

2019 • 2020

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

Verkennd onderzoek naar de toepasbaarheid van basaltvezels in
spuitbeton voor rioolrenovaties

PROMOTOR :

De heer Yves PLANCKE

PROMOTOR :

Dhr. Karel JANSSEN

Toon Hendrickx

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

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



2019 • 2020

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

Verkennend onderzoek naar de toepasbaarheid van basaltvezels in
spuitbeton voor rioolrenovaties

PROMOTOR :

De heer Yves PLANCKE

PROMOTOR :

Dhr. Karel JANSSEN

Toon Hendrickx

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



KU LEUVEN

*Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020.
Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op
de opdracht, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten.*

Woord vooraf

Voor u ligt de masterproef ‘Verkennd onderzoek naar de toepasbaarheid van basaltvezels in spuitbeton voor rioolrenovaties.’ Deze masterproef is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Master in de Industriële Wetenschappen Bouwkunde in opdracht van Group Renotec. De gezamenlijke opleiding industrieel ingenieur is een initiatief van UHasselt en KU Leuven. Van september 2019 tot en met juni 2020 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van deze masterproef.

Tijdens dit onderzoek stonden mijn extern promotor, ing. Karel Janssen, en mijn promotor vanuit mijn opleiding, prof. ir. Yves Plancke, altijd voor mij klaar. Ik dank hen van harte voor de hulp en ondersteuning tijdens dit traject.

De firma Basaltex verdient zeker ook een woord van dank voor de geleverde basaltvezels en de vlotte samenwerking. Ook het personeel van het Laboratorium GMA nv wil ik bedanken voor de nauwkeurige uitvoering van de proeven.

Tevens wil ik mijn collega’s bij Renotec graag bedanken voor de fijne samenwerking. In het bijzonder Robin Vanvyve, hij heeft de onderzoeksvraag voor deze masterproef bedacht en was steeds bereid mij te helpen waar mogelijk.

Tot slot wil ik mijn ouders in het bijzonder bedanken voor hun vertrouwen, steun en begrip.

Inhoudsopgave

1	Rioolrenovatie algemeen	3
1.1	Riolering	3
1.1.1	Principe	3
1.1.2	Rioolbeleid	4
1.2	Rioolschade	4
1.2.1	Biogene zwavelzuuraantasting	6
1.3	Rioolrenovatie	6
1.3.1	Methodes	7
2	Gunitering	9
2.1	Principe	9
2.2	Werkwijze	9
2.2.1	Vooronderzoek	9
2.2.2	Uitvoering	11
2.2.3	Meetproeven	13
3	Specificatie van spuitbeton	15
3.1	Betonsamenstelling	15
3.1.1	Bindmiddel	16
3.1.2	Slakgehalte	16
3.1.3	Toeslagmaterialen	17
3.1.4	Toevoegsels	18
3.1.5	Hulpstoffen	18
3.2	Eigenschappen spuitbetonspecie	19
3.2.1	Watergehalte	19
3.2.2	Consistentie	19
3.3	Eigenschappen verhard spuitbeton	20
3.3.1	Druksterkte	20
3.3.2	Hechtsterkte	21
3.3.3	Waterabsorptie	21
3.3.4	Krimp	21
3.4	Besluit	22
4	Basaltvezels	23
4.1	Vezelversterking algemeen	23
4.1.1	Werking	23
4.1.2	Soorten vezels	24
4.1.3	Vezellengte	26
4.1.4	Invloed op betonsamenstelling	26
4.2	Basaltvezel	27
4.2.1	Basaltsteen	27
4.2.2	Productieproces	27
4.2.3	Chemische samenstelling	28

4.2.4	Mechanische kenmerken	28
4.2.5	Milieuvriendelijk	29
4.2.6	Economische vergelijking	29
4.3	Duurzaamheidsaspecten	30
4.3.1	Massabehoud-test	30
4.3.2	Fysisch-chemische analyse	31
4.4	Mechanische eigenschappen	32
4.4.1	Consistentie	32
4.4.2	Druksterkte	32
4.4.3	Buigsterkte	33
4.4.4	Bindingssterkte	34
4.4.5	Krimpedrag	35
4.4.6	Waterindringing	36
4.5	Besluit	38
5	Proefonderzoek	39
5.1	Introductie	39
5.2	Onderzoeksopzet	40
5.3	Vezelmateriaal	40
5.4	Betonsamenstelling	41
5.5	Proefstukken	42
5.6	Proefopstelling	43
5.6.1	Consistentie	43
5.6.2	Druksterkte	44
5.6.3	Buigsterkte	45
5.6.4	Waterabsorptie	46
5.7	Resultaten	47
5.7.1	Consistentie	47
5.7.2	Druksterkte	48
5.7.3	Buigsterkte	50
5.7.4	Waterabsorptie	52
5.8	Resultaat analyse	54
5.8.1	Weging	54
5.8.2	Score-indicator	54
5.8.3	Analyse	55
5.9	Algemene opmerking	55
5.10	Besluit	56
6	Conclusie	57
6.1	Nabeschuwing	59
	Bibliografie	63
	Bijlagen	63
	BIJLAGE A: Technische fiche Grouttech GUN 172	64
	BIJLAGE B: Technische fiche Fibraflex	67
	BIJLAGE C: Material safety data sheet Fibraflex	69
	BIJLAGE D: Technische fiche Basalt Chopped Strands KV13	74
	BIJLAGE E: Material safety data sheet Basaltex	76
	BIJLAGE F: Beproeversverslag	79

Lijst van tabellen

2.1	Meetproeven met minimale waarde	13
3.1	Grondstoffen Grouttech GUN 172	15
3.2	Eigenschappen betonspecie Grouttech GUN 172	19
3.3	Consistentieklassen	19
3.4	Eigenschappen verhard beton Grouttech GUN 172	20
3.5	Milieuklassen en minimale prestatie-eisen	20
3.6	Waterabsorptieklassen door onderdompeling volgens NBN B15-001	21
3.7	Eigenschappen Grouttech GUN 172	22
4.1	Vezelmateriaal eigenschappen	24
4.2	Chemische samenstelling basalt- en glasvezel	28
4.3	Mechanische kenmerken van verschillende vezeltypen	28
5.1	Onderzoeksresultaten van optimale basaltvezelhoeveelheid	39
5.2	Eigenschappen van gebruikte vezels	40
5.3	Betonsamenstelling van de proefstukken	41
5.4	Zetmaat van betonmengsels	47
5.5	Breuklast resultaten	48
5.6	Druksterkte resultaten	48
5.7	Buiglast resultaten	50
5.8	Buigsterkte resultaten	50
5.9	Waterabsorptie resultaten	52
5.10	Score indicatie	54

Lijst van figuren

1.1	De weg die afval- en regenwater afleggen	3
1.2	Zuiveringsgraad afvalwater voor de Vlaamse gemeenten	4
1.3	Vervorming van de rioolbuis	5
1.4	Breuken en scheuren in de buiswand	5
1.5	Oppervlakteschade door chemicaliën	5
1.6	Riolschade door wortelindringing	5
1.7	Mechanisme van biogene zwavelzuuraantasting	6
2.1	Vijzelproef	10
2.2	Kernboring	10
2.3	Reiniging	11
2.4	Chapegaas 50/50/2	11
2.5	Natte spuitmethode	12
2.6	Guniteren	12
2.7	Afstrijken	12
2.8	Eindafwerking	12
2.9	Plaatsen van cunnetes	13
3.1	Voorwaarden voor het optreden van ASR	16
3.2	Fijnen in spuitbeton volgens de norm EN 12620	17
3.3	Aluminaat- en silicaatreactie	18
3.4	Jong spuitbeton sterkteklassen volgens EN 14487-1	20
4.1	Bezwijkmechanismen vezels	24
4.2	Invloed van vezels op spannings-rek diagram van beton	25
4.3	Effect van korrelgrootte op de vezelverdeling	26
4.4	Verband tussen gehalte fijne deeltjes en vezelgehalte voor een optimale pakkingsdichtheid	26
4.5	Basaltzuilen	27
4.6	Productieproces basaltvezels	27
4.7	Richtprijzen vezelmaterialen	29
4.8	Massabehoud in verschillende chemische oplossingen	30
4.9	SEM-beeld voor behandeling	31
4.10	SEM-beeld na 62 dagen 1 M	31
4.11	Druksterktetoename i.f.v. volumefractie basaltvezels na 28 dagen	33
4.12	Buigsterkte toename i.f.v. volumefractie basaltvezels na 28 dagen	33
4.13	Druksterkte in functie van ouderdom	34
4.14	Buigsterkte in functie van ouderdom	34
4.15	Basaltvezelbeton na 7 dagen	35
4.16	Basaltvezelbeton na 28 dagen	35
4.17	Effect van basaltvezels op het totale scheurgebied	36
4.18	Effect van basaltvezels op de scheurwijdte	36
4.19	Waterindringingsdiepte in functie van vezelgehalte	37
4.20	Poriënverdeling onversterkt beton	37

4.21 Poriënverdeling basaltvezelversterkt beton (0.3 vol%)	37
5.1 BCS 17- 6.4 - KV13	41
5.2 BCS 17- 25.4 - KV13	41
5.3 Fibraflex FF20L6	41
5.4 Mengen van betonspecie	42
5.5 Proefstukken vervaardigd per betonmengsel	42
5.6 Alle verharde proefstukken	42
5.7 Zetmaat bepalen volgens NBN EN 12350-2	43
5.8 Drukbank	44
5.9 Bepalen van de buigsterkte NBN EN 1015-11	45
5.10 Waterabsorptie door onderdompeling	46
5.11 Effect van basaltvezels op de consistentie	47
5.12 Gemiddelde druksterkte	49
5.13 Druksterkte i.f.v. volumegewicht	49
5.14 OV	51
5.15 BV25.4-0.5	51
5.16 BV6.4-0.5	51
5.17 Gemiddelde buigsterkte	51
5.18 Maximale buigsterkte	52
5.19 Gemiddelde waterabsorptie	53
5.20 Score-indicator	54

Abstract

Renovatie van rioolleidingen door middel van spuitbeton, ook gekend als gunitering, is één van de kerncompetenties van Renotec. Bij gunitering worden metaalvezels toegevoegd met als doel het prestatievermogen en de duurzaamheid van het beton te verbeteren. Een relatief nieuw en milieuvriendelijk vezeltype voor betonversterking is basaltvezel. Het effect van basaltvezels op beton is afhankelijk van het vezelgehalte, maar volgens vergelijkbare onderzoeken is de spreiding van het optimale volumegehalte basaltvezel groot. Deze uiteenlopende waarden rechtvaardigen het proefonderzoek dat in het kader van deze masterproef werd uitgevoerd.

Betonnen proefstukken versterkt met korte (6,4 mm) en lange (25,4 mm) basaltvezels in verschillende doseringen zijn getest op druksterkte, buigsterkte en waterabsorptie. Vervolgens werd de vergelijking gemaakt met mechanische eigenschappen van metaalvezelversterkte proefstukken en met de Europese betonnormen NBN EN 206 en NBN EN 14487-1 die de normatieve basis vormen voor de specificatie van spuitbeton.

De basaltvezels waarmee in het kader van deze studie de beste prestaties bereikt worden, zijn de 25,4 mm lange vezels in volumefracties van 0,1% en 0,3%. Ondanks de mindere prestaties ten opzichte van metaalvezels kan basaltvezelbeton toch verantwoord zijn voor rioolrenovatie-toepassingen vermits basaltvezels niet roesten, chemisch stabiel, milieuvriendelijk en betrekkelijk goedkoop zijn. Vooral problemen rond verwerkbaarheid en verdichting liggen aan de basis voor de mindere resultaten.

Trefwoorden: basaltvezel, spuitbeton, gunitering, druksterkte, buigsterkte, waterabsorptie.

Abstract in English

Renovation of sewage pipes by means of shotcrete, also known as gunnite, is one of Renotec's core competences. Metal fibers are added to the shotcrete to improve its performance and durability. A relatively new and environmentally friendly fiber type for concrete reinforcement is basalt fiber. The effect of basalt fibers on concrete depends on the fiber content, but according to comparable studies, the optimal volume content of basalt fiber differs remarkably. These varying values justify the pilot research that was carried out in the context of this master's thesis.

Reinforced concrete specimens with short (6.4 mm) and long (25.4 mm) basalt fibers in various dosages have been tested for compressive strength, bending strength and water absorption. Afterwards the comparison was made with mechanical properties of metal fiber reinforced test pieces and with the European concrete standards NBN EN 206 and NBN EN 14487-1 which form the normative basis for the specification of shotcrete.

The basalt fibers with which the best performances are achieved in this study are the 25.4 mm long fibers in volume fractions of 0.1% and 0.3%. Despite its lower performance compared to metal fibers, basalt fiber concrete can still be used for sewer renovation applications since basalt fibers do not rust, are chemically stable, environmentally friendly and relatively inexpensive. Especially problems with processability and compaction are the basis for the lesser results.

Keywords: basalt fiber, shotcrete, gunnite, compressive strength, flexural strength, water absorption.

Overzicht

Het is internationaal erkend dat vezels een verbeterend effect hebben op het prestatievermogen en de duurzaamheid van beton. Bij rioolrenovaties worden vezels toegevoegd om een dichter, minder poreus beton te bekomen waardoor de kans op indringing van agressieve stoffen en lekkages miniem blijft. Een relatief nieuw vezeltype dat wordt gebruikt voor betonversterking zijn milieuvriendelijke basaltvezels. De onderzoeksvraag van deze masterproef luidt als volgt: "Zijn basaltvezels toepasbaar als versterking in spuitbeton voor rioolrenovaties?"

In hoofdstuk 1 wordt het principe van rioolrenovaties besproken. Er wordt dieper ingegaan op verschillende oorzaken van rioolschade en een aantal rioolrenovatietechnieken worden toegelicht.

Hoofdstuk 2 belicht de werkwijze van de renovatietechniek met spuitbeton, ook gekend als guntering. Naast de uitvoering zelf worden ook het vooronderzoek en de controleproeven besproken.

In hoofdstuk 3 worden de prestatie-eisen van spuitbeton in rioolomgeving onderzocht. De Europese betonnormen NBN EN 206 en NBN EN 14487-1 vormen de normatieve basis voor de specificatie van spuitbeton.

Hoofdstuk 4 handelt over de werking van vezels in beton en de invloed van vezels is op de betonsamenstelling. Een aantal verschillende vezelmaterialen worden toegelicht. Daarnaast wordt basalt besproken op gebied van chemische samenstelling, duurzaamheid, mechanische eigenschappen, milieuvriendelijkheid en kostprijs. Op basis van vergelijkbare studies wordt ook het effect van basaltvezels op verschillende fysieke en mechanische eigenschappen onderzocht. Dit zijn niet de enige aspecten waarmee rekening moet worden gehouden bij het evalueren van hun potentiële toepassing in spuitbeton. Ook de chemische duurzaamheid van de vezels in verschillende omgevingen wordt in dit hoofdstuk toegelicht.

Hoofdstuk 5 omvat een beschrijving van een proefonderzoek dat als doel heeft de optimale basaltvezelversterkte betonsamenstelling te bepalen. De mechanische eigenschappen van betonnen proefstukken met een variabel vezellengte en vezelgehalte worden getest en vergeleken. Daarnaast wordt ook de vergelijking gemaakt met metaalvezelversterkte en onversterkte proefstukken. Vervolgens worden de proefresultaten getoetst aan de prestatie-eisen van spuitbeton in rioolomgeving uit hoofdstuk 3. Tenslotte zal op basis van een resultaten-analyse getracht worden het meest geschikte vezeltype en vezelgehalte te bepalen.

In hoofdstuk 6 wordt op basis van de proefresultaten een conclusie geformuleerd in verband met het versterkend effect van basaltvezels in spuitbeton. In een nabeschuiving wordt vervolgens aangegeven hoe een eventueel verder onderzoek zou kunnen aangevat worden.

Inleiding

Situering

Een goed functionerend rioleringsstelsel is niet meer weg te denken uit onze moderne samenleving. De ondergrondse infrastructuur zorgt enerzijds voor de inzameling en het transport van afvalwater, anderzijds voor de inzameling en de afvoer van een groot gedeelte van het regenwater. In Vlaanderen zijn de rioleringsbuizen meestal vervaardigd uit beton en de mangaten en collectoren zijn vaak uit metselwerk opgetrokken.

De vooropgestelde levensduur van een rioleringsstelsel bedraagt 50 jaar. Maar continue fysische, chemische en biologische belastingen leiden vaak tot aantasting van de binnenwand waardoor de levensduur van 50 jaar soms in het gedrang komt. Dankzij het uitgebreide gamma aan rioolrenovatietechnieken is het mogelijk om ons ondergronds patrimonium in stand te houden en te optimaliseren. Het voornaamste voordeel van rioolrenovatie is dat het buizenstelsel ondergronds kan worden hersteld. Hierdoor kan een volledige vervanging van de riolering vermeden worden en dus veel tijd en geld worden uitgespaard.

Voor het onderzoek in deze thesis richten we ons op renovatie van rioolleidingen met behulp van spuitbeton, ook gekend als gunitering. Deze techniek wordt voornamelijk toegepast in betonnen of gemetste collectoren. Een belangrijke vereiste is dat deze collectoren mantoegankelijk zijn om de eenvoudige reden dat de operator voldoende ruimte nodig heeft om het spuitbeton op een correcte wijze aan te brengen.

De uitvoering van dit onderzoek gebeurt in samenwerking met de firma Renotec. Door de jaren heen bouwde het bedrijf een sterke reputatie en kennis op in de nichemarkt van rioolrenovatie. Renotec richt zich voornamelijk op de renovatie van privéaansluitingen en publieke rioleringsstelsels in stedelijke gebieden. In deze werkomgeving is het van groot belang de sociale hinder en de economische schade ten gevolge van renovatiewerken te beperken. Dankzij de toepassing van innovatieve technieken, zoals bijvoorbeeld robottechnologie, kan het opbreken van straten tot een minimum worden herleid. Wat op zijn beurt resulteert in minder hinder voor omwonenden en passanten.

Onderzoeksvraag

Bij de beproefde methode van renovatie met spuitbeton wordt een nieuw structureel geheel gevormd tegen de bestaande binnenwand van de riolering. Om het prestatievermogen en de duurzaamheid van spuitbeton te vergroten wordt deze voorzien van wapening. De meest gekende manier om dit te realiseren is met behulp van wapeningsnetten, maar ook door toevoeging van gietijzeren vezels of kunststofvezels kan men spuitbeton wapenen. Het vezeltype dat Renotec standaard gebruikt als vezelversterking zijn amorfe metaalvezels van vezelproducent Fibraflex. Aan dit vezeltype werden enkele nadelen ondervonden, zoals:

- het toevoegen van metaalvezels tijdens het mengproces is zeer tijdrovend;
- grote milieu-impact van het productieproces;
- door de stijfheid van metaalvezels is de slijtage aan de pompinstallaties aanzienlijk;
- hoge kostprijs;
- sommige klanten stellen de corrosiebestendigheid van metaalvezels in vraag.

Omwille van bovenstaande redenen had Renotec graag de toepassing van alternatieve vezels onderzocht. Basaltvezels zijn relatief nieuw op gebied van betonversterking. Dankzij zijn uitstekende eigenschappen zoals hoge treksterkte, hoge hittebestendigheid en milieuvriendelijkheid worden basaltvezels beschouwd als potentieel alternatief voor meer gangbare vezeltypes. Deze masterproef onderzoekt de toepasbaarheid van milieuvriendelijke basaltvezels in spuitbeton voor rioolrenovaties.

Doelstellingen

Het doel van deze masterproef bestaat erin om de eigenschappen van basaltvezelversterkt spuitbeton te bepalen en deze vervolgens te toetsen aan de normen waaraan spuitbeton in een rioolomgeving dient te voldoen. De normatieve basis voor de specificatie van spuitbeton wordt gevormd door de Europese betonnormen NBN EN 206 en NBN EN 14487-1.

