

2016•2017
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Vezelversterkt beton in schampwanden

Promotor :
Prof. dr. ing. Bram VANDOREN
Prof. dr. ir. Herve DEGEE

Copromotor :
De heer Dan DRAGAN

Promotor :
dr. IVES SWENNEN

Copromotor :
ir. JEROEN SMET

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

Jelte Smets , Mathijs Van Berkel
Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

2016•2017

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Vezelversterkt beton in schampwanden

Promotor :
Prof. dr. ing. Bram VANDOREN
Prof. dr. ir. Herve DEGEE

Copromotor :
De heer Dan DRAGAN

Promotor :
dr. IVES SWENNEN

Copromotor :
ir. JEROEN SMET

Jelte Smets , Mathijs Van Berkel

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Woord vooraf

De scriptie is tot stand gekomen in functie van onze studie van industriële ingenieurswetenschappen af te sluiten. Onze interesse in vezelversterkt beton werd gewekt door onze bachelorproef, waar het structurele gedrag van vezelversterkt beton nader bekeken werd. Daarom hadden we besloten om ons verder in dit onderwerp te specialiseren.

In onze opleiding wordt dit onderwerp niet veel besproken, momenteel wordt er nog onderzocht in welke toepassingsgebieden dit materiaal een meerwaarde kan zijn. Zodra er meer geweten is over dit materiaal zal het ook meer voorkomen in de cursussen. Het was voor ons dan ook zeer leerrijk om ons steentje bij te dragen tot dit proces.

Afgezien van het feit dat deze masterproef heel interessant was, hebben we ook gemerkt dat niet altijd alles verloopt zoals het gepland is. Zo zijn we door onvoorziene omstandigheden in tijdsdruk gekomen waardoor we een geplande tweede proefronde niet hebben kunnen uitvoeren.

Vooraleer wij ons verdiepen in ons onderwerp, willen wij eerst en vooral een aantal mensen bedanken die bijgedragen hebben tot het verwezenlijken van deze masterproef. Wij zouden graag Prof. Dr. Ing. Vandoren Bram en Dr. Ir. Gaochuang Cai willen bedanken om ons op weg te helpen met onze masterproef. Ze hebben ons geholpen om een betekenisvol toepassingsgebied en een onderzoeksmethode te vinden. Dit in samenwerking met het bedrijf Low & Bonar, waar we de ondersteuning kregen van Dhr. Swennen Ives en Ir. Smet Jeroen. Ze hebben ons ondersteund, van materiaal voorzien en inzicht gegeven in de vezelindustrie.

Onze masterproef was heel praktisch, waardoor we ettelijke dagen in het laboratorium van de UHasselt hebben doorgebracht. We willen daarom ook Ir. Dragan Alexandru Dan bedanken om ons te assisteren in het laboratorium en het nodige materieel te voorzien. Verder zouden we Prof. Dr. Ir. Degée Hervé willen bedanken om ons te ondersteunen en ons in contact te brengen met de medewerkers van het laboratorium van de Universiteit van Luik. Als laatste zouden we deze medewerkers dan ook willen bedanken omdat ze ons de mogelijkheid gegeven hebben om de impactproef in hun laboratorium uit te voeren.

Inhoudsopgave

Lijst van tabellen	V
Lijst van figuren	VII
Verklarende woordenlijst	IX
Abstract	XI
Abstract in English	XIII
1 Inleiding	1
1.1 Vezelversterkt beton	3
1.1.1 Toepassingen	3
1.1.2 Karakteristieken	3
1.1.3 Macro- versus microvezels.....	5
1.1.4 Vezeltypes	5
1.1.5 Traditioneel gewapend vs. vezelversterkt beton	7
1.2 Geleideconstructies.....	7
1.2.1 Typen betonnen geleideconstructies	8
1.2.2 Geleideconstructie in situ	9
1.2.3 Beton in schampwanden.....	10
1.2.4 Geleideconstructie in prefab.....	11
1.2.5 Duurzaamheid van betonnen geleideconstructies	11
1.2.6 Norm NBN EN 1317	11
1.3 Conclusie inleiding	14
2 Methodologie	17
2.1 Inleiding.....	17
2.2 Maken van specimens.....	18
2.2.1 Gebruikte betonsamenstellingen	18
2.2.2 Mengen van beton	19
2.3 Onderzoeksproeven	22
2.3.1 Consistentieklasse	22
2.3.2 Drukproef	23
2.3.3 Impactproef	25
2.3.4 <i>Shatteren</i>	26
2.4 Conclusie methodologie	27
3 Onderzoeksresultaten	29
3.1.1 Consistentieklasse	29

3.1.2	Drukproef	30
3.1.3	Impactproef	33
3.1.4	<i>Shatteren</i>	39
4	Besluit	45
4.1	Allesomvattende conclusies	45
4.2	Aanbevelingen voor verder onderzoek.....	45
	Literatuurlijst	47
	Bijlagenlijst	49
	Bijlage 1: Durus S500.....	51
	Bijlage 2: Crackstop M Ultra.....	53
	Bijlage 3: Luchtbelvormer	55
	Bijlage 4: Rijnkiezel.....	57
	Bijlage 5: Kalksteen	59
	Bijlage 6: Zand.....	61

Lijst van tabellen

Tabel 1: Overzicht van de botsproeven [15]	12
Tabel 2: Niveaus van het kerend vermogen [15]	12
Tabel 3: Niveaus voor de ernst van de impact [15].....	13
Tabel 4: Klassen voor de genormaliseerde werkingsbreedte [15]	14
Tabel 5: Klassen voor de genormaliseerde voertuigoverhelling [15]	14
Tabel 6: Samenstellingen	18
Tabel 7: Vebe-klassen [17]	23
Tabel 8: Zetmaat-klassen [11].....	23
Tabel 9: Resultaten Vebe-proef.....	29
Tabel 10: Resultaten drukproef	31
Tabel 11: Resultaten terugkaatshoogte	35
Tabel 12: Resultaten energieabsorptie	36
Tabel 13: Onderzoeksresultaten shatteren samenstelling 1.....	39
Tabel 14: Onderzoeksresultaten shatteren samenstelling 2.....	40
Tabel 15: Onderzoeksresultaten shatteren samenstelling 3.....	41
Tabel 16: Onderzoeksresultaten shatteren samenstelling 4.....	42
Tabel 17: Onderzoeksresultaten shatteren samenstelling 5.....	43

Lijst van figuren

Figuur 1: Traditioneel vs. vezelversterkt beton bij buigproeven [5].....	4
Figuur 2: Micro- en macrovezels	5
Figuur 3: Durus S500 vs. conventionele vezel [8]	6
Figuur 4: Verschillende vormen van staalvezels [5]	7
Figuur 5: Schematische tekening van New Jersey [10]	8
Figuur 6: Schematische tekening van Stepprofiel [12]	9
Figuur 7: Doorsnede van Stepprofiel [13].....	9
Figuur 8: Schema onderzoeksproeven	17
Figuur 9: Het mengen van beton	20
Figuur 10: Het vullen van de mallen	21
Figuur 11: Het verdichten van de kubussen	21
Figuur 12: Consistometer (machine voor de Vebe-proef) [17].....	22
Figuur 13: Drukproef proefopstelling [22].....	24
Figuur 14: Opstelling impactproef	25
Figuur 15: Opstelling shatterproef (1).....	26
Figuur 16: Opstelling shatterproef (2).....	26
Figuur 17: Bemating opstelling shatterproef.....	27
Figuur 18: Uitvoeren van de Vebe-proef	29
Figuur 19: Grafiek gemiddelde druksterkte	32
Figuur 20: Grafiek individuele druksterkte	32
Figuur 21: Schadepatroon proefstukken	33
Figuur 22: Doorbuiging en rebound samenstelling 1	34
Figuur 23: Doorbuiging en rebound samenstelling 2.....	34
Figuur 24: Doorbuiging en rebound samenstelling 3.....	34
Figuur 25: Doorbuiging en rebound samenstelling 4.....	35
Figuur 26: Doorbuiging en rebound samenstelling 5.....	35
Figuur 27: Schadepatroon proefstuk van samenstelling 1	36
Figuur 28: Schadepatroon proefstuk van samenstelling 2	37
Figuur 29: Schadepatroon proefstuk van samenstelling 3	37
Figuur 30: Schadepatroon proefstuk van samenstelling 4	37
Figuur 31: Schadepatroon proefstuk van samenstelling 5	37
Figuur 32: Gemiddelde opgenomen energie	38
Figuur 33: Shatteren samenstelling 1	39
Figuur 34: Shatteren samenstelling 2	40
Figuur 35: Shatteren samenstelling 3	41
Figuur 36: Shatteren samenstelling 4	42
Figuur 37: Shatteren samenstelling 5	43
Figuur 38: Verhouding shatteren en hoeveelheid vezels	44

Verklarende woordenlijst

ASI-waarde	een waarde voor de ernst van een beweging die een persoon ondervindt bij een crash met een geleideconstructie
Ballingeffect	het samenklitten van de vezels in het beton
CERG	Construction Engineering Research Group
CUR-aanbevelingen	publicaties waarin afspraken tussen partijen in de bouw zijn vastgelegd
PE-folie	polyethyleen-folie
Rebound	het terug omhoog kaatsen van het valgewicht
Shatteren	het afspringen van betonstukken
THIV	de ernst van de impact voor een inzittende van het voertuig dat crasht met de geleideconstructie

Abstract

Het fabriceren van synthetische vezels voor het gebruik in betonnen elementen is een onderzoek dat wordt uitgevoerd binnen de groep Low & Bonar. Het gebruik van vezels in beton voor schampwanden voor voertuigen wordt onderzocht in deze scriptie. De voornaamste aspecten binnen dit toepassingsgebied zijn afspringen van betonstukken en opnemen van de energie bij een impact van een voertuig. Deze aspecten vormen de centrale probleemstelling.

Door het maken van betonnen elementen met verschillende samenstellingen wordt een vergelijkende studie opgesteld. Voor het beproeven van de elementen wordt er gebruik gemaakt van een valgewicht dat van een welbepaalde hoogte wordt losgelaten. Door het beproeven en vergelijken van de karakteristieken van deze verschillende betonsamenstellingen worden de voordelen aangetoond.

Dit onderzoek toont aan dat de toegepaste vezelverhoudingen in mindere mate bijdragen in het opnemen van impactenergieën. Wel kan besloten worden dat synthetische vezels de elementen, maar ook de oppervlakte ervan, duurzamer maken. Ook het afspringen van betonstukken van de schampwanden wordt bij het gebruik van vezelversterkt beton gereduceerd. Door deze positieve resultaten is er een stap gezet in de richting van een nieuw toepassingsgebied van vezelversterkt beton.

Abstract in English

The manufacture of synthetic fibers for use in concrete elements is a research carried out within the Low & Bonar group. This thesis examines the use of fibers in concrete barriers for vehicles. The main aspects of this field of application are shattering of concrete pieces and energy absorption with the impact of a vehicle. These aspects form the central issue of this master's thesis.

A comparative study is made by making concrete elements with different compositions. For testing the elements, a drop weight is used which is released from a certain height. By testing and comparing the characteristics of these different concrete compositions, the advantages are demonstrated.

This research shows that the fiber ratios used contribute, to a lesser extent, to the absorption of impact energy. But it can be concluded that synthetic fibers make the elements, but also their surface, more durable. And this research also concludes that the shattering of concrete pieces of the concrete barriers is also reduced when using fiber reinforced concrete. Due to the positive results, a step has been taken towards a new field of application of fiber reinforced concrete.

1 Inleiding

Deze masterproef onderzoekt de toepasbaarheid en duurzaamheid van vezelversterkt beton in schampwanden. Schampwanden zijn de geleideconstructies die grotendeels terug te vinden zijn op autosnelwegen. De twee grote groepen van schampwanden zijn de stalen geleiderailconstructies en de betonnen geleideconstructies. Deze masterproef verdiept zich in de laatste groep. De duurzaamheid van deze wanden wordt onderzocht in samenwerking met Low & Bonar en Construction Engineering Research Group (CERG) van UHasselt.

Low & Bonar is een bedrijf dat op zoek is naar vernieuwende technologieën en componenten om zo de prestaties van reeds bestaande materialen of uitvoermethodes te verbeteren. Het is een van de bedrijven die vezels uit kunststof produceren en hierbij innovatieve toepassingen onderzoekt. Het implementeren van vezels bij de uitvoering van schampwanden is een idee om zo de kwaliteit en de duurzaamheid van de schampwanden te optimaliseren.

CERG is een onderzoeksgroep van de UHasselt die zich situeert in twee onderzoekslijnen. De onderzoeklijn die samenhangt met deze masterproef is het onderzoeken van het gedrag van structuurcomponenten in beton. Deze onderzoeksgroep werkt met eindige-elementenmodellen die vergeleken worden met experimentele resultaten uit hun eigen onderzoekslabo. Op deze manier kan men de sterkte, levensduur en de schade bepalen in betonconstructies.

Er zijn reeds vergelijkende studies gedaan over de eigenschappen en het gedrag van vezelversterkt beton en traditioneel gewapend beton. Zo heeft vezelversterkt beton een betere brandweerstand, een hogere draagkracht en is deze beter bestand tegen aardbevingen en explosies, enzovoort [1]. Momenteel is vezelversterkt beton al in zekere mate aanwezig in de Europese bouwwereld. Deze betonsoort wordt reeds toegepast als constructiemateriaal bij tunnelbouw, bedrijfsvloeren, sluisdeuren, enzovoort. Over het gebruik van vezels in schampwanden is echter nog niet zoveel geweten. In hoofdstuk 1.1 wordt er dieper ingegaan op deze materie.

Bij een botsing van een voertuig bestaat de kans dat er betonstukken afspringen van de schampwanden. Dit afspringen van beton wordt ook wel *shatteren* genoemd. Daarom wil Low & Bonar weten of de duurzaamheid van een schampwand verhoogd kan worden d.m.v. toevoeging van vezels, zonder dat de integriteit verandert. Als de schampwanden niet meer zo snel vervangen dienen te worden na een botsing zou dit positieve ecologische gevolgen hebben. Buiten de ecologische verbetering is het uiteraard ook economisch interessant.

Voordat betonnen schampwanden de Europese normering (NBN EN 1317-1) [1] verkrijgen worden deze getest onder genormeerde omstandigheden en op ware grootte. Zo worden de elementen onderworpen aan auto's, bussen en vrachtwagens om de verschillende elementen zoals het kerend vermogen, de schokindex, de werkingsbreedte van de schampwand en de voertuigoverhelling in kaart te brengen. De verschillende elementen worden uitgebreid besproken in hoofdstuk 1.2.

Het is onmogelijk om de proeven voorgeschreven volgens de normen (NBN EN 1317-1) [1] voor schampwanden uit te voeren in een masterproef. Zo is uit nader onderzoek gebleken dat het verschalen van de schampwanden en de Europese testmethode niet te verzoenen zijn.

