt PmB2 bij lage temperaturen een grotere vervorming dan REF en volgens de LAS-test hebben beide PmB's een lagere weerstand tegen vermoeiing.

Voor de asfalttesten bekomt men hetzelfde besluit als bij de bitumentesten. In de meeste gevallen heeft een gemodificeerd bitumen een positieve invloed op de onderzochte asfaltkarakteristiek. Enkel bij de ITS<sub>R</sub> test blijken de mengsels met PmB2 slechter te scoren dan de mengsels met REF. In alle andere gevallen scoren de mengsels met een PmB beter dan de mengsels met REF.

Door bovenstaande zaken te combineren, vormt men een besluit omtrent het uiteindelijke doel van deze thesis. Deze thesis heeft aangetoond dat het mogelijk is om dichte toplagen te ontwerpen voor zwaarbelaste asfaltverhardingen. Het gebruik van een PmB zal een positieve invloed uitoefenen op de prestatiekenmerken van het mengsel.

# 11. Referenties

## A. Papers

- [1] S. Meena and K. P. Biligiri, "Binder rheological predictive models to evaluate rutting performance of asphalt mixtures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 111, pp. 556–564, 2016.
- [2] F. Saeed, M. Rahman, D. Chamberlain, and P. Collins, "Asphalt surface damage due to combined action of water and dynamic loading," *Constr. Build. Mater.*, vol. 196, pp. 530–538, 2019.
- [3] S. Hou, X. Shi, Y. Deng, and F. Gu, "Evaluation of rutting and friction resistance of hot mix asphalt concrete using an innovative vertically loaded wheel tester," *Constr. Build. Mater.*, vol. 176, pp. 710–719, 2018.
- [4] M. Wasilewska, W. Gardziejczyk, and P. Gierasimiuk, "Evaluation of skid resistance using CTM, DFT and SRT-3 devices," *Transp. Res. Procedia*, vol. 14, pp. 3050–3059, 2016.
- [5] A. Vaitkus, V. Vorobjovas, R. Kleiziene, O. Šernas, and J. Graz, "Modified asphalt mixtures for heavy duty pavement wearing layers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 131, pp. 503–511, 2017.
- [6] M. Junaid, M. Irfan, S. Ahmed, and Y. Ali, "Effect of binder grade on performance parameters of asphaltic concrete paving mixtures," *Int. J. Pavement Res. Technol.*, vol. 11, pp. 435–444, 2018.
- [7] V. Radhakrishnan, M. R. Sri, and K. S. Reddy, "Evaluation of asphalt binder rutting parameters," *Constr. Build. Mater.*, vol. 173, pp. 298–307, 2018.
- [8] D. Visscher and A. Vanelstraete, "Ravelling by traffic : Performance testing and field validation," *Interna*, vol. 10, pp. 54–61, 2017.
- [9] S. S. Awanti, M. S. Amarnath, and A. Veeraragavan, "Laboratory Evaluation of SBS Modified Bituminous Paving Mix," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 20, no. 4, pp. 327–330, 2008.
- [10] P. Špaček, Z. Hegr, and J. Beneš, "Practical experiences with new types of highly modified asphalt binders," *Mater. Sci. Eng.*, vol. 236, 2017.
- [11] D. Yinfei, C. Jiaqi, H. Zheng, and L. Weizheng, "A review on solutions for improving rutting resistance of asphalt pavement and test methods," *Constr. Build. Mater.*, vol. 168, pp. 893–905, 2018.
- [12] J. Zhang, L. F. Walubita, A. N. M. Faruk, P. Karki, and G. S. Simate, "Use of the MSCR test to characterize the asphalt binder properties relative to HMA rutting performance – A laboratory study," *Constr. Build. Mater.*, vol. 94, pp. 218–227, 2015.

## B. Dienstorders

- [13] Agenschap Wegen en Verkeer, "Dienstorder MOW/AWV/2010/2," 2010.

## C. Technische fiches

- [14] Konecranes, "10-80 tons reachstackers with heart."
- [15] Konecranes, "The all-rounders straddle carriers."

## D. Handleidingen

- [16] Werkgroep BAC 1, "Handleiding voor de keuze van de asfaltverharding bij het ontwerp of onderhoud van wegconstructies."

## E. Standaardbestek 250 v3.1

- [17] Agentschap Wegen en Verkeer Vlaanderen, "Hoofdstuk 6 - Verhardingen," in *Standaardbestek 250 versie 3.1*, no. december, 2016.
- [18] Agentschap Wegen en Verkeer Vlaanderen, "Hoofdstuk 14 - Metingen en proeven," in *Standaardbestek 250 versie 3.1*, no. december, 2016.

## F. Normen

- [19] CEN, "NBN EN 13108-1: 2016: Bituminous mixtures - Material specifications - Part 1: Asphalt Concrete," 2016. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/471582>. [Accessed: 28-Dec-2018].
- [20] CEN, "NBN EN 12593: 2015: Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van het breekpunt volgens Fraass," 2015. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/541077?l=E>. [Accessed: 28-Dec-2018].



- [21] CEN, "NBN EN 1426: 2007: Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de naaldpenetratie," 2007. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/293699?l=E>. [Accessed: 28-Dec-2018].
- [22] CEN, "NBN EN 1427: 2015: Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van het verwekingspunt - Ring - en kogelmethode," 2015. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/541078?l=E>. [Accessed: 28-Dec-2018].
- [23] AASHTO, "TP 101-14: Standard Method of Test for Estimating Damage Tolerance of Asphalt Binders Using the Linear Amplitude Sweep Standard," Washington DC.
- [24] CEN, "NBN EN 16659: 2016: Bitumen and Bituminous Binders - Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCRT)," 2016. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/555436?l=E>. [Accessed: 28-Dec-2018].
- [25] CEN, "NBN EN 1097-6: 2013: Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 6: Bepaling van de dichtheid van de deeltjes en van de wateropname," 2013. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/491022?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [26] CEN, "NBN EN 1097-7: 2006: Beproevingsmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 7: Bepaling van de dichtheid van vulstof - Methode met pyknometer," 2006. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/308694?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [27] CEN, "NBN EN 933-1: 2012: Beproevingsmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 1 : Bepaling van de korrelverdeling - Zeefmethode," 2012. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/436710?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [28] CEN, "NBN EN 12697-5: 2010: Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm bereid asfalt - Deel 5: Bepaling van de mengsel-dichtheid," 2010. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/341045?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [29] CEN, "NBN EN 12697-6: 2012: Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm bereid asfalt - Deel 6: Bepaling van de bulkdichtheid van bitumineuze proefstukken," 2012. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/451356?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [30] CEN, "NBN EN 12697-8: 2003: Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm bereid asfalt - Deel 8: Bepaling van het gehalte aan poriën in bitumineuze proefstukken," 2003. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/122921?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [31] CEN, "NBN EN 12697-12: 2018: Bituminous mixtures - Test methods - Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens," 2018. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/572415?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [32] CEN, "NBN EN 12697-23: 2017: Bituminous mixtures - Test methods - Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens," 2017. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/568182?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [33] CEN, "NBN EN 12697-33: 2007: Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm bereid asfalt - Deel 33: Proefstukvervaardiging door verdichting met een wals," 2007. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/297730?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [34] CEN, "NBN EN 12697-22: 2007: Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm bereid asfalt - Deel 22: Wielspoorproef," 2007. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/297735?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [35] CEN, "NBN EN 12697-26: 2018: Bituminous mixtures - Test methods - Part 26: Stiffness," 2018. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/572418?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [36] CEN, "TS 12697-50: 2018: Bituminous mixtures - Test methods - Part 50: Resistance to scuffing," 2018. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/572288?l=E>. [Accessed: 29-Dec-2018].

## 12. Bijlagen

### 12.1. Lijst Figuren

Figuur 2-1 Testopstelling dynamische belasting [2] .....	5
Figuur 2-2 Gemiddelde cumulatieve scheurvorming in natte en droge omstandigheden [2] .....	6
Figuur 2-3 Cumulatieve verticale vervorming in natte en droge omstandigheden [2] .....	6
Figuur 2-4 Testopstelling VLWT [3] .....	7
Figuur 2-5 Resultaten spoorvorming met bijhorende structuren[3].....	7
Figuur 2-6 Gemiddelde wrijvingscoëfficiënt bij 30 km/h (a), 60 km/h (b) en 90 km/h (c) [4].....	8
Figuur 2-7 Korrelverdeling geteste mengsels [5] .....	9
Figuur 2-8 Resultaten spoorvorming [5] .....	9
Figuur 2-9 Korrelverdelingscurves [6] .....	10
Figuur 2-10 Vermoeiingsparameter in functie van de frequentie [6] .....	10
Figuur 2-11 Gecumuleerde rek versus aantal cycli [6] .....	11
Figuur 2-12 DSR resultaten [7] .....	11
Figuur 2-13 Spoordiepte na 20.000 cycli [7] .....	11
Figuur 2-14 Rafelingsresultaten SMA (links 27 °C, rechts 40 °C) [8] .....	12
Figuur 2-15 Resultaten spoordiepte [10] .....	13
Figuur 2-16 Typische vorm MSCR test [12] .....	15
Figuur 2-17 Correlatie tussen $J_{nr}$ en spoordiepte bij 70 °C (100 Pa links, 3200 Pa rechts) [12].....	15
Figuur 2-18 Resultaten correlatie (links gemodificeerd; rechts niet gemodificeerd) [7] .....	16
Figuur 3-1 Voorbeelden van een reachstacker [14] (links) en een straddlecarrier [15] (rechts) .....	19
Figuur 3-2 Geometrie en grootte van de maximale aslasten voor de reachstacker SMV 4531 TBS .....	19
Figuur 3-3 Geometrie en grootte van de maximale aslasten voor de straddle carrier N SC 644 E .....	20
Figuur 3-4 SPEC-waarde in functie van de bouwklasse.....	21
Figuur 5-1 Flowchart planning proevenprogramma .....	26
Figuur 6-1 Theoretische korrelverdeling APT-C (EMIB).....	28
Figuur 6-2 Uitwendige en inwendige structuur APT-C.....	28
Figuur 6-3 Theoretische korrelverdeling AB-4C (EMIB) .....	29
Figuur 6-4 Uitwendige en inwendige structuur AB-4C.....	29
Figuur 7-1 Visuele voorstelling eisen omtrent korrelverdeling.....	30
Figuur 9-1 Gedeeltelijke consistentiecurve of Heukeloms monogram .....	39
Figuur 9-2 Resultaat MSCR test .....	40
Figuur 9-3 Detail cyclus 1 bij 100 Pa .....	41
Figuur 9-4 Detail cyclus 1 bij 3200 Pa .....	41
Figuur 9-5 Vermoeiingsparameter in functie van de beschouwde rek .....	42
Figuur 9-6 Vergelijking mastercurves bij een referentietemperatuur van 15°C .....	43
Figuur 9-7 Vergelijking blackdiagrammen.....	43
Figuur 9-8 Vergelijking gemeten dichtheid en dichtheid volgens de producent .....	45
Figuur 9-9 Nazicht korrelverdeling van mengsel van granulaten.....	45
Figuur 9-10 Vergelijking resultaten MVM.....	46
Figuur 9-11 Vergelijking resultaten hydrostatische SVM.....	46
Figuur 9-12 Vergelijking resultaten %HR volgens de gyrator .....	47
Figuur 9-13 Vergelijking resultaten ITS(R) - Fase I.....	48
Figuur 9-14 Vergelijking resultaten ITS(R) - Fase II.....	48
Figuur 9-15 Vergelijking resultaten wielspoorproef .....	49
Figuur 9-16 Stijfheden bij 0°C, 15°C en 30 °C op 10 Hz .....	50
Figuur 9-17 Resultaten indeukingsproef OCW.....	51
Figuur 9-18 Vergelijking indeukingsverloop OCW.....	51
Figuur 9-19 Vergelijking rafelingsproef OCW.....	52

## 12.2. Lijst Tabellen


Tabel 2-1 Pieklasten ITS-test [1].....	5
Tabel 2-2 Beschrijving proefvakken [4].....	8
Tabel 2-3 Resultaten ITSR [5].....	9
Tabel 2-4 Resultaten ITS [9].....	12
Tabel 2-5 Resultaten ITSR [9].....	12
Tabel 2-6 Testresultaten ITSR [10].....	13
Tabel 2-7 Spoordiepte bij verschillende temperaturen [11].....	14
Tabel 3-1 Bouwklasse in functie van het aantal 100 kN standaardassen [13].....	18
Tabel 4-1 Omstandigheden die een functioneel kenmerk belangrijker maken [16].....	22
Tabel 4-2 Omstandigheden die aanleiding geven tot specifieke prestatievereisten [16].....	22
Tabel 4-3 Voorbeelden van het belang van de prestatiekenmerken naargelang van de toepassing [16].....	24
Tabel 6-1 Mengselsamenstelling APT-C (EMIB).....	28
Tabel 6-3 Mengselsamenstelling AB-4C (EMIB).....	29
Tabel 7-1 Eisen korrelverdeling APT-C met $D_{max} = 10$ mm.....	30
Tabel 7-2 Eisen korrelverdeling AB-4C met $D_{max} = 10$ mm.....	30
Tabel 9-1 Samenvattende tabel breekpunt Fraass.....	38
Tabel 9-2 Samenvattende tabel penetratieproef.....	38
Tabel 9-3 Samenvattende tabel verwekingspunt.....	39
Tabel 9-4 Rangschikking van de uiteindelijk gekozen mengsels.....	53

## 12.3. Lijst Vergelijkingen

Vgl. 2-1 Bepalen van $J_{nr, 3200 Pa}$ .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
Vgl. 3-1 Bepalen van het aantal standaardlasten van 100 kN.....	18
Vgl. 8-1 Bepalen van de vermoeiingsparameter volgens de LAS test.....	33
Vgl. 8-2 Bepalen van $J_{nr, 3200 Pa}$ .....	33
Vgl. 8-3 Bepalen van $G^*$ .....	33
Vgl. 8-4 Bepalen van de shiftfactor volgens de WLF vergelijking.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
Vgl. 8-5 Bepalen van de dichtheid van vulstof.....	34
Vgl. 8-6 Bepalen van de MVM.....	35
Vgl. 8-7 Bepalen van de SVM.....	35
Vgl. 8-8 Bepalen van het %HR.....	35
Vgl. 8-9 Bepalen van de ITSR.....	36
Vgl. 8-10 Bepalen van de ITS.....	36

