

Analyse van zwevende cementgebonden dekvloeren met een keramische afwerklaag

Dries Desmijter, Sander Vandeputte

Promotor: prof. dr. ir. Veerle Boel
Begeleider: ing. Kizzy Van Meirvenne

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

Vakgroep Bouwkundige Constructies
Voorzitter: prof. dr. ir. Luc Taerwe
Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Academiejaar 2015-2016



Voorwoord

Deze masterproef maakt deel uit van een onderzoeksprogramma uitgevoerd in het kader van het TETRA-project “Geïsoleerde binnenvloeren” dat is mogelijk gemaakt door de steun van het agentschap voor Innovatie door Wetenschap en door Technologie en de cofinanciering van een gebruikersgroep. Het projectteam bestaat uit Veerle Boel, Peter De Pauw, Sara Korte, Tinne Vangheel en Kizzy Van Meirvenne.

Vooreerst onze oprechte dank aan onze promotor prof. dr. ir. Veerle Boel voor de kans die zij ons gaf om aan dit masterproefonderzoek mee te werken. Steeds was zij bereid tijd te maken om onze vragen te beantwoorden en praktische informatie door te geven. Geen enkele vraag bleef onbeantwoord. Wij willen haar ook bedanken voor het nalezen van ons masterproefverslag.

Daarnaast willen wij de heer James De Smet en de heer Peter Goegebeur bedanken voor het vakkundig plaatsen en het betegelen van de proefvloeren. Eveneens danken wij ir. Tinne Vangheel voor de hulp zowel bij het plaatsen van de proefvloeren, als bij de uitvoering van de proeven op de dekvloermaterialen. Wij konden altijd rekenen op haar duidelijke uitleg en ondersteuning bij de verschillende proefopstellingen.

Verder ook onze beste dank aan ir. Peter de Pauw voor het geven van de nodige feedback over onze bekomen resultaten. Hij zocht bij afwijkende meetresultaten, samen met ons, naar verklaringen en oplossingen.

Ook willen we de heer Lucien van Boxstael en de heer Kristof De Sutter van harte danken voor de fijne samenwerking in het labo bouw. Gedurende het hele jaar konden wij op hen rekenen voor de praktische en technische ondersteuning bij de realisatie van de proefvloeren en bij de uitvoering van de metingen erop. Zij steunden ons tijdens de soms lange uren in het labo en zorgden af en toe voor een komische noot. We konden ook altijd terecht met onze praktische vragen in hun ‘bureau’.

Ten slot nog een woord van dank aan onze ouders, om dit masterproefverslag na te lezen en ons te steunen en te motiveren.

"De auteurs geven de toelating deze masterproef voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de masterproef te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterproef."

"The authors give permission to make this master dissertation available for consultation and to copy parts of this master dissertation for personal use. In the case of any other use, the limitations of the copyright have to be respected, in particular with regard to the obligation to state expressly the source when quoting results from this master dissertation."

7 juni 2016, Dries Desmijter en Sander Vandeputte

Overzicht

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

Titel: Analyse van zwevende cementgebonden dekvloeren met een keramische afwerklaag.

Auteurs: Dries Desmijter en Sander Vandeputte

Promotor: prof. dr. ir. Veerle Boel

Begeleider: ing. Kizzy Van Meirvenne

Vakgroep: Bouwkundige Constructies

Vakgroepvoorzitter: prof. dr. ir. Luc Taerwe

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur

Universiteit Gent

Academiejaar 2015-2016

Abstract

Deze masterproef maakt deel uit van een onderzoeksprogramma uitgevoerd in het kader van het TETRA-project “Geïsoleerde binnenvloeren”. Dit project heeft als doel om een praktische gids voor de vakman op te stellen. In het kader hiervan dient het vervormingsgedrag te worden onderzocht van een zwevende cementgebonden dekvloer met een keramische afwerklaag.

Tijdens het onderzoek worden twee proefvloeren gemaakt, waarbij de ene proefvloer na twee dagen en de andere proefvloer na 28 dagen is betegeld. De werkelijkheid wordt zoveel mogelijk benaderd door de plaatsing van de vloeren te laten uitvoeren door mensen uit de praktijk. Aan de hand van de registratie van de verticale en horizontale bewegingen van de twee proefvloeren in functie van de tijd, wordt een conclusie geformuleerd over het gedrag van de dekvloer. Tijdens het plaatsen van de proefvloeren worden proefstukken ontnomen en nieuw aangemaakt ter karakterisatie van het dekvloermateriaal. Voor het aanbrengen van de afwerkingslaag worden verschillende proeven uitgevoerd voor de bepaling van het vochtgehalte, de oppervlaktehechting, de indrukingsweerstand en de oppervlaktehardheid van de zandcementlaag. Aan de hand van deze metingen wordt een beter beeld verkregen over de mechanische karakteristieken, het krimp- en het drogingsgedrag van de dekvloer. Tijdens dit onderzoek wordt ook een vergelijkende studie gemaakt met de meetresultaten van een gelijkaardig onderzoek uit het academiejaar 2014-2015, waarbij proeven werden opgevolgd waar dekvloermaterialen gebruikt werden met een lager cementgehalte.

Uit de analyse van de proefresultaten blijkt dat het plaatsingstijdstip van betegeling op de proefvloeren een belangrijke invloed heeft op het krimp- en drogingsgedrag van de vloeren. In de cementgebonden dekvloer die 28 dagen is uitgedroogd, worden grotere horizontale en verticale krimpvervormingen vastgesteld, dan in de dekvloer die na twee dagen is betegeld. Bij het onderzoek naar de karakteristieken van de dekvloer wordt vastgesteld dat de verdichtingsgraad, het cementgehalte en de W/C-factor van de

zandcementsamenstelling een belangrijke invloed heeft op de resultaten van het krimpgedrag en de sterktekaracteristieken van het dekvloermateriaal. Tot slot tonen de resultaten van de verschillende werfproeven aan, dat best minimaal 28 dagen na het plaatsen van de cementgebonden dekvloer wordt gewacht om de afwerkingslaag aan te leggen.

Trefwoorden – zwevende cementgebonden dekvloer, krimpvervormingen, verdichtingsgraad, cementgehalte, W/C-factor.

Analysis of cement based floating screeds with ceramic flooring

Dries Desmijter and Sander Vandeputte

Supervisor(s): Prof. Dr. Ir. Boel V., Dr. Ir. Korte S. and Ir. De Pauw P.

Abstract- Because of the high number of damage cases, it is necessary to perform research to the ideal time of placement of ceramic flooring with a cement based floating screed. In this research, two large testing floors were made on which each horizontal and vertical movement will be recorded. The first floor will be tiled after 2 days and the other floor will be tiled after 28 days. Based on the movement of the two floors, it is possible to formulate a conclusion about the ideal time of placement of ceramic flooring.

Keywords- cement-based screeds, water/cement-ratio, mechanical properties, moisture, shrinkage, vertical deformation.

I. INTRODUCTION

Within the frameworks of the TETRA-project, research will be done into the behaviour of a cement based floating screed with ceramic flooring. It is advantageous to place the finishing layers as fast as possible. In the past, there have been many damage issues because of a too early placement of the finishing layers on the still too wet screed. To determine the ideal placement time of finishing layers, the hygrothermal and mechanical behaviour of the screed must be fully modeled.

The mechanical behaviour will be examined on the testing floors and on test pieces as well. Various tests will be performed on the testing floors to get a better picture of the moisture, shrinkage, vertical movement, adhesion, compaction and the mechanical properties. Finally, a comparison with a research from 2014 where the cement content was lower will be done.

II. LITERATURE

A. Mechanical properties of cement based floating screed

The strength of the screed depends on many different factors like the strength class of the cement, water/cement-ratio, calibration of the sand, etc. An important property is the rate at which the screed achieves his desired strength because the rate will be linked to the time period needed for commissioning the screed. Thus, it is advantageous to keep this time period as short as possible but on the other hand, a fast strength development increases the likelihood of cracks in the screed by releasing more heat during hydration reactions. [1]

B. Different types of shrinkage of cement based floating screeds

Four types of shrinkage occur in the screed. The first type is the chemical shrinkage because of the hydration reactions. The chemical shrinkage increases as the cement content or strength class of the cement rises. After the pouring of the screed, the water needed to manufacture the mixture starts to evaporate at the surface of the screed. This shrinkage is called drying shrinkage.

Because of temperature differences, thermal shrinkage also occurs in the screed. The last type of shrinkage is the autogenous shrinkage. This type of shrinkage occurs more often if the cement/water-ratio is kept low or because of the use of fine cement. If the screed is able to move freely, shrinkage is not a problem. However, this will probably never be the case. Walls and finishing layers will obstruct the shrinkage and induce cracks. [2] [3]

C. Influence parameters

The water/cement-ratio is higher in screeds than it is in concrete because of a much larger proportion of sand. In order to maintain the mixture processable, much more water is needed. Besides, various tests have shown that the mechanical properties of screed even improve for a rising water/cement-ratio. The mechanical properties of the screed can also be improved by raising the cement content. But because of the increasing heat development, the likelihood of cracks in the screed increases. During the hardening of the screed, temperature and relative humidity also have their influences. Due to temperature differences, thermal shrinkage occurs, which may lead to cracking. The relative humidity can, if kept high, limit the drying shrinkage. Thus, the more humid the environment, the less shrinkage will occur in the screed. [4]

D. Damage cases

Cement based screeds have the tendency to curl upward which occurs at the corners and perimeter of the screed. If the screed not adhere to the bearing floor, fracture can occur under the present load. Curling is mainly due to the moisture gradient that appears within the thickness of the screed: the upper surface dries and shrinks, while the lower one remains humid.

If the finishing layer is applied very early, the tiles will obstruct the shrinkage of the screed, creating a bi-metallic effect which will improve the spherical shape of the floor Tiles can break because of the curling,

spherical shape, too much shrinkage or an excessive moisture level in the screed. [5]

III. EXPERIMENTAL SETUP

A. Testing floors

As experimental setup two testing floors (4 m x 4 m) are provided. It is a floating screed with following structure:

- bearing floor in concrete
- insulation, PUR, thickness 10 cm
- PVC-film, thickness 12 μ m
- reinforced cement based screed, thickness 6 cm with mesh reinforcement 50 mm x 50 mm x 2 mm
- ceramic tiles, glued

Along the perimeter of the testing floors, edge isolation is provided to approach the reality as much as possible. The composition of the cement based screed contains the following mixture:

- 250 kg CEMIII/A each 1m³ rijnsand
- rijnsand caliber 0/7
- mixing water (W/C not known)

The mesh reinforcement is placed at one third of the thickness and the screed is compressed and leveled manually. A wooden framework and steel beams are constructed, on which measuring clocks will be attached later on. Each floor will be equally tiled with 2 types of tiles, i.e. tiles with dimensions 30 cm by 30 cm and tiles with dimensions 60 cm by 60 cm. These tiles will be glued on the screed. To evaluate the effect of the placement timing of the finishing layer the first floor will be tiled after 2 days and the other floor after 28 days.

B. Test pieces

To examine the mechanical properties of the cement based screed, individual test pieces with different dimensions are made. The test pieces are made of the composition of both floors. The test pieces are made in molds that are compacted manually. Test pieces were also extracted from the testing floors itself so that the same compaction is obtained in the test pieces as in the test floors. On these test pieces strength tests, shrinkage measurements and moisture level measurements will be performed.

IV. DEFORMATION MEASUREMENTS

The deformation measurements are performed on the test floors and on various test pieces. The horizontal deformation measurements are measured with a demec-device.

The vertical deformation will be calculated with measuring clocks along the perimeter of the testing floors and in the middle of the floors. Thanks to this method, any deformation (both horizontally and vertically) can be registered.

A. Vertical deformation

The measuring clocks are accurate to 0,01 mm. They can observe both a fall and rise in the movements of the testing floors. The clocks were placed on steel beams to obtain an independent formation.

In figure 1 the vertical deformations of the first testing floor can be seen. This floor was tiled after 2 days. As can be seen on the figure, the vertical deformations are limited. The different positions along the perimeter and the center show similar deformations.

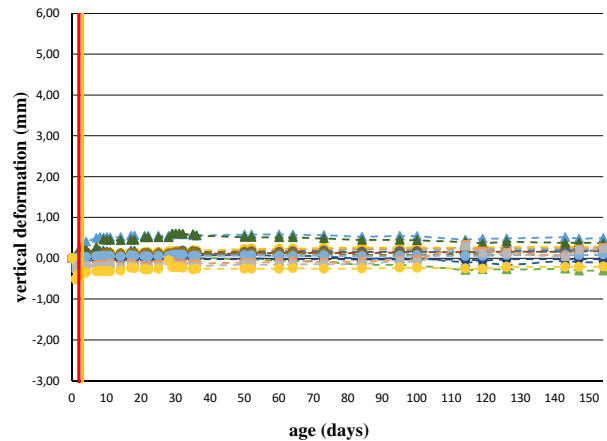


Figure 1: vertical deformation of testing floor 1

In figure 2, the vertical deformations of the second testing floor can be seen. This floor was tiled after 28 days. When looking at the deformations of the testing floor, the phenomenon of the curling is clearly visible. The vertical deformations rise up to 5 mm while the center does not rise or fall. After placing of the tiles, the vertical deformations do not rise anymore, just like the first testing floor.

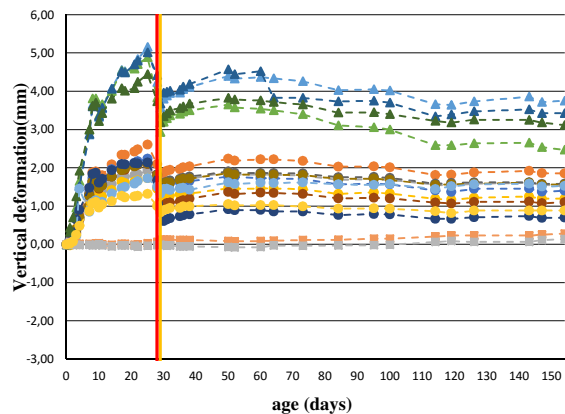


Figure 2: vertical deformation of testing floor 2

On figure 3 a 3D representation of the vertical deformations of the second testing floor is shown. The difference in vertical deformations between the small and larger tiles remains limited. Thus, the dimensions of the tiles do not have an effect on the deformations.

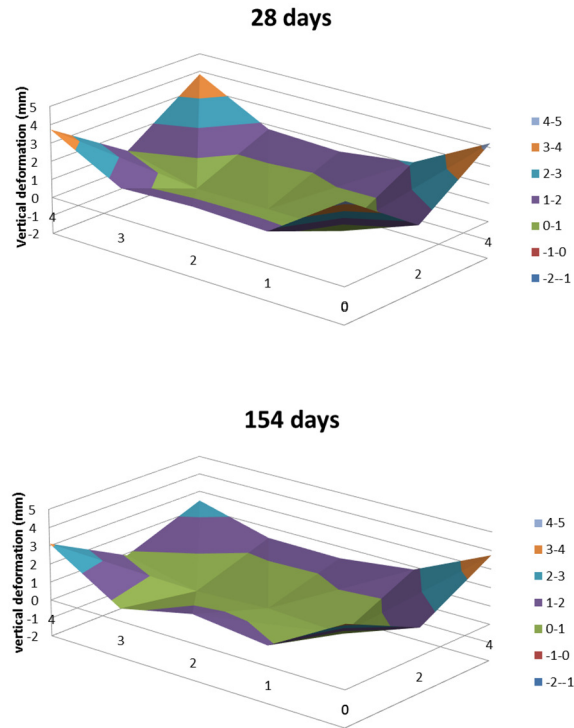


Figure 3: development of the vertical deformation of testing floor 2

B. Horizontal deformations

The demec-device, which measures the horizontal deformations, has an accuracy of 0,01 mm/m. First, a reference measurement is performed so the next measurements can be determined relatively to the reference measurement. This difference represents the horizontal deformation.

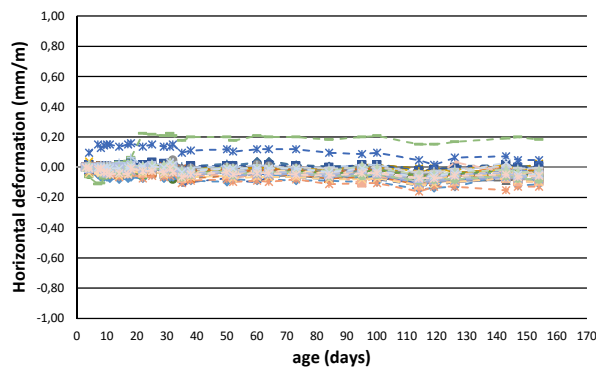


Figure 4: horizontal deformation of testing floor 1

Figure 4 shows the horizontal deformations of the first testing floor, which was tiled after 2 days. As can be seen on the graph, the horizontal deformations remain very limited.

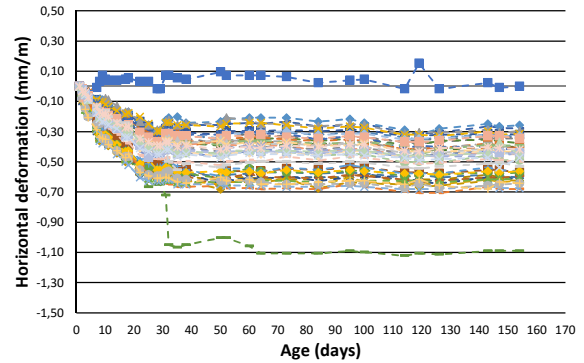


Figure 5: horizontal deformation testing floor 2

Figure 5 shows the horizontal deformations of the second testing floor, which was tiled after 28 days. The screed undergoes shrinkage deformations up to 0,7 mm/m. Once the tiles are placed, the deformations stop just like in the first testing floor.

V. EXAMINATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE CEMENT BASED SCREED

A. The moisture level

In order to be able to analyze the drying process, the moisture level of the two test floors is determined. There are two methods used to determine the moisture level: through a carbide measurement or through a drying furnace. The measurements are done after 2 days, after 28 days and when the demolition of the testing floors has taken place. The results of the moisture measurements are shown in table 1. As shown in the table, the floor tiled after 2 days contains significantly more moisture than the second floor which had been drying for 28 days.

Table 1: average moisture results carbide measurement

Test number	Floor 1 Moisture (%)	Floor 2 Moisture (%)
1 (2 days)	2,75	-
2 (28 days)	-	1,50
3 (154 days)	2,42	1,42

B. Adhesion of the surface

The adhesion of the screed surface is measured by the cohesion test. There are pastilles glued to the screed with a two-component adhesive. About 12 hours later, the pastilles are removed with a special device. The traction force needed to remove the pastilles from the screed represent the adhesion of the surface in N/mm².

The cohesion test was executed on both floors but only the results of the second floor were representative.

Table 2: adhesion strength testing floor 2 [N/mm²]

Test number	Tensile strength F (N)	Surface A (mm ²)	Adhesion strength B (N/mm ²)
1	4775	5026,548	0,95
2	6874	5026,548	1,37
3	5454	5026,548	1,09
4	6892	5026,548	1,37
5	7092	5026,548	1,41
6	6935	5026,548	1,38
7	8378	5026,548	1,67
Average adhesion strength B (N/mm ²)			1,32

C. Granule composition 'rijnsand' 0/7

By performing a sifting test in the laboratory the granule composition of the sand used in the screed will be controlled whether it complies with the specified caliber 0/7. The sand is first dried and then sifted through a set of sieves with decreasing mesh size. In figure 7, the fraction as function of mesh size is plotted on the graph, the so-called grading curve.

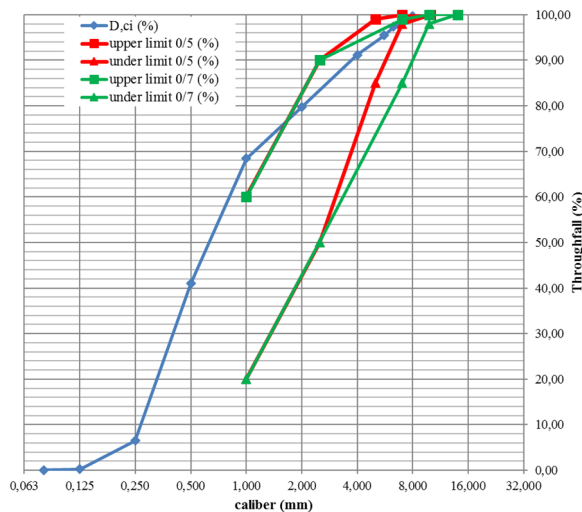


Figure 6: the grading curve

During the sifting test the fineness modulus of the sand was also determined which showed it was a coarse sand.

D. Compressive -and flexural strength

It is possible to learn more about the mechanical characteristics of the screed when a compressive -and flexural test is performed. The test pieces are tested respectively on 7, 14, 28 and 207 days of age. Figure 7 and 8 give the average compressive -and flexural strength (N/mm²) as a function of the age of the test pieces.

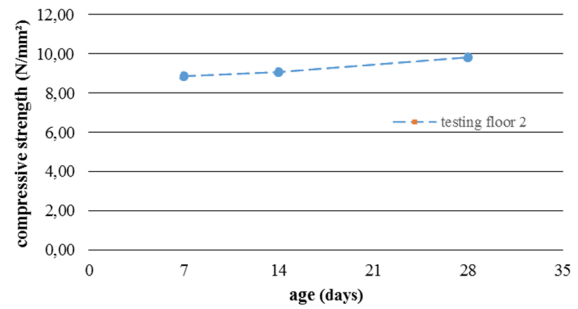


Figure 7: development of the compressive strength [N/mm²] as a function of the age.

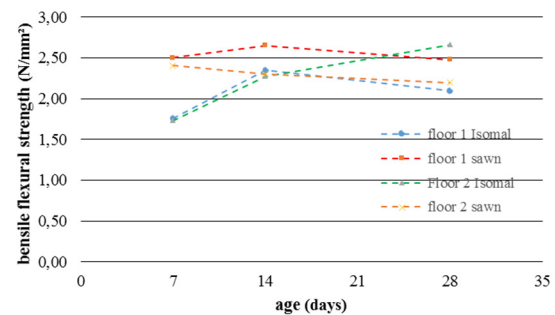


Figure 8: development of the bending flexural strength [N/mm²] as a function of the age.

The strength of the test pieces increases with age. After performing the test, results have shown that the compaction of the test piece plays a very large role in the eventual compressive -and flexural strength.

There is a linear relationship between the compressive strength and the volume mass. The higher the volume mass, the higher the mechanical characteristics of the floor. This effect particularly plays a major role in the compressive strength. This is less clear for the bending flexural strength.

In figure 9, you can see the relationship between the compressive strength and the compaction.

Just before demolition the testing floors are subjected to a static load. The results showed that the first testing floor, which was tiled after 2 days was a lot stronger than the second floor, which could harden for 28 days. Because of the fast drying, the hydration reactions may have stopped. The first floor was protected against fast drying because he was already tiled after two days. This phenomenon is proven by getting test pieces out of the testing floors and testing these test pieces on compressive -and flexural strength. Out of this test, the test pieces of the first testing floor are clearly stronger than the ones of the second testing floor.

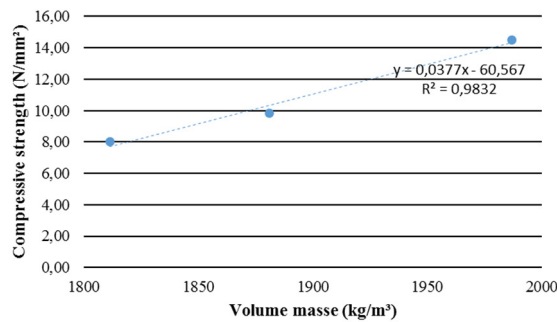


Figure 9: relationship between the compressive strength and the compaction

VI. CONCLUSION

The two testing floors are tiled at different moments. The first testing floor is tiled after 2 days and the second testing floor after 28 days. The results from the first testing floor show little deformation both vertically and horizontally. This is due to a greatly reduced drying effect of the tiling. On the second testing floor there are large deformations determined. The deformations are due to the longer drying of the sand-cement layer. From the measurements from the test pieces can be concluded that the shrinkage is not dependent on the manner of compacting and also not of the type of test piece. The values for all the test pieces evolve up to 0,9 mm/m. The strength tests showed that the volume mass was a major factor for the compressive strength of the test

pieces. The method of compacting is essential for the compressive strength. This could not be concluded for the bending tensile strength. The manner of compacting had no essential effect on the flexural strength. In contrast, the size of the test piece does play an important role. The larger the sample, the smaller the recordable bending tensile forces. The first testing floor turned out to be stronger than the second testing floor when the results of the load test are compared. Due to the presence of a higher moisture level in the first testing floor, the hydration process may be able to develop more optimally. From the research it is recommended to wait at least 28 days before tiling for a traditional sand-cement layer under normal conditions.

ACKNOWLEDGEMENTS

This thesis would not have been possible without the help of our promotor Veerle Boel.

REFERENCES

- [1] **Belgisch Instituut voor normalisatie. (2000).** NBN EN 197-1, Cement – Deel 1: Samenstelling, specificatie en overeenkomstigheidscriteria voor gebruikelijke cementsoorten.
- [2] **Febelcem. (2010).** *Scheurvorming beperken: noodzakelijke voorwaarde voor duurzaam beton.*
- [3] **WTCB. (2004).** De krimp van jong special beton. Katern Nr.2.
- [4] **Belgische betongroepering. (2013).** Betontechnologie. Brussel: Robert Gheysens.
- [5] Ambroise. J., Georgin. J.F., Péra. J. & Reynouard (2002). *Curling of cement-based screeds.*

Inhoudstafel

Hoofdstuk 1	Inleiding	1
1.1	Probleemstelling.....	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Opbouw van de masterproef	1
Hoofdstuk 2	Literatuurstudie	2
2.1	Dekvloeren.....	2
2.1.1	Dekvloer in de vloeropbouw	2
2.1.2	Bindmiddelen	5
2.1.3	Granulaten of toeslagmaterialen	8
2.1.4	Hulpstoffen.....	10
2.1.5	Wapening	10
2.1.6	Traditionele mortels en lijm mortels	10
2.1.7	Keramische tegels	12
2.2	Zwevende cementgebonden dekvloeren	13
2.2.1	Opbouw van een zwevende cementgebonden dekvloer.....	13
2.2.2	Uitvoering van een zwevende cementgebonden dekvloer	14
2.3	Gedrag van cementgebonden dekvloeren	14
2.3.1	Krimpverschijnselen	14
2.3.2	Invloed van de water-/cementfactor.....	17
2.3.3	Invloed van het cementgehalte bij eenzelfde W/C-factor	19
2.3.4	Invloed van de omgevingstemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid op de dekvloer	20
2.3.5	Vochtgehalte in een cementgebonden dekvloer.....	21
2.3.6	Opkrullen of schotelvorming van cementgebonden dekvloeren.....	22
2.4	Krimpverschijnselen bij verschillende dekvloermaterialen	23
2.5	Gedrag van betegelde vloerooppervlakken	24
2.5.1	Bolvorming van een betegeld vloerooppervlak	24

2.5.2	Verhinderde krimp bij een betegeld vloeroppervlak.....	25
	Hoofdstuk 3 Opbouw van de proefopstelling.....	27
3.1	De proefvloeren.....	27
3.2	Proefstukken ter bepaling van de karakteristieken van de dekvloer	29
	Hoofdstuk 4 Vervormingsmetingen	32
4.1	Verticale vervormingsmetingen	33
4.1.1	Proefmethode	33
4.1.2	Proefresultaten	34
4.2	Horizontale vervormingsmetingen.....	37
4.2.1	Proefmethode	37
4.2.2	Proefresultaten	39
	Hoofdstuk 5 Onderzoek naar de karakteristieken van de cementgebonden dekvloer.....	45
5.1	Bepalen van het vochtgehalte.....	46
5.1.1	Proefmethode	46
5.1.2	Proefresultaten	47
5.2	Oppervlaktehechting	49
5.2.1	Proefmethode	49
5.2.2	Proefresultaten	50
5.2.3	Evaluatie uitvoering cohesieproef.....	50
5.3	Ponsweerstand.....	51
5.3.1	Proefmethode	51
5.3.2	Proefresultaten	52
5.4	Oppervlaktehardheid.....	52
5.4.1	Proefmethode en proefresultaten.....	52
5.5	Zeeanalyse van het gebruikte rijnzand 0/7.....	53
5.5.1	Proefmethode	53
5.5.2	Proefresultaten	54
5.5.3	Vaststellingen.....	55

5.6	Druksterkte.....	56
5.6.1	Proefmethode	56
5.6.2	Proefresultaten	58
5.7	Buigtreksterkte	62
5.7.1	Proefmethode	62
5.7.2	Proefresultaten	64
5.8	E-modulus	67
5.8.1	Proefmethode	67
5.8.2	Proefresultaten	69
5.9	Vervormingsweerstand bij belasting.....	69
5.9.1	Proefmethode	69
5.9.2	Proefresultaten	71
5.10	Registratie van de omgevingstemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid in het labo	77
Hoofdstuk 6 Analyse van de onderzoeksresultaten.....		79
6.1	Analyse van de verticale vervormingsmetingen	79
6.1.1	Onderzoeksresultaten	79
6.1.2	Vergelijking met eerder uitgevoerd onderzoek.....	81
6.1.3	Verband tussen de onderzoeksresultaten en het theoretisch model	84
6.2	Analyse van de horizontale vervormingen.....	86
6.2.1	De onderzoeksresultaten	86
6.2.2	Resultaatvergelijking met eerder uitgevoerd onderzoek.....	89
6.3	Analyse van de bepalende factoren van de cementgebonden dekvloer voor betegelen.....	90
6.3.1	Vochtgehalte.	91
6.3.2	Oppervlaktehechting	91
6.3.3	Ponsweerstand.....	92
6.4	Invloed van de verdichting op de druksterkte en buigtreksterkte	92
6.5	Invloed van de ouderdom op de druksterkte	95
6.6	Vormfactoren	96

6.6.1 Druksterkte.....	96
6.6.2 Buigtreksterkte	98
6.7 Vervormingsweerstand van de proefvloeren bij belasting	99
Hoofdstuk 7 Aanbevelingen omtrent het plaatsingstijdstip van de afwerkingslaag.....	101
Hoofdstuk 8 Conclusie	102
Referentielijst	104
Bijlagen	108
Bijlage 1: Technische fiche PUR-isolatieplaten	108
Bijlage 2: Technische fiche lijm mortel Mapei Ultralite S1	110
Bijlage 3: Uitvergroting figuur 106	117
Bijlage 4: Uitvergroting figuur 108 en figuur 109.....	118

Lijst met figuren

Figuur 1: Hechtende dekvloer TV 189[36]	3
Figuur 2: Omtrek -en uitzetvoegen TV189 [36].....	3
Figuur 3: Niet-hechtende dekvloer TV189 [36].....	3
Figuur 4: Zwevende dekvloer TV189 [36].....	4
Figuur 5: Verloop van cement sterkteklassen [4].....	7
Figuur 6: Evolutie van de vervormbaarheid en sterkte tijdens de hydratatie [13].....	7
Figuur 7: Evolutie van de verschillende krimpcomponenten, afhankelijk van de tijd [27]	16
Figuur 8: Schematische voorstelling van de fenomenen teweeggebracht door veranderingen in het vochttransport [13].....	16
Figuur 9: Druksterkte in functie van de W/C-factor [10].....	17
Figuur 10: Hydratatiegraad in functie van de verhardingstijd en W/C-factor [14]	18
Figuur 11: Capillair poriënvolume in functie van de W/C-factor en hydratatiegraad [10]	19
Figuur 12: Totale krimp, afhankelijk van het cementtype [27].....	19
Figuur 13: Krimpvervorming van prisma's 60x15x15 cm bij een variërende cementhoeveelheid [31] 20	
Figuur 14: Krimp bij prisma's 16 cm x 4 cm x 4 cm voor enkele type dekvloersamenstellingen	23
Figuur 15: Plaatsing tegels op geschotelde dekvloer [7].....	24
Figuur 16: Schade door verhinderde krimp [7]	25
Figuur 17: Onderliggende PVC-folie	27
Figuur 18: Wapeningsnet 50 mm x 50 mm x2 mm.....	27
Figuur 19: Plaatsing referentielatten voor bepaling niveau.....	28
Figuur 20: Nivelleren van de dekvloer.....	28
Figuur 21: Plaatsing vloertegel 30 cm x30 cm.....	29
Figuur 22: Betegeling proefvloer 1	29
Figuur 23: Aanbrengen cementlijm op dekvloer.....	29
Figuur 24: Aanbrengen cementlijm op tegelrug.....	29
Figuur 25: Plaat aangebracht in houten bekisting	31
Figuur 26: Balkvormige metalen bekisting	31

Figuur 27: Kubusvormig proefstuk	31
Figuur 28: Balkjes aangebracht in isomal	31
Figuur 29: Aanmaken proefplaatjes uit proefvloer	31
Figuur 30: Ontkisten proefplaatje om later proefstukken uit te zagen	31
Figuur 31: Cilindervormig proefstuk	31
Figuur 32: Onderzijde Demec-toestel	32
Figuur 33: Afleesschaal Demec-toestel.....	32
Figuur 34: Analoge meetklok aan de rand van de proefvloer	33
Figuur 35: Bevestiging meetklokken aan metalen liggers	33
Figuur 36: Positie meetklokken, aangeduid door cirkel en nummering.....	34
Figuur 37: Meetresultaten verticale vervorming proefvloer 1.....	34
Figuur 38: Gemiddelde waarden verticale vervormingen proefvloer 1	35
Figuur 39: Gemiddelde waarden verticale vervormingen proefvloer 1 (met midden als referentie) ...	35
Figuur 40: Meetresultaten verticale vervormingen proefvloer 2.....	36
Figuur 41: Gemiddelde waarden verticale vervormingen proefvloer 2	36
Figuur 42: Gemiddelde waarden verticale vervormingen proefvloer 2 (met midden als referentie) ...	37
Figuur 43: Opmeten van meetpunten met behulp van het Demec-toestel.....	38
Figuur 44: Meetbaak lengte 20 cm.....	38
Figuur 45: Positie meetpunten.....	38
Figuur 46: Meetlocaties op de proefvloeren voor Demec-metingen	39
Figuur 47: Horizontale krimpvervorming proefvloer 1 (betegeld na 2 dagen)	41
Figuur 48: Horizontale krimpvervorming proefvloer 2 (na 28 dagen betegeld)	42
Figuur 49: Krimp balk 16x4x4cm zandcementsamenstelling 1	43
Figuur 50: Krimp balk 16x4x4cm zandcementsamenstelling 2	43
Figuur 51: Krimp plaat 21x16,5x4cm zandcementsamenstelling 1	43
Figuur 52: Krimp plaat 21x16,5x4cm zandcementsamenstelling 2	44
Figuur 53: Krimp plaat 50x50x6cm zandcementsamenstelling 1	44
Figuur 54: Krimp plaat 50x50x6cm zandcementsamenstelling 2	44

Figuur 55: Locaties op proefvloer 1	46
Figuur 56: Locaties op proefvloer 2	46
Figuur 57: Wegname proefstaal uit dekvloer	47
Figuur 58: Verbrijzelen van zandcement proefstaal.....	47
Figuur 59: Verlijmen van een pastille	49
Figuur 60: Uitvoeren van de cohesieproef	49
Figuur 61: Resultaat in de dekvloer na breuk.....	49
Figuur 62: Pastille na breuk.....	49
Figuur 63: De ponsstempel.....	51
Figuur 64: Een ponsinslag in de dekvloer	51
Figuur 65: Meetapparatuur voor diepte ponsinslag te meten in mm.....	51
Figuur 66: Uitvoeren van de krasproef.....	53
Figuur 67: Visueel resultaat van de krasproef.....	53
Figuur 68: Zeef met vierkante mazen.....	53
Figuur 69: De ISO-zeven in de trilkast.....	53
Figuur 70: De zeefkromme.....	55
Figuur 71: Proefopstelling voor breuk	56
Figuur 72: Proefopstelling na breuk.....	56
Figuur 73: Verloop van de kubusdruksterkte in functie van de ouderdom van kubussen met afmetingen 158 mm x 158 mm x 158 mm	61
Figuur 74: Verloop van de kubusdruksterkte in functie van de ouderdom van kubussen met afmetingen 100 mm x 100 mm x 100 mm	61
Figuur 75: Proefopstelling voor breuk	63
Figuur 76: Proefopstelling na breuk.....	63
Figuur 77: Verloop van de buigtreksterkte in functie van de ouderdom.....	66
Figuur 78: Verloop van de druksterkte in functie van de ouderdom.....	66
Figuur 79: Spanning-rekdiagram [6]	68
Figuur 80: Meetrichting voor de belastingsproeven.....	70
Figuur 81: Opstelling belastingsproef	70

Figuur 82: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 grote tegels langs zijde L1	71
Figuur 83: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 grote tegels langs zijde L2	72
Figuur 84: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 grote tegels langs diagonaal D..	72
Figuur 85: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 kleine tegels langs zijde L1	72
Figuur 86: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 kleine tegels langs diagonaal D	73
Figuur 87: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 kleine tegels langs zijde L2	73
Figuur 88: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 grote tegels langs zijde L1	73
Figuur 89: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 grote tegels langs diagonaal D..	74
Figuur 90: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 grote tegels langs zijde L2	74
Figuur 91: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 kleine tegels langs zijde L1	74
Figuur 92: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 kleine tegels langs diagonaal D	75
Figuur 93: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 kleine tegels langs zijde L2	75
Figuur 94: Verticale verplaatsing onder belasting bij proefvloer 2 grote tegels langs zijde L1	76
Figuur 95: De datalogger.....	77
Figuur 96: De daggemiddelden van de omgevingstemperatuur (°C).....	77
Figuur 97: De daggemiddelden van de relatieve luchtvochtigheid (%)	78
Figuur 98: Verloop verticale vervormingen proefvloer 2	80
Figuur 99: Gemiddelde verticale vervorming proefvloer met betegeling na 2 dagen met midden als referentie (reeks 2014-2015)	81
Figuur 100: Gemiddelde verticale vervorming proefvloer met betegeling na 2 dagen met midden als referentie (reeks 2015-2016)	82
Figuur 101: Gemiddelde verticale vervorming proefvloer na 28 dagen betegeling met midden als referentie (reeks 2014-2015)	83
Figuur 102: Gemiddelde verticale vervorming proefvloer na 28 dagen betegeling met midden als referentie (reeks 2015-2016)	83
Figuur 103: Verticale beweging hoekpunt vloerplaat 4 x 4 m volgens het theoretisch model	84
Figuur 104: Verticale beweging midden zijde vloerplaat 4 x 4 m volgens het theoretisch model.....	85
Figuur 105: Verticale beweging centrum vloerplaat 4 x 4 m volgens het theoretisch model	85
Figuur 106: Horizontale krimp proefvloer 2 na betegelen	87

Figuur 107: Krimpvervorming bij prisma's 600 mm x 150 mm x 150 mm met 250 kg cement per m ³ zand	88
Figuur 108: Horizontale vervormingen proefvloer 1 (reeks 2014-2015)	89
Figuur 109: Horizontale vervormingen proefvloer 2 (reeks 2014-2015)	89
Figuur 110: Druksterkte van kubussen met ouderdom van 28 dagen in functie van de volumemassa's	93
Figuur 111: Buigtreksterkte van prisma's met een ouderdom van 28 dagen in functie van de volumemassa's	94
Figuur 112: Experimentele tegenover theoretische druksterktes met ouderdomscoëfficiënt voor het gebruikte cementtype	95

Lijst met tabellen

Tabel 1: Ruwe indeling cementtypes (NBN EN 197-1, 2011).....	6
Tabel 2: Indeling cement op basis van sterkte (NBN EN 197-1, 2011).....	6
Tabel 3: Classificatie van tegellijmen [3].....	12
Tabel 4: Maximaal vochtgehalte bij een gelijkde plaatsing TV273 [8]	22
Tabel 5: Overzicht soorten proefstukken	30
Tabel 6: Overzicht uitgevoerde vervormingsproeven	32
Tabel 7: Gemiddelde resultaten carbideflesmetingen op de proefvloeren	47
Tabel 8: Gemiddelde resultaten carbideflesmetingen op de proefplaten	48
Tabel 9: Resultaten van de droogovenproef.....	48
Tabel 10: Hechtsterkte van proefvloer 2	50
Tabel 11: Criteria resultaten ponsproef TV189 [36]	51
Tabel 12: Resultaten van de ponsproef	52
Tabel 13: Gemiddelde resultaten zeefproef rijnzand 0/7.....	54
Tabel 14: De fijnheidsmodulus NBN EN 12620 [18]	55
Tabel 15: Druksterkteklassen voor dekvloeren [29]	57
Tabel 16: Sterkte-eisen op basis van vloertype [29]	57
Tabel 17: Druksterktes van kubussen met zijde 100 mm van proefvloer 2.....	58
Tabel 18: Druksterktes van kubussen met zijde 158 mm van proefvloer 2.....	58
Tabel 19: Druksterktes van kubussen met zijde 150 mm van proefvloer 1.....	58
Tabel 20: Druksterktes van kubussen met zijde 50 mm van proefvloer 1 (locatie 1)	58
Tabel 21: Druksterktes van kubussen met zijde 50 mm van proefvloer 1 (locatie 2)	59
Tabel 22: Druksterktes van kubussen met zijde 50 mm van proefvloer 2 (locatie 1)	59
Tabel 23: Druksterktes van kubussen met zijde 50 mm van proefvloer 2 (locatie 2)	59
Tabel 24: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 1(locatie 1)	59
Tabel 25: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 1 (locatie 2)	59
Tabel 26: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 2 (locatie 1)	60
Tabel 27: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 2 (locatie 2)	60

Tabel 28: Druksterktes van cilinders met diameter 150 mm van proefvloer 1	60
Tabel 29: Druksterktes van cilinders met diameter 150 mm van proefvloer 2	60
Tabel 30: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 1	60
Tabel 31: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 2	61
Tabel 32: Buigtreksterkteklassen voor dekvloeren [29].....	63
Tabel 33: Buigtreksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 uit isomal	64
Tabel 34: Buigtreksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 nat gezaagd ...	64
Tabel 35: Buigtreksterktes van prisma's 600 mm x 150 mm x 150 mm van proefvloer 1	64
Tabel 36: Buigtreksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 2 uit isomal	64
Tabel 37: Buigtreksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 2 nat gezaagd ...	65
Tabel 38: Buigtreksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 en 2	65
Tabel 39: Druksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 uit isomal	65
Tabel 40: Druksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 nat gezaagd	65
Tabel 41: Druksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 2 uit isomal	65
Tabel 42: Druksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 2 nat gezaagd	65
Tabel 43: Druksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 en 2	66
Tabel 44: E-moduli [N/mm ²] bepaald met cilinders met diameter 150 mm en hoogte 300 mm.....	69
Tabel 45: Overeenkomstige belastingen volgens nummering op X-as voor figuur 94	76
Tabel 46: Toelaatbare vochtgehaltes volgens carbideflesmethode, TV 189 [36]	91
Tabel 47: Hechtsterkteklassen volgens NBN EN 13813 [19]	92
Tabel 48: Vormfactoren voor druksterkte in functie van de ouderdom	97
Tabel 49: Vergelijking tussen experimenteel bepaalde en theoretische (voor beton) vormfactoren.....	97
Tabel 50: Vormfactoren voor buigtreksterkte in functie van de ouderdom	98

Lijst met afkortingen

Afkorting	Betekenis
$D_{\max}$	Maximale korreldiameter [mm]
ε	Rek [-]
α	Uitzettingscoëfficiënt [mm/m K ⁻¹]
Δt	Temperatuur [K]
W/C	Water-/ cementfactor [-]
$Q(t)$	Vrijgestelde warmte-energie [J]
Q_{tot}	Totale warmte vrijgesteld na volledige hydratatie [J]
$\alpha_h(t)$	Hydratatiegraad [-]
Δw	Vochtigheid [%]
U	Warmtedoorgangscoefficiënt [W/m ² K]
ϕ	Diameter [mm]
H	Horizontale vervorming [mm/m]
B	Hechtsterkte [N/mm ²]
F	Trekkracht [N]
A	Oppervlakte [mm ²]
σ	Standaardafwijking [-]
Zci	Gecumuleerde zeefrest [%]
Dci	Doorval [%]
CF	Coarse fineness [-]
MF	Medium fineness [-]
FF	Fine fineness [-]
R	Buigsterkte [N/mm ²]
P	Belasting [N]
ρ	Dichtheid [kg/m ³]
m	Massa [kg]
b	Breedte [mm]
h	Hoogte [mm]
l	Lengte [mm]
Cw	Druksterkte in situ [N/mm ²]
Fw	Buigtreksterkte in situ [N/mm ²]
Ecm	Secans-elasticiteitsmodulus [N/mm ²]
$F_{c,\text{cub}}$	Cilinderdruksterkte [N/mm ²]
$F_{c,\text{cil}}$	Kubusdruksterkte [N/mm ²]
F_{cm}	Gemiddelde druksterkte [N/mm ²]
B_{cc}	Ouderdomscoëfficiënt [-]

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Diverse schadegevallen aan vloerafwerkingen, geplaatst op een dekvloer zijn een veel voorkomend verschijnsel. De oorzaak van scheurvorming in het vloeroppervlak of loskomende vloerbekledingen is meestal te wijten aan problemen met de dekvloermaterialen die zich onder de vloerafwerking bevinden. Om schade te voorkomen is een juiste materiaalkeuze, samenstelling en plaatsingstechniek van de dekvloer hierbij van essentieel belang. In de praktijk is het vaak moeilijk om de kwaliteit van de dekvloeren goed te beoordelen. Daarom is het noodzakelijk de uitvoerders een technische leidraad ter beschikking te stellen op basis van de specifieke eigenschappen van elk type dekvloer.

1.2 Doelstelling

In deze masterproef is het de bedoeling om de invloed van verschillende factoren op de kwaliteit van cementgebonden dekvloeren te onderzoeken. Door het maken van praktijkmodellen worden de ideale karakteristieken van de dekvloer, de korrelverdeling van het gebruikte zand, het cementtype, het cementgehalte, de verdichting van het dekvloermateriaal nagegaan. Tevens wordt de invloed onderzocht van het plaatsingstijdstip van betegeling in functie van de optredende krimpvervormingen in de dekvloeren. Aan de hand van geraadpleegde voorschriften en normen, resultaten van vergelijkende studies en uitgevoerde praktische proeven op diverse cementgebonden dekvloermaterialen wordt een masterproefverslag opgesteld, waarin de bekomen resultaten worden weergegeven en geanalyseerd.

1.3 Opbouw van de masterproef

Het eerste deel van het masterproefverslag bevat de literatuurstudie. De lezer krijgt hier een beeld over het begrip “dekvloer”. De verschillende soorten dekvloeren worden besproken, waarbij dieper wordt ingegaan over de opbouw, de functie en de karakteristieken van de zwevende cementgebonden dekvloer.

In hoofdstuk 3 wordt de opbouw van de proefopstelling besproken en wordt er informatie gegeven over de constructie van de proefvloeren en de aanmaak van de verschillende kleine proefstukken.

De proefmethodes en de meetresultaten van de uitgevoerde proeven worden in de volgende twee hoofdstukken behandeld. De verticale en horizontale vervormingen, de opbouw en sterktekaracteristieken van de cementgebonden dekvloer worden proefondervindelijk onderzocht.

In hoofdstuk 6 worden alle proefresultaten uitgebreid geanalyseerd en worden er verbanden gelegd tussen de informatie uit de literatuurstudie en de resultaten van eerder uitgevoerde onderzoeken. Deze analyse leidt in hoofdstuk 7 tot het vormen van een aanbeveling omtrent het plaatsingstijdstip van de afwerkingslaag op een cementgebonden dekvloer.