In de praktijk zijn er verschillende energieën die bij een botsing met een schampwand vrijkomen. Zo zal de wand een deel van de energie opvangen maar ook zal er een energie ontstaan die de wand vervormt. Hetzelfde geldt voor de auto die een energie krijgt waarmee hij terugkaatst en energie krijgt waarmee hij vervormt. Aangezien het laten botsen van auto's op schampwanden geen mogelijkheid is binnen deze masterproef, zal enkel de bepaling van het behoud van de integriteit van het beton behandeld worden.

De duurzaamheid van de schampwanden vervaardigd uit vezelversterkt beton kan vergeleken worden met schampwanden vervaardigd volgens de traditionele methode. Er wordt gezocht naar een zo ideaal mogelijke samenstelling zodat een schampwand met deze samenstelling na een eenmalige botsing minder snel dient vervangen te worden.

In hoofdstuk 2 worden de gebruikte betonsamenstellingen weergegeven. Tevens worden hierin ook de onderzoeksproeven en de gesimplificeerde proefopstellingen, die gebruikt worden in deze masterproef, voorgesteld.

De onderzoeksresultaten van de onderzoeksproeven worden in hoofdstuk 3 uitvoerig besproken. Na de analyse van deze resultaten wordt er in hoofdstuk 4 een algemeen besluit gevormd.

1.1 Vezelversterkt beton

Het wapenen van beton op traditionele wijze geniet nog zeer regelmatig de voorkeur van aannemers voor vele bouwtoepassingen. Door de goed onderzochte eigenschappen vormt deze wapeningsmethode een voordeel. Voor het aanbrengen van de constructies dienen echter vele arbeidsuren worden ingezet; het transporteren van de wapening, het opstellen van de wapeningsplannen, het aanbrengen ervan, enzovoort vergt tijd. Dit alles kan met het gebruik van vezelversterkt beton tot het verleden behoren [2].

1.1.1 Toepassingen

Vezelversterkt beton begint meer en meer vertrouwd te geraken bij de aannemer. Hierdoor zijn er reeds toepassingsgebieden waar deze betonsoort wordt gebruikt. Vezelversterkt beton wordt toegepast in ter plaatse gestorte constructies, maar ook in prefab elementen. In prefab elementen wordt het hoofdzakelijk gebruikt om de schade van de elementen tijdens het transport tot nul te reduceren. Bij de ter plaatse gestorte beton vindt het vezelversterkt beton vaak zijn toepassing in vloeren, funderingszolen, druklagen van welfsels of breedvloerplaten, keldermuren, enzovoort [3].

Vooraleer er elementen in vezelversterkt beton worden vervaardigd, dient er een mogelijkheid te zijn voor het dimensioneren van deze samenstelling. Deze dimensionering is mogelijk door het volgen van bepaalde CUR-aanbevelingen.

Een specifiek voorbeeld van de toepassing van vezelversterkt beton zijn de vloeren aan een tankstation. Deze betonsoort wordt hier gebruikt om zo krimpscheuren te voorkomen. Hierdoor wordt het beton nog meer waterdicht en bij het eventueel morsen van benzine of diesel aan een tankstation kan er zich geen bodemverontreiniging voordoen. Het verschijnsel van krimpscheuren wordt verder in deze literatuurstudie nog besproken.

Een tweede voorbeeld is het gebruik in druklagen. Dit omdat er op druklagen vaak een minimale wapening noodzakelijk is wanneer er op de vloerdelen een beperkte belasting zal aangrijpen. Deze minimale wapening zorgt in deze gevallen om de schijfwerking van de vloeren te garanderen en de scheurvorming te beperken. Ook met vezelwapening kunnen deze eigenschappen gegarandeerd worden [4].

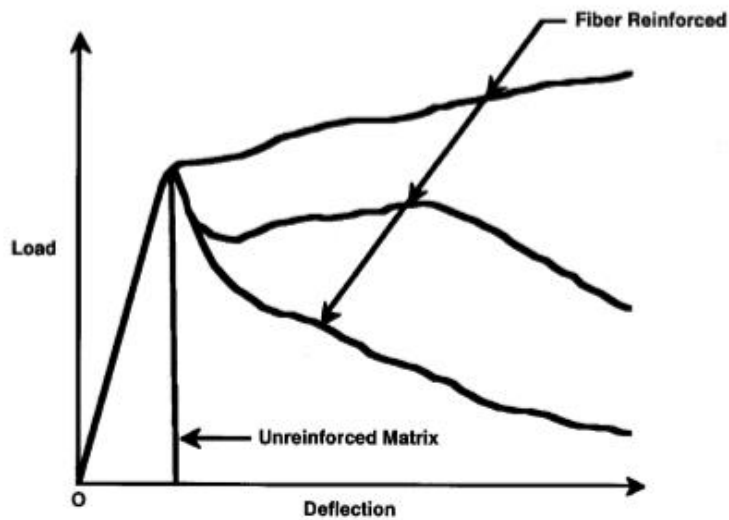
1.1.2 Karakteristieken

De producenten en onderzoekers die het gebruik van vezelversterkt beton trachten te verhogen, zijn momenteel bezig met het uitwerken van proefmethoden om de materiaaleigenschappen beter in kaart te brengen. Hieronder zijn reeds onderzochte en gekende karakteristieken terug te vinden. Ook het uitwerken van rekenmethodes is een werkpunt om zo de betrouwbaarheid van vezelversterkt beton gelijk te brengen met die van het traditionele gewapende beton. [2]

Structurele gedrag

De buigsterkte van materialen wordt aangetoond door drie- of vierpuntsbuigproeven. Bij het bereiken van de uiterste grenstoestand zal ongewapend beton, in tegenstelling tot

vezelversterkt beton, al zijn draagcapaciteiten verliezen. Figuur 1 toont het gedrag van ongewapend en van vezelversterkt beton aan bij een buigproef.



Figuur 1: Traditioneel vs. vezelversterkt beton bij buigproeven [5]

Bij een ongewapende samenstelling ontstaat er een brosse breuk wanneer de maximale buigtreksterkte is gehaald. Bij een vezelversterkte samenstelling is dit niet het geval. Door de aanwezigheid van vezels kan er nog steeds energie opgenomen worden doordat deze vezels de scheuren overbruggen. Deze verdere opname van energie wordt ook het na-scheurgedrag genoemd.

Krimpscheuren

Door de uniforme verdeling van de vezels worden de krimpscheuren aanzienlijk gereduceerd. Dit komt omdat op elke plaats waar een scheur dreigt te ontstaan een vezel zit, dewelke dit verschijnsel voorkomt. [5]

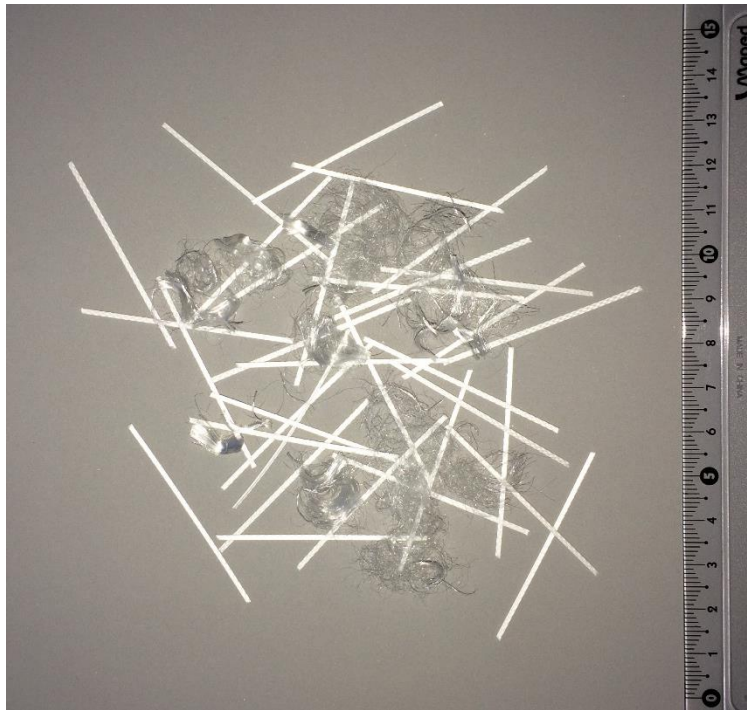
Door het verminderen van de scheuren daalt ook de porositeit van het materiaal. Dit zorgt voor een betere verdichting en bijgevolg een betere duurzaamheid. Deze betere verdichting heeft ook een positieve invloed op de waterdichtheid van het beton.

Druksterkte

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat de druksterkte van vezelversterkt beton hoger ligt dan deze van traditioneel beton. Ook verhoogt de druksterkte naarmate er een grotere hoeveelheid vezels aan het mengsel wordt toegevoegd [6]. Deze eigenschappen zijn uitsluitend voor samenstellingen met staalvezels. In deze masterproef wordt er echter gewerkt met synthetische vezels die normaliter geen impact hebben op de druksterkte van de samenstellingen. Bij het toevoegen van grote hoeveelheden synthetische vezels zal de druksterkte afnemen.

1.1.3 Macro- versus microvezels

Vezels zijn opgedeeld in twee hoofdgroepen: macro- en microvezels. De macrovezels dienen om de treksterkte van het beton te verhogen. Dit zijn de structurele vezels. Deze vezels vervangen de wapeningsstaven welke bij traditioneel gewapende beton worden toegepast. Ook elimineren of verminderen deze vezels de krimp- of kruipscheuren in het beton [3]. In figuur 2 worden synthetische macro- en microvezels weergegeven.



Figuur 2: Micro- en macrovezels

1.1.4 Vezeltypes

Er worden reeds verschillende vezeltypes gebruikt in de bouwwereld. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen natuurlijk en kunstmatig geproduceerde vezels. Onder natuurlijke vezels worden basalt, vlas, netel, enzovoort bedoeld. Kunstmatig geproduceerde vezels worden doorgaans vervaardigd uit staal-, glas-, polypropyleen-, polyvinylalcoholvezels, enzovoort [7]. De synthetische- en staalvezels worden verder toegelicht aangezien deze het meest gebruikt worden in de bouwwereld.

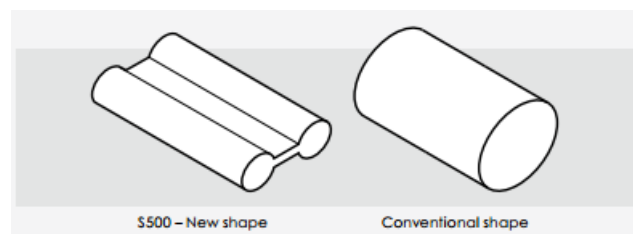
Het gebruik van vezels uit staal gebeurt het vaakst in de betonsector. Bijgevoegd wordt in deze scriptie gebruik gemaakt van synthetische vezels. Hierdoor beperkt het zich tot het bespreken van de synthetische en staalvezels.

Synthetische vezels

Synthetische vezels worden gekenmerkt door een laag gewicht wat zorgt voor een gemakkelijkere verwerkbaarheid in vergelijking met staalvezels. Door de flexibiliteit van synthetische vezels buigen de vezels rond de granulaten in het beton. Dit resulteert in betere adhesie van het beton.

De proeven die terug te vinden zijn in de onderzoeksmethode worden uitgevoerd met synthetische vezels genaamd Durus S500 en Crackstop M Ultra. De technische fiches van deze vezeltypes zijn terug te vinden in bijlage 1 en 2. Deze vezel wordt ontwikkeld en geproduceerd door Low & Bonar nv. De verkoop van de vezels gebeurt onder het premium merk Adfil. De vezel Durus S500 heeft enkele verbeterde eigenschappen t.o.v. andere vezelsoorten.

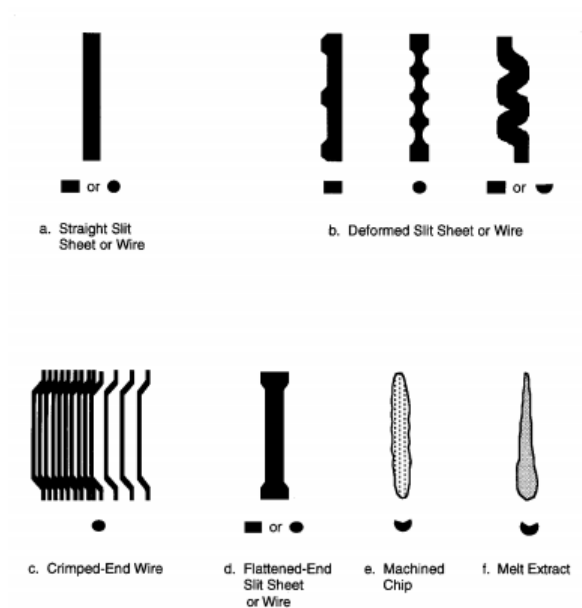
Een eerste eigenschap is dat deze vezels een grotere individuele treksterkte kunnen verdragen. De treksterkte van de Durus S500 ligt in de orde grootte van 470MPa. Een tweede positieve eigenschap is dat er meer vezels per kubieke meter beton kunnen toegepast worden doordat de diameter van de vezels beduidend smaller is dan bij andere synthetische vezels. Een derde en laatste eigenschap is dat Bonar voor een innovatieve vezel gezorgd heeft dankzij zijn vorm. Zoals te zien in figuur 3 is de doorsnede van de vezel niet meer rond. Deze grillige vorm zorgt voor een betere hechting tussen het beton en de vezel. Al deze eigenschappen zorgen, met de juiste materiaalverhoudingen, voor een verbetering van de sterkte van het vezelbeton.



Figuur 3: Durus S500 vs. conventionele vezel [8]

Staalvezels

De meest eenvoudige staalvezels zijn gladde vezels met een ronde doorsnede. Deze staalvezels hebben doorgaans een slechtere adhesie met het beton. Vezels met een gegolfde vorm over de gehele lengte of op de uiteinden hebben een betere adhesie met het beton. Figuur 4 toont verschillende vormen van staalvezels.



Figuur 4: Verschillende vormen van staalvezels [5]

1.1.5 Traditioneel gewapend vs. vezelversterkt beton

In hoofdstuk 1.1.2 zijn er reeds verschillen opgesomd tussen traditioneel gewapend en vezelversterkt beton zoals structurele gedrag, daling van het poriënvolume, betere duurzaamheid, enzovoort. Een laatste verschil tussen deze twee betontypen is de uitvoeringstermijn.

Traditioneel gewapend beton vergt een relatief lange voorbereidingstijd vooraleer het beton kan gestort worden. Deze lange voorbereidingstijd is te danken aan de te plaatsen bekisting, ondergrond in de vorm van bv. PE-folie, afstandhouders voor de wapening en ten slotte de wapening zelf. Dit laatste heeft een groot aandeel in het maken van een ter plaatse gestorte betonplaat [3].

Het wapenen met wapeningsnetten dient niet meer te gebeuren indien er gebruik gemaakt wordt van vezelversterkt beton. Hierdoor kan de arbeidstijd op de werf sterk gereduceerd worden. Dit leidt tot een aanzienlijke rendementsverhoging [3].