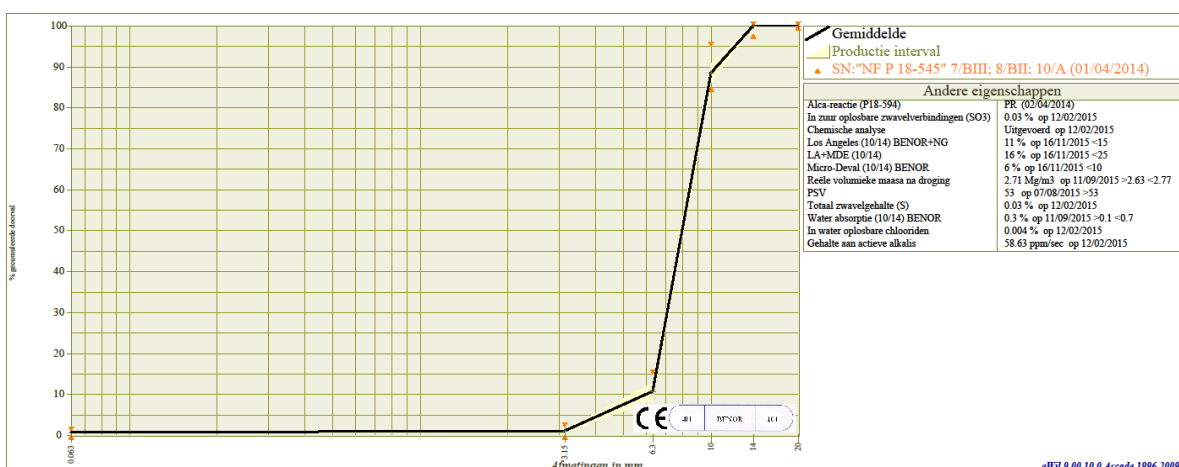
## 12.4. Technische fiches granulaten

### A. Gebroken porfier 6,3/10

	<b>Holcim Granulats (Belgique) S.A.</b> Laboratoire central B-7530 Gaurain-Ramecroix Tel:(00) 32 69 25 14 07 Fax:(00) 32 69 25 14 76 email: serge.willocq@holcim.com		<b>Technische ProductFiche</b> vanaf 25/05/2015 op 24/11/2015 Referentie : 610a06.SEL Pagina 1/1, gedrukt op 24/11/2015
	<b>Uitbatingsite :</b> <b>Granulaten :</b> <b>Petrografie :</b> <b>Uitwerking :</b> <b>Certificatie organisme :</b> <b>Certificaat Nr :</b>	<b>Site de l'Ermitage</b> 6.3/10 Aa2 1 fl NG BENOR de l' Ermitage <b>Porfier</b> <b>Gebroken</b> <b>Be-Cert (0965)</b> <b>CPR-GTO602</b>	<b>Gebruiker :</b> <b>Holcim Belgique (Granulats)</b> <b>Av Robert Schuman. 71</b> <b>1401 Nivelles</b>

Normatieve gedeelte								
Gespecificeerde waarden waartoe de producent zich verbindt								
Korrelmaat		Norm		Code				
6.3	10	Intern		"NF P 18-545" 7/BIII; 8/BII; 10/A (01/04/2014)				
		0.063	3.15	6.3	10	14	20	FI
Spreiding e				10	10			
Onbepaaldheid U		0.3	1	5	5	1		4
V.S.S.+U		1.3	3	20	100	100		19
V.S.S.		1.0	2	15	95	100	100	15
V.S.I.		0.0	0	5	85	98	100	
V.S.I.-U		0.0	0	0	80	97		
Standard afwijking max								

Informatieve gedeelte							
Productie resultaten							
vanaf 26/05/15 op 16/11/15							
	0.063	3.15	6.3	10	14	20	FI
Maximum	1.0	2	15	93	100	100	15
Xp-1.25x Standard afwijking	0.7	1	13	91	100	100	13
Gemiddelde Xf	0.5	1	11	88	100	100	11
Xp-1.25x Standard afwijking	0.3	1	9	86	100	100	8
Minimum	0.1	0	7	85	100	100	5
Standard afwijking	0.15	0.3	1.7	1.8	0.0	0.0	2.0
Aantal resultaten	105	105	105	105	105	105	58



EN 12620 (Gc85/20)  
 EN 13043 (Gc85/15)  
 EN 13242 (Gc85/15)

Onze producten evolueren, maak geen contracten en geef geen waarborgtermijnen zonder ons te raadplegen

## B. Gebroken porfier 4/6,3

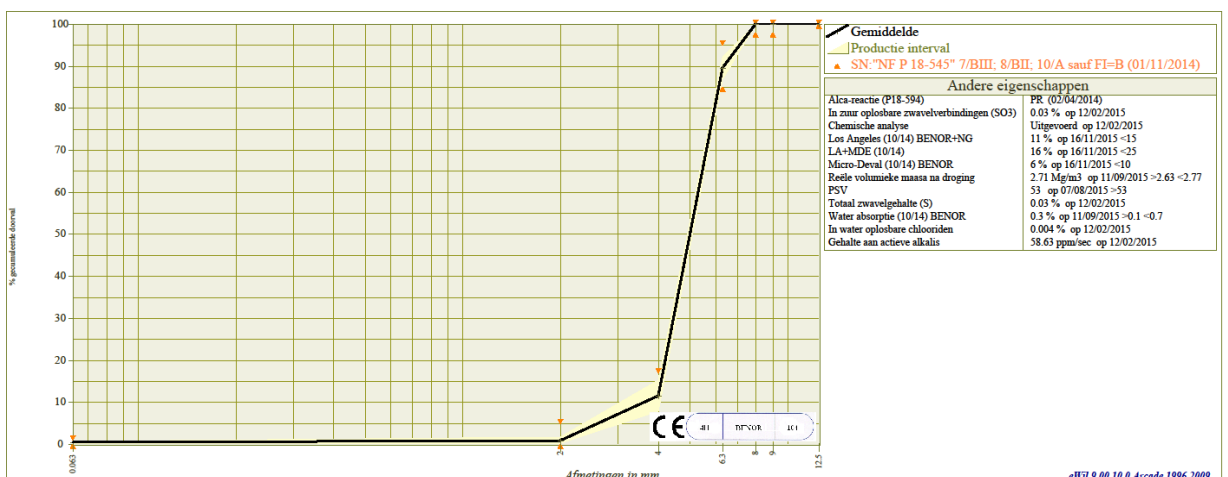
	<b>Holcim Granulats (Belgique) S.A.</b> Laboratoire central B-7330 Gaurain-Ramecroix Tél:(00) 32 69 25 14 07 Fax:(00) 32 69 25 14 76 email: serge.willocq@holcim.com	<b>Technische ProductFiche</b> vanaf 25/05/2015 op 24/11/2015 Referentie : 46a06.SEL Pagina 1/1, gedrukt op 24/11/2015
---	---	---

<b>Uitbatingsite :</b>	<b>Site de l'Ermitage</b>	<b>Gebruiker : Holcim Belgique (Granulats)</b>
<b>Granulaten :</b>	4/6.3 Aa21 fl NG BENOR de l' Ermitage	<b>Av Robert Schuman. 71</b>
<b>Petrografie :</b>	Porfier	<b>1401 Nivelles</b>
<b>Uitwerking :</b>	Gebroken	
<b>Certificatie organisme :</b>	Be-Cert (0965)	
<b>Certificaat Nr :</b>	CPR-GTO602	

<b>Normatieve gedeelte</b>		
<i>Gespecificeerde waarden waartoe de producent zich verbindt</i>		
Korrelmaat	Norm	Code
4    6.3	Intern	"NF P 18-545" 7/BIII; 8/BII; 10/A sauf FI=B (01/11/2014)

	0.063	2	4	6.3	8	9	12.5	FI
Spreiding e			10	10				
Onbepaaldheid U	0.3	1	5	5	1	1		4
V.S.S.+U	1.3	6	22	100	100	100		29
V.S.S.	1.0	5	17	95	100	100	100	25
V.S.I.	0.0	0	7	85	98	98	100	
V.S.I.-U	0.0	0	2	80	97	97		
Standaard afwijking max								


<b>Informatieve gedeelte</b>									
<i>Productie resultaten</i>									
vanaf 10/06/15 op 30/10/15									
	0.063	2	4	6.3	8	9	12.5	FI	
Maximum	0.8	1	16	92	100	100	100	100	18
X <sub>2</sub> -1.25x Standaard afwijking	0.7	2	15	92	100	100	100	100	18
Gemiddelde X <sub>f</sub>	0.4	1	11	89	100	100	100	100	16
X <sub>2</sub> -1.25x Standaard afwijking	0.1	0	8	87	100	100	100	100	14
Minimum	0.0	0	8	87	100	100	100	100	14
Standaard afwijking	0.25	0.5	3.0	2.0	0.1	0.0	0.0	0.0	2.0
Aantal resultaten	8	8	8	8	8	8	8	8	5



EN 12620 (Gc85/20)  
 EN 13043 (Gc85/20)  
 EN 13242 (Gc80/20)

Onze producten evolueren, maak geen contracten en geef geen waarborgtermijnen zonder ons te raadplegen

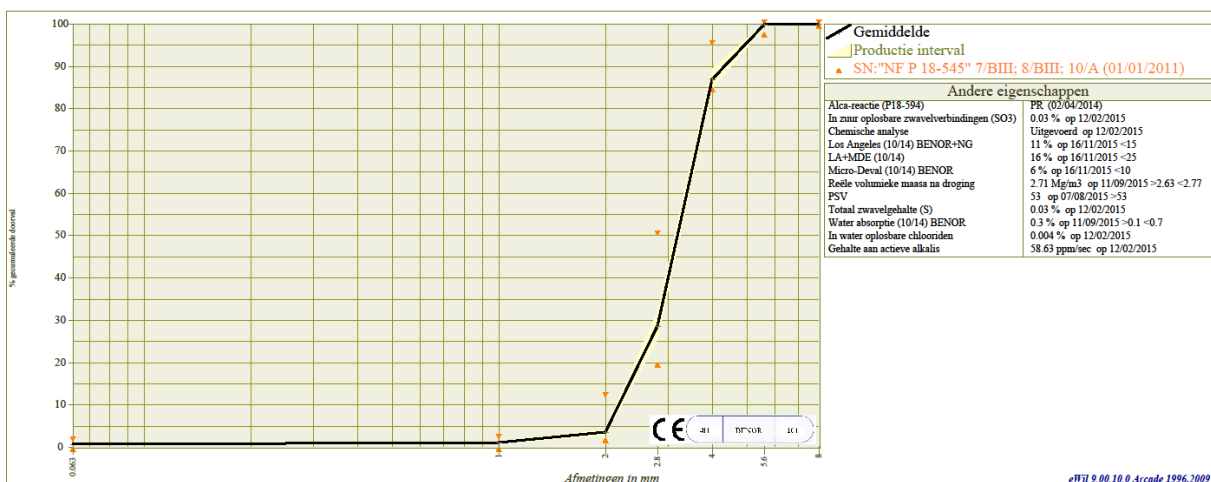
## C. Gebroken porier 2/4

	<b>Holcim Granulats (Belgique) S.A.</b> Laboratoire central B-7530 Gaurain-Ramecroix Tél:(00) 32 69 25 14 07 Fax:(00) 32 69 25 14 76 email: serge.willocq@holcim.com	<b>Technische ProductFiche</b> vanaf 25/05/2015 op 24/11/2015 Referentie : 24a06.SEL Pagina 1/1, gedrukt op 24/11/2015
---	---	---

<b>Uitbatingssite :</b>	<b>Site de l'Ermitage</b>	<b>Gebruiker :</b>	<b>Holcim Belgique (Granulats)</b>
<b>Granulaten :</b>	<b>2/4 Aa2 I f2 BENOR de l'Ermitage</b>		<b>Av Robert Schuman. 71</b>
<b>Petrografie :</b>	<b>Porfier</b>		<b>1401 Nivelles</b>
<b>Uitwerking :</b>	<b>Gebroken</b>		
<b>Certificatie organisme :</b>	<b>Be-Cert (0965)</b>		
<b>Certificaat Nr :</b>	<b>CPR-GTO602</b>		

<b>Normatieve gedeelte</b>							
<i>Gespecificeerde waarden waartoe de producent zich verbindt</i>							
<b>Korrelmaat</b>		<b>Norm</b>		<b>Code</b>			
2	4	Intern		"NF P 18-545" 7/BIII; 8/BIII; 10/A (01/01/2011)			
	0.063	1	2	2.8	4	5.6	8
Spreiding e			10	30	10		
Onbepaaldheid U	0.6	1	5	12	5	1	
V.S.S.+U	2.1	3	17	62	100	100	
V.S.S.	1.5	2	12	50	95	100	100
V.S.I.	0.0	0	2	20	85	98	100
V.S.I.-U	0.0	0	0	8	80	97	
Standaard afwijking max				9.09			


<b>Informatieve gedeelte</b>							
<i>Productie resultaten</i>							
vanaf 25/06/15 op 27/10/15							
	0.063	1	2	2.8	4	5.6	8
Maximum	0.9	1	4	32	91	100	100
X <sub>N</sub> -1.25x Standaard afwijking	0.8	1	4	32	89	100	100
Gemiddelde X <sub>f</sub>	0.7	1	3	29	87	100	100
X <sub>N</sub> -1.25x Standaard afwijking	0.5	1	3	25	85	99	100
Minimum	0.5	1	3	25	85	99	100
Standaard afwijking	0.13	0.2	0.6	2.6	1.9	0.2	0.0
Aantal resultaten	7	7	7	7	7	7	7



EN 12620 (Gc85/15)  
 EN 13043 (Gc85/15-G25/15)  
 EN 13242 (Gc85/15-GTc25/15)

**Onze producten evolueren, maak geen contracten en geef geen waarborgtermijnen zonder ons te raadplegen**

## D. Gewassen kalksteen 0/2

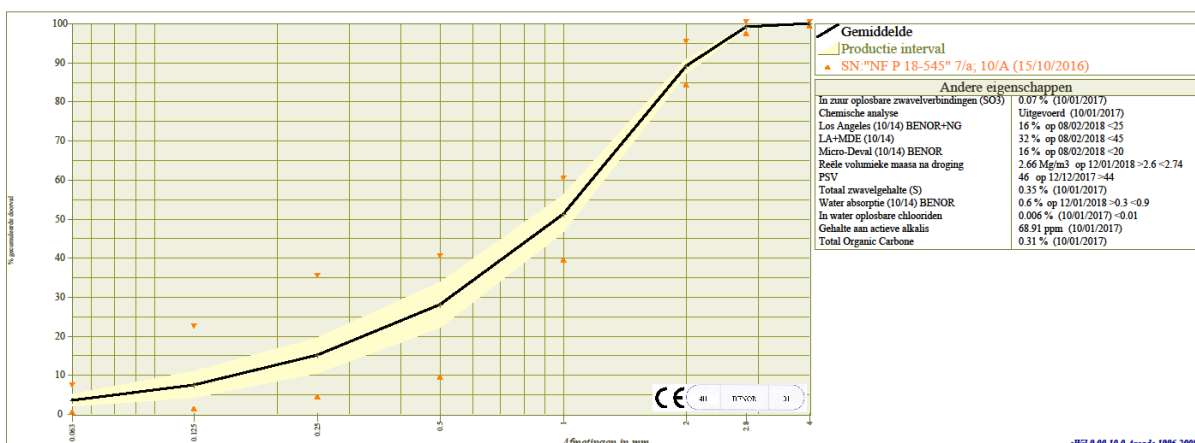
	<b>Holcim Granulats (Belgique) S.A.</b> Laboratoire central B-7530 Gaurain-Ramecroix Tél:(00) 32 69 25 14 07 Fax:(00) 32 69 25 14 76 email: serge.willocq@holcim.com	<b>Technische ProductFiche</b> vanaf 15/09/2017 op 14/03/2018 Referentie : 02a02.SEL Pagina 1/1, gedrukt op 14/03/2018