Tot slot wordt in het masterproefverslag alle conclusies van het geleverd onderzoek besproken.

Hoofdstuk 2 Literatuurstudie

In het kader van het TETRA-project “Geïsoleerde binnenvloeren” wordt onderzoek verricht naar het gedrag van een zwevende cementgebonden dekvloer met een keramische afwerklaag. Een zwevende dekvloer wordt geplaatst op een isolatielaag waarvan de dikte aangepast is aan de geldende normen. Technische documenten onder andere de TV189 van het WTCB raden aan om ongeveer 28 dagen of circa 5 tot 7 dagen per centimeter zandcementlaagdikte te wachten voor het plaatsen van de afwerklaagen. Als de dekvloer voldoende kan uitdrogen, wordt er schade ten gevolge van vochttransport en krimpvervormingen vermeden. Het plaatsingstijdstip van de afwerklaagen speelt dus een belangrijke rol op de cementgebonden dekvloeren bij de uitvoering. Daarom is het noodzakelijk om aan de uitvoerders een technische leidraad ter beschikking te stellen. Hiervoor dient het hygrothermisch en mechanisch gedrag van de dekvloer volledig gemodelleerd te worden.

2.1 Dekvloeren

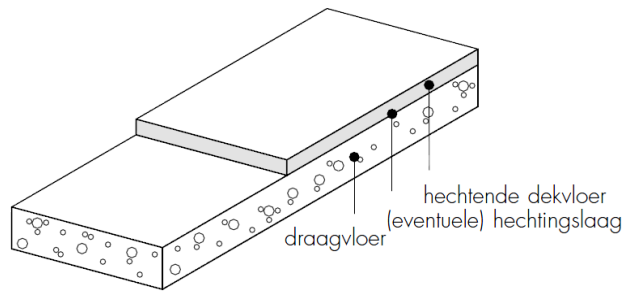
Er zijn verschillende types dekvloer te onderscheiden naargelang het materiaal of de opbouw. Het spreekt voor zich dat elk type dekvloer andere eigenschappen heeft. Naargelang het materiaal wordt er onderscheid gemaakt tussen de cementgebonden dekvloeren, calciumsulfaatgebonden (anhydriet) dekvloeren, kunstharsgebonden dekvloeren en magnesiet dekvloeren. Door de beperkte toepassing van de laatste twee types in België worden enkel de cementgebonden dekvloeren en de anhydriet dekvloeren besproken. Op basis van opbouw kan de volgende indeling gemaakt worden: hechtende dekvloeren, niet-hechtende dekvloeren en zwevende dekvloeren. [15] [36]

2.1.1 Dekvloer in de vloeropbouw

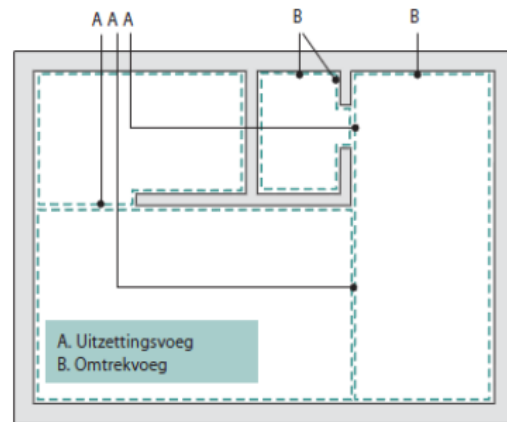
Bij de opbouw zijn er drie hoofdcategorieën te onderscheiden: de hechtende, de niet-hechtende en de zwevende dekvloer.

Een **hechtende dekvloer** is een dekvloer die door zijn samenstelling en uitvoering hechtend wordt aangebracht aan de draagvloer (figuur 1). Deze hechting wordt verondersteld permanent te zijn. Een hechtende dekvloer kan worden aangebracht, indien er geen eisen omtrent isolatie worden gesteld. Dit type dekvloer vereist ook de kleinste beschikbare dikte en er wordt meestal geen wapening in geplaatst. Het brengt de belastingen op de vloer min of meer rechtstreeks over op de draagvloer en is dus niet op buiging belast. Tijdens de uitvoering is het belangrijk dat de ondergrond stofvrij is en dat er geen cementmelk afkomstig van de draagvloer op de ondergrond aanwezig is. Indien nodig kan er een aanbrandlaag worden aangebracht. Om schade door vocht aan de dekvloer te vermijden moet vochttransport uit de ondergrond worden voorkomen. Indien leidingen (vloerverwarming, leidingen technieken) of dikteverminderingen in de dekvloer aanwezig zijn, wordt aangeraden om een wapeningsnet te plaatsen zodat de plaatselijke spanningen worden opgenomen.

Uitzetvoegen zijn door de hechting van de dekvloer aan de draagvloer niet noodzakelijk en in bepaalde gevallen zelfs nadelig. Omtrekvoegen (figuur 2) worden bij een hechtende dekvloer wel voorzien, om de differentiële bewegingen tussen de vloer en de wanden op te vangen. [7] [15] [33] [36] [41]

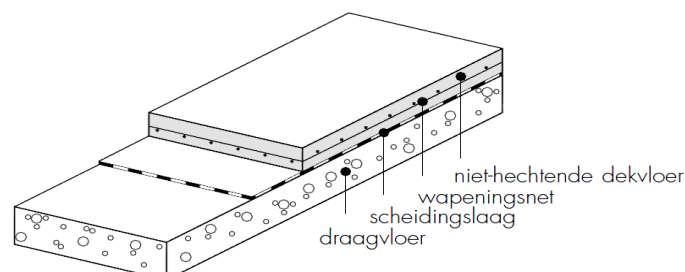


Figuur 1: Hechtende dekvloer TV 189[36]



Figuur 2: Omtrek -en uitzetvoegen TV189 [36]

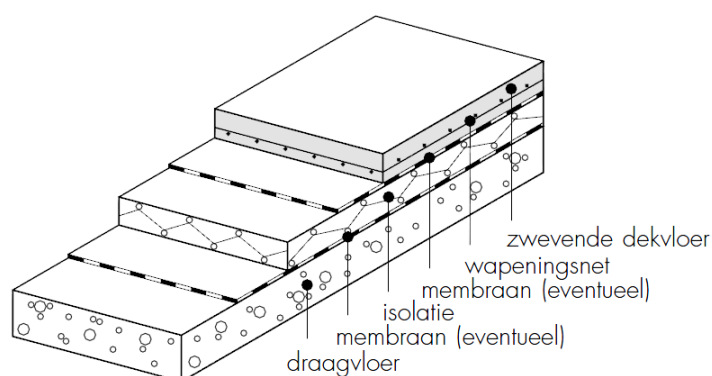
Een **niet-hechtende dekvloer** wordt gescheiden van de draagvloer door middel van een scheidslaag (figuur 3). Op geen enkele plaats hecht de dekvloer aan de ondergrond en elke vorm van ‘haakweerstand’ wordt zoveel mogelijk voorkomen. Dit type dekvloer wordt meestal toegepast op scheurgevoelige of vervormbare ondergronden, bij risico op opstijgend vocht of bij plaatsing van vochtgevoelige vloerbedekkingen. Net zoals bij de hechtende dekvloer dient de ondergrond vlak te zijn om een correcte uitvoering mogelijk te maken. Het aanbrengen van een bijkomende uitvullaag kan noodzakelijk zijn om deze vlakheid te creëren. Uitzet- en omtrekvoegen (figuur 2) zijn nodig om de hygrothermische bewegingen van de vloer op te vangen en om elk contact tussen de dekvloer en de vaste bouwdelen te vermijden. Een algemeen wapeningsnet wordt voorzien op halve hoogte van de dekvloer om een goede verdeling van de thermische en de hydraulische krimp te realiseren en zo de scheurvorming te beperken. [7] [15] [33] [36] [41]



Figuur 3: Niet-hechtende dekvloer TV189 [36]

Een **zwevende dekvloer** wordt verkregen door de aanwezigheid van een isolatielaag tussen de dekvloer en de ondergrond (figuur 4). De functie van deze isolatielaag is de akoestische en/of thermische eigenschappen van de vloeropbouw te verbeteren. Door deze opbouw is de dekvloer moeilijker te verdichten. Bij een zwevende dekvloer worden de belastingen niet rechtstreeks overgedragen op de draagvloer. De dekvloer is min of meer dragend en zal onder invloed van de belastingen willen doorbuigen. Dit resulteert naast drukspanningen, ook in buigtrekspanningen in de dekvloer. De weerstand tegen deze buigtrekspanningen is van groter belang bij zwevende dekvloeren dan bij de dekvloeren die de belastingen rechtstreeks op de draagvloer overdragen en waar de drukspanningen bepalend zijn. De buigtrekspanningen zijn afhankelijk van de dikte van de dekvloer. Om een goede samenhang te bekomen van het dekvloermateriaal is de wijze van het verdichten van de zandcementlaag bij zwevende dekvloeren zeer bepalend. Dit is ook de reden waarom anhydriet gietvloeren uiterst geschikt zijn voor zwevende dekvloeren, wegens hun hoge verdichtingsgraad bij de uitvoering. Gietvloeren hebben daardoor een betere weerstand tegen buigtrekspanningen. Bij een cementgebonden dekvloer kan het mengselontwerp worden aangepast door bijvoorbeeld plastificeerders toe te voegen, waardoor de verwerkbaarheid en de gebondenheid van het dekvloermateriaal wordt verbeterd.

Door de aanwezige buigtrekspanningen dient er wapening geplaatst te worden. Deze wapening bevindt zich tussen het onderste derde deel en de helft van de zandcementlaag. Voor het gieten van de zwevende dekvloer wordt er op toegezien dat de isolatielaag vlak is uitgevoerd. De isolatielaag is vrij van uitstekende randen, zodat de vervormingsbeweging van de dekvloer op de scheidingsfolie boven de isolatie niet wordt verhinderd. Elk contact met de vaste bouwdelen wordt vermeden door het aanbrengen van soepele randvoegen. Bij grote oppervlakken (groter dan 40 m²), grote lengten (langer dan 8 m) of een groot verschil in verhouding tussen lengte en breedte van de dekvloer worden bewegingsvoegen voorzien. [7] [15] [23] [33] [36] [40] [41]



Figuur 4: Zwevende dekvloer TV189 [36]

2.1.2 Bindmiddelen

Als bindmiddel voor het vervaardigen van een dekvloer wordt gebruik gemaakt van cement, calciumsulfaat, magnesiet, gietasfalt of kunsthars. In België worden vooral de eerste twee toegepast. Dit zijn hydraulische bindmiddelen in poedervorm, die voor de reactie en ontwikkeling van de vereiste karakteristieken zoals cohesie en adhesie, met water worden gemengd. De indeling op basis van het bindmiddel is de indeling, die wordt gebruikt in de productnorm over dekvloeren NBN EN 13813 (2002). [36]

Een **cementgebonden** dekvloer bestaat uit een mengsel van cement, zand en water met eventueel bijgevoegde hulpstoffen. Een cementgebonden dekvloer heeft de consistentie van vochtige aarde. De uitvoering van een cementgebonden dekvloer is vrij arbeidsintensief. Zoals reeds vermeld, is het verdichten van een cementgebonden dekvloer uiterst belangrijk voor een voldoende hoge mechanische sterkte. [7] [15] [33] [41]

Een **calciumsulfaatgebonden** dekvloer bestaat net zoals de cementgebonden dekvloer uit zand, water met eventueel bijgevoegde hulpstoffen. Maar bevat als bindmiddel calciumsulfaat in plaats van cement. Een belangrijk type van deze soort dekvloeren is de anhydriet gietvloer. Het grote voordeel van de calciumsulfaatgebonden dekvloer is de minder arbeidsintensieve uitvoering. Dit type dekvloer vertoont tevens ook een hogere mechanische sterkte en is, in tegenstelling tot de cementgebonden dekvloer, weinig krimpgevoelig. Thermische uitzettingen omwille van temperatuurverschillen zijn niet uitgesloten. De calciumsulfaatgebonden dekvloeren zijn gevoelig voor langdurige bevochtiging en zijn enkel compatibel met specifieke tegellijmen en een correcte uitvoering van een primer. [7] [15] [33]

Een **kunstharsgebonden** dekvloer wordt vervaardigd op basis van epoxy, polyurethaan, polymethylacrylaat of polyesterharsen. De belangrijkste redenen voor de plaatsingskeuze van een kunstharsgebonden dekvloer zijn onder meer de gewaarborgde hoge treksterkte, de verwachte duurzaamheid, de weerstand tegen chemicaliën, de esthetische mogelijkheden of in meer of mindere mate de creatie van een waterdichte laag. Deze eigenschappen zijn afhankelijk van het type kunsthars en de verhouding bindmiddel/toeslagmateriaal. Oorspronkelijk werden deze dekvloeren als bedrijfsvloeren uitgevoerd, maar de laatste jaren worden ze steeds vaker toegepast in onder andere de particuliere woningbouw, ziekenhuizen, scholen en winkelruimtes. Dit type vloer wordt uitvoerig besproken in de technische voorlichting 216 van het WTCB. [7] [15] [33]

Naast deze meer voorkomende dekvloeren bestaan er ook dekvloeren uit **magnesiet** en **gietasfalt**. Deze types worden echter in België zelden gebruikt. [33]

Tabel 1: Ruwe indeling cementtypes (NBN EN 197-1, 2011)

Type	Naam	Hoofdbestanddelen
I	Portlandcement	Klinker (95-100%)
II	Portlandcomposietcement	Klinker (65-94%) Hoogovenslak, kalksteen, vliegas, silica fume, puzzolaan (6-35%)
III	Hoogovencement	Klinker (5-64%) Hoogovenslak (36-95%)
IV	Puzzolaancement	Klinker (45-89%) Silica fume, puzzolaan en/of vliegas (11-55%)
V	Composietcement	Klinker (20-64%) Hoogovenslak (18-50%) Puzzolaan en/of vliegas (18-50%)

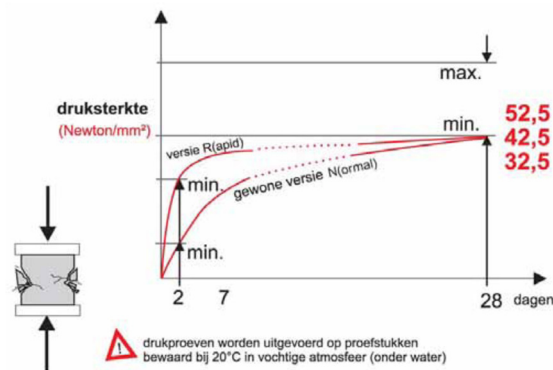
Volgens een enquête uitgevoerd in het kader van het TETRA-project “Geïsoleerde binnenvloeren”, ingevuld door 63 aannemers in Vlaanderen, blijft cement het meest gebruikte hydraulisch bindmiddel voor de samenstelling van een dekvloer (87,9%). Cement gaat met water een verbinding aan die na verharding niet meer in water oplosbaar is. Er bestaan veel verschillende soorten cement. De verschillende cementtypes op de markt worden opgedeeld in vijf groepen (tabel 1). Cement voor cementgebonden dekvloeren moet voldoen aan de NBN-EN 197-1. De percentages die weergegeven zijn in tabel 1 bij de hoofdbestanddelen zijn de grenzen waarbinnen de hoeveelheid van dat bestanddeel zich in het cementtype bevindt. De NBN EN 197-1 geeft een veel uitgebreidere indeling weer. Er wordt naar deze norm verwezen om de bestanddelen van elk afzonderlijk type te kennen. [6] [7] [23] [29]

Tabel 2: Indeling cement op basis van sterkte (NBN EN 197-1, 2011)

Sterkteklasse	Vroege druksterkte [N/mm ²]		Standaarddruksterkte [N/mm ²]	
	2 dagen	7 dagen	28 dagen	
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-
42,5 R	≥ 20,0	-		
52,5 N	≥ 20,0	-		
52,5 R	≥ 30,0	-		

Aan elk cementtype wordt een sterkteklasse toegekend. De sterkteklassen worden bepaald conform de norm NBN B12-001. Ze worden opgedeeld in drie verschillende sterkten: 32,5; 42,5; 52,5. Deze waarden zijn een maat voor de druksterkte in N/mm² bekomen op proefstukken bij 28 dagen ouderdom en bij 20°C ondergedompeld in water, conform de norm NBN EN 196-1 (tabel 2).

Aan de naamgeving van het cement is nog een extra letter L, N of R toegevoegd, die respectievelijk een lage, normale of hoge begindruksterkte aanduidt per sterkteklasse. [23] [38]

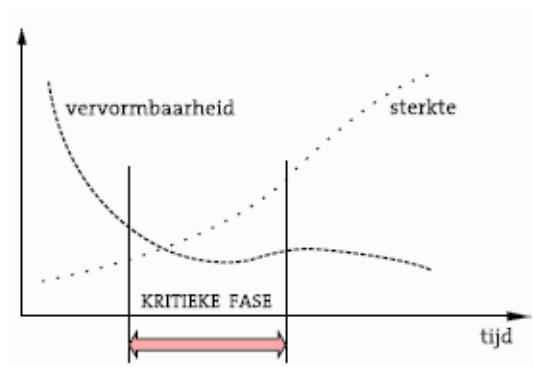


Figuur 5: Verloop van cement sterkteklassen [4]

Hoe sneller het cement uithardt bij een bepaalde water-/cementfactor, hoe hoger de begindruksterkte, wat een hogere druksterkte op jonge ouderdom tweebgbrengt (figuur 5). Het gekozen cementtype met bijhorende sterkteklasse speelt een rol bij de sterkte weerstand van de dekvloer zelf. Hoe hoger de sterkteklasse van het cement, hoe hoger de sterkte weerstand van de dekvloer wordt. [6] [29]

Een belangrijke eigenschap van de dekvloer is de snelheid tot het bereiken van de gewenste sterkte. Deze snelheid wordt gekoppeld aan de termijn die nodig is voor de ingebruikstelling van de dekvloer. Het is dus voordelig, in de praktijk, deze termijn zo kort mogelijk te houden om de dekvloer op gewenste sterkte te brengen. Maar anderzijds verhoogt een te snelle sterkteontwikkeling de kans op scheurvorming of onthechting van de dekvloer, door de warmte die vrijkomt tijdens de hydratatiereacties. De hoeveelheid cement die aan de dekvloer wordt toegevoegd, is bepalend voor de krimp die kan optreden. Het krimpgedrag wordt verder in deze thesis besproken. [6] [38]

Tijdens het hydratatieproces vermindert de vervormbaarheid sterk, de breukrek (de vervorming waarbij breuk optreedt) daalt tot een minimumwaarde (figuur 6). In dit stadium is de sterkte nog zeer gering (kritieke fase), uitdroging en thermische effecten kunnen dan zelfs leiden tot scheurvorming. [13]



Figuur 6: Evolutie van de vervormbaarheid en sterkte tijdens de hydratatie [13]

De samenstelling van de zandcementlaag is ook bepalend voor de hechtingsweerstand en de krimpvervorming in de dekvloer. Onderzoek heeft uitgewezen dat de korrelgrootte en het C_3A -gehalte van de cementsoorten een invloed hebben op de krimpvervorming. De cementtypes I en III zijn fijner van korrelgrootte en hebben een hoger C_3A -gehalte, wat leidt tot meer ongewenste krimp. Het cementtype II, dat grover is van korrelgrootte en een lager C_3A -gehalte heeft, is beter om de krimp te beperken. [33] [38]

Grote verschillen tussen de omgevingstemperatuur en de grondtemperatuur zorgen ervoor dat de homogene verharding van de dekvloer zeer nadelig wordt beïnvloed. Verschijnselen zoals koude tocht, brutale opwarming van de dekvloer, overmatige bezonning of andere extreme weersfactoren die deze temperatuurverschillen in de hand werken, dienen vermeden te worden. Het cementtype dat wordt gekozen bij temperaturen tussen de 10 °C en 20 °C heeft in feite geen belang. [33]

2.1.3 Granulaten of toeslagmaterialen

De granulaten zijn het geheel van inerte, natuurlijke en kunstmatige materialen die deel uitmaken van het dekvloermengsel. De granulaten gebruikt bij de samenstelling van de dekvloer moeten zuiver zijn. Dit betekent dat ze geen stoffen bevatten, zoals kleiklonters, plantaardige bestanddelen of oplosbare zouten, waarvan de aard en het gehalte schadelijk kunnen zijn bij de aanmaak van de dekvloeren. Het gehalte aan organische stoffen in de granulaten mag niet groter zijn dan 0,5 %.

Voor de cementgebonden dekvloersamenstelling worden twee soorten granulaten gebruikt, namelijk de natuurlijke en de kunstmatige granulaten. De natuurlijke granulaten worden ontgonnen uit zand- of grindgroeven, uit rivieren of uit de zee. De natuurlijke granulaten zijn ontstaan door verwerking van kiezelhoudende gesteenten. De kunstmatige granulaten, zoals het zand afkomstig van steenbreekinstallaties, worden gebroken en gezeefd uit kalksteen, zandsteen en porfier. [6] [33] [38]

Het granulaat, gebruikt in de dekvloersamenstelling, is zand. Zand is een steenachtig granulaat dat ontstaat door de natuurlijke desintegratie van gesteenten waarvan de korrels meestal kleiner zijn dan 2 mm, maar ook een korreldiameter tot 7 mm groot kunnen hebben. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen natuurlijk zand dat ontstaat door het afbrokkelen van gesteenten of breekszand dat ontstaat door het mechanisch breken van een gesteente. In België wordt meestal rijnzand gebruikt. De granulometrie of de korrelverdeling is de belangrijkste bepalende eigenschap van het zand. De korrelverdeling wordt bekomen aan de hand van de zeefproef. [33]

Het toeslagmateriaal bij de aanmaak van de zandcementsamenstelling vormt een belangrijke factor voor het bereiken van een bepaalde kwaliteit. Dit gaat samen met het gegeven dat de opbouw van het zand bepalend is voor onder meer:

- de porositeit van de zandcementsamenstelling;
- de benodigde hoeveelheid bindmiddel om korrels aan elkaar te kitten;
- de waterbehoefte.

Juist deze aspecten bepalen terug de sterkte van de cementgebonden dekvloer, de kans op scheurvorming en de kostprijs van de uitvoering. Over de benaming van zand bestaat veel discussie. Het is beter het zand te classificeren op basis van korrelgrootte en korrelverdeling. Een korrelgroep wordt gedefinieerd als een verzameling korrels, die grotendeels blijft liggen tussen twee genormaliseerde zeven. Nu zegt een korrelgroep op zich nog niet veel. Belangrijk is ook de verdeling van de korrelgrootte binnen een bepaalde korrelgroep. De zogenaamde fijnheidsmodulus geeft een indruk van deze verdeling. Deze fijnheidsmodulus wordt bepaald door het zand te ziften op een beperkt aantal voorgeschreven zeven met een verschillende maaswijdte. De som van de totale bekomen zeefresten wordt gedeeld door het gewicht van het gezifte zand. De berekende waarde is de fijnheidsmodulus. [33]

Het vochtgehalte is ook kenmerkend voor het zand. Het vochtgehalte bepaalt hoeveel zand nodig is voor de gewenste volumeverhouding. Dit is van belang voor de hoeveelheid water die nog wordt toegevoegd voor het bereiken van de gewenste W/C-factor. Dit kan eenvoudig worden gecorrigeerd door minder of meer aanmaakwater toe te voegen. De ruimte die een hoeveelheid zand inneemt, wordt sterk beïnvloed door het vochtgehalte. Wordt aan droog zand een kleine hoeveelheid water toegevoegd, dan zal het gewicht per kubieke meter eerst afnemen. Het veranderende volume wordt veroorzaakt door de capillariteit die rond de droge korrel wordt gevormd. Wordt er meer water toegevoegd, dan worden ook de holle ruimten tussen de korrels met water gevuld. De capillaire spanning in de contactpunten van de korrels daalt. De lucht tussen de holle ruimten wordt ingenomen door het zwaardere water, waardoor de massa weer toeneemt. Als alle holle ruimten zijn gevuld, duwt het water vervolgens de korrels van elkaar af. Hierdoor gaat het zand in het water “zweven”, waardoor ook het volume toeneemt. [33]

De volumetoeename bij het bevochtigen van droog zand is afhankelijk van de fijnheid van het zand. Bij grof zand zal het effect minder zijn dan bij fijn zand. Het is dus nuttig om de maximale korreldiameter $D_{\max}$ voldoende groot te nemen. Grotere korrels vertonen een kleinere waterbehoefte, daarom is er minder water nodig om een bepaalde verwerkbaarheid van de dekvloer te realiseren. [33] [6]

Het gebruikte aanmaakwater moet zuiver zijn en mag geen schadelijke stoffen bevatten. De hoeveelheid zuren, alkaliën, sulfaten, suikers, vetten en organische stoffen dienen beperkt te blijven zoals opgegeven in de norm NBN B15-102.

2.1.4 Hulpstoffen

Bij de normale bestanddelen van de dekvloer kan een hulpstof worden toegevoegd met de bedoeling bepaalde eigenschappen zoals verwerkbaarheid, mechanische eigenschappen, duurzaamheid, ... van de dekvloer te wijzigen. De hulpstoffen worden tijdens het verwerkingsproces gemengd. Afhankelijk van de soort hulpstof worden de eigenschappen van de zandcementsamenstelling in natte toestand of tijdens de binding en de verharding of in verharde toestand verbeterd. Het gebruik van de hulpstof is afhankelijk van het nagestreefde doel. [36]

2.1.5 Wapening

Voor het versterken van de dekvloer kan worden gekozen tussen wapeningsnetten van staal of wapeningsvezels. De wapening heeft als hoofdfunctie de spanningen in de zandcementlaag te verdelen ten gevolge van de hydraulische krimp. Door de plaatsing van wapening in de cementgebonden dekvloer kan de krimp tot maximaal de helft worden verminderd. Daarnaast beperkt de wapening het risico op scheurvorming bij niet-hechtende en zwevende dekvloeren. Deze scheurvorming is te wijten aan uitzetting en krimp, veroorzaakt door temperatuurschommelingen. [36]

2.1.6 Traditionele mortels en lijm mortels

Een lijmverbinding van een vloertegel op de dekvloer bestaat uit een driedelig geheel. Er is de contactlaag tussen de lijm en de dekvloer, de contactlaag tussen de lijm en de tegel en uiteraard de lijmlaag zelf. Schade aan de lijmverbinding kan te wijten zijn aan onvoldoende hechttingssterkte in een van deze drie delen, zodat de hechting van de verbinding maar even sterk is als de zwakste schakel in het geheel. Twee sterkte-eigenschappen zijn hier van belang, namelijk de adhesiesterkte of de kleef tussen de lijm en het contactoppervlak en de cohesiesterkte in de lijmlaag zelf. [14]

Het gebruik van lijm voor het hechten van een vloerbekleding aan de dekvloer verkiest de voorkeur boven een plaatsing in traditionele mortel. De vloerbekledingen geplaatst in een traditionele mortel zijn meer onderhevig aan scheurvorming, omdat ze de trekspanningen die ontstaan door de temperatuurverschillen minder kunnen opnemen. Naast deze thermische spanningen, dient ook rekening te worden gehouden met spanningen ten gevolge van de onvermijdelijke krimp van de legmortel. Deze krimp leidt tot drukspanningen in de tegels, trekspanningen in de mortel, schuifspanningen in de buurt van de onderbrekingen bijvoorbeeld aan de randen van de tegels, evenals tot een buigmoment. [3] [26]

De spanningen die optreden worden onderverdeeld in twee soorten. Een eerste soort spanningen bij een cementgebonden dekvloer zijn de spanningen ten gevolge van de **residuele krimpwerking** van de zandcementlaag, waarop de tegels worden aangebracht. Hoe sneller de tegels worden geplaatst na aanmaak dekvloer, hoe groter de residuele krimp in de betegeling wordt en hoe meer krimpspanningen in de vloeropbouw ontstaan.

Een tweede soort zijn de **spanningen ten gevolge van een thermische werking** van de vloer. Vooral een te vlugge opwarming na een koudere periode geeft aanleiding tot het loskomen en omhoogkomen van de tegels omwille van de grotere thermische spanningen in de vloeropbouw. [32]

Om krimpspanningen in de vloerbetegeling te beperken, wordt de plaatsing van de tegels op de dekvloer best zo lang mogelijk uitgesteld. Om dezelfde reden wordt bij de aanmaak van de dekvloer ook het gebruik van te grote hoeveelheden water en zeer fijn zand vermeden.

De initiële hechting van de tegels aan de ondergrond wordt voornamelijk beïnvloed door de volgende factoren:

- de hechtsterkte van het hechtingsmiddel;
- het gerealiseerde contactoppervlak tussen de ondergrond, het hechtingsmiddel en de tegel;
- de karakteristieken van de tegel en de ondergrond;
- de werkwijze en de omstandigheden van uitvoering.

Vanuit het technisch oogpunt geniet een gelijkde plaatsing op een reeds verharde dekvloer de voorkeur boven een traditionele plaatsing met een legmortel. Traditionele legmortels zijn samengesteld uit een mengeling van zand, kalk of cement en water, terwijl lijm mortels op basis van cement bevattende lijmen, polymeren of reactieve epoxyharsen zijn gemaakt. De hechtsterkte van een lijm mortel is immers een stuk groter dan die van een traditionele mortel. Tevens heeft een verharde dekvloer de voorkeur op een pas aangelegde dekvloer, omdat die reeds voor een groot deel zijn krimpwerking heeft ondergaan voor de plaatsing van de tegels. [4] [32]

De uitvoeringswijze speelt ook een grote rol bij het realiseren van de hechtsterkte. Het te gebruiken lijmtypen moet steeds geschikt zijn en compatibel met de uit te voeren betegelingswerken. De plaatsingsrichtlijnen van de lijmfabrikanten moeten nauwkeurig worden opgevolgd. De wijze waarop de tegels worden aangebracht door enkele of dubbele verlijming op de dekvloer, de verwerkingstijd of hechting na open tijd zijn belangrijke factoren om een goed gehecht contactoppervlak te bekomen tussen de tegel, de lijm en de ondergrond. De keuze van het type lijm mortel kan ook bepalend zijn. De keramische tegels zijn zeer weinig poreus, waardoor het aangebrachte lijm product niet altijd gelijkmatig uitdroogt bij grootformaattegels. Het vocht in de lijm mortel die in het midden op de tegel is aangebracht, moet een langere weg afleggen om de voegen te bereiken. Hierdoor kan deze de optimale hechting van het volledige tegeloppervlak verstoren, omwille van verminderde mechanische prestaties van het hechtingsproduct in het centrale gedeelte van de tegel. [39]

Er zijn hoofdzakelijk twee soorten lijm mortels te onderscheiden, namelijk de kleeft mortels of poederlijmen en de kleeft pasta's of pastalijmen. De lijm mortel op basis van poeder wordt steeds ter plaatse door het mengen met water vervaardigd en bevat cementgebonden bestanddelen.

Dit in tegenstelling tot de kleefpasta's die gebruiksklaar worden geleverd en uit polymeren of reactieve harsen bestaan. De kleefpasta's zijn in aankoop duurder en hebben een langere verhardingsperiode. In de Europese norm EN 12004 is een classificatie opgenomen voor tegellijmen, welke een indeling maakt op basis van de aard van de lijm, zijn verwerkingskarakteristieken en zijn eindprestaties. [3]

Tabel 3: Classificatie van tegellijmen [3]

Aard		Finale prestaties		Verwerkingskarakteristieken	
C	Kleefmortel	1	Normale hechting	F	Snelle binding
D	Kleefpasta	2	Verbeterde hechting	T	Hoge afglijdingsweerstand
				E	Verlengde open tijd

Voor een kleefpasta zijn alle combinaties die opgesomd zijn in de tabel 3 mogelijk, behalve het F-type snelle binding. In de tabel is er sprake van een open tijd. Dit is de tijdspanne tussen het opensmeren van de lijm en de effectieve plaatsing van de tegel. Deze is over het algemeen beperkt zodat de te verlijmen oppervlakten moeten bepaald worden in functie van de betegelingstijd. Zo wordt voorkomen dat er een zwakkere hechting optreedt door vorming van een film op de lijmrillen. Een ander begrip is de 'pot-life'. Dit is de periode tussen het openen van de pastalijmpot of het mengen van de poederlijm en het verwerken. De "pot-life" is vele malen groter dan de open tijd, verschillende uren tegenover een tiental minuten en mag hiermee zeker niet worden verward. [3] [32]

2.1.7 Keramische tegels

De vloerbekleding is een begrip dat heel wat ladingen dekt. De afwerkingsmogelijkheden voor de vloer zijn vandaag even talrijk als divers. Deze masterproef behandelt voornamelijk het gebruik van keramische tegels. Volgens een enquête uitgevoerd in het kader van het TETRA-project "Geïsoleerde binnenvloeren", beantwoord door 63 aannemers in Vlaanderen, blijkt dat 65,9% voor keramische tegels kiest als vloerbekleding. Keramische tegels worden in verschillende vormen en formaten aangewend als vloer-, plafond-, muur- of gevelbekleding. Als referentienorm wordt de Europese geharmoniseerde productnorm NBN EN 14411 [22] gehanteerd, die sinds 1 december 2005 ook de CE-markering verplicht. Keramische tegels worden vervaardigd uit een mengsel van klei en zand waaraan eventueel andere minerale grondstoffen worden toegevoegd. Deze mengsels worden vervolgens bewerkt tot de gewenste vorm en gebakken op hoge temperatuur. Na het breken, homogeniseren en bevochtigen wordt het mengsel tenslotte omgevormd tot tegels door middel van droogpersing of extrudering. Kenmerkend voor keramische tegels is dat het materiaal goed bestand is tegen basen en zuren en de slijtvastheid hoog is. De keramische tegels worden als een dampdichte laag bovenop de dekvloer beschouwd. [4] [32] [33] [39] [40]

2.2 Zwevende cementgebonden dekvloeren

De traditionele cementgebonden dekvloer is samengesteld uit een bindmiddel nl. cement, water en fijne granulaten, eventueel aangevuld met hulpstoffen en een wapening bestaande uit netten of vezels. De cementgebonden dekvloeren zijn niet vochtgevoelig en leveren doorgaans zelfs betere prestaties na bevochtiging. Deze vloeren vertonen echter wel een belangrijke langdurige verhardings- en drogingskrimp, die naargelang van de resterende krimp na plaatsing van de betegeling, belangrijke schuifspanningen veroorzaakt in het verlijmingsvlak en aanleiding kan geven tot het loskomen van de tegels. Een zwevende cementgebonden dekvloer wordt verkregen als er tussen de dekvloer en ondergrond een isolatielaag aanwezig is. De functie van deze isolatielaag is de akoestische en/of thermische eigenschappen van de vloeropbouw te verbeteren. Door deze opbouw is de dekvloer moeilijker te verdichten.

2.2.1 Opbouw van een zwevende cementgebonden dekvloer

In het kader van het TETRA-project “Geïsoleerde binnenvloeren” werd onderzoek gedaan naar de zwevende dekvloer. De vloeropbouw van de zwevende dekvloer is in figuur 4 schematisch voorgesteld. Van onder naar boven komen de volgende lagen voor:

- De draagvloer

De draagvloer is de vloer die zorgt voor de sterkte en stijfheid van de vloerconstructie. Deze vloer is in staat de belastingen over te dragen naar de ondersteunende bouwconstructies of onmiddellijk naar de funderingen. De draagvloer kan bestaan uit al dan niet gewapend beton gegoten op de grond of uit geprefabriceerde elementen op basis van beton, hout of metaal. In de literatuur zijn talrijke documenten en wetmatigheden ter beschikking gesteld, die het mogelijk maken om onder bepaalde randvoorwaarden de geschikte oplossing te vinden. Zelden zal het gebeuren dat er schadegevallen voorkomen die te wijten zijn aan een onvoldoende kennis over de draagvloer. Dit is voor de dekvloer enigszins anders. [33] [36]

- Een of meerdere tussenlagen

Tussen de draagvloer en de afwerking zijn een of meerdere tussenlagen gelegen. Deze tussenlagen dienen vooral voor het op peil brengen van de vloer, voor het bekomen van de gewenste vlakheid, of voor het akoestisch en/of thermisch isoleren van de vloer. [33] [36]

- De vloerafwerking

De vloerafwerking kan bestaan uit harde (bv. keramische tegels) of zachte vloerbekleding (bv. vast tapijt). Voor elke toepassing zijn er specifieke plaatsingsvoorwaarden, omtrent de te gebruiken lijmen en legmortels of aan te brengen voorbereidingslagen, te hanteren. [36]

2.2.2 Uitvoering van een zwevende cementgebonden dekvloer

Een zwevende dekvloer is een dekvloer die op een thermische en/of akoestische isolatielaag rust en dus niet-hechtend uitgevoerd wordt. De isolatieproducten moeten, zowel tijdens de uitvoering als op langere termijn, aan een reeks mechanische eisen voldoen om abnormale vervormingen uit te sluiten. Uit een enquête van 1994 over thermische isolatie bleek, dat stijve platen van geëxtrudeerd of geëxpandeerd polyurethaanschuim het meest aan te raden zijn. De doeltreffendheid van de isolatie hangt voor een groot deel af van de zorg, die bij de plaatsing eraan wordt besteed. Bij een zwevende dekvloer is het belangrijk dat elk contact tussen de dekvloer en de vaste bouwdelen wordt vermeden, door plaatsing van soepele randvoegen en scheidingsvoegen. Vooraleer de dekvloer te gieten, worden de isolatieplaten afgedekt met een beschermingslaag uit polyethyleen. [37]

Bij het aanvoeren en storten van de dekvloerspecie wordt erover gewaakt dat de isolatie plaatselijk niet wordt overbelast en dat ze goed op haar plaats blijft liggen. De gegoten dekvloer wordt manueel aangedamd en effen getrokken met een reilat. Het verdichten van een cementgebonden dekvloer blijft wegens de niet vloeibare karakteristieken een handenwerk dat het nodige vakmanschap vereist. Tijdens het verwerken van de dekvloer wordt meestal meer water gebruikt dan nodig is om het hydratatieproces tussen het cement en het aanmaakwater te activeren. Dit heeft een zeer nadelige invloed op de krimp en veroorzaakt mede het opkrullen van de dekvloer. Om de neiging tot schotelen te beperken kan daarom tijdens de drogingsperiode de dekvloer met een PE-folie worden bedekt. [37] [40]

2.3 Gedrag van cementgebonden dekvloeren

2.3.1 Krimpverschijnselen

Het verhardingsproces van de dekvloer wordt gekenmerkt door verschillende krimpmechanismen, die enerzijds te wijten zijn aan processen die zich afspelen in de dekvloer zelf en anderzijds aan de wisselwerking met de omgeving. Krimp is een volumerieke vervorming die teweeggebracht wordt door de fysicochemische verschijnselen ten gevolge van de hydratatie van de zandcementsamenstelling en de droging. Dit komt doordat de relatieve vochtigheidsgraad van het gestort dekvloermateriaal hoger is dan de relatieve vochtigheid van de omgeving. Er zijn vier soorten krimp te onderscheiden: [27]

- Chemische krimp

Chemische krimp is een rechtstreeks gevolg van de hydratatie van het cement in de dekvloer. De reactieproducten die gevormd worden bij de hydratatie van het cement hebben een kleiner volume dan het oorspronkelijk volume van cement en water. Door deze krimp ontstaan er vooral extra poriën in de dekvloer. De ontwikkeling van deze krimp volgt ongeveer een gelijke trend met die van de mechanische sterkte. Tijdens de eerste dagen zijn er sterke veranderingen waar te nemen, om vervolgens na 28 dagen 80 à 90% van hun eindwaarde te bereiken. [13] [28] [39]

- Plastische krimp of uitdrogingskrimp

Plastische krimp is te wijten aan de verdamping van het water aanwezig aan het vrije oppervlak in de dekvloer onmiddellijk na de uitvoering. Wanneer de verdamping van het aanmaakwater aan het dekvloeroppervlak groter is dan de wateruitdrijving van het interne vocht, kan de nog plastische dekvloer gaan krimpen en leidt dit tot ernstige scheurvorming. Plastische krimp ontstaat vaak door externe factoren: een lage luchtvochtigheid, temperatuurverschillen tussen de zandcementsamenstelling en omringende lucht bv. tocht. Deze krimp treedt altijd op in het begin van de verharding. Plastische krimp kan leiden tot een scheurvormig oppervlak van minder goede kwaliteit of tot een grotere porositeit van de dekvloer die de mechanische prestaties van de dekvloer verminderen. [13] [28] [39]

- Autogene krimp

Autogene krimp is een bijzondere vorm van chemische krimp en komt vooral voor bij mengsels met een lage water-/cementfactor en een hoog gehalte aan fijne stoffen (cement en/of andere fijne minerale toevoegingen). In deze omstandigheden neemt het cement tijdens de hydratatie van de jonge dekvloer grote waterhoeveelheden op, zodat er snel met lucht gevulde poriën ontstaan. Dit verschijnsel van interne uitdroging veroorzaakt capillaire druk, wat leidt tot een snelle krimp in de volledige massa van de dekvloer. [13] [28] [39]

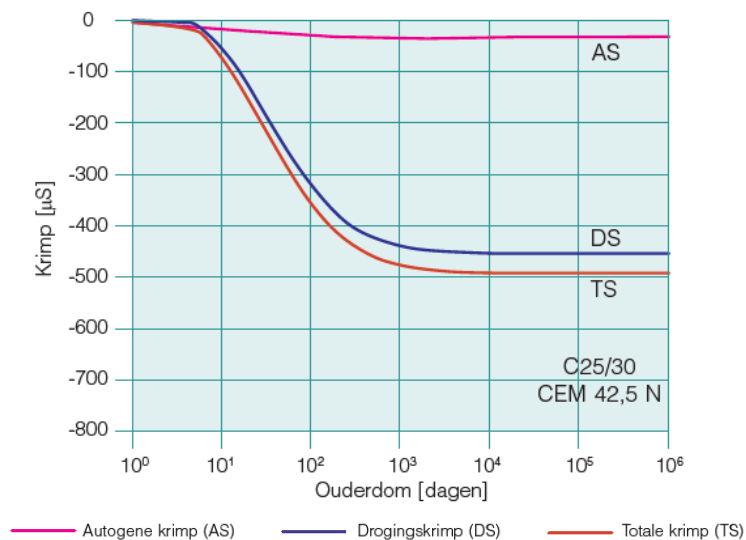
- Thermische krimp

Thermische krimp wordt veroorzaakt door de wisselwerking van vrijgekomen warmte en afkoeling van de dekvloer. Door de exotherme hydratatiereacties komt veel warmte vrij waardoor de dekvloer uitzet. Eenmaal de meeste warmte verloren is gegaan en de dekvloer terug afkoelt, treedt thermische krimp op. Bij een temperatuurverandering zal de dekvloer ook uitzetten of krimpen. De mate waarin dit gebeurt, wordt bepaald door de thermische uitzettingscoëfficiënt. Scheuren kunnen zich manifesteren als gevolg van een temperatuurgradiënt. Wanneer de temperatuur aan het dekvloeroppervlak veel sneller zakt dan in de kern of aan de onderkant van de zandcementlaag, dan treedt aan het oppervlak meer krimp op dan binnenin de dekvloer. Het uitwisselingsoppervlak wordt m.a.w. aan grote trekspanningen onderworpen, terwijl de kern drukspanningen ondergaat. Thermische krimp ε kan berekend worden met de volgende formule:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

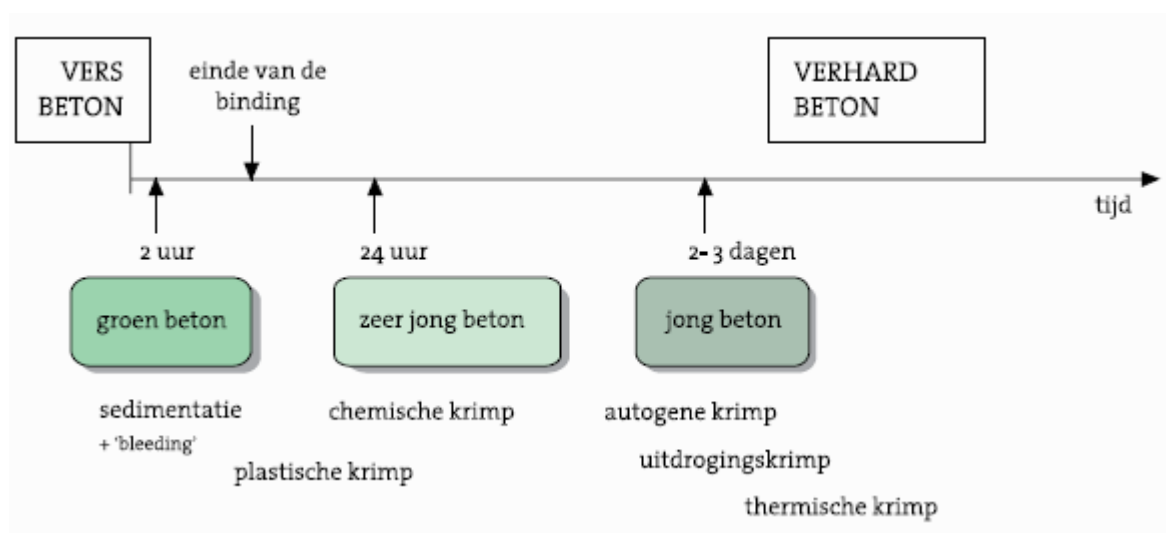
Met α de uitzettingscoëfficiënt van het mengsel en ΔT het temperatuurverschil. [13] [28] [39]

Figuur 7 geeft het aandeel van de autogene krimp (hier chemische krimp + autogene krimp) ten opzichte van de totale krimp weer voor een C25/30 beton waarin het cementtype 42,5N gebruikt is.



Figuur 7: Evolutie van de verschillende krimpcomponenten, afhankelijk van de tijd [27]

Figuur 8 geeft een schematische voorstelling van de fenomenen die zich voordoen tussen het storten en het verharden van een beton. Pas gestort beton heeft de neiging om aanmaakwater af te scheiden. Onder invloed van de zwaartekracht en van het verdichten zakken de zwaardere bestanddelen van het mengsel in de waterige cementpasta (sedimentatie). Hierdoor wordt het water omhoog gestuwd en ontstaat er een waterfilm aan het oppervlak. Dit verschijnsel wordt “bleeding” genoemd. De omvang hangt af van de samenstelling, consistentie en het watergehalte van het mengsel. Zolang dit beperkt blijft, heeft “bleeding” zelfs een gunstige invloed op de uitdroging, want de waterfilm doet dienst als beschermingslaag tegen uitdroging. Het betonoppervlak zal niettemin van minder goede kwaliteit zijn. [13]



Figuur 8: Schematische voorstelling van de fenomenen teweeggebracht door veranderingen in het vochttransport [13]

2.3.2 Invloed van de water-/cementfactor

Om hogere druksterktes te bekomen bij een cementgebonden materiaal, wordt de water-/cementfactor best zo laag mogelijk gehouden. Jarenlang werden alleen granulaten, cement en water gebruikt voor het maken van beton. Water vervult daarbij een dubbele rol: het verzekert de cementhydratatie en geeft aan de betonspecie de nodige verwerkbaarheid. Deze verwerkbaarheid vraagt echter meer water dan strikt nodig voor het hydratatieproces. Een gedeelte van het water blijft dan over, na het bindings- en verhardingsproces. Het zit overal in het materiaal verspreid en veroorzaakt een netwerk van poriën. Naarmate het overschot aan water omvangrijker is, neemt de gemiddelde poriëndiameter en het poriënvolume toe. Meer en grotere poriën veroorzaken een zwakkere materiaalstructuur en leiden tot een minder sterk cementgebonden materiaal. Er bestaat dus een rechtstreeks verband tussen de druksterkte en de verhouding van de W/C-factor (figuur 9). Uit het Tetra-project “Plaatsingstijdstip van afwerklagen op cementgebonden dekvloeren” is gebleken dat de verwerkbaarheid en de daarmee samenhangende wijze van verdichten een grote rol speelt bij het behalen van de gewenste mechanische eigenschappen. Uit het project is ook gebleken dat voor zandcement, waar een veel groter aandeel zand in de mengeling aanwezig is dan in een betonsamenstelling, de W/C-factor hoger ligt. Er dient dus een voldoende hoeveelheid water in relatie tot de hoeveelheid cement aanwezig te zijn om het materiaal te kunnen verwerken. De W/C-factor kan wel lager gehouden worden door het toevoegen van een plastificeerder die de verwerkbaarheid van het mengsel verhoogt. [6] [10] [12]



Figuur 9: Druksterkte in functie van de W/C-factor [10]

Onderzoek wees uit dat er een verband bestaat tussen de W/C-factor en de duurzaamheid. Het poriënvolume is uitgesmeerd over een netwerk van oneindig veel, grillig gevormde ruimten. De meeste van deze ruimten of poriën bezitten een diameter van 10^{-9} tot 10^{-8} m, de zogenaamde gelporiën. Deze gelporiën zijn zo klein dat transport van moleculen (damp, gassen...) doorheen deze holten onmogelijk is. De capillaire poriën zijn groter, met een diameter 10^{-7} tot 10^{-5} m. Hun aandeel hangt af van de W/C-factor en van de mate waarin het cement gehydrateerd is, uitgedrukt door de hydratatiegraad.