1.2 Geleideconstructies

Zoals eerder vermeld wordt in dit onderzoek de vergelijking gemaakt tussen traditioneel gewapend en vezelversterkt beton, toegepast in schampwanden. Om dit toepassingsgebied beter te begrijpen worden in dit hoofdstuk de eigenschappen en de werking van geleideconstructies besproken.

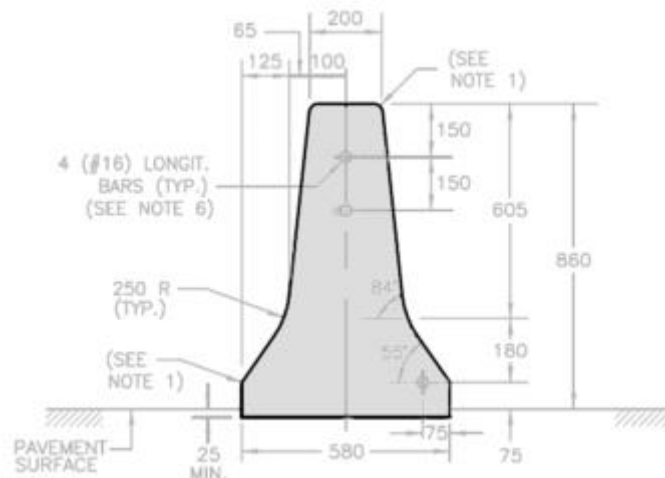
Er zijn twee hoofdgroepen te onderscheiden in geleideconstructies. Deze twee grote groepen van deze schampwanden zijn de stalen geleiderailconstructies en de betonnen geleideconstructies. Zoals eerder verteld, verdiept deze masterproef zich in de laatste groep.

1.2.1 Typen betonnen geleideconstructies

New Jersey

De bekendste betonnen wegafscheiding is de New Jersey (zie Fig. 5). Het profiel is zo ontwikkeld zodat de banden van het voertuig op het onderste hellende oppervlak rijden indien ze een kleine botsingshoek hebben. Op die manier blijft de blikshade van het voertuig beperkt. Bij een grotere botsingshoek zal de bumper botsen met de barrière. De botsing zorgt voor een verticale verplaatsing van het voertuig. Indien het voertuig een zwakke bumper heeft zal de bumper eerst verpletteren voor het voertuig een verticale verplaatsing ondervindt. In dit geval zal het wiel contact maken met het onderste hellende oppervlak. De verticale verplaatsing wordt dan veroorzaakt doordat het onderste hellende oppervlak de voorwielophanging samendrukt [9].

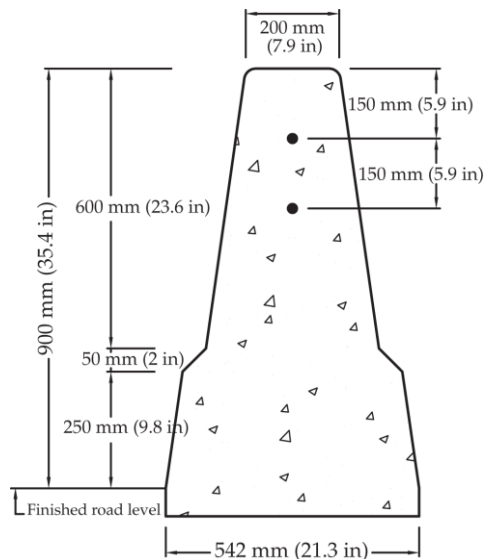
Ruwe en uitgewassen oppervlakken moeten vermeden worden aangezien het schuren van het oppervlak met een voertuig een extra verticale verplaatsing veroorzaakt. Het voertuig moet voldoende opgetild worden om de wrijving tussen de banden en het verharde wegdek te verminderen. Dit helpt om het voertuig terug controle te laten krijgen. Als het voertuig te hoog in de lucht is opgetild kan het voertuig beginnen te rollen wanneer de wielen terug in contact komen met de grond [9].



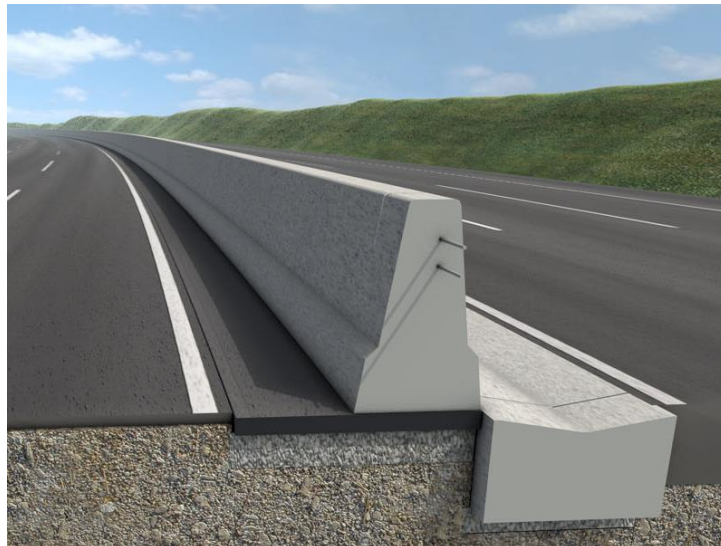
Figuur 5: Schematische tekening van New Jersey [10]

Stepprofiel

Indien een klein voertuig met hoge snelheid tegen het New Jersey profiel aanrijdt, ontstaat de kans dat het voertuig over de kop gaat. Daarom zijn er onderzoeken gebeurd naar andere profielen, uiteindelijk is het Stepprofiel ontwikkeld. De schematische tekening en een doorsnede zijn terug te vinden in figuur 6 en 7. Dit profiel heeft als voordeel dat er een sterk verminderde kans is op *roll-over* ongevallen alsook een verminderde schade bij lichte aanrijdingen [11].



Figuur 6: Schematische tekening van Stepprofiel [12]



Figuur 7: Doorsnede van Stepprofiel [13]

1.2.2 Geleideconstructie in situ

Het is mogelijk om de betonnen geleideconstructies ter plaatse uit te voeren met een glijbekistingsmachine. Op die manier kunnen zeer hoge dagproducties verwezenlijkt worden; er worden rendementen gehaald van 400m tot 800m per dag. De geleideconstructies kunnen losstaand geïnstalleerd worden of ze kunnen verankerd worden aan de onderlaag. De onderlaag is ofwel een bestaande verharding uit asfalt of beton ofwel een fundering uit schraal beton [11].

Indien de opdrachtdocumenten geen informatie geven over de geleideconstructie, dan moet deze minstens aan onderstaande voorwaarden van het Standaardbestek 250 [14] voldoen:

- Minimaal kerend vermogen T3 voor noodsituaties of tijdelijke geleideconstructies;
- Voor alle andere gevallen moet het kerend vermogen minstens H2 zijn;
- Maximale genormaliseerde werkingsbreedte W2 voor tijdelijke geleideconstructies;
- Maximale genormaliseerde werkingsbreedte W6 voor alle andere gevallen met uitzondering voor een opstelling met dubbele rij, hiervoor geldt de waarde W7;
- Enkel schokindex A en B van toepassing [14].

Deze voorwaarden worden verder in deze masterproef nog verklaard.

1.2.3 Beton in schampwanden

Karakteristieken

Voor ter plaatse gestorte elementen moet het beton voldoen aan een consistentieklasse van S1. Dit wil zeggen dat het beton bijna niet inzakt, het beton mag een maximale inzakking van 25mm hebben. Deze wetgeving voorkomt dat het geëxtrudeerde profiel wat uit de mal komt gaat vervormen. Om de consistentieklasse S1 te behalen wordt met een vrij droog, stug beton van gebroken steenslag gewerkt met toevoeging van grof en fijn zand. Er moet beton gebruikt worden met omgevingsklasse EE4 tenzij het anders vermeld staat in de aanbestedingsdocumenten [11].

Volgens het Standaardbestek 250 [14] moet het beton bovendien voldoen aan volgende eigenschappen:

- Een minimaal cementgehalte van 350 kg/m³
- Een maximale korrelmaat van 31,5mm
- De individuele wateropslorping moet kleiner zijn of gelijk aan 6,8%
- De gemiddelde wateropslorping moet kleiner zijn of gelijk aan 6,3%
- De minimale vereiste druksterkte bedraagt na 90 dagen:
 - o Individueel = 42,5 MPa;
 - o Gemiddeld = 50,0 MPa [14].

Betonsamenstelling

Volgens het standaardbestek moeten volgende materialen in het beton zitten:

- Zand voor cementbeton voor wegenwerken volgens 3-6.2.5
- Steenslag voor cementbeton voor wegverhardingen en lijnvormige elementen volgens 3-7.1.2.5
- Cement CEM I-LA of cement CEM III/A-LA van de sterkte klasse 42,5 volgens 3-8.1
- Hulpstoffen en toevoegsels voor mortel en beton volgens 3-20
- Aanmaak water volgens NBN EN 1008
- Betonoppervlaktebehandelingsproducten volgens 3-15
- Voegvullingsproducten volgens 3-16
- Plastiekfolie volgens 3-13.1
- Staalproducten voor het wapenen of het versterken van beton volgens 3-12.2

Er wordt ofwel wapening voorzien ofwel gewerkt met staalvezels om de impact op te vangen [14]. Ze houden het beton samen als het verbrijzeld wordt [11].

Om de vier meter worden er zaagsneden van 40 millimeter diep en drie millimeter breed aangebracht. Deze zaagsneden zullen de krimpbeweging van de constructie opvangen [11].

1.2.4 Geleideconstructie in prefab

Een andere mogelijkheid is om prefab elementen te maken die dan ter plaatse worden geassembleerd. De elementen worden gewapend met wapeningsstaven en/of met verbindingstangen. Er worden verbindingselementen mee ingestort aan beide uiteinden van de elementen. Op deze manier kunnen de verschillende elementen ter plaatse verbonden worden tot een keten. In geval van een aanrijding laten de onderlinge scharnieren een beperkte verplaatsing toe. De impact wordt deels opgevangen door deze scharnieren [11].

Aangezien een kraan maar een bepaald gewicht kan dragen worden de elementen met een maximale lengte van 6 meter uitgevoerd. Er kunnen bochten met een kromtestraal van 250 meter gerealiseerd worden met deze elementen. Kleinere elementen moeten worden gebruikt om een kleinere kromtestraal te realiseren. Voor elke situatie met een verschillende prestatieklasse zal de producent een specifiek type voorstellen [11].

1.2.5 Duurzaamheid van betonnen geleideconstructies

Beton is het meest toegepaste bouw materiaal ter wereld. De cement- en betonindustrie leveren dan ook inspanning om beton zo milieuvriendelijk te produceren. Ze houden rekeningen met:

- Het beperken van broeikasgassen en emissies bij de productie;
- Het gebruik van recyclageproducten en bijproducten;
- De lage energie, de levensduur en het minimale onderhoud van de constructie.

Na impact van een voertuig moeten betonnen geleideconstructies in tegenstelling tot stalen vangrails zelden of nooit vervangen worden. De sporen van banden en carrosserie worden slechts zichtbaar na ernstige aanrijdingen [11].

1.2.6 Norm NBN EN 1317

Kerend vermogen

De veiligheid van een geleideconstructie moet verzekerd zijn, daarom is er een norm ontwikkeld die de constructie onderwerpt aan verschillende proeven. Zo wordt er een botsproef uitgevoerd om de sterkte van de constructie te bepalen. De sterkte van de constructie wordt onderverdeeld in verschillende prestatieklassen [11]. Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillende botsproeven met hun voorwaarden.

Tabel 1: Overzicht van de botsproeven [15]

Test	Impact snelheid km/h	Impact hoek °	Totale massa kg	Type voertuig
TB 11	100	20	900	personenwagen
TB 21	80	8	1 300	personenwagen
TB 22	80	15	1 300	personenwagen
TB 31	80	20	1 500	personenwagen
TB 32	110	20	1 500	personenwagen
TB 41	70	8	10 000	vrachtwagen (1 geheel)
TB 42	70	15	10 000	vrachtwagen (1 geheel)
TB 51	70	20	13 000	autobus
TB 61	80	20	16 000	vrachtwagen (1 geheel)
TB 71	65	20	30 000	vrachtwagen (1 geheel)
TB 81	65	20	38 000	vrachtwagen (trekker + oplegger)

Om aan een zekere prestatieklasse te voldoen moet de constructie een voertuig onder bepaalde snelheid en een bepaalde impactshoek kunnen opvangen. Dit wordt het kerend vermogen genoemd [11]. De verschillende niveaus van het kerend vermogen zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Niveaus van het kerend vermogen [15]

Niveaus van kerend vermogen		Aanvaardingsproeven
Kerend vermogen met lage aanrijhoek	T1	TB 21
	T2	TB 22
	T3	TB 41 en TB 21
Normaal kerend vermogen	N1	TB 31
	N2	TB 32 en TB 11
Hoog kerend vermogen	H1	TB 42 en TB 11
	L1	TB 42 en TB 32 en TB 11
	H2	TB 51 en TB 11
	L2	TB 51 en TB 32 en TB 11
	H3	TB 61 en TB 11
	L3	TB 61 en TB 32 en TB 11
Zeer hoog kerend vermogen	H4a	TB 71 en TB 11
	H4b	TB 81 en TB 11
	L4a	TB 71 en TB 32 en TB 11
	L4b	TB 81 en TB 32 en TB 11

Het eerste niveau is het kerend vermogen voor een botsing met een lage impactshoek. De geleideconstructies die hieronder vallen worden toegepast als tijdelijke geleideconstructies. Indien een constructie succesvol getest is voor een hoger kerend vermogen worden alle lagere niveaus ook aanvaard als het om hetzelfde voertuig gaat [11].

Ernst van de impact

De schokindex ook ASI-waarde genoemd, is een waarde voor de ernst van een beweging die een persoon ondervindt bij een crash met een geleideconstructie. De waarde wordt gemeten in een vast punt in de nabijheid van het massacentrum van het voertuig. Er wordt gekeken welke vertragingen in verschillende richtingen dit vast punt ondergaat [11].

Om de ernst van de impact voor een inzittende van het voertuig dat crasht met de geleideconstructie te bepalen is THIV ontwikkeld. Als de snelheid van het voertuig wijzigt door het crashen op de geleideconstructie, zal een vrij bewegend voorwerp in beweging blijven totdat het in aanraking komt met het binnen oppervlak van het voertuig. Er wordt een maat genomen van de snelheid van deze botsing van het vrij bewegend voorwerp [11].

Deze proeven worden uitsluitend uitgevoerd met personenwagens. Het hoogst bekomen resultaat geeft het niveau van de ernst van de impact weer. De ernst wordt opgedeeld in drie verschillende klassen. Iedere klasse heeft een andere maximale ASI-waarde, de THIV-waarde verandert niet en heeft een maximum van 33 km/h. Hoe lager de ASI-waarde, hoe veiliger het is voor de inzittende van een botsend voertuig. Zo is klasse A veiliger dan klasse B en klasse B veiliger dan klasse C [11]. Deze klassen worden weergegeven in tabel 3.