<b>Uitbatingssite :</b>	<b>Site de Gaurain-Ramecroix</b>	<b>Gebruiker : EMB</b>
<b>Granulaten :</b>	0/2 CF A 7a Ecs35 L BENOR de Gaurain	Campus Groenenborger, lokaal G.Z. 337 Groenenborgerlaan, 171
<b>Petrografie :</b>	<b>Kalksteen</b>	2020 Antwerpen
<b>Uitwerking :</b>	<b>Gewassen</b>	
<b>norm(en) :</b>	BENOR & CE 2+ (EN12620-EN13043-EN13242)	
<b>Certificatie organisme :</b>	<b>Be-Cert (0965)</b>	
<b>Certificaat Nr :</b>	<b>CPR-GT0501</b>	

<b>Normatieve gedeelte</b>		
<i>Gespecificeerde waarden waartoe de producent zich verbindt</i>		
Korrelmaat	Norm	Code
0    2	Intern	"NF P 18-545" 7/a; 10/A (15/10/2016)

	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	2.8	4	EN_Ecs-New	FM	MB	MBF
Spreiding e	6	20	30	30	20	10				0.6		
Onbepaaldheid U	1	2	4	4	4	2	1		2	0.15	0.5	2
V.S.S.+U	8.0	24	39	44	64	97	100			3.6	2.0	12.0
V.S.S.	7.0	22	35	40	60	95	100	100		3.4	1.5	10.0
V.S.I	1.0	2	5	10	40	85	98	100	35	2.8		
V.S.I.-U	0.0	0	1	6	36	83	97		33	2.6		
Standaard afwijking max	1.82		9.09		6.06					0.18		



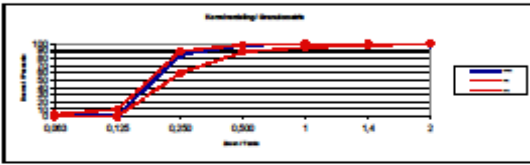
<b>Informatieve gedeelte</b>												
<i>Productie resultaten</i>												
vanaf 22/09/17 op 07/03/18												
	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	2.8	4	EN_Ecs-New	FM	MB	MBF
Maximum	6.0	11	20	34	57	91	99	100	43	3.3	1.0	4.0
Xf-1.25x Standaard afwijking	5.1	11	20	34	56	91	99	100	42	3.3	0.8	3.7
Gemiddelde Xf	3.5	7	15	28	51	89	99	100	41	3.1	0.5	2.6
Xf-1.25x Standaard afwijking	1.9	4	11	22	47	87	99	100	40	2.9	0.2	1.4
Minimum	1.7	3	10	22	46	85	99	100	40	2.9	0.3	1.3
Standaard afwijking	1.28	2.7	3.6	4.7	3.8	1.5	0.2	0.0	1.0	0.10	0.20	0.90
Aantal resultaten	13	13	13	13	13	13	13	13	6	13	6	6



EN 12620 (GF85)  
 EN 13043 (GF85-GTc10)  
 EN13242 (GF85-GTf10)

Onze producten evolueren, maak geen contracten en geef geen waarborgtermijnen zonder ons te raadplegen

E. Rond Alzagri zand 0/1

Prestatieverklaring / Déclaration de performance (DoP)																																																																																																																														
Technische Fiche / Fiche Technique Produit																																																																																																																														
Productie-eenheid / Unité de production																																																																																																																														
		<b>Alzagri NV</b> Lodewijk Colsewaal 180 B - 8000 Brugge Tel: 050 88 94 71 Fax: 050 88 98 80 Email: mail@alzagri.be			 04 0965																																																																																																																									
		Benomnummer / Numéro Benor: 107																																																																																																																												
Identificatie van het product / Identification du produit																																																																																																																														
Rond zand/ Sable rond 0/1 (0/0,5) - FF - A - F3 - a - CC - SA - Ecs20 (BCP)																																																																																																																														
Identificatiecode Code d'identification 1003_4			CE 2+ - certificaatnummer Numéro du certificat CE 2+ 0965-CPR-GT0617																																																																																																																											
Norm van toepassing / Norme applicable																																																																																																																														
EN 12820 + A1 (2008) : Toeslagstoffen voor beton / Granulats pour bétons EN 12342:2002 + A1 (2007) : Toeslagstoffen voor ongebonden en hydraulisch gebonden materialen / Granulats pour matériaux traités aux litants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées. EN 13043 (2002) + AC (2004) : Toeslagstoffen voor asfalt / Granulats pour mélanges hydrocarbonés EN 13138 (2002) + AC (2004) : Toeslagstoffen voor metselmortel / Granulats pour mortier																																																																																																																														
Korrelverdeling / Granulométrie																																																																																																																														
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Indicator granulaire*</th> <th>Norme indicative**</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,075</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>0,15</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>0,25</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0,5</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		Indicator granulaire*	Norme indicative**	0,075	0,0	0,15	0,5	0,25	1	0,5	5	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Zaaf</th> <th colspan="2">Grenzen waar de producent zich aan houdt</th> </tr> <tr> <th>Min (%)</th> <th>Max (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>2</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1,4</td> <td>98</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>98</td> <td>0,500</td> <td>99</td> </tr> <tr> <td>95</td> <td>0,250</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0,125</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0,075</td> <td>0</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>		Zaaf	Grenzen waar de producent zich aan houdt		Min (%)	Max (%)	100	2	100	100	1,4	98	100	1	95	98	0,500	99	95	0,250	90	1	0,125	0	0,075	0	3																																																																																				
Indicator granulaire*	Norme indicative**																																																																																																																													
0,075	0,0																																																																																																																													
0,15	0,5																																																																																																																													
0,25	1																																																																																																																													
0,5	5																																																																																																																													
Zaaf	Grenzen waar de producent zich aan houdt																																																																																																																													
	Min (%)	Max (%)																																																																																																																												
100	2	100																																																																																																																												
100	1,4	98																																																																																																																												
100	1	95																																																																																																																												
98	0,500	99																																																																																																																												
95	0,250	90																																																																																																																												
1	0,125	0																																																																																																																												
0,075	0	3																																																																																																																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>EN 12820</th> <th>EN 12342</th> <th>EN 13043</th> <th>EN 13138</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Korrelverdeling / Granulats</td> <td>G<sub>95</sub></td> <td>G<sub>95</sub></td> <td>G<sub>95</sub></td> <td>NPD</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tolerantie van de korrelverdeling / Tolérance de granulats</td> <td>Gereduceerd / Réduites</td> <td>GT<sub>10</sub></td> <td>G<sub>10</sub></td> <td>Gereduceerd / Réduites</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Hydratatieklasse / Module de finesse</td> <td>FF (0,8-2,1)</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>FF</td> </tr> <tr> <td>Graviteitsindex (g<sub>200</sub>) / Teneur en fines (%)</td> <td>f<sub>5</sub></td> <td>f<sub>5</sub></td> <td>f<sub>5</sub></td> <td>f<sub>5</sub></td> <td>f<sub>5</sub></td> </tr> <tr> <td>Korrelverdeling van de fijne deelen / Qualité des fines</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Hoofdgrootte van het zand / Argométrie des sables</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>Ecs20</td> <td>NPD</td> <td>Ecs20</td> </tr> <tr> <td>Wierstand tegen verspreiding / Résistance à la fragmentation</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Wierstand tegen afschuiven / Résistance à l'usure</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reële volumieke massa (jord) / Masse volumique réelle (jord)</td> <td>2,64 T/m<sup>3</sup></td> <td>2,64 T/m<sup>3</sup></td> <td>2,64 T/m<sup>3</sup></td> <td>2,64 T/m<sup>3</sup></td> <td>Tolerantie : 2,64 +/- 0,1 T/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Wierstand tegen absorptie / Absorption d'eau</td> <td>WA<sub>0,1</sub></td> <td>WA<sub>0,1</sub></td> <td>WA<sub>0,1</sub></td> <td>WA<sub>0,1</sub></td> <td>Tolerantie : 0,3 +/- 0,3 %</td> </tr> <tr> <td>Volumieke massa in bulk / Masse volumique en vrac</td> <td>1,59 T/m<sup>3</sup></td> <td>NPD</td> <td>1,59 T/m<sup>3</sup></td> <td>NPD</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Organische stof / Substances organiques</td> <td>Voldoet / Conforme</td> <td>Voldoet / Conforme</td> <td>NPD</td> <td>Voldoet / Conforme</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Wierstand tegen vries-ontdoersamen / Stabilité au gel/dégel</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Teneur en coquilles (%)</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>10,4</td> </tr> <tr> <td>Sulfatgehalte (%) / Teneur en sulfates (%)</td> <td>AS<sub>1,3</sub></td> <td>AS<sub>1,3</sub></td> <td>NPD</td> <td>AS<sub>1,3</sub></td> <td>&lt; 0,1%</td> </tr> <tr> <td>Totaal zwavel (%) / Sulfate total (%)</td> <td>&lt;0,1%</td> <td>01</td> <td>NPD</td> <td>&lt;0,1%</td> <td>&lt;0,1%</td> </tr> <tr> <td>Chloorgehalte (%) / Teneur en chlorure (%)</td> <td>0,073</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>0,073</td> <td>0,073</td> </tr> <tr> <td>Chloorgehalte voor 0/0-0/05 (%) / Chlorure pour 0/0-0/05 (%)</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>0,069</td> </tr> <tr> <td>Andere eigenschappen / IC : PSV ; ANV ; AN ; C / Autres caractéristiques</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td>NPD</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					EN 12820	EN 12342	EN 13043	EN 13138		Korrelverdeling / Granulats	G <sub>95</sub>	G <sub>95</sub>	G <sub>95</sub>	NPD		Tolerantie van de korrelverdeling / Tolérance de granulats	Gereduceerd / Réduites	GT <sub>10</sub>	G <sub>10</sub>	Gereduceerd / Réduites	A	Hydratatieklasse / Module de finesse	FF (0,8-2,1)	NPD	NPD	NPD	FF	Graviteitsindex (g <sub>200</sub> ) / Teneur en fines (%)	f <sub>5</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>5</sub>	Korrelverdeling van de fijne deelen / Qualité des fines	NPD	NPD	NPD	NPD	A	Hoofdgrootte van het zand / Argométrie des sables	NPD	NPD	Ecs20	NPD	Ecs20	Wierstand tegen verspreiding / Résistance à la fragmentation	NPD	NPD	NPD	NPD		Wierstand tegen afschuiven / Résistance à l'usure	NPD	NPD	NPD	NPD		Reële volumieke massa (jord) / Masse volumique réelle (jord)	2,64 T/m <sup>3</sup>	2,64 T/m <sup>3</sup>	2,64 T/m <sup>3</sup>	2,64 T/m <sup>3</sup>	Tolerantie : 2,64 +/- 0,1 T/m <sup>3</sup>	Wierstand tegen absorptie / Absorption d'eau	WA <sub>0,1</sub>	WA <sub>0,1</sub>	WA <sub>0,1</sub>	WA <sub>0,1</sub>	Tolerantie : 0,3 +/- 0,3 %	Volumieke massa in bulk / Masse volumique en vrac	1,59 T/m <sup>3</sup>	NPD	1,59 T/m <sup>3</sup>	NPD		Organische stof / Substances organiques	Voldoet / Conforme	Voldoet / Conforme	NPD	Voldoet / Conforme		Wierstand tegen vries-ontdoersamen / Stabilité au gel/dégel	NPD	NPD	NPD	NPD		Teneur en coquilles (%)	NPD	NPD	NPD	NPD	10,4	Sulfatgehalte (%) / Teneur en sulfates (%)	AS <sub>1,3</sub>	AS <sub>1,3</sub>	NPD	AS <sub>1,3</sub>	< 0,1%	Totaal zwavel (%) / Sulfate total (%)	<0,1%	01	NPD	<0,1%	<0,1%	Chloorgehalte (%) / Teneur en chlorure (%)	0,073	NPD	NPD	0,073	0,073	Chloorgehalte voor 0/0-0/05 (%) / Chlorure pour 0/0-0/05 (%)	NPD	NPD	NPD	NPD	0,069	Andere eigenschappen / IC : PSV ; ANV ; AN ; C / Autres caractéristiques	NPD	NPD	NPD	NPD	
	EN 12820	EN 12342	EN 13043	EN 13138																																																																																																																										
Korrelverdeling / Granulats	G <sub>95</sub>	G <sub>95</sub>	G <sub>95</sub>	NPD																																																																																																																										
Tolerantie van de korrelverdeling / Tolérance de granulats	Gereduceerd / Réduites	GT <sub>10</sub>	G <sub>10</sub>	Gereduceerd / Réduites	A																																																																																																																									
Hydratatieklasse / Module de finesse	FF (0,8-2,1)	NPD	NPD	NPD	FF																																																																																																																									
Graviteitsindex (g <sub>200</sub> ) / Teneur en fines (%)	f <sub>5</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>5</sub>																																																																																																																									
Korrelverdeling van de fijne deelen / Qualité des fines	NPD	NPD	NPD	NPD	A																																																																																																																									
Hoofdgrootte van het zand / Argométrie des sables	NPD	NPD	Ecs20	NPD	Ecs20																																																																																																																									
Wierstand tegen verspreiding / Résistance à la fragmentation	NPD	NPD	NPD	NPD																																																																																																																										
Wierstand tegen afschuiven / Résistance à l'usure	NPD	NPD	NPD	NPD																																																																																																																										
Reële volumieke massa (jord) / Masse volumique réelle (jord)	2,64 T/m <sup>3</sup>	2,64 T/m <sup>3</sup>	2,64 T/m <sup>3</sup>	2,64 T/m <sup>3</sup>	Tolerantie : 2,64 +/- 0,1 T/m <sup>3</sup>																																																																																																																									
Wierstand tegen absorptie / Absorption d'eau	WA <sub>0,1</sub>	WA <sub>0,1</sub>	WA <sub>0,1</sub>	WA <sub>0,1</sub>	Tolerantie : 0,3 +/- 0,3 %																																																																																																																									
Volumieke massa in bulk / Masse volumique en vrac	1,59 T/m <sup>3</sup>	NPD	1,59 T/m <sup>3</sup>	NPD																																																																																																																										
Organische stof / Substances organiques	Voldoet / Conforme	Voldoet / Conforme	NPD	Voldoet / Conforme																																																																																																																										
Wierstand tegen vries-ontdoersamen / Stabilité au gel/dégel	NPD	NPD	NPD	NPD																																																																																																																										
Teneur en coquilles (%)	NPD	NPD	NPD	NPD	10,4																																																																																																																									
Sulfatgehalte (%) / Teneur en sulfates (%)	AS <sub>1,3</sub>	AS <sub>1,3</sub>	NPD	AS <sub>1,3</sub>	< 0,1%																																																																																																																									
Totaal zwavel (%) / Sulfate total (%)	<0,1%	01	NPD	<0,1%	<0,1%																																																																																																																									
Chloorgehalte (%) / Teneur en chlorure (%)	0,073	NPD	NPD	0,073	0,073																																																																																																																									
Chloorgehalte voor 0/0-0/05 (%) / Chlorure pour 0/0-0/05 (%)	NPD	NPD	NPD	NPD	0,069																																																																																																																									
Andere eigenschappen / IC : PSV ; ANV ; AN ; C / Autres caractéristiques	NPD	NPD	NPD	NPD																																																																																																																										

Publicatiedatum: 1/03/2018 gntg/ht 31/03/2018  
 Date de publication: 1/03/2018 31/03/2018  
 \* : Indicateur Granulaire "Grenzen van de producent" en "Norme indicative" afgeleid van de tabel in de DoP.  
 \*\* : Indicateur Granulaire "Grenzen van de producent" en "Norme indicative" afgeleid van de tabel in de DoP.