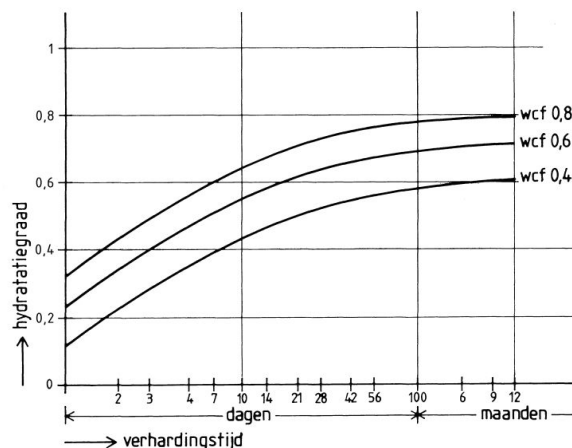
Hoe hoger de hydratatiegraad, hoe meer cement gehydrateerd is, hoe meer water gebonden is en hoe minder vrij water er over is. De hydratatiegraad is in de praktijk zeer moeilijk vast te stellen. Via de vrijgekomen warmte tijdens het hydratatieproces wordt de hydratatiegraad bepaald.

De vrijgestelde warmte-energie $Q(t)$ is recht evenredig met de hoeveelheid gehydrateerde cement. De hydratatiegraad $\alpha_h(t)$ wordt dan berekend met volgende formule:

$$\alpha_h(t) = \frac{Q(t)}{Q_{tot}} \quad (2)$$

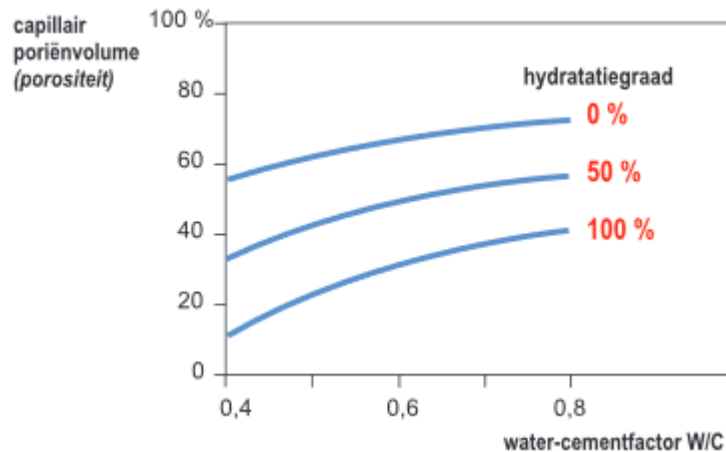
Waarbij Q_{tot} de totale warmte is, vrijgesteld na volledige hydratatie.

Volledige hydratatie van het cement treedt echter nooit op. Twee invloeden zijn hierbij van groot belang. Een eerste invloed is de beschikbaarheid van de ruimte waarin nieuwe hydratatieproducten worden gevormd. Een tweede invloed is de hoeveelheid water die voor de hydratatiereactie beschikbaar is. Afhankelijk van de W/C-factor zal het hydratatieproces eindigen op verschillende ultieme hydratatiegraden, zoals voorgesteld in figuur 10.



Figuur 10: Hydratatiegraad in functie van de verhardingstijd en W/C-factor [14]

In figuur 11 is aangegeven hoe het capillair poriënvolume daalt bij een dalende W/C-factor en een stijgende hydratatiegraad. In deze capillaire poriën dringen allerhande schadelijke stoffen relatief makkelijk binnen, migreren en tasten het materiaal van binnenuit aan. Een cementgebonden materiaal wordt dus duurzamer, naarmate het poriënvolume verkleint. De porositeit wordt lager en de compactheid wordt groter in de zandcementsamenstelling. Doordat de poriën versmallen wordt er ook een lagere permeabiliteit gecreëerd. [6] [10] [12]

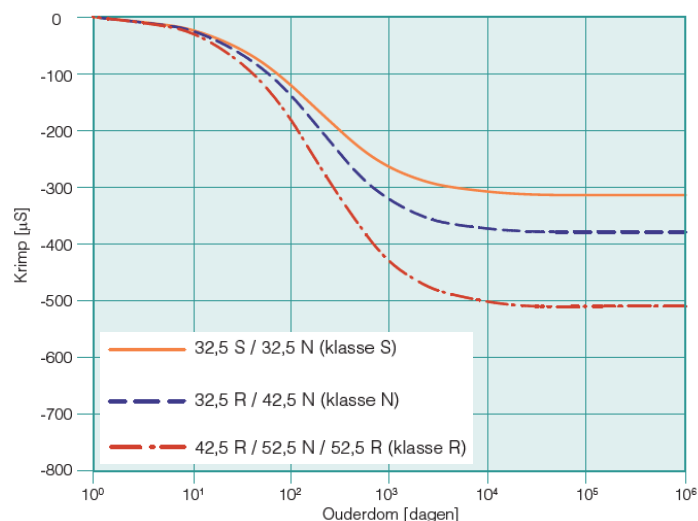


Figuur 11: Capillair poriënvolume in functie van de W/C-factor en hydratatiegraad [10]

2.3.3 Invloed van het cementgehalte bij eenzelfde W/C-factor

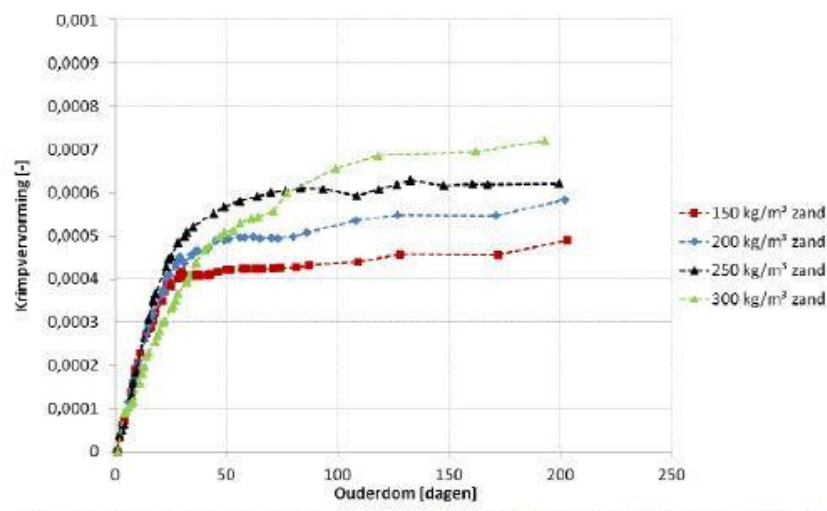
Door het cementgehalte te verhogen in de zandcementsamenstelling, wordt de warmteontwikkeling intenser tijdens het hydratatieproces en worden de mechanische karakteristieken zoals de druksterkte en de buigtreksterkte van de dekvloer groter. Hierdoor vergroten de thermische spanningen en zal de dekvloer meer krimpen, dan bij een cementgebonden dekvloer met een lager cementgehalte. [6]

Ook de rol van de sterkteklasse van het cement (lage, normale of snelle verharding) mag geenszins onderschat worden. In figuur 12 wordt het verschil in krimp tussen de diverse cementtypes met de tijd groter. De totale eindkrimpwaarde ligt tot 60 % hoger voor een snel cementtype dan voor een traag cementtype. [27]



Figuur 12: Totale krimp, afhankelijk van het cementtype [27]

In het kader van het TETRA-project “Geïsoleerde binnenvloeren” zijn verschillende proefstukken met de afmetingen 60 cm x 15 cm x 15 cm geproduceerd. Hiervoor zijn mengsels met 150 kg, 200 kg, 250 kg en 300 kg cement per m³ zand gemaakt. Alle zandcementsamenstellingen hebben een W/C-factor van 0,6. Na de productie worden de prisma's bewaard in een geacclimatiseerd lokaal op 20±2°C en met een relatieve vochtigheid van 60±5%. Uit de krimpmetingen die weergegeven zijn in figuur 13 wordt vastgesteld dat de krimpvervormingen groter worden bij een stijgend cementgehalte. De zandcementsamenstelling met het grootste cementgehalte heeft de grootste krimp en de samenstelling met het kleinste cementgehalte ondergaat de minste krimpvervorming. Verder wordt ook vastgesteld dat de krimpvervormingen bij de samenstelling met 300 kg cement per m³ zand in de eerste dagen trager verloopt dan bij de zandcementsamenstellingen met een lager cementgehalte.



Figuur 13: Krimpvervorming van prisma's 60x15x15 cm bij een variërende cementhoeveelheid [31]

2.3.4 Invloed van de omgevingstemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid op de dekvloer

Thermische krimp ontstaat onder invloed van de temperatuurschommelingen. Wanneer een dekvloer gestort wordt bij warm weer, zal deze dekvloer bij kouder weer krimpen. Omgekeerd zal een dekvloer die gestort wordt bij koud weer, bij warmer weer uitzetten. Het krimpen en het uitzetten van een dekvloer kan spanningsloos verlopen, wanneer de dekvloer niet wordt gehinderd in zijn beweging. Doordat de dekvloer meestal tussen vier muren is geplaatst of hechtend verbonden is aan de draagvloer worden er dilatatie- of uitzettingsvoegen aangebracht in de dekvloer om scheurvorming ten gevolge van deze temperatuurschommelingen tegen te gaan. [12]

Tijdens het hydratatieproces komt veel warmte vrij. Wegens de betrekkelijk geringe warmtegeleiding in het cementgebonden materiaal, treedt in de kern een hogere temperatuuroename op dan aan de oppervlakken. De differentiële opwarming wordt nog versterkt doordat de hydratatiereactie sneller verloopt bij een hogere omgevingstemperatuur.

In de kern, waar de temperatuur hoger is dan aan de randen verloopt bijgevolg de warmteproductie sneller dan aan de randen. De omgevingstemperatuur en de temperatuur tijdens de aanmaak spelen hierbij uiteraard een grote rol.

Deze ontstane temperatuurgradiënten geven aanleiding tot een verschillende thermische uitzetting, indien de dekvloer vrij kan vervormen. Aangezien de dekvloer niet vrij kan vervormen, ontstaan er spanningen in de dekvloer ten gevolge van differentiële opwarming. De kern zal meer willen uitzetten dan de randzones. De pas gegoten zandcementlaag kan dit slechts ten dele verhinderen en er ontstaan drukspanningen in de kern en trekspanningen aan het oppervlak. Aangezien de dekvloer in de opwarmingsfase echter een geringe elasticiteitsmodulus, een grote plastische vervormingscapaciteit en een aanzienlijke relaxatie bezit blijven de spanningen tijdens de opwarmingsfase doorgaans betrekkelijk klein. Nadeliger wordt de situatie tijdens de afkoelings- en verhardingsfase, waar de elasticiteitsmodulus veel groter is geworden en de plastische vervormingsmogelijkheden minimaal worden. Er ontstaan dan wel vrij grote spanningen doordat de kern een veel grotere afkoeling ondergaat dan de randzones. Hierdoor veranderen de drukspanningen in de kern naar trekspanningen ten gevolge van de grote temperatuurdaling. Indien de treksterkte van het materiaal groter blijft dan de inwendige optredende trekspanningen zal nergens scheurvorming optreden. [6]

Krimp wordt ook beïnvloed door de luchtvochtigheid. Hoe groter de relatieve vochtigheid van de omgeving, hoe minder krimp er zal optreden. Bijgevolg ontstaan er minder krimpscheurtjes. Door de hoge luchtvochtigheid verdampen de waterdeeltjes, aanwezig in de dekvloer, minder snel zodat het proces van drogen wordt vertraagd. [10] [11]

2.3.5 Vochtgehalte in een cementgebonden dekvloer

De hoeveelheid restvochtgehalte in de zandcementlaag is belangrijk bij een gelijkde plaatsing. Bij een te hoog vochtgehalte kan de lijm moeilijk hechten op de verharde dekvloer. Bij het betegelen met een traditionele mortel op een gestabiliseerd zandbed of dekvloer wordt een bijkomende aardvochtige laag op de dekvloer aangebracht, waardoor de bepaling van het restvochtgehalte minder belangrijk wordt. Toch wordt plaatsing in een mortelbed afgeraden, omdat grotere krimpvervormingen kunnen optreden.

Het vochtgehalte kan op verschillende manieren worden gemeten met onder andere een carbideflesmeting, een elektrische weerstandsmeting, een drogingsmeting bij opgegeven temperaturen.

Door middel van een vochtmeting wordt nagaan hoever de drogingskrimp is gevorderd en hoe groot het risico is op ingesloten of later opstijgend vocht. Tabel 4 geeft de maximale vochtgehalten van de dekvloer weer bij een gelijkde plaatsing. [8]

Tabel 4: Maximaal vochtgehalte bij een gelijmde plaatsing TV273 [8]

Dekvloertype	Vloerbedekkingstype	Toegelaten vochtgehalte [massa-%]	
		Droging bij 45 °C	Carbidefles
Anhydrietgebonden dekvloer	• Dampdicht (**) • Dampopen	0,5 (*) 1,0	0,5 (*) 1,0
Cementgebonden dekvloer	• Dampdicht (**) • Dampopen, vochtgevoelig • Niet vochtgevoelig	3,5 4,0 5,0	2,5 2,5 5,0
(*) Sommige fabrikanten laten een restvochtigheid van 1 % toe. (**) Keramische tegels kunnen als dampdicht beschouwd worden.			

Een te hoog vochtgehalte in de dekvloer kan ook tot schade leiden. Als de dekvloer nog te vochtig is op het moment van de plaatsing van de vloerafwerking, kan het opstijgende vocht uit de dekvloer schade veroorzaken aan de vloerafwerking. Het stijgende vocht doet de vloerafwerking zwellen zodat de tegels zichzelf lostrekken van de dekvloer. De lijmlaag neemt het overtollige vocht op zodat de kwaliteit van de hechting aan de tegel vermindert en de onthechting plaatsvindt. [29]

2.3.6 Opmrullen of schotelvorming van cementgebonden dekvloeren

Cementgebonden dekvloeren hebben de neiging opwaarts te krullen in de hoeken en rond de omtrekanden. Wanneer dit gebeurt zijn de hoeken en de randen niet meer ondersteund en kan breuk optreden onder de aanwezige belasting. Dit verschijnsel komt vooral voor bij dekvloeren die niet hechten aan de draagvloer zoals bijvoorbeeld een zwevende dekvloer. De isolatielaag of folie zorgt ervoor dat de hechting tussen de dekvloer en de draagvloer onderbroken wordt waardoor de dekvloer vrij kan opkrullen. [2] [33]

Opmrullen wordt veroorzaakt door differentiële krimp tussen het bovenvlak en de bodem van de dekvloer. Het bovenvlak droogt vlugger uit en krimpt, terwijl de bodem vochtig blijft. De krimp in het bovenvlak is daardoor groter dan aan de bodem. Dit verschijnsel stijgt als de dikte van de dekvloer en de maximale grootte van de korrels verminderen. De belangrijkste factor bijdragend aan krimp is de hoeveelheid water per eenheid van volume dekvloermateriaal. De vochtdiffusie wordt beïnvloed door de grootte en de vorm van de poriën in de dekvloer en veroorzaakt mede het opkrullen van de vloer. Als een hypothetische vezel van het materiaal vrij kan krimpen onder daling van de vochtigheid (Δw) in de dekvloer kan de krimp ϵ als volgt uitgedrukt worden:

$$\epsilon_{krimp} = \alpha \cdot \Delta w \quad (3)$$

met α = krimpcoëfficiënt [mm^3/mm^3]

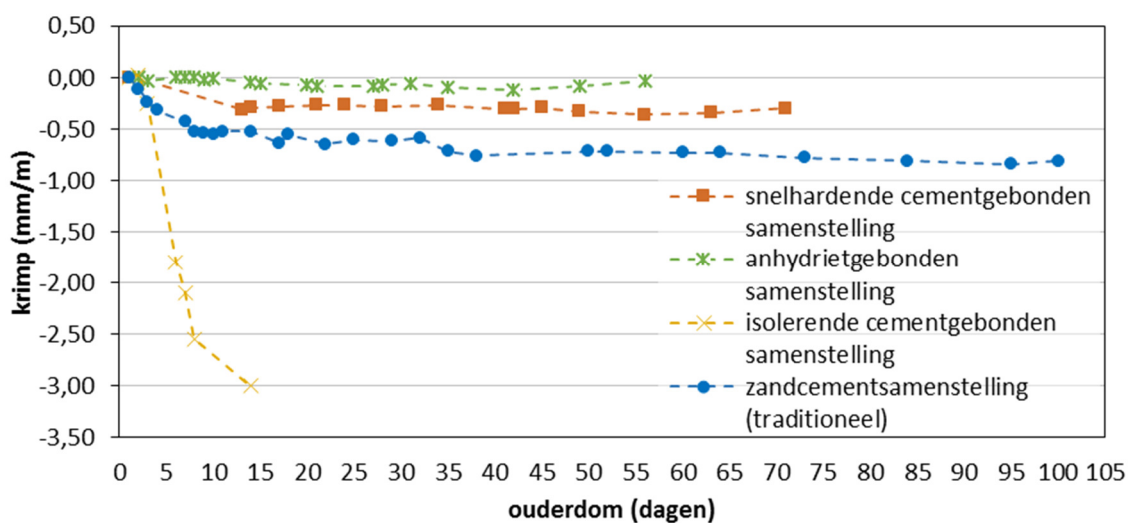
Na verloop van tijd droogt ook de onderzijde van de dekvloer meer en meer uit, waardoor het verschil in vochtgehalte tussen de boven- en de onderzijde van de dekvloer terug afneemt. Hierdoor verkleint ook het verschil in krimpvervorming tussen de boven- en de onderzijde van de dekvloer, waardoor het

schotelen terug kan afnemen. Het is niet duidelijk of de dekvloer volledig terugkeert naar zijn vlakke beginpositie. Dit hangt af van de vochtverdeling en de mechanische eigenschappen van de dekvloer, maar ook van het dampdoorlatend karakter van de eventueel aangemaakte vloerafwerking. De mechanische eigenschappen wijzigen ook continu in functie van de tijd op jonge ouderdom tot dat de chemische reactie van het bindmiddel volledig is voltooid. [2] [16] [33] [43]

Om schotelvorming te vermijden, is het essentieel dat de dekvloer wordt beschermd tegen een snelle uitdroging. Daarentegen is een zeer trage verharding nefast voor een goede verhardingsgraad van de dekvloer. [6] [18] [23]

2.4 Krimpverschijnselen bij verschillende dekvloermaterialen

In het kader van het masterproefonderzoek “Tijdsafhankelijk gedrag van anhydriet- en cementgebonden dekvloermaterialen” onderzoekt masterstudent Rachel Delfosse de krimpverschijnselen in verschillende anhydriet- en cementgebonden dekvloermaterialen. In onderstaande figuur 14 worden de krimpvervormingen van enkele type dekvloersamenstellingen weergegeven, die werden onderzocht tijdens deze masterproef en de masterproef uitgevoerd door Rachel Delfosse.



Figuur 14: Krimp bij prisma's 16 cm x 4 cm x 4 cm voor enkele type dekvloersamenstellingen

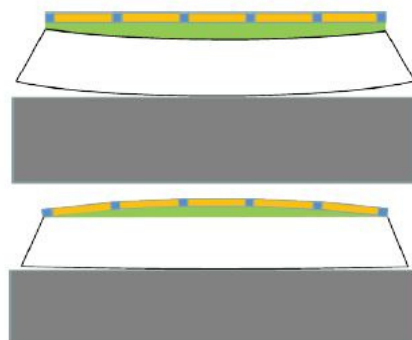
Uit proefmetingen blijkt dat de krimpvervormingen sterk afhankelijk zijn van de samenstelling, waaruit het dekvloermateriaal is opgebouwd. De samenstellingen verschillen in de soort en de hoeveelheid bindmiddelen, hulpstoffen of toeslagstoffen die zijn toegevoegd, of verschillen in de verhouding waterbindmiddelfactor. Uit de grafiek wordt afgeleid dat de anhydrietgebonden materialen op basis van het bindmiddel calciumsulfaat veel kleinere krimpvervormingen vertonen dan cementgebonden samenstellingen. De curve voor een isolerende cementgebonden samenstelling geeft de mogelijke invloed van de gebruikte toeslagstoffen weer, zoals de toevoeging van isolatiemateriaal bij een traditionele zandcementsamenstelling. Door de grote korreldiameter van het isolatiemateriaal worden

de krimpvervormingen in het dekvloermateriaal groter. Het is daarom belangrijk om op te merken dat een isolerende cementgebonden samenstelling ten gevolge van zijn grote krimpvervormingen, best enkel wordt gebruikt als uitvullingslaag. De curve van de snelhardende cementgebonden samenstelling toont de invloed aan, die het toevoegen van hulpstoffen in een traditioneel cementgebonden samenstelling teweegbrengt. Er wordt namelijk vastgesteld dat het toevoegen van versnellers en verharders het krimpgedrag van de dekvloer in de tijd beperkt. Het omgekeerde proces is ook mogelijk. Door het toevoegen van andere hulpstoffen zoals vertragers kunnen de krimpvervormingen in de dekvloer langer optreden. Deze samenstelling is echter niet op de grafiek gevisualiseerd.

2.5 Gedrag van betegelde vloeroppervlakken

2.5.1 Bolvorming van een betegeld vloeroppervlak

Bij de betegeling op een zwevende of niet-hechtende dekvloer wordt hoofdzakelijk rekening gehouden met de combinatie van de spanningen die veroorzaakt worden door de uitdrogingskrimp en de thermische vervormingen van de gewapende dekvloer. Deze spanningssituatie is ingewikkeld om op te volgen, vermits de vervormingen niet noodzakelijk plaatsgrijpen in dezelfde richting, wat kan leiden tot een cumulatie van spanningen. Deze spanningen komen tot stand doordat de betegeling de krimp van de dekvloer tracht af te remmen. Als de hechtsterkte van de betegeling groot genoeg is om weerstand te bieden tegen de schuifspanningen, die ontstaan in het verlijmingsvlak, worden de tegels aan drukspanningen onderworpen en treden er in de dekvloer trekspanningen op. Aangezien de vervormingen die gepaard gaan met deze spanningen zich gelijktijdig manifesteren, ontstaat er een bimetaaleffect, wat het bolvormig komen van de dekvloer en de vloerbedekking kan veroorzaken. Hoe jonger de dekvloer bij betegeling, hoe meer krimp de dekvloer nog moet ondergaan na plaatsing van de vloerafwerkingslaag, waardoor het bolkomen meer in de hand wordt gewerkt. Een bijkomende factor is de vervormbaarheid van het isolatiemateriaal onder de dekvloer, de graad van vervormbaarheid speelt hier ook een rol in het effect van het bolkomen. [7] [27] [33]



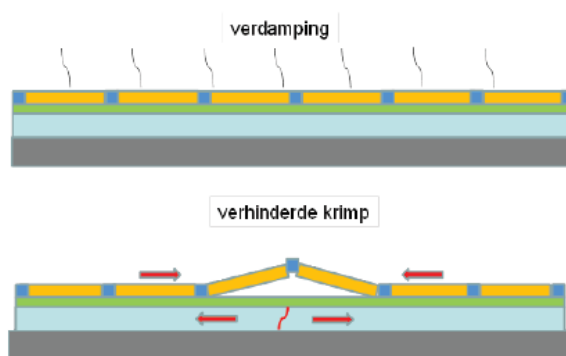
Figuur 15: Plaatsing tegels op geshotelde dekvloer [7]

Het plaatsen van de vloerafwerking kan de uitdrogingssnelheid sterk beïnvloeden, waardoor het vocht niet meer aan de omgeving wordt afgegeven aan de bovenzijde van de dekvloer. Hierdoor wordt de vochtverdeling over de gehele dikte van de dekvloer terug verstoord, zodat het schotelen ook verandert. Het is dus mogelijk dat een vlakke vloerafwerking, die geplaatst wordt op een geschotelde dekvloer het schotelen terug doet afnemen door het gewicht van de tegels (figuur 15). De oorspronkelijk vlakke vloerafwerking vertoont dan aan de hoeken en aan de middens van de vloerranden verticale verzakkingen. Theoretisch is het daarom best dat de plinten pas geplaatst worden nadat het gebouw in gebruik is genomen, om bijkomend nog een beperkte verzakking door de gebruiksbelasting te kunnen opvangen. Zowel voor de opdrachtgever, die bij ingebruikname van de woning een volledig afgewerkte woning wenst, als voor de tegelzetter, die zijn werken dan niet kan beëindigen in de bouwfase, is dit in de praktijk meestal niet haalbaar. [33]

2.5.2 Verhinderde krimp bij een betegeld vloeroppervlak

Het loskomen van tegels kan steeds optreden, onafhankelijk van de plaatsing (klassiek, op een natte dekvloer of verlijmd op een droge dekvloer). De oorzaak kan zoals reeds vermeld opstijgend vocht zijn, maar ook andere factoren hebben een invloed op het loskomen van de tegels. De krimp van de dekvloer brengt schuifspanningen in de lijmlaag en drukspanningen in de betegeling teweeg. Bovendien worden door grote temperatuurschommelingen (vloerverwarming...) onvermijdelijk thermische spanningen geïntroduceerd. De verschillende uitzettingscoëfficiënten van de betegeling en de dekvloer brengen onderlinge spanningen teweeg bij blootstelling aan de zonnewarmte op de bovenzijde van de dekvloer of bij het activeren van de vloerverwarming binnenin.

Zelfs als de keramische vloerafwerking een geruime tijd is geplaatst, kan in de cementgebonden dekvloer nog krimp optreden. Doordat de keramische betegeling geen krimpvervorming ondergaat, ontstaan in de dekvloer trekspanningen die de vloerafwerking onder druk brengen. Dit verschijnsel van verhinderde krimp kan leiden tot het opstuiken van de vloertegels en tot scheurvorming in de dekvloer en de vloerafwerking (figuur 16).



Figuur 16: Schade door verhinderde krimp [7]

Daarom is een goede initiële hechting tussen de betegeling en de dekvloer belangrijk om de schade te beperken. Deze hechting kan worden verbeterd door een lijm met goede hechtsterkte te gebruiken en een groot contactoppervlak te creëren tussen de dekvloer, de lijm en de tegel. Het gebruik van een flexibelere lijmlaag vermindert ook de drukspanningen in de betegeling. Het is belangrijk dat de juiste karakteristieken van de dekvloer en de soort betegelingen samen worden toegepast. Vooraf de porositeit van de tegels nazien en de oppervlaktecohesie en ruwheid van de ondergrond controleren, kan een goede uitvoering bevorderen. Een correcte plaatsing, volgens de regels van goed vakmanschap, is eveneens van belang. Zo wordt bv. de lijm op een stof- en vetvrij dekvloeroppervlak aangebracht. Verzakkingen in de afwerklagen kunnen ook voortkomen uit het feit dat het isolatiemateriaal niet drukvast genoeg is. Niet alle isolatiematerialen zijn even dragend en drukvast. Door deze verzakkingen kunnen vloertegels scheuren of loskomen van de cementgebonden dekvloer. [32]

Hoofdstuk 3 Opbouw van de proefopstelling

In het laboratorium worden twee proefvloeren aangelegd, volgens het principe van een zwevende cementgebonden dekvloer met een keramische afwerklaag. De individuele kleinere proefstukken zijn enkel vervaardigd uit een zandcementsamenstelling.

3.1 De proefvloeren

Er worden op de betonnen vloer van het labo twee kaders met houten balken met zijden van vier meter lang afgebakend. Hierin worden de twee proefvloeren respectievelijk vloer 1 en vloer 2 aangelegd, bestaande uit volgende opbouw:

- draagvloer in beton, bestaande vloer labo;
- isolatieplaten, type polyurethaan dikte 10 cm;
- PVC-folie, dikte 12 μm ;
- gewapende cementgebonden dekvloer, dikte 6 cm met gelast wapeningsnet 50 mm x 50 mm x 2 mm;
- keramische tegels, verlijmd.

De dikte van de PUR-isolatie, merk Recticel, is zodanig gekozen dat de vloeropbouw voldoet aan de huidige EPB-regelgeving ($U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$). Zie bijlage 1: Technische fiche PUR-isolatieplaten. Het PVC-membraan zorgt voor een ontkoppeling tussen de isolatielaag en de cementgebonden dekvloer (figuur 17). Hierdoor hecht de zandcementlaag niet met de isolatielaag. Dit geeft de mogelijkheid aan de zandcementlaag om onafhankelijk van de isolatielaag een verticale en/of horizontale beweging te ondergaan. Aan de randen van de proefvloeren wordt een randisolatie voorzien om de situatie in situ zoveel mogelijk te benaderen.



Figuur 17: Onderliggende PVC-folie



Figuur 18: Wapeningsnet 50 mm x 50 mm x 2 mm



Figuur 19: Plaatsing referentielatten voor bepaling niveau



Figuur 20: Nivelleren van de dekvloer

De cementgebonden dekvloer is samengesteld met de volgende materialen:

- 250 kg hoogovencement CEM III/A 32,5 LA per 1 m³ rijnzand;
- rijnzand met kaliber 0/7;
- aanmaakwater, hiervan is de hoeveelheid per 1 m³ rijnzand niet gekend. De cementgebonden zandlaag wordt aangemaakt in consistentie “vochtige aarde”.

Bij het storten van de dekvloer wordt, ongeveer op 1/3^{de} van de dikte, een gegalaniseerd wapeningsnet van 50 mm x 50 mm x 2 mm voorzien (figuur 18). Het verdichten en het nivelleren van dekvloer gebeurt manueel met behulp van een lange rechte reilat, die over de vooraf geplaatste referentielatten wordt getrokken (figuren 19 en 20). Rondom de proefvloeren achter de houten bekisting worden stalen profielen geplaatst, hierop worden later de meetklokken onafhankelijk van de proefvloer bevestigd.

Elke vloer wordt voor de helft betegeld met keramische tegels van 30 cm x 30 cm, dikte 9,5 mm, merk LB Object/Taurus Granit Antraciet en de andere helft met keramische tegels van 61 cm x 61 cm, dikte 10 mm, merk Floorgres/Area/Nero Moka Nat (figuur 21). Op deze manier wordt onderzocht of de tegelafmetingen een invloed hebben op het algemene vervormingsgedrag van de proefvloeren.

Om bovendien het effect van het plaatsingstijdstip van de afwerklaag na te gaan, wordt de ene proefvloer, twee dagen na het plaatsen van de cementgebonden dekvloer betegeld (figuur 22) en de

tweede vloer na 28 dagen. De tweede dekvloer krijgt hierdoor de kans langer uit te drogen over zijn volledig oppervlak.

De keramische tegels worden verlijmd met een gebruiksklare ééncomponentencementlijm type Mapei Ultralite S1. Zie bijlage 2: Technische fiche lijm mortel Mapei Ultralite S1. De cementlijm wordt met een getande kamspatel op de cementgebonden dekvloer aangebracht (figuur 23). De lijm op de tegelrug wordt met een effen spatel ingestreken (figuur 24). Zo wordt een volledige lijmdekking tussen tegel en ondervloer verkregen. De keramische tegels worden met een legpatroon “in vierkant” geplaatst. De voegen lopen in beide richtingen door. Enkel bij de overgang van grote naar kleinere tegels lopen de doorgaande voegen niet meer door.

De voegen worden de dag na het betegelen met een krimparme, cementgebonden voegmortel opgevuld.



Figuur 21: Plaatsing vloertegel 30 cm x30 cm



Figuur 22: Betegeling proefvloer 1



Figuur 23: Aanbrengen cementlijm op dekvloer



Figuur 24: Aanbrengen cementlijm op tegelrug

3.2 Proefstukken ter bepaling van de karakteristieken van de dekvloer

Om de mechanische karakteristieken te onderzoeken van de cementgebonden dekvloer worden individuele proefstukken met verschillende afmetingen vervaardigd. Elk proefstuk wordt minimaal zesmaal gemaakt. Drie uit de zandcementsamenstelling gebruikt bij proefvloer 1 en drie uit de zandcementsamenstelling van proefvloer 2.

De gezaagde proefstukken worden gemaakt uit monsters die uit de proefvloeren zijn ontnomen. De verdichting van deze proefstukken is op dezelfde manier gerealiseerd als bij de proefvloeren. Er is enkel geen netwapening in de proefstukken aanwezig. De proefstukken, waarbij de zandcementsamenstelling rechtstreeks in de mallen wordt aangebracht, worden verdicht door de zandcementlaag met de hand aan te drukken.

De kleine proefstukken worden gebruikt voor verschillende doeleinden. Onderstaande tabel 5 geeft een overzicht weer van de verschillende type proefstukken die zijn gefabriceerd. Voor de driepuntsbuigproef worden de proefstukken met afmetingen 16 cm x 4 cm x 4 cm gebruikt. De drukproef wordt minimaal driemaal uitgevoerd op alle balk-, kubus- en cilindervormige proefstukken.

Ter controle van de horizontale krimp en het vochtigheidsgehalte over lange termijn worden verschillende Demec-metingen en vochtigheidsmetingen uitgevoerd op de plaatvormige en de balkvormige proefstukken. Net zoals bij de grote proefvloeren worden de proefstukken op vaste tijdstippen opgemeten. Het is niet mogelijk om de proefstukken gedurende de volledige meetperiode in de mallen te laten zitten. Om de omstandigheden van een dekvloer in situ zo goed mogelijk na te bootsen, worden alle proefstukken langs vijf van de zes zijden omwikkeld met plasticfolie. Dit voorkomt dat het vocht kan ontsnappen langs het ondervlak en de zijvlakken. De proefstukken hebben hierdoor enkel de mogelijkheid om langs het bovenvlak uit te drogen.

Tabel 5: Overzicht soorten proefstukken

Afmetingen proefstuk Lengte x breedte x dikte (cm)	Vorm	Productiemethode	Figuur
50 x 50 x 6	plaat	aangebracht in houten bekisting	25
60 x 15 x 15	balk	aangebracht in metalen bekisting	26
16 x 4 x 4	balk	aangebracht in isomal, piepschuimbekisting	28
16 x 4 x 4	balk	gezaagd uit plaat van 210 x 165 x 40 mm	29,30
10 x 10 x 10	kubus	aangebracht in metalen bekisting	
15 x 15 x 15	kubus	aangebracht in metalen bekisting	27
ø 5 / hoogte 4	cilinder	geboord met klokboor uit proefstuk	31
ø 5 / hoogte 6	cilinder	geboord met klokboor uit proefstuk	



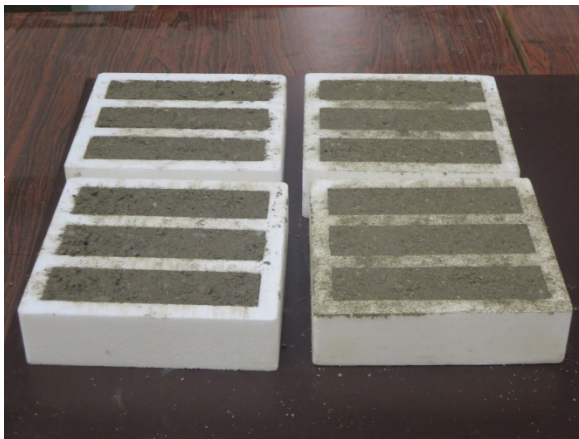
Figuur 25: Plaat aangebracht in houten bekisting



Figuur 26: Balkvormige metalen bekisting



Figuur 27: Kubusvormig proefstuk



Figuur 28: Balkjes aangebracht in isomal



Figuur 29: Aanmaken proefplaatjes uit proefvloer



Figuur 30: Ontkisten proefplaatje om later proefstukken uit te zagen



Figuur 31: Cilindervormig proefstuk

Hoofdstuk 4 Vervormingsmetingen

De vervormingsmetingen worden uitgevoerd op de proefvloeren en op verschillende types proefstukken. Onderstaande tabel 6 is een samenvatting van de uitgevoerde vervormingsproeven per type proefstuk.

Tabel 6: Overzicht uitgevoerde vervormingsproeven

Proefstuk Lengte x breedte x dikte (cm)	Aantal vloer 1	Aantal vloer 2	Horizontale vervormingsmeting Demec (100mm)	Horizontale vervormingsmeting Demec (200mm)	Verticale vervormingsmeting
plaat 400 x 400 x 6	1	1	nee	ja	ja
plaat 50 x 50 x 6	1	1	nee	ja	nee
balk 60 x 15 x 15	0	3	ja	nee	nee
balk 16 x 4 x 4 (isomal)	3	3	ja	nee	nee
balk 16 x 4 x 4 (gezaagd)	3	3	ja	nee	nee

De horizontale vervormingsmetingen worden bepaald met een Demec-toestel. Voor de opmetingen op de proefplaten wordt gebruik gemaakt van een meettoestel met vaste basislengte van 20 cm (figuren 32 en 33). Voor de balkvormige proefstukken wordt een Demec-toestel met vaste basislengte van 10 cm gebruikt. De verticale vervormingsmetingen worden enkel bepaald op de proefvloeren van 4 m x 4 m, om het eventueel schotelverschijnsel van de proefvloeren te onderzoeken.



Figuur 32: Onderzijde Demec-toestel



Figuur 33: Afleesschaal Demec-toestel

4.1 Verticale vervormingsmetingen

4.1.1 Proefmethode

De verticale bewegingen in de twee grote proefvloeren worden opgevolgd door het plaatsen van analoge meetklokken type Mitutoyo 2046S (figuur 34). De afleesnauwkeurigheid van de meetklokken bedraagt 0,01 mm. Alle meetklokken worden zo gepositioneerd, dat zowel een stijging als een daling in de proefvloer wordt waargenomen. Om een onafhankelijke opstelling van de meetklokken te bekomen, worden zij via stangen vastgezet op de metalen profielen, die langs de buitenkant van de houten kaders zijn geplaatst. Uit vorige projecten bleek immers dat de meetresultaten bij een niet onafhankelijke opstelling van de meetklokken, te veel variatie op de meetwaarden werd waargenomen. Bij dit proefproject staan de meetklokken vrij opgesteld ten opzichte van de proefvloeroppervlakken (figuur 35).



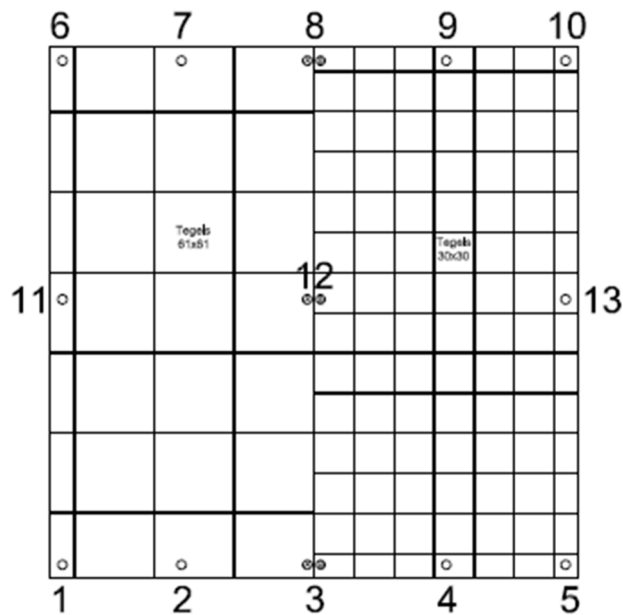
Figuur 34: Analoge meetklok aan de rand van de proefvloer



Figuur 35: Bevestiging meetklokken aan metalen liggers

De opmetingen worden gestart vanaf één uur na plaatsing van de cementgebonden dekvloeren en worden over een periode van één maand, dagelijks herhaald. Ook na het betegelen van de proefvloeren, vloer 1 na twee dagen en vloer 2 na 28 dagen, worden de verticale vervormingen verder dagelijks opgemeten. Na één maand worden de opmetingen nog eenmaal per week uitgevoerd.

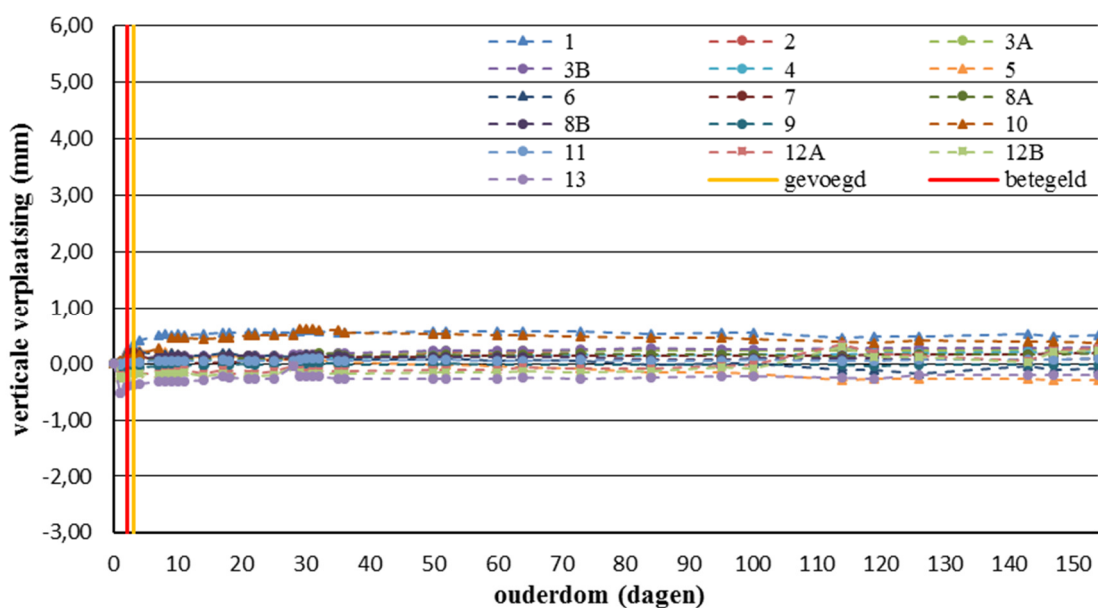
Veertien meetklokken per proefvloer worden op 5 cm van de rand opgesteld en twee meetklokken worden in het midden van de vloerplaat gepositioneerd. Onderstaande figuur 36 geeft de positie en de opstelling van de meetklokken weer.



Figuur 36: Positie meetklokken, aangeduid door cirkel en nummering

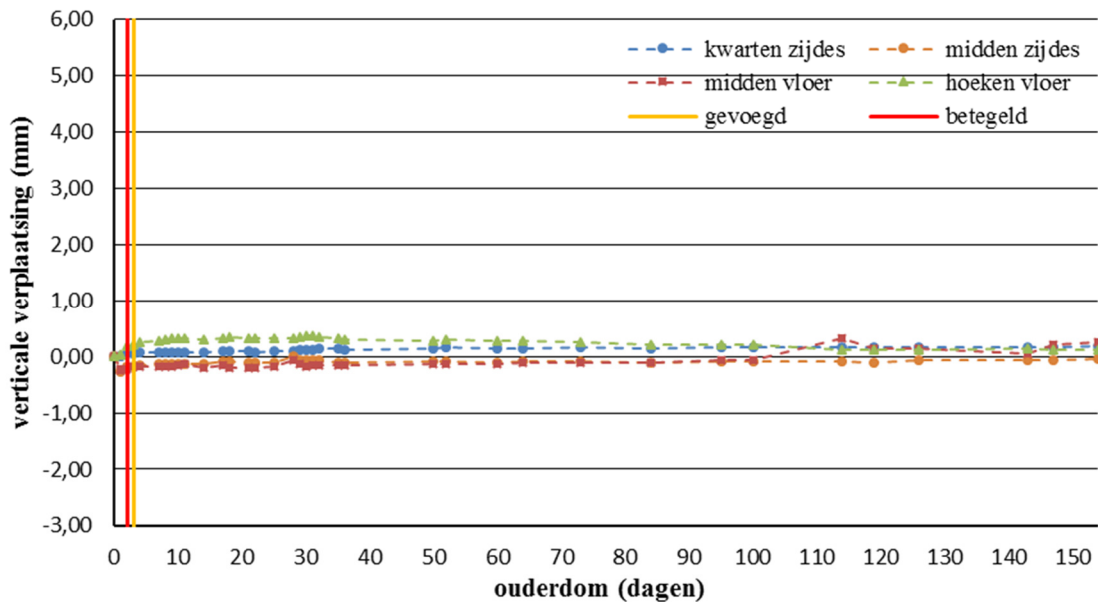
4.1.2 Proefresultaten

Op onderstaande grafieken worden de meetresultaten van de verticale vervormingen op proefvloer 1 uitgezet. Deze vloer werd na twee dagen betegeld. Figuur 37 geeft de resultaten van de verticale vervorming per geregistreerde meetlocatie weer. De locatie van de meetklokken is gemarkeerd op figuur 36. Op de grafieken zijn drie types van symbolen terug te vinden. Elk symbool stelt de locatie voor van de meetklok op de proefvloer. Een '▲' geeft de meetresultaten in een hoekpunt weer, een '■' geeft de meetresultaten van een meetklok in het centrum weer en een '●' geeft de meetresultaten van een meetpunt op één van de zijden weer.