Methode

Het uitwerken van een dergelijk concept vraagt een literatuurstudie van de bestaande informatie voor deze toepassing. Op basis van de literatuurstudie zal een theoretische benadering van basaltvezelversterkt spuitbeton worden uitgewerkt. De fysieke en mechanische eigenschappen van de vezels zijn niet de enige aspecten waarmee rekening moet worden gehouden bij het evalueren van hun potentiële toepassing in spuitbeton. Factoren zoals de chemische duurzaamheid van de vezels vereisen ook een zorgvuldige afweging. Wanneer uit de theoretische benadering blijkt dat basaltvezels toepasbaar zijn in spuitbeton voor rioolrenovatie zullen proefstukken worden vervaardigd. Aan de hand van onderzoeksproeven op proefstukken men een variabel vezelgehalte en verschillende vezellengte wordt getracht de optimale betonsamenstelling te bepalen. Op basis van een vergelijkende studie tussen de proefresultaten en de prestatie-eisen van spuitbeton kan vervolgens een besluit gevormd worden of basaltvezels al dan niet geschikt zijn voor desbetreffende toepassing.

Hoofdstuk 1

Rioolrenovatie algemeen

1.1 Riolering

1.1.1 Principe

Het rioleringsstelsel is verantwoordelijk voor het verzamelen en transporteren van afval- en regenwater. Regenwater wordt via de regenwaterafvoer en straatkolken naar het riool geleid. Maar ook het afvalwater geproduceerd door huishoudens of bedrijven komt via de vuilwaterafvoer in het riool terecht.

Het Vlaamse rioleringsstelsel bestaat voor het grootste deel uit gemeente rioleringen. Bij een gemend riool wordt zowel het vuile afvalwater als het schonere regenwater in dezelfde riolering geloosd. Toch gaat de voorkeur uit naar een gescheiden rioleringsstelsel. Zoals de naam doet vermoeden zal men de afvoer van het vuile afvalwater en schonere regenwater scheiden. Het afvalwater wordt dan via een droogweerafvoerleiding naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie getransporteerd. Het regenwater kan dan ter plaatse in de bodem insijpelen voor de grondwaterreserves op peil te houden of binnenshuis herbruikt worden om zo het onnodige verbruik van drinkbaar water te beperken [1].

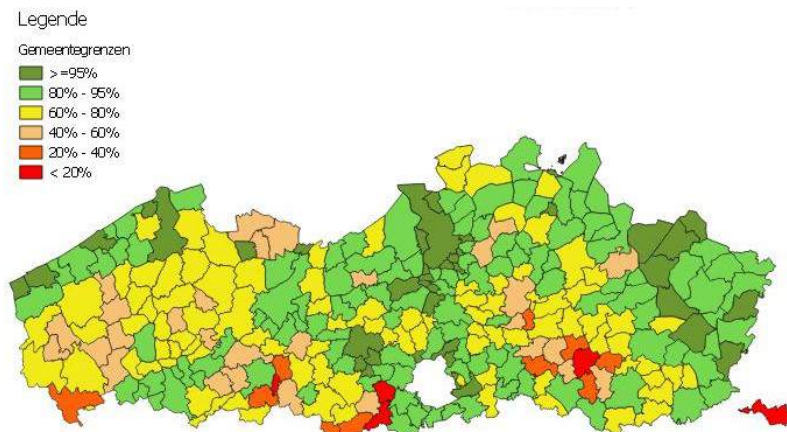
Eens een bepaalde hoeveelheid afvalwater verzameld is voeren collectoren grote hoeveelheden afvalwater af naar het rioolwaterzuiveringsstation. Het afvalwater wordt daar in verschillende stappen biologisch gezuiverd totdat de kwaliteit voldoende is om het te lozen in een waterloop [2].



Figuur 1.1: De weg die het afval- en regenwater afleggen [3]

1.1.2 Rioolbeleid

Tot in de jaren '70 waren de Vlaamse gemeenten zelf bevoegd over de collectering en zuivering van het afvalwater. Hieraan werd destijds weinig tot geen aandacht aan besteed waardoor men het rioolwater vaak direct op het oppervlaktewater loosde met een bedroevende waterkwaliteit als gevolg. Het is pas na de invoering van de Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater (ERSA) in 1991 dat men in het Vlaamse gewest fors ging investeren in waterzuivering. De ERSA verplichtte namelijk alle Europese lidstaten het geproduceerde afvalwater te zuiveren en legde eisen op voor de bouw van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Dit leidde tot een snelle verbetering van het oppervlaktewater.



Figuur 1.2: Zuiveringsgraad afvalwater voor Vlaamse gemeenten [4]

Figuur 1.2 toont de recentste zuiveringsgraad van het afvalwater in de Vlaamse gemeenten. Onder zuiveringsgraad verstaan we de verhouding van het aantal inwoners aangesloten op het RWZI per gemeente ten opzichte van het totaal aantal inwoners van de gemeente [5, 6].

1.2 Riolschade

Rioolstelsels worden voortdurend belast door fysische, chemische, biochemische en biologische belastingen. De meest voorkomende zijn:

- externe belasting door wortelgroei van omliggende bomen;
- verzakking van de grond onder de riolering ten gevolge van een foutieve plaatsing;
- accidentele lozingen van chemicaliën;
- biogene zwavelzuuraantasting.

De bovengenoemde belastingen leiden tot een veel te vroege en niet vooraf verwachte aantasting van het rioleringsstelsel. Vaak wordt de vooropgestelde levensduur van 50 jaar hierdoor niet gehaald. Schade is na verloop van tijd onvermijdelijk, daarom is het aangeraden om op regelmatige basis rioleringen te controleren met behulp van camera-inspecties. Op basis van de Europese norm NBN EN13508-2 worden deze schadebeelden geïnventariseerd volgens de toestand waarin de riolen zijn aangetroffen [7, 8].

De schadebeelden die het vaakst voorkomen zijn:

- vervormingen ten opzichte van de oorspronkelijke vorm;
- scheuren, barsten en breuken;
- verplaatste verbindingen;
- oppervlakteschade door chemicaliën;
- wortelindringing van bomen of andere planten.

Op basis van de initiële toestand van het rioleringsstelsel zal de rioolbeheerder beoordelen welke maatregelen van toepassing zijn. Er zal een keuze gemaakt worden tussen rioolrenovatie, rioolherstelling, rioolvernieuwing of onderhouds- en beheersmaatregelen [7].



Figuur 1.3: Vervorming van de rioolbuis[7]



Figuur 1.4: Breuken en scheuren in de buiswand [7]



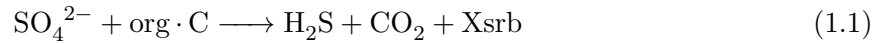
Figuur 1.5: Oppervlakteschade door chemicaliën [7]



Figuur 1.6: Rioolschade door wortelindringing [7]

1.2.1 Biogene zwavelzuuraantasting

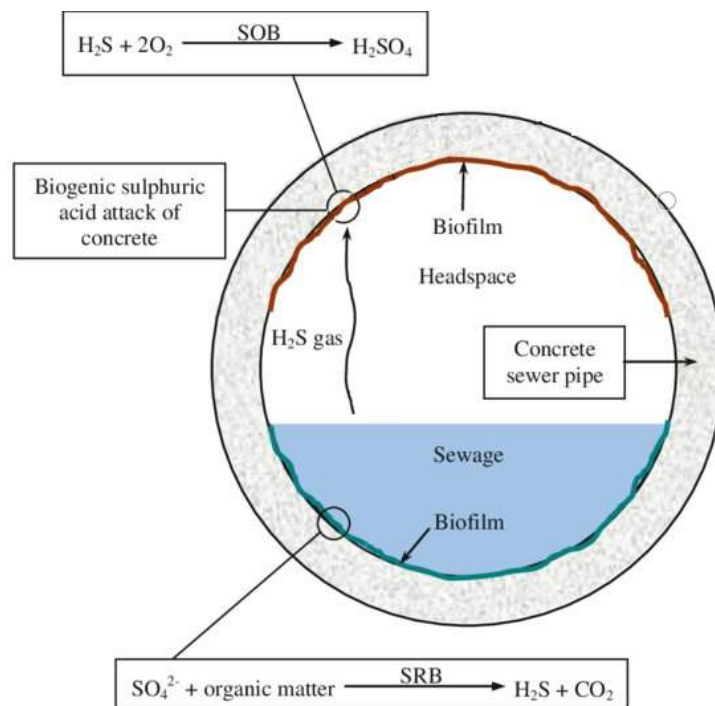
Van alle aantastingsverschijnselen is biogene zwavelzuuraantasting (BZA) veruit de meest voorkomende bij cementgebonden rioleringen. BZA treedt op wanneer H_2S moleculen in het rioolwater worden vrijgesteld aan de rioollucht. In het rioleringsstelsel wordt waterstofsulfide gevormd door biologische reductie van sulfaat dat afkomstig is van wasmiddelen, drinkwater en fecaliën (1.1). Sulfaat is in relatief hoge concentraties in het rioolwater aanwezig.



Eens vrijgesteld wordt waterstofsulfide omgezet in zwavelzuur door micro-organismen die aanwezig zijn op de wand van de betonnen rioolbuis (1.2).



BZA zorgt ervoor dat de zuurtegraad op het wandoppervlak drastisch met carbonatie en hydratatie van het beton als gevolg. De aantastingsdiepte kan oplopen tot 6 à 12 mm per jaar



Figuur 1.7: Mechanisme van biogene zwavelzuuraantasting [9]

1.3 Rioolrenovatie

Wanneer schade aan een riolering tijdig kan worden vastgesteld kan met een gepaste rioolrenovatietechniek een nieuwe levensduur van 50 jaar verwezenlijkt worden [8]. Rioolrenovatie is gericht op de instandhouding en versterking van bestaande rioolleidingen of volledige rioleringsstelsels met behoud van hun functie. Het grote voordeel van rioolrenovatie ten opzichte van rioolvervanging is dat renovatie volledig sleufloos kan worden gerealiseerd. Er komt minder breekwerk aan te pas wat de overlast tot een minimum beperkt.

1.3.1 Methodes

De laatste jaren is het aanbod aan rioolrenovatiemethodes sterk toegenomen. Deze evolutie is voornamelijk te danken aan de introductie van de camera-inspecties. In hoofdstuk 7 van het Standaard Bestek 250 [10] staan de volgende 16 renovatiemethodes beschreven:

- rioolrenovatie door het aanbrengen van gunitemortel via de natte spuitmethode of handmatig aangebracht voor lokale reparaties;
- rioolrenovatie door lining met ter plaatse uitgeharde buis (TPUB);
- rioolrenovatie door middel van buis in buissysteem met HDPE-wandsterkte buizen met gladde binnenwand;
- rioolrenovatie door middel van buis in buissysteem met hard PVC-wikkelbuizen;
- rioolrenovatie door middel van buis in buissysteem met standaardbuizen (sliplining) met glasvezelversterkte polyesterbuizen (GVP);
- rioolrenovatie door middel van buis in buissysteem met aan de vorm aangepaste buizen (sliplining) met glasvezelversterkte thermohardende kunststof (GVK);
- rioolrenovatie door middel van glasvezelversterkte thermohardende kunststof (GVK) panelen;
- Waterdichting door middel van injectieharsen in structuren met diameter ≤ 800 mm;
- rioolrenovatie en corrosiebescherming door middel van solventvrije kunstharsen;
- waterdichting door middel van injectieharsen in man-toegankelijke structuren;
- herstelling van lekkende voegverbindingen en grindnesten d.m.v. het plaatsen van inox-machetten in buisleidingen;
- rioolrenovatie met geprefabriceerde keramische elementen;
- rioolrenovatie door middel van HDPE / grout liner;
- rioolrenovatie door middel van deelrenovatie met glasvezelversterkt kunsthars;
- rioolrenovatie door middel van close-fit lining met fabrieksmatig gevouwen HDPE-buizen;
- rioolrenovatie door middel van pipe-bursting.

Bovenvermelde renovatiemethodes kunnen opgedeeld worden in 2 verschillende processen. Namelijk het coating proces en het lining proces. Bij het coating proces worden op de bestaande binnenwand van de buis of collector één of meerdere coatinglagen aangebracht om deze zo te beschermen tegen chemische, biologische en fysische aanvallen. Bij het lining proces, ook wel relining genoemd, wordt een nieuwe buis gerealiseerd in de oude te renoveren riolering. Veel toegepaste methodes zijn de pipe-burst techniek en de kousmethode [10].

Hoofdstuk 2

Gunitering

De meest gekende renovatietechniek van het type coating proces is renovatie van rioolleidingen door middel van spuitbeton, ook gekend als gunitering. Deze techniek wordt toegepast voor de renovatie van betonnen of cementgebonden mantoegankelijke collectoren. Bij andere materialen zoals kunststoffen of keramische rioleringen is gunitering niet mogelijk omdat de adhesie het in de meeste gevallen niet toelaat.

2.1 Principe

Bij gunitering wordt beton via overdrukbestendige buizen of slangen naar het spuitstuk, ook wel de nozzle genoemd, getransporteerd. Het betonmengsel wordt vervolgens onder hoge druk op de binnenwand geprojecteerd zodat onmiddellijk een volledig verdichte betonstructuur gevormd wordt. Door een dunne laag spuitbeton op de bestaande aangetaste constructie aan te brengen wordt een nieuw structureel geheel gevormd.

Het voordeel van spuitbeton is dat het mengen, transporteren, verwerken en verdichten in één arbeidsgang geschiedt. Hierdoor kan snel een dragende structuur worden gerealiseerd zonder vooraf een bekisting te moeten vormen. Gespoten beton is een flexibele, economische en snelle bouwmethode waarbij gespecialiseerde werknemers zijn vereist voor een goede uitvoering [11].

2.2 Werkwijze

2.2.1 Vooronderzoek

Wanneer er sprake is van rioolschade is het belangrijk een correcte diagnose te stellen. Aan de hand van een vooronderzoek tracht men met technische middelen en onderzoeksmethodes een geschikte rioolrenovatietechniek voor te schrijven.

Een vooronderzoek bestaat uit:

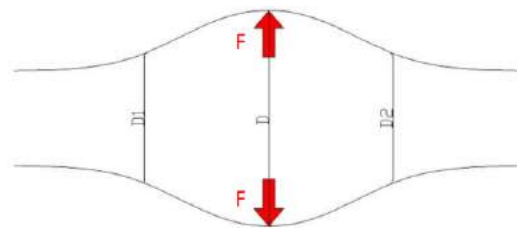
- visuele inspectie;
- vizelproef;
- kernonderzoek.

Visuele inspectie

Om een duidelijk beeld te krijgen van de initiële toestand van de riolering wordt een visuele camera-inspectie uitgevoerd. Op basis van de Europese norm NBN EN13508-2 worden deze schadebeelden geïventariseerd volgens de toestand waarin de riolen zijn aangetroffen.

Vijzelproef

De vijzelproef meet de verplaatsing van het riool onder invloed van een gecontroleerde belasting die aangebracht wordt door middel van een vijzel zoals voorgesteld op Figuur 2.1. Het doel van deze proef is om de algehele stijfheid te bepalen, deze bestaat enerzijds uit de stijfheid van de constructie en anderzijds uit de stijfheid die geboden wordt door de omliggende grond.



Figuur 2.1: Vijzelproef

De algehele stijfheid K_g wordt gedefinieerd als de verhouding van de kracht F tot de halve verplaatsing D gemeten op het moment van toepassing van de kracht.

Wanneer uit de vijzelproef blijkt dat de stijfheid onvoldoende is zullen injectiewerkzaamheden over de volledige lengte worden uitgevoerd met als doel de verbinding tussen de structuur en de omliggende grond te versterken.

Kernonderzoek

Over de volledige lengte van de collector worden kernboringen uitgevoerd van 100 cm diep en met een doorsnede van 4 cm^2 . Elk van deze kernen worden vervolgens geanalyseerd om volgende zaken te bepalen:

- de structuuropbouw van de riolering;
- de druksterkte;
- de samenstelling van de achterliggende grond.



Figuur 2.2: Kernboring

2.2.2 Uitvoering

Als uit de analyse van het vooronderzoek blijkt dat het aangewezen is om de structuur te versterken wordt vaak geopteerd voor gunitering. Als het spuitbeton op een correcte manier wordt aangebracht vormt deze een duurzame bescherming met garantie op vloeistofdichtheid [12].

Vorbereiding

Om een goede hechting tussen het spuitbeton en de bestaande binnenwand te garanderen dient deze een zekere ruwheid te hebben. Door het binnenoppervlak onder hoge druk te reinigen ($> 1000 \text{ bar}$) zullen alle losse deeltjes worden verwijderd (zie Figuur 2.3).



Figuur 2.3: Reiniging



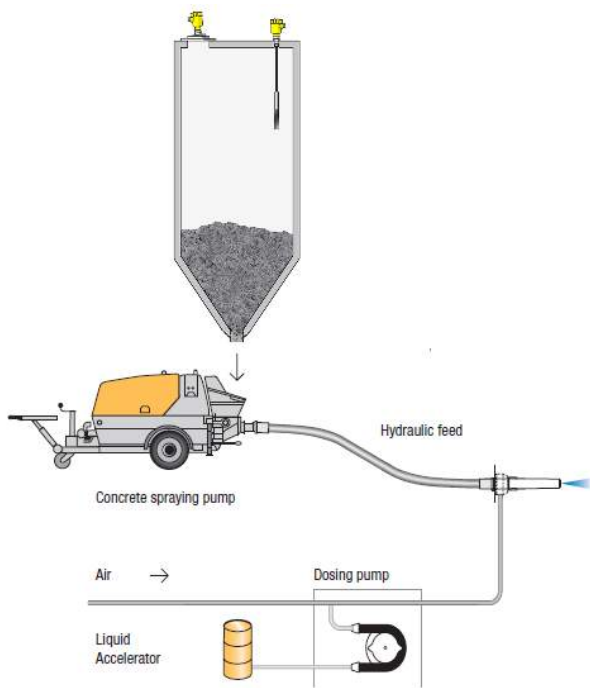
Figuur 2.4: Chapegaas 50/50/2

Bijkomend zal een chapegaas tegen de binnenwand worden bevestigd (zie Figuur 2.4). Deze wordt met behulp van afstandhouders op $\pm 3 \text{ cm}$ van de binnenwand aangebracht en in de structuur verankerd. De gaas dient enerzijds om een betere hechting te creëren tussen het spuitbeton en de binnenwand. Ook kan hierdoor het beton in dikkere lagen worden aangebracht.

Natte spuitmethode

Spuitbeton kan op 2 verschillende manieren worden aangebracht, met de natte en de droge spuitmethode. In de rioolrenovatiebranche wordt het natte spuitproces toegepast voor de renovatie van collectoren. Dit proces draagt zijn naam aangezien de mortel met water gemengd wordt voordat deze door de slang wordt verpompt. Dankzij de beperkte druk waarmee het beton wordt aangebracht volstaat een werkbreedte van 1,6 meter waardoor ook kleinere collectoren gerenoveerd kunnen worden.

De natte spuitmethode is een moderne en efficiënte techniek waarbij de werkomstandigheden beter zijn door aanzienlijk minder stofontwikkeling. De kwaliteit van het gespoten beton is van hoge kwaliteit dankzij het constante watergehalte in het betonmengsel. Het is belangrijk te weten dat de werktijd vooraf is ingesteld en dus moet het beton binnen die tijd worden aangebracht. Als dit niet het geval is bestaat de kans dat het beton in de slangen gaat uitharden [11].