## 12.5. Technische fiche vulstof Duras 2a



MineralsPlus

PRESTATIEVERKLARING VOOR VULSTOF VOOR DE WEGENBOUW - DECLARATION DE PERFORMANCE POUR FILLER				
	N° Prestatieverklaring / N° de declaration de performance	DOP 0431/0003		
1	Unieke identificatie / Identification unique	DURAS FILLER 2		
2	Type	Zie leverings documenten / Voir les documents de livraison		
3	Bedoeld gebruik / Utilisation prévue	Vulstoffen voor asfalt en oppervlaktebehandeling voor wegen, vliegvelden en andere verkeersgebieden / Fillers pour mélanges bitumineux et traitements de surface pour les routes, aérodromes et autres zones de circulation		
4a	Commerciële benaming / Dénomination commerciale	DURAS FILLER 2		
4b	Leverancier / Fournisseur	SIBELCO EUROPE Maastricht		
		Op de Bos 300, 6223 EP Maastricht, Nederland, tel 00 31 43 366 36 36		
5	Contactadres gemachtigde / Adresse de contact du mandataire			
6	Systeem voor de beoordeling / Systeme d'évaluation	Systeem 2+		
7	Normatieve Referentie / Reference Normative	Geharmoniseerde Standaard	EN 13043	ver. 01-1900
	Notified body	COPRO 1137		
7	Initiële inspectie / Inspection Initiale	De Certificatieinstelling heeft een initiële controle van de fabriek en FPC uitgevoerd in L'organisme de certification a une inspection initiale de l'usine et FPC réalisée en 2004. Contrôle, beoordeling goedkeuring en goedkeuring FPC wordt permanent uitgevoerd. / Suivi, l'examen, l'approbation et l'approbation FPC tourne en permanence.		
	N° Certificaat / Certificat	1137-CPD-431		
8	Europese technische beoordeling	NA		
9,1	Type vulstof / Type de filler	$V_{50-60}$ , $BN_{40-52}$ , $WS_{10}$ , $\Delta_{R&B}NR$ , $MB_{10}$ , $CC_{10}$ , $Ka_{10}$		
9,2	Essentiële kenmerken / Caractéristiques essentielles	Prestaties / Performances		Geharmoniseerde technische specificaties / Spécifications techniques harmonisées
	Korrelverdeling Doorval - Granulométrie Passant	Prestatie / Performance	Verklaarde waarde / Valeur déclarée	Dim.
	2 mm	100	100	% (m/m)
	0,125 mm	85 - 100	90 - 100	% (m/m)
	0,063 mm	70 - 100	74 - 84	% (m/m)
	Methyleenblauw - Blue de Méthylène	MB <sub>F</sub> 10	≤ 10	g/kg
	Watergehalte / Teneur en eau	≤ 1	≤ 1	% (m/m)
	Volumemassa - Masse Volumique	Range 0,2	2.55 - 2.75	Mg/m <sup>3</sup>
	Holle ruimte - Vides	$V_{30-45}$	40 - 44	% (V/V)
	Delta (Ring & Kogel) - Delta (Anneau & Bille)	$\Delta_{R&B}NR$	NPD	*C
	Bitumengetal - Indice bitume	$BN_{40-52}$	40 - 46	
	Watergevoeligheid - Sensibilité à l'eau	≤ 10	≤ 10	% (m/m)
	Wateroplosbaarheid - Solubilité à l'eau	$WS_{10}$	≤ 10	% (m/m)
				EN 13043
10 De prestaties van het in de punten 1 en 2 omschreven product zijn conform de in punt 9 aangegeven prestaties.		10 Les performances du produit identifié aux points 1 et 2 sont conformes aux performances déclarées indiquées au point 9.		
Deze prestatieverklaring wordt verstrekt onder de exclusieve verantwoordelijkheid van de in punt 4 vermelde fabrikant		La présente déclaration des performances est établie sous la seule responsabilité du fabricant identifié au point 4. Signé pour le fabricant et en son nom par:		
Ondertekend voor en namens de fabrikant door:				
K. Geurts, Quality Manager				
Maastricht, versiedatum 9-1-2017				

DOP\_DF2\_Ila\_2017\_BE\_2.xlsx

DOP\_Belgie

## 12.6. Technische fiches bitumina

### A. Technische fiche REF

Wegenbitumen 50/70		België ISO 9001			
	Test Beschrijving	Methode	Eenheid	Min	Max
Consistentie bij matige gebruikstemperatuur	Penetratie bij 25°C	EN 1426	mm/10	50	70
Consistentie bij hoge gebruikstemperatuur	Verwekingspunt, R&K	EN 1427	°C	46	54
Duurzaamheid	Weerstand tegen verharding bij 163°C				
	Massa verandering	EN 12607-1	%		0.50
	Toename in verwekingspunt, R&K	EN 1427	°C		9.0
	Rest penetratie bij 25°C	EN 1426	%	50	
Technische eigenschappen	Breekpunt Fraass	EN 12593	°C		-8
	Dynamische viscositeit bij 60°C	EN 12596	Pa.s	145	
	Kinematische viscositeit bij 135°C	EN 12595	mm <sup>2</sup> /s	295	
	Oplosbaarheid in toluen	EN 12592	%	99.0	
	Dichtheid bij 25°C	EN 15326	g/ml	1.000	1.050
Veiligheid en behandeling *	Vlampunt	EN ISO 2592	°C	230	
	Minimum verpompingstemperatuur	-	°C	115	
	Verwerkingstemperatuur	-	°C	145	165
	Maximum verwerkingstemperatuur	-	°C		200

### B. Technische fiche PmB1

Parameter	Einheit	Bereich		Prüfverfahren
		min.	max.	
Penetration bei 25 °C	mm/10	10	40	DIN EN 1426
Erweichungspunkt (R+K)	°C	85		DIN EN 1427
Elastische Rückstellung 25°C	%	70		DIN EN 13398
Formänderungsarbeit (bei 10°C)	J/cm <sup>2</sup>	5		DIN EN 13589, 13703
Brechpunkt nach Fraaß	°C		-10	DIN EN 12593
Flammpunkt CoC	°C	250		DIN EN ISO 2592
Stabilität im Tubentest				DIN EN 13399
- Differenz Erweichungspunkte	°C		5	DIN EN 1427
Beständigkeit gegen Verhärtung				DIN EN 12607-1
- Masseänderung	M.-%		0,5	
- Anstieg des R+K	°C		8	DIN EN 1427
- Verbleibende Penetration	%	60		DIN EN 1426
- elastische Rückstellung 25 °C	%	50		DIN EN 13398
Komplexer Schubmodul G* bei 60 °C, 1,59 Hz	Pa	30000		DIN EN 14770
Phasenwinkel delta bei 60 °C, 1,59 Hz	°		65	DIN EN 14770
Steifigkeit S bei -16 °C, 60 s	MPa		450	DIN EN 14771

#### Bemerkung:

Verarbeitungstemperatur: max. 180°C  
Lagertemperatur: max. 180°C

## C. Technische fiche PmB2

PRODUCTEIGENSCHAPPEN					
GESPECIFICEERDE GEGEVENS	NORM	EENHEID	WAARDE	MIN	MAX
Indringing (*)	NBN EN 1426	1/10 mm	-	45	80
Verwekingspunt ring en kogel (*)	NBN EN 1427	°C	-	50	-
Weerstand tegen veroudering: RTFOT	NBN EN 12607-1	-	-	-	-
<i>Massaverandering</i>	-	%	-	-	0,5
<i>Resterende indringing</i> (*)	NBN EN 1426	%	-	60	-
<i>Verhoging verwekingspunt</i> (*)	NBN EN 1427	-	-	-	12
Kracht ductiliteit bij 5°C (*)	NBN EN 13589	J/cm <sup>2</sup>	-	1	-
Breekpunt FRAASS (*)	NBN EN 12593	°C	-	-	-10
Elastisch herstel bij 25°C (*)	NBN EN 13398	%	-	60	-
Vlampunt C.O.C	NBN EN ISO 2592	°C	-	235	-
NIET-GESPECIFICEERDE GEGEVENS (TYPISCHE WAARDEN)	NORM	EENHEID	WAARDE	MIN	MAX
BBR: hoogste kritische temperatuur	NBN EN 14771	°C	(**)	(**)	(**)
DSR (52°C; 1,6 Hz)	NBN EN 14770	-	(**)	(**)	(**)
<i>G*</i>	-	kPa	(**)	(**)	(**)
<i>delta</i>	-	°	(**)	(**)	(**)
DSR (15°C; 10 Hz)	NBN EN 14770	-	(**)	(**)	(**)
<i>G*</i>	-	MPa	(**)	(**)	(**)
<i>delta</i>	-	°	(**)	(**)	(**)
Weerstand tegen veroudering: RTFOT	NBN EN 12607-1	-	(**)	(**)	(**)
<i>Elastisch herstel bij 25°C</i>	NBN EN 13398	%	(**)	(**)	(**)
Dynamische viscositeit bij 135°C	NBN EN 13302	mPa.s	(**)	(**)	(**)

(\*) Deze producteigenschappen zijn een verklaring van de producent ontleend aan zijn prestatieverklaring. De certificaathouder verklaart dat de vermelde waarden in overeenstemming zijn met de prestatieverklaring.  
(\*\*) Deze waarden worden vermeld op de volledige technische fiche die eventueel verkrijgbaar is bij de certificaathouder.

## 12.7. Individuele resultaten breekpunt Fraass

<u>REF</u>						
Plaatje	massa [g]	Temp Fraass [°C]	Voorwaarde	Opmerking	Gemiddelde T [°C]	Afwijking T [°C]
1	0,4131	-10,0	WAAR		-11,0	1,2
2	0,4119	-6,0	ONWAAR	Verworpen: te hoge temperatuur		
3	0,4109	-11,0	WAAR			
4	0,4111	-8,0	ONWAAR	Verworpen: te hoge temperatuur		
5	0,4122	-10,0	WAAR			
6	0,4112	-13,0	WAAR			

<u>PmB1</u>						
Plaatje	massa 1 [g]	Temp Fraass [°C]	Voorwaarde	Opmerking	Gemiddelde T [°C]	Afwijking T [°C]
1	0,4078	-11,0	WAAR		-11,0	1
2	0,4119			Verworpen (bitumen op magneet)		
3	0,4117	-10,0	WAAR			
4	0,4103			Verworpen (bitumen op magneet)		
5	0,4115	-12,0	WAAR			
6	0,4119	-11,0	WAAR			

<u>PmB2</u>						
Plaatje	massa 1 [g]	Temp Fraass [°C]	Voorwaarde	Opmerking	Gemiddelde T [°C]	Afwijking T [°C]
1	0,4110	-16,0	WAAR		-17,0	1
2	0,4097	-19,0	ONWAAR	Verworpen: te lage temperatuur		
3	0,4107	-13,0	ONWAAR	Verworpen: te hoge temperatuur		
4	0,4108	-17,0	WAAR			
5	0,4104	-18,0	WAAR			
6	0,4106	-13,0	ONWAAR	Verworpen: te hoge temperatuur		

## 12.8. Individuele resultaten penetratieproef

<u>REF</u>								
Meting	PEN-waarde [0,1 mm]	Min PEN [0,1 mm]	Max PEN [0,1 mm]	$\Delta$ PEN [0,1 mm]	Eis $\Delta$	Voorwaarde	Gemiddelde PEN [0,1 mm]	Afwijking PEN [0,1 mm]
1	56	54	56	2	2	WAAR	55	1
2	55							
3	55							
4	56							
5	54							

<u>PmB1</u>								
Meting	PEN-waarde [0,1 mm]	Min PEN [0,1 mm]	Max PEN [0,1 mm]	$\Delta$ PEN [0,1 mm]	Eis $\Delta$	Voorwaarde	Gemiddelde PEN [0,1 mm]	Afwijking PEN [0,1 mm]
1	33	31	33	2	2	WAAR	32	1
2	31							
3	32							
4	31							
5	31							

<u>PmB2</u>								
Meting	PEN-waarde [0,1 mm]	Min PEN [0,1 mm]	Max PEN [0,1 mm]	$\Delta$ PEN [0,1 mm]	Eis $\Delta$	Voorwaarde	Gemiddelde PEN [0,1 mm]	Afwijking PEN [0,1 mm]
1	50	49	50	1	2	WAAR	49	0
2	49							
3	49							
4	49							
5	49							

## 12.9. Individuele resultaten verwekingspunt

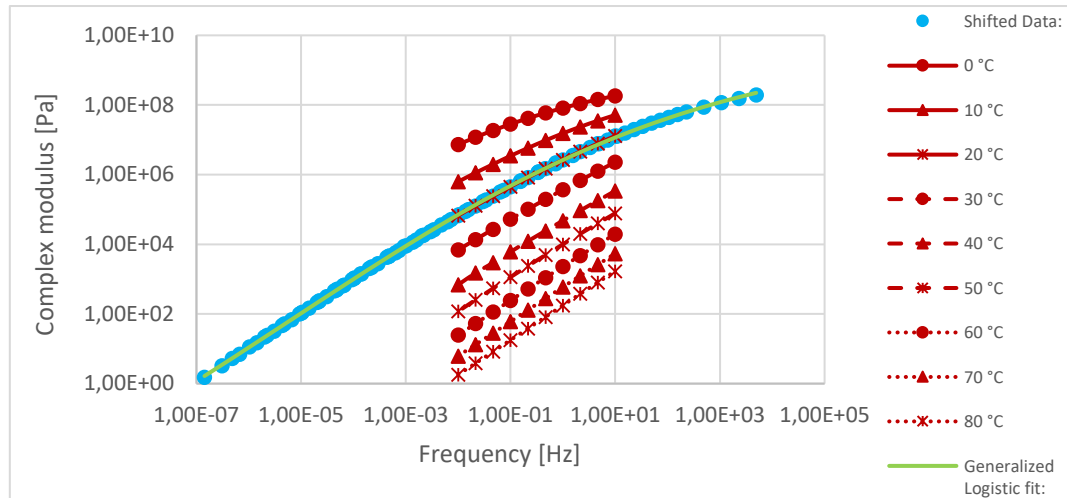
<u>REF</u>							
Vloeistof	Meting	Temp [°C]	$\Delta$ Temp [°C]	Eis $\Delta$	Voorwaarde	Gemiddelde [°C]	Afwijking [°C]
Water	Links	50,1	0,1	2	WAAR	50,2	0,1
	Rechts	50,2					
Water	Links	49,4	0,8	2	WAAR	49,8	0,4
	Rechts	50,2					