Tabel 3: Niveaus voor de ernst van de impact [15]

Klasse voor de ernst van de impact	Indexwaarden		
A	$ASI \leq 1,0$	en	$THIV \leq 33 \text{ km/h}$
B	$ASI \leq 1,4$		
C	$ASI \leq 1,9$		

Vervorming

De geleideconstructies zijn onderhevig aan een bepaalde vervorming. Deze vervorming wordt gekenmerkt door de dynamische uitwijking, de werkingsbreedte en de voertuigoverhelling. De dynamische uitwijking (Dm) is de maximale dynamische verplaatsing dat een punt ondergaat. Het punt bevindt zich op het vlak van de geleideconstructie waarvan de zijde zich langs het verkeer bevindt. De werkingsbreedte (Wm) is de maximale zijdelingse afstand vanaf het onvervormd vlak dat zich situeert aan de verkeerszijde tot aan de maximale dynamische positie van om het even welk deel van de constructie. Deze klassen van de werkingsbreedte is terug te vinden in tabel 4.

Tabel 4: Klassen voor de genormaliseerde werkingsbreedte [15]

Klassen	Niveaus van genormaliseerde werkingsbreedte
W1	$W_N \leq 0,6 \text{ m}$
W2	$W_N \leq 0,8 \text{ m}$
W3	$W_N \leq 1,0 \text{ m}$
W4	$W_N \leq 1,3 \text{ m}$
W5	$W_N \leq 1,7 \text{ m}$
W6	$W_N \leq 2,1 \text{ m}$
W7	$W_N \leq 2,5 \text{ m}$
W8	$W_N \leq 3,5 \text{ m}$

De voertuigoverhelling (VI_m) wordt gemeten op vrachtwagens. Dit is de afstand van de maximale dynamische zijdelingse positie van de vrachtwagen tot het onvervormd vlak aan de verkeerszijde van de geleideconstructie. Deze klassen worden weergegeven in tabel 5. De waarden van de voertuigoverhelling worden met behulp van hogesnelheid opnames verkregen. Met behulp van deze waarden kunnen de installatievoorwaarden worden bepaald om zo de correcte afstand er tussen de geleideconstructie en een obstakel te voorzien. De gemeten waarden worden aan de hand van formules omgezet naar genormaliseerde waarden om ze zo te classificeren in verschillende klassen [11].

Tabel 5: Klassen voor de genormaliseerde voertuigoverhelling [15]

Klassen	Niveaus van genormaliseerde voertuigoverhelling
VI ₁	$VI_N \leq 0,6 \text{ m}$
VI ₂	$VI_N \leq 0,8 \text{ m}$
VI ₃	$VI_N \leq 1,0 \text{ m}$
VI ₄	$VI_N \leq 1,3 \text{ m}$
VI ₅	$VI_N \leq 1,7 \text{ m}$
VI ₆	$VI_N \leq 2,1 \text{ m}$
VI ₇	$VI_N \leq 2,5 \text{ m}$
VI ₈	$VI_N \leq 3,5 \text{ m}$
VI ₉	$VI_N \geq 3,5 \text{ m}$

1.3 Conclusie inleiding

De eigenschappen van een schampwand dienen bij elk nieuw type getest te worden vooraleer het in de praktijk mag worden toegepast. De meest belangrijke eigenschappen zijn het niet doorbreken en het verminderde terugkaatsen van een voertuig bij een botsing. De eigenschap van het niet doorbreken van de schampwand wordt normaliter gehaald door de aanwezigheid van de twee stalen kabels. De vorm van de schampwand zorgt dan weer voor de reductie van de terugkaatsing van de wagen.

Het gebruik van vezels in beton zorgt voor een verbetering van het structurele gedrag. Zo zal er bij traditioneel beton een brosse breuk optreden wanneer de maximale treksterkte is bereikt. Bij vezelversterkt beton zal er na het breken van het betonelement nog steeds energie kunnen worden opgenomen doordat de vezels de breuk overbruggen.

De oppervlakteruwheid neemt minder snel toe in verloop van tijd door de aanwezigheid van macrovezels. Deze oppervlakteruwheid is een belangrijk aspect bij schampwanden. Wanneer de oppervlakteruwheid te groot is kan het voorvallen dat bij een botsing het voertuig te hoog wordt opgetild, wat voor een *roll-over* kan zorgen.

2 Methodologie

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt allereerst besproken op welke wijze de specimens gemaakt worden. Zo wordt er verduidelijkt welke materialen en welke verhoudingen gebruikt worden. Verder worden de verschillende onderzoeksproeven, die in deze masterproef aan bod komen, verduidelijkt.

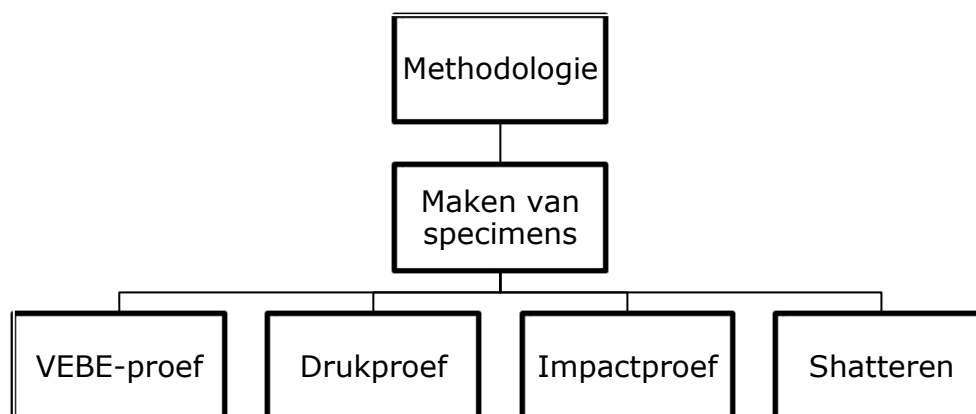
De onderzoeksproeven die worden verduidelijkt:

- VEBE-proef,
- Drukproef,
- Impactproef,
- *Shatteren*.

De VEBE-proef wordt verduidelijkt om de consistentieklasse van de betonsamenstellingen te bepalen. Dit wordt meegenomen in dit onderzoek omdat dit gegeven zeer belangrijk is voor wegenisbeton. Om diezelfde reden wordt de druksterkte van de verschillende samenstellingen bepaald. Hierdoor wordt ook de werking van een drukproef verderop besproken.

Voor de proef in verband met het bepalen van de impactenergie en de hoeveelheid *shatteren* wordt een alternatieve proefopstelling gebruikt dan voorgeschreven in de Belgische norm. De verduidelijking van de proefopstelling die gebruikt is in deze masterproef voor het bepalen van de voorgaande eigenschappen is terug te vinden in hoofdstuk 2.3.3 en 2.3.4.

Onderstaande figuur geeft de essentie van de methodologie weer in een samenvattend schema.



Figuur 8: Schema onderzoeksproeven

2.2 Maken van specimens

Beton is een mengeling van volgende bestanddelen:

- Granulaten
- Zand
- Cement
- Water
- Hulpstoffen
- Toevoegsels

Het zand en de granulaten worden verkocht aan de hand van een korrelverdeling; hiermee worden de maximale en minimale korreldiameter weergegeven. Het cement wordt onderverdeeld in verschillende sterkteklassen. De consistentieklasse van beton hangt af van de water-cement factor. Door het toevoegen van extra hulpstoffen kan het beton vloeibaarder gemaakt worden [16].

2.2.1 Gebruikte betonsamenstellingen

De betonsamenstellingen die in deze masterproef gebruikt worden zijn opgevraagd bij een gerenommeerde betoncentrale. Deze samenstellingen worden doorgaans het vaakst gebruikt bij het vervaardigen van schampwanden. De technische fiches van de gebruikte materialen zijn terug te vinden in bijlage één tot en met zes.

De samenstellingen die zijn toegepast zijn in onderstaande tabel terug te vinden. De traditionele beton is samenstelling 1. Bij samenstelling 2 tot 5 zijn er micro- en macrovezels toegevoegd. Bij deze laatste samenstellingen zijn telkens verschillende vezelverhoudingen toegevoegd. Een belangrijk aspect is dat bij de samenstellingen waar vezels zijn toegevoegd, de waterhoeveelheid wordt opgetrokken. Dit omdat de vezels water gaan opslorpen.

Tabel 6: Samenstellingen

	Samenstelling				
	1	2	3	4	5
Cement CEM III/A 42,5 N LA	375 kg	380 kg	380 kg	380 kg	380 kg
Water	145 kg	168 kg	168 kg	168 kg	168 kg
Water-cement factor	0,39	0,44	0,44	0,44	0,44
Rijnzand 0/2	826 kg	800 kg	800 kg	800 kg	800 kg
Moulongrind 8/16	716 kg	692 kg	692 kg	692 kg	692 kg
Grind 3/8	301 kg	291 kg	291 kg	291 kg	291 kg
Plastificeerder	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg
Luchtbelvormer	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg	1 kg
Microvezels - Crackstop 12 mm	0 kg	1 kg	1 kg	2 kg	2 kg
Macrovezels – Durus S500 45 mm	0 kg	1 kg	0,5 kg	0,5 kg	1 kg

2.2.2 Mengen van beton

De geleverde materialen (het zand en de granulaten) werden buiten opgeslagen waardoor ze vochtig waren. Daarom worden de vochtige materialen afgewogen tot een gewicht van twee kilogram. Daarna worden ze in een oven gedroogd. Om het half uur worden de materialen opnieuw gewogen, zodra het gewicht constant blijft kan het vochtgehalte bepaald worden.

$$\text{vochtgehalte} = \frac{\text{nat gewicht} - \text{droog gewicht}}{\text{nat gewicht}}$$

Dit vochtgehalte wordt gebruikt om het uiteindelijke af te wegen gewicht te bepalen van de samenstelling. Er wordt dan meer materiaal toegevoegd en minder water. Als hier geen rekening mee gehouden wordt, verkrijgt men een beton dat te vloeibaar is.

Nu de correcte samenstelling geweten is, kunnen alle materialen afgewogen worden. Er wordt gebruik gemaakt van een verticale betonmenger van 40 liter (zie Fig. 9). Bij het maken van vezelversterkt beton in een valmenger is er een groter risico voor het ballingeffect van de vezels.

De volgorde voor het toevoegen van de materialen is als volgt:

1. Kleine en grote granulaten
2. Zand
3. Cement
4. Water
5. Luchtbelvormer en plastificeerder
6. Microvezels en macrovezels

Na een mengtijd van $\pm$ drie minuten is het beton gemengd en kan het gebruikt worden om balken en kubussen te maken.



Figuur 9: Het mengen van beton

De mal wordt gemaakt met bekistingsplaten die op voorhand op maat zijn gezaagd. De betonnen balk is één meter lang, heeft een dikte van veertien centimeter en een hoogte van 21 centimeter. Alvorens de mal te vullen met beton, wordt er een ontkistingsolie in de mal gespoten zodat het gedroogde beton makkelijker loskomt van de bekisting. Er worden twee wapeningsstaven van acht millimeter doorsnede aan een ijzeren draadje bevestigd om zo de constructie van de schampwanden zoveel mogelijk na te bootsen. Zodra de mal gevuld is met beton, wordt met een trilnaald het beton verdicht. De bovenkant van het beton wordt tijdens het verdichten met een spatel egaal gemaakt. Figuur 10 geeft het vullen van de mallen met het beton weer.



Figuur 10: Het vullen van de mallen

Bij het vullen van elke balk wordt er ook een kubus van 150x150x150 millimeter gevuld om later een drukproef op te kunnen uitvoeren. Zodra deze kubus gevuld is met beton wordt deze op een trilplaat geplaatst om de kubus te verdichten. Daarbij wordt de bovenkant weer egaal gemaakt met een spatel (zie Fig. 11).



Figuur 11: Het verdichten van de kubussen

Na één dag drogen, worden de balken en kubussen ontkist. De balken worden gestockeerd in het magazijn. De kubussen worden onder water bewaard voor 28 dagen. Het water heeft een temperatuur van 20 ± 2 graden Celsius. Na 28 dagen worden de kubussen onderworpen aan de drukproef.

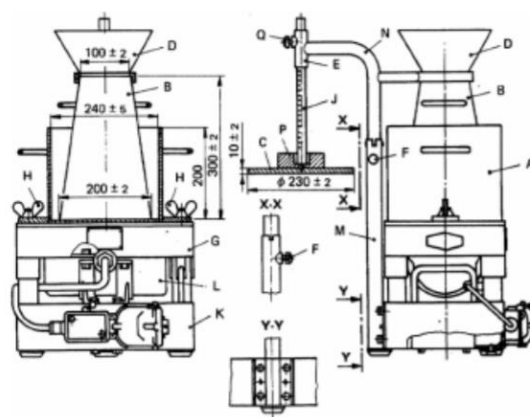
2.3 Onderzoekspoeven

2.3.1 Consistentieklasse

Een belangrijke test die niet mag ontbreken in deze masterproef is de VEBE-proef. Dit omdat beton in schampwanden zeer droog is en deze met een glijbekistingsmachine geproduceerd wordt en het beton niet mag uitvloeien. Met deze proef wordt de verwerkbaarheid van het vezelversterkt beton in kaart gebracht.

Om de consistentie van de gebruikte betonmengsels te testen wordt gebruik gemaakt van de Vebe-proef. Het principe van deze proef is dat het betonmengsel in een mal wordt gecompacteerd. Het mengsel wordt in drie lagen in de mal gevuld, na elke laag wordt er 25 keer gepord met een staaf. Vervolgens wordt de mal verwijderd en moet er een schijf boven het beton gedraaid worden zodat de schijf met het beton in contact komt. Op deze manier kan de zetmaat van het beton worden afgelezen.

Nadat de zetmaat geweten is, wordt de triltafel in werking gezet. De tijd wordt gemeten met een chronometer. De nodige tijd om de onderzijde van de schijf volledig op te vullen met cementmelk is dan de Vebe-tijd. De tijd wordt genoteerd tot op de seconde en wordt afgerond tot de dichtste seconde. Een schematische tekening van de opstelling van een Vebe-proef is terug te vinden in onderstaande figuur [17].



Figuur 12: Consistometer (machine voor de Vebe-proef) [17]

Met de Europese norm NBN EN 206-1 wordt een betonsamenstelling in vijf verschillende Vebe-klassen ingedeeld. Deze verschillende klassen zijn weergegeven in tabel 7. Voor klasse V0 en V4 dient er een andere methode gebruikt te worden om de consistentieklasse te bepalen. [17] Deze klassen zijn niet relevant in dit onderzoek, dus worden niet verder besproken.