Figuur 2.5: Natte spuitmethode [11]

Alvorens het beton op de binnenwand van de riolering kan worden aangebracht moet het eerst van de cementsilo naar de plaats van aanbrengen worden getransporteerd. Figuur 2.5 toont aan hoe dit transport verloopt.

De cementsilo bevat een droog mengsel van cement, aggregaten en metaalvezels. Voordat het mengsel in de betonpomp valt wordt via een doseereenheid de juiste waterhoeveelheid toegevoegd en vermengd tot beton. Het betonmengsel wordt van hieruit hydraulisch verpompt tot de plaats van aanbrengen. Via een tweede slang wordt lucht aan de nozzle toegevoegd die ervoor zorgt dat het beton pneumatisch gespoten kan worden. Tot slot is er nog een derde slang aangesloten op de nozzle, deze zorgt ervoor dat de juiste hoeveelheid versneller wordt toegevoegd om de sterkteontwikkeling van het beton aanzienlijk te versnellen.

Guniteren

Het beton wordt loodrecht op de ondergrond geprojecteerd. Dit maximaliseert de verdichting en minimaliseert de rebound. Het gespoten beton wordt in cirkelvormige bewegingen gelijkmatig over het gehele oppervlak aangebracht vanop een afstand van 20 - 30 cm (zie Figuur 2.6). Nadat de eerste laag gelijkmatig is aangebracht over een breedte van 1,5 m zal een tweede arbeider het beton gladstrijken om alle oneffenheden weg te werken (zie Figuur 2.7). In een volgende fase wordt een 2e afwerklaag aangebracht (zie Figuur 2.8). Deze laag heeft een glad oppervlak waardoor opeenhoping van sediment en organisch materiaal wordt gereduceerd. De minimale dikte van de spuitbetonlaag wordt bepaald op basis van een voorbereidende studie.



Figuur 2.6: Guniteren



Figuur 2.7: Afstrijken



Figuur 2.8: Eindafwerking

Cunnetes

Door hydraulische overbelasting is er sprake van degradatie van de vloei. Daarom worden in een laatste fase de cunnetes geplaatst in de vloei van de riolering of collector tot 30 cm boven de waterlijn. Deze uit glasvezel vervaardigde schaaldelen zorgen ervoor dat:

- geometrische onjuistheden zoals tegenhellingen kunnen worden geëlimineerd;
- de ruwheidscoëfficiënt verminderd en dus de hydraulische prestaties verbeteren;
- de waterdichtheid van de structuur verbeterd.



Figuur 2.9: Plaatsen van cunnetes

2.2.3 Meetproeven

28 dagen na uitvoering van de gunitering wordt de gerenoveerde riolering onderworpen aan meet- en controleproeven om de kwaliteit van het werk te verifiëren. Tabel 2.1 toont welke proeven standaard worden uitgevoerd en welke waarden hiervoor vereist zijn.

Tabel 2.1: Meetproeven met minimale waarde

Proef	Beschrijving	Minimale waarde
Hechtsterkte	bepalen van de hechtsterkte tussen spuitbetonlaag en de initiële constructie	$>2\text{MPa}$
Druksterkte	druksterkteproef uitgevoerd op kernboringen	$\geq 35\text{MPa}$
Waterabsorptie	waterabsorberend vermogen van het spuitbeton	$\leq 6\%$
Vezelgehalte	bepalen van het vezelgehalte in het spuitbeton	$15 \text{ kg}/\text{m}^3$
Laagdikte	controle van de toegepaste laagdikte	5 - 8 cm

Hoofdstuk 3

Specificatie van spuitbeton

De eisen die gesteld worden aan spuitbeton voor rioolrenovatie zijn divers. De chemische weerstand, de weerstand tegen uitwendige waterdruk en de slijtvastheid (erosie) zijn maar enkele parameters waaraan moet worden voldaan [12].

Voor gunitering gebruikt Renotec een 1-componentige natspuitmortel, Grouttech GUN 172. Deze wordt toegepast voor [13]:

- het herstellen van het alkalisch milieu rondom de wapening (corrosiebescherming);
- het realiseren van een (verhoogde) dekking op de wapening en voor het repareren van beschadigde betonoppervlakken;
- het verdikken en/of versterken van constructie onderdelen of voor de totale renovatie van betonskeletten, tunnels, rioleringen, zwembaden en moeilijk te bekisten constructies.

De volledige technische fiche van deze betonmix is toegevoegd in bijlage A.

De Europese betonnormen NBN EN 206 en NBN EN 14487-1 vormen de normatieve basis voor de specificatie van spuitbeton. Op basis van deze normen wordt in dit hoofdstuk een vergelijkende studie gedaan met de technische gegevens van de GUN 172 natspuitmortel om aan te tonen dat deze geschikt is voor rioolrenovatietoepassingen [14].

3.1 Betonsamenstelling

Tabel 3.1: Grondstoffen Grouttech GUN 172 [13]

Bindmiddel	Hoogovencement CEM III/B gecombineerd met portlandcement CEM I met BENOR – certificaat volgens de PTV 603 – “Cementsoorten”
Slakgehalte	$> 50\%(m/m)$
Toeslagmaterialen	Harde dichte toeslagmaterialen met BENOR – certificaten volgens de PTV 411 – “Codificatie van de granulaten “
Korrelafmeting	0-4 mm
Toevoegingen	Microsilica
Hulpstoffen	Plastificeerders, Stabilatoren

3.1.1 Bindmiddel

In hoofdstuk 7 van het standaardbestek 250, dat handelt over rioolrenovatie, is voorgeschreven dat cement een hoge bestandheid tegen sulfaten dient te hebben. "High Sulfate Resisting" (HSR) cement voldoet voor gebruik in toepassingen in contact met hoge gehalten aan sulfaten, wat het geval is in de sterk agressieve chemische omgeving van rioleringen [10].

Onderstaande cementtypes zijn hiervoor geschikt :

- portlandcement CEM I-SR0 en CEM I-SR3;
- hoogovencement CEM III/B-SR en CEM III/C-SR;
- composietcement CEM V/A (S-V) HSR indien het gehalte $\text{CaO} \leq 50\%$;
- supersulfaatcement SSC HSR.

De GUN 172 betonmix combineert hoogovencement CEM III/B met portlandcement CEM I en kan dus geklasseerd worden als HSR-cement.

3.1.2 Slakgehalte

Hoogovenslak is een restproduct van de staalindustrie dat met cement vermengd wordt voor verschillende toepassingen:

- dichter beton en hogere duurzaamheid;
- goed behoud van de verwerkbaarheid;
- zeer hoge mechanische sterkte op lange termijn;
- verminderd risico op alkali-silica reactie.

Indien het beton zal worden blootgesteld aan chloriden dient het volgens aanbeveling een cement met hoog gehalte aan hoogovenslak (type CEM III/ B 42,5) te bevatten. De chloriden in oplossingen worden immers (deels) gebonden door de hydratatieproducten van het hoogovenslak waardoor hun mobiliteit beperkt blijft [15].

Alkali-silicareactie (ASR)

ASR is een reactie van alkaliën, water en reactief silica uit toeslagmateriaal. Door de reactie wordt alkali-silicagel gevormd, dat veel water absorbeert en daardoor zwelt. Het gevolg hiervan is dat het beton van binnenuit kapot wordt gedrukt [16].



Figuur 3.1: Voorwaarden voor het optreden van ASR [15]

Schadelijke ASR kan alleen optreden als tenminste aan drie voorwaarden gelijktijdig wordt voldaan:

- het toeslagmateriaal moet ASR-gevoelig zijn (voldoende reactieve silica bevatten);
- er moeten voldoende alkaliën in het beton beschikbaar zijn;
- er moet periodiek of blijvend voldoende vocht in het beton aanwezig zijn.

De cementkeuze en de beton-/mortelsamenstelling hebben direct invloed op het effectieve alkaliëgehalte van het product. Het risico op schade door ASR kan op een eenvoudige wijze tot een verwaarloosbaar laag niveau worden teruggebracht door een juiste keuze van cement en toeslagmateriaal [13].

Er zijn geen verdere preventieve maatregelen nodig als gewerkt wordt met hoogovencement CEM III/B of een cementmengsel met minimaal 50% hoogovenslak. Met deze cementen wordt een beton verkregen, waarbij alkaliën van buitenaf nauwelijks kunnen binnendringen [16].

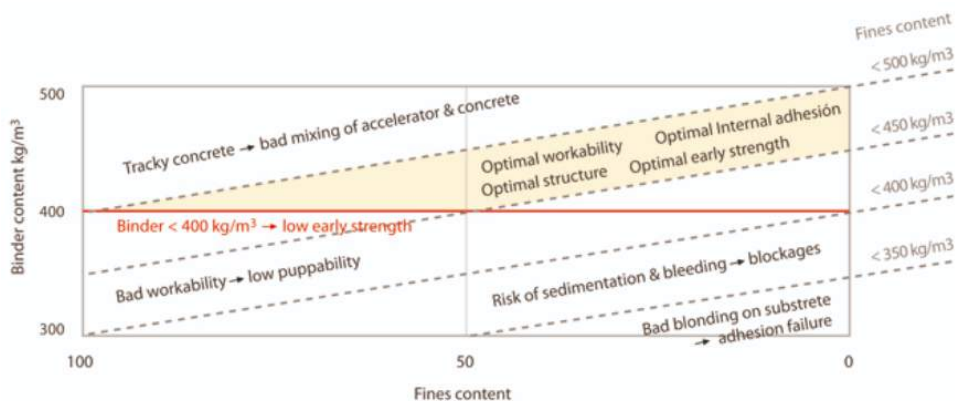
3.1.3 Toeslagmaterialen

Toeslagmaterialen vormen het skelet van de gespoten betonmatrix. 75% van het betonvolume bestaat uit de zand- en grindcomponenten. De samenstelling van de toeslagstoffen heeft een grote invloed op:

- de homogeniteit van het beton;
- de waterbehoefte;
- de mechanische eigenschappen (treksterkte in buiging en druksterkte);
- de verwerkbaarheid van het mengsel (vorm en fijne deeltjes);
- de vereiste duurzaamheid (porositeit en zuiverheid).

Om al deze redenen moeten aggregaten de hoogste prioriteit krijgen. Voor gespoten beton opteert men volgens EN 12620 een continue korrelverdeling van granulaten met een maximale korrelgrootte van 4 mm. Het spuitbeton moet namelijk door een nauwe spuitkop gaan waardoor grove toeslagmaterialen geen optie zijn.

Het gehalte aan fijne deeltjes speelt een belangrijke rol bij spuitbeton. Fijne deeltjes, ook wel fijnen genoemd, zijn het geheel van cement, toevoegsels en het aandeel $\leq 0,125$ mm van de granulaten. Bij een geschikte hoeveelheid fungeren de fijnen als smeermiddel in het verse beton om de verwerkbaarheid en watervasthoudendheid te verbeteren. Hierdoor zal een stabiel beton gerealiseerd worden dat vlot te verpompen is.



Figuur 3.2: Fijnen in spuitbeton volgens de norm EN 12620 [17]

Figuur 3.2 toont aan dat het aanbevolen gehalte fijne deeltjes van het mengsel tussen 450 en 500 kg/m^3 ligt. Bij een tekort aan fijne deeltjes, moet dit worden gecompenseerd met het cementgehalte. Bij een te groot gehalte aan fijnen zal echter een plakkerig en deegachtig beton gevormd worden met een grote neiging tot krimp en kruip omwille van het hoge watergehalte.

3.1.4 Toevoegsels

Puzzolane toevoegsels zoals micro-silica zijn in de eerste fase van de hydratatie inactief en vertragen de sterkte-ontwikkeling van beton. In een tweede fase reageren ze traag met het vrijgekomen calciumhydroxide tot vorming van onoplosbare componenten. Door de puzzolane reactie zullen deze bestanddelen de dichtheid en eindsterkte van de cementsteen verhogen. Toevoeging van puzzolane toevoegsels zorgt ook voor een daling van de pH-waarde en moet dus in hoeveelheid beperkt blijven [15].

3.1.5 Hulpstoffen

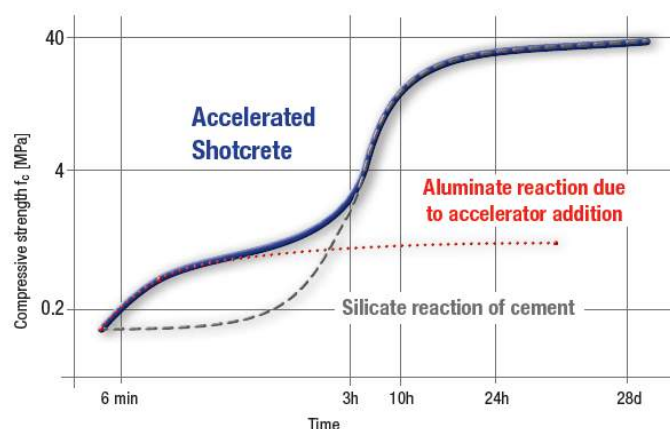
Bepaalde eigenschappen van het gespoten beton zijn volledig tegengesteld. Voor het verse beton wordt een goede verwerkbaarheid geëist terwijl het beton na applicatie sterk genoeg moet zijn om zijn eigengewicht te kunnen dragen. Omwille van deze redenen worden vaak hulpstoffen gebruikt om bepaalde betoneigenschappen te verbeteren.

Plastificeerder

Plastificeerders verbeteren de verwerkbaarheid van beton en laten toe om de hoeveelheid aanmaakwater te verminderen en dus ook de W/C-factor. Het gevolg hiervan is een toename van de sterkte, de dichtheid en de duurzaamheid van het beton. De werking van plastificeerders in spuitbeton is vooral van belang voor het verlengen van de verwerkingstijd en voor het verbeteren van de verpompbaarheid. Dit heeft een gunstig effect op het gebruiksgemak en de kwaliteit van het beton [11].

Versneller

Voor spuitbetontoepassingen zijn vloeibare alkalivrije versnellers de standaard geworden. Deze producten op basis van suspensies van aluminiumsulfaatverbindingen zorgen voor een zeer goede ontwikkeling van de vroege sterkte in combinatie met optimale spuitbetoneigenschappen [11].



Figuur 3.3: Aluminaat- en silicaatreactie [11]

Zodra de versneller aan het betonmengsel wordt toegevoegd zal een aluminaatreactie plaatsvinden die onmiddellijk een zeer uitgesproken vorming van ettringiet teweegbrengt. Tijdens een hardingsperiode van één uur vormt hierdoor een betonstructuur met een vroege sterkteontwikkeling, dit wordt de primaire betonreactie genoemd. Om de sterkte verder te ontwikkelen zal een secundaire betonreactie volgen, namelijk de silicaathydratatie van cement. Figuur 3.3 toont dat deze reacties grotendeels na elkaar plaatsvinden [11].

3.2 Eigenschappen spuitbetonspecie

Tabel 3.2: Eigenschappen betonspecie Grouttech GUN 172

Watergehalte	12.5 - 13.7%
Consistentie	S2 - F2
Luchtgehalte	3%

3.2.1 Watergehalte

Water in een betonmengsel is verantwoordelijk voor de hydratatie van cement, daarnaast zorgt het voor een vlotte verwerkbaarheid en goede verdichting van het beton.

Voor de productie van spuitbeton wordt over het algemeen een water-cement-factor (W/C) van 0,45 gehanteerd. Deze factor wordt berekend aan de hand van het effectieve watergehalte. Onder effectief water verstaat men het aanmaakwater dat wordt toegevoegd bij het mengen, het water dat zich aan het oppervlak van de granulaten bevindt en het water aanwezig in hulpstoffen en eventuele toevoegsels [11].

3.2.2 Consistentie

Om een goede verpompbaarheid van het betonmengsel te garanderen wordt een zetmaat tussen 180 en 220 mm aanbevolen. Deze waarden zijn, volgens Tabel 3.3, overeenkomstig met een consistentieklasse van S4 en F4. Toch blijven meer plastische betonmengsels zoals klasse S3 nog steeds goed te verpompen.

Tabel 3.3: Consistentieklassen

Klasse	Zetmaat (mm)	Klasse	schudmaat (mm)	Klasse	Vebe-tijd (s)
S1	10-40	F1	≤ 340	V0	≥ 31
S2	50-90	F2	350-410	V1	30-21
S3	100-150	F3	420-480	V2	20-11
S4	160-210	F4	490-550	V3	10-6
S5	≥ 220	F5	560-620	V4	5-3
-	-	F6	≥ 630	-	-

3.3 Eigenschappen verhard spuitbeton

Tabel 3.4: Eigenschappen verhard beton Grouttech GUN 172

Volumieke massa	2200 kg/m^3
Druksterkte na 7 dagen	$> 38N/mm^2$
Druksterkte na 28 dagen	$> 55N/mm^2$
Hechtsterkte na 28 dagen	$> 2N/mm^2$
Waterindringing	$< 5mm$
Krimp na 28 dagen	0,8mm/m

3.3.1 Druksterkte

Beton wordt ingedeeld in klassen volgens druksterkte, uitgedrukt in N/mm^2 . Voor elke milieuklasse stelt de Europese norm en zijn nationale aanvulling minimale eisen voor opdat het beton voldoende weerstand kan bieden aan de bijhorende aantasting.

Rioolomgevingen zijn sterk agressief en dus milieuklasse XA3. Dit omwille van de verschillende chemische aantastingsprocessen die gelijktijdig kunnen optreden. Denk maar aan aantasting als gevolg van lozing van agressief afvalwater en biogene zwavelzuur aantasting.

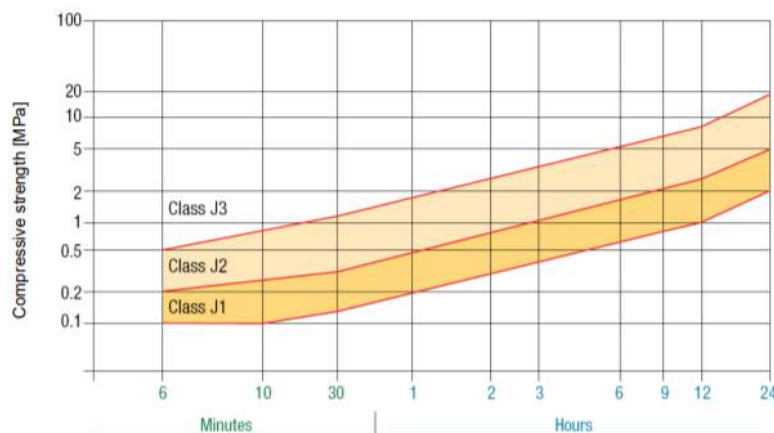
Tabel 3.5: Milieuklassen en minimale prestatie-eisen

Milieuklasse	Betontype	Rc min	W/C max
XA3	T(0,45)	C35/45	0,45

In geval van een sterk agressieve omgeving wordt een minimale sterkteklasse van C35/45 voorgeschreven zoals aangegeven op Tabel 3.5 [15].

Jong spuitbeton

Bij rioolrenovaties speelt vroege krachtontwikkeling een belangrijke rol. De sterkte van vers spuitbeton kan volgens EN 14487-1 worden ingedeeld in drie klassen: J1, J2 en J3. Gespoten beton van klasse J2 wordt gebruikt in toepassingen waarbij dikkere lagen binnen korte tijd moeten worden gerealiseerd. Dit type gespoten beton kan boven het hoofd worden aangebracht waardoor het geschikt is voor rioolrenovatiwerken.



Figuur 3.4: Jong spuitbeton sterkteklassen volgens EN 14487-1 [18]

3.3.2 Hechtsterkte

Dankzij de composietwerking tussen het spuitbeton en de bestaande riolering wordt een nieuw structureel geheel gevormd. Deze composietwerking wordt bereikt door de goede hechting tussen de 2 elementen. De belangrijkste factor die de hechtsterkte beïnvloedt, is de staat van de bestaande riolering zoals netheid en ruwheid.