<u>PmB1</u>							
Vloeistof	Meting	Temp [°C]	$\Delta$ Temp [°C]	Eis $\Delta$	Voorwaarde	Gemiddelde [°C]	Afwijking [°C]
Water	Links	84,8	1,5	2	WAAR	85,6	0,8
	Rechts	86,3					
Glycerol	Links	88,8	0,2	2	WAAR	88,7	0,1
	Rechts	88,6					

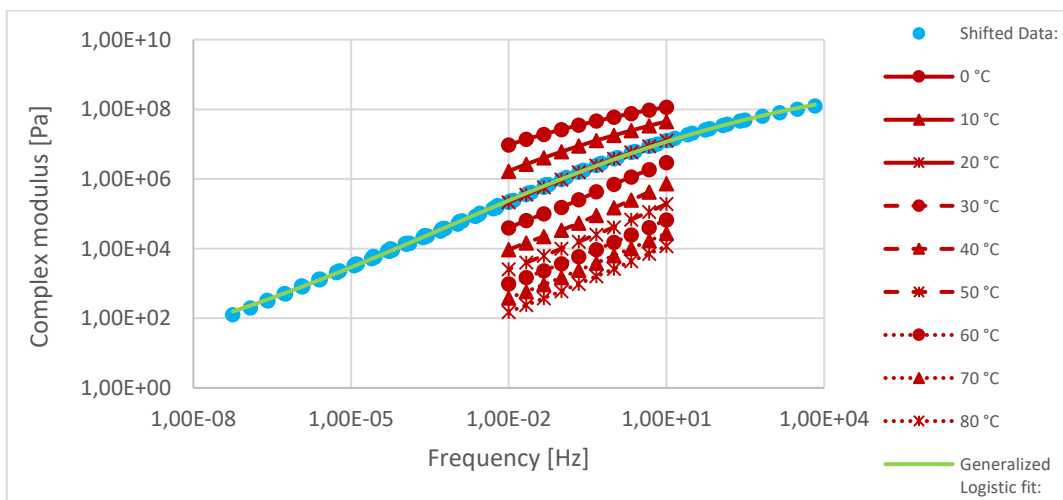
<u>PmB2</u>							
Vloeistof	Meting	Temp [°C]	$\Delta$ Temp [°C]	Eis $\Delta$	Voorwaarde	Gemiddelde [°C]	Afwijking [°C]
Water	Links	63,7	1,4	2	WAAR	63,0	0,7
	Rechts	62,3					
Water	Links	62,4	1,1	2	WAAR	61,9	0,6
	Rechts	61,3					

## 12.10. Niet geshifte mastercurves

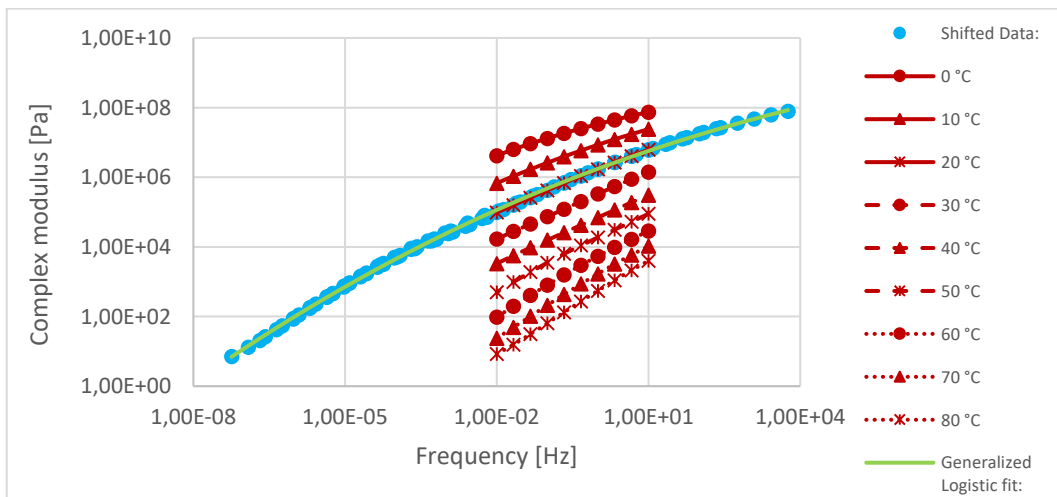
A. REF



B. PmB1



C. PmB2



## 12.11. Resultaten dichtheden granulaten en vulstof

### Alzagri rond zand 0/1

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	$\text{Mg} / \text{m}^3$	gram	gram	gram	$\text{Mg} / \text{m}^3$
P3	1 316,6	0,9970	698,36	1 386,42	2 447,46	2 726,4
P5	1 261,3	0,9970	797,08	1 445,68	2 466,24	2 728,4
P6	1 303,0	0,9970	719,50	1 268,50	2 367,12	2 729,6

$\rho_{wgem}$	2 728
s	1,63

### Gebroken porfier

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	$\text{Mg} / \text{m}^3$	gram	gram	gram	$\text{Mg} / \text{m}^3$
P3	1 316,6	0,9970	698,36	1 752,36	2 683,54	2 754,7
P5	1 261,3	0,9970	797,12	1 804,66	2 697,00	2 750,5
P6	1 303,0	0,9970	719,86	1 770,58	2 689,88	2 758,0

$\rho_{wgem}$	2 754
s	3,76

### Gewassen kalksteen

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	$\text{Mg} / \text{m}^3$	gram	gram	gram	$\text{Mg} / \text{m}^3$
P3	1 316,6	0,9970	698,04	1 396,48	2 454,60	2 735,8
P5	1 261,3	0,9970	797,10	1 538,00	2 525,10	2 731,2
P6	1 303,0	0,9970	719,28	1 496,80	2 511,44	2 724,7

$\rho_{wgem}$	2 731
s	5,54



## Vulstof 1A

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit Tolueen 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, tolueen tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	$\text{Mg} / \text{m}^3$	gram	gram	gram	$\text{Mg} / \text{m}^3$
P2	109,6	0,8670	62,50	86,10	173,30	2 609,3
P3	58,6	0,8670	40,70	55,10	101,10	2 611,0
P4	50,0	0,8670	29,30	46,30	84,00	2 590,1

$\rho_{\text{wgem}}$	2 603
s	11,60

## 12.12. Theoretische korrelverdeling zonder vulstof

AB-4C (zonder vulstof)																
maaswijdte zeef		14	12,5	12	11,2	8	6,3	6	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Porfier 6,3/10	22,31%	100,0	95,9	94,5	85,8	50,8	16,4	10,3	9,1	4,4	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Porfier 4/6,3	15,29%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	83,5	80,6	66,7	11,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4
Porfier 2/4	22,86%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,4	87,0	3,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
Kalksteen 0/2	25,66%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	89,0	51,0	28,0	15,0	7,0	3,5
rond zand	13,89%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,6	85,0	5,4	0,5
Vulstof Duras 2a	0,00%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,5	92,8	82,1
<b>AB-4C</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,0</b>	<b>99,1</b>	<b>98,8</b>	<b>96,8</b>	<b>89,0</b>	<b>78,8</b>	<b>77,0</b>	<b>74,0</b>	<b>62,1</b>	<b>37,8</b>	<b>27,5</b>	<b>21,0</b>	<b>16,1</b>	<b>2,9</b>	<b>1,3</b>

APT-C (zonder vulstof)																
maaswijdte zeef		14	12,5	12	11,2	8	6,3	6	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Porfier 6,3/10	51,1%	100,0	95,9	94,5	85,8	50,8	16,4	10,3	9,1	4,4	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Porfier 4/6,3	11,1%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	83,5	80,6	66,7	11,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4
Porfier 2/4	9,1%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,4	87,0	3,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
Kalksteen 0/2	26,1%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	89,0	51,0	28,0	15,0	7,0	3,5
rond zand	2,7%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,6	85,0	5,4	0,5
Vulstof Duras 2a	0,0%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,5	92,8	82,1
<b>APT-C</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0</b>	<b>97,9</b>	<b>97,2</b>	<b>92,7</b>	<b>74,9</b>	<b>55,5</b>	<b>52,1</b>	<b>49,7</b>	<b>40,2</b>	<b>26,8</b>	<b>16,7</b>	<b>10,5</b>	<b>6,7</b>	<b>2,4</b>	<b>1,3</b>

### 12.13. Gemeten korrelverdeling zonder vulstof

maaswijdte zeef	massa/ zeefrest/ doorval	14	12,5	11,2	8	6,3	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	0,01
APT-C (1)	massa zeef + granulaat [g]	1798,2	1772,6	1800,6	2279,2	2277,0	1744,2	1989,6	2124,0	1850,0	1185,2	1197,6	1161,8	1079,2	2076,2
	massa zeef [g]	1798,2	1772,6	1782,6	1812,8	1808,4	1597,8	1729,6	1826,2	1635,4	1048,2	1105,0	1048,2	1050,8	2075,6
	zeefrest [%]	0,0	0,0	0,8	20,8	20,9	6,5	11,6	13,3	9,6	6,1	4,1	5,1	1,3	0,0
	gecumuleerde doorval [%]	100,0	100,0	99,2	78,4	57,5	51,0	39,4	26,1	16,6	10,5	6,4	1,3	0,0	0,0
APT-C (2)	massa (zeef+granulaat) [g]	1797,6	1772,6	1789,6	2286,8	2294,6	1723,0	2000,4	2121,8	1859,6	1183,2	1194,0	1158,8	1057,8	2077,2
	massa zeef [g]	1797,6	1772,6	1782,6	1812,8	1808,4	1579,8	1729,6	1826,4	1636,0	1047,8	1105,4	1048,8	1050,6	2075,2
	zeefrest [%]	0,0	0,0	0,3	21,1	21,7	6,4	12,1	13,2	10,0	6,0	3,9	4,9	0,3	0,1
	gecumuleerde doorval [%]	100,0	100,0	99,7	78,6	56,9	50,5	38,5	25,3	15,3	9,3	5,4	0,5	0,2	0,1
APT-C (3)	massa (zeef+granulaat) [g]	1797,6	1772,4	1794,8	2299,6	2296,0	1733,6	1982,4	2103,2	1848,0	1185,4	1200,6	1162,2	1084,6	2076,2
	massa zeef [g]	1797,6	1772,4	1783,2	1812,8	1808,0	1597,8	1729,6	1826,6	1636,0	1047,8	1105,2	1048,6	1050,6	2075,0
	zeefrest [%]	0,0	0,0	0,5	21,7	21,7	6,1	11,3	12,3	9,4	6,1	4,3	5,1	1,5	0,1
	gecumuleerde doorval [%]	100,0	100,0	99,5	77,8	56,1	50,0	38,7	26,4	17,0	10,8	6,6	1,5	0,0	0,0
Gemiddelde	gecumuleerde doorval [%]	100,0	100,0	99,5	78,3	56,8	50,5	38,9	26,0	16,3	10,2	6,1	1,1	0,1	0,0
	standaardafwijking [%]	0,0	0,0	0,2	0,3	0,6	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,1	0,0

maaswijdte zeef	massa/ zeefrest/ doorval	14	12,5	11,2	8	6,3	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	0,01
AB-4C (1)	massa (zeef+granulaat) [g]	1798,0	1772,4	1792,2	1984,8	2052,8	1690,0	2047,6	2388,4	1862,4	1189,4	1217,8	1415,6	1080,2	2078,6
	massa zeef [g]	1798,0	1772,4	1782,8	1812,4	1809,0	1597,8	1729,6	1826,4	1636,0	1047,6	1105,0	1048,4	1049,8	2075,0
	zeefrest [%]	0,0	0,0	0,4	7,6	10,7	4,0	14,0	24,7	9,9	6,2	4,9	16,1	1,3	0,2
	gecumuleerde doorval [%]	100,0	100,0	99,6	92,0	81,3	77,3	63,3	38,7	28,7	22,5	17,6	1,5	0,1	0,0
AB-4C (2)	massa (zeef+granulaat) [g]	1797,6	1774,6	1786,4	2028,4	2039,6	1690,2	2050,8	2372,0	1860,8	1191,6	1215,0	1408,4	1082,2	2077,2
	massa zeef [g]	1797,6	1772,6	1782,4	1812,4	1809,2	1598,0	1729,4	1827,0	1636,2	1047,8	1105,2	1048,0	1050,0	2074,4
	zeefrest [%]	0,0	0,1	0,2	9,5	10,1	4,0	14,1	23,9	9,8	6,3	4,8	15,8	1,4	0,1
	gecumuleerde doorval [%]	100,0	99,9	99,7	90,3	80,2	76,2	62,1	38,2	28,4	22,1	17,3	1,5	0,1	0,0
AB-4C (3)	massa (zeef+granulaat) [g]	1797,4	1774,2	1789,4	2036,4	2043,8	1680,8	2029,8	2380,0	1860,2	1188,6	1214,4	1409,8	1079,4	2079,2
	massa zeef [g]	1797,4	1772,4	1782,2	1812,8	1808,4	1597,4	1729,4	1827,2	1636,2	1047,6	1105,2	1049,0	1048,4	2074,6
	zeefrest [%]	0,0	0,1	0,3	9,8	10,3	3,7	13,2	24,3	9,8	6,2	4,8	15,9	1,4	0,2
	gecumuleerde doorval [%]	100,0	99,9	99,6	89,8	79,4	75,8	62,6	38,3	28,4	22,2	17,4	1,6	0,2	0,0
Gemiddelde	gecumuleerde doorval [%]	100,0	99,9	99,6	90,7	80,3	76,4	62,7	38,4	28,5	22,3	17,4	1,5	0,1	0,0
	standaardafwijking [%]	0,0	0,0	0,1	1,0	0,8	0,6	0,5	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0

## 12.14. Resultaten MVM

### AB-4C PmB2 (5,8%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	$\text{Mg} / \text{m}^3$	gram	gram	gram	$\text{Mg} / \text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	686,76	1 533,74	2 484,72	2 472,9
P5	1 261,3	0,9970	797,06	1 544,70	2 500,46	2 469,8
P6	1 303,0	0,9970	719,40	1 548,60	2 513,64	2 474,5

$\rho_{\text{wgem}}$	2 472
s	2,36

### AB-4C REF (5,8 %)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	$\text{Mg} / \text{m}^3$	gram	gram	gram	$\text{Mg} / \text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	686,66	1 461,82	2 439,80	2 457,5
P5	1 261,3	0,9970	796,72	1 513,82	2 480,80	2 460,4
P6	1 303,0	0,9970	719,12	1 501,02	2 482,60	2 454,8

$\rho_{\text{wgem}}$	2 458
s	2,78

### AB-4C PmB1 (5,8%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	$\text{Mg} / \text{m}^3$	gram	gram	gram	$\text{Mg} / \text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	686,94	1 387,20	2 399,34	2 490,6
P5	1 261,3	0,9970	796,70	1 552,76	2 506,64	2 482,2
P6	1 303,0	0,9970	719,04	1 560,68	2 520,94	2 476,2

$\rho_{\text{wgem}}$	2 483
s	7,24

APT-C PmB2 (5,8%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	687,06	1 500,88	2 466,28	2 480,8
P5	1 261,3	0,9970	797,20	1 605,12	2 537,83	2 479,6
P6	1 303,0	0,9970	719,44	1 441,66	2 451,18	2 486,2