Tabel 7: Vebe-klassen [17]

Klasse	Vebe [s]
V0*	≥ 31
V1	30 tot 21
V2	20 tot 11
V3	10 tot 6
V4*	5 tot 3

De consistentieklasse is een klasse om de vloeibaarheid van het beton te meten. Het meet de inzakking van het beton na het opheffen van de mal. De onderstaande tabel licht de verschillende klassen toe. [18]

Tabel 8: Zetmaat-klassen [11]

Zetmaat S	mm
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	>220

Er worden voor elk toepassingsgebied een andere consistentieklasse gebruikt. Voor wegenisbeton wordt klasse S1 gebruikt. Consistentieklasse S4 wordt gebruikt voor vloeren, wanden en balken. Voor trappen en beton in helling wordt klasse S2 gebruikt. [18]

2.3.2 Drukproef

De druksterkte en treksterkte zijn de belangrijkste mechanische eigenschappen van beton. Door de lage treksterkte, die ongeveer 10% bedraagt van de druksterkte, is beton een bros materiaal. Omdat beton voor veel constructies nood heeft aan een hoge treksterkte wordt het beton versterkt door vezels, wapening of voorspanning.

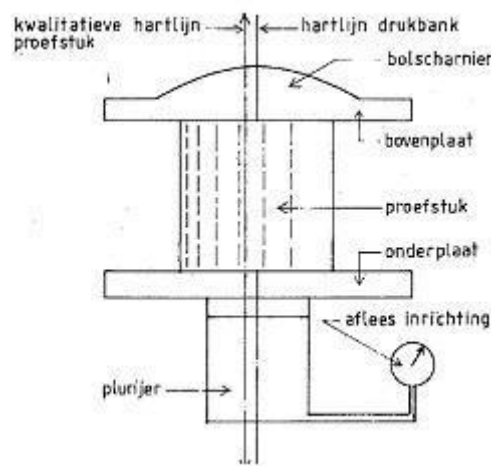
Bij het berekenen van het constructief ontwerp van een constructie wordt er gerekend met een bepaalde druksterkte. Hierbij wordt rekening gehouden met zowel de technische als de economische randvoorwaarden. Met deze gekozen druksterkte wordt er dan bij de uitvoeringswerken het juiste type beton besteld. Voor elke gewenste druksterkte is een verschillende sterkteklasse.

De druksterkte wordt bekomen door een kubus of cilinder te onderwerpen aan de drukproef. Alle druksterkteklassen worden opgelijst in de norm NBN EN 206-1 [19]. Hierdoor krijgt het beton een druksterkteklasse, waarvan het eerste cijfer de minimale karakteristieke cilindersterkte is en het tweede cijfer de minimale karakteristieke kubussterkte.

De sterkteklassen worden in een laboratorium van een betoncentrale verkregen. Dit terwijl het beton ter plaatse moet gebracht worden. De uitvoeringsmethode, de verhardingsomstandigheden en de nabehandeling van het beton zijn bijkomende factoren voor de druksterkte. [20]

Er worden veel testen op beton uitgevoerd maar de drukproef is de belangrijkste. Met deze test kan men kijken of het beton voldoende sterk is gemaakt. De proefopstelling van deze test is weergegeven in figuur 13. De sterkte van het beton hangt af van verschillende factoren zoals de water-cement factor, de sterkte van het cement, de kwaliteit van het gebruikte materiaal, de kwaliteitscontrole tijdens de productie van het beton, enzovoort.

Er wordt een mal van 150 mm x 150 mm x 150 mm gevuld met beton. Na 24 uur wordt de kubus ontkist. De kubussen worden daarna ondergedompeld in water. De tijd dat het beton onder water moet bewaard worden, hangt af van voor welke norm het toepasbaar is en in welk gebied het gebruik wordt [21].



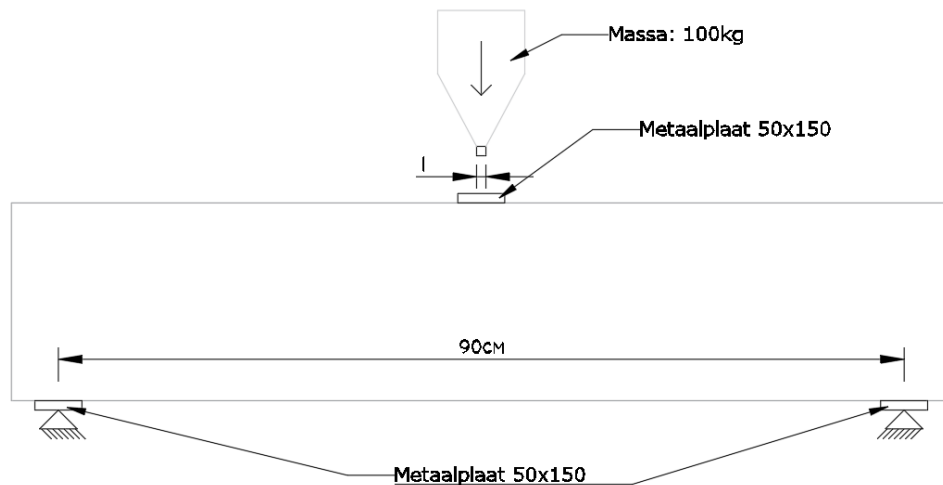
Figuur 13: Drukproef proefopstelling [22]

Als de periode van onderdompeling verstreken is, kunnen de proefstukken getest worden. Elk proefstuk wordt voorgaand gemeten met een schuifmaat zodat de effectieve lengte, breedte en hoogte gekend zijn. Verder wordt het gewicht van de kubus bepaald. De kubus wordt zo geplaatst dat het niet bekiste vlak zichtbaar is voor de laborant. Bovendien wordt de kubus gecentreerd in de proefopstelling.

Nu kan de machine ingesteld worden naargelang de keuze van de laborant. Zo kan er bv. gekozen worden wanneer de machine moet stoppen met testen. De machine bestaat uit twee platen waartussen de kubus gedrukt wordt. Zodra de proef gestart wordt, gaat de kubus geleidelijk aan onderworpen worden aan een hogere druksterkte. De waarde die uiteindelijk belangrijk is, is de waarde die wordt afgelezen als de kubus breekt.

2.3.3 Impactproef

De proefopstelling van de impactproef is weergegeven in figuur 14. Er is een valgewicht voorzien van 100 kilogram, die een valhoogte van 3,6 meter heeft. De balk wordt op twee metaalplaten gelegd van 50 x 150 millimeter. Er is een tussenafstand van 90 centimeter voorzien voor de steunpunten waar de metaalplaten worden opgelegd. Bovenaan de balk wordt er een metaalplaat van 50 x 150 millimeter voorzien om zo de krachten over de volledige lengte te verdelen.



Figuur 14: Opstelling impactproef

De proef wordt uitgevoerd door het gewicht van een hoogte van 50 centimeter te laten vallen. Door een valversnelling van $9,81 \text{ m/s}^2$ aan te nemen, wordt onderstaande energie blootgesteld aan het proefstuk.

$$E_{\text{pot},i} = m * g * h \quad (1)$$

$$E_{\text{pot},i} = 100 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,5 \text{ m}$$

$$E_{\text{pot},i} = 490,5 \text{ J}$$

Door de gemiddelde terugkaatshoogte van elke samenstelling kan het verschil in opgenomen energie worden bepaald tussen de verschillende samenstellingen. Door het plaatsen van een meetbaak naast de proefopstelling wordt de terugkaatshoogte waargenomen door een camera die 240 beelden per seconden kan opnemen. De verwachte resultaten zijn dat bij een grotere hoeveelheid vezels er een lagere terugkaatshoogte is van de massa.

2.3.4 Shatteren

Zoals eerder vermeld in deze thesis is het afspringen van betonstukken een belangrijk aandachtspunt bij schampwanden. Door de heterogeniteit van beton is dit aspect moeilijk kwantitatief te beproeven. Echter is er binnen deze masterproef een proef gezocht om de werkelijkheid te benaderen. Deze proef zal hieronder worden voorgesteld.

De proef wordt uitgevoerd met hetzelfde apparaat als bij de valproef. Het verschil bij de voorgaande proef is dat de testbalk in uitkraging wordt beproefd. Deze opstelling wordt toegepast om zo de testbalk te kunnen beproeven op het uiteinde. Het beproeven op het uiteinde is noodzakelijk aangezien het afspringen van het beton bij schampwanden het meest voorkomt aan de bovenkant, zoals eerder vermeld in de inleiding. Deze bovenkant van de schampwand fungeert bij impact als een balk in uitkraging. In figuur 15 en 16 is duidelijk op welke wijze de proefstukken worden geplaatst en ingeklemd.

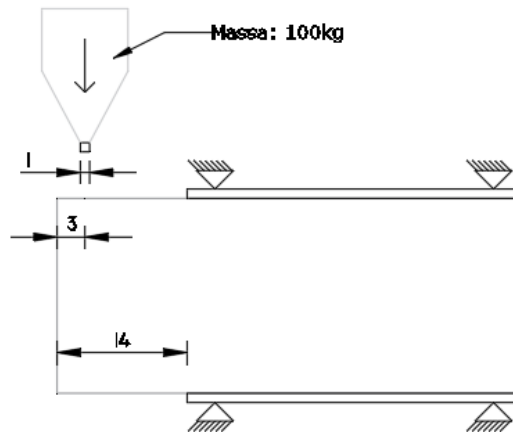


Figuur 15: Opstelling shatterproef (1)



Figuur 16: Opstelling shatterproef (2)

De specifieke gegevens van de shatterproef, zoals de maten en de massa van het valgewicht kunnen teruggevonden worden op figuur 17. De breedte van de impactpunt bedraagt drie centimeter en heeft een dikte van één centimeter. De uitkraging van de halve balk bedraagt veertien centimeter. De rest van de balk wordt bevestigd tussen twee metalen platen zodat de balk niet gaat verschuiven. Er gaat een impact plaatsvinden op drie centimeter van het einde van de balk.



Figuur 17: Bemating opstelling shatterproef

De proef wordt uitgevoerd door het gewicht van een hoogte van 30 centimeter te laten vallen. Door een valversnelling van $9,81 \text{ m/s}^2$ aan te nemen wordt onderstaande energie blootgesteld aan het proefstuk.

$$E_{\text{pot}} = m * g * h \quad (2)$$

$$E_{\text{pot}} = 100 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,3 \text{ m}$$

$$E_{\text{pot}} = 294,3 \text{ J}$$

2.4 Conclusie methodologie

Voor het bepalen van de consistentieklasse en de druksterkte van de verschillende samenstelling worden genormeerde apparaten toegepast. Bij de impactproef en de proef in verband met het *shatteren* wordt een alternatieve proefopstelling gebruikt in tegenstelling met de genormeerde omstandigheden waarbij op werkelijke schaal wordt getest. Dit kan een afwijking geven op de proefresultaten.

3 Onderzoeksresultaten

3.1.1 Consistentieklasse

Om de consistentieklasse van het beton te bepalen, is er een Vebe-proef uitgevoerd op elk type samenstelling. Voorgaand is besproken hoe zo een Vebe-proef wordt uitgevoerd. Figuur 18 geeft de uitvoering van één van de Vebe-proeven weer.



Figuur 18: Uitvoeren van de Vebe-proef

Onderstaande tabel geeft de resultaten weer van de vijf Vebe-proeven die zijn uitgevoerd.

Tabel 9: Resultaten Vebe-proef

Nummer samenstelling	Vebe-tijd	Inzakking
1	6	3
2	7	1,5
3	6	3
4	9	1
5	7	1

Conclusie

Bij het bekijken van de resultaten wordt vastgesteld dat de consistentieklasse S1 is en de Vebe-klasse V3. Het gaat hier om een droge beton. Deze beton is ideaal voor het gebruik in kunstwerken van de weginfrastructuur. Het resultaat is afhankelijk van de water-cementfactor, de hoeveelheid plastificeerder en luchtbelvormer.

3.1.2 Drukproef

De eerste samenstelling is niet versterkt door vezels. Na een droogtijd van 28 dagen haalt elk proefstuk de individuele druksterkte van 42,5 MPa die vereist is voor wegnisbeton. Deze waarde moet echter gehaald worden na 90 dagen. De minimale gemiddelde waarde van 50 MPa wordt niet gehaald. Mocht er wel de mogelijkheid zijn om het beton 90 dagen te laten drogen, zou deze waarde wel behaald zijn.

Samenstelling 2 bevat één kilogram microvezels en één kilogram macrovezels. De waarden van de norm worden niet gehaald. Zelfs de individuele waarden komen niet in de buurt van de vooropgelegde 42,5 MPa. Een mogelijke verklaring zou een fout zijn op het berekenen van het vochtgehalte van het zand en de granulaten. Hierdoor waren de verhoudingen van de samenstelling niet meer in evenwicht. Aangezien de fout bij elk proefstuk voorkomt en elk proefstuk vervaardigd is uit een ander mengsel van de betonmixer is dit de meest voor de hand liggende fout.

De beste waarden van de drukproef worden behaald bij samenstelling 3. Met een gemiddelde van 70,5 MPa overschrijdt de samenstelling ruimschoots de vereiste minimale gemiddelde druksterkte. De vereiste minimale gemiddelde druksterkte wordt voor ieder proefstuk ook overschreden. Deze samenstelling bevat één kilogram microvezels en een halve kilogram macrovezels.

Samenstelling 4 bevat twee kilogram microvezels en een halve kilogram macrovezels. De druksterkte haalt nog steeds de minimale gemiddelde druksterkte en de minimale individuele druksterkte. Er is wel een verlaging van de druksterkte ten opzichte van samenstelling 3. Voor schampwanden is dit geen probleem omdat de vereiste minimale druksterkte voor wegnisbeton nog steeds gehaald worden.

Bij samenstelling 5 worden meer vezels gebruikt dan voorgaande samenstellingen. De samenstelling bevat namelijk twee kilogram microvezels en één kilogram macrovezels. Hier valt ook een daling van de druksterkte op te merken. De gemiddelde en individuele druksterkte worden ook hier behaald.

Alle voorgaande resultaten worden weergegeven in tabel 10.