De bepaling van de hechtsterkte tussen spuitbeton en zijn ondergrond gebeurt aan de hand van een directe trekproef in het laboratorium of een trektest in situ met pastilles. De hechtsterkte kan gedefinieerd worden als het vermogen om een trekkracht van de ene laag aan de andere door te geven en wordt berekend door de ultieme trekkracht te delen door de sectiedoorsnede die onderworpen wordt aan de spanning. Tussen spuitbeton en zijn ondergrond voor rioolrenovatie moet de hechtsterkte gemiddeld 2 MPa bedragen [19].

3.3.3 Waterabsorptie

Door de agressieve omgeving in rioleringsstelsel is het belangrijk dat het spuitbeton weinig poreus is. Een geringe porositeit biedt beter weerstand tegen het indringing van agressieve stoffen wat een gunstig effect heeft op de duurzaamheid van het spuitbeton.

In de norm NBN B 15-001 wordt beton naast blootstellingsklassen ook ingedeeld in waterabsorptieklassen. De klassen worden aangeduid met het letterwoord WAI (Water Absorption by Immersion) en zijn gelinkt aan het betontype. De eisen die voor WAI-klassen gelden, zijn samengevat in Tabel 3.6 [20].

Tabel 3.6: Waterabsorptieklassen door onderdompeling volgens NBN B15-001

Betontype	T(0,50)	T(0,45)
Waterabsorptieklasse	WAI(0,50)	WAI(0,45)
Gemiddelde waarde(%)	$\leq 6,0$	$\leq 5,5$
Individuele waarde(%)	$\leq 6,5$	$\leq 6,0$

Zo wordt voor een beton met betontype T(0,45) de waterabsorptieklasse WAI (0,45) gespecificeerd. Het verhard beton zal dus een gemiddelde absorptiewaarde lager dan 5,5% en een individuele waarde lager dan 6,0% moeten vertonen [20].

3.3.4 Krimp

Zodra spuitbeton wordt gespoten, begint het uit te harden en daardoor ook te krimpen. Door het grote cementgehalte en het gebruik van versnellers is de krimp van spuitbeton groter vergeleken met traditioneel beton.

Het krimpverschijnsel is een belangrijke factor omdat hierdoor scheuren ontstaan die een negatieve invloed hebben op de duurzaamheid van het beton. De scheuren die ontstaan bevorderen het transport van agressieve stoffen tot in de kern van het bouwwerk. Dit kan leiden tot de beschadiging van de cementmatrix wat de prestaties op lange termijn in het gedrang kan brengen [21].

Om de autogene krimp van spuitbeton te beperken en de scheurvorming te beheersen kan men gebruik maken van vezels. Het vezeltype dat Renotec standaard gebruikt als vezelversterking zijn amorfe metaalvezels van vezelproducent Fibraflex. De volledige technische fiche en veiligheidsinformatieblad van deze vezel zijn toegevoegd in respectievelijk bijlage B en C .

3.4 Besluit

De Europese betonnormen NBN EN 206 en NBN EN 14487-1 vormen de normatieve basis voor de specificatie van spuitbeton. Op basis van deze normen wordt de vergelijking gemaakt met de technische gegevens van de GUN 172 natspuitmortel om de geschiktheid ervan te bepalen.

Algemeen kan men stellen dat GUN 172 natspuitmortel geschikt is voor rioolrenovaties. Het toegepaste cement is sulfaat- en alkalibestendig (slakgehalte > 50%). Met dit cement wordt een beton verkregen, waarbij alkaliën en aggresieve stoffen van buitenaf nauwelijks kunnen binnendringen. Daarnaast is de maximale korrel diameter 4 mm waardoor het beton probleemloos door een nauwe spuitkop verspoten kan worden. Door toevoegsels en hulpstoffen wordt een goed verpompbaar, stabiel en dicht beton bekomen.

Tabel 3.7: Eigenschappen Grouttech GUN 172

Eigenschap	Prestatie	Prestatie-eis
Consistentie	S2	S4
Druksterkte na 28 dagen	$> 55N/mm^2$	$45N/mm^2$
Hechtsterkte na 28 dagen	$> 2N/mm^2$	$2N/mm^2$

Tabel 3.7 toont de prestatie-eisen die door de norm gesteld worden en de prestatie volgens de productfiche van de GUN 172 betonmix. Hieruit blijkt dat de druksterkte en de hechtsterkte voldoen aan de norm. In geval van een sterk agressieve omgeving zoals in rioleringen wordt een minimale sterkteklassen van C35/45 voorgeschreven. De hechtsterkte tussen het spuitbeton en de binnenwand dient gemiddeld 2 MPa te bedragen om een goede composietwerking te bereiken.

Enkel de consistentie van de verse betonspecie is volgens de productfiche te plastisch. Om een goede verpompbaarheid van het betonmengsel te garanderen wordt een zetmaat tussen 180 en 220 mm aanbevolen. Door de W/C-factor te vergroten of door plastificeerders toe te voegen aan het betonmengsel kan de verwerkbaarheid verbeterd worden.

Daarnaast is het belangrijk dat spuitbeton weinig poreus is. Een geringe porositeit biedt namelijk beter weerstand tegen het indringing van agressieve stoffen. Voor verhard spuitbeton is een waterabsorptie-waarde lager dan 6,0% vereist. Het is logisch dat ook krimp scheuren nefast zijn voor de duurzaamheid van beton. Om de autogene krimp van spuitbeton te beperken en de scheurvorming te beheersen kan gebruik gemaakt worden van vezels.

Hoofdstuk 4

Basaltvezels

Dit hoofdstuk handelt over de werking van vezels in beton en de invloed van vezels is op de betonsamenstelling. Daarnaast wordt basalt besproken op gebied van chemische samenstelling, duurzaamheid, mechanische eigenschappen, milieuvriendelijkheid en kostprijs. Op basis van vergelijkbare studies wordt ook het effect van basaltvezels op verschillende fysieke en mechanische eigenschappen onderzocht. Dit zijn niet de enige aspecten waarmee rekening moet worden gehouden bij het evalueren van hun potentiële toepassing in spuitbeton. Ook de chemische duurzaamheid van de vezels in verschillende omgevingen wordt in dit hoofdstuk toegelicht.

4.1 Vezelversterking algemeen

Het is internationaal erkend dat vezels aan beton kunnen worden toegevoegd om zijn prestaties te verbeteren. Door de ontwikkeling van nieuwe effectievere soorten vezels en de toenemende beschikbaarheid ervan worden vezels vaak als standaard beschouwd bij spuitbetontoepassingen. Vezel hebben invloed op het prestatievermogen en de duurzaamheid van beton, de voornaamste zijn:

- een grotere buigsterkte;
- een verbeterde scheurverdeling;
- een grotere taaierheid.

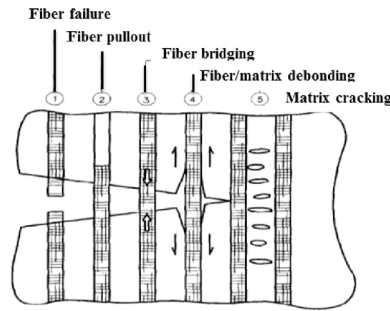
Voor rioolrenovatie worden vezels gebruikt om een dichter, minder poreus beton te bekomen. Door de effectieve scheurwijdte tot een minimum te beperken is de kans op indringing van agressieve stoffen en lekkages zeer klein.

4.1.1 Werking

Vezels worden geactiveerd op het ogenblik dat het beton scheurt. Scheuren ontstaan door trekspanning in beton en kunnen op verschillende tijdstippen optreden:

- vroegtijdige krimpscheurtjes tijdens het uithardingsproces;
- spanningsscheuren in het uitgeharde beton door belasting .

Vezels zullen ervoor zorgen dat de trekspanning over de scheur heen zal worden overgedragen. Hiervoor is het belangrijk dat de vezel de scheur overbrugd en goed verankerd zit in het beton. Door een goede hechting van de vezels in de betonmatrix vertoont het beton een ductieler materiaalgedrag met een betere scheurverdeling en dus ook een beperkte scheurwijdte.



Figuur 4.1: Bezwijkmechanismen vezels [22]

De mate waarin de vezel in het beton zit verankerd is bepalend voor de werking ervan. Bij een te grote hechting zal het beton bij een geringe scheurwijdte alsnog bros bezwijken en tredt er vezelbreuk op. Is de aanhechting onvoldoende dan neemt de vezel slechts een geringe trekkracht op doordat deze al snel uit de betonmatrix wordt getrokken (Pull-out) en zal het daardoor niet veel taaiheid bieden. Tenslotte kan het ook dat de treksterkte van de vezel wordt overschreden of dat degeneratie van de matrix de oorzaak is van bezwijken. Figuur 4.1 toont op welke verschillende manieren vezelbeton kan bezwijken [22].

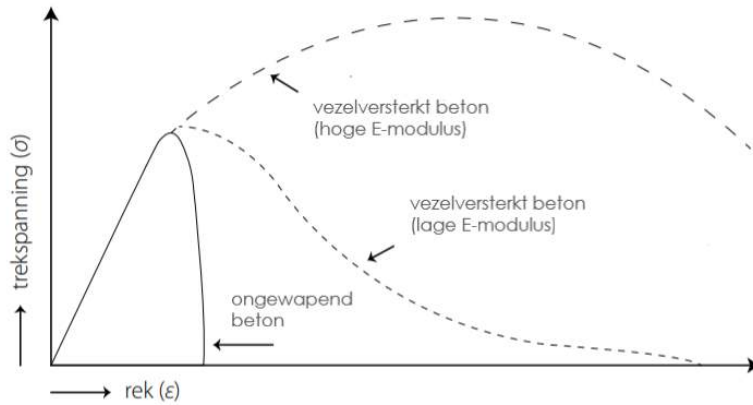
4.1.2 Soorten vezels

Er zijn verschillende soorten vezelmaterialen die toepasbaar zijn in spuitbeton. Vezels kunnen variëren in materiaal, vorm en afmeting, afhankelijk van hun gebruiksdoel. Toch gaat de voorkeur uit naar flexibele vezels om de verpompbaarheid van het betonmengsel aanvaardbaar te houden. Daarnaast zal met flexibele vezels minder schade aangericht worden aan de spuitinstallatie waardoor onderhoudskosten beperkt blijven. De meest voorkomende zijn staal-, glas- en kunststofvezels. Tegenwoordig worden andere materialen zoals koolstof- en aramidevezels onderzocht, maar vanwege hun hogere prijs als gevolg van kleinschalige geautomatiseerde productie of hogere grondstofkosten worden ze nog niet veel gebruikt. In onderstaande tabel staan de meest toegepaste vezelmaterialen met hun voornaamste eigenschappen.

Tabel 4.1: Vezelmateriaal eigenschappen [23]

Vezeltype	Diameter (μm)	E-modulus(MPa)	Treksterkte(MPa)	Volumieke massa (kg/m^3)
Staal	100 - 1000	210000	500-2600	7800
E-glas	8 - 15	72000	2000 - 4000	2540
AR-glas	12 - 20	80000	1500 - 3700	2700
Polypropyleen	20 - 200	3500 - 5200	450 - 700	900
Polyester	10 - 80	10000 - 18000	280 - 1200	1380
Nylon	23	5200	1000	1140
Acryl	5 - 17	17000 - 19000	200 - 1000	1180
Aramide	10 - 12	62000 - 120000	2000 - 3100	1440
Koolstof	8	230000 - 380000	1800 - 2600	1900

Als er scheurvorming optreedt in het beton dan is de elasticiteitsmodulus van de vezels van cruciaal belang omdat deze de weerstand van de vezels tegen elastische vervorming definieert. Het gebruik van vezels met een grotere elasticiteitsmodulus en treksterkte dan beton resulteert in een toename van de sterkte vóór scheuren, dit gedrag wordt gekenmerkt door een oplopende spannings-rekcurve na de eerste scheurvorming. Daarnaast bereikt men, afhankelijk van de vezel-matrixbinding een taaier beton, wat zich weerspiegelt in het dalende deel van de spannings-rekcurve.



Figuur 4.2: Invloed van vezels op spannings-rek diagram van beton

Als de elasticiteitsmodulus van de vezel lager is dan die van beton zal de vezel samen met de matrix vervormen en de sterkte vóór scheuren niet toenemen.

Staal

Staal heeft een elasticiteitsmodulus van 210 GPa waardoor de vezels probleemloos scheuropervlakken kunnen overbruggen en zorgen voor een grotere na-scheursterkte en dus een grotere draagkracht [23].

Kunststof

De verschillende soorten kunststofvezels die voor beton worden gebruikt, zijn: acryl, aramide, koolstof, nylon, polyester, polyethyleen en polypropyleen. Kunststofvezels worden voornamelijk gebruikt in beton om de krimp op te vangen tijdens het hydratatieproces [23].

Polypropyleenvezels zijn de meest gebruikte kunststofvezels. Ze zijn chemisch inert, hydrofoob (nemen geen water op) en licht van gewicht. Daarnaast bieden deze vezels een verhoogde brandwerendheid en een betere vorst- en doocyclibestendigheid. Door hun lage elasticiteitsmodulus worden deze vezels niet als constructieve vezels beschouwd [23].

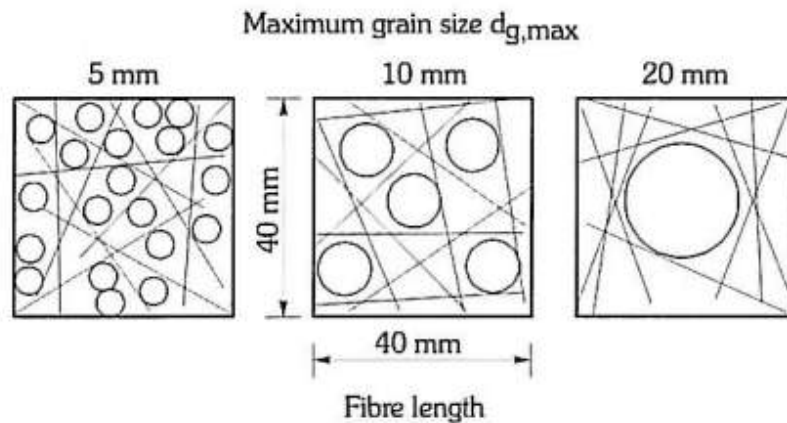
Sommige kunststofvezels kunnen wel als constructieve vezels worden toegepast zoals koolstof- en aramidevezels. Deze vezels hebben een hoge treksterkte en elasticiteitsmodulus die vergelijkbaar is met staalvezels. De productie hiervan is echter duur in vergelijking met andere vezelmaterialen waardoor ze zelden toegepast worden als betonversterking.

Glas

Glasvezels hebben een hoge treksterkte en een elasticiteitsmodulus tussen 70-90 GPa waardoor ze toepasbaar zijn voor structurele versterking van beton. Testresultaten tonen aan dat alkali-activiteit tussen de E-glasvezels en cement de sterkte van het beton drastisch vermindert. Door de toevoeging van zirconiumdioxide (ZrO_2) in een speciale coating is het mogelijk om de alkali-weerstand van glasvezels (AR-glas) te verhogen zodat ze hun eigenschappen in beton ook op lange termijn behouden [23].

4.1.3 Vezellengte

Om een homogene verdeling te bekomen dient de lengte van de vezels aangepast te worden aan de maximale korrelgrootte van de granulaten. Over het algemeen kiest men voor een vezellengte die minimaal het dubbele van de maximale korrelafmeting bedraagt. Als de vezels te kort zijn dan zullen de granulaten de vezels uitedrijven met als gevolg dat ze niet meer scheur-overbruggend kunnen werken met kans op clustervorming zoals weergegeven in Figuur 4.3.

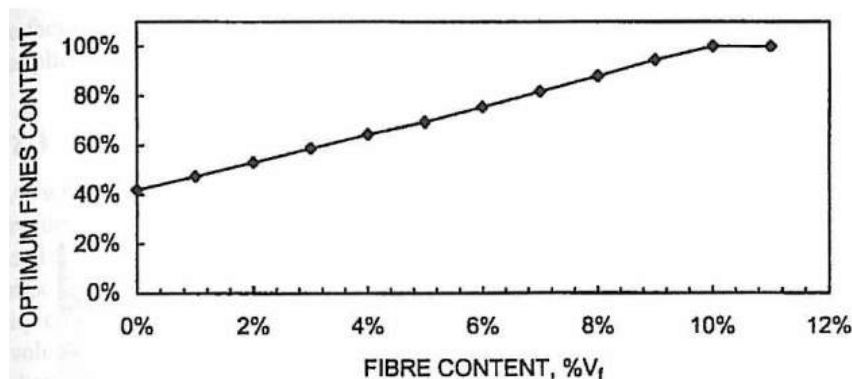


Figuur 4.3: Effect van korrelgrootte op de vezelverdeling [23]

Indien een goede hechting tussen vezel en betonmatrix kan worden gerealiseerd is het aangewezen om de vezellengte zo klein mogelijk te houden. Hierdoor blijft het betonmengsel voldoende verwerkbaar en kunnen er bij eenzelfde volumefractie meer vezels worden aangewend voor de krachtoverbrenging bij scheuren. Als de hechting tussen vezel en betonmatrix onvoldoende is kan geopteerd worden voor langere vezels. Hoe langer de vezel, hoe groter het vezeloppervlak waaraan het beton zich kan hechten. Zo kan bij een relatief slechte verbinding toch meer kracht worden overgedragen.

4.1.4 Invloed op betonsamenstelling

Vezels leiden tot een verlies van verwerkbaarheid waardoor de behoefte aan smeermiddel groter is. Figuur 4.4 toont aan dat er een lineair verband bestaat tussen het gehalte fijne deeltjes en het vezelgehalte in een betonmengsel.



Figuur 4.4: Verband tussen gehalte fijne deeltjes en vezelgehalte voor een optimale pakkingsdichtheid [23]

4.2 Basaltvezel

Een relatief nieuw vezeltype dat wordt gebruikt voor betonversterking zijn basaltvezels. Deze vezels bestaan uit bundels filamenten die worden geproduceerd door het verwerken van natuurlijk voorkomend basaltsteen. Dankzij zijn uitstekende eigenschappen zoals hoge treksterkte, hoge hittebestendigheid en relatief lage kosten, worden basaltvezels beschouwd als potentieel alternatief voor meer gangbare vezeltypes.

4.2.1 Basaltsteen

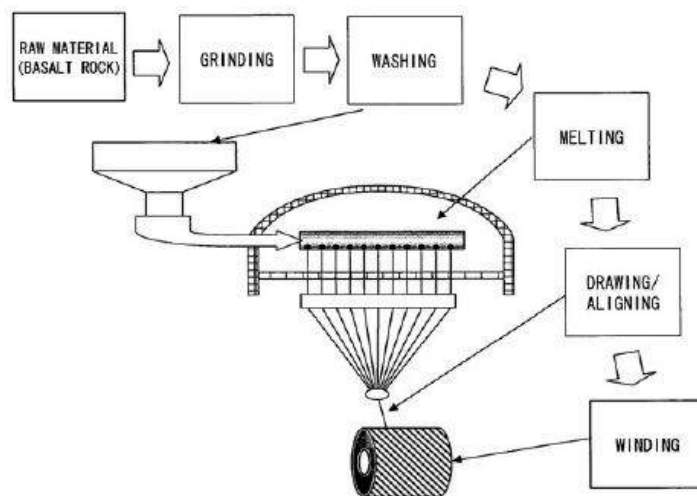
”Basaltsteen is een zogenaamd mafisch vulkanisch stollingsgesteente, dat wordt gevormd door lava en bestaat uit kleine kristallen. De krimp, die optreedt bij de stolling van basaltlava, leidt tot zeshoekige structuren: de typische basaltzuilen (zie Figuur 4.5). Het gesteente is zeer ruim in en op de aardkorst aanwezig en eenvoudig winbaar” [24].