$\rho_{wgem}$	2 482
s	3,51

APT-C REF (5,8%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	686,66	1 488,02	2 460,70	2 498,5
P5	1 261,3	0,9970	796,68	1 505,46	2 480,56	2 501,8
P6	1 303,0	0,9970	719,02	1 471,40	2 470,32	2 498,6

$\rho_{wgem}$	2 500
s	1,86

APT-C PmB1 (5,8%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	686,70	1 509,80	2 474,06	2 500,4
P5	1 261,3	0,9970	797,12	1 628,36	2 555,88	2 511,0
P6	1 303,0	0,9970	719,02	1 431,12	2 447,28	2 508,9

$\rho_{wgem}$	2 507
s	5,62

## AB-4C REF E60 (6,1%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	687,46	1 421,96	2 419,98	2 487,1
P5	1 261,3	0,9970	797,00	1 570,56	2 516,78	2 477,1
P6	1 303,0	0,9970	720,14	1 399,02	2 425,94	2 486,4

$\rho_{wgem}$	2 484
s	5,55

## AB-4C REF (6,4 %)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	687,52	1 385,92	2 399,40	2 495,9
P5	1 261,3	0,9970	797,16	1 538,62	2 497,96	2 478,8
P6	1 303,0	0,9970	719,74	1 462,08	2 462,72	2 479,4

$\rho_{wgem}$	2 485
s	9,69

## AB-4C PmB1 (6,1%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	686,86	1 387,44	2 399,56	2 491,5
P5	1 261,3	0,9970	796,90	1 513,14	2 482,58	2 478,4
P6	1 303,0	0,9970	719,06	1 317,22	2 376,10	2 482,1

$\rho_{wgem}$	2 484
s	6,76

AB-4C PmB1 (6,4%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	687,12	1 367,56	2 386,22	2 477,7
P5	1 261,3	0,9970	797,26	1 486,34	2 467,46	2 485,2
P6	1 303,0	0,9970	719,22	1 476,24	2 475,44	2 516,3

$\rho_{wgem}$	2 493
s	20,49

APT-C REF (6,1%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	687,42	1 390,82	2 401,72	2 490,7
P5	1 261,3	0,9970	797,08	1 534,28	2 495,18	2 477,5
P6	1 303,0	0,9970	719,28	1 445,52	2 452,44	2 477,8

$\rho_{wgem}$	2 482
s	7,55

APT-C REF (6,4 %)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	687,36	1 411,76	2 412,86	2 478,8
P5	1 261,3	0,9970	797,98	1 500,70	2 474,50	2 469,0
P6	1 303,0	0,9970	720,62	1 443,52	2 451,18	2 472,7

$\rho_{wgem}$	2 473
s	4,96

## APT-C PmB1 (6,1%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	687,14	1 343,42	2 373,70	2 495,7
P5	1 261,3	0,9970	796,94	1 559,78	2 510,24	2 476,5
P6	1 303,0	0,9970	719,56	1 436,64	2 449,44	2 496,8

$\rho_{wgem}$	2 490
s	11,37

## APT-C PmB1 (6,4%)

	$V_p$	$\rho_w$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\rho_w$
	Vol pyknometer (gevuld tot markering)	densiteit water 25°C	pyknometer, stop, vet	pyknometer, stop, vet, granulaten	pyknometer, stop, vet, granulaten, water tot markering	maximale densiteit asfaltmengsel
	$10^{-6} \text{ m}^3$	Mg / $\text{m}^3$	gram	gram	gram	Mg / $\text{m}^3$
P2	1 296,3	0,9970	687,52	1 426,10	2 422,08	2 483,7
P5	1 261,3	0,9970	797,54	1 534,30	2 495,74	2 480,6
P6	1 303,0	0,9970	719,60	1 363,88	2 405,94	2 498,6

$\rho_{wgem}$	2 488
s	9,65

## 12.15. Resultaten SVM<sub>hydro</sub> & %HR<sub>hydro</sub>

### AB-4C PmB2 (5,8%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	756,1	432,4	756,8	2,324	6,0%
1B	698,8	397,8	700,0	2,306	6,7%
2A	689,8	393,0	690,5	2,312	6,5%
2B	768,9	437,8	769,5	2,312	6,5%
3A	717,9	408,9	718,4	2,313	6,4%
3B	736,8	419,8	737,7	2,311	6,5%
4A	730,8	418,6	731,7	2,328	5,8%
4B	725,9	412,9	726,8	2,306	6,7%

120 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
5	1537,30	903,40	1537,70	2,417	2,2%
6	1539,10	906,00	1539,70	2,422	2,0%
7	1537,20	905,80	1537,50	2,427	1,8%
8	1537,00	905,00	1537,50	2,423	2,0%

### AB-4C REF (5,8%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	707,7	405,9	708,6	2,332	5,1%
1B	746,5	427,9	747,7	2,328	5,3%
2A	746,0	428,7	746,3	2,342	4,7%
2B	702,2	403,5	702,8	2,340	4,8%
3A	744,1	426,7	745,0	2,331	5,2%
3B	709,0	406,8	710,2	2,330	5,2%
4A	744,1	427,1	744,6	2,337	4,9%
4B	708,6	406,7	709,7	2,332	5,1%

120 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
5	1535,40	903,50	1534,60	2,426	1,3%
6	1531,50	902,20	1531,80	2,426	1,3%
7	1535,50	905,60	1536,00	2,429	1,2%
8	1535,60	905,30	1535,70	2,429	1,2%

### AB-4C PmB1 (5,8%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	728,8	425,1	728,9	2,395	3,5%
1B	746,8	430,8	747,3	2,356	5,1%
2A	735,3	427,5	735,5	2,383	4,0%
2B	724,6	422,8	725,2	2,392	3,7%
3A	706,3	406,9	707,3	2,347	5,5%
3B	739,9	430,7	740,5	2,384	4,0%
4A	729,5	419,8	729,5	2,352	5,3%
4B	738,7	426,4	739,5	2,355	5,1%

120 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
5	1536,50	913,20	1537,00	2,459	1,0%
6	1536,60	912,60	1536,80	2,458	1,0%
7	1562,00	929,80	1562,00	2,467	0,7%
8	1690,70	1005,60	1690,80	2,463	0,8%



## APT-C PmB2 (5,8%)

25 gyraties					
	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	731,1	417,2	732,9	2,309	7,0%
1B	725	416,1	728,5	2,314	6,8%
2A	735,6	420,5	737,1	2,316	6,7%
2B	721,2	412,6	724,3	2,307	7,1%
3A	743,9	427,3	745,2	2,333	6,0%
3B	712	410,4	714,4	2,335	5,9%
4A	761,4	438,6	763,5	2,336	5,9%
4B	694,2	400,4	696,1	2,341	5,7%

120 gyraties					
	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
5	1539,70	913,10	1540,20	2,448	1,4%
6	1538,30	911,60	1538,50	2,446	1,4%
7	1538,10	912,20	1538,30	2,449	1,3%
8	1538,30	909,90	1538,50	2,440	1,7%

## APT-C REF (5,8%)

25 gyraties					
	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	766,1	442,2	768,7	2,341	6,3%
1B	693,7	397,8	696,3	2,319	7,2%
2A	670,3	385,6	672,4	2,332	6,7%
2B	786,2	452,5	789,5	2,328	6,9%
3A	729,3	415,7	732,8	2,295	8,2%
3B	726,5	415,4	729,0	2,312	7,5%
4A	731,0	419,0	734,5	2,312	7,5%
4B	725,8	415,2	728,7	2,310	7,6%

120 gyraties					
	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
5	1539,70	908,30	1540,70	2,430	2,8%
6	1539,60	910,40	1540,80	2,437	2,5%
7	1530,20	907,80	1530,70	2,451	1,9%
8	1537,30	912,70	1537,60	2,455	1,8%

## APT-C PmB1 (5,8%)

25 gyraties					
	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	779,5	460,3	780,4	2,431	3,0%
1B	678,7	395,8	679,8	2,386	4,8%
2A	716,7	419,4	718,1	2,395	4,5%
2B	738,2	433,4	739,5	2,408	4,0%
3A	715,1	417,6	716,1	2,392	4,6%
3B	744,5	435,8	746,5	2,392	4,6%
4A	744,6	433,4	746,3	2,376	5,2%
4B	709,7	413,3	711,1	2,379	5,1%

120 gyraties					
	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
5	1538,50	915,90	1539,10	2,465	1,7%
6	1539,80	919,30	1539,80	2,477	1,2%
7	1538,90	919,90	1539,30	2,480	1,1%
8	1528,80	912,70	1528,90	2,477	1,2%

AB-4C REF (6,1%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	710,8	404,7	711,5	2,313	6,4%
1B	738,1	421,2	738,9	2,320	6,2%
2A	722,5	410,3	723,6	2,302	6,9%
2B	727,1	413,6	727,8	2,310	6,5%
3A	708,6	401,4	709,7	2,295	7,2%
3B	745,2	424,2	745,8	2,313	6,4%
4A	699,4	397,6	700,3	2,307	6,7%
4B	752,8	428,1	753,3	2,311	6,5%

AB-4C REF E60 (6,4%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	724,8	413,1	725,3	2,318	5,7%
1B	718,2	408,4	718,6	2,312	6,0%
2A	714,5	406,9	715,7	2,310	6,0%
2B	744,4	424,6	744,9	2,320	5,6%
3A	721,7	412,1	722,2	2,324	5,5%
3B	723,8	413,5	724,3	2,325	5,4%
4A	723,6	416,4	724,2	2,347	4,5%
4B	722,6	415,0	723,3	2,340	4,8%

AB-4C PmB1 (6,1%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	749,8	429,6	751,2	2,328	6,3%
1B	676,3	385,9	676,9	2,320	6,6%
2A	731,6	416,1	733,3	2,303	7,3%
2B	733,6	416,3	735,1	2,297	7,5%
3A	744,7	423,8	745,5	2,311	6,9%
3B	727,6	413,3	726,8	2,317	6,7%
4A	740,2	421,2	742,3	2,301	7,3%
4B	702,6	399,4	703,9	2,304	7,2%

AB-4C PmB1 (6,4%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	727,8	413,5	729,9	2,297	7,4%
1B	702,7	398,5	703,6	2,300	7,3%
2A	736,7	420,3	737,8	2,317	6,6%
2B	703,3	400,0	704,2	2,309	7,0%
3A	738,5	419,9	739,6	2,307	7,1%
3B	729,7	416,2	730,9	2,316	6,7%
4A	740,4	422,1	741,9	2,312	6,8%
4B	713,8	404,8	714,3	2,303	7,2%

APT-C REF (6,1%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	723,0	410,0	726,4	2,281	8,7%
1B	741,4	420,9	744,1	2,290	8,4%
2A	702,3	400,1	706,6	2,288	8,5%
2B	771,2	438,8	772,5	2,307	7,7%
3A	749,6	427,6	753,0	2,300	8,0%
3B	718,3	408,9	720,3	2,303	7,9%
4A	763,7	434,5	766,4	2,297	8,1%
4B	716,6	409,6	718,2	2,318	7,3%

APT-C REF (6,4%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	766,1	437,2	767,2	2,318	7,5%
1B	712,8	407,5	713,8	2,323	7,3%
2A	670,0	381,9	671,4	2,311	7,8%
2B	793,6	455,6	794,8	2,336	6,8%
3A	730,4	417,0	732,8	2,309	7,9%
3B	734,3	422,4	735,5	2,342	6,6%
4A	732,7	417,7	734,8	2,307	8,0%
4B	727,7	415,1	730,4	2,304	8,1%

APT-C PmB1 (6,1%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	715,4	410,5	717,9	2,324	7,3%
1B	757,1	433,0	758,6	2,322	7,4%
2A	708,5	403,0	713,7	2,277	9,2%
2B	749,4	426,5	751,5	2,303	8,1%
3A	733,0	420,0	737,1	2,309	7,9%
3B	749,3	426,7	750,6	2,310	7,8%
4A	724,9	412,9	729,4	2,287	8,8%
4B	750,8	428,7	753,3	2,310	7,9%

APT-C PmB1 (6,4%)

25 gyraties

	m <sub>1</sub> [gram]	m <sub>2</sub> [gram]	m <sub>3</sub> [gram]	SVM [Mg/m <sup>3</sup> ]	%HR [%]
1A	757,1	431,2	759,6	2,302	8,2%
1B	703,5	403,5	704,8	2,331	7,0%
2A	703,0	401,0	705,8	2,303	8,1%
2B	761,0	435,3	762,8	2,320	7,5%
3A	729,4	415,0	733,1	2,290	8,7%
3B	743,2	425,2	744,9	2,321	7,4%
4A	720,4	411,9	724,0	2,305	8,1%
4B	756,8	432,9	758,8	2,319	7,5%

## 12.16. Resultaten SVM<sub>gyr</sub> & %HR<sub>gyr</sub>

AB-4C PmB2 5,8%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2267			1	8,3		
2	2237			2	9,5		
3	2253			3	8,9		
4	2241			4	9,3		
5	2244	2320	2363	5	9,2	6,1	4,4
6	2244	2323	2365	6	9,2	6	4,3
7	2259	2342	2383	7	8,6	5,3	3,6
8	2254	2337	2381	8	8,8	5,5	3,7
Gem	2250	2330	2373	Gem	9,0	5,7	4,0
s	10	9	9	s	0,4	0,3	0,4

AB-4C REF 5,8%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2260			1	8,1		
2	2248			2	8,5		
3	2263			3	7,9		
4	2265			4	7,9		
5	2252	2331	2375	5	8,4	5,2	3,4
6	2256	2334	2376	6	8,2	5	3,3
7	2272	2352	2390	7	7,6	4,3	2,8
8	2264	2341	2380	8	7,9	4,8	3,2
Gem	2260	2340	2380	Gem	8,1	4,8	3,2
s	7	8	6	s	0,3	0,3	0,2

AB-4C PmB1 5,8%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2270			1	8,6		
2	2284			2	8		
3	2250			3	9,4		
4	2259			4	9		
5	2236	2327	2364	5	10	6,3	4,8
6	2273	2346	2373	6	8,5	5,5	4,4
7	2241	2312	2343	7	9,8	6,9	5,6
8				8			
Gem	2259	2328	2360	Gem	9,0	6,2	4,9
s	16	14	13	s	0,7	0,6	0,5

APT-C PmB2 5,8%

	SVM			%HR		
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]	25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2211			10,9		
2	2188			11,9		
3	2213			10,8		
4	2196			11,5		
5	2219	2317	2374	10,6	6,6	4,4
6	2244	2339	2390	9,6	5,8	3,7
7	2247	2344	2398	9,5	5,6	3,4
8	2225	2320	2374	10,3	6,5	4,4
Gem	2218	2330	2384	10,6	6,1	4,0
s	20	12	10	0,8	0,4	0,4

APT-C REF 5,8%

	SVM			%HR		
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]	25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2184	2288	2354	12,3	8,49	5,85
2	2198	2297	2360	12,6	8,1	5,59
3	2185	2290	2358	14,7	8,38	5,66
4	2201	2301	2366	13,3	7,94	5,35
Gem	2192	2294	2360	13,2	8,2	5,6
s	8	5	4	0,9	0,2	0,2