Tabel 10: Resultaten drukproef

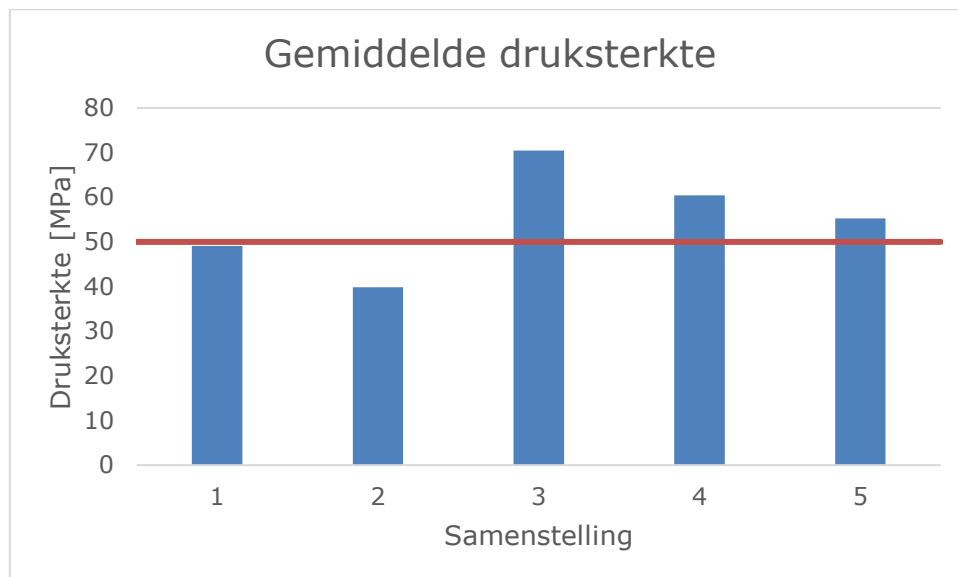
		Druksterkte [MPa]	Volume [m ³]	Gewicht [kg]	Soortelijk gewicht [kg/m ³]
Samenstelling 1	Proefstuk 1	45,421	0,003356	7,5627	2253,70
	Proefstuk 2	50,836	0,003385	7,6921	2272,68
	Proefstuk 3	51,106	0,003392	7,683	2265,34
	Gemiddelde	49,121	0,003377	7,6459	2263,91
Samenstelling 2	Proefstuk 1	37,725	0,003387	7,3637	2173,83
	Proefstuk 2	39,684	0,003428	7,3613	2147,55
	Proefstuk 3	42,041	0,003427	7,4786	2182,34
	Gemiddelde	39,817	0,003414	7,4012	2167,91
Samenstelling 3	Proefstuk 1	65,728	0,003414	8,0246	2350,19
	Proefstuk 2	71,238	0,003428	8,093	2360,77
	Proefstuk 3	74,46	0,003386	8,0937	2390,65
	Gemiddelde	70,475	0,003409	8,0704	2367,20
Samenstelling 4	Proefstuk 1	62,659	0,003357	7,8041	2325,02
	Proefstuk 2	60,706	0,003393	7,832	2308,36
	Proefstuk 3	57,848	0,003379	7,7398	2290,34
	Gemiddelde	60,404	0,003376	7,7920	2307,91
Samenstelling 5	Proefstuk 1	58,373	0,003421	7,7766	2273,06
	Proefstuk 2	54,44	0,003356	7,6536	2280,34
	Proefstuk 3	53,05	0,003335	7,5951	2277,50
	Gemiddelde	55,288	0,003371	7,6751	2276,97

Conclusie

Op figuur 19 is te zien dat de vereiste minimale gemiddelde druksterkte voor samenstelling 1 en 2 niet gehaald wordt. Samenstelling 3, 4 en 5 voldoen wel aan de voorwaarden. De drukproef is uitgevoerd na 28 dagen, dit terwijl de beton voor wegenisbeton 90 dagen moet worden ondergedompeld. De eerste samenstelling kan dus ook goedgekeurd worden aangezien de druksterkte nog zal verhogen bij verstrijken van de tijd.

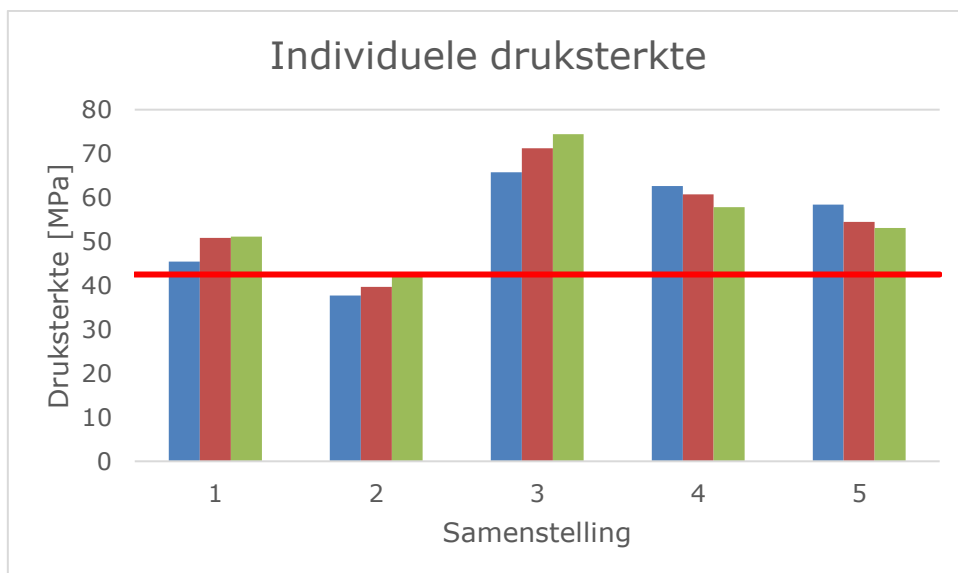
De tweede samenstelling zal ook 62 dagen later niet voldoen aan de vereiste minimale gemiddelde druksterkte. Deze samenstelling wordt in de loop van het onderzoek nog onderzocht, maar de resultaten zouden foutief kunnen zijn door verkeerdelijk bepaald vochtgehalte.

Samenstelling 3 bevat één kilogram microvezels en een halve kilogram macrovezels, samenstelling 4 en 5 bevatten meer vezels. Samenstelling 3 behaalt de hoogste druksterkte.



Figuur 19: Grafiek gemiddelde druksterkte

Alle proefstukken van samenstelling 1, 3, 4 en 5 halen de minimale individuele druksterkte (zie Fig. 20). Net als bij de gemiddelde druksterkte behaalt samenstelling 2 voor geen enkel van de proefstukken de individuele druksterkte. De oorzaak ligt niet bij het toegevoegde aantal vezels maar is een menselijke fout, namelijk een verkeerde productie van het beton.



Figuur 20: Grafiek individuele druksterkte

3.1.3 Impactproef

Zoals eerder besproken in deze thesis wordt de mogelijke energieadsorptie van elke samenstelling getest met behulp van een impactproef. Hieronder worden de resultaten voor elke samenstelling weergegeven.

De doorbuiging van de proefstukken bedraagt bij elke test ongeveer één centimeter. Dit toont aan dat de testbalk gebroken is bij elke test en dat de wapeningsstaven de resterende energie van de massa opvangen. Onderstaande afbeelding geeft een voorbeeld van het schadepatroon van de proefstukken.



Figuur 21: Schadepatroon proefstukken

Op figuren 22 tot en met 26 zijn voorbeelden van de doorbuiging en de terugkaatshoogte van de proefstukken van de verschillende samenstellingen te zien. Dit is telkens het resultaat van één van de drie testen die zijn uitgevoerd. Alle resultaten worden in de samenvattende tabel 11 weergegeven.



Figuur 22: Doorbuiging en rebound samenstelling 1



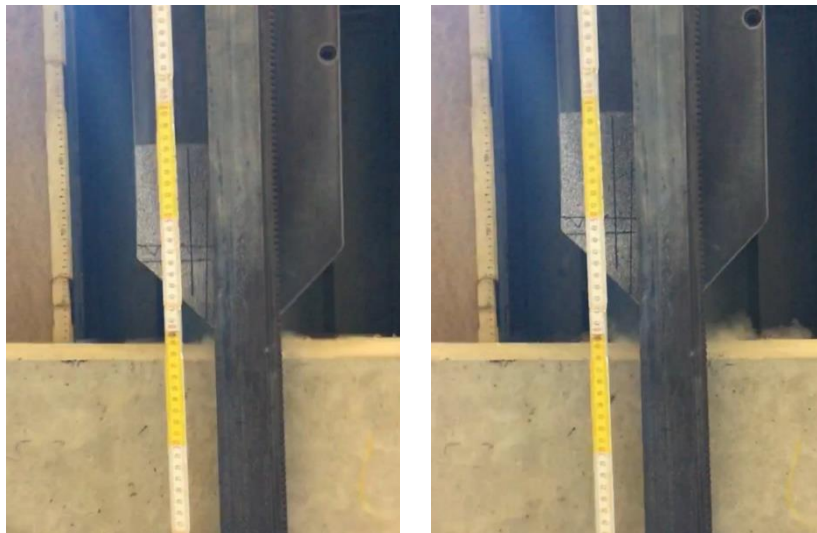
Figuur 23: Doorbuiging en rebound samenstelling 2



Figuur 24: Doorbuiging en rebound samenstelling 3



Figuur 25: Doorbuiging en rebound samenstelling 4



Figuur 26: Doorbuiging en rebound samenstelling 5

Tabel 11: Resultaten terugkaatshoogte

Samenstelling	Terugkaatshoogte				
	1	2	3	4	5
Proefstuk 1	1,5	1,3	1,9	1,4	1,6
Proefstuk 2	2,8	1,7	2,0	1,7	1,5
Proefstuk 3	2,0	2,7	1,4	1,9	1,5
Gemiddelde	2,1	1,9	1,8	1,7	1,5

Met deze gemiddelde terugkaatshoogten kan berekend worden welke energie het proefstuk heeft opgenomen. Zo wordt voor elke gemiddelde waarde de potentiële energie van de massa die is teruggekaatst en de energie die het proefstuk heeft geabsorbeerd berekend.

Een voorbeeld van de berekeningen is uitgevoerd voor samenstelling 1. Dit rekenvoorbeeld is hieronder terug te vinden. Alle andere energieën zijn op dezelfde wijze uitgerekend. Tabel 12 geeft de uitkomst voor de bekomen waarden van de verschillende samenstellingen.

De potentiële energie van de massa dat is teruggekaatst bedraagt:

$$E_{\text{pot},1} = 100 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,021 \text{ m} \quad (1)$$

$$E_{\text{pot},1} = 20,6 \text{ J}$$

De energie dat het proefstuk heeft geabsorbeerd:

$$E_{\text{ads},1} = E_{\text{pot},i} - E_{\text{pot},1} \quad (3)$$

$$E_{\text{ads},1} = 490,5 \text{ J} - 20,6 \text{ J}$$

$$E_{\text{ads},1} = 469,9 \text{ J}$$

Tabel 12: Resultaten energieabsorptie

Samenstelling	Energieabsorptie				
	1	2	3	4	5
E_{pot}	20,6	18,6	17,7	16,7	14,7
E_{ads}	469,9	471,9	472,8	473,8	475,8

Een voorbeeld van het schadepatroon van balken van de verschillende samenstellingen is te zien op de figuren 27 tot en met 31.



Figuur 27: Schadepatroon proefstuk van samenstelling 1



Figuur 28: Schadepatroon proefstuk van samenstelling 2



Figuur 29: Schadepatroon proefstuk van samenstelling 3



Figuur 30: Schadepatroon proefstuk van samenstelling 4

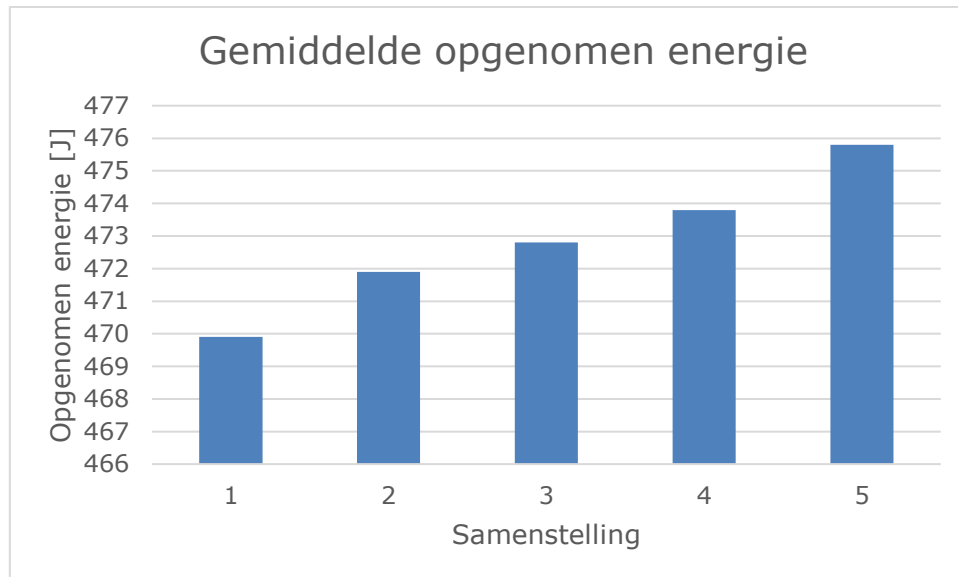


Figuur 31: Schadepatroon proefstuk van samenstelling 5

Door de impact van het valgewicht is gebleken dat de proefstukken van samenstelling 1 sterk gebarsten zijn. Door de aanwezigheid van de wapening is de balk niet gebroken. Het breukpatroon bij de proefstukken van samenstelling 2 tot en met 5 zijn sterk verminderd in vergelijking met dat van samenstelling 1. Dit komt door de aanwezigheid van vezels.

Conclusie

Onderstaande grafiek toont aan dat er een verschil is tussen de opgenomen energieën van de verschillende samenstellingen. Zo kan hier verondersteld worden dat er bij een grotere hoeveelheid vezels, meer energie wordt opgenomen. Om een volledig uitsluitsel te krijgen van deze bewering dient een groter gamma aan vezelverhoudingen getest te worden.



Figuur 32: Gemiddelde opgenomen energie

Uit bovenstaande grafiek volgt dat de gemiddelde opgenomen energie bij samenstelling 2 lager ligt dan bij samenstelling 3. Dit resultaat ligt niet binnen de verwachtingen. In hoofdstuk 3.1.2 is besproken dat de resultaten van samenstelling 2 foutief kunnen zijn door het niet behalen van de opgelegde druksterkte.

Er kan visueel vastgesteld worden dat het toevoegen van vezels een positief effect heeft op het verminderen van het breukpatroon. Bij de samenstelling die niet versterkt is door vezels wordt de balk alleen nog maar samen gehouden door de wapening. De vezelversterkte samenstellingen worden samen gehouden door de wapening alsook de vezels.

De resultaten van deze proef zorgen voor een verbetering van de schampwanden in verband met de energieopname. Door een hogere energieopname wordt de kracht die de auto weer de weg op katapulteert, verkleind. De eigenschap om het voertuig bij impact langs de schampwand te geleiden wordt hier bevordert.

Zoals in de inleiding is besproken, breekt de schampwand zelden bij de impact van een voertuig. Een mogelijke oorzaak is dat het voertuig bij een impact een bepaalde energie absorbeert. Dit in tegenstelling tot het massieve valgewicht van de onderzoeksproef. Het breken van de proefstukken is een mogelijk gevolg van dit aspect.

3.1.4 Shatteren

Om het onderzoek van dit aspect kwantitatief te staven, wordt er gebruik gemaakt van het massaverlies van de testbalken. Onder dit massaverlies worden de afgesprongen betonstukken verstaan. Het gewicht van het proefstuk wordt bepaald zowel voor als na impact. De weegschaal die wordt toegepast heeft een nauwkeurigheid van tien gram. Per samenstelling worden er zes testen uitgevoerd. De resultaten worden per samenstelling weergegeven.