Figuur 4.5: Basaltzuilen [24]

4.2.2 Productieproces

Basaltvezels worden vervaardigd door het smelten van basaltsteen bij 1400 °C. Het gesmolten gesteente wordt vervolgens door kleine spuitmondjes geëxtrudeerd tot filamenten. Deze filamenten worden voorzien van een geschikte coating afhankelijk van de latere toepassing ervan. Als laatste stap in het productieproces worden de filamenten op een spoel gewikkeld of op maat versneden. Figuur 4.6 toont een schematische weergave van het productieproces.



Figuur 4.6: Productieproces basaltvezels [25]

4.2.3 Chemische samenstelling

Onderstaande tabel bevat de chemische samenstelling van de basaltvezels volgens Basaltex.

Tabel 4.2: Chemische samenstelling basalt- en glasvezel [26]

Chemische component	Massa % Basalt	Massa % E-Glas
SiO ₂ (silica)	57,5	55
Al ₂ O ₃ (alumina)	16,9	15
Fe ₂ O ₃ (ferricoxide)	9,5	0,3
MgO	3,7	3
Na ₂ O	2,5	0,8
TiO ₂	1,1	-
K ₂ O	0,8	0,2
B ₂ O ₃	-	7
F	-	0,3

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de chemische samenstelling van basalt gelijkaardig is met deze van E-glas. SiO₂ en Al₂O₃ zijn de meest aanwezige oxiden in Basalt. Ijzeoxiden zorgen voor de typische bruine kleur van basaltvezels.

Basaltvezel bestaat voor 100% uit basaltsteen waardoor de chemische samenstelling van de vezels kan variëren naargelang de steengroeve. Ten gevolge van deze variatie in chemische samenstelling variëren ook de mechanische en fysische eigenschappen van verschillende basaltvezels.

4.2.4 Mechanische kenmerken

Tabel 4.3: Mechanische kenmerken van verschillende vezeltypen [26][27]

Vezelmateriaal	Dichtheid (kg/m^3)	E-modulus (GPa)	Treksterkte (MPa)
E-glas	2550 - 2580	78 - 80	2000-2500
S-glas	2450	91	3410 - 3830
Basalt	2670	85- 89	2900 - 3100
Staal	7850	210	1400
Koolstof	1740 - 1800	200-250	2700 - 3750

Tabel 4.3 toont dat basalt over betere mechanische kenmerken beschikt dan E-glas en dat het de sterkte van S-glas dicht benadert. De relatief hoge elasticiteitsmodulus en treksterkte maken van basaltvezels een goed alternatief voor traditionele vezels. Basalt heeft een treksterkte van 2900 - 3100 MPa (2 maal sterker dan staal) waardoor het uitstekend toepasbaar is in constructieve toepassingen. Met een dichtheid van 2670 kg/m^3 is het drie maal lichter dan staal, waardoor er bij eenzelfde volumepercentage meer basaltvezels in het beton zitten. De elasticiteitsmodulus van basalt is opvallend kleiner dan deze van staal, de vezels zullen zich hierdoor elastischer gedragen [24].

4.2.5 Milieuvriendelijk

Door een toenemende nadruk op milieuvriendelijke materialen richt de betontechnologie zich meer op alternatieve vezelmaterialen. Momenteel zijn de meest gebruikte vezels glas-, kunststof en staalvezels die ofwel niet-ecologisch zijn of een grote ecologische voetafdruk veroorzaken. De productie van staal is verantwoordelijk voor 7 procent van de wereldwijde uitstoot van CO_2 . In vergelijking met deze vezelmaterialen kan basalt worden beschouwd als milieuvriendelijk omwille van volgende redenen [28]:

- basaltvezels bestaan voor 100% uit natuurlijk materiaal (basaltsteen);
- basaltsteen is zeer ruim in en op de aardkorst aanwezig;
- tijdens het smelten worden geen chemische oplosmiddelen, pigmenten of andere gevaarlijke materialen gebruikt;
- smeltovens voor basaltvezelproductie zijn milieuvriendelijk en produceren geen industrieel afval;
- de minimale diameter is groter dan $6 \mu m$ en kan het ademhalingssysteem van de mens niet indringen;
- basaltvezels bevatten geen gevaarlijke materialen en vormen dus geen risico voor omgeving en gezondheid.

In een vergelijkende studie uitgevoerd door Vito NV [29] werd de energie-efficiëntie tijdens de productie van basalt- en glasvezels onderzocht. De resultaten toonden aan dat basaltvezels hetzelfde warmte- en elektriciteitsverbruik hebben, maar dat er geen gebruik wordt gemaakt van boorzuur. Ook is de hoeveelheid restproduct en epoxyhars voor composieten minder.

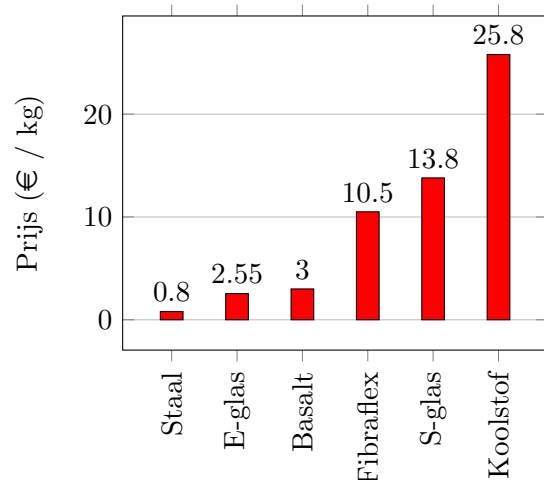
Vanwege zijn minerale oorsprong, hoge biologische afbreekbaarheid en eenvoudig productieproces kan basaltvezel als milieuvriendelijk materiaal worden beschouwd. Volgens cijfers van Imperial College London is de CO_2 -footprint van basaltvezels 170% lager dan die van staal.

4.2.6 Economische vergelijking

Figuur 4.7 toont de richtprijzen van verschillende vezeltypes. Merk op dat het gaat om indicatieve prijzen die kunnen fluctueren door economische en politieke invloeden.

Wat meteen opvalt is dat staalvezels het goedkoopst zijn en koolstofvezels veruit het duurst. Qua kostprijs wordt basalt het dichtst benadert door E-glas. Opmerkelijk is het grote prijsverschil tussen basaltvezels en de Fibraflex vezels die Renotec momenteel gebruikt voor vezelversterking. Indien basalt als alternatief vezelmateriaal toepasbaar is in spuitbeton voor rioolrenovaties kan dit financieel zeer interessant zijn.

Er wordt verwacht dat de prijs van basaltvezels nog verder zal dalen als gevolg van het stijgend productieniveau.



Figuur 4.7: Richtprijzen vezelmaterialen

4.3 Duurzaamheidsaspecten

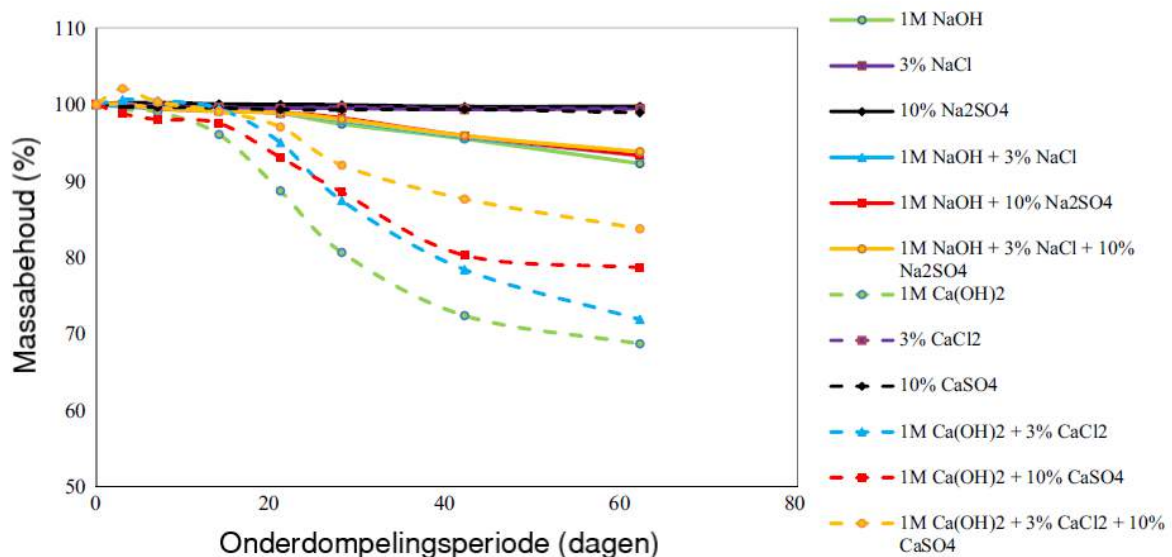
Het is belangrijk dat basaltvezels goed bestand zijn tegen invloeden van buitenaf. Voornamelijk de alkalibestendig van de vezels is belangrijk aangezien vers beton een zeer hoge pH-waarde. Vezelproducten in contact met verse betonspecie bevinden zich dus in een sterk alkalische omgeving. Door de sterk agressieve omgeving in rioleringsstelsel zullen de vezels ook worden blootgesteld aan zure oplossingen met chloride- en sulfaationen.

Om het gedrag van basaltvezels in deze verschillende omgevingen te bepalen baseren we ons op het artikel van Afroz et al. (2017) [30]. Hierin worden basaltvezels onderzocht in 12 chemische oplossingen die werden bereid met het oog op drie verschillende omstandigheden van alkalisch, chloride- en sulfaatmedium.

Voor dit onderzoek werden sterke basische oplossingen van 1 M NaOH en 1 M $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gemaakt om een sterk alkalisch milieu na te bootsen. Daarnaast werden 3% NaCl en CaCl_2 en 10% Na_2SO_4 en CaSO_4 oplossingen bereid om het effect van chloride- en sulfaationen op basaltvezels te bepalen.

4.3.1 Massabehoud-test

Om de chemische duurzaamheid te evalueren, werden basaltvezels gedurende 62 dagen ondergedompeld in verschillende chemicaliën. Figuur 4.8 toont dat chloride- en sulfaatoplossingen weinig tot geen invloed hebben op het massaverlies van basaltvezels. Afroz et al. (2017) concludeert dat calciumhydroxide en calciumzoutverbinding meer massa verlies veroorzaken dan natriumhydroxide en zijn verbindingen. Het maximaal gewichtsverlies werd gedetecteerd rond 30% voor $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -oplossingen [30].

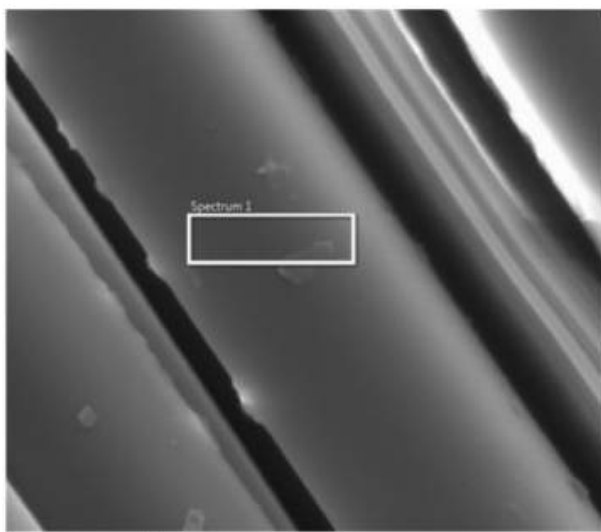


Figuur 4.8: Massabehoud in verschillende chemische oplossingen (Afroz et al. (2017))

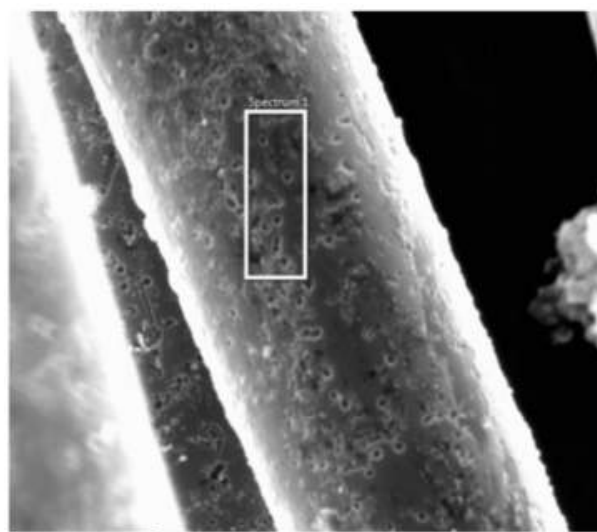
4.3.2 Fysisch-chemische analyse

Om een idee te krijgen van de microscopische structuur en om de verouderingsmechanismen in te schatten, werd het oppervlak van basaltvezel geanalyseerd met een zogeheten scanning elektronen microscoop (SEM).

Uit de SEM-beelden blijkt dat het oppervlak van basaltvezels na 62 dagen niet is beïnvloed door NaOH, NaCl, Na_2SO_4 en hun gecombineerde oplossingen. Toch treedt er schade op in de vezels behandeld met $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en de combinaties van $\text{Ca}(\text{OH})_2$ met CaCl_2 en CaSO_4 . De vezels verliezen hun oorspronkelijke textuur en sommige splitsen in vele strengen. Bij basaltvezels in geconcentreerd $\text{Ca}(\text{OH})_2$ neemt de oppervlakteruwheid toe en vormen er zich holten in het vezeloppervlak. Deze holten spelen een belangrijke rol bij de diffusie en afbraak van de deeltjes binnenin [30].



Figuur 4.9: SEM-beeld voor behandeling [30]



Figuur 4.10: SEM-beeld na 62 dagen 1 M $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [30]

Wanneer basaltvezels zich in een alkalische oplossing bevinden wordt een corrosielaag gevormd op het oppervlak van de vezel. De hydroxylionen reageren met de Si-O-Si-groep, wat leidt tot de afbraak van siliciumbinding. De snelheid van deze corrosie hangt af van de chemische samenstelling van de vezel en de alkaliteit van de oplossing, evenals van tijd van blootstelling en temperatuur [30].

Rybin et al.(2013) voerde onderzoek naar de alkaliweerstand van ongecoate en met (ZrO_2) ge-coate basaltvezels in cementcomposieten. Hij concludeerde dat het oppervlak van de ge-coate vezel minder wordt beïnvloed door het alkalimedium van de cementmatrix [31].

Tegenwoordig zijn er basaltvezels verkrijgbaar met een sizing die zorgt voor een uitstekende alkalibestendigheid. Deze sizing is speciaal ontwikkeld is voor basaltvezels in betontoepassingen.

4.4 Mechanische eigenschappen

Het effect van basaltvezels op de mechanische eigenschappen van beton is afhankelijk van het vezelgehalte en de lengte van de vezels. Het effect van deze fundamentele parameters werd al door verschillende onderzoekers onderzocht. De eigenschappen van basaltvezelbeton zoals consistentie, buigsterkte, druksterkte, bindingssterkte, krimpgedrag en waterindringing werden getest en geanalyseerd.

4.4.1 Consistentie

De consistentie van een betonmix wordt bepaald om de verwerkbaarheid ervan te beoordelen. De verwerkbaarheid is afhankelijk van de verschillende factoren zoals:

- watergehalte;
- aantal fijne deeltjes;
- vorm van de aggregaten;
- hulpstoffen zoals plastificeerders.

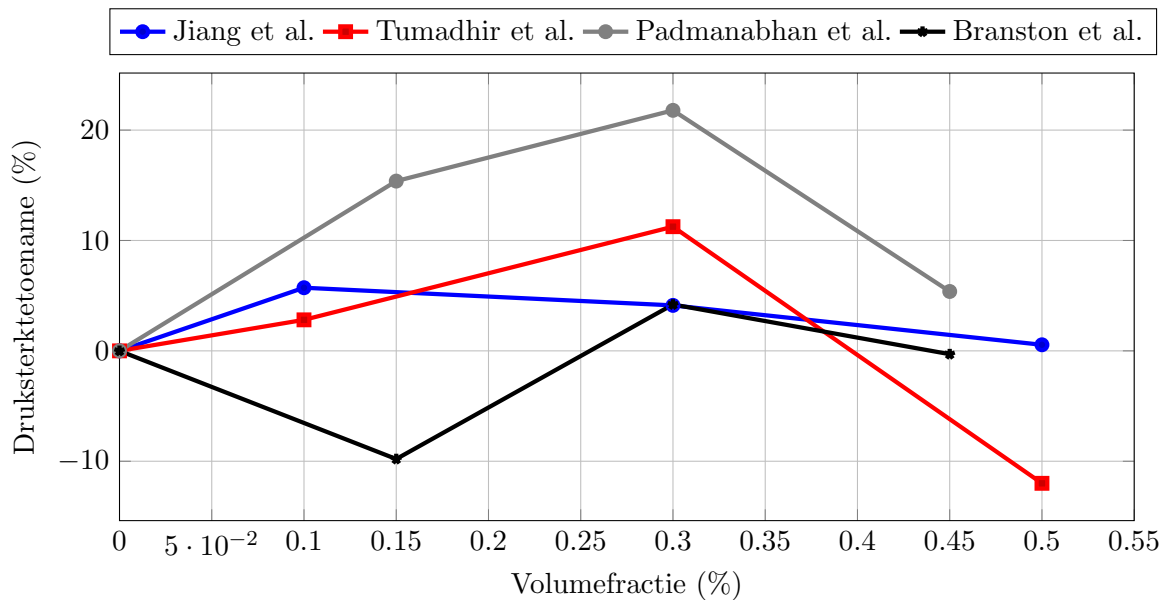
Om de invloed van basaltvezels op de consistentie te bepalen laten we deze parameters achterwegen. We kunnen concluderen dat een toenemend vezelgehalte leidt tot het verminderen van de zetmaat. Dit komt vooral door het feit dat vezels de stroombaarheid van vers beton belemmeren wat resulteert in een afname van de verwerkbaarheid. Vezeldoseringen met volumefracties hoger dan 0,5% leiden tot mengproblemen als gevolg van clustervorming [32].

Jiang et al. (2014) en Padmanabhan et al. (2015) tonen aan dat ook de lengte van basaltvezels invloed heeft op de verwerkbaarheid. Bij eenzelfde volumepercentage zijn er namelijk meer korte vezels per volume-eenheid en is de vezelverdelingsdichtheid dus groter. Dit leidt tot een reductie van de zetmaat en de verwerkbaarheid van beton [33, 34].

4.4.2 Druksterkte

De invloed van basaltvezels op de druksterkte van beton is afhankelijk van het toegevoegde volumepercentage vezels. Toch zijn er geen consistente resultaten met betrekking tot een optimaal vezelgehalte doordat vergelijkbare onderzoeken vaak afwijkende resultaten vertonen. Figuur 4.11 toont de druksterktetoename in functie van het vezelgehalte na 28 dagen volgens verschillende onderzoeken.

Tumadhir et al. (2013) toont aan dat de druksterkte toeneemt in functie van het vezelgehalte tot 0,3 vol.% basaltvezels. Bij deze volumefractie bedraagt de sterktetoename 11,25%. Wanneer de vezeldosering wordt opgetrokken tot 0,5 vol.% is er een vermindering van de druksterkte merkbaar. De testresultaten van een vergelijkbaar onderzoek uitgevoerd door Padmanabhan et al. (2015) volgen eenzelfde verloop en bereiken bij het optimaal vezelgehalte van 0,3 vol.% een sterktetoename van 21% [35, 34].