APT-C PmB1 5,8%

	SVM			%HR		
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]	25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2259			9,9		
2	2251			10,2		
3	2264			9,7		
4	2237			10,8		
5	2251	2342	2392	10,2	6,6	4,6
6	2263	2354	2402	9,8	6,1	4,2
7	2239	2336	2391	10,7	6,8	4,6
8	2262	2360	2420	9,8	5,9	3,5
Gem	2253	2348	2401	10,1	6,4	4,2
s	10	9	12	0,4	0,4	0,4

AB-4C REF 6,1%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2274			1	8,5		
2	2276			2	8,4		
3	2273			3	8,5		
4	2277			4	8,4		
Gem	2275			Gem	8,5		
s	1			s	0,0		

AB-4C REF 6,4%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2283			1	8,1		
2	2285			2	8,1		
3	2292			3	7,8		
4	2299			4	7,5		
Gem	2290			Gem	7,9		
s	6			s	0,2		

AB-4C PmB1 6,1%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2279			1	8,2		
2	2242			2	9,7		
3	2256			3	9,2		
4	2241			4	9,8		
Gem	2255			Gem	9,2		
s	15			s	0,6		

AB-4C PmB1 6,4%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2240			1	10,1		
2	2250			2	9,8		
3	2258			3	9,4		
4	2240			4	10,1		
Gem	2247			Gem	9,9		
s	8			s	0,3		

APT-C REF 6,1%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2225			1	10,3		
2	2233			2	10		
3	2215			3	10,8		
4	2225			4	10,3		
Gem	2225			Gem	10,4		
s	7			s	0,3		

APT-C REF 6,4%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2234			1	9,7		
2	2234			2	9,6		
3	2236			3	9,6		
4	2234			4	9,7		
Gem	2235			Gem	9,7		
s	1			s	0,0		

APT-C PmB1 6,1%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2234	2306	2361	1	10,3	7,4	5,2
2	2177	2325	2375	2	12,6	6,6	4,6
3	2209	2300	2358	3	11,3	7,6	5,3
4	2234	2306	2367	4	10,3	7,4	4,9
Gem	2214	2309	2365	Gem	11,1	7,3	5,0
s	23	9	6	s	0,9	0,4	0,3

APT-C PmB1 6,4%

SVM				%HR			
	25 [kg/m <sup>3</sup> ]	60 [kg/m <sup>3</sup> ]	120 [kg/m <sup>3</sup> ]		25 [%]	60 [%]	120 [%]
1	2219			1	10,8		
2	2218			2	10,8		
3	2227			3	10,5		
4	2219			4	10,8		
Gem	2220			Gem	10,7		
s	3			s	0,1		



## 12.17. Resultaten ITS & ITSR

### AB-4C PmB2 (5,8%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	4,8	99,8	42,1	6,0	0,728	0,890	0,112
2A	5,5	99,6	39,1	6,5	0,905		
3B	6,4	99,8	41,7	6,5	0,972		
4B	6,2	99,8	41,3	6,7	0,954		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	9,4	99,9	39,5	6,7	1,524	1,598	0,069
2B	11,0	99,8	43,6	6,5	1,614		
3A	9,9	99,8	40,3	6,4	1,570		
4A	10,8	99,8	40,7	5,8	1,686		
ITSR							
56%							

### AB-4C REF (5,8%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	6,6	99,9	39,9	5,1	1,059	1,193	0,134
2A	7,8	99,8	41,7	4,7	1,189		
3B	7,2	99,9	40,0	5,2	1,148		
4A	9,0	99,9	41,6	4,9	1,376		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	13,5	99,9	42,3	5,3	2,034	2,055	0,057
2B	13,1	99,8	39,6	4,8	2,106		
3A	13,7	99,9	41,6	5,2	2,095		
4B	12,4	99,8	40,0	5,1	1,984		
ITSR							
58%							

## APT-C PmB2 (5,8%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	6,9	99,7	41,8	7	1,058	1,081	0,065
2B	6,7	99,8	42	7,1	1,012		
3B	7,0	99,7	41,1	5,9	1,087		
4B	7,3	99,7	40	5,7	1,166		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	8,5	99,8	42,1	6,8	1,285	1,411	0,130
2A	8,7	99,7	42,2	6,7	1,321		
3A	10,3	99,8	42,2	6	1,561		
4A	10,0	99,7	43,4	5,9	1,476		
ITSR							
77%							

## APT-C REF (5,8%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	11,6	100	40,7	7,2	1,809	1,715	0,123
2A	10,5	99,9	38,6	6,7	1,736		
3B	12,0	100	42,8	7,5	1,779		
4A	10,3	99,8	42,8	7,5	1,535		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	14,1	99,9	43,8	6,3	2,053	1,927	0,097
2B	14,1	100	46,1	6,9	1,953		
3A	12,4	100,4	42,6	8,2	1,848		
4B	12,4	100,1	42,4	7,6	1,855		
ITSR							
89%							

## APT-C PmB1 (5,8%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	14,4	99,7	43,4	3,0	2,113	2,153	0,071
2A	13,3	99,7	40,1	4,5	2,113		
3A	14,4	99,8	40,7	4,6	2,259		
4A	14,0	99,7	42,1	5,2	2,125		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	15,4	99,7	38,4	4,8	2,559	2,649	0,070
2B	17,8	99,7	41,7	4,0	2,721		
3B	17,9	99,7	42,5	4,6	2,684		
4B	16,6	99,6	40,2	5,1	2,633		
ITSR							
81%							

## AB-4C REF (6,1%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	7,1	99,9	39,9	6,9	1,130	1,133	0,054
2B	7,1	99,9	40,8	7,0	1,107		
3B	7,9	100	41,6	6,9	1,210		
4A	6,7	99,9	39,2	7,1	1,085		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	11,8	99,8	41,5	6,6	1,806	1,788	0,041
2A	11,1	99,8	40,6	7,3	1,736		
3A	11,2	99,9	40	7,6	1,776		
4B	12,0	100	41,8	7	1,831		
ITSR							
63%							

AB-4C REF (6,4%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	7,7	99,9	40,7	6,7	1,199	1,286	0,094
2A	7,7	100	40,2	7	1,222		
3B	8,3	99,9	40,3	6,4	1,318		
4A	8,9	99,9	40,2	5,5	1,405		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	10,7	99,9	40	7	1,699	1,756	0,059
2B	11,5	99,9	41,3	6,6	1,771		
3A	10,9	99,9	40,3	6,5	1,722		
4B	11,5	99,8	40,0	5,8	1,833		
ITSR							
73%							

AB-4C PmB1 (6,1%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	11,9	99,8	42,2	6,3	1,794	1,643	0,141
2A	10,5	99,8	41,5	7,3	1,619		
3B	10,9	99,9	41,0	6,7	1,700		
4B	9,1	99,8	39,7	7,3	1,460		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	13,5	99,8	37,8	6,6	2,277	2,149	0,132
2B	12,9	99,8	41,7	7,5	1,966		
3A	14,3	99,7	42,3	7,0	2,158		
4A	14,5	99,7	42,1	7,4	2,197		
ITSR							
76%							

## AB-4C PmB1 (6,4%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	9,4	99,8	41,4	7,9	1,447	1,567	0,097
2B	9,7	99,8	39,8	7,4	1,550		
3B	10,8	99,8	41,0	7,1	1,680		
4A	10,4	99,7	41,8	7,3	1,591		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	12,0	99,8	39,6	7,7	1,931	2,063	0,143
2A	12,7	99,8	41,5	7	1,955		
3A	13,9	99,7	41,5	7,5	2,140		
4B	14,0	99,8	40,1	7,6	2,225		
ITSR							
76%							

## APT-C REF (6,1%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	7,3	99,8	41,8	8,1	1,114	1,227	0,092
2B	8,6	99,9	43,4	7	1,259		
3B	7,8	99,8	41,3	7,2	1,202		
4B	8,5	99,9	40,6	6,6	1,331		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	10,1	99,9	42,2	7,7	1,521	1,585	0,044
2A	10,1	99,9	40,5	7,8	1,591		
3A	10,9	99,7	43,2	7,3	1,611		
4A	11,1	99,8	43,8	7,4	1,616		
ITSR							
77%							

## APT-C REF (6,4%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	9,0	99,8	43,7	6,3	1,317	1,320	0,129
2A	7,4	99,8	38,7	6,6	1,219		
3B	9,7	99,9	41,3	5,3	1,503		
4A	8,2	99,8	42,1	6,7	1,240		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	9,9	99,9	40,3	6	1,570	1,503	0,196
2B	11,8	99,8	44,9	5,5	1,670		
3A	10,3	99,9	42,1	6,6	1,555		
4B	8,1	99,9	42,1	6,8	1,219		
ITSR							
88%							

## APT-C PmB1 (6,1%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	9,5	99,7	41,2	6	1,468	1,418	0,090
2B	8,9	99,8	43,1	6,9	1,314		
3B	10,2	99,8	43,0	6,6	1,513		
4A	9,1	99,8	42,2	7,5	1,377		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	13,3	99,7	43	6,1	1,980	1,866	0,089
2A	11,5	99,6	41,8	7,9	1,762		
3A	12,4	99,7	42,3	6,7	1,867		
4B	12,5	99,8	43,1	6,6	1,856		
ITSR							
76%							

## APT-C PmB1 (6,4%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	9,8	99,7	43,5	6,9	1,443	1,524	0,089
2A	9,4	99,7	40,6	6,9	1,476		
3B	10,9	99,8	42,1	6,1	1,645		
4A	10,0	99,7	41,7	6,8	1,533		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	12,3	99,7	40,1	5,7	1,959	1,860	0,116
2B	11,8	99,8	43,3	6,2	1,741		
3A	11,8	99,8	42,1	7,4	1,781		
4B	13,2	99,7	43,1	6,2	1,960		
ITSR							
82%							

## AB-4C PmB1 (5,8%)

natte set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1A	13,2	99,8	40,2	3,5	2,095	2,101	0,187
2A	14,9	99,8	40,4	4,0	2,357		
3A	11,9	99,8	39,7	5,5	1,914		
4B	13,2	99,9	41,2	5,1	2,036		
droge set							
tablet	P (kN)	D ( mm)	h ( mm)	%HR <sub>hydr</sub>	ITS (N/mm <sup>2</sup> )	ITS <sub>gem</sub>	stdev.s
1B	17,4	99,8	41,4	5,1	2,679	2,700	0,025
2B	17,1	99,8	40,3	3,7	2,702		
3B	17,7	99,8	41,3	4,0	2,734		
4A	17,0	99,8	40,5	5,3	2,685		
ITSR							
78%							

## 12.18. Resultaten wielspoorproef

### AB-4C PmB2 (5,8%)

	Cycli	0	1 000	3 000	5 000	10 000	20 000	30 000	40 000	50 000
links	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	0,9	1,2	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	2,6
rechts	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,0	1,4	1,6	1,9	2,2	2,4	2,6	2,9
gemiddelde	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	0,9	1,3	1,6	1,9	2,1	<b>2,3</b>	2,5	2,8

### AB-4C REF (5,8%)

	Cycli	0	1 000	3 000	5 000	10 000	20 000	30 000	40 000	50 000
links	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,8	1,3	1,6	2,0	2,4	2,7	2,9	3,2
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,6	2,6	3,3	3,9	4,7	5,3	5,7	6,4
rechts	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,6	1,0	1,2	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,2	2,0	2,5	3,2	3,9	4,3	4,7	5,0
gemiddelde	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,7	1,1	1,4	1,8	2,1	2,4	2,6	2,8
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,4	2,3	2,9	3,6	4,3	<b>4,8</b>	5,2	5,7

### AB-4C PmB1 (5,8%)

	Cycli	0	1 000	3 000	5 000	10 000	20 000	30 000	40 000	50 000
links	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,7	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,4	2,0	2,3	2,7	2,8	3,0	3,1	3,3
rechts	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,1	1,6	1,9	2,4	2,7	2,9	3,1	3,3
gemiddelde	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,6	0,9	1,0	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,3	1,8	2,1	2,5	2,8	<b>3,0</b>	3,1	3,3

### APT-C PmB2 (5,8%)

	Cycli	0	1 000	3 000	5 000	10 000	20 000	30 000	40 000	50 000
links	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,2
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	3,4	3,7	3,9
rechts	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,5	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	0,9	1,5	1,8	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
gemiddelde	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,1	1,6	2,0	2,4	2,7	<b>3,0</b>	3,2	3,4



APT-C REF (5,8%)

	<b>Cycli</b>	<b>0</b>	<b>1 000</b>	<b>3 000</b>	<b>5 000</b>	<b>10 000</b>	<b>20 000</b>	<b>30 000</b>	<b>40 000</b>	<b>50 000</b>
links	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	1,1	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	2,1	2,4	2,8	3,0	3,3	3,7	4,0	4,3
rechts	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,6	1,7	1,8
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,6	3,0	3,3	3,5
gemiddelde	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	<b>3,3</b>	3,6	3,9

APT-C PmB1 (5,8%)

	<b>Cycli</b>	<b>0</b>	<b>1 000</b>	<b>3 000</b>	<b>5 000</b>	<b>10 000</b>	<b>20 000</b>	<b>30 000</b>	<b>40 000</b>	<b>50 000</b>
links	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,0	1,4	1,6
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	0,8	1,1	1,4	1,6	1,8	2,0	2,7	3,0
rechts	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,2	1,3	1,4
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,4	2,6	2,7
gemiddelde	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,5
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	<b>2,2</b>	2,6	2,8

APT-C PmB1 (6,1%)

	<b>Cycli</b>	<b>0</b>	<b>1 000</b>	<b>3 000</b>	<b>5 000</b>	<b>10 000</b>	<b>20 000</b>	<b>30 000</b>	<b>40 000</b>	<b>50 000</b>
links	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,6	0,9	1,0	1,1	1,3	1,3	1,4	1,5
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,1	1,7	1,8	2,1	2,5	2,6	2,7	2,9
rechts	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,5
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,4	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,8	3,0
gemiddelde	gem. spoorvormingsdiepte (mm)	0,0	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,4	1,5
	gem. spoorvormingsdiepte (%)	0,0	1,3	1,7	1,9	2,1	2,5	<b>2,6</b>	2,8	2,9

## 12.19. Resultaten stijfheidsmetingen

AB-4C PmB1 5,8% 0°C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[μE]	[°C]	[°C]
0,1	5,08E-02	20,8	9898,8	11,4	39,9	0,0	0,0
0,2	5,08E-02	23,0	10937,1	10,2	39,9	0,0	0,0
0,5	5,09E-02	25,5	12148,9	9,1	39,9	0,0	0,0
1	5,09E-02	27,5	13064,2	8,4	39,9	0,0	0,0
2	5,09E-02	29,3	13920,3	7,7	40,0	0,0	0,0
5	5,09E-02	31,2	14831,7	7,1	40,0	0,0	0,0
10	5,10E-02	32,4	15397,4	6,9	40,0	0,0	0,0
20	5,10E-02	33,0	15704,4	7,3	40,0	0,0	0,0