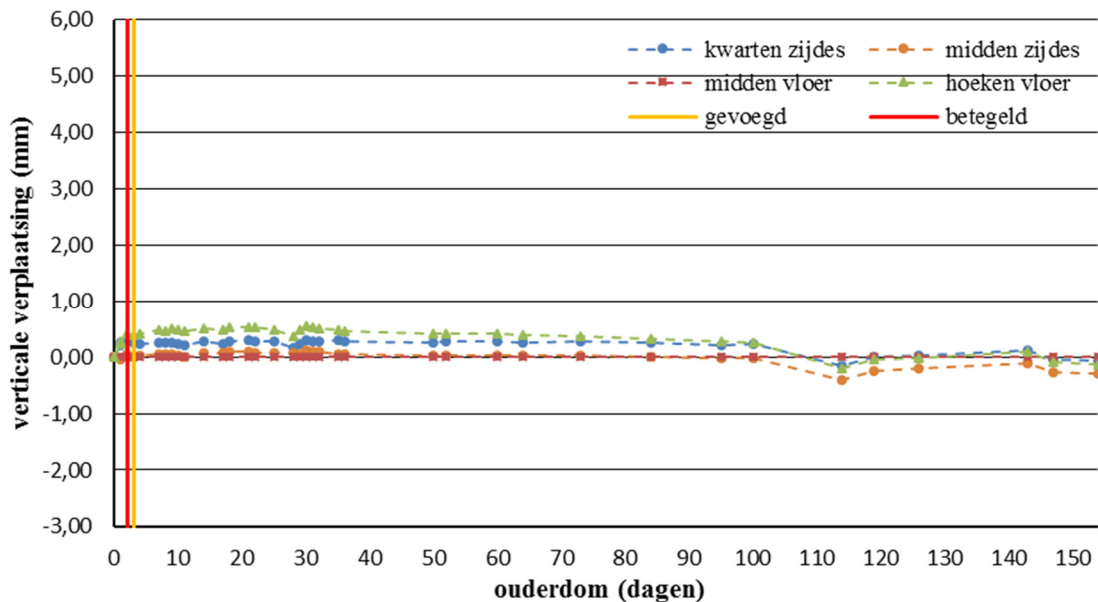


Figuur 37: Meetresultaten verticale vervorming proefvloer 1

De figuren 38 en 39 geven de gemiddelde waarden van de verticale vervormingen op de randen, in het midden en in de hoeken van proefvloer 1 weer. Het vereenvoudigen van de resultaten is mogelijk, omdat in figuur 37 duidelijk waarneembaar is dat alle geregistreerde posities op respectievelijk de randen, het midden en de hoekpunten vergelijkbare vervormingen vertonen.

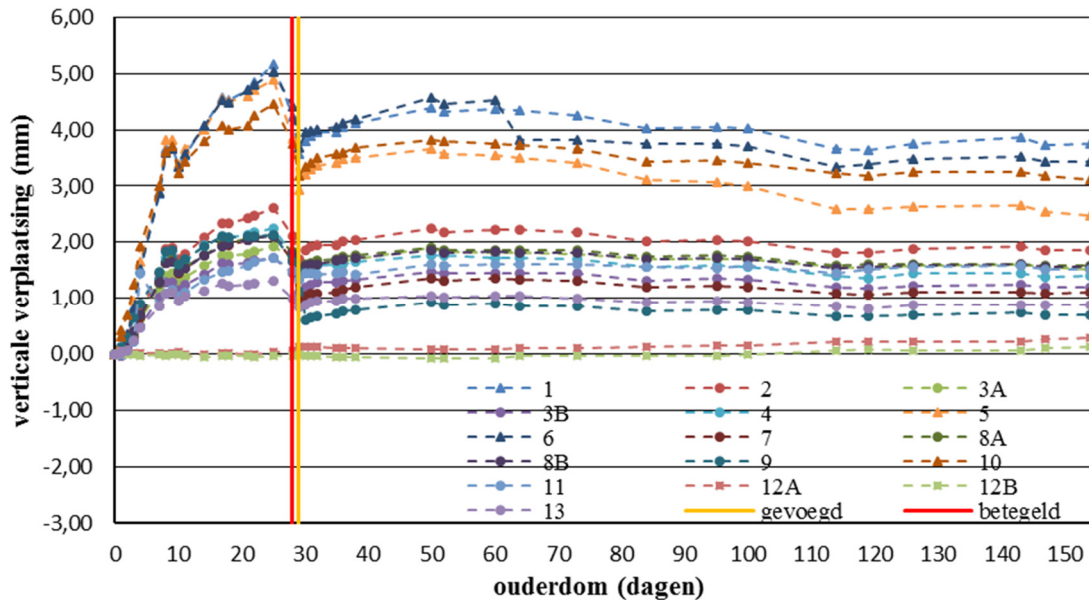


Figuur 38: Gemiddelde waarden verticale vervormingen proefvloer 1



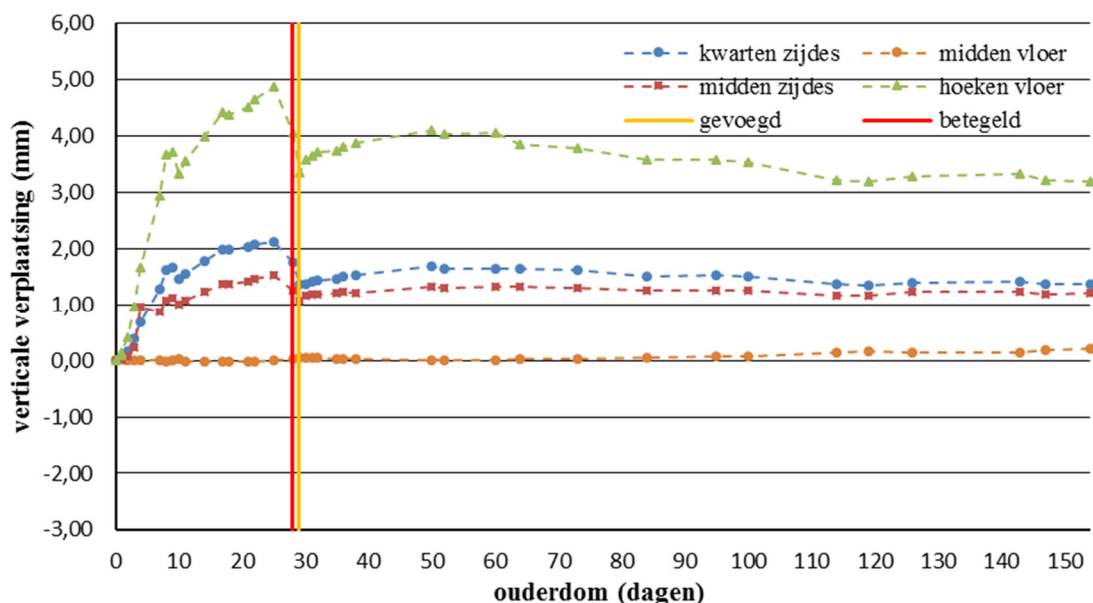
Figuur 39: Gemiddelde waarden verticale vervormingen proefvloer 1 (met midden als referentie)

Op onderstaande figuren worden de meetresultaten van de verticale vervormingen op proefvloer 2 weergegeven. Deze vloer werd na 28 dagen betegeld. Figuur 40 geeft de resultaten van de verticale vervormingen per geregistreerde meetlocatie weer. De locatie van de meetklokken is terug te vinden op figuur 36.

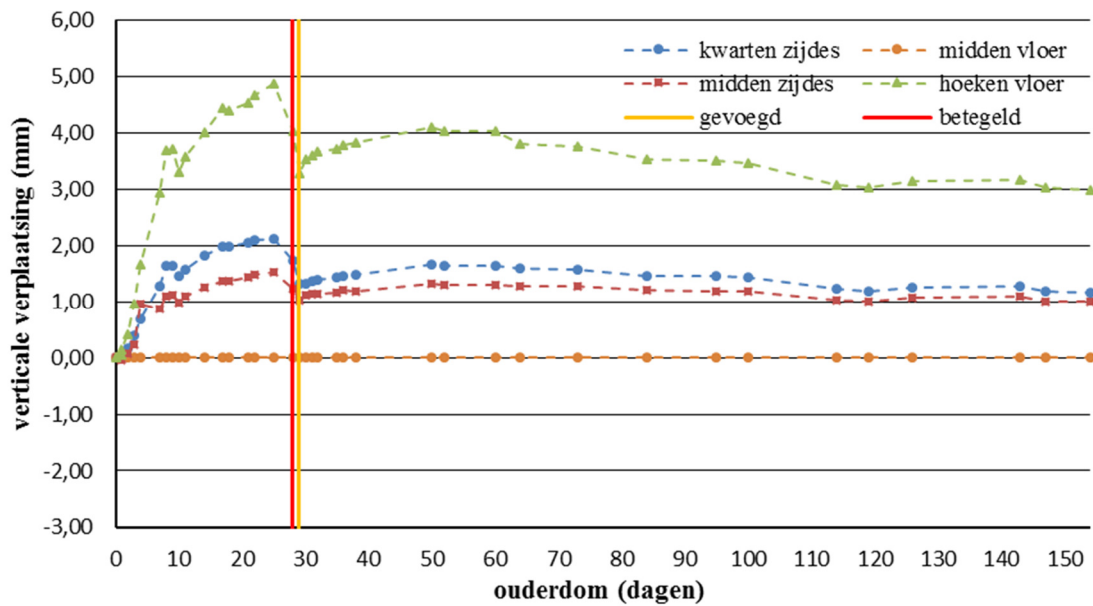


Figuur 40: Meetresultaten verticale vervormingen proefvloer 2

De figuren 41 en 42 geven de gemiddelde waarden van de verticale vervormingen op de randen, in het midden en in de hoeken van proefvloer 2 weer. Het vereenvoudigen van de resultaten is mogelijk omdat in figuur 40 duidelijk waarneembaar is, dat alle geregistreerde posities op respectievelijk de randen, het midden en de hoekpunten vergelijkbare vervormingen vertonen.



Figuur 41: Gemiddelde waarden verticale vervormingen proefvloer 2



Figuur 42: Gemiddelde waarden verticale vervormingen proefvloer 2 (met midden als referentie)

Uit de grafieken wordt onmiddellijk afgeleid dat de eerste proefvloer veel kleinere verticale vervormingen ondergaat dan de tweede proefvloer. In hoofdstuk 6 “Analyse van de onderzoeksresultaten” wordt dit in detail besproken.

4.2 Horizontale vervormingsmetingen

4.2.1 Proefmethode

Om de horizontale krimpvervormingen waar te nemen in de proefvloeren en in de proefstukken worden, in eerste instantie de metingen dagelijks herhaald. Er wordt immers verwacht dat de krimpvervormingen het grootst zijn bij de uitdroging net na de plaatsing van de cementgebonden dekvloer. Naarmate de krimpvervormingen verkleinen, worden de metingen naar één meting per week herleid. Het meten van de horizontale vervormingen gebeurt met behulp van het Demec-toestel (figuur 43). Voor de metingen op de proefvloeren, respectievelijk vloer 1 en vloer 2 en de proefplaten 50 cm x 50 cm x 6 cm, wordt gebruik gemaakt van een Demec-toestel met een vaste basislengte van 20 cm. Dit Demec-toestel bepaalt de krimpvervormingen tot op 0,01 mm/m nauwkeurig. Voor de balkvormige proefstukken wordt een Demec-toestel met vaste basislengte van 10 cm gebruikt, met een afleesnauwkeurigheid tot op 0,02 mm/m.



Figuur 43: Opmeten van meetpunten met behulp van het Demec-toestel



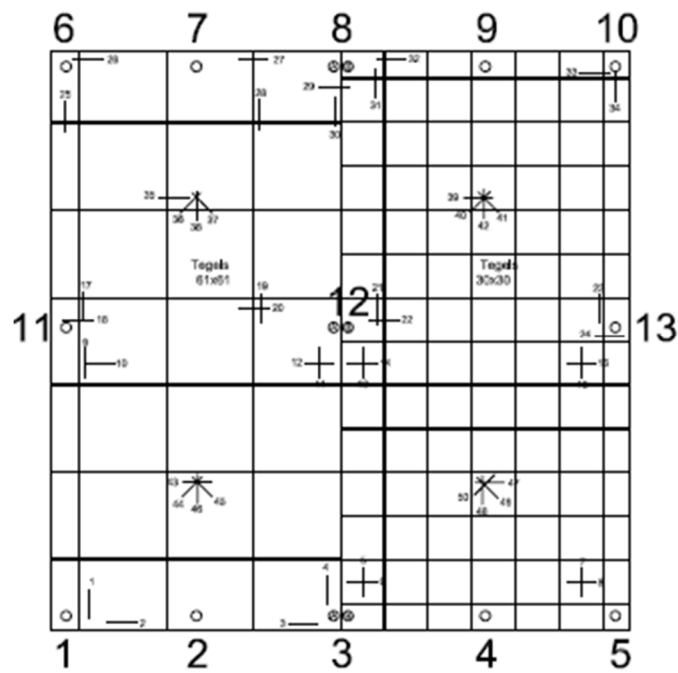
Figuur 44: Meetbaak lengte 20 cm



Figuur 45: Positie meetpunten

De meetpunten op de proefstukken worden vooraf gemarkeerd met een referentie-meetbaak van 20 cm of 10 cm lang (figuur 44). Voor de bepaling van de krimpvervormingen op de proefvloeren worden de verschillende meetpunten oordeelkundig gekozen. Om het overzicht te behouden van de verschillende meetpunten wordt de positie van de meetbaak afgetekend op de proefvloeren, door het linkse en het rechtse meetpunt met een krijtlijn te verbinden. Aan elke lijn wordt een nummer toegekend (figuur 45). Op onderstaande figuur 46 worden alle meetpunten weergegeven voor de twee proefvloeren. Elk streepje stelt een nieuwe meetlocatie voor, bestaande uit twee meetpunten. Ter oriëntatie wordt de positie van de meetklokken ook op figuur 46 vermeld.

De vervormingsmetingen op de balkvormige proefstukken worden gebruikt om de meetresultaten te vergelijken met de grote proefvloeren en om de invloed van de afmetingen van het proefstuk na te gaan op krimp bij verschillende uitdrogingstijden.



Figuur 46: Meetlocaties op de proefvloeren voor Demec-metingen

4.2.2 Proefresultaten

Met behulp van het Demec-toestel worden de horizontale vervormingen opgemeten. Afhankelijk van de grootte van het proefstuk wordt gebruik gemaakt van het grote Demec-toestel met basis 200 mm of het kleine Demec-toestel met basis 100 mm. Doordat twee verschillende toestellen zijn gebruikt, worden de metingen eerst omgerekend. Zo kunnen de meetresultaten onderling worden vergeleken.

Onderstaande formules geven de omrekening weer voor respectievelijk het grote en het kleine Demec-toestel.

$$H = (A_2 - A_1) \cdot 0,801 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \quad (4)$$

Met H = de horizontale vervorming mm/m;

A_1 = dag 0;

A_2 = dag -1.

$$H = (A_2 - A_1) \cdot 1,586 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \quad (5)$$

Met H = de horizontale vervorming mm/m;

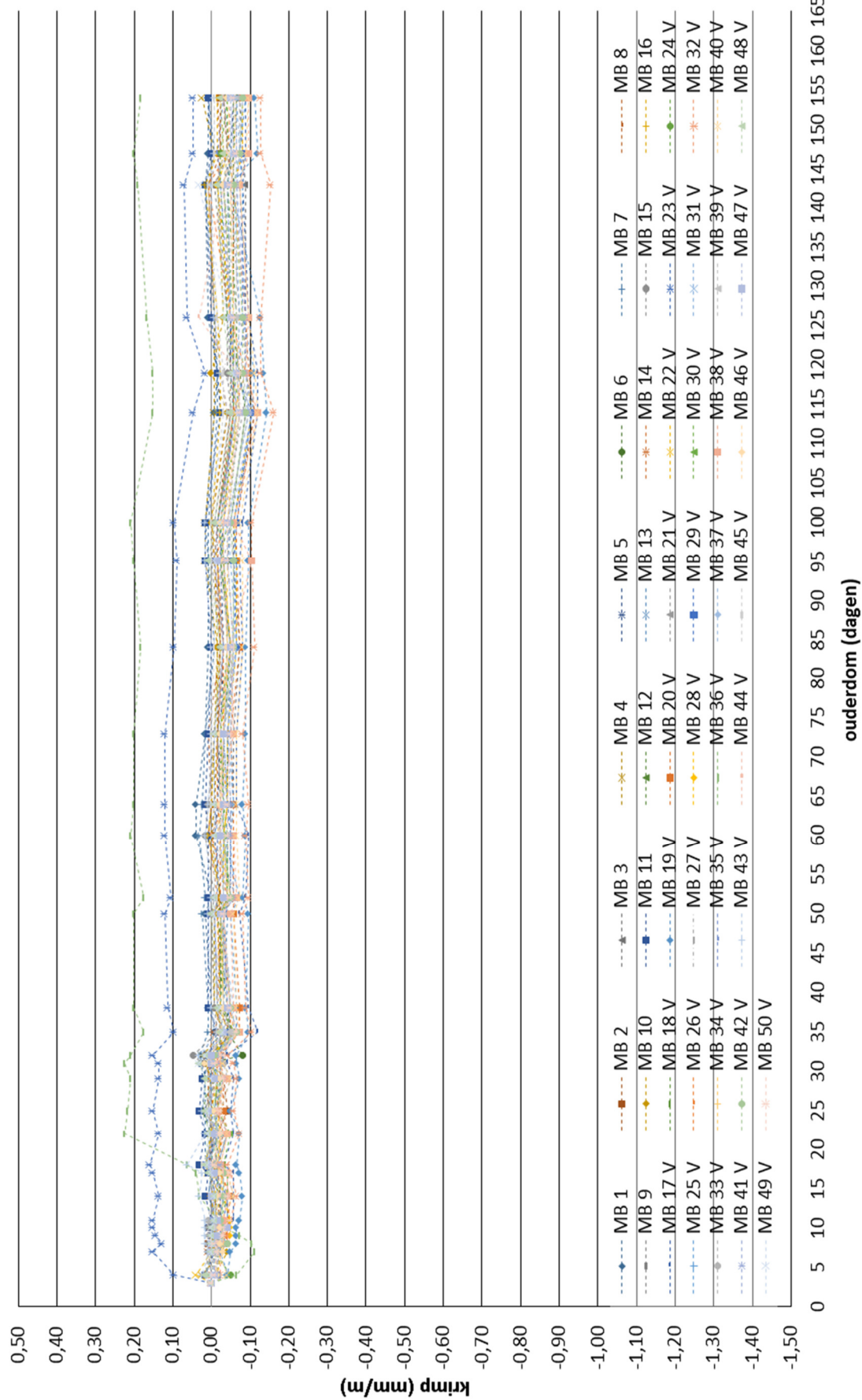
A_1 = dag 0;

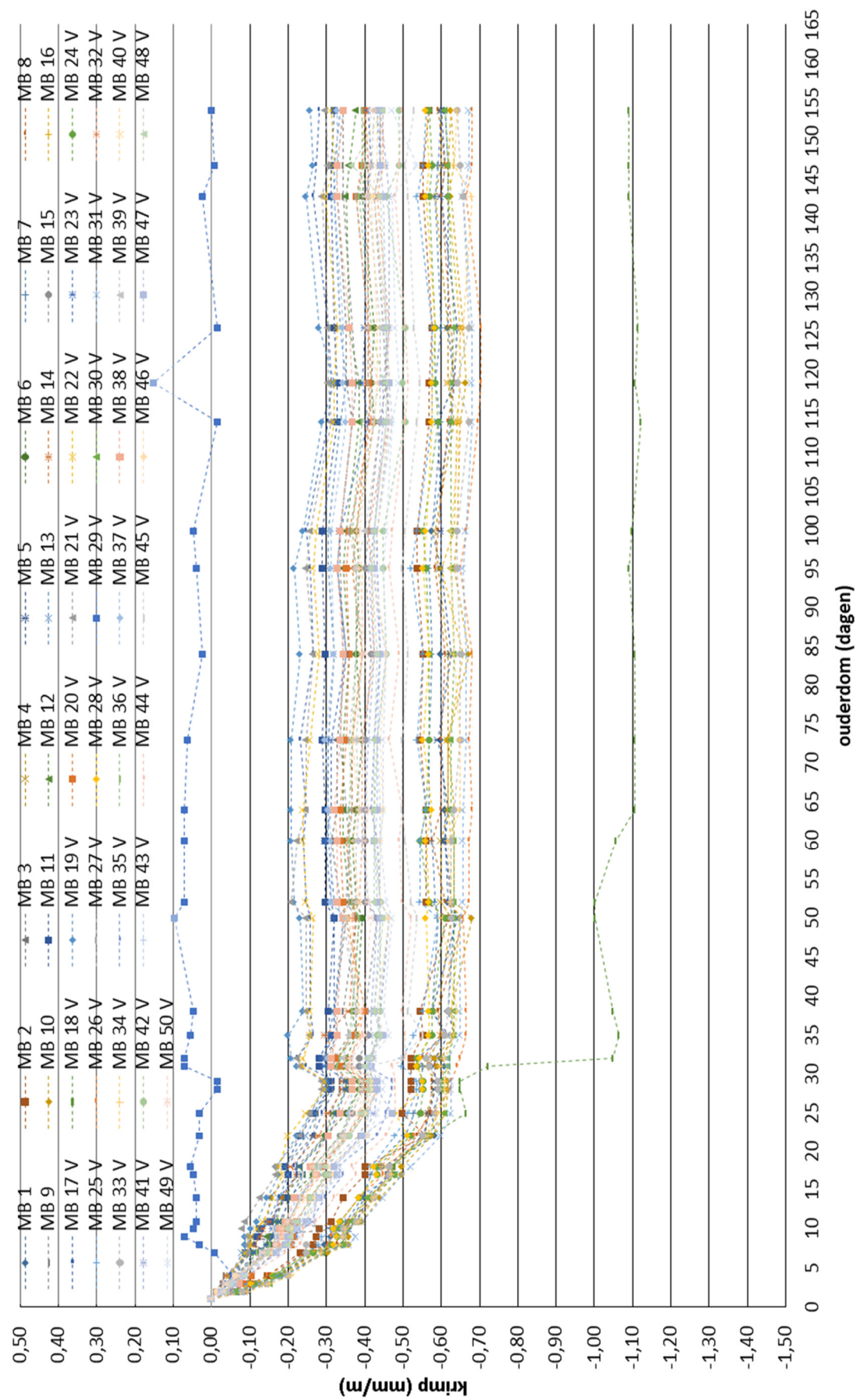
A_2 = dag -1.

Het verloop van de krimp wordt voor de verschillende proefopstellingen in onderstaande figuren weergegeven.

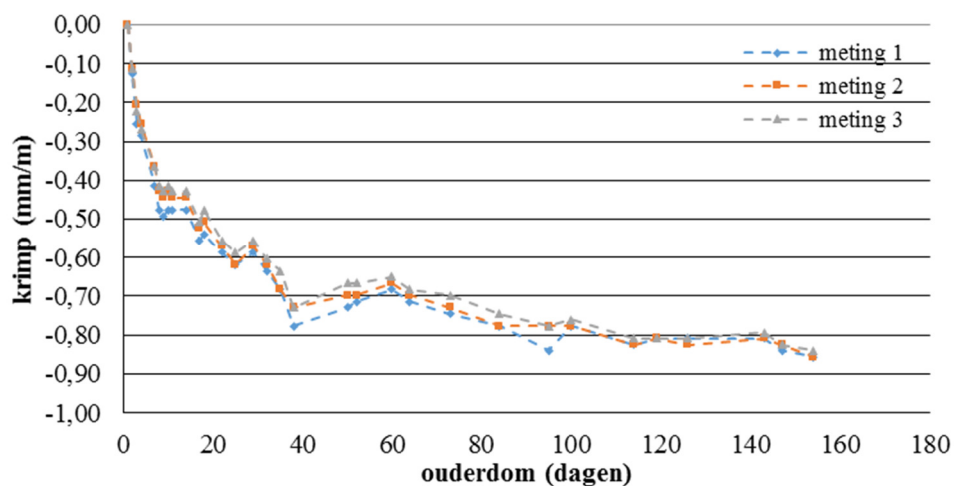
Eerst wordt de horizontale krimp van de twee grote proefvloeren uitgewerkt, waarna achtereenvolgens alle grafieken omtrent de krimpmetingen van de kleine proefstukken worden gevisualiseerd. Visueel wordt onmiddellijk vastgesteld dat het verloop van de krimp bij de verschillende proefstukken sterk gelijklopend is. Dit strookt met de verwachtingen, omdat alle proefstukken uit hetzelfde type zandcementsamenstelling zijn vervaardigd.

Een uitgebreide analysebespreking van de proef wordt verder in hoofdstuk 6 “Analyse van de onderzoeksresultaten” behandeld.

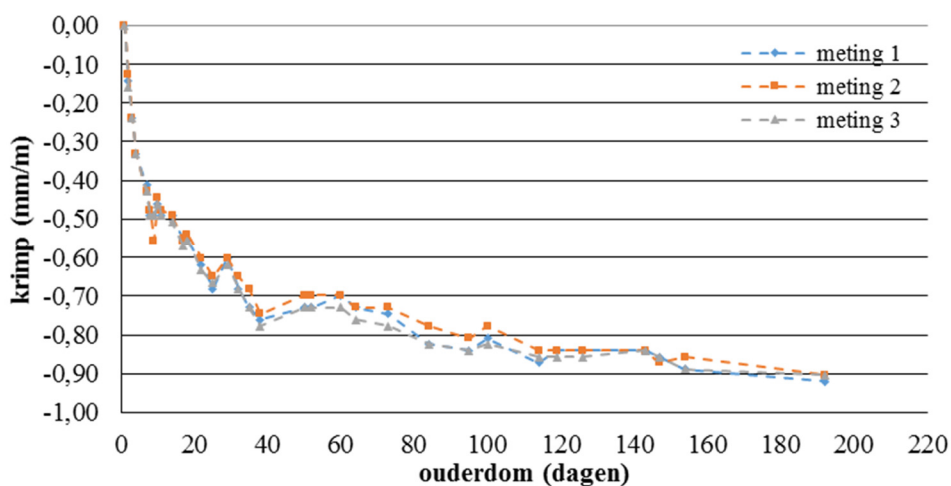




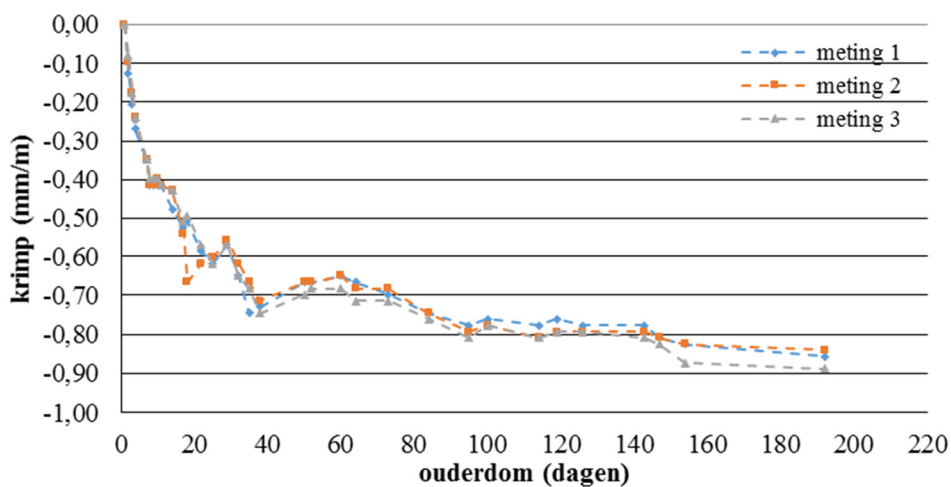
Figuur 48: Horizontale krimpvorming proefvloer 2 (na 28 dagen betegeld)



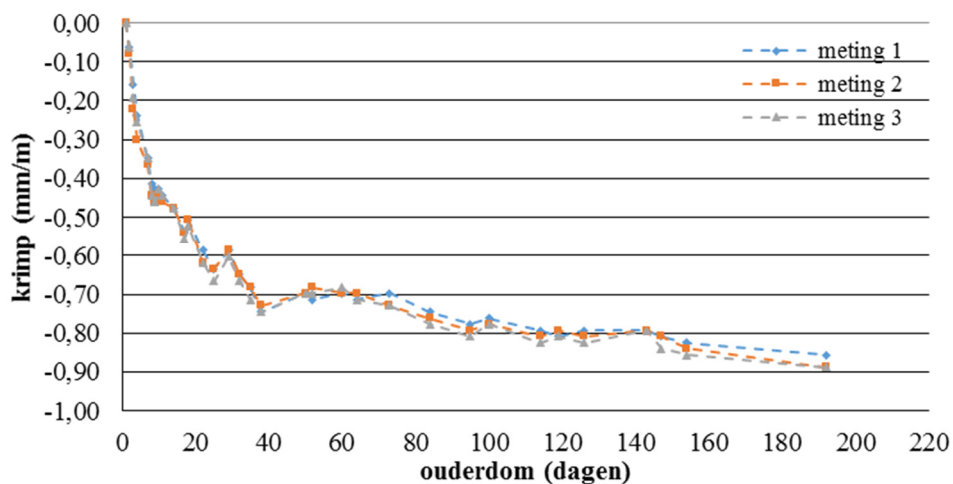
Figuur 49: Krimp balk 16x4x4cm zandcementsamenstelling 1



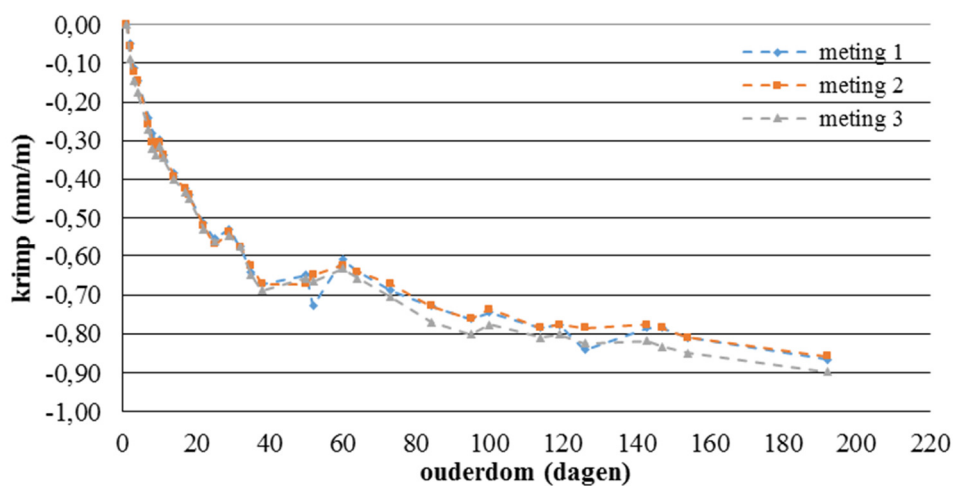
Figuur 50: Krimp balk 16x4x4cm zandcementsamenstelling 2



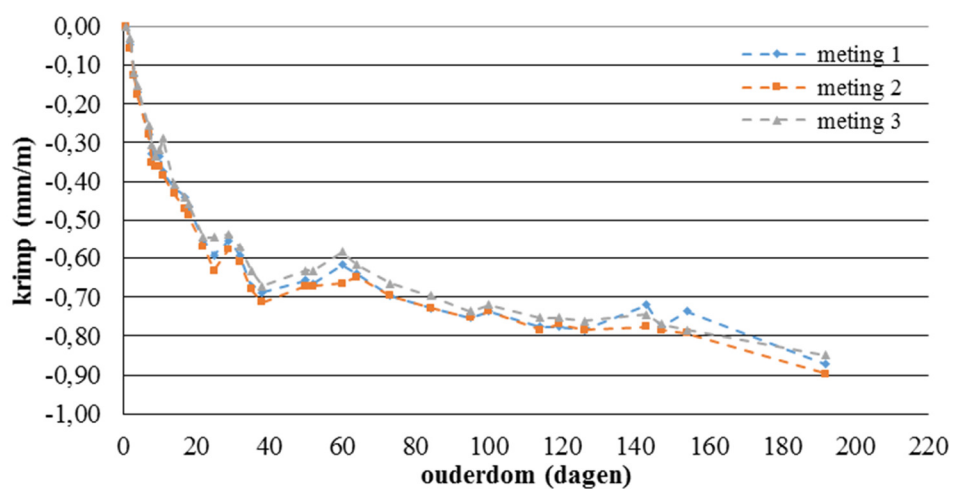
Figuur 51: Krimp plaat 21x16,5x4cm zandcementsamenstelling 1



Figuur 52: Krimp plaat 21x16,5x4cm zandcementsamenstelling 2



Figuur 53: Krimp plaat 50x50x6cm zandcementsamenstelling 1



Figuur 54: Krimp plaat 50x50x6cm zandcementsamenstelling 2

Hoofdstuk 5 Onderzoek naar de karakteristieken van de cementgebonden dekvloer

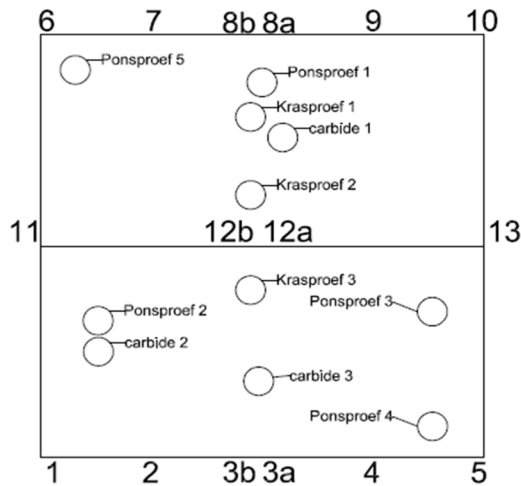
Op de proefstukken worden verscheidene proeven uitgevoerd, op verschillende tijdstippen, om te onderzoeken hoe de eigenschappen van de zandcementsamenstelling evolueren. De meeste testen worden uitgevoerd onmiddellijk na plaatsing proefvloeren of aanmaak proefstukken, na 2, 7 of 28 dagen droging en bij afbraak van de proefvloeren.

De eigenschappen van de cementgebonden dekvloeren worden onderzocht door toepassing van volgende proefmethodes:

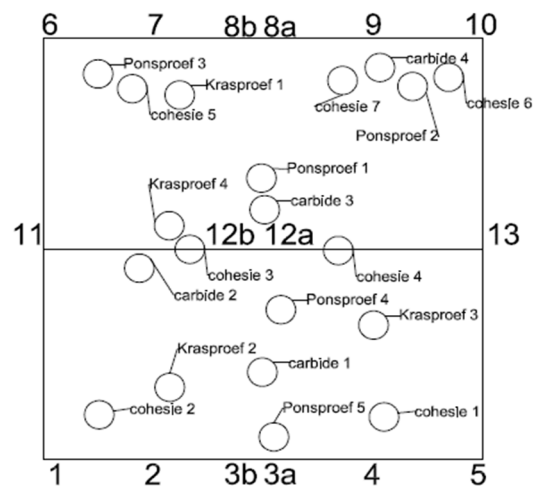
- Bepaling van het vochtgehalte d.m.v. de carbideflesmeting of de droogovenproef (WTCB TV218 §5.2.3);
- Bepaling van de oppervlaktehechting d.m.v. de cohesieproef (NBN EN 13892-8) (WTCB, TV193 § 7.1);
- Bepaling van de ponsweerstand d.m.v. de dynamische ponsproef (WTCB, TV189, bijlage 2);
- Bepaling van de oppervlaktehardheid d.m.v. de krasproef;
- Bepaling van de korrelsamenstelling van het gebruikte rijnzand 0/7 d.m.v. de zeefproef (NBN EN 933-1) (NBN EN 933-2) (NBN EN 12620);
- Bepaling van de buigsterkte d.m.v. de driepuntsbuigproef (WTCB, TV189, bijlage 2) (NBN EN 13892-2);
- Bepaling van de druksterkte d.m.v. de drukproef (WTCB, TV189, bijlage 2) (NBN EN 13892-2);
- Bepaling van de vervormingsweerstand bij belasting van de grote proefvloeren d.m.v. de belastingsproef;
- Registratie van de omgevingstemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid in het labo d.m.v. de datalogger.

De verschillende meetlocaties waar de proeven op de proefvloeren zijn uitgevoerd, worden weergegeven in de schema's op figuren 55 en 56.

Muur labo hout



Figuur 55: Locaties op proefvloer 1



Figuur 56: Locaties op proefvloer 2

5.1 Bepalen van het vochtgehalte

5.1.1 Proefmethode

Om het drogingsproces te analyseren wordt het vochtgehalte in de zandcementlaag van de twee proefvloeren bepaald. Het vochtgehalte van de dekvloer wordt met twee verschillende methoden gecontroleerd, nl. met de carbideflesmeting en met weging voor en na droging in de oven. Per proefvloer zijn onmiddellijk na plaatsing van de dekvloeren, voor betegeling vloer 1 na twee dagen en vloer 2 na 28 dagen en bij afbraak na 154 dagen, telkens drie vochtgehaltemetingen uitgevoerd. De proefstalen voor de drie metingen worden op diverse plaatsen uit de proefvloeren genomen.

De carbideflesmeting

De proefstalen worden met de beitel losgemaakt over de volledige dikte van de cementgebonden dekvloer (figuur 57). De stalen worden zo diep mogelijk ontnomen uit de dekvloer, omdat de bovenste zone vaak droger is dan de rest van de vloerdoorsnede.

Het proefstaal wordt fijn gebroken en afgewogen tot 20 gram (figuur 58). Het staal wordt in de carbidefles gebracht die een calciumcarbide-ampul bevat. De carbidefles wordt verschillende malen geschud, zodat er een chemische reactie ontstaat van het carbide CaC_2 met het water H_2O uit het dekvloermateriaal. Hierdoor ontstaat een gas C_2H_2 die een drukstijging in de fles veroorzaakt. De drukstijging wordt afgelezen van de manometer op de fles, die het vochtgehalte procentueel weergeeft.



Figuur 57: Wegname proefstaal uit dekvloer



Figuur 58: Verbrijzelen van zandcement proefstaal

De droogovenmethode

Bij de droogovenmethode of de gravimetrische methode worden de proefstalen op dezelfde wijze uit de proefvloeren ontnomen zoals bij de carbideflesmetingen. De proefstalen worden gewogen in vochtige toestand en vervolgens gedroogd in een oven op 110°C. Als het droog proefstaal een constante massa heeft bereikt, wordt het procentueel vochtgehalte bekomen door het verschil tussen de massa in vochtige en in droge toestand te berekenen, gedeeld door de droge massa.

$$\text{vochtgehalte (\%)} = \frac{m_{\text{nat}} - m_{\text{droog}}}{m_{\text{droog}}} \quad (6)$$

Met m_{nat} = de massa voor droging;

m_{droog} = de massa na de droging.

5.1.2 Proefresultaten

Carbideflesmeting

De carbideflesmeting wordt verschillende malen uitgevoerd op zowel de twee proefvloeren als op de platen van 50 cm x 50 cm. De resultaten van de carbideflesmetingen op de proefvloeren zijn weergegeven in tabel 7. In tabel 8 worden de resultaten weergegeven van de proefstalen uit de platen van 50 cm x 50 cm. Bij een ouderdom van 154 dagen is het vermoeden dat de zandcementlaag zijn evenwichtsvochtgehalte heeft behaald. Uit de grafieken in hoofdstuk 4 wordt vastgesteld dat de uitdrogingskrimp na 154 dagen stabiliseert, dit versterkt het vermoeden.

Tabel 7: Gemiddelde resultaten carbideflesmetingen op de proefvloeren

Proefnummer	Vloer 1	Standaardafwijking	Vloer 2	Standaardafwijking
	vochtgehalte (%)	Vloer 1 σ (%)	vochtgehalte (%)	Vloer 2 σ (%)
1(2 dagen)	2,75	0,43	-	-
2 (28 dagen)	-	-	1,50	0,25
3 (154 dagen)	2,42	0,29	1,42	0,58

Tabel 8: Gemiddelde resultaten carbideflesmetingen op de proefplaten

Proefnummer	Vloer 1	Standaardafwijking	Vloer 2	Standaardafwijking
	vochtgehalte (%)	Vloer 1 σ (%)	vochtgehalte (%)	Vloer 2 σ (%)
1 (248 dagen)	0,58	0,29	0,00	0,00

De droogovenproef

Voor de bepaling van het vochtgehalte wordt ook de droogovenmethode toegepast. Onderstaande tabel 9 geeft de resultaten weer van de proefstalen, ontnomen op verschillende tijdstippen uit respectievelijk proefvloer 1 en 2.

Bij de vochtmeting uitgevoerd tijdens het plaatsen van de proefvloeren wordt vastgesteld dat procentueel de eerste proefvloer een hoger vochtgehalte bezit dan de tweede proefvloer. Aangezien dezelfde dekvloermaterialen (rijnzand 0/7 en cement CEM III/A 32,5LA) bij de twee zandcementsamenstellingen werden gebruikt, wordt besloten dat de zandcementsamenstelling van de tweede proefvloer een lagere W/C-factor heeft dan de zandcementsamenstelling van de eerste proefvloer. Doordat het massavolume en de vochtigheidsgraad van het zand en de hoeveelheid toegevoegd water niet is gekend, is het niet mogelijk de W/C-factor juist te bepalen.

Tabel 9: Resultaten van de droogovenproef

Proefnummer	Vloer 1	Vloer 2
	vochtgehalte (%)	vochtgehalte (%)
1 (0 dagen)	8,62	8,22
2 (2 dagen)	6,52	-
3 (28 dagen)	-	1,79
4 (154 dagen)	4,18	3,9

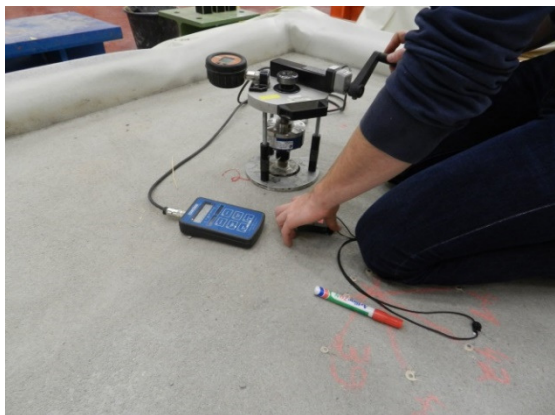
5.2 Oppervlaktehechting

5.2.1 Proefmethode

De hechtsterkte van het dekvloeroppervlak wordt gecontroleerd door de cohesieproef of hechtingsproef. Voor betegeling van de proefvloeren wordt de hechtsterkte van de dekvloer bepaald.



Figuur 59: Verlijmen van een pastille



Figuur 60: Uitvoeren van de cohesieproef

Bij de cohesieproef (NBN EN 13892-8) worden metalen pastilles (schijfjes) van diameter 80 mm met een tweecomponenten epoxylijm op verschillende plaatsen op de dekvloer gekleefd (figuur 59). Na verharding van de lijm worden de pastilles met een trektoestel losgetrokken (figuur 60). Tijdens de proef wordt de trekkracht met een uniforme snelheid en zonder schokken opgedreven tot breuk. De trekkracht bij breuk geeft de oppervlaktehechting van de dekvloer weer. De hechtsterkte (N/mm^2) wordt bepaald door de gemeten trekkracht bij breuk te delen door de oppervlakte van de metalen pastille (figuren 61 en 62).



Figuur 61: Resultaat in de dekvloer na breuk



Figuur 62: Pastille na breuk

5.2.2 Proefresultaten

Met behulp van het trektoestel wordt de kracht, nodig om de pastilles van de zandcementvloer los te trekken, bepaald. Tabel 10 geeft de bekomen resultaten weer van de uitgevoerde cohesietesten. De hechtsterkte is de verhouding tussen de gemeten trekkracht en de oppervlakte waarop de hechting werkt. De hechtsterkte wordt berekend volgens volgende formule:

$$B = \frac{F}{A} \quad (7)$$

Met B = de hechtsterkte, in N/mm²;

F = de benodigde trekkracht, in N;

A = de oppervlakte van het grondvlak van de pastille, in mm².

Tabel 10: Hechtsterkte van proefvloer 2

Proefnummer	Trekkracht F (N)	Oppervlakte A (mm ²)	Hechtsterkte B (N/mm ²)	Standaardafwijking σ (N/mm ²)
1	4775	5026,548	0,95	
2	6874	5026,548	1,37	
3	5454	5026,548	1,09	
4	6892	5026,548	1,37	
5	7092	5026,548	1,41	
6	6935	5026,548	1,38	
7	8378	5026,548	1,67	
Gemiddelde hechtsterkte B (N/mm ²)			1,32	0,23

5.2.3 Evaluatie uitvoering cohesieproef

De cohesieproef is uitgevoerd op zowel de eerste als de tweede proefvloer. Zoals hierboven wordt opgemerkt, zijn enkel de resultaten van de tweede proefvloer opgenomen. De uitvoering van de cohesieproef is bij de eerste proefvloer mislukt. Doordat de vloer niet werd geborsteld alvorens de pastilles te klevens, heeft de lijm zich gehecht aan de losliggende zandpartikels op het oppervlak van de proefvloer in plaats van zich rechtstreeks te hechten op de zandcementlaag. Dit kon duidelijk worden waargenomen wanneer de pastilles van proefvloer 1 werden getrokken. Bij het uitvoeren van de cohesieproef op de tweede proefvloer, bij een ouderdom van 28 dagen, is de proefvloer vooraf geborsteld zodat alle losliggende zanddeeltjes werden verwijderd. Daarna werden de pastilles op de zandcementlaag gekleefd.

5.3 Ponsweerstand

5.3.1 Proefmethode

Om de kwaliteit van de dekvloer en de geschiktheid voor het opnemen van belastingen na te gaan, wordt de weerstand tegen dynamische pons getest. De proef wordt uitgevoerd met een cilindervormige ponsstempel met een diameter van 25,2 mm of een oppervlakte van 500 mm² (figuur 63). Om een inslag op de dekvloer met dikte 6 cm te realiseren, wordt een massa van 2 kg verticaal over een hoogte van 1 m langs de ponsstempel losgelaten. Na vier ponsinslagen op dezelfde plaats (figuur 64) wordt de diepte van de ponsindruk in de dekvloer gemeten (figuur 65). Volgens de TV189 van het WTCB zijn de waarden in onderstaande tabel 11 de criteria waarbij een verharde dekvloer moet voldoen om normale belasting op te nemen.

Tabel 11: Criteria resultaten ponsproef TV189 [36]

Gemiddelde waarde	< of = 3 mm
Maximale waarde	< of = 5 mm



Figuur 63: De ponsstempel



Figuur 64: Een ponsinslag in de dekvloer



Figuur 65: Meetapparatuur voor diepte ponsinslag te meten in mm

5.3.2 Proefresultaten

In onderstaande tabel 12 zijn de resultaten voor de ponsproef op proefvloer 1 en 2 vermeld. De meetlocaties waar de verschillende ponsproeven zijn uitgevoerd, worden weergegeven in figuur 55 voor proefvloer 1 en in figuur 56 voor proefvloer 2. Uit de resultaten wordt vastgesteld dat de ponsweerstand voor de zandcementsamenstelling na twee dagen droging niet voldoet aan de vooropgestelde criteria volgens tabel 11. Namelijk de maximale waarde van proefnummer 3 en de gemiddelde waarde voor vloer 1 liggen boven de gestelde eisen. Tijdens de proef was reeds visueel een zwakkere zone in de proefvloer waar te nemen. Dit is waarschijnlijk te wijten aan het plaatselijk anders verdichten van proefvloer 1. Er wordt ook vastgesteld dat proefnummer 5 bij vloer 1 een verhoogde waarde vertoont ter hoogte van de locatie waar de proefstukken zijn ontnomen. Achteraf werd de dekvloer manueel hersteld, waardoor een hogere indrukkingswaarde werd gemeten. Bij proefvloer 2 met een ouderdom van 28 dagen, voldoet de zandcementsamenstelling wel aan de vooropgestelde gemiddelde en maximale waarden.