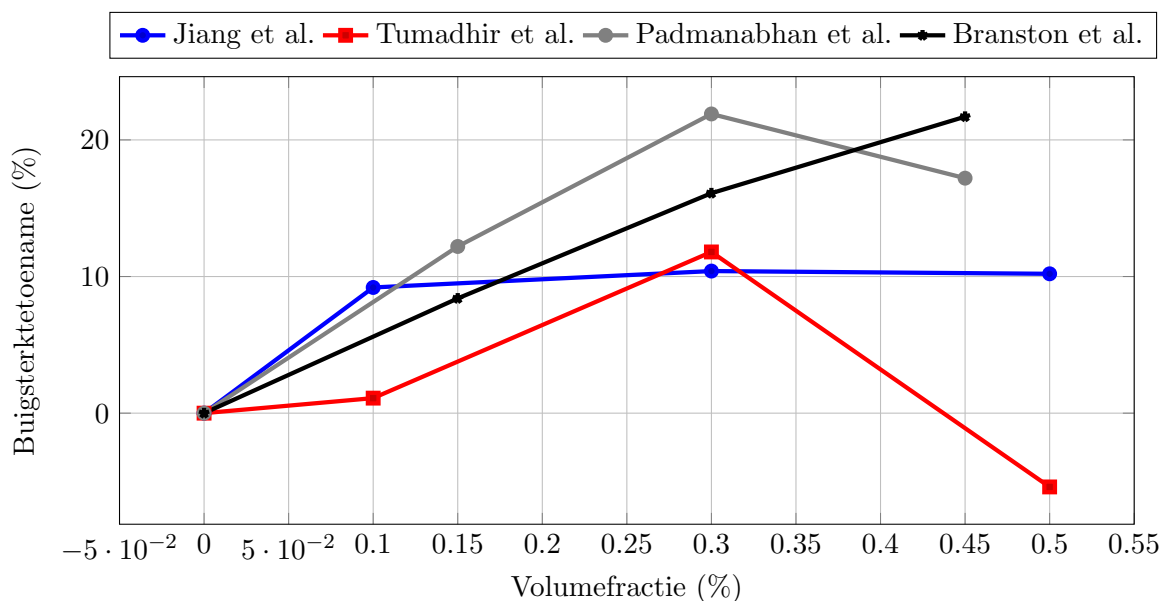


Figuur 4.11: Druksterktetoename i.f.v. volumefractie basaltvezels na 28 dagen

Jiang et al. (2014) en Branston et al. (2016) concluderen dat de toevoeging van basaltvezels in beton geen opmerkelijke toename veroorzaakt in dynamische druksterkte. Ook zij ondervinden dat hogere vezelgehalten zullen lijden tot een reductie van de druksterkte. Volgens Jiang et al. (2014) wordt de maximale sterkte bereikt bij een vezelgehalte van 0,1 vol.% [33, 32].

4.4.3 Buigsterkte

Net zoals de druksterkte is de toename in buigsterkte van beton afhankelijk van het volumepercentage basaltvezels. Wederom zijn er geen consistente resultaten met betrekking tot een optimaal vezelgehalte doordat vergelijkbare onderzoeken afwijkende resultaten vertonen. Figuur 4.12 toont de sterkte toename in functie van het vezelgehalte na 28 dagen volgens verschillende onderzoeken.



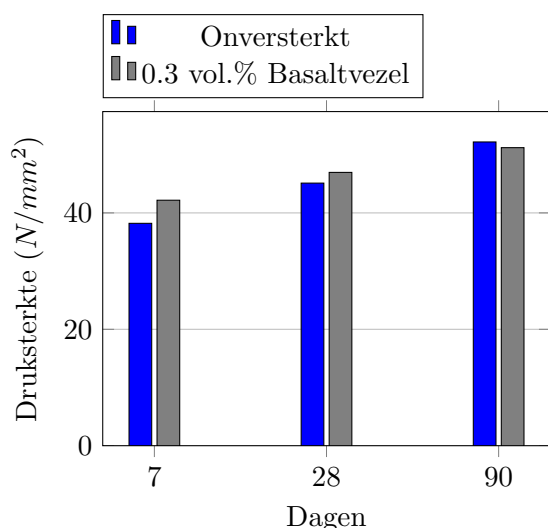
Figuur 4.12: Buigsterkte toename i.f.v. volumefractie basaltvezels na 28 dagen

Volgens Tumadhir et al. (2013) en Padmanabhan et al. (2015) neemt de buigsterkte toe tot 0,3 vol.% basaltvezels, bij een grotere volumefractie is er een reductie van de buigsterkte merkbaar. Padmanabhan et al. (2015) beweert dat een bij een optimale vezelhoeveelheid een sterktoename van 21,9% mogelijk is [35, 34].

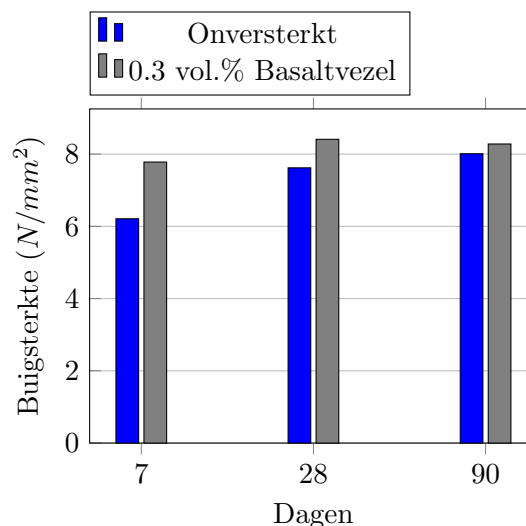
Jiang et al. (2014) en Branston et al. (2016) concluderen dat de buigsterkte ook bij hogere vezelgehalten blijft toenemen. Volgens Jiang et al. (2014) is de sterktoename aanzienlijk tot 9,2% bij een vezelgehalte van 0,1 vol.%. Hogere volumefracties zullen geen opmerkelijke toename veroorzaken. Branston et al. (2016) daarentegen beweert dat de buigsterkte lineair toeneemt en dat bij een vezelgehalte van 0,45 vol.% een sterktoename van 21,7% bereikt wordt [33, 32].

4.4.4 Bindingssterkte

Volgens Jiang et al. (2014) neemt de toename in druk- en buigsterkte in de loop van de tijd af. Figuren 4.13 en 4.14 tonen de druk- en buigsterkte na respectievelijk 7, 28 en 90 dagen voor een onversterkt en een mengsel met 0,3 vol.% basaltvezels [33]. Wat opvalt is dat in een vroeg stadium het basaltvezelversterkte betonmengsel beter presteren dan het onversterkte. Na 90 dagen is het verschil niet meer opvallend en is de druksterkte van het vezelversterkte proefstuk minder dan het onversterkte. Deze sterkteafname wijst op verouderingsmechanismen die het beton negatief beïnvloeden.



Figuur 4.13: Druksterkte in functie van ouderdom



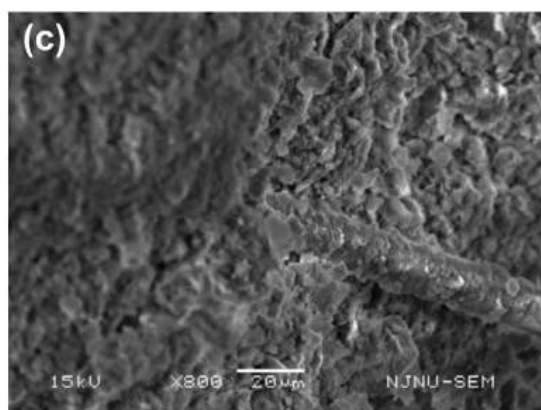
Figuur 4.14: Buigsterkte in functie van ouderdom

Twee verouderingsmechanismen worden overwogen om de vermindering in sterkte van deze composieten te verklaren:

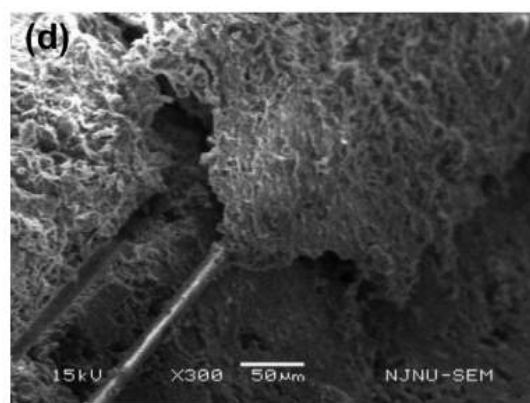
- chemische aantasting van de basaltvezels;
- groei van hydratatieproducten tussen de basaltvezels (microstructureel mechanisme).

Microstructurele veranderingen kunnen plaatsvinden rondom het vezeloppervlak naarmate de composiet ouder wordt in een vochtige omgeving. De ruimtes tussen de filamenten zijn aanvankelijk grotendeels leeg en worden geleidelijk gevuld met hydratatieproducten, in geval van een Portland-cementmatrix is dit in de vorm van dichte CH-kristallen. Dit proces omvat nucleatie- en groeifasen waarbij de filamentoppervlakken dienen als nucleatieplaatsen. Hierdoor ontwikkelt zich een poreuze overgangszone tussen vezel en betonmatrix met reductie van de bindingssterkte als gevolg [36].

Figuur 4.15 en 4.16 tonen de SEM-beelden van de microstructuur van het vezeloppervlak en de gehydrateerde cementmatrix van basaltvezelbeton met 0,3 vol.% basaltvezel na 7 en 28 dagen.



Figuur 4.15: Basaltvezelbeton na 7 dagen [33]



Figuur 4.16: Basaltvezelbeton na 28 dagen [33]

Uit figuur 4.15 blijkt dat de basaltvezeloppervlakken dicht bedekt zijn met de gehydrateerde cementmatrix. Dit fenomeen impliceert een goede binding tussen vezel en gehydrateerde cementmatrix op vroege leeftijd. Figuur 4.16 toont dat de basaltvezel een glad oppervlak heeft. Dit geeft aan dat op lange termijn een ontbinding tussen cementmatrix en vezel kan optreden. Dit verouderingsfenomeen kan op de late leeftijd leiden tot een afname van de druksterkte [33].

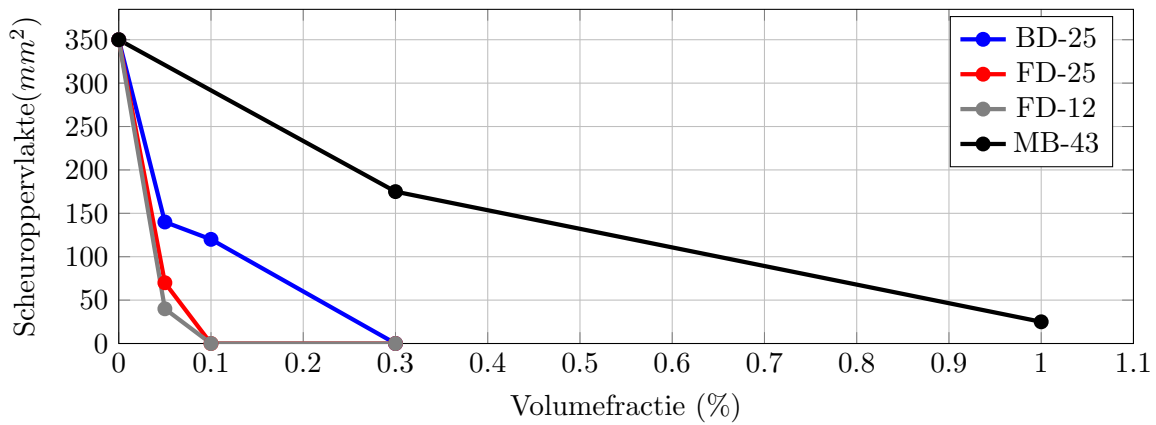
Het aanpassen van de matrix kan een diepgaand effect hebben op de duurzaamheid van basaltvezelversterkte betoncomposieten. Een veel toegepaste is het gebruik van natuurlijke pozzolanen en vliegashoudend cement. Met deze toevoegsels wordt de alkaliteit van de matrix en het gehalte aan CH vermindert waardoor de twee processen vertraagd die leiden tot de aantasting van de eigenschappen van de composiet. Daarnaast zijn er basaltvezels op de markt verkrijgbaar met een sizing die zorgt voor een uitstekende alkalibestendigheid van de vezel [36].

4.4.5 Krimpgedrag

Volgens Naaman et al. (2005) zijn vezels met een diameter kleiner dan $40 \mu\text{m}$, een lengte-diameter verhouding groter 200 en in volumefracties van 0,3% tot 0,4% geschikt om het scheuren ten gevolge van plastische krimp in beton te elimineren. Branston et al. (2016) voerde een studie uit naar de invloed van basaltvezels op plastische krimp in beton [37, 38].

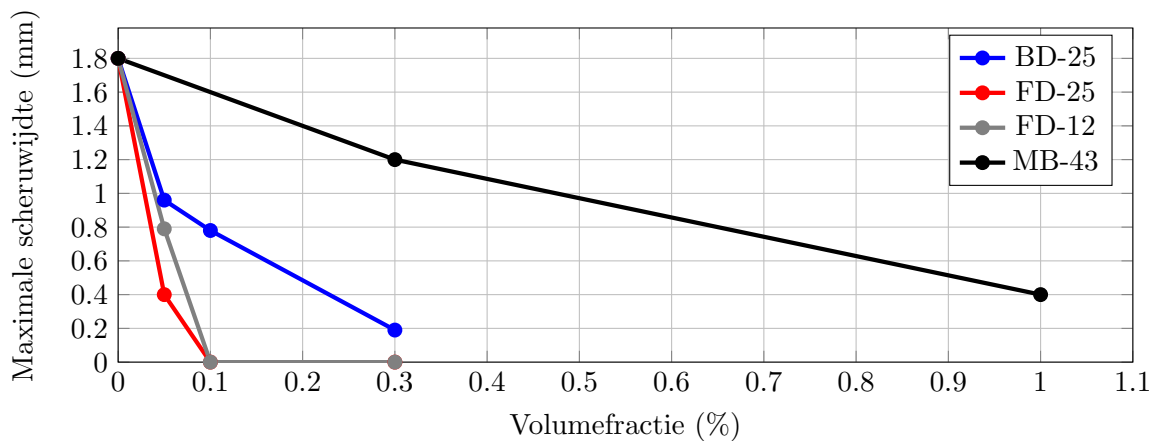
Drie verschillende soorten basaltvezels werden geëvalueerd. De basaltvezels die in dit onderzoek werden gebruikt, zijn: bundeldispersievezels (BD), filamentdispersievezels (FD) en minibars (MB). Filamentdispersievezels worden tijdens het mengen uniform verspreid in het beton. Bundeldispersievezels daarentegen bestaan uit basaltfilamenten met sterkere kleefeigenschappen waardoor de filamenten tijdens het mengen niet verspreiden maar gebundeld blijven. De minibars zijn stijver dan gewone vezels en hebben vergelijkbare afmetingen als standaard staalvezels. Minibars zijn vervaardigd uit epoxyhars, versterkt met basaltfilamenten.

Branston et al. (2016) besluit dat basaltvezels effectief zijn in het reduceren van plastische krimpspanning in beton waardoor scheurvorming tot een minimum kan worden beperkt. Figuur 4.17 en 4.18 geven duidelijk weer dat filamentdispersievezels, zowel de 12 mm als 25 mm lange vezels, de meest gunstige invloed hebben. Ze zijn in staat om krimpscheuren volledig te voorkomen bij een dosering van 0,1 vol.%. Bundeldispersievezels en minibars blijken minder optimaal te zijn om scheurvorming ten gevolge van plastische krimp te voorkomen, toch leveren ze enig voordeel op [38].



Figuur 4.17: Effect van basaltvezels op het totale scheurgebied

Er zijn twee redenen waarom filamentdispersievezels de grootste vermindering van het scheurgebied en de scheurwijdte veroorzaken. Ze hebben een groter contactoppervlak tussen vezel en beton wat resulteert in een grotere wrijvingsbeperking. Daarnaast zijn ze meer uniform verdeeld waardoor de kans groter is op overbrugging van scheuren [38].

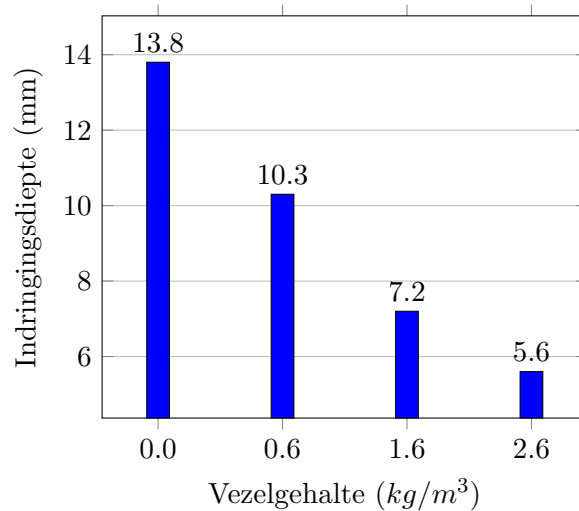


Figuur 4.18: Effect van basaltvezels op de scheurwijdte

4.4.6 Waterindringing

Jiang C.H. et al. (2016) voerde onderzoek naar het effect van basaltvezels op de waterpenetratiediepte van basaltvezelversterkt beton. De waterdoorlatendheidstest werd uitgevoerd op betonmengsels met een verschillend vezelgehalte. Figuur 4.19 toont de waterindringingsdiepte van de proefstukken [39].

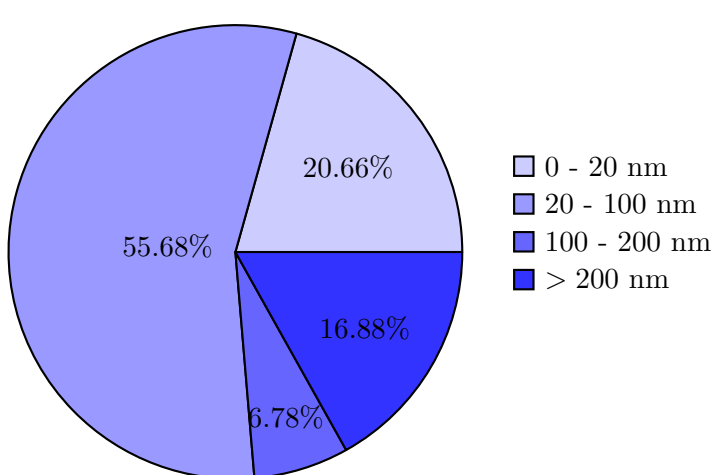
Bij een vezelgehalte van $2,6 \text{ kg/m}^3$ ($\cong 0,1 \text{ vol.}\%$) verandert de indringingsdiepte van 13,8 mm voor de controlemengsel tot 5,6 mm voor de basaltvezelversterkte mengsel. Een dergelijk fenomeen kan worden verklaard door het feit dat de toevoeging van basaltvezels scheurvorming effectief vermindert. Bovendien zorgt het poriënblokkerend effect van vezels ervoor dat de poriën in het uitgeharde beton meer verspreid liggen. Dit resulteert op zijn beurt in minder capillaire porositeit en een lagere waterpenetratie. Een laag waterabsorberend vermogen zorgt ervoor dat het beton minder aangetast wordt door schadelijke stoffen waardoor de duurzaamheid verbetert.



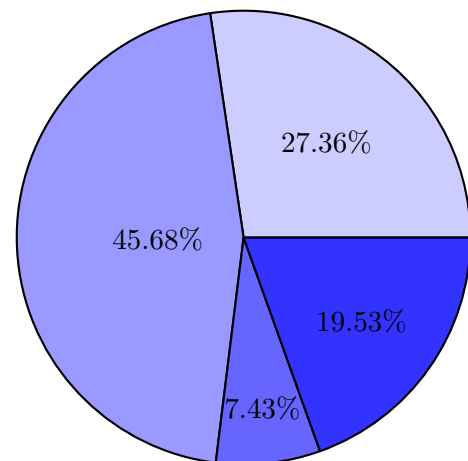
Figuur 4.19: Waterindringingsdiepte in functie van vezelgehalte

Hanafi et al. (2020) concludeert dat toevoeging van basaltvezels de porositeit vermindert tot een volume fractie van 0,3 vol.%. Bij hogere vezelgehalten zal de porositeit van het beton toenemen. Dit omdat de compactheid van het composiet en het verspreidingsvermogen van vezels afneemt [40].