AB-4C PmB1 5,8% 15°C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[μE]	[°C]	[°C]
0,1	5,08E-02	7,8	3701,4	25,6	39,9	14,4	13,9
0,2	5,08E-02	9,1	4346,6	23,7	39,9	14,7	14,5
0,5	5,09E-02	11,0	5213,4	22,2	39,9	14,7	14,9
1	5,09E-02	12,4	5906,3	21,2	39,9	14,8	15,0
2	5,09E-02	14,1	6701,6	19,9	40,0	14,8	14,8
5	5,09E-02	16,5	7825,0	18,5	40,0	14,7	14,4
10	5,10E-02	17,9	8513,3	17,5	40,0	14,7	14,6
20	5,10E-02	18,7	8870,4	16,9	40,0	14,7	14,7

AB-4C PmB1 5,8% 30 °C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[μE]	[°C]	[°C]
0,1	5,08E-02	2,3	1103,8	28,2	39,9	29,6	31,0
0,2	5,08E-02	2,6	1251,1	30,3	39,9	29,6	29,6
0,5	5,08E-02	3,5	1662,5	28,4	39,8	29,6	29,7
1	5,09E-02	4,2	1989,5	30,0	39,9	29,7	29,8
2	5,10E-02	5,0	2367,1	30,1	40,0	29,8	29,8
5	5,10E-02	6,3	2980,8	29,8	40,0	29,8	29,8
10	5,10E-02	7,2	3418,7	31,1	40,0	29,8	29,8
20	5,10E-02	7,7	3675,6	25,8	40,0	29,8	29,8

## APT-C PmB1 5,8% 0°C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[ $\mu$ E]	[°C]	[°C]
0,1	5,03E-02	16,9	7887,1	14,1	39,9	0,3	-0,4
0,2	5,03E-02	19,0	8894,8	12,4	39,9	0,2	-0,9
0,5	5,03E-02	21,1	9858,5	11,0	39,9	0,1	-0,6
1	5,04E-02	22,5	10510,7	10,0	39,9	0,1	-0,4
2	5,04E-02	24,0	11200,5	9,3	40,0	-0,1	-0,5
5	5,04E-02	25,7	12006,2	8,7	40,0	-0,2	-0,6
10	5,04E-02	26,7	12467,8	9,9	40,0	-0,3	-0,5
20	5,04E-02	27,1	12626,3	12,7	40,0	-0,3	-0,5

## APT-C PmB1 5,8% 15°C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[ $\mu$ E]	[°C]	[°C]
0,1	5,03E-02	7,2	3385,2	23,2	39,9	15,1	14,1
0,2	5,03E-02	8,3	3858,6	21,8	39,9	15,0	14,6
0,5	5,03E-02	9,7	4534,2	21,0	39,9	14,1	14,1
1	5,04E-02	10,8	5060,2	20,4	39,9	15,1	15,2
2	5,04E-02	12,4	5766,5	19,3	40,0	15,0	14,8
5	5,04E-02	14,4	6724,6	17,4	40,0	15,0	14,7
10	5,04E-02	15,7	7340,0	16,5	40,0	15,0	14,9
20	5,04E-02	16,4	7639,9	16,3	40,0	15,0	14,9

## APT-C PmB1 5,8% 30°C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[ $\mu$ E]	[°C]	[°C]
0,1	5,03E-02	2,3	1080,9	28,9	39,9	30,0	31,1
0,2	5,03E-02	2,5	1169,7	30,0	39,9	30,5	30,5
0,5	5,03E-02	3,3	1526,0	29,7	39,9	30,4	29,8
1	5,03E-02	3,9	1804,7	28,6	39,9	30,4	30,1
2	5,04E-02	4,5	2090,6	30,0	40,0	30,5	30,1
5	5,04E-02	5,6	2595,5	29,8	40,0	30,4	30,0
10	5,04E-02	6,3	2959,7	31,7	40,0	30,4	30,0
20	5,04E-02	6,8	3201,8	26,1	40,0	30,4	30,0

## APT-C PmB1 6,1% 0°C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[μE]	[°C]	[°C]
0,1	5,05E-02	18,9	9647,0	12,9	39,9	0,4	0,2
0,2	5,05E-02	20,8	10600,9	11,7	39,9	0,4	0,2
0,5	5,05E-02	23,0	11723,7	11,3	39,9	0,3	0,1
1	5,06E-02	24,7	12546,3	11,5	39,9	0,3	0,1
2	5,06E-02	26,2	13314,3	12,9	40,0	0,2	0,1
5	5,06E-02	28,1	14280,8	15,8	40,0	0,2	0,0
10	5,06E-02	29,4	14940,7	18,7	40,0	0,1	0,1
20	5,06E-02	29,0	14716,6	14,4	40,0	0,1	0,0

## APT-C PmB1 6,1% 15°C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[μE]	[°C]
0,1	5,05E-02	7,8	4000,2	22,2	39,9	15,0
0,2	5,05E-02	9,0	4644,4	20,9	39,9	15,0
0,5	5,05E-02	10,7	5511,2	20,4	39,9	15,0
1	5,05E-02	12,1	6236,1	19,5	39,9	15,0
2	5,06E-02	13,9	7125,6	18,7	40,0	15,0
5	5,06E-02	16,0	8224,9	18,9	40,0	15,0
10	5,06E-02	17,4	8947,0	20,0	40,0	15,0
20	5,06E-02	18,0	9262,4	21,1	40,0	15,0

## APT-C PmB1 6,1% 30°C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[μE]	[°C]	[°C]
0,1	5,05E-02	2,3	1194,8	26,0	39,9	30,4	31,5
0,2	5,05E-02	2,5	1288,9	28,7	39,9	30,5	31,2
0,5	5,05E-02	3,3	1704,3	28,6	39,9	30,4	29,9
1	5,05E-02	4,0	2062,9	29,6	39,9	30,4	30,1
2	5,06E-02	4,7	2418,1	30,0	40,0	30,5	30,2
5	5,06E-02	5,9	3037,9	29,6	40,0	30,5	30,2
10	5,06E-02	6,8	3487,4	31,2	40,0	30,4	30,1
20	5,06E-02	7,3	3727,1	28,8	40,0	30,4	30,1

APT-C REF 5,8% 0°C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[μE]	[°C]	[°C]
0,1	5,13E-02	18,5	8853,5	16,0	39,9	0,0	-0,2
0,2	5,13E-02	21,0	10079,9	14,0	39,9	-0,1	-0,1
0,5	5,13E-02	24,0	11485,7	12,0	39,9	-0,1	-0,2
1	5,14E-02	26,1	12496,4	10,7	39,9	-0,1	-0,2
2	5,14E-02	28,2	13502,8	9,8	40,0	-0,1	-0,2
5	5,14E-02	30,8	14732,7	9,4	40,0	-0,2	-0,2
10	5,14E-02	32,4	15471,3	8,7	40,0	-0,2	-0,3
20	5,15E-02	32,3	15469,5	8,9	40,0	-0,2	-0,3

APT-C REF 5,8% 15°C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[μE]	[°C]	[°C]
0,1	5,13E-02	5,4	2568,9	35,5	39,9	14,7	14,1
0,2	5,13E-02	6,7	3206,1	33,5	39,9	14,8	14,6
0,5	5,13E-02	8,8	4189,3	30,9	39,9	14,9	15,1
1	5,14E-02	10,6	5045,7	28,7	39,9	14,9	15,2
2	5,14E-02	12,9	6162,2	26,1	40,0	14,9	14,7
5	5,14E-02	15,8	7536,0	24,1	40,0	14,8	14,7
10	5,14E-02	17,7	8452,4	24,1	40,0	14,9	14,8
20	5,15E-02	18,6	8907,4	24,5	40,0	14,9	14,8

APT-C REF 5,8% 30 °C

Frequentie	Bending deflection	Force amplitude	Complex Modulus	Material Phase	Bending Strain	Core Temperature	Surface Temperature
[ ]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Deg]	[μE]	[°C]	[°C]
0,1	5,13E-02	1,4	671,1	30,2	39,9	30,3	31,5
0,2	5,13E-02	1,5	730,9	35,3	39,9	30,4	30,6
0,5	5,13E-02	2,2	1049,1	35,6	39,9	30,2	29,8
1	5,14E-02	2,7	1303,5	38,9	39,9	30,3	30,0
2	5,13E-02	3,4	1625,6	40,5	39,9	30,3	30,0
5	5,14E-02	4,7	2248,5	41,9	40,0	30,3	30,0
10	5,14E-02	5,8	2787,9	43,5	40,0	30,3	30,0
20	5,15E-02	6,9	3325,0	44,3	40,0	30,3	30,0

## 12.20. Resultaten statische drukproef

AB-4C PmB1 5,8%

<i>Tijd (min)</i>	<i>Indringing (mm)</i>			<i>Kracht (N)</i>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0
<b>1</b>	2,4	4,1	2,5	15839	18704	14848
<b>15</b>	5,4	6,4	4,8	15005	14997	15376
<b>30</b>	6,4	6,8	5,6	15007	14998	15840
<b>45</b>	7,2	6,9	6,3	15004	15002	15000
<b>60</b>	8,0	7,0	6,8	14971	15003	15438
<b>75</b>	9,2	7,1	7,5	14952	15000	15811
<b>90</b>	te groot	7,2	8,1	0	14997	15808
<b>105</b>	te groot	7,2	8,9	0	14995	15328
<b>120</b>	te groot	7,3	9,6	0	14991	14491

APT-C PmB1 5,8%

<i>Tijd (min)</i>	<i>Indringing (mm)</i>			<i>Kracht (N)</i>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0
<b>1</b>	2,2	2,2	2,2	15023	15023	15028
<b>15</b>	4,7	4,7	4,4	14999	15000	15003
<b>30</b>	5,1	5,2	4,9	14999	15000	14999
<b>45</b>	5,3	5,5	5,1	15000	14998	15001
<b>60</b>	5,4	5,7	5,3	14999	15000	15001
<b>75</b>	5,5	5,8	5,4	15000	15001	15000
<b>90</b>	5,5	5,9	5,5	15002	15000	14999
<b>105</b>	5,6	6,0	5,6	15000	15001	15001
<b>120</b>	5,6	6,0	5,6	14999	14998	15001

## APT-C PmB1 6,1%

<i>Tijd (min)</i>	<i>Indringing (mm)</i>			<i>Kracht (N)</i>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0
<b>1</b>	5,8	2,4	2,5	14967	15024	15024
<b>15</b>	9,3	5,2	4,3	14838	15000	15002
<b>30</b>	9,9	5,6	4,7	14841	14999	14999
<b>45</b>	10,4	5,8	4,9	18097	15000	15003
<b>60</b>	10,8	6,0	5,0	17813	14999	15002
<b>75</b>	11,0	6,1	5,1	15420	14999	14998
<b>90</b>	11,3	6,2	5,1	14953	15001	15003
<b>105</b>	11,5	6,2	5,1	15069	15003	15002
<b>120</b>	11,7	6,3	5,2	14736	15000	14998

## APT-C REF 5,8%

<i>Tijd (min)</i>	<i>Indringing (mm)</i>			<i>Kracht (N)</i>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0</b>	0,0	0,0	0,0	0	0	0
<b>1</b>	2,7	2,7	2,8	15025	15027	15028
<b>15</b>	6,2	4,7	4,9	14999	15000	15001
<b>30</b>	6,4	4,8	5,0	15000	14998	14999
<b>45</b>	6,5	4,9	5,1	14999	15002	15000
<b>60</b>	6,6	5,0	5,2	15000	15002	14999
<b>75</b>	6,7	5,0	5,2	15000	15001	14999
<b>90</b>	6,8	5,1	5,2	15000	14998	15000
<b>105</b>	6,8	5,1	5,2	14999	14999	14999
<b>120</b>	6,9	5,1	5,3	15000	14999	14998

## 12.21. Resultaten rafelingsproef

Proefplaat	Kracht (N)	Gemiddelde Temperatuur (°C)	Materiaalverlies (g)	Materiaalverlies per eenheid oppervlakte (g/m <sup>2</sup> )	Gemiddeld per plaat (g/m <sup>2</sup> )	St.dev. per plaat (g/m <sup>2</sup> )	Gemid. materiaalverlies per mengsel (g/m <sup>2</sup> )	Stand. Dev. per mengsel (g/m <sup>2</sup> )	
18-0634/1A	1000	38,6	2,0	50	57	9	80	35	APT-C Pmb1 5,8%
18-0634/1B		41,5	2,5	63					
18-0635/2A		40,8	3,0	75	103	39			
18-0635/2B		41,2	5,2	131					
18-0634/1A	1500	38,6	1,2	30	53	32	60	20	
18-0634/1B		41,5	3,0	75					
18-0635/2A		40,8	2,5	63	67	5			
18-0635/2B		41,2	2,8	70					
18-0634/1A	2000	38,6	1,6	40	58	25	80	31	
18-0634/1B		41,5	3,0	75					
18-0635/2A		40,8	4,5	113	102	16			
18-0635/2B		41,2	3,6	91					
18-0636/1A	1000	40,5	2,8	70	60	14	59	9	APT-C Pmb1 6,1%
18-0636/1B		40,8	2,0	50					
18-0637/2A		40,6	2,2	55	58	4			
18-0637/2B		39,5	2,4	60					
18-0636/1A	1500	40,5	3,8	96	86	14	68	30	
18-0636/1B		40,8	3,0	75					
18-0637/2A		40,6	3,0	75	50	36			
18-0637/2B		39,5	1,0	25					
18-0636/1A	2000	40,5	2,2	55	78	32	68	23	
18-0636/1B		40,8	4,0	101					
18-0637/2A		40,6	2,0	50	58	58			
18-0637/2B		39,5	2,6	65					
18-0638/1A	1000	39,3	13,0	327	317	14	320	62	APT-C REF 5,8%
18-0638/1B		39,5	12,2	307					
18-0639/2A		39,4	9,8	247	322	107			
18-0639/2B		40,5	15,8	398					
18-0638/1A	1500	39,3	23,0	579	611	46	715	391	
18-0638/1B		39,5	25,6	644					
18-0639/2A		39,4	45,6	362,3	818	644			
18-0639/2B		40,5	78,6	1273,3					
18-0638/1A	2000	39,3	52,0	1308	1225	117	1394	397	
18-0638/1B		39,5	45,4	1142					
18-0639/2A		39,4	45,6	1147	1563	587			
18-0639/2B		40,5	78,6	1978					
18-0640/1A	1000	40,2	6,4	161	136	36	103	44	AB-4C Pmb1 5,8%
18-0640/1B		41,1	4,4	111					
18-0641/2A		40,4	2,5	63	69	9			
18-0641/2B		40,3	3,0	75					
18-0640/1A	1500	40,2	7,6	191	140	73	104	59	
18-0640/1B		41,1	3,5	88					
18-0641/2A		40,4	3,1	78	69	12			
18-0641/2B		40,3	2,4	60					
18-0640/1A	2000	40,2	10,0	252	199	75	147	75	
18-0640/1B		41,1	5,8	146					
18-0641/2A		40,4	4,4	111	96	21			
18-0641/2B		40,3	3,2	81					