Tabel 12: Resultaten van de ponsproef

Proefnummer	Vloer 1 indrukking (mm)	Vloer 2 indrukking (mm)
1	2,50	0,75
2	2,50	1,00
3	7,50	1,50
4	2,50	0,75
5	3,50	1,00
Gemiddelde indrukking (mm)	3,70	1,00

5.4 Oppervlaktehardheid

5.4.1 Proefmethode en proefresultaten

Om de oppervlaktehardheid van de dekvloer te bepalen wordt een krasproef uitgevoerd. Bij de krasproef wordt in de dekvloer, met behulp van een kraspen, gekrast. Afhankelijk van de toepassing kan de kraspen in drie verschillende standen worden geplaatst. In het kader van dit onderzoek is gebruik gemaakt van stand 1, de basisstand. In deze positie wordt met een kraspunt een kracht van 9 N tijdens het krassen op de dekvloer uitgeoefend. Via de bijhorende mal worden tweemaal drie evenwijdige krassen, gekruisd over elkaar, in de zandcementlaag gemaakt (figuur 66). Hierdoor komen er in het oppervlak van de dekvloer zandkorrels los. Hoe duidelijker de krassen zichtbaar zijn, hoe meer verzanding in de dekvloer optreedt. Dit is geen wetenschappelijk geijkte proef. De resultaten worden enkel visueel beoordeeld (figuur 67). Dit is dan ook de minst nauwkeurige proef.

Wanneer de krasresultaten tussen de eerste en de tweede proefvloer net voor het betegelen worden vergeleken, kan worden besloten dat de verzanding van de eerste proefvloer visueel groter is dan bij de tweede proefvloer.



Figuur 66: Uitvoeren van de krasproef



Figuur 67: Visueel resultaat van de krasproef

5.5 Zeefanalyse van het gebruikte rijnzand 0/7

5.5.1 Proefmethode

De geleverde zandcementsamenstelling van de dekvloer is volgens de fabrikant bereid met rijnzand kaliber 0/7. Door het uitvoeren van een zeefproef in het labo wordt gecontroleerd of de korrelsamenstelling van het rijnzand voldoet aan het opgegeven kaliber 0/7.

De zeefproefmethode wordt volgens de normen: NBN EN 993-1, NBN EN 933-2 en NBN EN 12620 toegepast. De gebruikte zeven komen uit de reeks ISO-zeven type 3310-1:2000 met vierkante mazen (figuur 68).



Figuur 68: Zeef met vierkante mazen



Figuur 69: De ISO-zeven in de trilkast

De zeefproef dient minimaal driemaal te worden uitgevoerd. Dit is noodzakelijk om een goed en betrouwbaar resultaat te bekomen. De proefstukken worden ontnomen uit het geleverd rijnzand, dat samen met de zandcementsamenstelling voor de proefvloeren werd bezorgd. De stalen worden minimaal 48 uur gedroogd bij 110 °C. Na droging wordt het zand door een stel zeven gezift met afnemende maaswijdte (figuur 69). Het ziften van het zand start met een zeef van maaswijdte 14mm, tweemaal de korrelafmeting van de bovengrens van het kaliber. Na het zeven wordt de doorval in functie van de maaswijdte op grafiek uitgezet, de zogenaamde zeefkromme. Aan de hand van de zeefkromme wordt gecontroleerd of het proefstaal voldoet aan de voorgeschreven korrelkromme uit de norm.

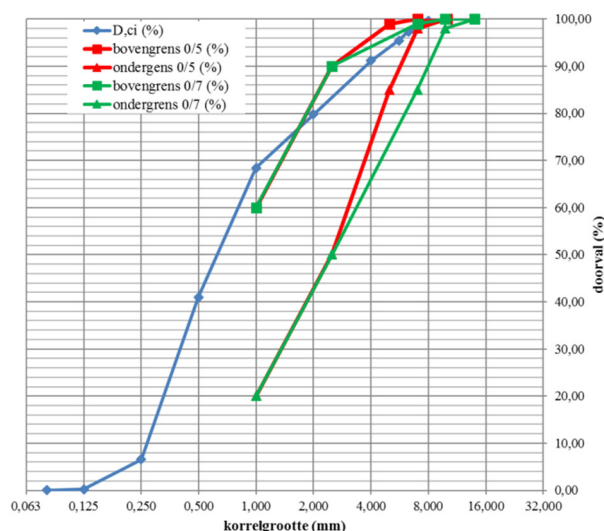
Evenals de zeefkromme is de berekening van de fijnheidsmodulus ook kenmerkend voor een toeslagmateriaal. De fijnheidsmodulus wordt berekend door de som van de cumulatieve zeefresten Z_{ci} (%), bekomen door zes specifieke zeven, te delen door 100% . De voorgeschreven zeven, volgens de normen, hebben een maaswijdte van: 0,125 mm; 0,250 mm; 0,500 mm; 1,000 mm; 2,000 mm en 4,000 mm. De berekende fijnheidsmodulus wordt dan vergeleken met de normwaarden van het rijnzand.

5.5.2 Proefresultaten

Een belangrijk onderdeel van de zandcementsamenstelling is het kaliber van het gebruikte zand. Het is dus van essentieel belang de korrelsamenstelling te onderzoeken om het kaliber van het zand te bepalen. Onderstaande tabel 13 geeft de gemiddelde waarden weer van de bekomen resultaten na het uitvoeren van drie zeefproeven.

Tabel 13: Gemiddelde resultaten zeefproef rijnzand 0/7

Maaswijdte zeef (mm)	Cumulatief Z_{ci} (%)	Doorval D_{ci} (%)	Standaardafwijking σ (%)
14,000	0,00	100,00	0,00
10,000	0,00	100,00	0,00
8,000	0,33	99,67	0,12
6,300	2,67	97,33	1,10
5,600	4,53	95,47	1,62
4,000	8,80	91,20	2,36
2,000	20,27	79,73	1,36
1,000	31,60	68,40	1,44
0,500	59,00	41,00	1,83
0,250	93,47	6,53	0,70
0,125	99,73	0,27	0,12
0,080	99,93	0,07	0,12
0,000	100,00	0,00	0,00
Fijnheidsmodulus	3,13		0,07



Figuur 70: De zeefkromme

Uit de zeefproef worden verschillende gegevens gehaald. Er wordt eerst gecontroleerd of het zandmonster een variërende korrelverdeling bezit. Hiervoor wordt de zeefkromme opgesteld. Het zandmonster kent een goede verdeling in korrelgrootte, wanneer de kromme verkregen uit de zeefproef, tussen de uiterste waarden ligt van de zeefkromme. Op figuur 70 wordt de zeefkromme voor zand kaliber 0/5, de zeefkromme voor zand kaliber 0/7 en de korrelkromme volgens de zeefproef weergegeven.

Naast de zeefkromme wordt ook de fijnheidsmodulus bepaald. Het bekomen resultaat wordt vervolgens vergeleken met onderstaande tabel 14 uit de norm NBN EN 12620.

Tabel 14: De fijnheidsmodulus NBN EN 12620 [18]

Fineness modulus		
CF	MF	FF
4,0 to 2,4	2,8 to 1,5	2,1 to 0,6

5.5.3 Vaststellingen

Uit de testresultaten blijkt dat het rijnzand geen optimale korrelverdeling vertoont. Er zijn in verhouding veel meer korrels met een diameter kleiner dan 2 mm aanwezig dan korrels met een grotere diameter. Uit figuur 70 wordt vastgesteld dat de doorvalcurve voor de grote diameters zich tussen de grenzen van de grenskromme bevindt. Voor een maximale korrelgrootte van 1 mm valt de doorvalcurve buiten de grenskrommen. Toch wordt er besloten dat het zand voldoet aan het kaliber 0/7, omdat de grote korrels binnen de grenswaarden vallen.

Uit de tabel 13 blijkt dat de fijnheidsmodules gelijk is aan 3,13. Hierdoor wordt uit tabel 14 afgeleid dat de zandverdeling voornamelijk uit grove korrels bestaat (Coarse Fineness).

5.6 Druksterkte

5.6.1 Proefmethode

Om de druksterkte te bepalen van een cementgebonden dekvloer wordt een drukproef uitgevoerd. Deze proef verloopt volgens NBN EN 12390-3. De onderzochte proefstukken in de zandcementsamenstelling bestaan respectievelijk uit kubussen met ribben van 100 mm, 150 mm en 158 mm en uit cilinders met een diameter van 50 mm en een hoogte van 40 mm en 60 mm. De cilinders zijn proefstukken die dezelfde verdichting hebben als bij de proefvloeren. Het is belangrijk dat de proefstukken worden gedrukt op hun zijkant (bekistingsvlakken) omdat deze gladder zijn en dus beter voor de drukproef zijn geschikt. Door de ruwheid van het afstrijkvlak oefenen de drukplaten van de machine hun kracht op een kleiner gedeelte van het oppervlak van het proefstuk uit. Dit kan leiden tot verkeerde meetresultaten. De proefstukken worden voor beproeving gewogen en de afmetingen worden juist opgenomen met behulp van een schuifpasser. Uit deze opmetingen wordt de dichtheid van het proefstuk berekend. Bijkomend worden de halve proefstukken, bekomen uit de buigproeven, getest op hun druksterkte. Drie proefstalen per proefvloer worden respectievelijk bij een ouderdom van 7, 14, 28, 207 en 246 dagen getest. Na plaatsing van het proefstuk tussen de drukplaten, wordt het proefstuk door een langzaam opbouwende drukkracht gebroken (figuren 71 en 72). Op de bekomen resultaten werd een correctiefactor toegepast eigen aan de gebruikte drukpers. Voor de grote drukpers en de kleine drukpers zijn deze correctiefactoren respectievelijk 0,9 en 1.



Figuur 71: Proefopstelling voor breuk



Figuur 72: Proefopstelling na breuk

De druksterkte wordt bepaald met volgende formule (WTCB, TV 189, bijlage 2.2)

$$R = \frac{P}{A} \quad (8)$$

Met R = de buigsterkte, in N/mm²;

P = de belasting waarbij de breuk optreedt, in N;

A = het belaste oppervlak, in mm².

De dichtheid van de proefstukken wordt als volgt berekend:

$$\rho = \frac{m}{b \cdot h \cdot l} \quad (9)$$

Met ρ = dichtheid van het proefstuk, in kg/m³;

m = massa van het proefstuk, in kg;

b = breedte van het proefstuk, in m;

h = hoogte van het proefstuk, in m;

l = lengte van het proefstuk, in m.

Tabel 15 geeft de verschillende klassen weer voor de druksterkte van dekvloeren. De ‘C’ staat voor ‘compression’ en met de subindex ‘w’ wordt bedoeld dat de proefstukken uit dekvloeren in situ (op de werf), zijn genomen. De druksterktes, aangeduid met C en zonder subindex, maar met dezelfde klasse-indeling zijn bekomen door de in het labo gemaakte proefstukken te onderzoeken.

De sterkteklassen kunnen ook worden gelinkt aan het type dekvloer en zijn toepassingsgebied. De minimaal benodigde sterktes op basis van de Nederlandse norm NEN 2741 worden weergegeven in tabel 16 voor respectievelijk hechtende, niet-hechtende en zwevende dekvloeren.

Tabel 15: Druksterkteklassen voor dekvloeren [29]

Sterkte-aanduiding	C _w 5	C _w 7	C _w 12	C _w 16	C _w 20	C _w 25	C _w 30	C _w 35	C _w 40	C _w 50	C _w 60	C _w 70	C _w 80
Gemiddelde druksterkte [N/mm ²]	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80

Tabel 16: Sterkte-eisen op basis van vloertype [29]

Eigenschap	Vloertype en gebruik					
	Direct op draagvloer		Op scheidingslaag		Zwevende dekvloer	
	Woningbouw	Utiliteit	Woningbouw	Utiliteit	Woningbouw	Utiliteit
Druksterkte	C _w 5 - C _w 7	≥ C _w 12	C _w 5 - C _w 7	≥ C _w 20	-	-
Buigtreksterkte	-	-			F _w 1 - F _w 7	F _w 1 - F _w 7

5.6.2 Proefresultaten

Onderstaande tabellen geven de gemiddelde druksterktes en standaardafwijkingen weer van de kubussen met ribben 100 mm, 150 mm en 158 mm. De druksterktes zijn telkens een gemiddelde waarde van drie metingen. In elke tabel werd ook de standaardafwijking genoteerd om de spreiding op het gemiddelde weer te geven. Omdat de druksterkte afhankelijk is van de wijze van verdichten, zijn de volumemassa's van elk proefstuk ook in de tabel vermeld.

Tabel 17: Druksterktes van kubussen met zijde 100 mm van proefvloer 2

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)	Volumemassa (kg/m ³)
1	7	7,37	0,72	1928
2	14	9,45	0,48	1919
3	28	8,00	1,53	1881

Tabel 18: Druksterktes van kubussen met zijde 158 mm van proefvloer 2

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)	Volumemassa (kg/m ³)
1	7	8,84	1,60	1643
2	14	9,07	0,34	1910
3	28	9,83	0,71	1812

Tabel 19: Druksterktes van kubussen met zijde 150 mm van proefvloer 1

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)	Volumemassa (kg/m ³)
1	7	14,50	0,29	1987

Tabel 20: Druksterktes van kubussen met zijde 50 mm van proefvloer 1 (locatie 1)

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	28	13,80	
2	28	13,90	
3	28	14,70	
Gemiddelde:		14,13	0,49

Tabel 21: Druksterktes van kubussen met zijde 50 mm van proefvloer 1 (locatie 2)

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	28	8,80	
2	28	8,80	
3	28	9,70	
Gemiddelde:		9,10	0,52

Tabel 22: Druksterktes van kubussen met zijde 50 mm van proefvloer 2 (locatie 1)

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	28	5,60	
2	28	6,40	
3	28	4,40	
Gemiddelde:		5,47	1,01

Tabel 23: Druksterktes van kubussen met zijde 50 mm van proefvloer 2 (locatie 2)

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	28	8,50	
2	28	8,50	
3	28	10,00	
Gemiddelde:		9,00	0,87

Tabel 24: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 1 (locatie 1)

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	28	8,90	
2	28	9,20	
3	28	10,30	
Gemiddelde:		9,47	0,74

Tabel 25: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 1 (locatie 2)

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	28	9,20	
2	28	6,20	
3	28	11,30	
Gemiddelde:		8,90	2,56

Tabel 26: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 2 (locatie 1)

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	28	5,70	
2	28	6,20	
3	28	6,80	
Gemiddelde:		6,23	0,55

Tabel 27: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 2 (locatie 2)

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	28	5,60	
2	28	5,70	
3	28	5,20	
Gemiddelde:		5,50	0,26

Tabel 28: Druksterktes van cilinders met diameter 150 mm van proefvloer 1

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)
1	28	8,50

Tabel 29: Druksterktes van cilinders met diameter 150 mm van proefvloer 2

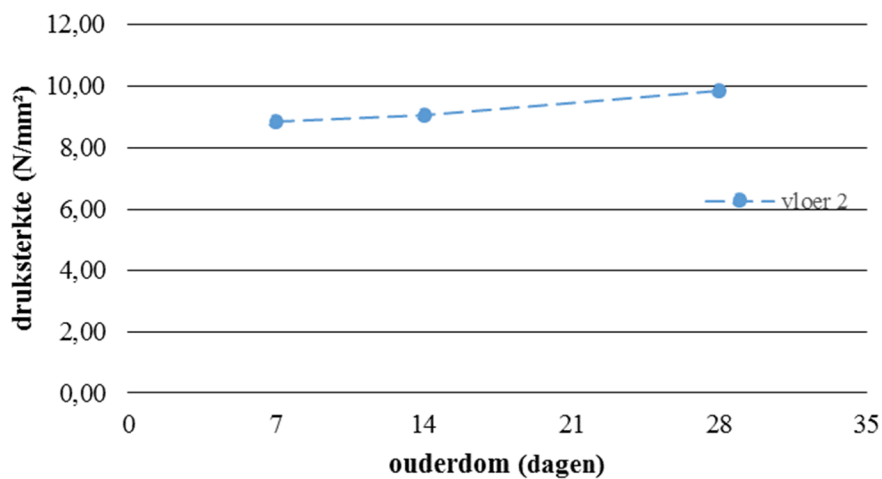
Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)
1	28	10,70

Tabel 30: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 1

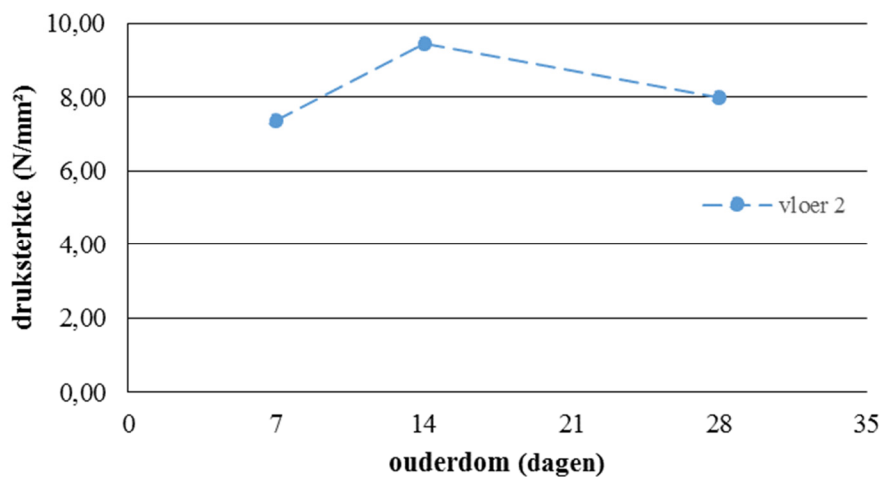
Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	246	18,89	
2	246	18,44	
3	246	18,18	
Gemiddelde:		18,50	0,36

Tabel 31: Druksterktes van cilinders met diameter 50 mm van proefvloer 2

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	246	13,90	
2	246	20,15	
3	246	17,40	
Gemiddelde:		17,15	3,13



Figuur 73: Verloop van de kubusdruksterkte in functie van de ouderdom van kubussen met afmetingen 158 mm x 158 mm x 158 mm



Figuur 74: Verloop van de kubusdruksterkte in functie van de ouderdom van kubussen met afmetingen 100 mm x 100 mm x 100 mm

Bij vergelijking van de druksterktes op 28 dagen met de waarden uit tabel 15 en tabel 16 en indien er wordt verondersteld dat de sterktes in het labo die van in situ benaderen (wat meestal niet het geval is), wordt het volgende afgeleid:

- De samenstelling van de dekvloer voldoet om gebruikt te worden in de woningbouw als hechtende en niet-hechtende dekvloer.
- Voor zwevende dekvloeren is geen druksterkte-eis vermeld, hier heeft de berekening van de buigtreksterkte een meer bepalende functie. Dit wordt in paragraaf 5.7 besproken.
- De druksterktes van de cilinders en de kubussen die dezelfde verdichting hebben als de dekvloer zijn beduidend minder sterk, dan bij de kubussen die handmatig zijn verdicht in de mallen. Dit bevestigt, ondanks de identieke zandcementsamenstellingen, dat de verdichting uitgevoerd op de werf niet tot dezelfde sterktes leidt als de proefstukken vervaardigd in het labo. De druksterktes van de kubussen en cilinders die dezelfde verdichting hebben als de dekvloer zijn bij de eerste proefvloer duidelijk sterker dan bij de tweede proefvloer.
- Het proefstuk dat na 246 dagen uit de dekvloer is gehaald, reikt tot veel hogere druksterktes dan de proefstukken die op 28 dagen zijn gedrukt. De sterkte neemt dus na 28 dagen nog steeds toe zoals figuur 6 al deed vermoeden. Dit is te wijten aan het feit dat het hydratatieproces verder doorloopt na 28 dagen.

5.7 Buigtreksterkte

5.7.1 Proefmethode

Om de buigtreksterkte te bepalen van een cementgebonden dekvloer wordt een driepuntsbuigproef uitgevoerd. De proefmethode verloopt volgens de norm NBN EN 13892-2. De proefstalen, afkomstig uit de zandcementlaag van de proefvloeren 1 en 2, zijn gezaagde stukken of vervaardigde stukken uit isomallen met afmetingen, 16 cm x 4 cm x 4 cm. De afmetingen en het gewicht van de proefstukken worden juist bepaald. Op basis van deze gegevens wordt de volumemassa berekend. De proefstukken worden in de buigbank symmetrisch ten opzichte van het midden opgesteld, op twee steunpunten die 106,7 mm uit elkaar liggen. In het midden bovenop het proefstuk wordt door middel van een puntlast de druk langzaam gelijklopend opgevoerd tot het prisma breekt. De twee helften van het proefstuk worden vervolgens terug gebruikt om een drukproef op uit te voeren. De halve prisma's worden tussen de drukplaten zo geplaatst dat ze gedrukt worden op hun bekistingsvlakken zoals besproken in paragraaf 5.6. Het tijdstip van beproeving loopt in analogie met deze van de uitvoering van de drukproef (figuren 75 en 76). Op de bekomen resultaten dient net zoals bij de drukproeven nog een correctiefactor te worden toegepast. Deze is voor de driepuntsbuigproef 0,95.



Figuur 75: Proefopstelling voor breuk



Figuur 76: Proefopstelling na breuk

Tabel 32 geeft de verschillende klassen weer voor de buigtreksterkte. Hierin staat ‘F’ voor ‘flexural’ of buigtreksterkte. Deze waarde wordt net zoals bij de druksterkte uitgedrukt in N/mm². De subindex ‘w’ duidt aan dat de buigtreksterkte-waarden voor werfsituaties bedoeld zijn.

De buigsterkte wordt bepaald met volgende formule (WTCB, TV 189, bijlage 2.4):

$$R = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot e^2} \quad (10)$$

Met R = de buigtreksterkte, in N/mm²;

P = de belasting waarbij de breuk optreedt, in N;

l = de afstand tussen de steunrollen, in mm;

b = de breedte van het proefstuk, in mm;

e = de dikte van het proefstuk, in mm.

Tabel 32: Buigtreksterkteklassen voor dekvloeren [29]

Sterkte-aanduiding	F _w 1	F _w 2	F _w 3	F _w 4	F _w 5	F _w 6	F _w 7	F _w 10	F _w 15	F _w 20	F _w 30	F _w 40	F _w 50
Gemiddelde buigtreksterkte [N/mm ²]	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50

5.7.2 Proefresultaten

Onderstaande tabellen 33 t.e.m. 43 geven de gemiddelde buigtreksterktes en de standaardafwijkingen weer van de prisma's met afmetingen 160 mm x 40 mm x 40 mm en 600 mm x 150 mm x 50 mm. De buigtreksterktes zijn telkens een gemiddelde waarde van drie metingen. Daarom is in elke tabel ook de standaardafwijking genoteerd om de spreiding op het gemiddelde aan te tonen. Om na te gaan of de buigtreksterkte afhankelijk is van de wijze van verdichten, zijn de volumemassa's van elk proefstuk in de tabellen opgenomen. Voor de opmeting van de druksterktes van de gebroken proefstukken na de buigproef zijn geen volumemassa's opgegeven, omdat het bepalen van de volumemassa na breuk onmogelijk is.

Tabel 33: Buigtreksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 uit isomal

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Buigtreksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)	Volumemassa (kg/m ³)
1	7	1,76	0,10	1817
2	14	2,35	0,29	1836
3	28	2,10	0,13	1828

Tabel 34: Buigtreksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 nat gezaagd

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Buigtreksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)	Volumemassa (kg/m ³)
1	7	2,50	0,24	1871
2	14	2,65	0,32	1954
3	28	2,48	0,22	1952

Tabel 35: Buigtreksterktes van prisma's 600 mm x 150 mm x 150 mm van proefvloer 1

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Buigtreksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)	Volumemassa (kg/m ³)
1	28	1,31	0,05	1869

Tabel 36: Buigtreksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 2 uit isomal

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Buigtreksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)	Volumemassa (kg/m ³)
1	7	1,73	0,13	1761
2	14	2,27	0,22	1827
3	28	2,66	0,52	1911

Tabel 37: Buigtreksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 2 nat gezaagd

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Buigtreksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)	Volumemassa (kg/m ³)
1	7	2,40	0,09	1802
2	14	2,30	0,21	1922
3	28	2,20	0,40	1792

Tabel 38: Buigtreksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 en 2

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Buigtreksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)	volumemassa (kg/m ³)
V1	207	3,45	0,40	1990,29
V2	207	1,44	0,09	1786,51

Tabel 39: Druksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 uit isomal

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	7	8,86	0,82
2	14	9,62	0,21
3	28	8,87	1,10

Tabel 40: Druksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 nat gezaagd

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	7	10,02	1,06
2	14	10,03	1,31
3	28	10,68	1,33

Tabel 41: Druksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 2 uit isomal

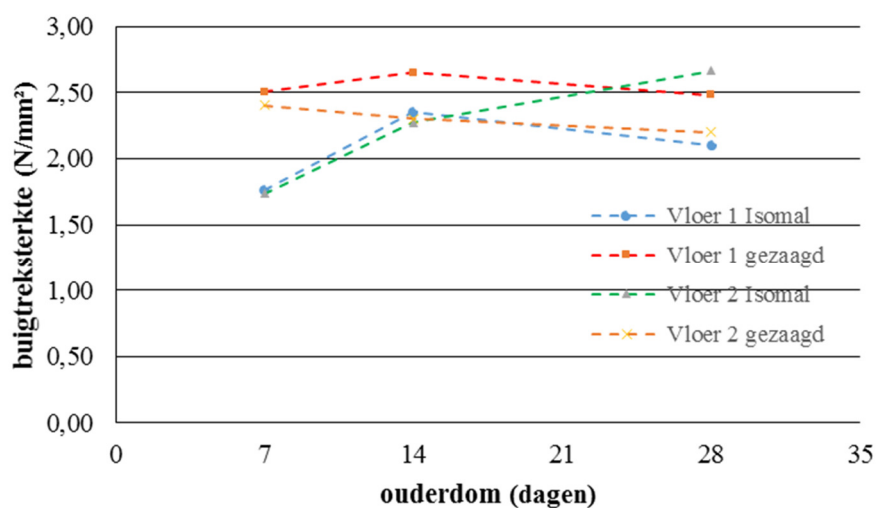
Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
1	7	6,98	0,42
2	14	9,16	0,66
3	28	12,69	3,35

Tabel 42: Druksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 2 nat gezaagd

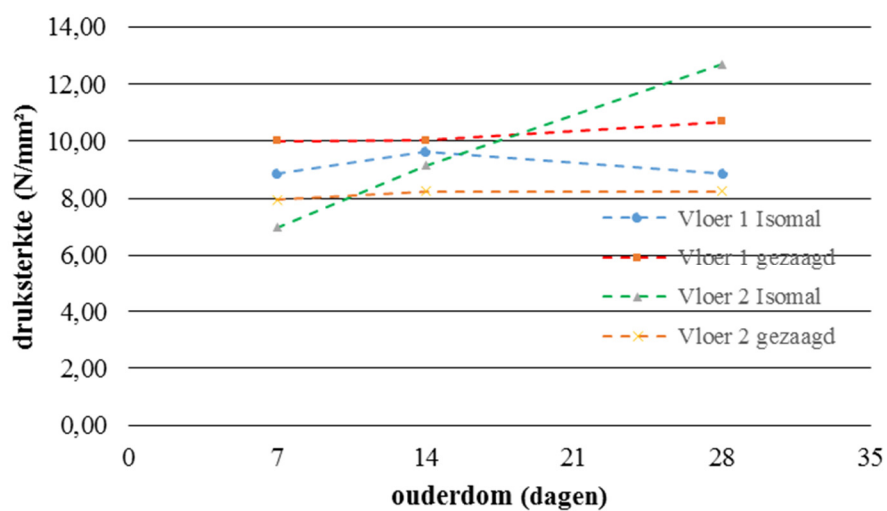
Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (n/mm ²)	Standaardafwijking (n/mm ²)
1	7	7,96	0,62
2	14	8,25	0,34
3	28	8,23	1,22

Tabel 43: Druksterktes van prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm van proefvloer 1 en 2

Proefstuk	Ouderdom (dagen)	Druksterkte (N/mm ²)	Standaardafwijking (N/mm ²)
V1	207	13,26	0,71
V2	207	7,29	0,10



Figuur 77: Verloop van de buigtreksterkte in functie van de ouderdom



Figuur 78: Verloop van de druksterkte in functie van de ouderdom

Bij vergelijking van de resultaten met de eisen in tabel 16, wordt afgeleid dat de eis van de buigtreksterkte voor de zwevende dekvloeren wordt gehaald. Wat de druksterkte betreft, wordt enkel voldaan aan de eisen van woningbouw en niet van utiliteitsbouw. Er is ook een verschil op te merken in de buigtreksterktes tussen de proefstukken bewaard in isomallen en de proefstukken nat gezaagd, die dezelfde dichtheid hebben als bij de proefvloeren. Bij de proefstukken uit de eerste proefvloer zijn de buigtreksterktes van de gezaagde proefstukken hoger dan die uit de isomallen. Dit kan wijzen op een zandcementsamenstelling die beter verdicht is in de dekvloer dan in de isomallen of dat de proefstukken sterker zijn geworden, door het absorberen van vocht bij de natte verzaging. Bij de proefstukken genomen uit de tweede proefvloer, is het omgekeerde verschijnsel waar te nemen. Hier zijn de meetresultaten van de proefstukken uit de isomallen het hoogst. Dit wordt nogmaals bevestigd door de druksterktes van de halve proefstukken te vergelijken.

De buigtreksterktewaarden van de grote mallen zijn minder groot dan de waarden gemeten bij de proefstukken uit de kleine isomallen. Dit is te verklaren, dat de verdichting van de zandcementsamenstelling in de kleinere isomallen waarschijnlijk beter is uitgevoerd dan bij de grote mallen.

Uit de meetwaarden wordt ook afgeleid dat de vorm en de afmetingen van de proefstukken de resultaten beïnvloeden. Zo zijn de behaalde druksterktes op de kubussen 158 mm niet dezelfde als de gemeten druksterktes op de halve prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm, waar het drukvlak ongeveer 40 mm x 40 mm bedraagt. Ook de buigtreksterktes uit de buigproeven op de prisma's 600 mm x 150 mm x 150 mm en op de prisma's 160 mm x 40 mm x 40 mm zijn niet gelijk in grootte, zeker niet op een ouderdom van 7 dagen.

Bovendien wordt vastgesteld dat de meetresultaten afhankelijk zijn van de verdichtingsgraad van de beproefde zandcementsamenstellingen en van de wijze hoe het uitdrogingsproces is verlopen tijdens de veroudering van de proefstukken.

5.8 E-modulus

5.8.1 Proefmethode

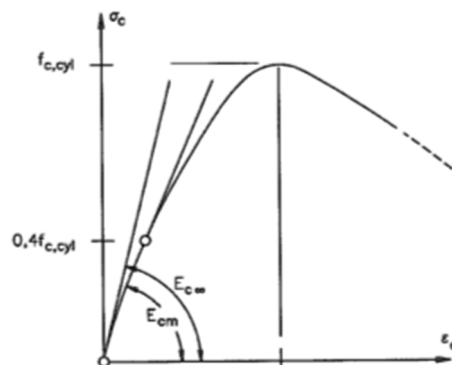
De proefmethode voor het bepalen van de E-modulus of de elasticiteitsmodulus wordt beschreven in NBN B 15-203. De uitvoering van de proef gebeurt met cilindervormige proefstukken met diameter 150 mm en hoogte 300 mm. Er worden rekstrookjes met behulp van een tweecomponentenlijm X60 op de cilinders bevestigd. Aan de uiteinden van deze rekstrookjes worden soldeereilandjes aangebracht, waarin de sensoren worden vastgemaakt om de rek te kunnen registreren met de computer. De lijmlaag tussen het proefstuk in het rekstrookje mag niet te dik worden geplaatst om de rekbewegingen van de cilinder niet te verstoren. Per cilinder worden er drie rekstrookjes gekleefd met een onderlinge

tussenhoek van 120° in bovenaanzicht. Ze worden allen verticaal geplaatst op gelijke afstand van het boven- en het ondervlak van de cilinder en in dezelfde richting georiënteerd volgens de soldeereilandjes.

Het proefstuk wordt in een handbediende drukpers met capaciteit 200 kN geplaatst. Deze drukpers wordt gebruikt om kleinere sterktes nauwkeurig te bepalen. De elasticiteitsvervorming wordt gemeten door driemaal een belasting uit te voeren op de cilinder tot een waarde die ongeveer $1/3$ van de vermoedelijke druksterkte bedraagt en waarna telkens terug wordt ontlast. Dit gebeurt bij voorkeur aan een gelijklopend tempo, dit is echter met een handbediende drukpers niet altijd perfect uit te voeren. De toename en de afname en het constant houden van de belasting gebeurt in tijdsintervallen van 1,5 minuut. Er wordt per proefstuk driemaal belast en ontlast. Daarna wordt de drukbelasting opgevoerd tot het proefstuk breekt zodat de cilinderdruksterkte van de zandcementsamenstelling bij breuk is gekend.

Met de computer worden de elektrische metingen van de vervorming van de drie rekstroken en de drukbelasting uitgeoefend door de drukpers, gemonitord en geregistreerd.

De secans-elasticiteitsmodulus is een waarde, die wordt gevormd door de hellingshoek α te berekenen tussen de x-as en een rechte gevormd door de oorsprong en het punt op de spanning/rekdiagram met de waarde $\sigma_c = 0,4 f_{c,cyl}$.



Figuur 79: Spanning-rekdiagram [6]

De uiteindelijke waarde wordt dan gegeven door onderstaande formule.

$$E_{cm} = tg\alpha = \frac{\sigma_{c2} - \sigma_{c1}}{\epsilon_{c2} - \epsilon_{c1}} \quad (11)$$

Met E_{cm} = secans-elasticiteitsmodulus [N/mm²];

σ_{c2} = $2/5$ van de druksterkte van de cilinder [N/mm²];

$\sigma_{c1} = 0,5$ [N/mm²];

ϵ_{ci} = de elastische vervorming overeenstemmende met σ_{ci} ($i=1,2$) [-]

5.8.2 Proefresultaten

Onderstaande tabel 44 geeft de verschillende waarden voor de E-modulus.

Tabel 44: E-moduli [N/mm²] bepaald met cilinders met diameter 150 mm en hoogte 300 mm

Proefstuk	Ouderdom [dagen]	E-modulus [N/mm ²]
V1-a	28	7498,73
V1-b	28	12750,31
V2-a	28	14820,79
V2-b	28	12915,95

De meeste berekende waarden in de tabel 44 zijn gelijklopend, enkel één waarde van de eerste proefvloer wijkt af met de andere waarden.

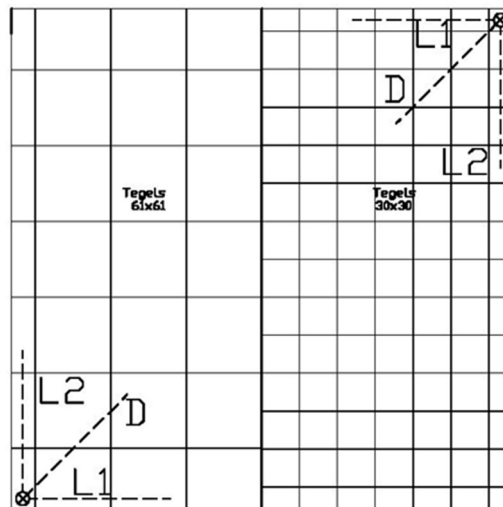
5.9 Vervormingsweerstand bij belasting

5.9.1 Proefmethode

Voor afbraak van de twee proefvloeren wordt nog een belastingsproef gedaan op beide zwevende cementgebonden dekvloeren om de vervormingsweerstand bij belasting na te gaan. De belastingsproef wordt steeds uitgevoerd in een hoek van de vloer, éénmaal in een hoek met de grote tegels van 61 cm x 61 cm en éénmaal in een hoek met kleine tegels van 30 x 30 cm. De lasten bestaan uit stalen schijven met een diameter van 200 mm en een gewicht van 10 kg. Het centrum van de belaste zone bevindt zich op 125 mm van beide randen van de vloer in de desbetreffende hoek.

Naast de belaste zone worden volgens drie verschillende rechten L1, L2 en D, die vertrekken vanuit het midden van de belaste zone, meetklokken opgesteld om de verticale beweging van de vloer op te volgen. Het betreft twee rechten L1 en L2 evenwijdig aan de randen van de vloer in de desbetreffende hoek en een rechte D volgens de diagonaal vanuit het hoekpunt. Bij elke rechte bevindt de eerste meetklok zich op 125 mm van het midden van de belaste zone. De volgende meetklokken op dezelfde rechten worden telkens met een tussenafstand van 250 mm aangebracht. De laatste meetklokken bevinden zich op 1125 mm van het midden van de belaste zone. De meetklokken zijn van hetzelfde type, zoals bij de vervormingsmetingen en hebben een afleesnauwkeurigheid van 0,01 mm.

In figuur 80 worden de drie rechten op de proefvloeren schematisch voorgesteld.



Figuur 80: Meetrichting voor de belastingsproeven

Vooraleer het eerste gewicht te plaatsen, wordt de referentiemeting van de meetklokken uitgevoerd. Vervolgens wordt het eerste gewicht geplaatst (30 kg) en worden de meetklokken opnieuw afgelezen. Het verschil tussen de meetwaarde met gewicht en de referentiewaarde zonder gewicht geeft per meetklok de lokale verticale bewegingsmeting van de vloer. Vervolgens worden bijkomende gewichten op het eerste gewicht geplaatst. Dit gebeurt in stappen van 30 kg en na elke stap worden de meetklokken opnieuw afgelezen.



Figuur 81: Opstelling belastingsproef

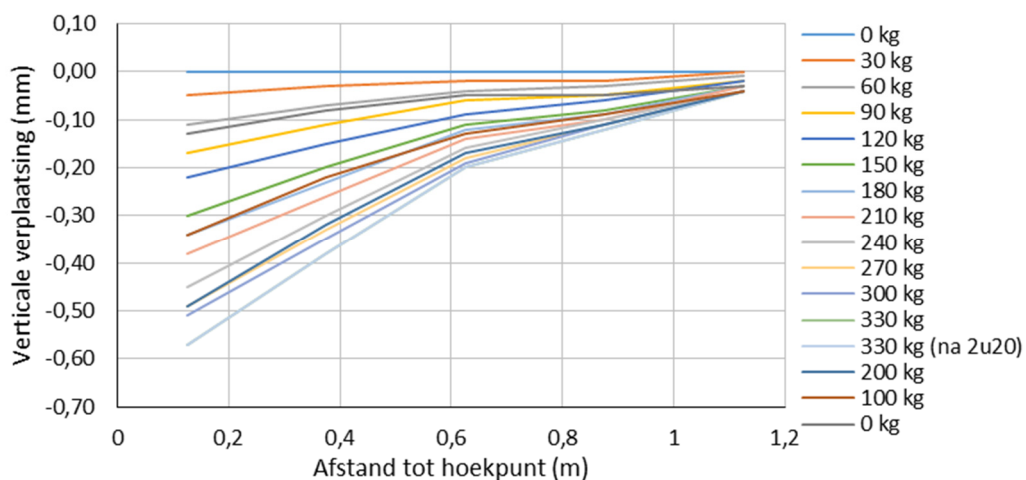
In totaal worden er elf metingen uitgevoerd, zodat er een totale belasting van 330 kg wordt aangebracht (figuur 81). Dit komt overeen met een drukspanning van ongeveer 0,105 N/mm² tussen de gewichten en de vloer. Een normale gebruiksbelasting volgens Eurocode 1 voor een residentieel gebouw is 0,002 N/mm².

Nadat de 330 kg geplaatst is en de meetklokken opnieuw afgelezen zijn, blijft deze last gedurende 2 uur 20 minuten staan, waarna de meetklokken opnieuw afgelezen worden. Een verschil in de aflezing tussen de laatste twee metingen geeft per meetklok de lokale kruipvervorming aan, die gedurende 2 uur 20 minuten onder een constante last van 330 kg is opgetreden.

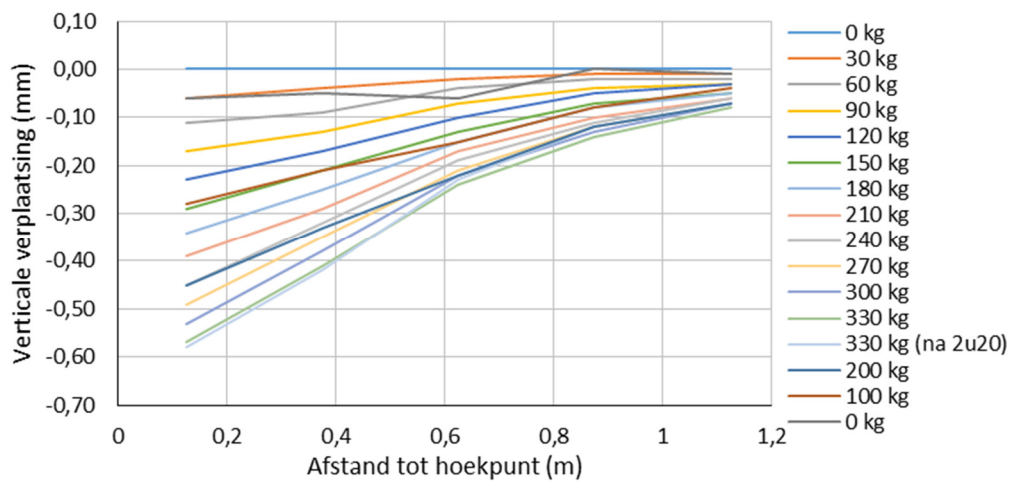
Daarna worden de gewichten een voor een verwijderd. Bij lasten van 200 kg, 100 kg en 0 kg worden de meetklokken opnieuw afgelezen. De meetwaarden bij deze drie lastwaarden kunnen vergeleken worden met de meetwaarden bij dezelfde lastwaarden tijdens het aanbrengen van de gewichten om na te gaan of de vloer naar zijn oorspronkelijke positie terugkeert.

5.9.2 Proefresultaten

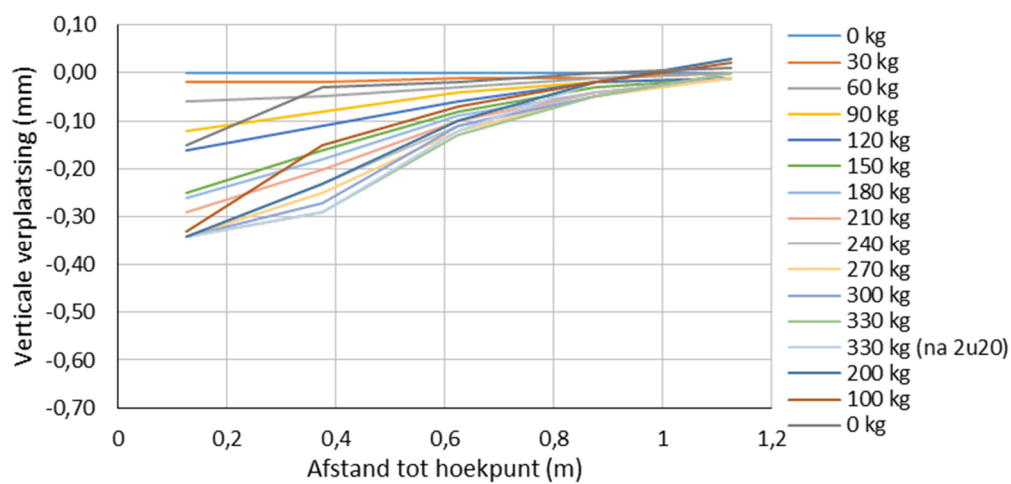
Onderstaande tabellen 82 t.e.m. 93 geven het verloop van de belastingsproef weer volgens de verschillende rechten op het vloeroppervlak. Uit de eerste resultaten wordt afgeleid dat het vloeroppervlak niet naar zijn oorspronkelijke niveau terugkeert. Dit wijst erop dat bij een permanente puntbelasting er kruip optreedt. De kruipvervormingen treden vermoedelijk zowel op in de zandcementlaag, als in de isolatielaag.