Jiang et al. (2014) voerde onderzoek naar de invloed van basaltvezels op de poriegrootteverdeling en de porositeit van basaltvezelversterkt beton. Poriën in cementgebonden materialen worden onderverdeeld in vier soorten. Met name de onschadelijke poriën (poriegrootte kleiner dan 20 nm), kleine schadelijke poriën (poriegrootte tussen 20 nm en 100 nm), schadelijke poriën (poriegrootte tussen 100 nm en 200 nm) en ernstige schadelijke porie (poriegrootte groter dan 200 nm). Figuur 4.20 en 4.21 tonen de poriënverdeling van een onversterkt en een 0,3 vol.% basaltvezelversterkt betonmengsel na 28 dagen [33].



Figuur 4.20: Poriënverdeling onversterkt beton



Figuur 4.21: Poriënverdeling basaltvezelversterkt beton (0.3 vol%)

De 2 diagrammen tonen aan dat het vezelversterkte mengsel meer schadelijke poriën bevat en dat het aantal minder schadelijke poriën afneemt. Ook de totale porositeit van vezelversterkt beton ligt, in tegenstelling tot de conclusie van Hanafi et al. (2020), hoger dan onversterkt beton. Na 28 dagen bedraagt dit een toename 7,93% [40].

4.5 Besluit

Een relatief nieuw vezeltype dat wordt gebruikt voor betonversterking zijn basaltvezels. Deze vezels zijn voor 100% vervaardigd uit basaltsteen en qua chemische samenstelling, productieproces en prijs wordt basalt het dichtst benaderd door E-glas.

Een aandachtspunt bij basaltvezels is de alkalibestendig van de vezels. Vezelproducten in contact met verse betonspecie bevinden zich namelijk in een sterk alkalische omgeving. Uit het onderzoek van Afroz et al. (2017) [30] blijkt dat alkalische oplossingen een belangrijke rol bij de diffusie en afbraak van basaltvezels. Door de sterk agressieve omgeving in rioleringsstelsel worden de vezels ook blootgesteld aan zure chloride- en sulfaationen. Chloride- en sulfaatoplossingen hebben weinig tot geen invloed op het massaverlies van basaltvezels.

De invloed van basaltvezels op mechanische eigenschappen van beton zoals druksterkte, buigsterkte en krimpgedrag vertonen veel variatie afhankelijk van de geraadpleegde bron. Uit de onderzoeksresultaten blijkt dat de spreiding van het optimale volumegehalte relatief groot is tussen de verschillende onderzoeken. De belangrijkste reden hiervoor is dat een uniforme evaluatiemethode ontbreekt en dat de fysische parameters van de geselecteerde vezels verschillen. Over het algemeen verbeteren basaltvezels de taaiheid en de buigsterkte van beton. Het effect van basaltvezels op de druksterkte daarentegen is niet opvallend.

Filamentdispersievezels hebben de meest gunstige invloed op het krimpgedrag van beton. Ze zijn in staat om krimpscheuren volledig te voorkomen bij een dosering van 0,1 vol.%. Samen met het poriënblokkerende effect zorgt deze vezel voor een minder capillaire porositeit van beton waardoor de duurzaamheid verbetert.

We besluiten dat basalt in termen van mechanische en fysische eigenschappen een geschikt vezelmateriaal is vanwege zijn hoge elasticiteitsmodulus, hoge treksterkte, corrosiebestendigheid en lichtgewicht. Basalt heeft een treksterkte tussen 2900 en 3100 MPa (2 maal sterker dan staal) waardoor het zeker potentieel biedt als alternatief voor de Fibraflex metaalvezels. Dit is echter een indirecte rechtvaardiging aangezien het effect van vezels bepaald wordt door de mate waarin de vezels in het beton zitten verankerd. Dankzij het flexibele karakter van basaltvezels zijn ze ook geschikt voor spuitbetontoepassingen. Naast het feit dat basaltvezels milieuvriendelijker zijn dan de Fibraflexvezel is de toepassing ervan ook financieel interessant. Volledigheidshalve moet benadrukt worden dat basalt afbreekbaar is in alkalische oplossingen. Een alkalibestendige sizing is sterk aangeraden voor betontoepassingen.

Hoofdstuk 5

Proefonderzoek

5.1 Introductie

Uit literatuuronderzoek blijkt dat basaltvezels een belangrijke rol kunnen spelen bij het verbeteren van de taaigheid en het voorkomen van scheuren in beton. Ten eerste versterken basaltvezels het beton in microscopisch perspectief en fungeert het met zijn hoge elasticiteitsmodulus en treksterkte als brug bij scheuren. Dit resulteert in een toename van de sterkte vóór scheuren, een ductieler materiaalgedrag met een betere scheurverdeling en dus ook een beperkte scheurwijdte. Het buitengewoon hoge aantal vezels zorgt voor een optimale driedimensionale verdeling in het betonmengsel tijdens het mengproces waardoor het versterkend effect vergroot.

Het effect van basaltvezels in beton is afhankelijk van het vezelgehalte en de mate waarin de vezels in het beton zitten verankerd. Er zijn reeds veel onderzoeken verricht naar de bepaling van het optimale volumegehalte basaltvezel in beton. Tabel 5.1 geeft de onderzoeksresultaten weer van het optimale gehalte basaltvezel in beton volgens vergelijkbare onderzoeken.

Tabel 5.1: Onderzoeksresultaten van optimale basaltvezelhoeveelheid

Onderzoeker	Proeven	Diameter	Lengte	Optimaal Vol. %
Jiang, C. [33]	Druk-, buig- en slijttreksterkte	12 μm	22 mm	0,30 %
Tumadhir, B. [35]	Druk-, buig- en slijttreksterkt	13 μm	25.4 mm	0,30%
Padmanabhan, I. [34]	Druk- en buigsterkte	16 μm	36 mm	0,30%
Branston, J. [32]	Druk- en buigsterkte	20 μm	36 mm	0,50%
Zhang, Y. [41]	Druk-, buig- en slijttreksterkt	15 μm	30 mm	0,10%
Kabay, N. [42]	Druk- en buigsterkte	13 - 20 μm	24 mm	0,16%
Jalasukram, S. [43]	Druk-, buig- en slijttreksterkt	13 μm	12 mm	0,10%
Katkhuda, H. [44]	Druk-, buig- en slijttreksterkt	16 μm	18 mm	0,30%

Bovenstaande tabel toont dat de spreiding van het optimale volumegehalte basaltvezel relatief groot is. Deze uiteenlopende waarden rechtvaardigen het proefonderzoek dat in het kader van deze masterproef wordt uitgevoerd.

5.2 Onderzoeksopzet

Aan de hand van een vergelijkende studie wordt de toepasbaarheid van basaltvezels in spuitbeton voor rioolrenovaties onderzocht. Het huidige vezeltype dat Renotec gebruikt als vezelversterking zijn amorfe metaalvezels van vezelproducent Fibraflex. In het onderzoek wordt de invloed van basaltvezels op de mechanische eigenschappen van spuitbeton vergeleken met deze van de amorfe metaalvezels. Ook zal de vergelijking gemaakt worden met de prestatie-eisen voor spuitbeton in rioolomgeving uit hoofdstuk 3. De mechanische eigenschappen die worden onderzocht zijn:

- druksterkte;
- buigsterkte ;
- waterabsorptie.

Door de vezellengte en het vezelgehalte als variabele te nemen kan uit de resultaten ook worden aangetoond welk de meest geschikte vezeldosering is en met welke vezellengte de beste prestaties worden bekomen. De onderzoeksproeven zijn uitgevoerd door Geo Measuring & Analysis nv, een Belac-geaccrediteerd onafhankelijk bouwkundig laboratorium. Het volledige beproevingsverslag is toegevoegd in bijlage F.

5.3 Vezelmateriaal

Tabel 5.2 toont de eigenschappen van de drie verschillende vezels die in de proefstukken werden verwerkt. De basaltvezels zijn ter beschikking gesteld door Basaltex nv, de metaalvezels zijn een product van de firma Saint-Gobain SEVA.

Tabel 5.2: Eigenschappen van gebruikte vezels

Naam	Diameter	Lengte	Treksterkte	Dichtheid	Aantal vezels per kg
Basalt					
BCS 17- 6.4 - KV13	17 μm	6,4 mm	2900 MPa	2670 kg/m^3	258 000 000
BCS 17- 25.4 - KV13	17 μm	25,4 mm	2900 MPa	2670 kg/m^3	65 000 000
Metaal					
Fibraflex FF20L6	250 μm	20 mm	1400 MPa	7200 kg/m^3	150 000

Basaltvezels zijn filamentdispersievezels van het type Basfiber. De keuze voor filamentdispersie is te verklaren door het groter contactoppervlak tussen de vezels en beton wat resulteert in een grotere wrijvingsbeperking. Daarnaast zijn ze meer uniform verdeelt waardoor de kans groter is op overbrugging van scheuren. De basaltvezels zijn voorzien van een KV-13 sizing die speciaal ontwikkeld is voor bouwtoepassingen. Sizing is een dunne, homogene coating die tijdens het fabricageproces op het oppervlak van vezels wordt aangebracht om de filamenten te beschermen. De juiste sizing op het vezeloppervlak speelt een belangrijke rol bij het bepalen van de eigenschappen van het uiteindelijke composiet. Denk maar aan hechting tussen de vezel en de matrix, mechanische eigenschappen, chemische of waterbestendigheid en thermische stabiliteit. Dankzij de KV-13 sizing hebben deze basaltvezels een uitstekende alkalibestendigheid en zijn ze goed compatibel met beton. Van dit type zullen zowel de korte 6,4 mm vezels als de langere 25,4 mm vezels worden getest. De volledige technische fiche en veiligheidsinformatieblad van deze vezel zijn toegevoegd in respectievelijk bijlage D en E.

De fibraflexvezels van het type FF20L6 worden momenteel in de praktijk toegepast bij rioolrenovaties met spuitbeton. Ze zijn vervaardigd uit ijzer, chroom en fosfor. Ze hebben een groot specifiek grensoppervlak waardoor ze zich zeer goed hechten in de cementmatrix. Bovendien zorgt de amorfe toestand samen met de aanwezigheid van chroom ervoor dat ze uitstekend weerstand bieden tegen corrosie

Tabel 5.2 geeft weer dat de dichtheid van basaltvezels lager is dan deze van de metaalvezels en dat ze een kleinere diameter hebben. Hierdoor zullen er bij eenzelfde percentage meer basaltvezels in het beton zitten met als gevolg dat het aantal vezels die in de krachtrichting liggen groter is. Ook blijkt dat de treksterkte van de basaltvezels 2 maal groter is dan deze van de metaalvezels. Dit is echter geen indicatie voor de mechanische prestaties van basaltvezelbeton aangezien dit afhankelijk van het verankeringsmechanisme tussen vezel en beton.



Figuur 5.1: BCS 17- 6.4 - KV13



Figuur 5.2: BCS 17- 25.4 - KV13



Figuur 5.3: Fibraflex FF20L6

5.4 Betonsamenstelling

Voor het vervaardigen van de proefstukken in deze studie werd een 1-componentige natspuitmortel gebruikt (Grouttech GUN 172). Deze betonmix wordt gekenmerkt door een hoog bindmiddelgehalte en een maximale korrelgrootte van 4 mm. Het bindmiddel is samengesteld uit CEM III/B, hoogovenslak en microsilica. Volgens de technische gegevens is de waterbehoefte 13%, deze is ook toegepast.

Tabel 5.3: Betonsamenstelling van de proefstukken

Mix benaming	Vezeltype	Lengte	Vol. %
OV			0
BV 6.4-0.1	BCS 17- 6.4 - KV13	6.4 mm	0,1
BV 6.4-0.3			0,3
BV 6.4-0.5			0,5
BV 25.4-0.1	BCS 17- 25.4 - KV13	25.4 mm	0,1
BV 25.4-0.3			0,3
BV 25.4-0.5			0,5
FF 20-0.2	FF20L6	20 mm	0,2

De betonmengsels die voor dit onderzoek zijn vervaardigd zijn weergegeven in Tabel 5.3. Een set van 8 mengsels met 3 drie verschillende doseringen basaltvezels van respectievelijk 0,1; 0,3 en 0,5 vol.% zijn getest. Het referentiemengsel (OV) bevat geen basaltvezels en het betonmengsel FF-20-0.2 is versterkt met 0,2 vol.% Fibraflex metaalvezels. Het vezelgehalte Fibraflex in betonmix

FF-20-0.2 komt overeen met 15 kg/m^3 wat tevens ook de hoeveelheid is die Renotec momenteel hanteert. De benaming van elke mix wordt geëtiketteerd op soort vezel, vezellengte en dosering. Zo duidt de mixbenaming BV 6.4-0.3 aan dat basaltvezels van 6,4 mm lengte worden gebruikt in een dosering van 0,1 vol.%.

5.5 Proefstukken

Het geproduceerde betonvolume voor elk mengsel bedraagt $10,2 \text{ dm}^3$. De betonspecie wordt gemengd met een handbetonmixer in een ronde mortelkuip (zie Figuur 5.4). De mengprocedure wordt als volgt beschreven:

- GUN 172 mix droog mengen met het juiste volumepercentage vezels gedurende 30 seconden;
- water toevoegen en mengen gedurende 120 seconden.

Over het algemeen zijn basaltvezels goed mengbaar in een betonspecie. Toch werd er vastgesteld dat vezeldoseringen van 0,5 vol.% leiden tot clustervorming bij langere basaltvezels waardoor het moeilijker is om een juiste consolidatie te bereiken.



Figuur 5.4: Menging van betonspecie

Meteen na het mengen werd de zetmaat van de betonspecie bepaald volgens NBN EN 12350-2. Na het testen van de reologische eigenschappen van de verse mortel werden prisma's met afmetingen $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$, kubussen van $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ en cilinders met diameter 110 mm vervaardigd. Na het vullen werden de mallen 25 keer gepord om luchtbelvorming in het beton te reduceren.



Figuur 5.5: Proefstukken vervaardigd per betonmengsel



Figuur 5.6: Alle verharde proefstukken

5.6 Proefopstelling

5.6.1 Consistentie

Principe

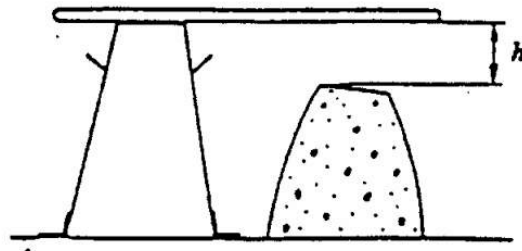
”De betonspecie wordt in een mal in de vorm van een afgeknotte kegel gegoten. Wanneer de kegel verticaal wordt opgetild kan de consistentie van het beton door zijn zetmaat worden gemeten. Deze proef is niet van toepassing indien de grootste diameter van de granulaten meer dan 40 mm bedraagt” [45].

Proef

Een mal in de vorm van een afgeknotte kegel (kegel van Abrams) wordt op een hard vlak geplaatst en gevuld in drie lagen, waarbij elke laag, overeenkomt met een derde van de hoogte van de mal. De mal en het vlak worden van tevoren bevochtigd. Elke laag wordt 25 keer met de porstaaf ($d = 16$ mm, $h = 600$ mm) gepord. De mal wordt zonder zijdelingse beweging verticaal opgetild [45].

Resultaat

De zetmaat van de betonspecie wordt aangegeven door het verschil tussen de hoogte van de mal en het hoogste punt van het ingezakte proefstuk [45].



Figuur 5.7: Zetmaat bepalen volgens NBN EN 12350-2 [45]

5.6.2 Druksterkte

Principe

De druksterkte op proefstukken van verhard beton wordt bepaald aan de hand van kubussen met ribben van 150 mm conform de norm NBN EN-12390. Druksterkte wordt uitgedrukt als van de verhouding tussen de maximale breukbelasting bij axiale druk en de oppervlakte van het monster loodrecht op de richting van de drukkracht [46].

Proef

Na minimaal 28 dagen wordt de druksterkte gemeten door het proefstuk tot bezwijken te belasten in een drukbank (zie Figuur 5.8). De eisen die aan de drukbank worden gesteld staan beschreven in NEN-EN 12390-4. Deze eisen betreffen vooral [46]:

- eisen aan de drukplaten – vlakheid;
- de aanwijzing van de belasting – nauwkeurigheid, schaalverdeling;
- de snelheid en beheersing van de belastingtoename;
- de belastingoverdracht.



Figuur 5.8: Drukbank [47]

Resultaat

De druksterkte wordt berekend tot op 0,1 N/mm^2 nauwkeurig [46].

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

met:

f_c = de druksterkte (N/mm^2)

F = de maximumkracht (N)

A_c = de dwarsoppervlakte waarop de drukkracht wordt uitgeoefend (mm^2)

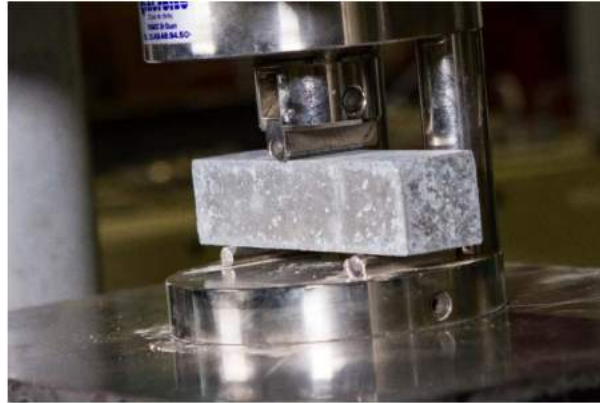
5.6.3 Buigsterkte

Principe

De buigsterkte wordt bepaald conform NBN EN 1015-11 door het belasten van prismavormige proefstukken met afmetingen 160 x 40 x 40 mm op drie punten totdat deze breken [48].

Proef

De prisma's worden in de pers geplaatst met een zijvlak op de steunpunten. Een verticale kracht wordt uitgeoefend aan een snelheid begrepen tussen 10 en 50 N/s opdat de breuk plaats vindt tussen de 30 en 90 s [48].



Figuur 5.9: Bepalen van de buigsterkte NBN EN 1015-11 [48]

Resultaat

De buigsterkte wordt berekend tot op $0,05 \text{ N/mm}^2$ nauwkeurig en het gemiddelde van de drie resultaten wordt genoteerd tot op $0,1 \text{ N/mm}^2$ nauwkeurig [48].

$$f = 1,5 \frac{FL}{bd^2}$$

met:

f = de buigsterkte (N/mm^2)

b = de breedte (mm)

d = de dikte (mm)

F = de maximale toegepaste buigbelasting (N)

L = de afstand tussen de steunpunten (mm)

5.6.4 Waterabsorptie

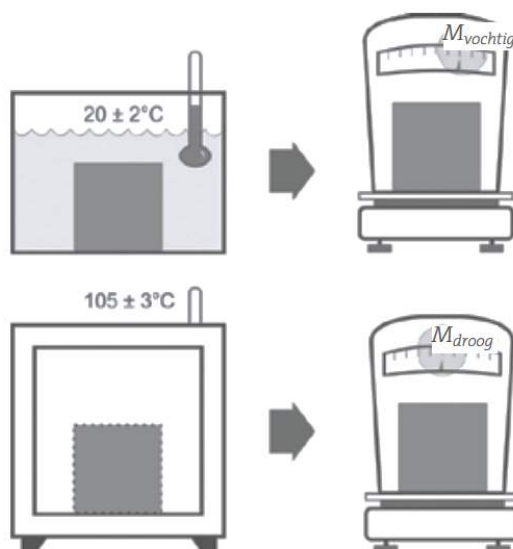
Principe

De waterabsorptie door onderdompeling van beton wordt bepaald volgens de richtlijnen van de norm NBN B 15-215:1989 [49].