Samenstelling 1

In tabel 13 zijn de resultaten weergegeven van de shatterproef op proefstukken van samenstelling 1.

Tabel 13: Onderzoeksresultaten shatteren samenstelling 1

Massa voor impact [kg]	Massa na impact [kg]	Massaverlies [kg]	Procentuele afname
32,95	32,25	0,70	2,12
34,60	30,70	3,90	11,27
34,50	33,95	0,55	1,59
33,05	28,85	4,20	12,71
34,75	34,15	0,60	1,73
33,95	33,45	0,50	1,47
Gemiddelde			5,15

Bij elke test is er massaverlies van de testbalk. Zo is ook op onderstaande afbeeldingen te zien dat er steeds grote brokken beton afspringen. Het afspringen van brokstukken is nodig om deze te kunnen vergelijken met de andere samenstellingen waar wel vezels toegevoegd zijn.



Figuur 33: Shatteren samenstelling 1

Samenstelling 2

In tabel 14 zijn de resultaten weergegeven van de shatterproef op proefstukken van samenstelling 2.

Tabel 14: Onderzoekresultaten shatteren samenstelling 2

Massa voor impact [kg]	Massa na impact [kg]	Massaverlies [kg]	Procentuele afname
30,25	29,75	0,50	1,65
31,10	30,70	0,40	1,29
29,85	29,85	0,00	0,00
33,00	32,35	0,65	1,97
30,40	30,10	0,30	0,99
30,05	29,90	0,15	0,50
Gemiddelde			1,07

Op onderstaande afbeeldingen zijn de schadegevallen zichtbaar bij de proeven op samenstelling 2. Er is vastgesteld dat er nog steeds brokstukken afspringen. De gemiddelde procentuele afname is echter beduidend lager dan bij samenstelling 1. Ook is op de onderstaande afbeeldingen zichtbaar dat er wel stukken zijn gebroken maar niet afgesprongen. Dit is een gevolg van de aanwezigheid van vezels.

Onder hoofdstuk 3.1.2 kan teruggevonden worden dat de bekomen karakteristieke waarde van deze samenstelling niet binnen de normen valt. Wel is er te zien dat de gemiddelde procentuele afname binnen het rijtje past tussen de verschillende samenstellingen. Om sluitende en betekenisvolle resultaten te bekomen, dient de proef hernomen te worden.



Figuur 34: Shatteren samenstelling 2

Samenstelling 3

In tabel 15 zijn de resultaten weergegeven van de shatterproef op proefstukken van samenstelling 3.

Tabel 15: Onderzoekresultaten shatteren samenstelling 3

Massa voor impact [kg]	Massa na impact [kg]	Massaverlies [kg]	Procentuele afname
34,15	33,85	0,30	0,88
34,60	34,30	0,30	0,87
33,60	33,60	0,00	0,00
33,15	30,15	3,00	9,05
33,80	33,10	0,70	2,07
33,50	33,50	0,00	0,00
Gemiddelde			2,15

Op onderstaande afbeeldingen zijn de schadegevallen zichtbaar bij de proeven op proefstukken van de derde samenstelling. De vaststelling is dat er nog steeds brokstukken afspringen. Het gemiddelde procentuele massaverlies neemt licht af tegenover samenstelling 1 maar is groter dan bij samenstelling 2. Dit voldoet aan de verwachtingen aangezien er minder vezels aanwezig zijn in samenstelling 3 in vergelijking met samenstelling 2.



Figuur 35: Shatteren samenstelling 3

Samenstelling 4

In tabel 16 zijn de resultaten weergegeven van de shatterproef op proefstukken van samenstelling 4.

Tabel 16: Onderzoekresultaten shatteren samenstelling 4

Massa voor impact [kg]	Massa na impact [kg]	Massaverlies [kg]	Procentuele afname
34,25	34,20	0,05	0,15
35,70	35,45	0,25	0,70
34,85	34,85	0,00	0,00
36,15	36,15	0,00	0,00
34,65	34,65	0,00	0,00
35,75	35,75	0,00	0,00
Gemiddelde			0,14

Bij het beproeven van deze samenstelling wordt vastgesteld dat er zeer weinig massaverlies optreedt. Dit is gekenmerkt door de lage gemiddelde procentuele afname. Tot hertoe neemt het gewichtsverlies af naarmate er een grotere hoeveelheid vezels in de proefstukken aanwezig is. Op onderstaande afbeeldingen zijn schadegevallen zichtbaar.



Figuur 36: Shatteren samenstelling 4

Samenstelling 5

In tabel 17 zijn de resultaten weergegeven van de shatterproef op proefstukken van samenstelling 5.

Tabel 17: Onderzoeksresultaten shatteren samenstelling 5

Massa voor impact [kg]	Massa na impact [kg]	Massaverlies [kg]	Procentuele afname
32,70	32,70	0,00	0,00
35,05	35,05	0,00	0,00
34,80	34,70	0,10	0,29
33,15	33,15	0,00	0,00
34,40	34,40	0,00	0,00
31,15	31,15	0,00	0,00
Gemiddelde			0,05

De gemiddelde procentuele afname is bij deze proef en bij deze samenstelling nagenoeg herleid tot nul. Op onderstaande afbeeldingen kan vastgesteld worden dat het proefstuk steeds breekt maar dat er nagenoeg geen brokstukken meer afspringen in vergelijking met de voorgaande samenstellingen.

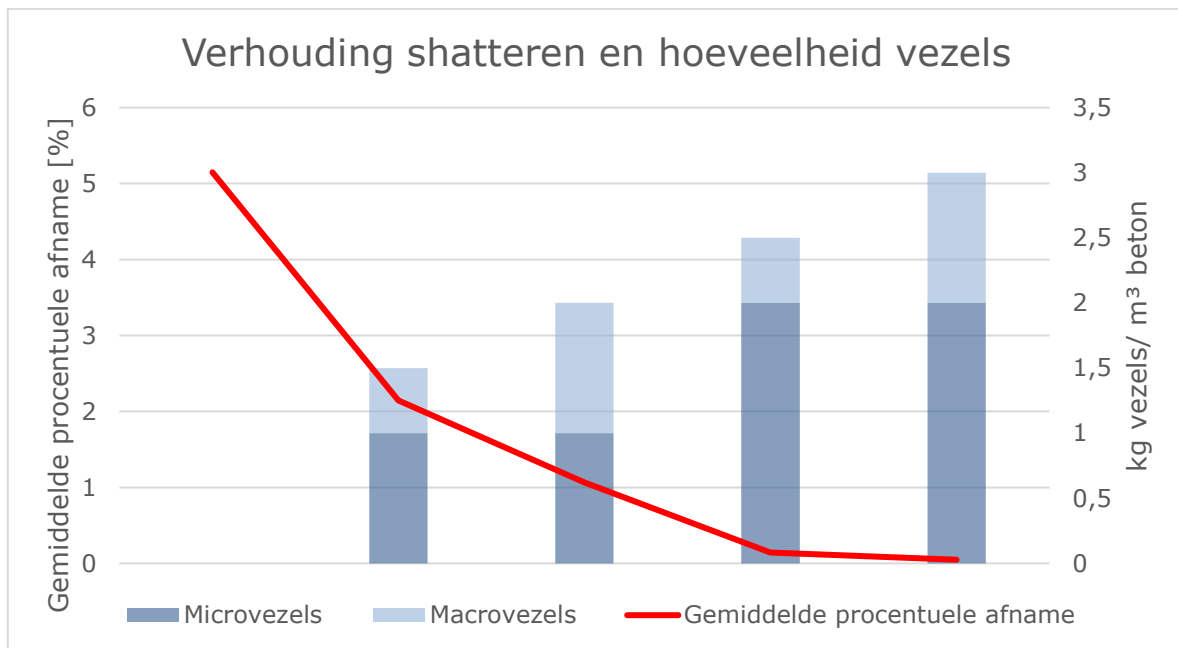


Figuur 37: Shatteren samenstelling 5

Conclusie

De gemiddelde procentuele afname van samenstelling 1 is beduidend hoger dan alle andere samenstellingen. De beschadigingen van de proefstukken waren bij elke test zichtbaar. Echter kan wel geconcludeerd worden dat bij een hogere hoeveelheid vezels de kans tot afspringen van brokstukken aanzienlijk verkleind wordt.

De verhouding van de gemiddelde procentuele massa die van de proefstukken afspringt en de hoeveelheid vezels per kubieke meter beton wordt in onderstaande grafiek weergegeven. Hier wordt vastgesteld dat bij samenstelling 2 tot 4 de verhouding lineair afneemt. Vanaf samenstelling 5 is er een stagnatie in de grafiek te onderscheiden. Voor het optimaliseren van de hoeveelheid vezels die eventueel in schampwanden dient te worden gebruikt, dient verder onderzoek te worden opgestart.



Figuur 38: Verhouding shatteren en hoeveelheid vezels

Uit de testresultaten volgt dat het gebruik van vezels in schampwanden positief is in verband met *shatteren*. Het beste resultaat wordt gehaald bij de samenstelling met de meeste vezels in het mengsel.

4 Besluit

4.1 Allesomvattende conclusies

Door vezelwapening toe te voegen aan beton krijgt het beton voor sommige aspecten andere karakteristieken. Zo is door eerder onderzoek aangetoond dat de vezels in het beton ervoor zorgen dat de levensduur van het betonnen element verlengd wordt. Zo ontstaan er minder scheuren waardoor de wapening begint te eroderen en het oppervlak minder snel ruw wordt. Ruwe en uitgewassen oppervlakken moeten vermeden worden aangezien het schuren van het oppervlak met een voertuig een extra verticale verplaatsing veroorzaakt. Deze extra verticale verplaatsing kan resulteren in een *roll-over*.

Een tweede belangrijke conclusie die kan getrokken worden, is dat door het gebruik van vezels de elementen meer impactenergie kunnen opnemen dan wanneer geen gebruik wordt gemaakt van vezels. In de onderzoeksresultaten wordt vastgesteld dat, naarmate er een grotere vezelverhouding wordt toegepast in het mengsel, een hogere impactenergie wordt opgenomen. Zo neemt de impactenergie toe met 1,2 procent.

Het afspringen van betonbrokken van schampwanden bij impact van een voertuig is een aspect dat naar voor komt binnen de probleemstelling van deze scriptie. Het toepassen van vezelversterkt beton in schampwanden is positief voor dit aspect. Hierdoor wordt er een absolute meerwaarde gecreëerd voor dit toepassingsgebied. Zo daalt het afgesprongen gewicht van 5,15 naar 0,05 procent.

Uit voorgaande conclusies kan opgemerkt worden dat het positief is om vezelversterkt beton toe te passen in schampwanden.

4.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Deze scriptie toont aan dat het gebruik van vezelversterkt beton in schampwanden zeker een meerwaarde heeft. Door deze meerwaarde is het zeker voordelig voor de vezelfabrikant om dit toepassingsgebied verder te onderzoeken. Een onderzoek naar het optimaliseren van de hoeveelheid vezels is zeker bevorderlijk in een volgend onderzoek.

Dit onderzoek gaat grotendeels over het gebruik van vezelversterkt beton in oneindig lange en permanente betonnen schampwanden. Het gebruik van deze samenstelling bij tijdelijke schampconstructies is eveneens een mogelijk vervolg van het onderzoek. Op deze manier wordt het toepassingsgebied van de vezels verder uitgebreid.

Verscheidene deelfacetten van het gebruik van vezels werden hier onderzocht. Zo is het uitvoeren van de genormeerde proeven op ware grootte één van de voornaamste verdere stappen die genomen dienen te worden in verband met dit onderzoek.

Literatuurlijst

- [1] „NBN,” Europees comité voor normalisatie, 27 augustus 2010. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/readonly/351172?l=E>.
- [2] B. Parmentier, „Wetenschappelijk en technisch centrum voor het bouwbedrijf,” [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact44&art=660>.
- [3] „Storklaar beton voor de toekomst,” Wetenschappelijk en technisch centrum voor het bouwbedrijf, 2014. [Online]. Available: http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=wtcb_artonline_2014_2_nr16.pdf&lang=nl. [Geopend 12 2016].
- [4] I. N. C. e. i. B. Parmentier, „Netwerk Architecten Vlaanderen,” [Online]. Available: <http://www.dimension.be/cms/grafisch/artikel/pdf/933-2035%20NL.pdf>.
- [5] „State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete,” ACI committee 544, 2002.
- [6] A. Naseer, „Effect of steel fibers on compressive and tensile strength of concrete,” [Online]. Available: <http://basharesearch.com/IJASGE/1030416.pdf>.
- [7] D. Snoeck, „Zelfhelende beton door combinatie van microvezels met reactieve stoffen,” Gent, 2011.
- [8] Adfil, „Durus S500,” 12 2015. [Online]. Available: http://www.adfil.com/media/2043/leaflet_adfil_durus_s500_uk_wt_rgb.pdf.
- [9] C. F. McDevitt, „Public roads,” November 2015. [Online]. Available: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/00marapr/concrete.cfm>. [Geopend december 2016].
- [10] C. F. McDevitt, April 2000. [Online]. Available: https://www.revolvvy.com/topic/Jersey%20barrier&item_type=topic. [Geopend 8 Mei 2017].
- [11] I. L. Rens, „Betonnen geleideconstructies: veilig en duurzaam,” Febelcem, april 2013. [Online]. Available: http://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-2008/nl/I6-NL-Geleideconstructies.pdf. [Geopend december 2016].
- [12] *Concrete paving*. [Art]. Gomaco, 2017.

- [13] „Concrete step barrier 3D cross section,” Mei 2008. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Concrete_step_barrier_3D_cross_section.jpg.
.
- [14] „Standaardbestek 250 versie 3.1,” Wegen en verkeer; Vlaamse overheid, 2014. [Online]. Available: <http://docs.wegenenverkeer.be/Standaardbestek%20250/Versie%203.1/Hoofdstuk08.pdf>. [Geopend december 2016].
- [15] „NBN 1317-2,” Augustus 2010. [Online].
- [16] febelcem, „www.febelcem.be,” febelcem, [Online]. Available: <http://www.febelcem.be/nl/publicatie-download/abc-van-cement-en-beton-voor-wie-alles-wil-weten-over-cement-en-beton>. [Geopend 29 4 2017].
- [17] „Normen-Antenne: betonmortel-granulaten,” [Online]. Available: <http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=concrete&doc=12350-3.pdf&lang=nl>.
- [18] Holcim, „Consistentie van beton,” Holcim, 2012. [Online]. Available: http://www.holcim.be/fileadmin/templates/BE/doc/Produits_et_services/technical-support/Consistentie-van-beton.pdf. [Geopend 1 4 2017].
- [19] „NBN EN 206-1,” Belgisch instituut voor normalisatie, 6 02 2001. [Online]. [Geopend 03 05 2017].
- [20] Cement&BetonCentrum, „cementbeton,” [Online]. Available: http://www.cementenbeton.nl/materiaal/materiaaleigenschappen/mechanische-eigenschappen#toc_0. [Geopend 03 05 2017].
- [21] „Compressive strength of concrete cubes,” The constructor, 2017. [Online]. Available: <https://theconstructor.org/concrete/compressive-strength-of-concrete-cubes/1561/>. [Geopend 05 mei 2017].
- [22] „Eaneas media,” Betonlexicon, [Online]. Available: <http://betonlexicon.nl/D/Drukproef/>. [Geopend 05 mei 2017].