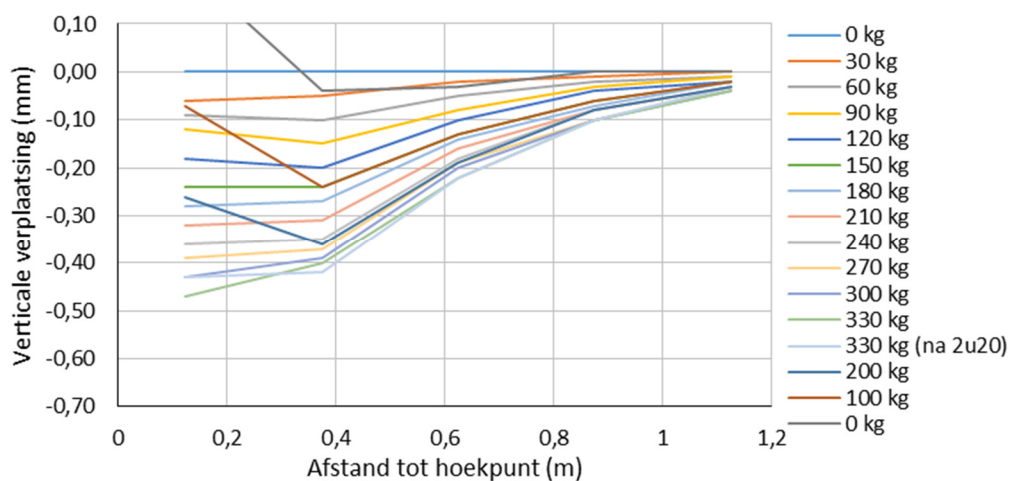
Figuur 82: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 grote tegels langs zijde L1



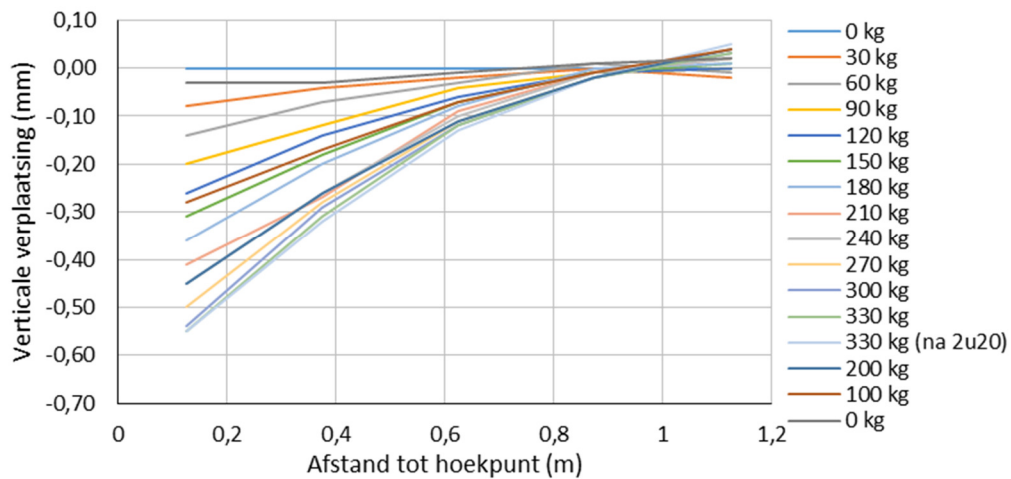
Figuur 83: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 grote tegels langs zijde L2



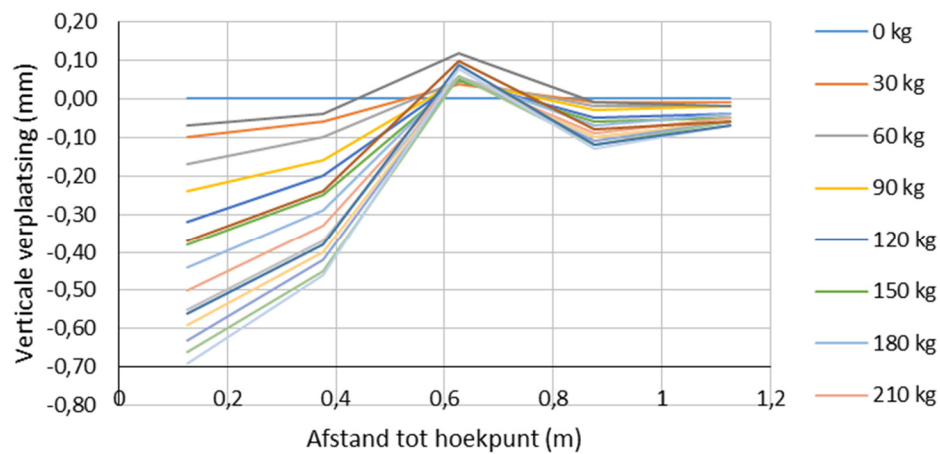
Figuur 84: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 grote tegels langs diagonaal D



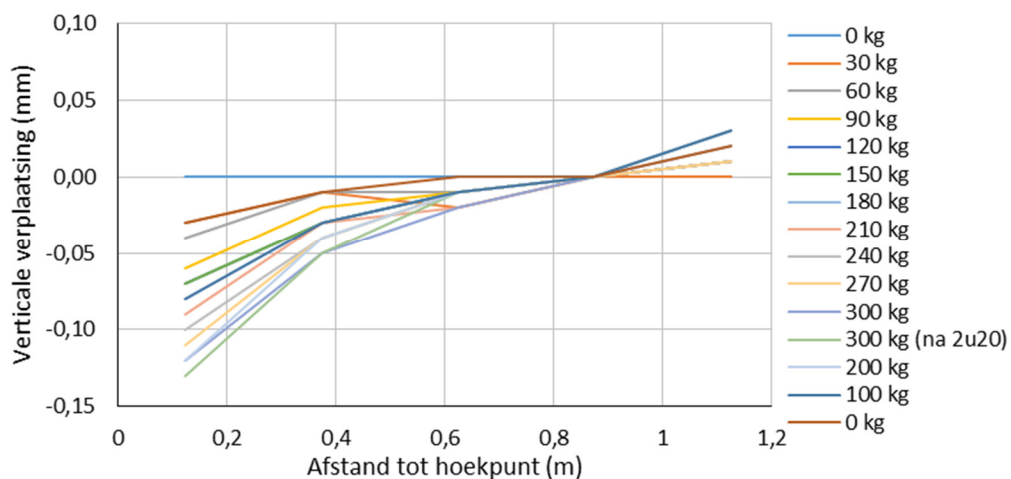
Figuur 85: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 kleine tegels langs zijde L1



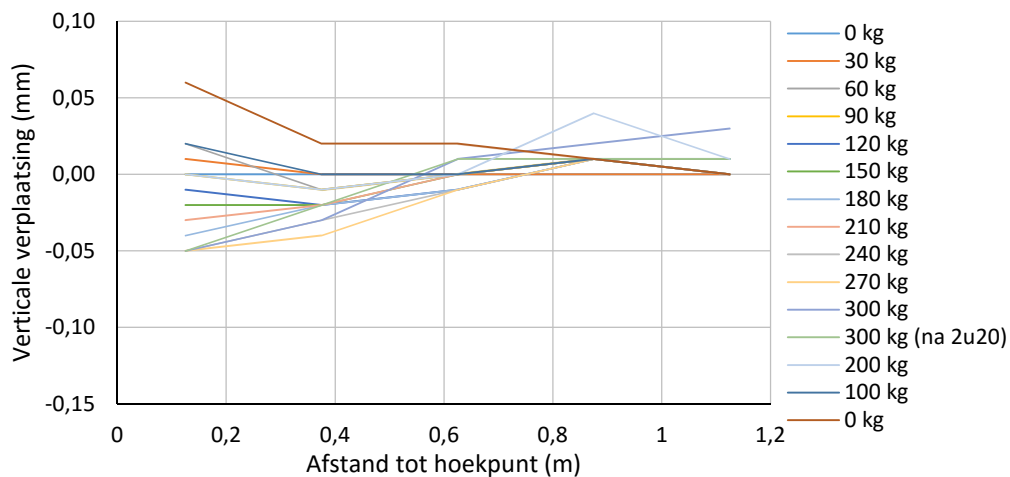
Figuur 86: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 kleine tegels langs diagonaal D



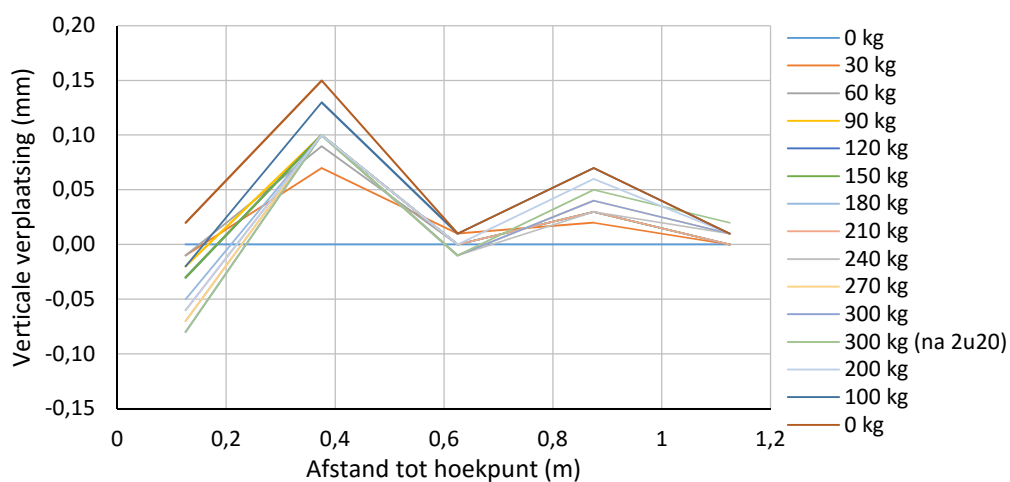
Figuur 87: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 2 kleine tegels langs zijde L2



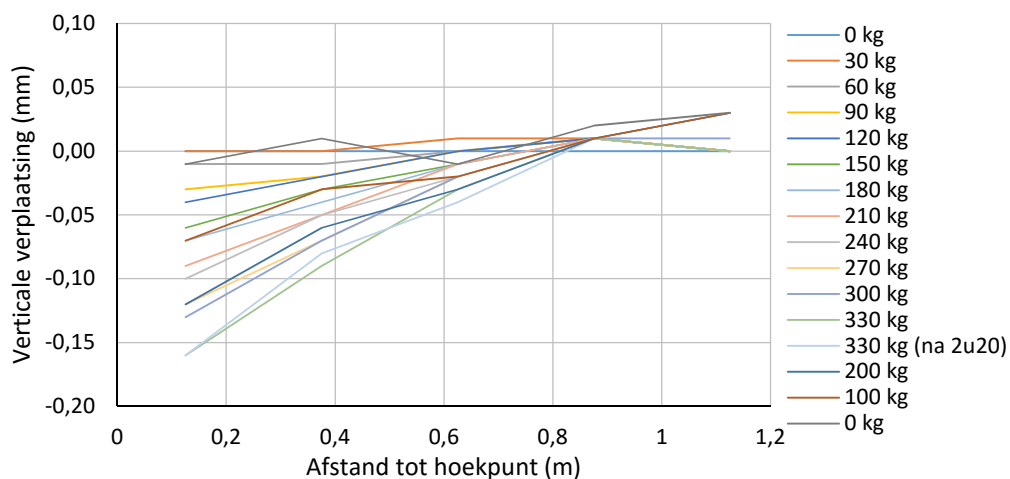
Figuur 88: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 grote tegels langs zijde L1



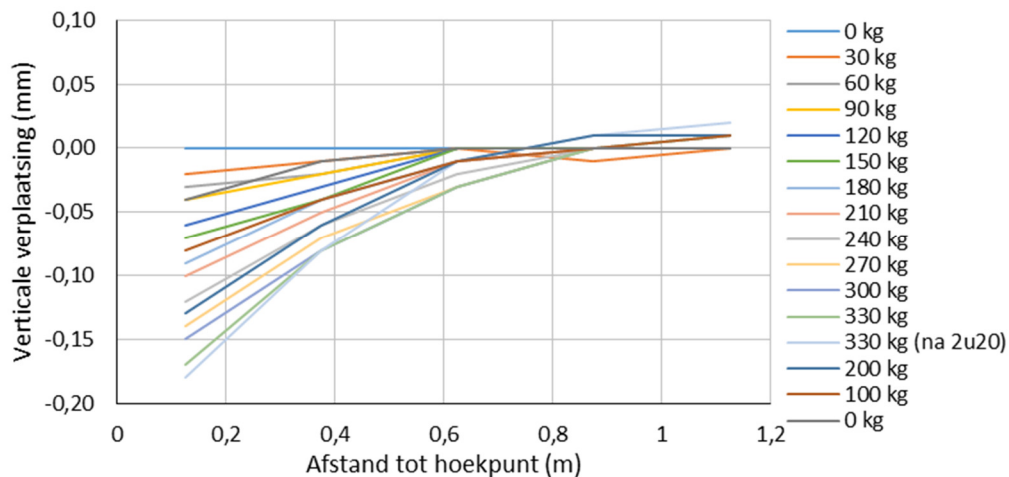
Figuur 89: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 grote tegels langs diagonaal D



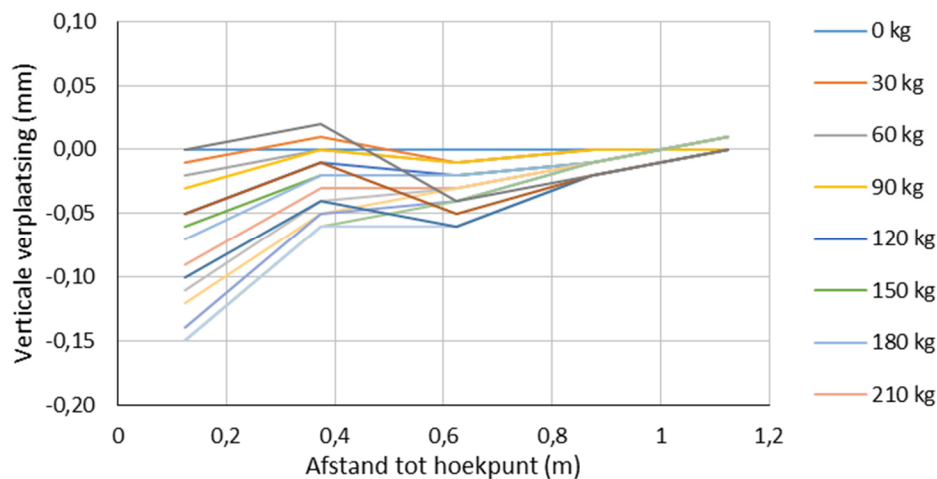
Figuur 90: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 grote tegels langs zijde L2



Figuur 91: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 kleine tegels langs zijde L1



Figuur 92: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 kleine tegels langs diagonaal D



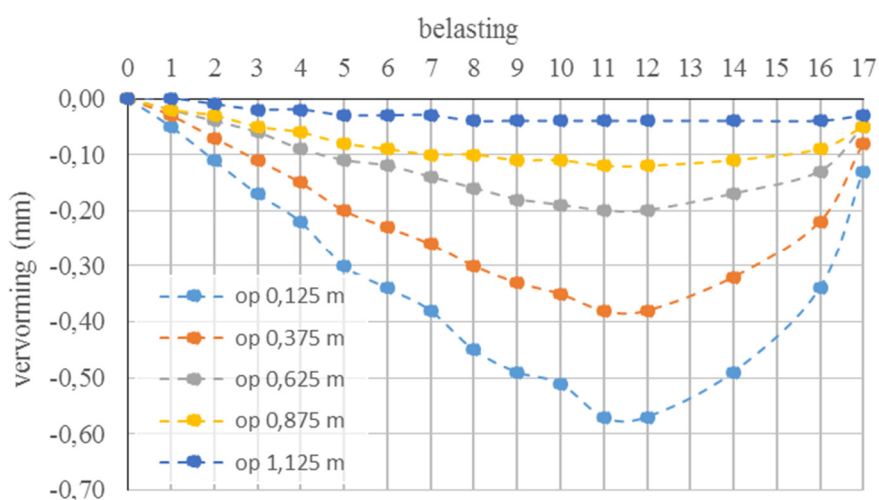
Figuur 93: Verticale verplaatsingen onder belasting bij proefvloer 1 kleine tegels langs zijde L2

De figuren 88 t.e.m. 90 tonen de verticale verplaatsingen opgemeten op de grote tegels van de eerste proefvloer. In de grafieken is duidelijk waar te nemen dat bij elk bijkomend geplaatst gewicht het vloeroppervlak neerwaarts beweegt. De maximale verzakking die wordt gemeten is $\pm 0,12$ mm. Aangezien deze proef tweemaal, wegens een aanrijding met een heftruck, is uitgevoerd zijn de resultaten niet meer representatief en worden dus nog louter informatief vermeld.

De figuren nummer 91 t.e.m. 93 tonen de verticale verplaatsingen, opgemeten op de kleine tegel van de eerste proefvloer. De neerwaartse bewegingen zijn het grootst ter plaatse van de belaste zone en nemen af naarmate de afstand tot de belaste zone toeneemt. De meetklokjes die het verst van de belaste zone liggen geven zelfs een stijging van de proefvloer aan. De gemeten maximale verzakking is hier gelijk aan $\pm 0,17$ mm. Na 2 uur en 20 minuten is geen kruipgedrag waar te nemen. Nadat de last gedeeltelijk of volledig is weggenomen blijkt dat de vloer niet onmiddellijk terugkeert naar zijn oorspronkelijke positie.

De figuren 82 t.e.m. 87 tonen de verticale verplaatsingen opgemeten op de tweede proefvloer op de grote tegels en kleine tegels. Bij de meting is duidelijk waar te nemen dat de zakking veel groter is dan bij de eerste proefvloer: $\pm 0,60$ mm voor de grote tegels en $\pm 0,70$ mm voor de kleine tegels. Net zoals bij de eerste proefvloer is er ook geen kruipgedrag vast te stellen na 2 uur en 20 minuten.

Ter verduidelijking van de meetresultaten wordt figuur 82 omgevormd naar figuur 94. In deze figuur worden de belastingen volgens tabel 45 in functie van de gemeten vervormingen uitgezet. De curves in figuur 94 tonen terug aan dat er geen kruipgedrag waar te nemen is en dat de vloer niet onmiddellijk terugkeert naar zijn oorspronkelijke positie.



Figuur 94: Verticale verplaatsing onder belasting bij proefvloer 2 grote tegels langs zijde L1

Tabel 45: Overeenkomstige belastingen volgens nummering op X-as voor figuur 94

0	1	2	3	4	5	6	7
0 kg	30 kg	60 kg	90 kg	120 kg	150 kg	180 kg	210 kg
8	9	10	11	12	14	16	17
240 kg	270 kg	300 kg	330 kg	330 kg (na 2u20)	200 kg	100 kg	0 kg

Over het algemeen zijn de resultaten van de belastingvervormingen bij de eerste proefvloer, na twee dagen betegeling, veel lager dan bij de tweede proefvloer, na 28 dagen betegeling. Verder blijkt uit de metingen dat de meetresultaten op de diagonaal bij de grote tegels de grootste vervormingen vertonen. Bij de proefopstelling op de kleine tegels kunnen niet dezelfde conclusies worden getrokken.

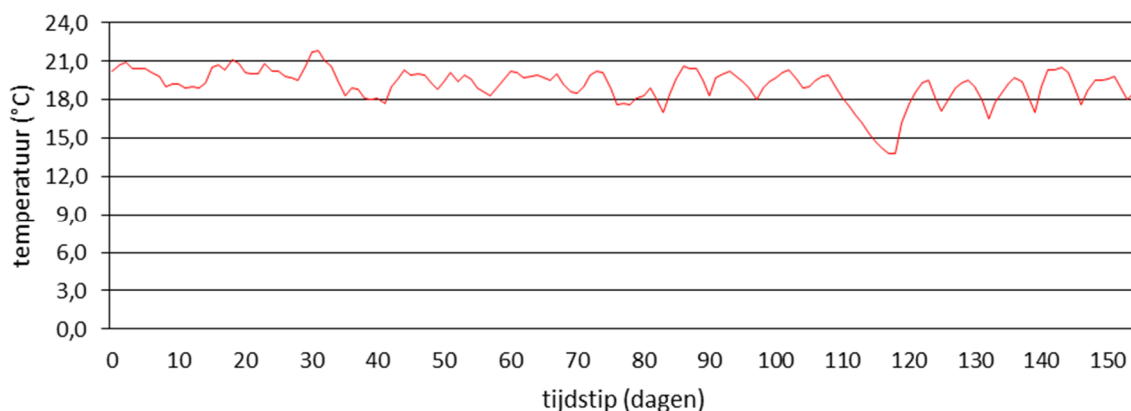
5.10 Registratie van de omgevingstemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid in het labo

Uit voorgaande onderzoeken blijkt dat de vervormingsbewegingen van materialen beïnvloed worden door de omgevingstemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid. Daarom is het noodzakelijk om gedurende de volledige meetperiode de gegevens van het binnenklimaat in het labo bij te houden. Hiervoor is gebruik gemaakt van dataloggers (figuur 95). Deze dataloggers registreren binnen een bepaalde interval de omgevingstemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid in het labo. Voor dit onderzoek worden de binnenklimaat gegevens elke vijftien minuten geregistreerd. De dataloggers zijn in staat om de omgevingstemperatuur tot 0,0001 °C en de relatieve luchtvochtigheid tot op 0,0001 % nauwkeurig te registreren.

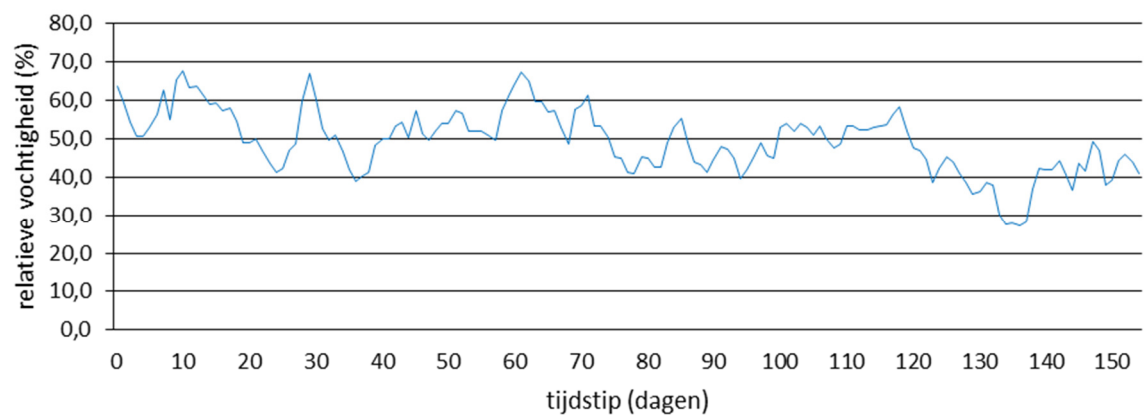


Figuur 95: De datalogger

Figuren 96 en 97 geven respectievelijk de gemiddelde omgevingstemperatuur en de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid per dag weer. De onderstaande metingen in de figuren zijn opgemaakt om de invloed van het omgevingsklimaat op de meetresultaten van de uitgevoerde proeven in dit onderzoeksverslag te vergelijken.



Figuur 96: De daggemiddelden van de omgevingstemperatuur (°C)



Figuur 97: De daggemiddelden van de relatieve luchtvochtigheid (%)

Hoofdstuk 6 Analyse van de onderzoeksresultaten

In het volgende hoofdstuk wordt de analyse gemaakt van alle resultaten. Eerst worden alle resultaten van het eigen onderzoek besproken. Vervolgens worden de eigen onderzoeksresultaten vergeleken met de meetwaarden van eerder uitgevoerde onderzoeken door derden.

6.1 Analyse van de verticale vervormingsmetingen

6.1.1 Onderzoeksresultaten

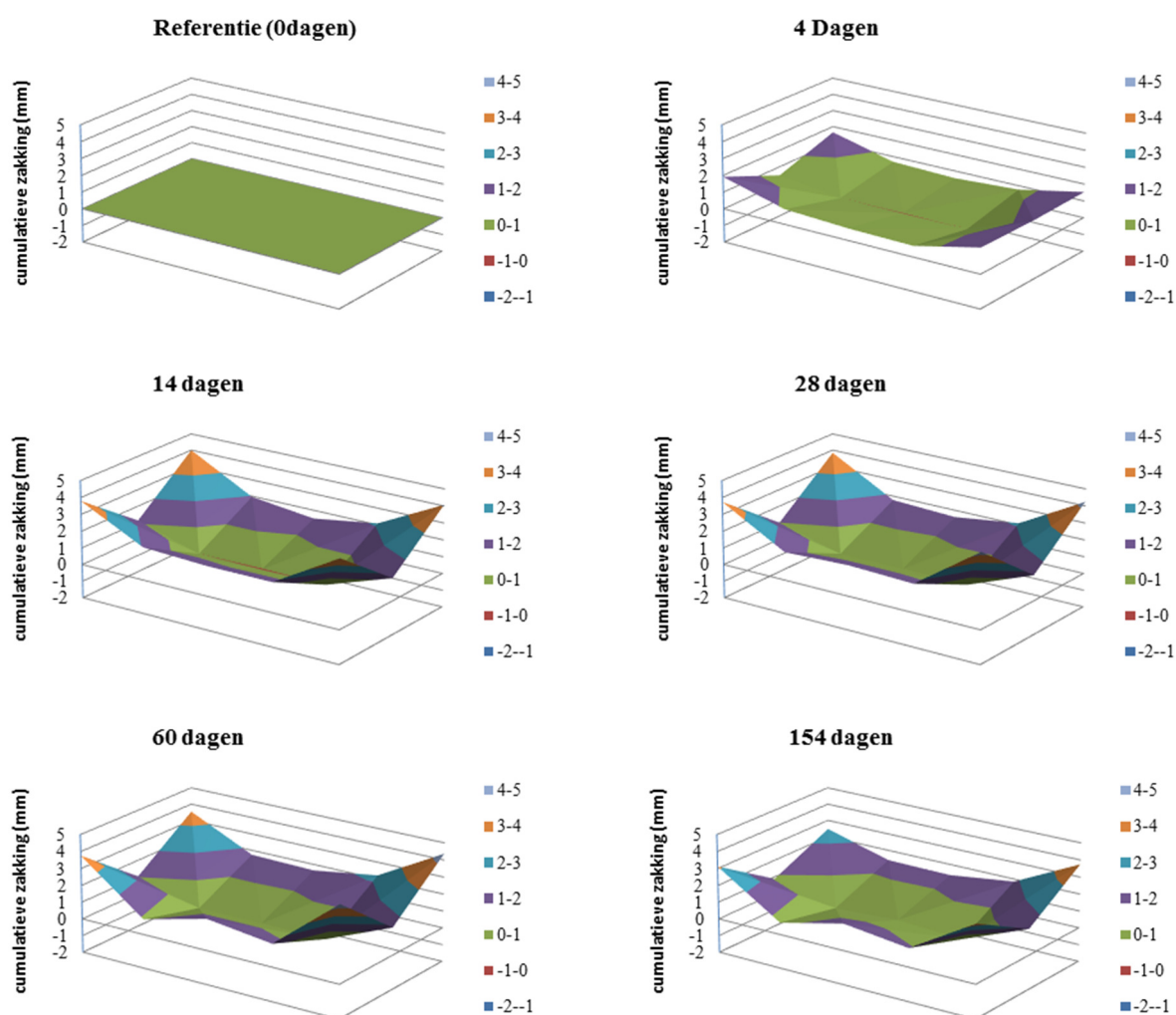
In de figuren 37 en 40 is het verloop van de verticale vervormingen respectievelijk voor de eerste proefvloer, na twee dagen betegeling en voor de tweede proefvloer, na 28 dagen betegeling, uitgewerkt. Visueel is het onmiddellijk duidelijk dat de vervormingen bij de eerste proefvloer veel kleiner zijn dan bij de tweede proefvloer. Bij de eerste proefvloer bedraagt het maximale hoogteverschil nooit meer dan 0,86 mm. Bij de tweede proefvloer is het verschil tussen de grootste en de kleinste waarde, bij dezelfde meting, maximaal 5,20 mm.

Er wordt verondersteld dat de grootste invloedfactor voor de verticale vervormingen de uitdroging van de zandcementlaag is. Dit verklaart de kleine vervormingen bij de eerste proefvloer, die na twee dagen reeds werd betegeld. Hierdoor wordt de uitdroging van de vloerplaat sterk bemoeilijkt omdat zowel het ondervlak, het bovenvlak als de zijvlakken afgesloten zijn van de omgeving. Dit doet vermoeden dat bij afbraak van de proefvloer het vochtgehalte in de eerste proefvloer hoger zal zijn dan in de tweede proefvloer. De corresponderende vochtgehalten zijn terug te vinden in tabel 7. Daar wordt vastgesteld dat bij de afbraak van de proefvloeren het vochtgehalte in de eerste proefvloer gelijk is aan 2,42% en in de tweede proefvloer gelijk is aan 1,42%. Het vermoeden wordt bevestigd.

De figuren 38 en 41 geven een vereenvoudigde weergave van de vervormingsmetingen weer. Ze vermelden enkel de gemiddelde resultaten van de hoekpunten, het midden, de langse en de dwarse zijden. Deze grafieken tonen aan dat het verloop van de vervormingen veel gelijkenissen bevatten, ook al zijn de vervormingsmetingen sterk verschillend. Bij beide proefvloeren vervormen de hoekpunten het meest en het midden het minst. De zijden hebben een tussenliggende vervormingsgrootte. Daarnaast wordt vastgesteld dat zowel bij de eerste als de tweede proefvloer de kwarten zijdes grotere vervormingen ondergaan dan de midden zijdes.

De zandcementlaag van de tweede proefvloer heeft 26 dagen langer vrij kunnen uitdrogen langs zijn bovenvlak dan de eerste proefvloer. Op grafiek 40 is het verschil in verticale vervormingen veel duidelijker waarneembaar dan op grafiek 37. De vervormingen in de hoekpunten zijn veel groter dan in het midden en aan de randen van de dekvloer. Dit verschijnsel wordt schotelen of opkrullen van de dekvloer genoemd. De oorzaak is een ongelijkmatige uitdroging van de zandcementlaag. Het bovenvlak droogt vlugger uit en krimpt sneller. De onderzijde droogt en krimpt langzamer. Door dit krimpverschil

wordt de dekvloer opgekruld. Onderstaande figuren geven op verschillende tijdstippen een 3D-beeld van de tweede proefvloer weer. Hierdoor wordt een duidelijk beeld verkregen van het verloop van de verticale bewegingen in de proefvloer. Uit de figuren kan het schotelen worden afgeleid.



Figuur 98: Verloop verticale vervormingen proefvloer 2

Beide proefvloeren zijn voor de helft betegeld met grote tegels (61 cm x 61 cm) en voor de andere helft met kleine tegels (30 cm x 30 cm). Uit het onderzoek blijkt dat het verschil in tegelgrootte weinig of geen invloed heeft op de vervormingen. Aan de gemeenschappelijke randen zijn de verschillen in vervormingen zeer gering.

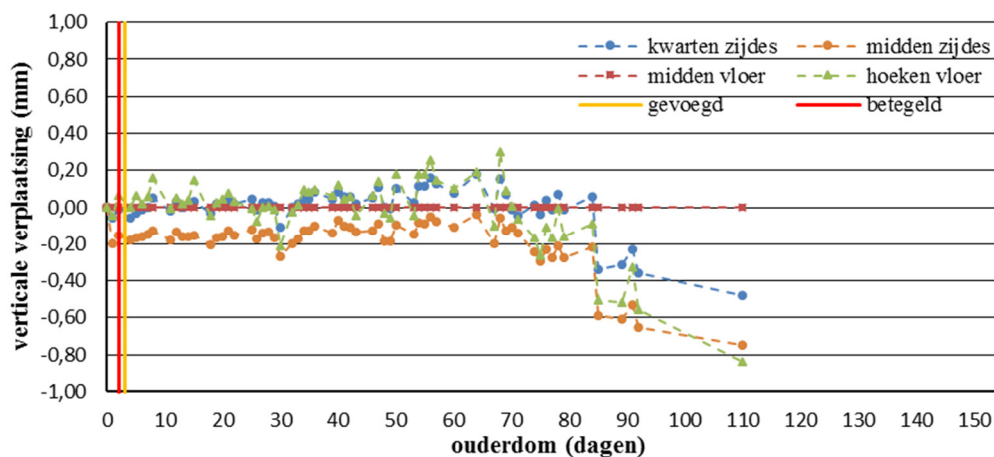
Tot slot wordt opgemerkt dat de verticale vervorming niet alleen wordt beïnvloed door de graad van uitdroging van de proefvloeren. Ook de omgevingstemperatuur heeft een beperkte invloed op de vervormingsresultaten. Op de figuren 37 en 40 wordt een knik vastgesteld bij een ouderdom gelegen tussen dag 110 en 120. In dezelfde periode is op figuur 96, die het verloop van de temperatuur gedurende

het volledige onderzoek weergeeft, een sterke daling van de temperatuur waarneembaar. Hieruit wordt besloten dat grote temperatuurverschillen ook invloed hebben op de verticale krimpvervormingen.

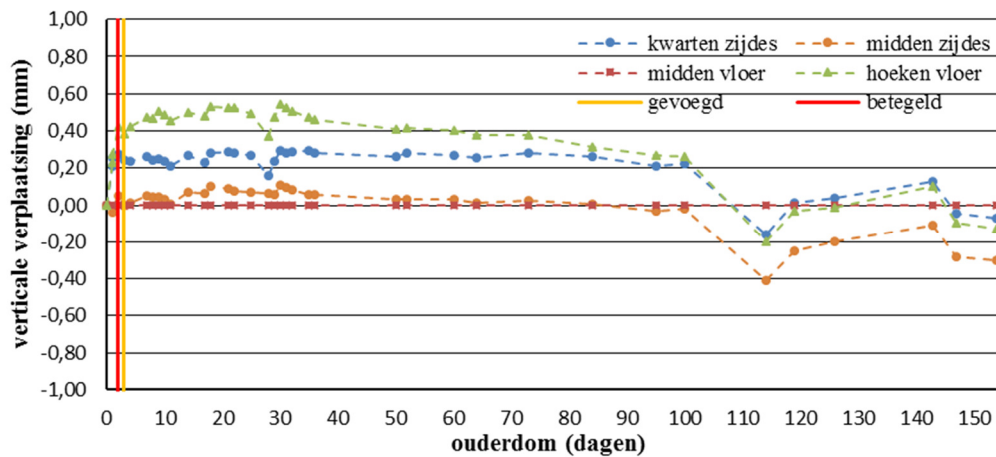
6.1.2 Vergelijking met eerder uitgevoerd onderzoek

In het academiejaar 2014-2015 werden door de masterstudent Jens Lippens eveneens twee proefvloeren beproeft. De proefvloeren hebben een gelijkaardige opbouw als de vloeren getest in het huidige onderzoek. In het vorige onderzoek is er voor de zandcementsamenstelling 200 kg cement per m³ rijnzand gebruikt in plaats van 250 kg in het huidige onderzoek. Daarnaast werden de meetklokken ook rechtstreeks op de houten omkadering van de proefvloer bevestigd. Bij het huidige onderzoek is er geopteerd om gebruik te maken van een onafhankelijk meetsysteem. Ondanks deze uitvoeringsverschillen is het toch mogelijk om de resultaten oordeelkundig met elkaar te vergelijken. Net als in het huidige onderzoek wordt de eerste vloer reeds na twee dagen betegeld en de tweede proefvloer na 28 dagen.

Onderstaande figuren 99 en 100 geven de gemiddelde waarden weer van de meetklokken van de proefvloeren, die betegeld zijn na twee dagen voor respectievelijk het onderzoek van 2014-2015 en het onderzoek van 2015-2016.



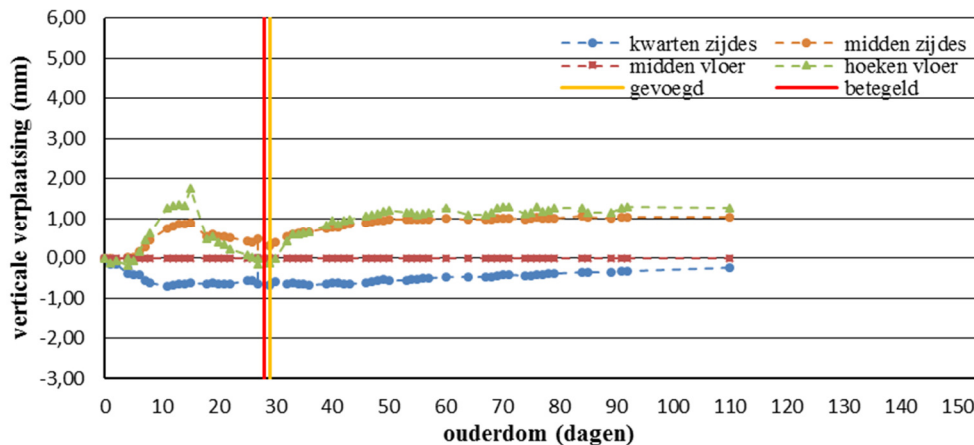
Figuur 99: Gemiddelde verticale vervorming proefvloer met betegeling na 2 dagen met midden als referentie (reeks 2014-2015)



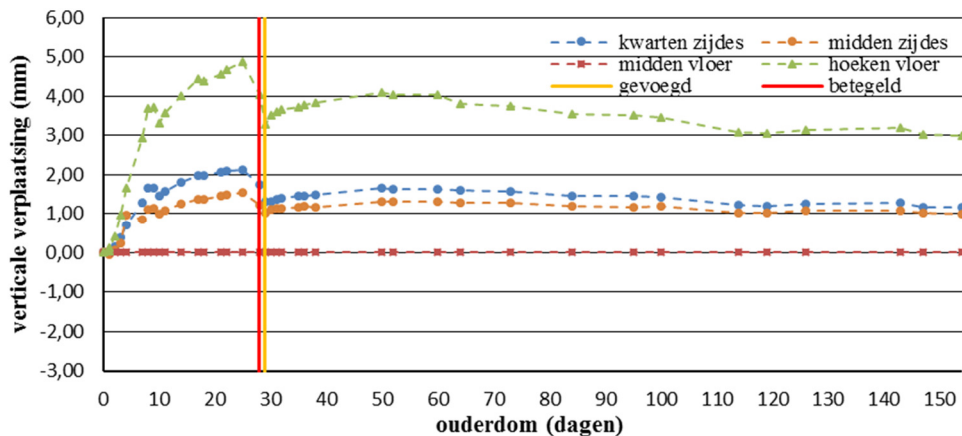
Figuur 100: Gemiddelde verticale vervorming proefvloer met betegeling na 2 dagen met midden als referentie (reeks 2015-2016)

Bovenstaande figuren vertonen een aantal gelijkenissen en verschillen. Uit figuur 99 en 100 wordt vastgesteld dat de grootteorde van de verticale vervormingen voor beide proeven dezelfde zijn. Bij beide proefvloeren is de maximale vervorming kleiner dan 1,00 mm met het midden als referentie. Dit wijst erop dat zowel bij de eerste als de tweede laboratoriumtest de krimp van de zandcementlaag wordt verhinderd door de betegeling. Het verloop van de grafieken daarentegen verschilt veel tussen de twee meetreeksen. Bij de reeks 2014-2015 schommelen alle meetpunten sterk rond het referentievlak. Het is niet mogelijk om duidelijke besluiten omtrent de posities van de meetklokken uit deze reeks te vormen. Bij de reeks 2015-2016 is er wel een verschil waar te nemen bij de metingen tussen de verschillende meetlocaties. Hier is duidelijk te zien dat de hoekpunten een grotere vervorming optekenen in tegenstelling tot de meetpunten op de zijdes. Het is echter onmogelijk te stellen dat de twee proefvloeren dezelfde vervormingen vertonen doordat de metingen in reeks 2014-2015 onregelmatig variëren. De reden hiervoor wordt gevonden bij het toegepaste meetsysteem. Bij de proefreeksen van 2014-2015 werden de meetklokken rechtstreeks op de houten kader bevestigd. Tijdens het krimpverloop van de cementgebonden dekvloer beweegt het kader ook mee. Hierdoor worden minder nauwkeurige resultaten verkregen. Door bij de huidige proefreeksen een onafhankelijk meetsysteem te voorzien, worden deze onnauwkeurigheden vermeden.

Onderstaande figuren 101 en 102 geven de verticale vervormingen weer van de twee proefvloeren die na 28 dagen zijn betegeld.



Figuur 101: Gemiddelde verticale vervorming proefvloer na 28 dagen betegeling met midden als referentie (reeks 2014-2015)



Figuur 102: Gemiddelde verticale vervorming proefvloer na 28 dagen betegeling met midden als referentie (reeks 2015-2016)

Bij beide proefvloeren is het bovenoppervlak van de cementgebonden dekvloer blootgesteld aan het binnenklimaat. Hierdoor kan de zandcementlaag vrij uitdrogen gedurende 28 dagen.

Zowel bij figuren 101 als 102 geven de gemiddelde meetresultaten zeer sterke verticale vervormingen weer. De vervormingsmetingen uit de reeks 2015-2016 zijn ongeveer dubbel zo groot als uit de reeks 2014-2015. Dit verschijnsel is waarschijnlijk te wijten aan de hoeveelheid cement gebruikt in de zandcementsamenstelling. De reeks 2014-2015 bevat 200 kg cement per m³ zand en de proefvloer van reeks 2015-2016, 250 kg cement per m³ zand. Tijdens het chemisch hydratatieproces neemt het cement, in de zandcementsamenstelling water op, zodat de poriën met lucht worden gevuld. Hierdoor wordt een capillaire druk veroorzaakt, dit leidt tot een snelle krimp in de volledige dekvloer. De grootte van de autogene krimp is dus afhankelijk van de hoeveelheid cement die in de zandcementlaag is gemengd.

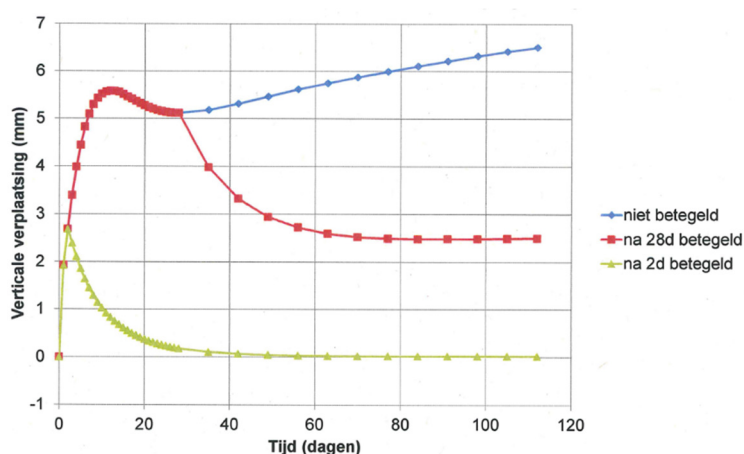
Dit verklaart ook de uitdrogingspiek die voor reeks 2014-2015 vroeger valt en kleiner is dan bij reeks 2015-2016. De figuur 101 toont aan dat de vervormingsmetingen dalen, na 15 dagen, bij figuur 102 blijven echter de waarden stijgen tot een ouderdom van 26 dagen. Vervolgens wordt de daling ingezet.

Tot slot wordt opgemerkt dat de kwarten zijdes bij de reeks 2014-2015 een daling vertonen en bij de reeks 2015-2016 een stijging. Het dalen van de kwarten zijdes kan hier niet verklaard worden. Na het betegelen van beide proefvloeren wordt wel een gelijklopend verloop van de verticale vervormingen vastgesteld.

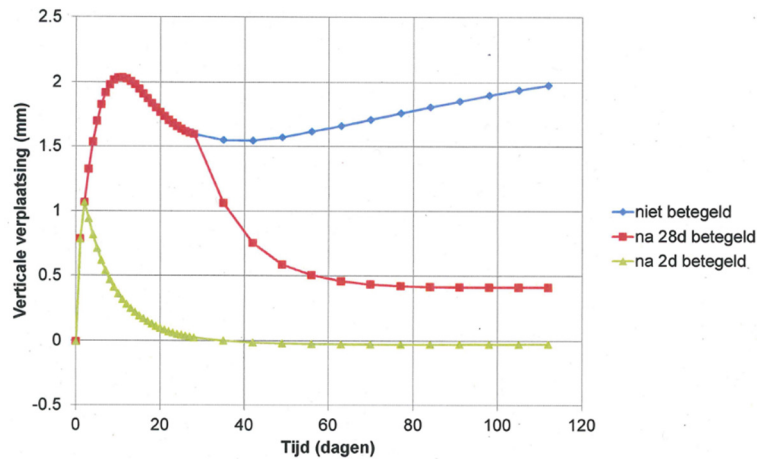
6.1.3 Verband tussen de onderzoeksresultaten en het theoretisch model

In het kader van het TETRA-project “Geïsoleerde binnenvloeren” is een theoretisch model ontwikkeld door ir. Peter De Pauw, om het gedrag van niet-hechtende dekvloeren te analyseren. In deze paragraaf worden enkele bevindingen omtrent de verticale vervormingen beschreven tussen het theoretisch model en de praktijkmodellen uit het onderzoek. Zowel in het praktijkmodel, als bij het theoretisch model is een niet-hechtende vloerplaat met volgende opbouw getest: PUR-isolatielaag, dikte 10 cm en een dekvloer in zandcement, dikte 6 cm. Het is belangrijk om de resultaten kritisch te behandelen. Verschillende parameters zijn moeilijk te bepalen, waardoor in het theoretisch model enkele veronderstellingen zijn gedaan. Zo wordt in het model de wrijving tussen twee lagen oordeelkundig vastgelegd. De wrijving tussen de lagen is niet gekend in het praktijkmodel. Verder wordt in het theoretisch model de veronderstelling gemaakt dat na het betegelen van de dekvloer geen vocht kan ontsnappen uit de dekvloer. In de praktijk zal de dekvloer wel verder uitdrogen via de voegen. Het droogproces wordt wel sterk vertraagd.

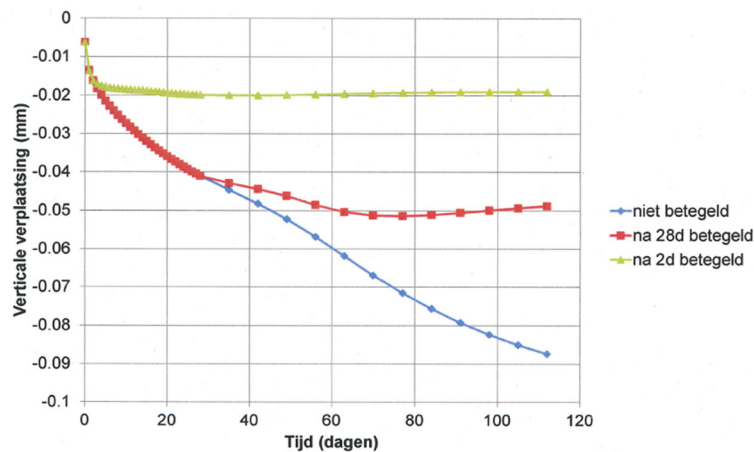
Op onderstaande figuren 103 t.e.m. 105 worden de resultaten voor de verticale bewegingen van het theoretisch model weergegeven voor respectievelijk een hoekpunt, het midden van een zijde en het centrum van de vloerplaat. Op elke figuur is het verloop weergegeven bij het niet betegelen van de proefvloer, na twee dagen betegelen en na 28 dagen betegelen van de proefvloer.



Figuur 103: Verticale beweging hoekpunt vloerplaat 4 x 4 m volgens het theoretisch model



Figuur 104: Verticale beweging midden zijde vloerplaat 4 x 4 m volgens het theoretisch model



Figuur 105: Verticale beweging centrum vloerplaat 4 x 4 m volgens het theoretisch model

Bij vergelijking van de bovenstaande figuren met figuur 38 en figuur 41 worden volgende conclusies aangetoond. De proefvloer die na twee dagen is betegeld, wordt in het praktijkmodel slechts een geringe stijging in de hoeken en in het midden van de zijdes vastgesteld. In het theoretisch model is te zien dat de verticale vervormingen in de hoek na twee dagen reeds 3 mm zijn gestegen en ter hoogte van de midden zijdes 1 mm zijn gestegen. In het theoretisch model wordt verondersteld dat de hydratatiereactie onmiddellijk na het plaatsen van de dekvloer volledig van start gaat. In werkelijkheid verloopt dit proces in de eerste dagen trager. In het midden wordt zowel in het theoretisch model, als in het praktijkmodel een kleine daling van de verticale vervormingen vastgesteld. De daling in het midden is het gevolg van de stijgende vervormingen aan de randen van de proefvloer. Hierdoor komt de belasting van het eigengewicht meer terecht op het centrum van de proefvloer en zal de isolatielaag daar plaatselijk meer indrukken.

Bij de proefvloer die na 28 dagen is betegeld, wordt voor het betegelen van de vloer een gelijklopend verloop van de verticale vervormingen in de hoekpunten en in de midden zijdes voor beide modellen vastgesteld. De maxima in de verplaatsingsdiagrammen zijn van dezelfde grootteorde. Er wordt opgemerkt dat de piek in het theoretisch model vroeger valt dan in het praktijkmodel, dit kan te wijten zijn aan het verschil tussen de gemoduleerde wrijvingswaarde van het theoretisch model en de werkelijke wrijvingswaarde in het praktijkmodel. Na het betegelen stabiliseert de verticale bewegingen zich zowel in het theoretisch, als in het praktijkmodel. Bij geen van beide modellen keren de randen van de proefvloer terug naar hun oorspronkelijk niveau. Er wordt echter opgemerkt dat net na de betegeling een verschil in de bewegingswaarden tussen het theoretisch en het praktijkmodel is opgetreden. Bij het praktijkmodel wordt vastgesteld dat de proefvloer nog een lichte opwaartse beweging maakt. Volgens de theoretische modellen vindt er net na het betegelen een sterke daling plaats ten gevolge van het gewicht van de afwerkingslaag. Dit bewegingsverschil kan moeilijk worden verklaard.

6.2 Analyse van de horizontale vervormingen

6.2.1 De onderzoeksresultaten

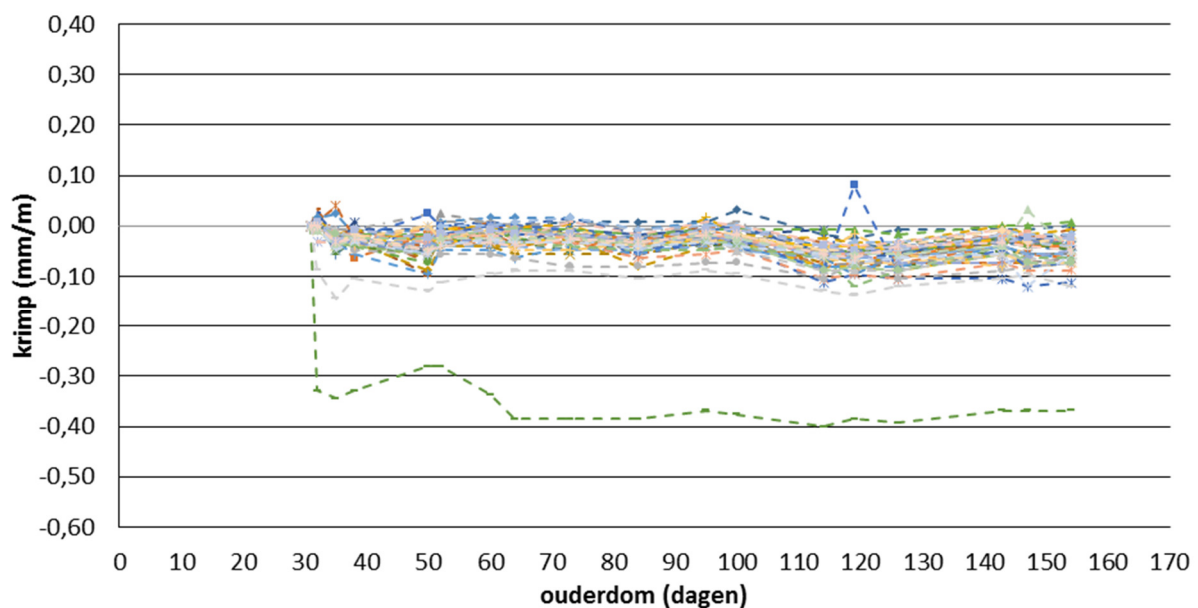
Naast de verticale vervormingsmetingen op de twee proefvloeren zijn ook de horizontale vervormingen opgemeten. De horizontale vervormingen zijn zowel bij de twee proefvloeren als bij een aantal kleine proefstukken geregistreerd. Bij de proefvloeren is het belangrijk de meetlocaties te kennen. Sommige meetbasissen zijn opgesteld op een tegel, andere meetbasissen zijn over een voeg gesitueerd. Op de grafieken zijn de meetbasissen die zich over een voeg bevinden gemarkeerd met een 'V' achter het volgnummer. Bij de eerste proefvloer, die na twee dagen is betegeld, zijn de horizontale vervormingsmetingen pas gestart na het betegelen. Bij de tweede proefvloer worden de metingen onmiddellijk na het plaatsen van de zandcementlaag aangevat. De figuur 47 geeft de horizontale vervormingen van proefvloer 1 weer. Uit de grafiek wordt afgeleid dat de horizontale vervormingen zeer beperkt blijven. Wanneer de meetbasissen MB 23 V en MB 36 V buiten beschouwing worden gelaten, wordt vastgesteld dat de grootste positieve vervorming gelijk is aan 0,032 mm/m en de grootste negatieve vervorming gelijk is aan -0,16 mm/m. Het verloop van de twee eerder vernoemde meetbasissen is sterk gelijkend op de overige metingen. Deze uitschieters zijn te wijten aan onnauwkeurige metingen ten gevolge van losgekomen meetpunten en het verkeerd aflezen van het Demec-toestel.

Er wordt opgemerkt dat de meetlocaties die volledig op een tegel gesitueerd zijn, de kleinste horizontale vervormingen vertonen.

De horizontale vervormingen van de tweede proefvloer worden op figuur 48 voorgesteld. De horizontale vervormingen bij proefvloer 2 vertonen een ander verloop, dan bij proefvloer 1. Gedurende de eerste 28 dagen kan de zandcementlaag vrij uitdrogen en schotelt de plaat. Hierdoor is de krimp veel groter. De

maximale horizontale krimp varieert in de eerste 28 dagen tussen de waarden -0,296 mm/m en -0,649 mm/m. De variatie tussen de meetbasissen is duidelijk groter bij de tweede proefvloer dan bij de eerste proefvloer. De grote variatie in de metingen houdt verband met de verticale vervormingen en het schotelen van de dekvloer. Uit de grafiek blijkt dat de kleinste vervormingen toe te schrijven zijn aan de meetbasissen in het midden van de proefvloer. Uit figuur 40 blijkt dat ook de kleinste verticale vervormingen in het midden zijn waargenomen. De grootste horizontale krimpvervormingen worden vastgesteld op de hoeken van de proefvloer. Opnieuw toont figuur 40 aan dat de grootste verticale vervormingen zich ook in de hoeken van de proefvloer bevinden.

Na het betegelen van de proefvloer 2 stabiliseren de krimpvervormingen zich. Het verder verloop van de krimp is gelijkend aan de horizontale vervormingen van proefvloer 1. Onderstaande figuur 106 geeft de krimpvervormingen weer van proefvloer 2, waarbij de eerste meting na het betegelen als referentiemeting wordt genomen. Het is duidelijk vast te stellen dat de krimp na het betegelen tussen dezelfde maxima varieert, als bij proefvloer 1. Er wordt hier ook opgemerkt, dat na het betegelen de meetbasissen die volledig op een tegel vallen minder horizontale krimpvervormingen vertonen, dan de meetbasissen die zich over een voeg situeren. Ter verduidelijking wordt figuur 106 uitvergroot in bijlage 3 bijgevoegd.

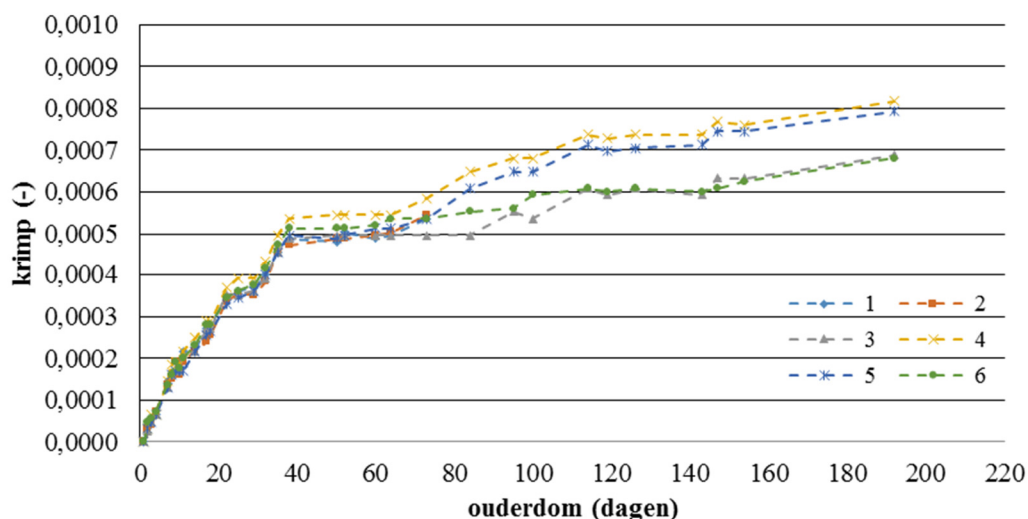


Figuur 106: Horizontale krimp proefvloer 2 na betegelen

Naast de twee proefvloeren is de krimp getest op verschillende kleine proefstukken of prisma's. De resultaten van de krimpmetingen worden weergegeven vanaf figuur 49 t.e.m. 54. De geteste proefstukken hebben de volgende afmetingen: prisma's van 16 cm x 4 cm x 4 cm, prisma's van 60 cm x 15 cm x 15 cm, platen van 50 cm x 50 cm x 6 cm, platen van 21 cm x 16,5 cm x 4 cm. Alle figuren vertonen sterk gelijklopende curves. De grootte van de krimpvervormingen neemt sterk af bij

een ouderdom van 38 dagen. De maximaal vastgestelde krimp is dan ongeveer gelijk aan $-0,750 \text{ mm/m}$. De meetresultaten in de figuren wijzen aan dat de grootte van de proefstukken geen invloed heeft op de maximale krimpvervormingen. De proefstukken met variërende afmetingen, maar met gelijke diktes hebben gelijke vervormingsresultaten. Ook de verdichtingsgraad van de verschillende proefstukken heeft geen invloed op de vervormingsresultaten. De prisma's zijn gemaakt door drie verschillende personen die elke hun eigen verdichtingsmethode hebben toegepast. Uit de resultaten is niet af te leiden welke proefstukken, door welke persoon zijn geproduceerd.

Het grootste verschil tussen de proefstukken zijn de maximale krimpresultaten die worden bereikt op verschillende tijdstippen bij een variërende dikte. Onderstaande figuur 107 geeft het krimpverloop weer van de prisma's met afmetingen $60 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$. Het verloop van de krimp is sterk gelijkend met de figuren 49 t.e.m. 54. Toch wordt opgemerkt dat de krimp meer geleidelijk verloopt bij de prisma's met grote dikte in plaats van de prisma's met kleine dikte. De oorzaak is te vinden bij het verschil in dikte van de proefstukken. Het vocht in het midden van de grote prisma's moet een grotere weg afleggen tot aan het vrij oppervlak dan het vocht in het midden van de kleine prisma's. Hierdoor verloopt de krimp bij de kleine prisma's sneller dan bij de grote prisma's. Bij het einde van de meetperiode wordt vastgesteld dat de krimp bij de grote proefstukken nog niet dezelfde grootte heeft als deze van de kleine proefstukken. Er wordt wel verwacht dat op langere termijn de krimpvervormingen van de grote en de kleine proefstukken even groot worden.



Figuur 107: Krimpvervorming bij prisma's $600 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ met 250 kg cement per m^3 zand

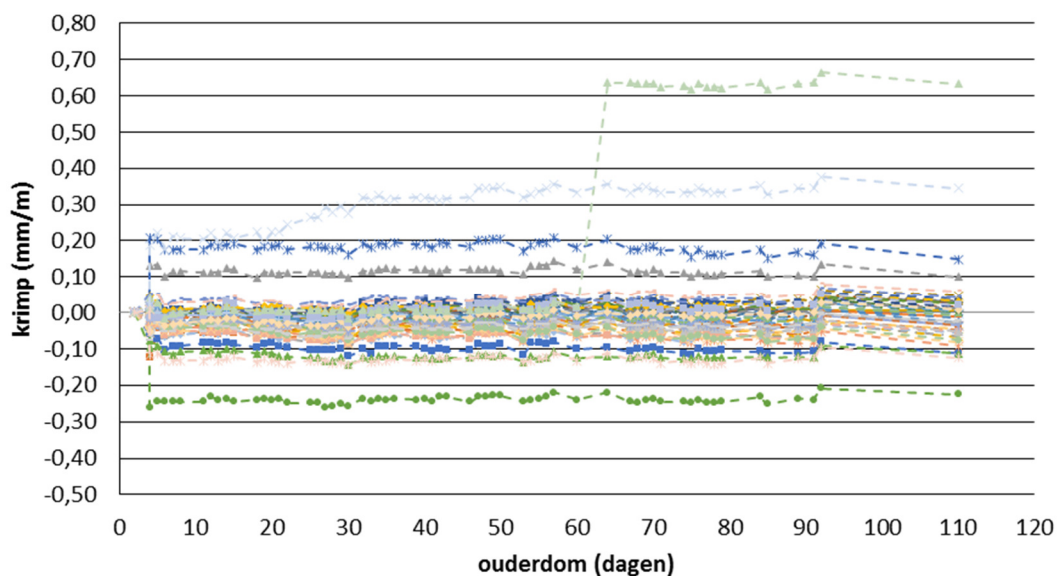
Bij het vergelijken van de meetresultaten van de hierboven beschreven proefstukken met de krimpvervormingen van de proefvloer 2, weergegeven in figuur 48, wordt vastgesteld dat beide proefopstellingen een vergelijkende krimp vertonen. Bij een ouderdom van 28 dagen is de horizontale krimp van de proefstukken en van de proefvloer 2 ongeveer gelijk aan $-0,600 \text{ mm/m}$.

Er dient wel opgemerkt te worden dat de krimp bij de kleine proefstukken dichter aanleunt bij de horizontale krimp, opgemeten in de hoeken van proefvloer 2. Na 28 dagen hebben echter de krimpvervormingen in het midden van proefvloer 2 slechts een vervormingswaarde van - 0,400 mm/m.

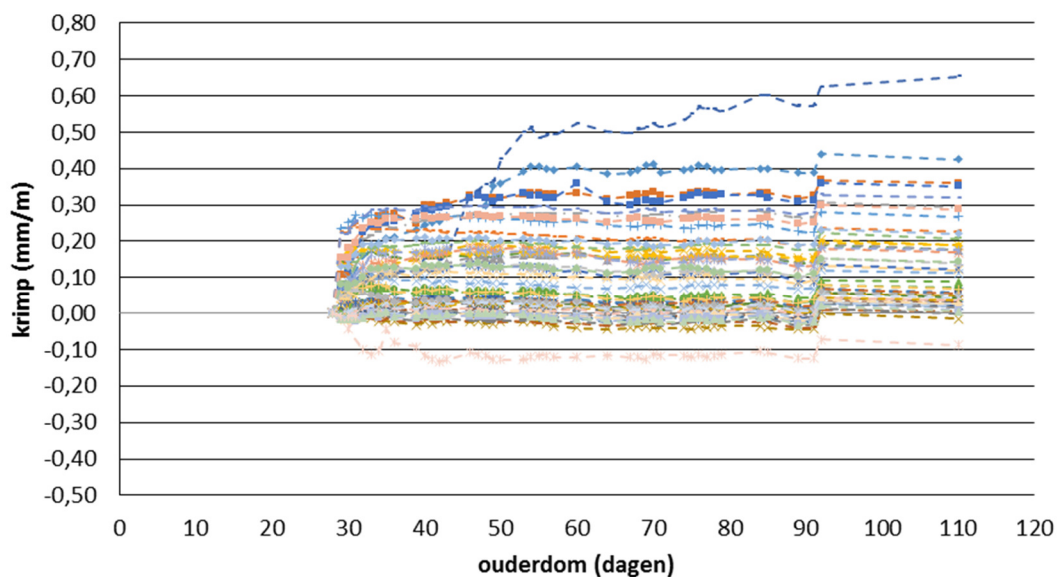
6.2.2 Resultaatvergelijking met eerder uitgevoerd onderzoek

- Resultaatvergelijking met de proefreeks van 2014-2015.

Bij de masterproef 2014-2015 uitgevoerd door Jens Lippens zijn naast de verticale vervormingen ook de horizontale vervormingen op de proefvloeren 1 en 2 geregistreerd. Onderstaande figuren 108 en 109 geven van dit onderzoek de horizontale krimpvervormingen weer. Beide figuren worden in bijlage 4 uitvergroot.



Figuur 108: Horizontale vervormingen proefvloer 1 (reeks 2014-2015)



Figuur 109: Horizontale vervormingen proefvloer 2 (reeks 2014-2015)

Er zijn enkel meetgegevens beschikbaar na het plaatsen van de tegels op de beide proefvloeren. Daarom is het niet mogelijk om de krimp tijdens het uisdrogen voor de betegeling te vergelijken. Bij proefvloer 1, die na twee dagen is betegeld, wordt vastgesteld dat de krimpvervormingen zich in dezelfde grootteorde bevinden. Dus de resultaten zijn zowel bij het vorig als bij het huidige onderzoek gelijklopend.

Bij proefvloer 2, die na 28 dagen is betegeld, zijn de meetresultaten bij beide onderzoeken verschillend. Bij het onderzoek 2014-2015 wordt vastgesteld dat de proefvloer uitzet na betegelen in plaats van te krimpen. Figuur 106 toont aan dat de resultaten van het huidige onderzoek dit tegenspreken. Het lijkt onwaarschijnlijk dat de omkaderde proefvloer zal uitzetten. Doordat de meetresultaten voor de horizontale krimp totaal verschillend zijn, is het niet mogelijk beide onderzoeken te evalueren.

- Invloed van het cementgehalte op de krimp.

In paragraaf 2.3.3 is besproken dat de krimpvervormingen onder andere afhankelijk zijn van de hoeveelheid cementgehalte per m³ zand. Bovenstaande figuur 107 wordt vergeleken met figuur 13 uit de literatuurstudie. Uit figuur 13 blijkt dat bij een cementhoeveelheid van 250 kg/m³ zand, dezelfde hoeveelheid als in de proefvloeren, de krimpvervormingen stabiliseren tussen de 50 en 100 dagen tot een maximale krimp van 0,6 mm/m. De krimpvervormingen die in figuur 107 worden vastgesteld op de proefstukken met 250 kg cement per m³ zand, zijn groter dan de waarden uit figuur 13. In figuur 107 wordt een maximale krimp bereikt van 0,8 mm/m en zijn de krimpvervormingen nog niet volledig gestabiliseerd bij het einde van het onderzoek. Tot slot wordt vastgesteld dat de krimp bij de proefstukken in het eerder uitgevoerd onderzoek sneller verloopt dan bij het huidige onderzoek.

De vermoedelijke oorzaak voor deze verschillen kan te wijten zijn aan de W/C-factor. De W/C-factor heeft een belangrijke invloed op de krimp. Hoe groter de W/C-factor, hoe groter de krimpvervormingen zijn. De W/C-factor van het huidige onderzoek is niet gekend. De W/C-factor van de zandcement-samenstellingen uitgevoerd in het kader van het Tetra-project “Geïsoleerde binnenvloeren” bedraagt 0,6. Uitgaande van de proefresultaten is het vermoeden dat de W/C-factor in het huidige project groter is dan 0,6. Dit kan het verschil in krimp verklaren.

6.3 Analyse van de bepalende factoren van de cementgebonden dekvloer voor betegelen.

De bepaling van het tijdstip waarop de zandcementlaag voldoende is uitgedroogd om te betegelen, is niet gemakkelijk vast te leggen. Daarom zijn er een aantal proeven ontwikkeld, die de bepalende factoren kunnen opmeten en controleren op de werf. Deze meetresultaten genomen op de werf worden daarna met de voorwaarden uit de normen vergeleken. Hieronder worden de resultaten van de uitgevoerde werfproeven geanalyseerd met de desbetreffende normwaarden.

6.3.1 Vochtgehalte.

De uitgevoerde vochtmetingen zijn terug te vinden in tabel 7, 8 en 9. Tabel 7 en 8 geven de resultaten van de carbideflesmeting weer en tabel 9 de resultaten van de droogovenproef. Uit tabel 7 wordt afgeleid dat de proefvloer 1 is betegeld met een vochtgehalte van 2,75 m% in de zandcementlaag. De proefvloer 2 is na 28 dagen betegeld met een vochtgehalte van 1,50 m% in de zandcementlaag. De meetresultaten zijn telkens de gemiddelde waarden die bekomen zijn na het uitvoeren van een carbideflesmeting. De carbideflesmeting wordt aanzien als de meest nauwkeurige meetmethode.

Onderstaande tabel 46 uit de technische voorlichting 189 geeft de toelaatbare vochtgehaltes weer, die de zandcementlaag mag bevatten voor verschillende vloerafwerkingen.

Tabel 46: Toelaatbare vochtgehaltes volgens carbideflesmethode, TV 189 [36]

Maximaal toelaatbaar massavochtgehalte, gemeten met carbidefles [m%]		
	Cement	Anhydriet
Dampdichte elastische bekleding		
- zonder vloerverwarming	2,0	0,5
- met vloerverwarming	1,8	0,3
Dampdichte harde bekleding (vb keramische tegels)	2,5	0,5
Dampopen, vochtgevoelige afwerklaag	2,5	1
Niet-vochtgevoelige afwerklaag	5,0	-
Houten vloerbedekkingen		
- zonder vloerverwarming	2,5	0,6
- met vloerverwarming	2,0	0,6

De proefvloeren zijn betegeld met keramische tegels, dus met een dampdichte harde bekleding. In bovenstaande tabel 46 wordt afgelezen dat het maximaal toelaatbaar vochtgehalte voor een dampdichte harde bekleding geplaatst op cementgebonden ondergrond 2,5 m% is. Hieruit wordt besloten dat de eerste proefvloer, met betegeling op 2 dagen, niet voldoet en de tweede proefvloer, met betegeling op 28 dagen, wel voldoet aan de vooropgestelde eis. Dus enkel uitgaande van de vochtgehaltewaarden werd de eerste proefvloer te vroeg betegeld.

6.3.2 Oppervlaktehechting

De oppervlaktehechting wordt enkel bij de tweede proefvloer, die op 28 dagen is betegeld, succesvol bepaald. De resultaten van de cohesieproef zijn terug te vinden in tabel 10. De gemiddelde hechtsterkte verkregen uit zes cohesieproeven, uitgevoerd op willekeurige plaatsen op de proefvloer, is gelijk aan 1,32 N/mm².

Onderstaande tabel 47 uit de norm NBN EN 13813 geeft de verschillende hechtsterkteklassen weer. Aan de hand van deze tabel kan de hechtsterkteklasse worden bepaald. De hechtsterkte van de tweede proefvloer wordt tussen de klassen B1,0 en B1,5 gesitueerd. Voor keramische tegels bestaan er geen vaste criteria rond de hechtsterkte. Toch wordt er besloten dat de hechtsterkte voldoende groot is na 28 dagen. Voor andere afwerkingstypes zoals hout of soepele vloerbekleding voldoet de hechtsterkte ruimschoots.

Tabel 47: Hechtsterkteklassen volgens NBN EN 13813 [19]

Klasse	B0,2	B0,5	B1,0	B1,5	B2,0
Hechtsterkte (N/mm²)	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0

6.3.3 Ponsweerstand

De ponsproef is een eenvoudig uit te voeren werfproef. Tabel 12 geeft de gemiddelde waarden van de ponsproeven, uitgevoerd op de eerste en de tweede proefvloer net voor het betegelen, weer. In tabel 11 worden de maximale waarden vermeld volgens de technische voorlichting 189. Volgens deze tabel is de toelaatbare gemiddelde indrukking kleiner of gelijk aan 3,00 mm en de toelaatbare maximale indrukking kleiner of gelijk aan 5,00 mm.

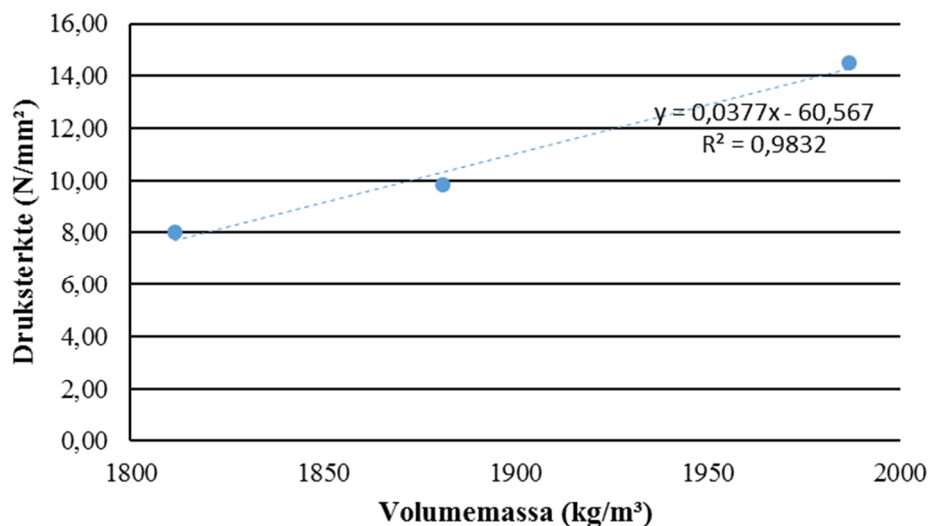
Aan de hand van tabel 12 wordt vastgesteld dat de gemiddelde indrukingswaarde voor de eerste proefvloer gelijk is aan 3,70 mm met een maximale indrukingswaarde van 7,50 mm. Voor de tweede proefvloer is de gemiddelde indrukingswaarde gelijk aan 1,00 mm met een maximale indrukingswaarde van 1,50 mm. Hieruit blijkt dat proefvloer 1 aan geen van beide criteria voldoet en dat proefvloer 2 ruimschoots onder de toelaatbare waarden blijft.

6.4 Invloed van de verdichting op de druksterkte en buigtreksterkte

Zoals besproken in de literatuurstudie is de verdichtingsgraad van een zandcementsamenstelling zeer belangrijk voor de uiteindelijke bepaling van de druk- en buigtreksterkte. Aangezien bij het maken van de proefstukken de mallen met zandcement door verschillende personen worden opgevuld, is er dus sprake van een verschil in verdichting tussen de proefstukken. Voor het verdichten van zandcement is geen standaardmethode vastgelegd. Het verschil in verdichten is duidelijk te zien aan de variaties van de volumemassa's van de proefstukken.

Toch speelt de wijze van verdichten een rol in de bekomen waarden van druk- en buigtreksterkte. Proefstukken die verticaal laagsgewijs, horizontaal laagsgewijs of trapsgewijs zijn aangemaakt, zijn steeds in verschillende verdichtingsgraden opgebouwd. Zelfs al worden alle proefstukken door dezelfde persoon vervaardigd, een perfect gelijke verdichting is niet realiseerbaar.

Logischerwijs is de volumemassa sterk afhankelijk van de verdichtingswijze. Een hard verdicht proefstuk zal een grotere volumemassa hebben dan een zacht verdicht proefstuk. Indien het verband tussen de volumemassa en de druksterkte op 28 dagen wordt onderzocht, kunnen de druksterktes van alle proefstukken erbij worden gehaald. Er is echter een belangrijke reden om dit niet te doen. Dit zal een vertekend beeld geven aangezien op jonge ouderdom de proefstukken een volumemassaverlies ondergaan dat volledig tenietgedaan wordt door de toename aan sterkte door de verder geëvolueerde hydratatie. Deze hydratatie verloopt niet evenredig met de afname aan volumemassa, waardoor verkeerdelijk wordt geconcludeerd dat afname van gewicht een toename van sterkte zal veroorzaken. Hierdoor zal het verband tussen de volumemassa en de druksterkte op proefstukken van dezelfde ouderdom worden bekeken. Er wordt gekozen voor proefstukken op ouderdom van 28 dagen, omdat dat de meest voorkomende ouderdom bij sterktebepalingen is in de vergelijkende studies. In figuur 110 zijn de verschillende waarden van het volumemassa/druksterkte-diagram te zien.



Figuur 110: Druksterkte van kubussen met ouderdom van 28 dagen in functie van de volumemassa's

Met behulp van Excel wordt voor deze resultaten een lineaire trendlijn getrokken. De vergelijking met haar R^2 -waarde is hieronder weergegeven.

$$f_{ccub}(28) = 0,0377 \cdot \rho - 60,567 \quad (R^2 = 0,9832) \quad (12)$$

Met $f_{ccub}(28)$ = kubusdruksterkte van kubussen op 28 dagen ouderdom [N/mm²] ;

ρ = de volumemassa [kg/m³].

De R^2 -waarde geeft een beeld van de nauwkeurigheid van de formule. Hoe dichter deze waarde aanleunt bij de waarde 1, hoe correcter de curve de resultaten weergeeft. Aangezien een R^2 -waarde van ongeveer

1 wordt bereikt, duidt dit op een zeer goede benadering van de trendlijn. Op basis van deze resultaten wordt vastgesteld, dat er wel degelijk een verband bestaat tussen de volumemassa en de druksterkte.

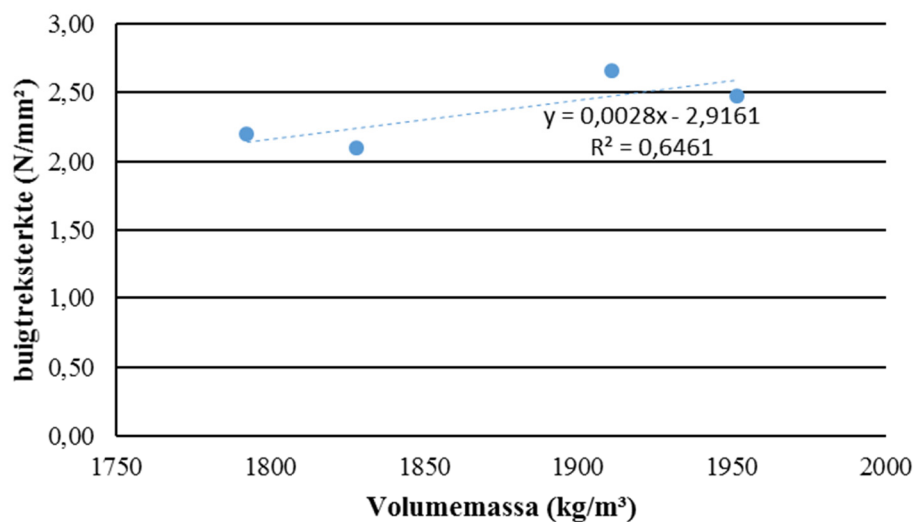
Op exact dezelfde manier wordt het verband tussen de buigtreksterkte en de volumemassa van de proefstukken met een ouderdom van 28 dagen nagegaan. In figuur 111 zijn de verschillende waarden van het volumemassa/buigtreksterkte-diagram genoteerd. Via Excel wordt terug voor deze resultaten een lineaire trendlijn getrokken.

De vergelijking met haar R^2 -waarde is hieronder weergegeven.

$$f_c(28) = 0,0028 \cdot \rho - 2,9161 \quad (R^2 = 0,6461) \quad (13)$$

Met $f_c(28)$ = buigtreksterkte van prisma's op 28 dagen ouderdom [N/mm²] ;

ρ = de volumemassa [kg/m³].



Figuur 111: Buigtreksterkte van prisma's met een ouderdom van 28 dagen in functie van de volumemassa's

Zoals af te lezen op de figuren 110 en 111 is de helling van de trendlijn voor de buigtreksterkte een stuk minder steil dan de trendlijn voor de druksterkte. De berekende R^2 -waarde is maar 0,65 in plaats van 0,98 bij de druksterkte. Hieruit wordt besloten dat de volumemassa van de zandcementsamenstelling wel degelijk een invloed heeft op de buigtreksterkte, maar dat deze invloed veel lager is dan voor de druksterktes. De buigtreksterkte is dus nog afhankelijk van andere factoren.

Voor de verschillende proefstukken is de trend van het druksterkte- en buigtreksterkteverloop in functie van de tijd vergelijkbaar met de trend van het druksterkteverloop bij beton. De druksterkte neemt toe in functie van de tijd door de hydratatie van het cement. De sterkte-toename per tijdseenheid is het grootst op jonge ouderdom. De druksterktes van zandcement zijn wel beduidend lager dan deze van beton. Op de figuren 74, 77 en 78 is zowel voor de druksterkte als de buigtreksterkte een verzwakking te zien na 14 dagen.

Normaal gezien stijgt de druksterkte en de buigtreksterkte van een cementgebonden materiaal met de tijd door het verder hydrateren van het cement. Deze verzwakking kan echter te wijten zijn aan de grote spreiding van de resultaten bij de zandcementsamenstelling. Dit is te zien aan de grote standaardafwijking op 28 dagen.

6.5 Invloed van de ouderdom op de druksterkte

De evolutie van de druksterkte is afhankelijk van het cementtype en van de omgevingstemperatuur gedurende de verharding. Op basis van proefresultaten genomen over verschillende jaren kan de druksterkte worden bepaald voor een ouderdom, verschillend van deze waarop de drukproeven werden uitgevoerd. De resultaten op basis van deze berekeningswijze zijn slechts indicatieve waarden.

Het verband tussen de druksterkte op een tijdstip t en de leeftijd op 28 dagen wordt gegeven door de volgende formule afkomstig van NBN B15-002:1999.

$$f_{cm}(t) = f_{cm} \cdot \beta_{cc}(t) \quad (14)$$

Waarin:

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t/t_1} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (15)$$

Met β_{cc} = experimenteel bepaalde ouderdomscoëfficiënt;

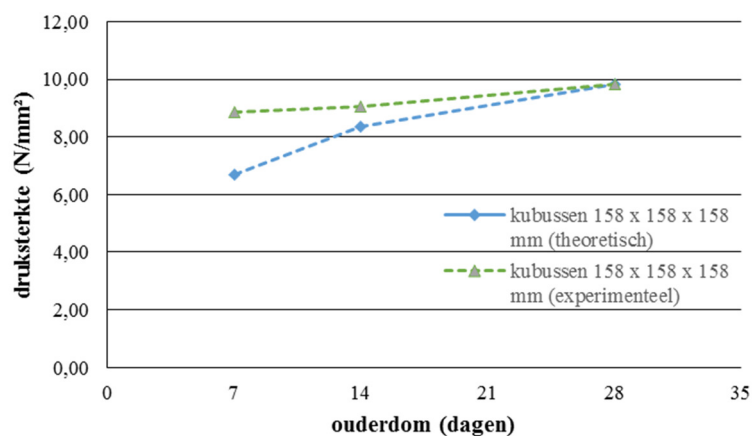
$f_{cm}(t)$ = de gemiddelde druksterkte op het tijdstip t [N/mm²];

f_{cm} = de gemiddelde druksterkte op 28 dagen ouderdom [N/mm²];

t = de ouderdom van het mengsel in dagen [-];

t_1 = 1 dag;

s = een coëfficiënt in functie van het cementtype [-].



Figuur 112: Experimentele tegenover theoretische druksterktes met ouderdomscoëfficiënt voor het gebruikte cementtype

De druksterkte van de kubussen, op 28 dagen ouderdom, zijn bepaald door middel van de drukproef. In dit onderzoek is het cementtype CEM III/A 32,5 gebruikt, waar de coëfficiënt 's' een waarde van 0,38 krijgt toegekend. De experimentele druksterktes worden bepaald op verschillende ouderdommen. Uit figuur 112 wordt afgeleid dat de experimentele sterktes hoger liggen dan de theoretische sterktes. Dit wil dus zeggen dat de proefstukken goed verdicht zijn.

6.6 Vormfactoren

Omdat zowel voor de druksterkte als voor de buigtreksterkte de proefstukken uitgevoerd zijn in verschillende afmetingen, wordt nagegaan welke vormfactoren van toepassing zijn op de zandcementsamenstelling.

6.6.1 Druksterkte

De druksterkte kan sterk verschillen naargelang de vorm en de afmetingen van de proefstukken. Om de sterkte te bepalen van de proefstukken, die niet noodzakelijk de referentieproefstukken zijn, worden de bekomen resultaten vermenigvuldigd met een coëfficiënt bekomen uit experimenteel onderzoek van een groot aantal proefmetingen [6]. Ook de kwaliteit van het mengsel kan hieruit afgeleid worden. De formule welke met een toelaatbare benadering kan worden gebruikt om het verband te leggen tussen de weerstand f_{cx} , bekomen op een proefstuk met hoogte h (in cm) en met doorsnede S (in cm²) enerzijds, en de overeenstemmende weerstand $f_{c,cub150}$ bekomen op een kubusvormig proefstuk met een riblengte van 150 mm anderzijds, is:

$$\frac{f_{cx}}{f_{c,cub150}} = 0,62 + \frac{0,67}{\left(1 + \frac{\sqrt{S}}{20}\right) \cdot \left(\frac{h}{\sqrt{S}}\right)^{1,05}} \quad (16)$$

Met f_{cx} = de druksterkte van een proefstuk met hoogte h en oppervlakte A [N/mm²];

$f_{c,cub150}$ = de druksterkte van een proefstuk met ribben 150 mm [N/mm²];

h = hoogte van het proefstuk [cm];

S = doorsnede van het proefstuk loodrecht op de drukrichting [cm²].

Voor het bepalen van de druksterkte zijn er kubussen vervaardigd met ribben 50 mm, 100 mm, 150 mm en 158 mm en cilinders met diameter 50 mm en 150 mm en hoogte 30 mm en 300 mm.

Tabel 48: Vormfactoren voor druksterkte in functie van de ouderdom

Ouderdom [dagen]	$f_{ccub158}/f_{ccub100}$	$f_{ccub158}/f_{ccub40}$	$f_{ccub158}/f_{ccub50}$	$f_{ccub158}/f_{ccil50}$
7	1,20	1,04	-	-
14	0,96	0,98	-	-
28	1,23	0,97	1,04	1,31
Gemiddelde	1,13	1,00	1,04	1,31

Ouderdom [dagen]	$f_{ccub158}/f_{ccil150}$	f_{ccub40}/f_{ccil50}	f_{ccub50}/f_{ccil50}	$f_{ccil150}/f_{ccil50}$
7	-	-	-	-
14	-	-	-	-
28	1,02	1,34	1,25	1,28
Gemiddelde	1,02	1,34	1,25	1,28

In tabel 48 zijn de verschillende vormfactoren van de proefstukken op verschillende ouderdommen weergegeven. De waarden per ouderdom zijn bepaald als het gemiddelde van de verhouding voor alle proefstukken. De spreiding op deze waarde is uiteraard zeer groot, maar dat is eigen aan de vormfactoren. Ook voor beton is er een redelijke spreiding aanwezig en dit zelfs met veel grotere proefreeksen.

Tabel 49 toont zowel de hierboven experimenteel bepaalde gemiddelden als de vormfactoren die voortkomen uit de empirische formule die voor beton werd opgesteld. Er wordt van uitgegaan dat deze formule geldig is voor proefstukken van elke ouderdom, zodat de vergelijking kan worden gemaakt voor een groter aantal resultaten.

Tabel 49: Vergelijking tussen experimenteel bepaalde en theoretische (voor beton) vormfactoren

	$f_{ccub158}/f_{ccub100}$	$f_{ccub158}/f_{ccub40}$	$f_{ccub158}/f_{ccub50}$	$f_{ccub158}/f_{ccil50}$
Experimenteel	1,13	1,00	1,04	1,31
Theoretisch	0,93	0,84	0,77	0,69

	$f_{ccub158}/f_{ccil150}$	f_{ccub40}/f_{ccil50}	f_{ccub50}/f_{ccil50}	$f_{ccil150}/f_{ccil50}$
Experimenteel	1,02	1,34	1,25	1,28
Theoretisch	1,26	0,82	0,90	0,55

Voor de proefstukken die op drie verschillende tijdstippen zijn gedrukt, wordt vastgesteld dat de vormfactoren vrij dicht bij elkaar zijn gelegen. Dit besluit wordt genomen rekening houdend met de grote spreiding steeds aanwezig bij vormfactoren en de zeer beperkte omvang van de uitgevoerde proeven in dit onderzoek. Naarmate het aantal proeven uitgevoerd op de verschillende proefstukken daalt, wordt het verschil tussen de theoretische en experimentele waarden steeds groter. Uit de theoretische formule wordt afgeleid dat de druksterkte groter is voor een proefstuk met kleinere

afmetingen, terwijl de experimentele vormfactoren juist het tegenovergestelde beweren. De vermoedelijke oorzaken liggen bij de formule van de theoretische vormfactoren, die opgesteld is voor beton en niet voor een zandcementsamenstelling of bij de grote spreiding van de druksterkteresultaten.

6.6.2 Buigtreksterkte

De driepuntsbuigproef wordt uitgevoerd op kleine en grote prisma's met respectievelijke afmetingen van 160 mm x 40 mm x 40 mm en 600 mm x 150 mm x 150 mm. De buigtreksterktes van de kleine prisma's zijn, zoals verwacht, groter dan deze van de grote prisma's. Dit is te wijten aan het feit dat de kans op een zwakke zone in het proefstuk verhoogt, als het volume van de proefstukken toeneemt. Ook bij de druksterktes wordt deze eigenschap van het "size effect" duidelijk weergegeven.

Tabel 50: Vormfactoren voor buigtreksterkte in functie van de ouderdom

Ouderdom [dagen]	$f_{\text{buig160}}/f_{\text{buig600}}$
7	-
14	-
28	1,80
Gemiddelde	1,80

De onderste vezels van het prisma, die onderworpen wordt aan een driepuntsbuiging, worden gesteund door de bovenliggende vezels. Een kleine hoogte van het proefstuk bevordert meer de sterkte dan een grotere hoogte. Een specifieke formule voor zandcementsamenstellingen, die een theoretische waarde ter vergelijking berekent, in functie van de vormfactoren en de buigtreksterkte, is niet voorhanden. Onderstaande formule is bepaald voor betonnen proefstukken, voor een vier- in plaats van driepuntsbuigproef en is slechts geldig als de hoogte h minstens 50 mm bedraagt. Omdat in dit onderzoek deze formule enkel wordt gebruikt ter bepaling van een richtwaarde, wordt rekening houdend met bovenstaande bezwaren, deze formule toch toegepast. De formule is geldig voor elke ouderdom.

$$f_{ct} = f_{ctfl} \frac{1,5 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^{0,7}}{1 + 1,5 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^{0,7}} \quad (17)$$

Met f_{ct} = de treksterkte [N/mm²];

f_{ctfl} = de buigtreksterkte [N/mm²];

h en h_0 = respectievelijk de werkelijke hoogte en referentiewaarde 100 mm [mm].

Door wegdeling van de waarde f_{ct} wordt de verhouding van f_{ctfl} voor prisma's met hoogtes 40 mm en 150 mm bepaald en wordt de theoretische vormfactor verkregen.

$$\frac{f_{bui g160}}{f_{bui g600}} = 1,51 \quad (18)$$

Deze waarde komt in de buurt van de experimentele waarde volgens tabel 50. In tegenstelling tot bij de druksterktes is het kleinere proefstuk sterker dan het grotere proefstuk.

6.7 Vervormingsweerstand van de proefvloeren bij belasting

Volgens de figuren 82 t.e.m. 93 wordt de zakking steeds groter naarmate dichter bij het invloedscentrum van de belasting wordt gekomen. Bij de kleine tegels is zelfs een stijging van de vloer waar te nemen. De oorzaak hiervan kan de hechting van de tegels zijn, die niet uniform is over het gehele tegeloppervlak, waardoor de tegel oplift. Bij beide dekvloeren is geen enkel kruipgedrag waar te nemen, omdat de belasting waarschijnlijk niet groot genoeg is. Volgens de juiste proefmethode moet de vloer met 600 kg worden belast. Omdat de juiste belastingschijven niet beschikbaar zijn in het laboratorium, wordt een alternatief voorzien met een totale last van 330 kg in plaats van 600 kg. Nadat de belasting is weggenomen, keert de vloer niet onmiddellijk terug naar zijn oorspronkelijke positie. Dit is niet ongevoel en kan te wijten zijn aan het type isolatie gebruikt onder de dekvloer.

Bij vergelijking van de grootte van de zakkingen, wordt vastgesteld dat de zakkingen bij proefvloer 1 een stuk kleiner zijn dan de zakkingen bij proefvloer 2. Nochtans heeft de tweede proefvloer 28 dagen de tijd gehad om uit te harden en de eerste proefvloer slechts twee dagen. Dit kan te wijten zijn aan een te snelle uitdroging van de tweede dekvloer. De omgevingstemperatuur, tijdens het storten van de zandcementlaag van de proefvloeren, was relatief hoog en de luchtvochtigheid laag. Tevens stond in deze periode de poort van het laboratorium bijna de hele dag open waardoor de wind een tocht creëerde. Deze omgevingsfactoren zijn nadelig voor de sterkteontwikkeling van de dekvloer. Door de verdamping blijft er onvoldoende aanmaakwater over om de chemische reactie tussen het water en het cement gunstig verder te laten verlopen. Met als gevolg dat noch de verharding, noch de sterkteontwikkeling van proefvloer 2, optimaal evolueert.

Doordat bij de eerste proefvloer, die reeds na twee dagen is betegeld, de tegels voor een bescherming van het oppervlak zorgen valt de hydratatiereactie in de dekvloer niet stil. Dit wordt bevestigd door de druksterkteresultaten van de proefstukken, genomen uit de dekvloer tijdens de afbraak. De tabellen 38 en 43 geven de sterktes weer van beide dekvloeren. Zoals af te lezen uit deze tabellen zijn de buigtrekspanningen en druksterktes veel hoger bij proefvloer 1 dan bij proefvloer 2.

De belastingsproeven op de proefvloeren zijn op een korte termijn uitgevoerd. Belangrijke kruipvervormingen op lange termijn worden in deze proeven dus niet onderzocht. Bovendien worden de vloeren maar eenmaal vrij langzaam statisch belast, waardoor er geen metingen beschikbaar zijn over

periodieke proefbelastingen. Dergelijke lasten kunnen vermoedelijk leiden tot bezwijking met lagere lastwaarden. Bovendien dient de aanvaardbaarheid van verticale verplaatsingen van meerdere millimeters in vraag gesteld te worden. Bij te hoge verticale zakkingen is de vervorming waarschijnlijk niet meer volledig omkeerbaar en dus niet aanvaardbaar, waardoor bepaalde vloerlagen in de dekvloer hun functie niet meer kunnen vervullen. De met lucht of gas gevulde poriën, die zorgen voor de isolerende functie, van de isolatielaag kunnen gedeeltelijk of volledig dichtgedrukt zijn bij dergelijke vervormingen. Hierdoor gaat de isolerende functie van de isolatie in belangrijke mate verloren. [7]

Hoofdstuk 7 Aanbevelingen omtrent het plaatsingstijdstip van de afwerkingslaag

In dit onderzoek wordt hoofdzakelijk het krimpgedrag van zwevende cementgebonden dekvloeren behandeld. Vanuit dit oogpunt kunnen een aantal aanbevelingen gedaan worden omtrent het plaatsingstijdstip van de afwerkingslaag op de dekvloer. De testen werden uitgevoerd op twee proefvloeren, die op verschillende tijdstippen werden betegeld. De eerste proefvloer is na twee dagen en de tweede proefvloer na 28 dagen betegeld.

Gedurende de eerste periode na het plaatsen van de zandcementlaag zal er krimp optreden. Deze krimp wordt uitdrogingskrimp genoemd. De uitdrogingskrimp vertegenwoordigt het grootste deel in de totale krimp van de aangebrachte cementgebonden dekvloer. De belangrijkste vervormingen ten gevolge van de uitdroging zullen plaatsvinden voor het leggen van de afwerkingslaag. Wanneer de afwerkingslaag te vroeg wordt geplaatst, ontstaan er inwendige krimpspanningen in de dekvloer en de afwerkingslaag. Deze spanningen kunnen leiden tot schadegevallen, zoals scheurvorming in de dekvloer en in de afwerkingslaag of zoals het volledig loskomen van de vloertegels op de dekvloer. Volgens dit onderzoek wordt aanbevolen om bij normale klimaatomstandigheden, minimaal 28 dagen te wachten vooraleer de zandcementlaag te betegelen. Figuur 41 toont immers aan, dat na 28 dagen de krimpvervormingen sterk afnemen, wat erop wijst dat de zandcementlaag voldoende is uitgedroogd.

Op de werf is het niet mogelijk om de krimpvervormingen van de zandcementlaag juist op te meten. Er bestaan wel verschillende werfproeven die een goede indicatie kunnen geven over de toestand van de dekvloer. Alvorens de proefvloeren te betegelen zijn een aantal van deze werfproeven uitgevoerd, namelijk de ponsproef, de cohesieproef, de krasproef en de vochtgehaltemeting met de carbideflës. Uit de proefresultaten blijkt, dat voor de proefvloer die na twee dagen is betegeld, de toelaatbare normwaarden niet zijn gehaald. Voor de proefvloer die na 28 dagen is betegeld, worden de normwaarden wel ruimschoots behaald. Hiermee wordt nogmaals de aanbeveling om minimaal 28 dagen te wachten voor het betegelen van een cementgebonden dekvloer bevestigd.

Hoofdstuk 8 Conclusie

In dit onderzoek is er dieper ingegaan op het gedrag van de zwevende cementgebonden dekvloeren. Hiervoor zijn er verschillende proeven uitgevoerd op proefstukken die de karakteristieke eigenschappen van de zandcementlaag bepalen. Daarnaast zijn de horizontale en verticale vervormingen opgemeten bij twee proefvloeren van vier meter op vier meter. Deze vervormingen geven een beeld over de mogelijke bewegingen die een cementgebonden dekvloer doorheen de tijd kan ondergaan.

De twee proefvloeren zijn op verschillende tijdstippen betegeld. De eerste vloer is na twee dagen en de tweede vloer na 28 dagen aangelegd. Uit de vervormingsresultaten blijkt dat de eerste proefvloer weinig vervormingen vertoont zowel horizontaal als verticaal. Dit is het gevolg van een sterk verhinderde uitdroging door de betegelde afwerkingslaag. Bij de tweede proefvloer zijn er wel grote vervormingen vastgesteld. De grootste vervormingen vinden plaats ter hoogte van de hoeken van de proefvloer. Deze vervormingen zijn het gevolg van een langere uitdroging van de zandcementlaag zonder betegeling. Na het betegelen van de tweede vloer wordt vastgesteld dat de verticale en de horizontale vervormingen weinig veranderingen vertonen over een lange periode.