Bijlagenlijst

Bijlage 1: Durus S500	51
Bijlage 2: Crackstop M Ultra	53
Bijlage 3: Luchtbelvormer	55
Bijlage 4: Rijnkiezel	57
Bijlage 5: Kalksteen.....	59
Bijlage 6: Zand	61

Bijlage 1: Durus S500



DURUS® S500

NEXT GENERATION MACRO SYNTHETIC FIBRE



New!

Engineered to replace steel mesh or steel fibres in precast and sprayed concrete, ground supported internal slabs and external hard standings, Durus S500 is the latest addition to the Adfil range of embossed macro synthetic fibres. Thanks to a unique fibre shape and state-of-the-art extrusion technology applied in the manufacture of Durus S500, this fibre is outperforming its alternatives.

Why choose Durus S500?

Durus S500 is the result of extensive in-house research & development work and in-depth performance testing by independent laboratories. This fibre is raising the bar for concrete reinforcement using macro synthetic fibres:

- Greater tensile strength per fibre
- More fibres per m³ due to smaller fibre diameter
- Maximum bond within concrete thanks to innovative fibre design
- Creates enhanced residual flexural strength and toughness in the concrete

As all other fibres offered by Adfil, also Durus S500 comes with far-reaching technical advice and design support offered by Adfil's experienced design team.

Advantages & Benefits

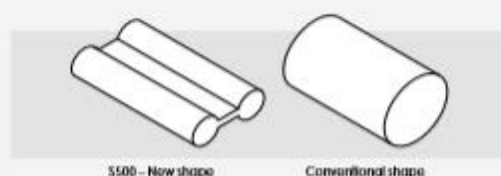
The benefits, which macro synthetic fibres bring to construction sites around the world are numerous. Examples encompass:

- Easy to transport, store and handle
- Improved safety on site
- Increased speed of construction
- High alkali, acid and salt resistance
- Chemically inert and stable
- Easy to finish
- Reduced carbon footprint (116-309 kg/m³ for steel vs. 2-2,6 kg/m³ for fibres)



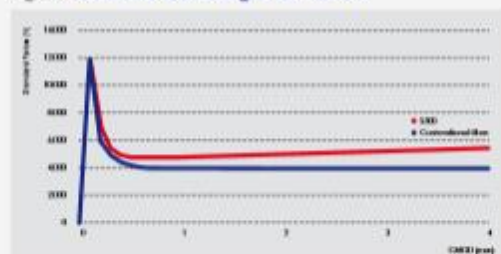


Fig.1 / Durus S500 vs. conventional fibre



Adfil has engineered Durus S500 into an innovative fibre shape creating an increased specific surface. This design is outperforming conventional round shaped macro synthetic fibres. Another plus is the reduced thickness and enhanced strength of Durus S500 fibres. They make for a significantly increased amount of fibres per m³, thus creating improved concrete reinforcement over conventional fibres.

Fig. 2 / Beam test according to EN 14889-2



Fibre Length	48 mm or 55 mm
Fibre type	Macro monofilament
Shape	Embossed elongated design
Absorption	Zero
Specific Gravity	0.905
Electrical Conductivity	Zero
Colour	White
Tensile Strength	417 MPa -31 MPa EN 14889-2
Elastic Modulus	5740 MPa -574 MPa EN 14889-2
Chloride Content	Zero
SOD Content	Zero

Packaging & Dispersing

Durus S500 fibres are packed into pucks wrapped in a water soluble film. Cased into paper bags, they can be tipped complete with the fibres directly into the concrete pan mixer or truck mixer. The dosage rates are dependent on the specific application. Adfil offers flexible packing configurations to suit the dosage and type of concrete plant.

Mixing Directions

The fibre is best dispersed when added to a forced action pan mixer or equivalent, prior to discharging the concrete into a truck. It is suggested that you contact your Adfil representative to discuss the preferred mixing method.

Storage

Durus S500 must be stored on a clean surface in dry conditions and protected from potential sources of damage.

Quality Assurance

Durus S500 complies to EN 14889 - 2 : 2006 (EC Certificate of Conformity). The Quality Management of Adfil has been approved to the ISO 9001 & 14001 Quality Management System Standards. Adfil products are manufactured to exacting standards on technologically advanced production and packaging lines allowing constant monitoring of quality.

Call today to find out how you can take advantage of Durus S500 with your next project!

Any and all data of this publication can be subject to change without notice and are provided strictly as information only, without charge or obligation and/or without any warranty or representation whatsoever, express or implied, as to the suitability for any use, accuracy, reliability or completeness. Because the use of the data can vary and is beyond our control, the recipient shall assume full responsibility of his use and we decline any liability or warranty for damages and/or losses of whatever kind incurred by whomsoever in connection with or arising from the use, the result of use or inability to use the data of this publication.

PL ENG-A05500-12/2015

Bijlage 2: Crackstop M Ultra



Crackstop® M Ultra

Monofilament macrovezel

Datasheet

Beschrijving van het produkt

Polymer	Densiteit	Smeltpunt	Ontstekings temperatuur
PP	0,905 kg/dm ³	165 °C	> 360°C

Eigenschappen

Fysieke eigenschappen	Norm	Prestatie	Tolerantie
Equivalente diameter	EN 14889-2:2006	22 µm	-0,9/+1,3 µm
Lengte	EN 14889-2:2006	13,0/19,0 mm	+/-1,5 mm
Aspect ratio	EN 14889-2:2006	545 / 864	-
Spinnings gehalte	EN 14889-2:2006	0,7 %	-0,5/+0,3 %
Vochtgehalte	EN 14889-2:2006	1 %	-0,7/+1,0 %
Aantal vezels per kg	EN 14889-2:2006	185.078.080	-

Mechanische eigenschappen	Norm	Prestatie	Tolerantie
Treksterkte	EN 14889-2:2006	380 MPa	-100 MPa

Consistentie	Norm	Prestatie	
Vebe tijd - 0,6 kg	EN 14889-2:2006	6,0 (5,7) s	
Vebe tijd - 0,75 kg	EN 14889-2:2006	-	
Vebe tijd - 0,9 kg	EN 14889-2:2006	-	
Vebe tijd - 0,91 kg	EN 14889-2:2006	6,3 (5,7) s	
Vebe tijd - 1,0 kg	EN 14889-2:2006	-	
Vebe tijd - 1,2 kg	EN 14889-2:2006	-	

CE regelgeving	Norm	Prestatie	
Klasse	EN 14889-2:2006	Ia	

Voordelen

Crackstop® vezels zijn voorzien van een coating die de dispersie bevordert en een homogene betonmix mogelijk maakt. Crackstop® construction fibers bieden significante technische voordelen in zowel de plastische als de geharde toestand van het beton.

Mix instructies

Bij het toevoegen van vezels aan een cementeus product moet zorgvuldig aandacht gegeven worden aan de procedure van het verwerken en mengen voor het bereiken van optimale resultaten. Indien u meer informatie wenst omtrent de aanbevolen mixinstructies, gelieve dan een lid van het ADFIL team te contacteren.

Opslag

Vezels moeten bewaard worden op een propere plaats in droge condities, afgedekt en beschermd tegen mogelijke schade.

Bijlage 3: Luchtbelvormer

MENGOLIE TM AEA-B (LBV)

113

120214-12

Mengolie TM AEA-B con.2% (1411)
Mengolie TM AEA-B con.5% (LBV) (1412)

Productomschrijving

Mengolie TM AEA-B is een zeer efficiënte hulpstof waarvan de werking berust op het invoeren van veel fijn verdeelde luchtbelletjes in beton. De kunstmatig geïntroduceerde luchtbelletjes hebben de volgende positieve effecten op beton:

- verbetering van de verwerkbaarheid
- verlaging van de waterbehoefte
- vermindering van waterafscheiding, geen bleeding
- verbetering van de waterondoorlatendheid
- verhoging van de vorst/dooizoutbestandheid

Factoren als temperatuur, specie-consistentie, mengtijd, fijne delen en dosering zijn bepalend voor de vorming van fijn verdeelde lucht.

Toepassing

Mengolie TM AEA-B wordt ingezet voor:

- beton met hoge vorst/dooizoutbestandheid
- betonnen wegenbouw
- vliegvelden
- stuwdamwanden
- waterzuiveringsinstallaties
- massabeton in de grond

Dosering

- min. dosering (5%): 0,1% t.o.v. cementgewicht
- max. dosering (5%): 0,6% t.o.v. cementgewicht
- wijze en moment van doseren: De hulpstof bij voorkeur toevoegen aan de reeds aangemaakte specie

2%	5%
aggregatietoestand:	
vloeibaar	vloeibaar
kleur:	
bruin	bruin
volumieke massa (kg/l):	
1,01	1,02
pH:	
12,0	12,0
max. alkaligehalte (% Na ₂ O-eq):	
1,0	1,0
max. gehalte aan chloriden (%):	
0,1	0,1
kleurcode:	
blauw	blauw
opslag: Droog, vorstvrij, in gesloten verpakking	
houdbaarheid: Bij doelmatige opslag minstens 1 jaar na productiedatum	

Verpakking

Cans, vaten, containers, bulk.

Geschiktheidsproeven vóóraf zijn noodzakelijk.

Artikelnummer 1411 1412

Tillman B.V. - Julianaveg 12 - 7078 AR Megchelen Gld. - tel. +31(0)315377541 - fax. +31(0)315377577 - info@tillman.nl - www.tillman.nl

Bijlage 4: Rijnkiezel

[illegible]

Bijlage 5: Kalksteen

nr. technische fiche / nr. fiche technique: TG-634-GGK-4/16		datum / date: 1/04/2016		versie / version: 2016-1				
maatschappelijke zetel / siège social: J.T. MINERALEN BVBA. Goormansdijk 68 B-2480 Dessel T: +32 14 389 570 F: +32 14 389 578 info@tielen-group.be www.tielen-group.be								
productie-eenheid / unité de production: J.T. MINERALEN BVBA. Goormansdijk 68 B-2480 Dessel T: +32 14 389 570 F: +32 14 389 578 info@tielen-group.be www.tielen-group.be								
specificaties / spécifications aanduiding / indication GROF GEBROKEN KALKSTEEN 6/14								
korrelverdeling/granulométrie								
zeef/tamis (mm) EN 933-1		28	20	14	10	6,3	3,15	0,063
maximum (%) :		100	100	99	80	15	5	1,5
gemiddelde/moyenne (*) :		NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD
minimum (%) :		100	98	90	30	0	0	0
(*) informatief gemiddelde van laatste 6 maanden/moyenne des 6 derniers mois								
kenmerken/caractéristiques:		norm/norme		waarde				
gehalte aan fijne deeltjes/teneur en fines (*) :		EN 933-1		≤ 1,5				
afplatingscoëfficiënt/coefficient d'aplatissement (*) :		EN 933-3		NPD				
LA coëfficiënt - Los Angeles (*) :		EN 1097-2		NPD				
M _{HK} coëfficiënt - Micro Deval (*) :		EN 1097-1		NPD				
LA + M _{HK} :		PTV 411		NPD				
polijstingscoëfficiënt/le coefficient de polissage PSV (*) :		EN 1097-8		NPD				
graad van breken/degré de concassage (*) :		EN 933-5		NPD				
vorst-dooi weerstand/resistance au gel-dégel (*) :		EN 1367-1/2		NPD				
cloorionen/ions Cl ⁻ (%) (*) :		EN 1744-1		NPD				
schelpdelen/coquillages (%) (*) :		NBN 589-209		NPD				
reële volumieke massa fractie 10/14 / massa volumique réelle fraction 10/14 - ρ _{rel} (Mg/m³) :		EN 1097-6		NPD				
waterabsorptie fractie 10/14 / absorption d'eau fraction 10/14 - WA (%) :		EN 1097-6		NPD				
organische stoffen/des composants organiques :		EN 1744-1		NPD				
(*) verklaring van de fabrikant ontleend van zijn DoP/déclaration du producteur reprise sur sa DoP								
bevoegde vertegenwoordiger		functie vertegenwoordiger			handtekening			
Dhr. Tavi Tielen		Gedelegeerd bestuurder						

Bijlage 6: Zand

nr. technische fiche / nr. fiche technique: TG-634-Z-0/2		datum / date: 1/04/2016		versie / version: 2016-1				
maatschappelijke zetel / siège social: J.T. MINERALEN BVBA. Goormansdijk 68 B-2480 Dessel T: +32 14 389 570 F: +32 14 389 576 info@tielen-group.be www.tielen-group.be				productie-eenheid / unité de production: J.T. MINERALEN BVBA. Goormansdijk 68 B-2480 Dessel T: +32 14 389 570 F: +32 14 389 576 info@tielen-group.be www.tielen-group.be				
specificaties / spécifications aanduiding / indication ZAND 0/2								
korrelverdeling/granulométrie								
zeef/tamie (mm) EN 933-1	4	2,8	2	1	0,500	0,250	0,125	0,063
maximum (%) :	100	100	99	85	52	30	30	3
gemiddelde/moyenne (*) :	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD
minimum (%) :	100	95	89	65	32	0	0	0
(*) informatief gemiddelde van laatste 6 maanden/moyenne des 6 derniers mois								
kenmerken/caractéristiques:	norm/norme		waarde					
fijnheidsmodulus/finesse (*):	EN 12620 (bijlage B)		NPD					
veranderlijke van de korrelverdeling/variabilité de la granularité:	EN 933-1		NPD					
gehalte aan fijne deeltjes/teneur en fines (*):	EN 933-1		≤ 3					
kwaliteit van de fijne deeltjes/qualité des particules fines:	EN 933-8		NPD					
hoekigheid van het zand / angularité des sables:	EN 933-6		NPD					
chloriden/ionen Cl ⁻ (*):	EN 1744-1		NPD					
schelpdelen/coquillages (%) (*):	NBN 589-209		NPD					
reële volumieke massa fractie 0/4 / massa volumique réelle fraction 0/4 - ρ ₁₀ (Mg/m³):	EN 1097-6		NPD					
waterabsorptie fractie 0/4 / absorption d'eau fraction 0/4 - WA (%):	EN 1097-6		NPD					
organische stoffen/des composants organiques:	EN 1744-1		NPD					
(*) verklaring van de fabrikant ontleend van zijn DoP/déclaration du producteur reprise sur sa DoP								
bevoegde vertegenwoordiger	functie vertegenwoordiger		handtekening					
Dhr. Tavi Tielen	Gedelegeerd bestuurder							

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Vezelversterkt beton in schampwanden

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**
Jaar: **2017**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Smets, Jelte

Van Berkel, Mathijs

Datum: **5/06/2017**