Voorafgaand aan de betegeling worden zowel bij de eerste als de tweede proefvloer verschillende werfproeven uitgevoerd om de staat van de zandcementlaag te evalueren, zoals de bepaling van het vochtgehalte, de oppervlaktehardheid en de hechtsterkte van de dekvloer. Uit de meetresultaten van de eerste proefvloer blijkt dat alle resultaten niet voldoen aan de toelaatbare eisen van de normen. Voor de tweede proefvloer behalen de metingen wel ruimschoots alle minimumwaarden volgens de gestelde normen. Hieruit wordt besloten dat de zandcementlaag van de eerste proefvloer nog niet voldoende is uitgehard voor het betegelen. Het is daarom niet aan te raden een cementgebonden dekvloer na twee dagen te betegelen. Voor de tweede proefvloer wordt vastgesteld dat de zandcementlaag klaar is om betegeld en belast te worden.

Naast de twee proefvloeren worden er meerdere kleine proefstukken vervaardigd om de horizontale vervormingen te vergelijken met de meetresultaten van de proefvloeren. Hieruit blijkt dat de vervormingen niet afhankelijk zijn van het type proefstuk. Zowel de grote als de kleine proefstukken vertonen een gelijkaardig vervormingspatroon. Gedurende de hele proefperiode werd vastgesteld dat de zandcementsamenstelling naar een krimp evolueerde van 0,9 mm/m. Ook de verdichtingsmethode geeft geen invloed op de krimpvervormingen. Er zijn geen verschillen vast te stellen tussen de proefstukken met dezelfde afmetingen, die op verschillende wijzen zijn verdicht.

Naast de vervormingsmetingen wordt er onderzoek uitgevoerd naar het sterktegedrag van de proefvloeren. Hiervoor zijn op verschillende tijdstippen proefstukken getest op druk en buiging en is er een belastingsproef uitgevoerd op de twee proefvloeren.

Uit onderzoek blijkt dat voor de druksterkte de volumemassa een belangrijke factor voor de zandcementsamenstelling is. Hoe hoger de volumemassa is, hoe meer drukbelasting op het proefstuk kan worden uitgevoerd. Hieruit resulteert dat de verdichtingswijze van het proefstuk van essentieel belang is. Hoe beter het proefstuk wordt verdicht, hoe groter de volumemassa en hoe groter de opneembare kracht wordt.

Bij de buigtreksterkte wordt een ander resultaat bereikt. Hier wordt vastgesteld dat de verdichtingswijze van het proefstuk geen essentiële invloed heeft op de buigtreksterkte. De grootte van het proefstuk speelt bij de bepaling van de buigtreksterkte wel een belangrijke rol. Hoe kleiner het proefstuk, hoe groter de opneembare buigkrachten worden.

Voor de belastingproeven worden de twee proefvloeren in de hoeken belast met gewichten tot 330 kg. Hieruit blijkt dat deze puntbelasting doorheen de proefvloer wordt doorgegeven en verticale vervormingen creëert tot op een afstand van 1 m van het belaste oppervlak. Verder wordt afgeleid uit de metingen dat er weinig tot geen kruip optreedt bij een belasting tot 330 kg. Er wordt ook vastgesteld dat de eerste proefvloer minder vervorming vertoont onder belasting, dan de tweede proefvloer. Dit verschijnsel kan niet verklaard worden aan de hand van de onderzoeksgegevens. Het vermoeden bestaat dat de eerste proefvloer sterker is gevormd, door de aanwezigheid van een hoger vochtgehalte in de zandcementlaag. Hierdoor heeft het hydratatieproces zich optimaler kunnen ontwikkelen in de eerste proefvloer dan in de tweede proefvloer.

Tot slot is er aan de hand van het onderzoek een aanbeveling gedaan in het kader van het plaatsingstijdstip van de afwerkingslaag. Uit het onderzoek blijkt dat het aangeraden is om minimaal 28 dagen te wachten voor het plaatsen van de afwerkingslaag. Na 28 dagen heeft de dekvloer voldoende tijd gekregen om uit te drogen en hebben de belangrijkste krimpvervormingen plaats gevonden.

Referentielijst

1. **Ambroise, J., Georgin, J.F., Péra, J. & Le Bihan, T. (2010).** Early-age behavior of materials with a cement matrix. *Cement and Concrete Research*, 40, pp 997-1008.
2. **Ambroise, J., Georgin, J.F., Péra, J. & Reynouard, J.M. (2002).** Curling of cement-based screeds. *Concrete Science and Engineering*, Vol 4, pp. 114-120.
3. **Beaurain, F. (2011).** *De gids weber*. Grimbergen: Weber.
4. **Becquevort, P., Goegebeur, P., Bouhmidi, H., De Leye, P., De Schyter, A. & De Meyer G. (2010).** *Tegelzettershandboek*. Brussel: Fonds voor Vakopleiding in de Bouwnijverheid
5. **Bedrijfschap afbouw. (2011).** *Isolerende dekvloeren: aandachtspunten bij ontwerp en uitvoering*. Geraadpleegd op 20 april 2016 via: <http://www.tbafbouw.nl/publicaties/publicatie/Isolerende-dekvloeren>
6. **Belgische betongroepering. (2013⁵).** *Betontechnologie*. Brussel: De Bouwkroniek.
7. **Boel, V., De Pauw, P., Gryspeert, T., Korte, S., Van Meirvenne, K. & Vangheel, T. (2016)** *Pocket geïsoleerde binnenvloeren*. Gent: Universiteit Gent
8. **de Barquin, F. & Vangheel, T. (2009).** *Keramische binnenvloerbetegelingen, WTCB TV237*. Geraadpleegd op 28 april via <http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=TVN%20237.pdf&lang=nl>
9. **De Cuyper, K. (2000).** *Houten vloer bedekkingen: plankenvloeren, parketten en houtfineervloeren, WTCB TV218*. Geraadpleegd op 23 april via <http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=TVN%20193.pdf&lang=nl>
10. **De Schutter, G. & Apers, J. (2007).** *Hoogwaardig beton*. Geraadpleegd op 8 mei 2016 via http://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-94-08/nl/40nl.pdf
11. **De Vylder, W., Van Gysel, A. & Van Hooymissen, L. (2002).** *Gewapend beton*. Gent: Acdemia press.
12. **Eemsmond Betoncentrale BV. (2009).** *Schade aan beton*. Geraadpleegd op 8 mei 2016 via www.betoncentraleeemsmond.nl
13. **Febelcem. (2010).** *Scheurvorming beperken: noodzakelijke voorwaarde voor duurzaam beton*. Geraadpleegd op 7 mei 2016 via http://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-2008/nl/T3-NL-Scheurvorming.pdf

14. **FME CWM. (2008).** *Keuren van lijmen en verbindingen.* Geraadpleegd op 23 april 2016 via <http://www.induteq.nl/metaal-werktuigbouw/bestanden/VM89%20Keuren%20van%20lijmen%20en%20lijmverbindingen.pdf>
15. **Gryspeert, T., Boel, V., De Pauw, P., Vangheel, T. & Goegebeur, P. (z.j.).** *Dekvloeren: types, toepassingen en onderzoek.* Geraadpleegd op 15 april 2016 via <http://www.dimension.be/cms/grafisch/artikel/pdf/1178-2433NL.pdf>
16. **Holland, J.A. & Walker, W. (1998).** Controlling curling and cracking in floors to receive coverings.
17. **Hydratatiegraad (z.j.).** Geraadpleegd op 12 mei 2016 via <http://betonlexicon.nl/H/Hydratatiegraad/>
18. **NBN EN 12620 (Normklasse B11). (2008²).** *Granulaten voor beton* Geraadpleegd op 25 april 2016 via <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/310367?l=E>
19. **NBN EN 13813 (Normklasse B18). (2002).** *Dekvloermortel en dekvloeren – Dekvloermortels – Eigenschappen en eisen.* Geraadpleegd op 14 mei 2016 via <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/119689?l=E>
20. **NBN EN 13892-2 (Normklasse B18). (2002).** *Beproevingmethoden voor dekvloermortels – Deel 2: Bepaling van de buig- en druksterkte.* Geraadpleegd op 14 mei 2016 via <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/119660?l=E>
21. **NBN EN 13892-8 (Normklasse B18). (2003).** *Beproevingmethoden voor dekvloermortels – Bepaling van de hechtsterkte.* Geraadpleegd op 14 mei 2016 via <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/119689?l=E>
22. **NBN EN 14411 (Normklasse B27). (2012).** *Keramische tegels – Definities, classificatie, eigenschappen, conformiteitsbeoordeling en merken.* Geraadpleegd op 28 april 2016 via <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/471625?l=E>
23. **NBN EN 197-1 (Normklasse: B 12). (2011²).** *Cement – Deel 1: Samenstelling, specificatie en overeenkomstigheidscriteria voor gebruikelijke cementsoorten.* Geraadpleegd op 25 april 2016 via <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/418440?l=E>
24. **NBN EN 933-1 (Normklasse B11). (2012).** *Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen – Deel 1: Bepaling van de korrelverdeling - zeefmethode.* Geraadpleegd op 14 mei 2016 via <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/436710?l=E>
25. **NBN EN 933-2 (Normklasse B11). (1996).** *Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen – Deel 2: Bepaling van de korrelverdeling controlezeven,*

nominale afmetingen van de openingen. Geraadpleegd op 14 mei 2016 via <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/95922?l=E>

26. **Nuvelstijn, R.H. (2001).** *Natuursteen afwerkvloeren.*, Infoblad 124: *controleren van de ondergrond voor een vloerafwerking van natuursteen of keramische tegels.* Geraadpleegd op 25 april 2016 via <http://www.sbrurnet.nl/producten/infobladen/controleren-van-de-ondergrond-voor-een-vloerafwerking-van-natuursteen-of-keramische-tegels>
27. **Parmentier, B., Pollet, V. & Zarmati, G. (2009).** *De verhinderde betonkrimp: voorspelling volgens de Eurocode 2 en beheersing met uitvoeringstechnieken.* WTCB-Dossiers, Katern nr.3. Geraadpleegd op 28 april via http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=wtcb_aronline_2009_2_nr3.pdf&lang=nl
28. **Piérard, J. & Dieryck, V. (2004).** *De krimp van jong special beton.* WTCB-Dossiers, Katern Nr.2. Geraadpleegd op 7 mei via http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=WTCB_aronline_2004_2_nr2.pdf&lang=nl
29. **Riské, H. (2012).** *Onderzoek naar de invloed van de water/cement-factor op de mechanische eigenschappen van zandcement dekvloeren en naar het hechtingsgedrag van zandcement dekvloeren op een betonnen ondergrond [eindwerk].* Ugent, faculteit Ingeieurswetenschappen en Architectuur
30. **Saint-Gobain Isover. (2007).** *Theorie en praktijk over contactgeluidisolatie met verend opgelegde dekvloeren.* Geraadpleegd op 18 april 2016 via https://www.isover.nl/sites/isover.nl/files/assets/documents/vademecum_voor_de_zwevende_dekvloer.pdf
31. **Ugent (ongepubliceerd).** *Geïsoleerde binnenvloeren: Hedendaagse praktijk en toekomstige innovatieve trends.* Gent: Universiteit Gent
32. **Van den Bossche, J. (2011).** *Loskomen van vloertegels.* WTCB infofiche, nr54. Geraadpleegd op 25 april 2016 via <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=54&lang=nl>
33. **Van der Steen, C.A. (2010).** *Het (Dek)vloerenboek: Achtergronden, systemen en aandachtspunten voor het in werk vervaardigde (dek)vloeren.* Bedrijfschap afbouw, Den Haag.
34. **Van Ginderachter, C. & Parmentier, B. (2006).** *Dekvloermortels en dekvloeren: eigenschappen en eisen.* Katern Nr.2. Geraadpleegd op 21 april via http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=wtcb_aronline_2006_4_nr2.pdf&lang=nl

35. **Van Laecke, W. (1989).** *Mechanische karakteristieken en nazicht van dekvloeren*. WTCB-tijdschrift, nr. 3-4/1989, pp 1-13
36. **Van Laecke, W. (1993,).** *Dekvloeren: Materialen – Prestaties – Kontroles*, WTCB TV 189. Geraadpleegd op 15 april 2016 via <http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=TVN%20189.pdf&lang=nl>
37. **Van Laecke, W. (1994).** *Dekvloeren: deel 2: uitvoering*, WTCB TV193. Geraadpleegd op 23 april via <http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=TVN%20193.pdf&lang=nl>
38. **Vandewaetere, V. (2009).** *De BRE Screed Test: parameteronderzoek*. [eindwerk]. Hogeschool Brugge-Oostende, departement Industriële Wetenschappen en Technologie
39. **Wagneur, M. (2009).** *De verschillende plaatsingstechnieken voor vloerbetegeling*. WTCB-Dossiers, nr. 4/2008, Katern Nr.2. Geraadpleegd op 7 mei via http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=wtcb_artonline_2008_4_nr2.pdf&lang=nl
40. **Wijnants, J. (2010).** *Dekvloeren: bewegingsvoegen of niet?*. WTCB Infofiches, nr. 46. Geraadpleegd op 20 april 2016 via <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=46>
41. **WTCB. (1994).** *Een dekvloer kiezen*, DIGEST nr.2. Geraadpleegd op 15 april 2016 via http://www.seghers-setisol.be/sites/default/files/product/chape-nl_0.pdf
42. **WTCB. (2014).** *Tussen ruwbouw en afwerking: evolutie van de materialen en hun karakteristieken*. WTCB-Contact nr. 41 Geraadpleegd op 20 april via <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact41>
43. **Ytterberg, R.F. (1992).** Control of shrinkage and curling in slabs on grade: dl. 1.

Bijlagen

Bijlage 1: Technische fiche PUR-isolatieplaten



PRODUCTOMSCHRIJVING

EUROFLOOR is een isolatieplaat met een kern in hard polyurethaanschuim bekleed aan beide zijden met een matgrijs gasdicht meerlagencomplex van kraftpapier en metaalfolies.

PRODUCTEIGENSCHAPPEN

- **Warmtegeleidingscoëfficiënt λ_D**
volgens NBN EN 12667: **0,022 W/mK**
- **Volumegewicht in de kern**
circa **30 kg/m³**
- **Mechanisch gedrag**
 - Druksterkte bij 10% vervorming:
CS(10/Y)120 volgens NBN EN 826
 ≥ 120 kPa (1,2 kg/cm²)
 - Vervorming bij belasting:
DLT(2)5 volgens NBN EN 1605
40kPa, bij 70°C gedurende
168h: $\leq 5\%$
- **Dampdiffusieweerstandsgetal μ**
van het PUR schuim: **50-100**
- **Bekleding**
Matgrijs, gasdicht meerlagencomplex
van kraftpapier en metaalfolies
- **Waterabsorptie lange termijn**
WL(T)2 volgens NBN EN 12087
 $< 2\%$
- **Brandgedrag**
 - A1 volgens KB 19/12/1997
 - Class 1 volgens BS 476 part 7
 - Euroclass F volgens NBN EN 13501-1

• Dimensionele stabiliteit

volgens NBN EN 1604
- na 48 uur: 70°C, 90% RV: DS(70,90)2
lengte en breedteverandering: $\leq 3\%$;
dikteverandering $\leq 8\%$

AFMETINGEN

- Breedte: 1200 mm
- Lengte: 2500 mm
- Diktes: 20 mm t.e.m. 100 mm op
voorraad
- Diktes: 70 mm en 90 mm op aanvraag

RANDAFWERKING

Rechte kanten

TOEPASSINGEN

Vloerisolatie

ATTEST

ATG/H750



KEYMARK 001-BK-514-0004-0018-W012

NORMERING

- NBN EN 13165
- De productie van deze
isolatieplaten is
gecertificeerd volgens
ISO 9001:2008 en
ISO 14001:2004



PRODUCTION WEVELGEM

[®]
EUROFLOOR

Bijlage 2: Technische fiche lijm mortel Mapei Ultralite S1



Ultra
Technology™

Ultralite S1



Vervormbare, glijvaste, gemakkelijk uitstrijkbare, lichte eencomponent-cementlijm met hoge prestaties, een langere open tijd, Dust Free-technologie en een hoog rendement. Ultralite S1 beschikt over een uitstekend biedingsproces en is makkelijk aan te brengen met een troffel, voor keramische tegels, stenen en dunne porselein tegels. Voor het aanbrengen van keramische tegels en natuursteen



CLASSIFICATIE VOLGENS EN 12004

Ultralite S1 is een C2TE S1-klasse cementhoudende (C), verbeterde (2), glijvaste (T), langere open tijd (E), vervormbare (S1) lijm.

De conformiteit van **Ultralite S1** is vastgesteld in ITT certificaat **No. 25080237/Gi (TUM)** en **No. 25110057/AG (TUM)**, afgegeven door het laboratorium van de Technische Universiteit München (Duitsland).

TOEPASSING

- Het binnens- en buitenshuis verlijmen van alle formaten en soorten keramische tegels (dubbelgebakken, enkelgebakken, gres porcellanato, cotto, klinker, enz.) op ongelijke ondergronden zonder voorafgaande egalisatie.
- Het binnens- en buitenshuis verlijmen van alle soorten mozaïek.
- Verlijmen van porselein tegels op vloeren en wanden, ook op buitengevels.
- Het binnens- en buitenshuis verlijmen van natuursteen (mits solide en vochtbestendig).

Voorbeelden van toepassingen

- Het verlijmen van keramische tegels (dubbelgebakken, enkelgebakken, gres porcellanato, klinker, enz.) en natuursteen (mits vochtbestendig) op traditionele ondergronden, zoals:
 - cement- en anhydriedekvloeren (na toepassing van een geschikt voorstrijkmiddel);
 - verwarmde dekvloeren;
 - pleisterwerk van cement of kalkmortel;
 - gipspleister (na toepassing van een geschikt voorstrijkmiddel);
 - gipskartonplaat, prefabplaten, cement vezelplaten;
 - waterdichtende membranen van **Mapelastic**, **Mapelastic Smart**, **Mapelastic Aquadefense** of **Mapegum WPS**.

- Het aanbrengen van keramiek en natuursteen op bestaande vloeren (van keramiek, marmer, enz.).
- Het aanbrengen op hechthout, vezelplaten, oude houten vloeren.
- Het aanbrengen van keramiek en natuursteen op balkons, terrassen en platte daken die aan direct zonlicht en temperatuurschommelingen blootstaan.
- Het aanbrengen op prefabbetonwanden en betonondergronden.
- Het aanbrengen van keramiek in slecht geventileerde ruimten in de buurt van woonomgevingen, waar tijdens het mengen en de verplaatsing van zakken zo min mogelijk stof mag vrijkomen.

EIGENSCHAPPEN

Ultralite S1 is een grijs poeder bestaande uit cement, zand met een geselecteerde korrelgrootte en een grote hoeveelheid kunstharsen, aangevuld met uit kiezel materiaal verkregen microbolletjes die het mengsel licht maken. De speciale formule van dit product is ontwikkeld in de onderzoekslaboratoria van MAPEI en het draagt hiermee bij aan de ontwikkeling van een ecologisch verantwoorde bouw.

De innovatieve **Low-Dust**-technologie achter deze lijm zorgt voor een aanzienlijke reductie van het tijdens het mengen vrijkomende stof, waardoor het werk van de gebruiker van dit product prettiger en veiliger wordt. Dankzij de bijzondere technologie die is toegepast, heeft **Ultralite S1** een lage volumieke massa, wat twee belangrijke voordelen oplevert:

- 1) bij eenzelfde volume hebben de zakken met **Ultralite S1** een lager gewicht (15 kg) dan die van de traditionele cementlijmen (25 kg). Daardoor kunnen de zakken gemakkelijker worden verplaatst, waardoor vanzelfsprekend ook op transportkosten kan worden bespaard;
- 2) hoger rendement: het verbruik ligt circa 60% lager dan bij traditionele cementlijmen.

Ultralite S1



Aanbrengen van Ultralite S1 met een getande lijmkam



De lijm op de rug aanbrengen



Aanbrengen van grote keramische tegels op de wand

Dankzij de lage viscositeit van **Ultralite S1** kan dit product gemakkelijk en snel worden aangebracht. Desondanks heeft **Ultralite S1** een dusdanige dikvloeibaarheid dat op de wand aangebrachte tegels, ook van groot formaat, niet afglijden.

Ultralite S1 is door zijn uitstekende back-buttering capaciteit en thixotrope consistentie bijzonder geschikt voor het leggen van dunne porselein tegels. In feite zorgt het aanbrengen van **Ultralite S1** met behulp van de back-buttering techniek op gelijke ondergronden ervoor dat er totaal geen lege ruimtes in de lijm op de achterzijde van de tegels ontstaan, waardoor het risico op breken door belasting, wordt vermeden.

Bij menging met water wordt **Ultralite S1** een mortel met de volgende eigenschappen:

- werkt vervormingen van de ondergrond en tegels uitstekend weg;
- uitstekende back-buttering eigenschap;
- uitstekende hechting op alle in de bouw gebruikte materialen;
- de bijzonder lange open tijd en correctietijd vergemakkelijken de aanbrengwerkzaamheden.

BELANGRIJK

Ultralite S1 niet gebruiken in de volgende gevallen:

- op oppervlakken van metaal, rubber, pvc en linoleum;
- bij platen van marmer en natuursteen die onderhevig zijn aan uitslag of vlekken;
- bij platen van natuursteen of composietmateriaal die werken ten gevolge van vocht;
- bij vloeren die op korte termijn belopen moeten kunnen worden.

Gebruik **Ultralite S1** niet voor het aanbrengen van dunne porselein tegels met een wapeningsnet groter dan 5000 cm² op oppervlakken binnenshuis en verwarmde dekvloeren. Gebruik voor deze applicatie een "S2" klasse vervormbare lijm zoals **Ultralite S2**, **Ultralite S2 Quick**, **Kerabond**/**Kerabond T** gemengd met **Isolastic**, **Elastorapid** of **Keraquick + Latex Plus**.

Voor het aanbrengen van dunne porselein tegels op buitengevels en voor nadere informatie over hoe u de juiste lijm kiest, verwijzen wij naar de MAPEI technische handleiding "Systemen voor het aanbrengen van dunne porselein tegels" of neemt u contact op met MAPEI technische dienst. Voeg nooit extra water toe als de binding van het mengsel is begonnen.

AANBRENGEN

Voorbereiden van de ondergrond

Het product moet worden aangebracht op een voldoende droge, olie- en vetvrije ondergrond zonder verflagen en was die over mechanische weerstand beschikt. Loszittende delen moeten worden verwijderd.

Ondergronden van cement mogen na het aanbrengen van tegels niet meer onderhevig zijn aan krimp. Pleisterlagen moeten daarom - 's zomers - minstens één week per centimeter laagdikte uitharden. Cementdekvloeren moeten minstens 28 dagen zijn uitgehard, tenzij daarvoor gebruik is gemaakt van speciale bindmiddelen voor dekvloeren van MAPEI, zoals **Mapecem** en **Topcem**, of van voorgemengde mortels, zoals **Mapecem Pronto** en **Topcem Pronto**. Oppervlakken waarvan de temperatuur door zonbeschijning te hoog is geworden, moeten ter koeling met water worden bevochtigd. Ondergronden van gips en anhydrietdekvloeren moeten absoluut stof- en vochtvrij zijn, voldoende zijn uitgehard en volgens voorschrift zijn behandeld met **Primer G** of **Eco Prim T**. In ruimten/gebieden met een hoge vochtigheid moet **Primer S** worden gebruikt.

De ondergrond waarop dun porselein wordt gelegd, moet volkomen vlak zijn. Indien nodig, egaliseer de ondergrond voordat de vloer wordt gelegd met een zelfnivellerend egalisatiemiddel uit de MAPEI reeks.

Bereiden van het mengsel

Ultralite S1 aanmaken met schoon water en tot een homogene en klontvrije massa mengen. Vijf minuten laten staan en vervolgens nogmaals doorroeren.

Ca 8,2-8,5 liter water voor 15 kg zak

Ultralite S1 grijs en 7,8-8,1 liter voor

Ultralite S1 wit. Het verkregen lijmengsel heeft een verwerkingstijd van ongeveer 8 uur.

Aanbrengen van het mengsel

Breng **Ultralite S1** met een getande lijmkam op de ondergrond aan. Gebruik een lijmkam die de totale rugzijde van de tegels bestrijkt.

Breng voor een goede hechting eerst met de gladde zijde van de lijmkam een dunne laag

Ultralite S1 op de ondergrond aan. Direct daarna kan **Ultralite S1** in de gewenste dikte worden aangebracht met de getande zijde van de lijmkam. Kies de lijmkamveranding in overeenstemming met de tegelsoort en tegelgrootte.

In het geval van vloer- en wandbekledingen buitenshuis, formaten groter dan 9 m² en zwaar belaste vloeren, moet de lijm ook op de tegelrug worden aangebracht om een volledige lijmdekking te verkrijgen.

In het geval van dunne porselein tegels op vloeren, raden wij aan de lijm ook op de achterkant van de tegels aan te brengen met behulp van een 9 mm tondo lijmkam.

Aanbrengen van de tegels

Het is niet noodzakelijk de tegels voor het aanbrengen af te spoelen. Alleen bij tegels met veel poeder aan de rugzijde is het aan te bevelen deze eerst in schoon water onder te dompelen.

Zorg ervoor dat de tegels droog zijn voordat ze worden aangebracht.

Druk de tegels stevig op hun plaats, zodanig dat voldoende contact tussen de tegel, de lijm en de ondergrond ontstaat.

De open tijd van **Ultralite S1** is bij een normale temperatuur en vochtigheidsgraad minimaal 30 minuten. Onder ongunstige condities (directe zonbeschijning, droge wind, hoge temperatuur) en bij een sterk zuigende ondergrond, kan de open tijd tot slechts enkele minuten worden teruggebracht.

Controleer steeds of geen velvorming op het lijmoppervlak heeft plaatsgevonden en of de lijm nog nat is. Indien nodig de lijm opnieuw met de lijmkam uitsmeren. Toevoegen van water na eventuele velvorming wordt afgeraden, aangezien het water zich niet bindt, maar een film vormt die de kleefkracht nadelig beïnvloedt. Eventuele plaatscorrecties moeten binnen 45 minuten na het aanbrengen van de tegels worden uitgevoerd.

Met **Ultralite S1** aangebrachte bekledingen mogen de eerste 24 uur niet worden afgespoeld of aan regen worden blootgesteld. Blootstelling aan vorst en direct zonlicht dient gedurende minstens 5 tot 7 dagen te worden vermeden.

Afvoegen en kitten

Wandtegels kunnen na 4 tot 8 uur worden afgevoegd, vloertegels na 24 uur. Gebruik hiervoor een geschikte cement- of epoxymortel van MAPEI. Deze zijn in diverse kleuren verkrijgbaar. Dilatievoegen moeten worden afgedicht met een geschikte MAPEI-kit.

BETREDING

Vloeren zijn beloopbaar na circa 24 uur.

TECHNISCHE GEGEVENS (specifieke waarden)

Overeenkomstig de volgende normen:

- Europa EN 12004, klasse C2TE S1
- ISO 13007-1, klasse C2TE S1

HERKENNING VAN HET PRODUCT

Vorm:	poeder
Kleur:	wit of grijs
Schijnbare volumieke massa (kg/m ³):	870
Vast residu (%):	100
EMICODE:	EC1 R Plus - met een zeer lage emissie

GEGEVENS M.B.T. HET AANBRENGEN (bij +23° C en 50% R.V.)

Mengverhouding:	100 delen Ultralite S1 grijs met 55-57 delen water 100 delen Ultralite S1 wit met 52-54 delen water
Vorm van het mengsel:	roomachtig
Volumieke massa van het mengsel (kg/m ³):	1.200
pH van het mengsel:	meer dan 12
Verwerkingstijd:	langer dan 8 uur
Verwerkingstemperatuur:	van +5° C tot +40° C
Open tijd (volgens EN 1346):	> 30 minuten
Correctietijd:	45 minuten
Afvoegen wanden:	na 4-8 uur
Afvoegen vloeren:	na 24 uur
Beloopbaar:	na 24 uur
Ingebruikneming:	na 14 dagen

EINDRESULTATEN

Hechtkracht volgens EN 1348 (in N/mm ²):	
– beginhechting (na 28 dagen):	2,0
– onder invloed van warmte:	2,0
– na onderdompeling in water:	1,3
– na afwisselende vries- en dooiperiodes:	1,5
Bestandheid tegen alkaliën:	uitstekend
Bestandheid tegen oliën:	uitstekend (matig tegen plantaardige oliën)
Bestandheid tegen oplosmiddelen:	uitstekend
Temperatuurbestendigheid:	van –30° C tot +90° C
Vervormbaarheid volgens EN 12002:	S1 - vervormbaar (> 2,5 mm, < 5 mm)



Het aanbrengen van de lijm op een vloer met een 9 mm rond getande lijmkam



Het aanbrengen van de lijm op de achterkant van de tegel

Ultralite S1



Plaatsen van dunne porcelain tegel op vloer



Controleren van de volledige back-buttering methode op dunne porcelain gres tegel



INGEBRUIKNEMING

De oppervlakken kunnen in gebruik worden genomen na circa 14 dagen.

Reinigen

Gereedschap en kuipen kunnen met ruim water worden gereinigd, zolang **Ultralite S1** nog nat is. Tegelopervlakken moeten met een natte doek worden afgenomen alvorens de lijm uithardt.

VERPAKKING

Ultralite S1 is verkrijgbaar in zakken van 15 kg.

VERBRUIK

0,8 kg/m² per mm laagdikte, gelijk aan 1,5-2,5 kg/m².

HOUDBAARHEID

Ultralite S1 kan onder droge condities, in de originele verpakking, 12 maanden worden bewaard.

Product conform Verordening (EG) nr. 1907/2006 (REACH) - Bijl. XVII, artikel 47.

VEILIGHEIDSAANBEVELINGEN

Ultralite S1 is irriterend, bevat cement dat bij aanraking met zweet of ander lichaamsvocht een irriterende alkalische reactie en allergische reacties kan veroorzaken bij diegenen die hiervoor gevoelig zijn. Draag veiligheidshandschoenen en een veiligheidsbril. Het kan schadelijk zijn voor de ogen. Raadpleeg voor aanvullende informatie over het veilige gebruik van het product de meest recente versie van het veiligheidsinformatieblad.

PRODUCT VOOR PROFESSIONEEL GEBRUIK.

ATTENTIE

Hoewel de voorgaande aanwijzingen en voorschriften op onze eigen ervaringen berusten, dienen zij slechts als een indicatie te worden beschouwd. De omstandigheden zullen in de praktijk telkens anders zijn en derhalve zal de gebruiker, alvorens hij of zij een van onze producten gaat gebruiken, zelf moeten nagaan of het product geschikt is voor het beoogde doel. De gebruiker is dan ook altijd zelf verantwoordelijk voor het gebruik van het product.

Raadpleeg altijd de meest recente versie van het technisch informatieblad, die te vinden is op onze website www.mapei.com



Dit symbool duidt de MAPEI-producten met een laag gehalte aan vluchtige organische stoffen (VOS) aan, zoals gecertificeerd door het GEV (Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegetoffe, Klebstoffe und Bauprodukte e.V.), een internationale organisatie die de emissiegehalten van vloerproducten bewaakt.



Onze inspanningen voor het milieu
MAPEI ondersteunt architecten en bouwbedrijven met producten voor de realisatie van innovatieve ontwerpen die kunnen worden gecertificeerd volgens LEED (The Leadership in Energy and Environmental Design), ontwikkeld door de U.S. Green Building Council.

Bevat meer dan 30% gerecycled materiaal

Referentiemateriaal over dit product is op verzoek verkrijgbaar en te vinden op de Mapei-website www.mapei.be, www.mapei.nl en www.mapei.com



DE WERELDPARTNER IN DE BOUW

Prestatieverklaring: Nr. CPR-IT1/0350

1. Unieke identificatiecode van het producttype: **ULTRALITE S1**
2. Type-, partij- of serienummer, dan wel een ander identificatiemiddel van het bouwproduct, zoals voorgeschreven in artikel 11(4) van het CPR.

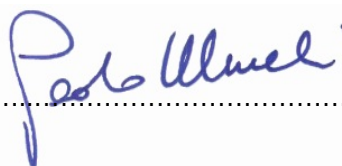
VERBETERDE CEMENTGEBONDEN LIJM VOOR KERAMISCHE TEGELS

3. Beoogde gebruiken van het bouwproduct, overeenkomstig de toepasselijke geharmoniseerde technische specificatie, zoals door de fabrikant bepaald: **binnen- en buitenshuis betegelen van vloeren en wanden**
4. Naam, geregistreerde handelsnaam, of geregistreerde merknaam en het contactadres van de fabrikant, zoals voorgeschreven in artikel 11(5): **MAPEI S.p.A. – Via Cafiero, 22 – Milano (Italy)** **www.mapei.it**
5. Indien van toepassing, naam en contactadres van de gemachtigde wiens mandaat de in artikel 12, lid 2, vermelde taken bestrijkt: **niet van toepassing**
6. Systeem of systemen voor de beoordeling en verificatie van de prestatiebestendigheid van het bouwproduct, zoals vermeld in bijlage V: **Systeem 3**
Systeem 4 gedrag bij brandklasse
7. Indien de prestatieverklaring betrekking heeft op een bouwproduct dat onder een geharmoniseerde norm valt:
Het aangemelde testlaboratorium **TUM München (Nr. 1211)**, heeft de bepaling van het producttype op grond van typeonderzoek op monsters genomen door de fabrikant onder systeem 3 uitgevoerd en de testrapporten nr. 25080237/Gi en nr. 25110057/AG verstrekt.
8. Indien de prestatieverklaring betrekking heeft op een bouwproduct waarvoor een Europese technische beoordeling is afgegeven: **niet van toepassing**
9. Aangegeven prestatie

Essentiële kenmerken	Prestaties	Europees beoordelingsdocument
Gedrag bij brand	Klasse E	EN 12004:2007 + A1:2012
Hechtsterkte als: - Aanvangstreksterkte	1,0 N/mm²	
Duurzaamheid: - treksterkte na veroudering door warmte - treksterkte na onderdompeling in water - treksterkte na vries-dooi cycli	1,0 N/mm² 1,0 N/mm² 1,0 N/mm²	
Vrijkomen van gevaarlijke stoffen	Zie SDS	

10. De prestaties van het in punt 1 en 2 omschreven product zijn conform de in punt 9 aangegeven prestaties.
Deze prestatieverklaring wordt verstrekt onder exclusieve verantwoordelijkheid van de in punt 4 genoemde fabrikant.
Ondertekend voor en namens de fabrikant door: **Paolo Murelli – Corporate Quality Management**

Milan, 01/07/2013



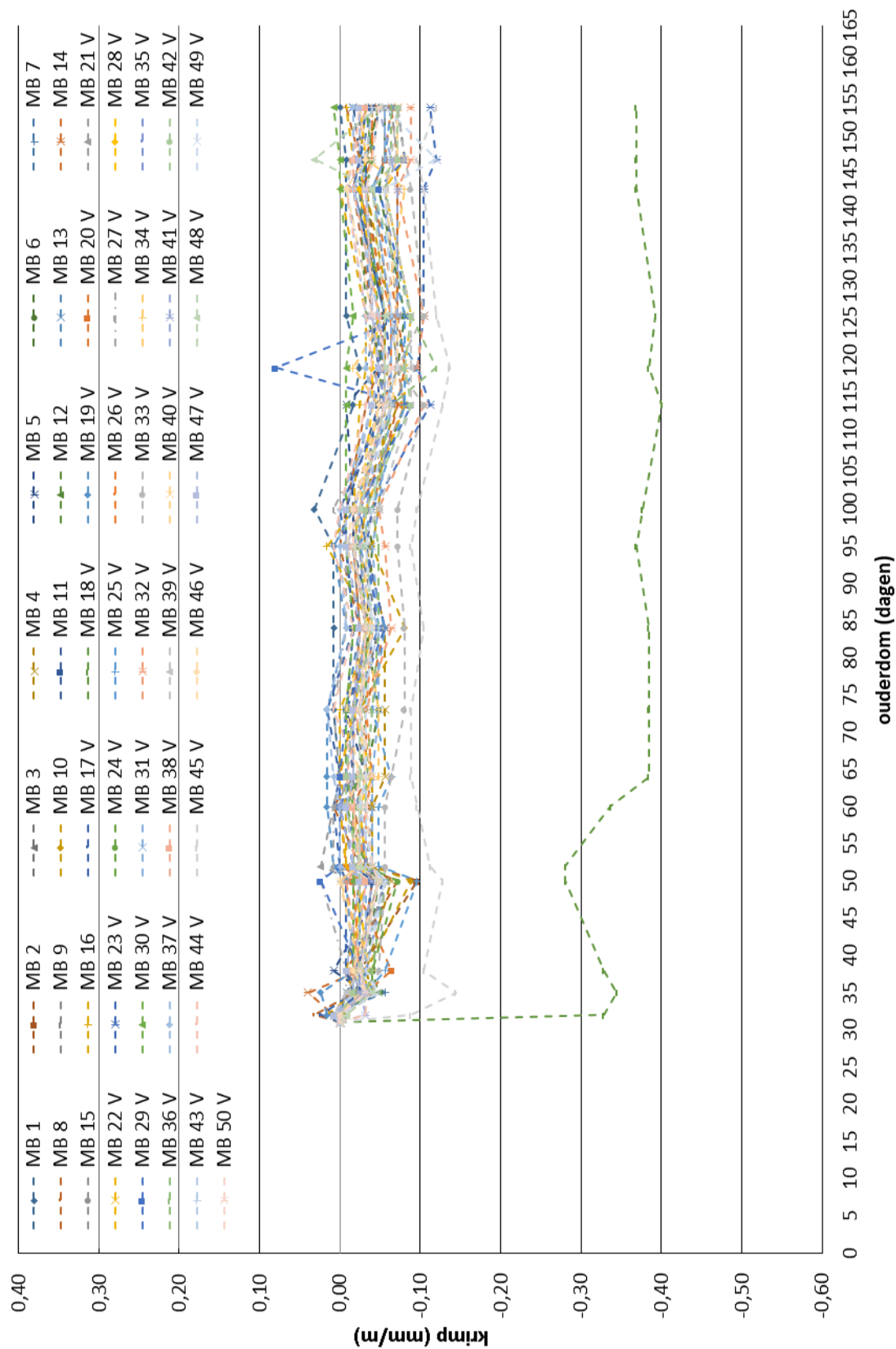
.....

CE MARKERING volgens CPR 305/2011 en EN12004:2007+A1:2012

 1211	 Via Cafiero, 22 – 20158 Milano (Italy) www.mapei.it
08 CPR-IT1/0350 EN 12004:2007+A1:2012 ULTRALITE S1 GRIJS <i>Binnen- en buitenshuis betegelen van vloeren en wanden</i>	
Gedrag bij brand Hechtsterkte als: - Aanvangstreksterkte Duurzaamheid: - treksterkte na veroudering door warmte - treksterkte na onderdompeling in water - treksterkte na vries-dooi cycli Vrijkomen van gevaarlijke stoffen	Klasse E 1,0 N/mm ² 1,0 N/mm ² 1,0 N/mm ² 1,0 N/mm ² Zie SDS

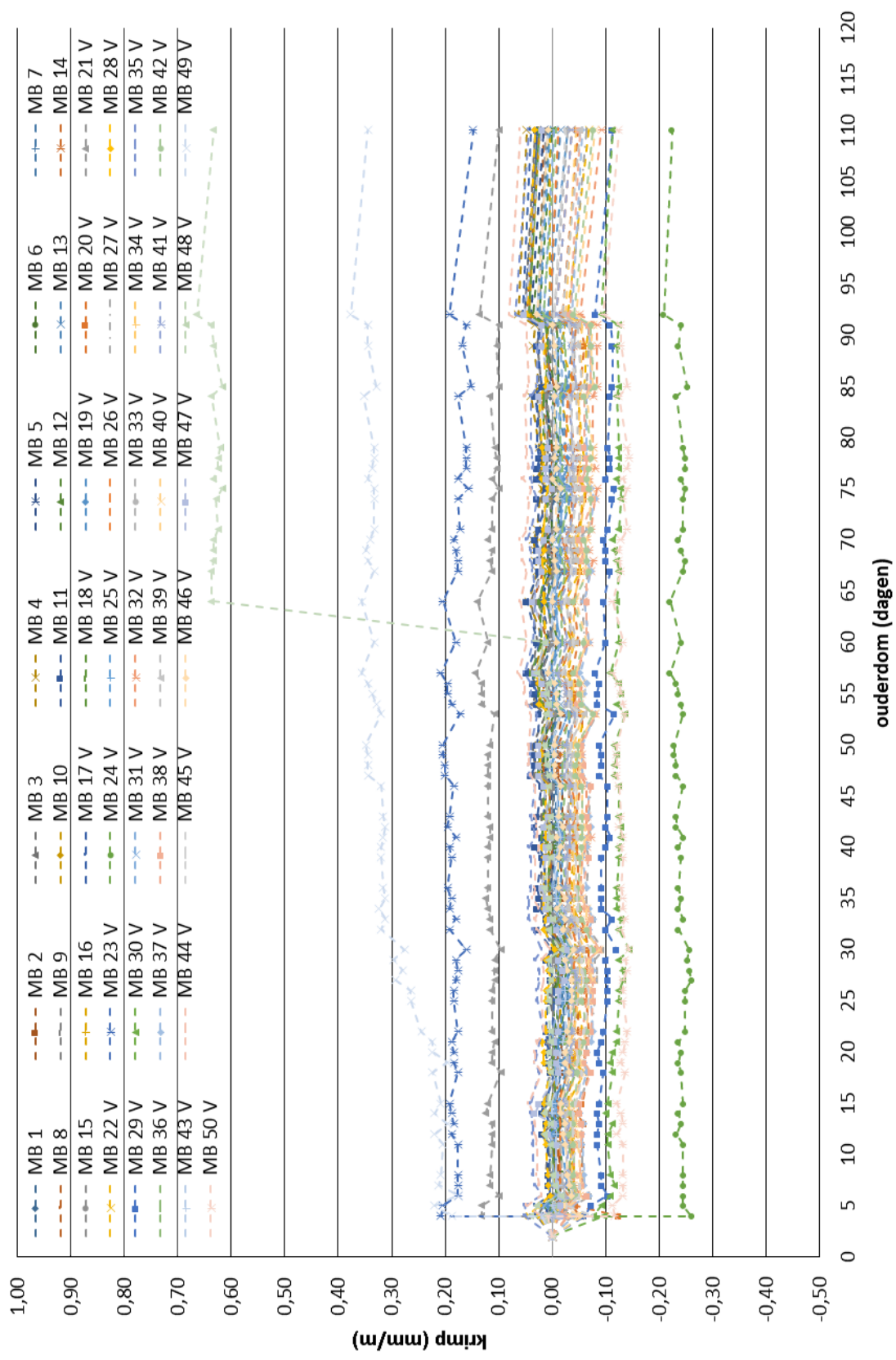
 1211	 Via Cafiero, 22 – 20158 Milano (Italy) www.mapei.it
11 CPR-IT1/0350 EN 12004:2007+A1:2012 ULTRALITE S1 WIT <i>Binnen- en buitenshuis betegelen van vloeren en wanden</i>	
Gedrag bij brand Hechtsterkte als: - Aanvangstreksterkte Duurzaamheid: - treksterkte na veroudering door warmte - treksterkte na onderdompeling in water - treksterkte na vries-dooi cycli Vrijkomen van gevaarlijke stoffen	Klasse E 1,0 N/mm ² 1,0 N/mm ² 1,0 N/mm ² 1,0 N/mm ² Zie SDS

Bijlage 3: Uitvergroting figuur 106

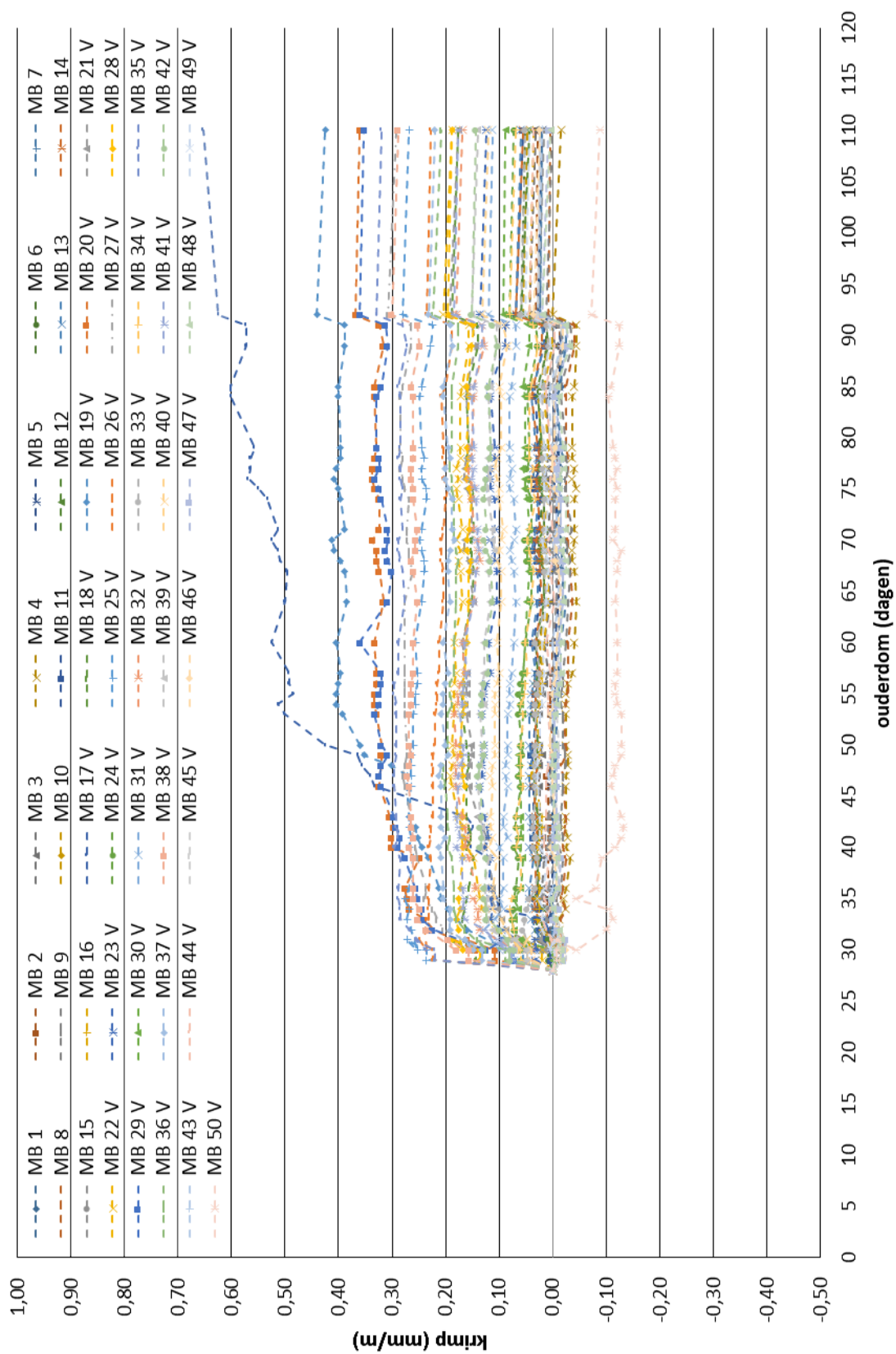


Figuur 106: Horizontale krimp proefvloer 2 na betegelen

Bijlage 4: Uitvergroting figuur 108 en figuur 109



Figuur 108: Horizontale vervorming proefvloer 1 (reeks 2014-2015)



Figuur 109: Horizontale vervorming proefvloer 2 (reeks 2014-2015)