Proef

De proef omvat de volgende verrichtingen [49]:

1. Het proefstuk onderdompelen in een bak water van 20 ± 2 °C, gedurende minimum 48 uur en tot de vochtige massa constant blijft. Het proefstuk vóór het wegen afvegen met een vochtig zeemvel teneinde het water op het oppervlak weg te nemen.
2. Het proefstuk drogen gedurende minimum 72 uur en tot de droge massa constant blijft. Dit gebeurt in een geventileerde droogstoof waarin een temperatuur van 105 ± 3 °C wordt aangehouden.



Figuur 5.10: Waterabsorptie door onderdompeling [49]

De massa wordt als constant beschouwd wanneer het verschil tussen twee opeenvolgende wegen met een tussentijd van 24 uur niet groter is dan 0,1 % [49].

Resultaat

De waterabsorptie door onderdompeling (Abs) wordt uitgedrukt in procent van de droge massa. Ze wordt als volgt berekend [49] :

$$Abs = \frac{m_{vochtig} - m_{droog}}{m_{droog}} \cdot 100$$

met:

$m_{vochtig}$ = de constante vochtige massa van het proefstuk na onderdompeling

m_{droog} = de constante droge massa van het proefstuk na droging in de droogstoof

5.7 Resultaten

5.7.1 Consistentie

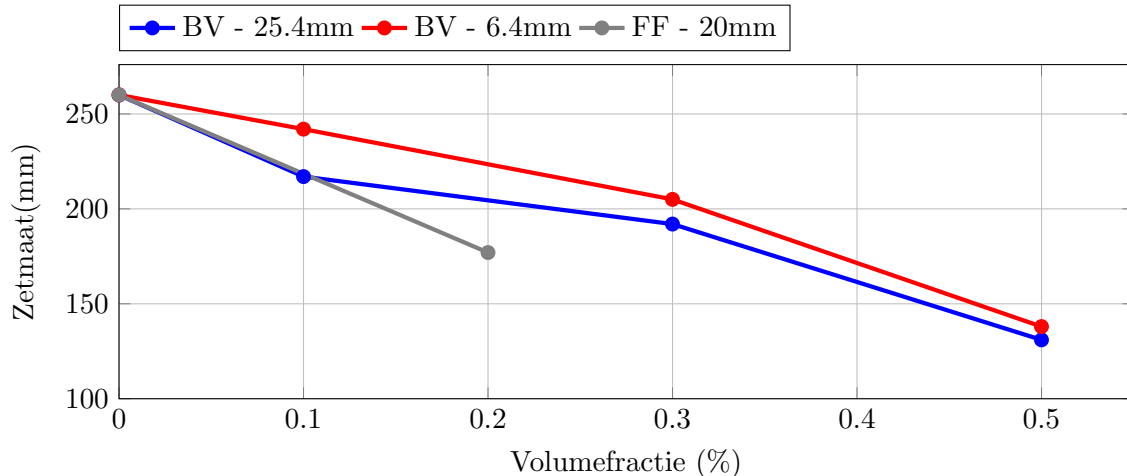
De invloed van vezels op de verwerkbaarheid van beton kan ingeschat worden aan de hand van de zetmaat. Tabel 5.4 geeft de resultaten weer van de consistentietest uitgevoerd op verschillende betonmengsels conform NBN EN-12350-2.

Tabel 5.4: Zetmaat van betonmengsels

Mix benaming	Test 1 (mm)	Test 2 (mm)	Gemiddelde zetmaat (mm)	Consistentieklasse
OV	267	254	260	S5
BV 6.4-0.1	248	237	242	S5
BV 6.4-0.3	213	197	205	S4
BV 6.4-0.5	142	135	138	S3
BV 25.4-0.1	221	214	217	S4
BV 25.4-0.3	198	186	192	S4
BV 25.4-0.5	137	125	131	S3
FF 20-0.2	183	172	177	S4

Bespreking

Uit de resultaten blijkt toevoeging van vezels een grote impact heeft op de consistentie van beton. Figuur 5.11 toont dat een toename van de vezellengte en het vezelgehalte leiden tot een verminderde consistentie. Dit komt vooral door het feit dat vezels de stroombaarheid van vers beton belemmeren waardoor de behoefte aan smeermiddel groter is.



Figuur 5.11: Effect van basaltvezels op de consistentie

Om een goede verpompbaarheid van het betonmengsel te garanderen wordt een zetmaat tussen 180 en 220 mm aanbevolen. De consistentie van betonmengsels met 0,3 vol.% basaltvezels, zowel de lange als de korte vezels, zijn het meest geschikt om te verpompen. Algemeen kan gesteld worden dat de verwerkbaarheid van beton afneemt naarmate de vezellengte en het vezelgehalte stijgen. Merk op dat de verwerkbaarheid kan worden vergroot door het toevoegen van cement, water, plastificeerders en/of toevoegsels zoals vliegas. In deze studie werden deze parameters echter niet meegenomen.

5.7.2 Druksterkte

De resultaten van de druktest op de betonkubussen is weergegeven in Tabel 5.5 en 5.6 en tonen respectievelijk de breuklast en de drukweerstand. Van elk betonmengsel zijn telkens 2 kubussen vervaardigd en getest. De vergelijking wordt gemaakt aan de hand van de gemiddelde waarden.

Tabel 5.5: Breuklast resultaten

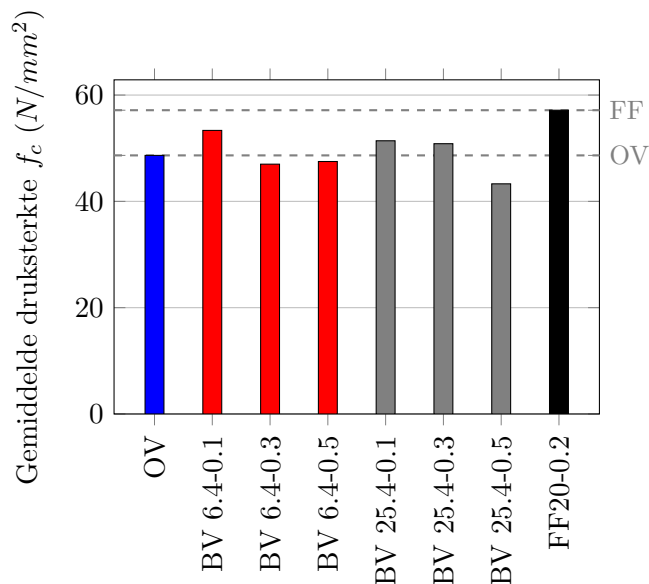
Mix benaming	Test 1 (kN)	Test 2 (kN)	Breuklast (kN)
OV	1096,4	1054,9	1062,2
BV 6.4-0.1	1209,5	1176,1	1192,8
BV 6.4-0.3	1076,4	1074,3	1075,4
BV 6.4-0.5	1083,6	1062,6	1073,1
BV 25.4-0.1	1138,2	1159,9	1149,1
BV 25.4-0.3	1159,6	1069,0	1114,3
BV 25.4-0.5	959,9	1008,6	984,3
FF 20-0.2	1268,6	1296,2	1282,4

Tabel 5.6: Druksterkte resultaten

Mix benaming	Test 1 (N/mm^2)	Test 2 (N/mm^2)	Druksterkte (N/mm^2)
OV	49,1	48,2	48,7
BV 6.4-0.1	53,0	53,7	53,4
BV 6.4-0.3	46,3	47,7	47,0
BV 6.4-0.5	48,8	47,2	47,5
BV 25.4-0.1	50,6	52,2	51,4
BV 25.4-0.3	51,2	50,5	50,9
BV 25.4-0.5	42,4	44,2	43,3
FF 20-0.2	57,1	57,2	57,2

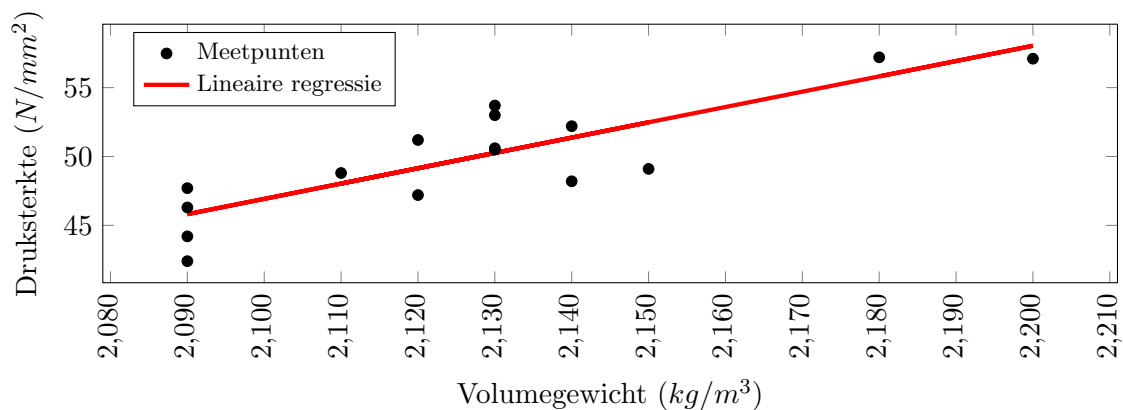
Bespreking

De gemiddelde druksterkte van de verschillende betonmengsels wordt weergegeven op Figuur 5.12. De grafiek toont aan dat de spreiding van de resultaten erg laag is. Voor 4 van de 7 vezelversterkte proefstukken neemt de druksterkte toe ten opzichte van referentiemengsel (OV). Deze toename is echter van beperkte grootte. De hoogste druksterktetoename werd gemeten voor betonmengsel FF20-0.2 met 17,5% , gevolgd door BV6.4-0.1 en BV25.4-0.1 met een toename van 9,6% en 5,6%. Deze druksterktetoename wordt bereikt dankzij vezels die niet evenwijdig met de drukrichting zijn georiënteerd. Bij een goede vezel-matrix hechting kunnen deze vezels scheuren door dwarsuitbreiding voorkomen waardoor de druksterkte en de taaiheid van het beton verbeteren.



Figuur 5.12: Gemiddelde druksterkte

Voor 3 van de 7 vezelversterkte proefstukken neemt de druksterkte af opzichte van referentiemengsel (OV). Voornamelijk bij mengsel met een hoge vezeldosering is er een afname van de sterkte merkbaar. Voor betonmengsel BV25.4-0.5 is deze maximaal met 10,6% ten opzichte van het onversterkte proefstuk (OV). Deze reductie in sterkte kan verklaard worden door de clustervorming van basaltvezels. Bij grote vezelgehalten of bij een slechte vezelverdeling bestaat de kans dat basaltvezels gaan samenklonteren waardoor er zicht holtes kunnen vormen in het beton. Deze holtes verzwakken de hechting tussen de vezel en het beton wat leidt tot een afname in druksterkte.



Figuur 5.13: Druksterkte i.f.v. volumegewicht

Figuur 5.13 toont de druksterkte van de proefstukken in functie van het volumegewicht. Aan de hand van de lineaire regressielijn kan worden aangetoond dat er sprake is van een lineaire samenhang tussen de druksterkte en het volumegewicht van beton. Dit verband geeft een verklaring voor de lage druksterkte bij proefstukken met een hoog vezelgehalte.

In geval van een sterk agressieve omgeving wordt een minimale sterkteklasse van C35/45 voorgeschreven en moet dus een druksterkte van $45 N/mm^2$ behaald worden. Deze waarden worden door elk proefstuk behaald met uitzondering van $43,3 N/mm^2$ voor mengsel BV25.4-0.5. De

norm NBN EN 13791 handelt over de bepaling van de druksterkte in situ en houdt zowel rekening met de invloed van de materialen als met de uitvoering (verdichting, nabehandeling, ...). Deze druksterkte in situ mag tot 15% lager zijn dan de druksterkte onder genormaliseerde voorwaarden. Wanneer hiermee rekening wordt gehouden voldoet elk betonmengsel aan de norm [50].

5.7.3 Buigsterkte

De resultaten van de buigproeven zijn weergegeven in Tabel 5.7 en 5.8. Voor elk betonmengsel werden 3 prisma's getest.

Tabel 5.7: Buiglast resultaten

Mix benaming	Test 1 (kN)	Test 2 (kN)	Test 3 (kN)	Gemiddelde buiglast (kN)
OV	3,5	3,72	3,75	3,66
BV 6.4-0.1	2,13	2,19	2,35	2,22
BV 6.4-0.3	1,8	2,25	1,94	2,00
BV 6.4-0.5	3,09	3,47	3,19	3,25
BV 25.4-0.1	3,48	3,53	2,87	3,29
BV 25.4-0.3	1,52	3,46	1,38	2,12
BV 25.4-0.5	3,43	2,98	2,86	3,09
FF 20-0.2	4,05	4,27	4,36	4,33

Tabel 5.8: Buigsterkte resultaten

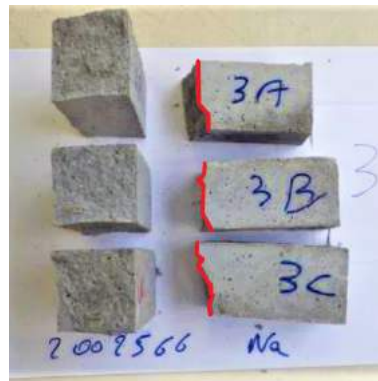
Mix benaming	Test 1 (N/mm^2)	Test 2 (N/mm^2)	Test 3 (N/mm^2)	Gemiddelde buigsterkte (N/mm^2)
OV	7,43	7,81	7,97	7,7
BV 6.4-0.1	4,86	4,77	5,14	4,9
BV 6.4-0.3	4,17	5,21	4,53	4,6
BV 6.4-0.5	6,65	7,43	6,62	6,9
BV 25.4-0.1	7,43	7,69	5,72	6,9
BV 25.4-0.3	3,46	7,87	3,23	4,9
BV 25.4-0.5	7,7	6,29	6,17	6,7
FF 20-0.2	8,69	9,03	9,05	8,9

Breukgedrag

Het falen van de onversterkte betonprisma's (OV) gebeurt zeer plotseling en snel tijdens de buigtest. Met het toenemen van de belasting breken de proefstukken snel in twee delen met een recht scheurvvlak (zie Figuur 5.14). Voor de vezelversterkte proefstukken is er echter een bepaalde buffertijd vanaf het verschijnen van scheuren tot de breuk. Hoewel deze tijd erg kort is, bewijst dit dat de taaiheid van beton verbetert. Figuur 5.15 en 5.16 tonen dat het breukvlak bij vezelversterkte proefstukken meer hoekig en schuin verloopt.



Figuur 5.14: OV



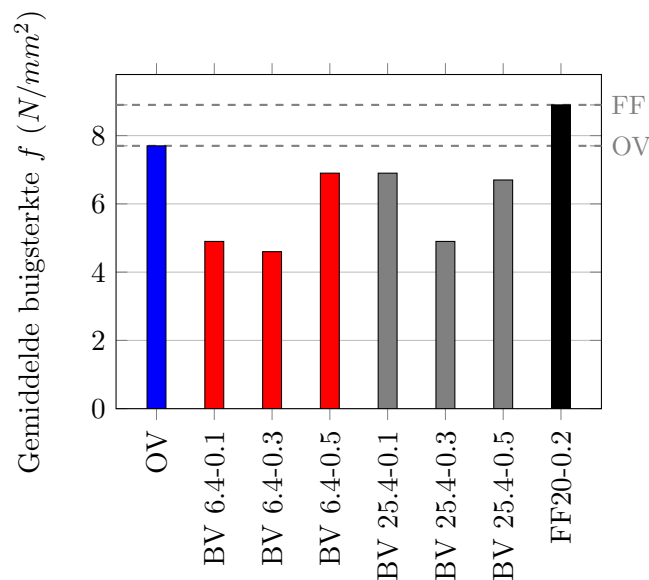
Figuur 5.15: BV25.4-0.5



Figuur 5.16: BV6.4-0.5

Bespreking

De gemiddelde buigsterkte van de verschillende betonmengsels wordt weergegeven op Figuur 5.17. De grafiek toont aan dat de basaltvezelversterkte proefstukken een lagere buigsterkte hebben dan het proefstuk zonder vezels (OV). Door de grote spreiding van de resultaten per betonmengsel is het moeilijk een verband te vinden tussen het vezelgehalte en gemiddelde buigsterkte.

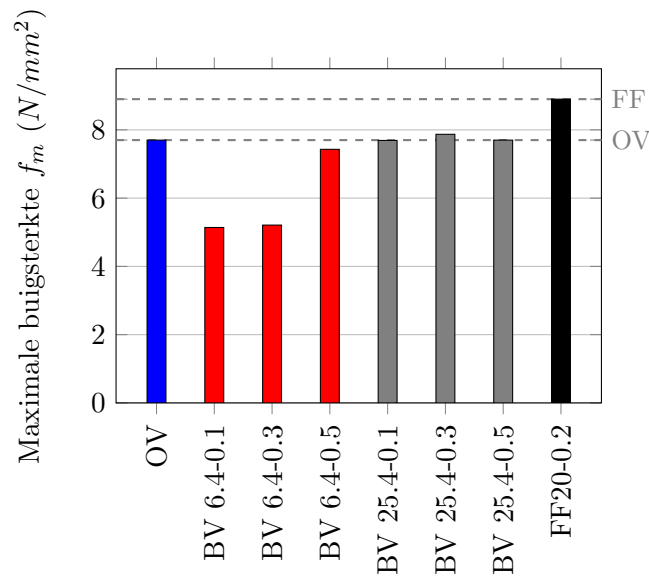


Figuur 5.17: Gemiddelde buigsterkte

Wanneer we de gemiddelde buigsterkte vervangen door de maximale buigsterkte wordt het verband duidelijker (zie Figuur 5.18). De hoogste buigsterkte werd gemeten bij betonmengsel FF20-0.2, gevolgd door BV25.4-0.3 met een toename van 15,6% en 2,2% ten opzichte van het onversterkte proefstuk (OV). Voor alle andere proefstukken neemt de buigsterkte af. Bij vezelversterkte proefstukken met lange (25.4 mm) basaltvezels is de buigsterkte afname verwaarloosbaar klein. Bij mengsels BV6.4-0.1 en BV6.4-0.3 met kortere (6.4mm) vezels neemt de buigsterkte sterk af met respectievelijk 33% en 32%.

Een lage buigsterkte is te wijten aan een slechte verbinding tussen de vezel en het beton. Deze slechte verbinding wordt veroorzaakt door een slechte verdichting van het beton. Bij een slechte hechting kan de trekspanning onvoldoende over de scheur heen worden overgedragen. Bij basaltvezelversterkte proefstukken met lange vezels is het vezeloppervlak groter waardoor bij een relatief slechte verbinding tocht meer kracht kan worden overgedragen. De buigsterkte van deze

betonmengsels is gelijkaardig met deze van het onversterkte mengsels (OV).



Figuur 5.18: Maximale buigsterkte

Basaltvezels hebben over het algemeen weinig invloed op de buigsterkte wel krijgt het beton een zekere taaierheid. Dit blijkt uit het breukgedrag van de proefstukken. Door de hechtcracht kan basaltvezel de scheurspanning overdragen. Als de kritische waarde van de hechtsterkte tussen basaltvezel en beton wordt overschreden zal de basaltvezel bezwijken. Hoe groter het aantal vezels dat bezwijken aan de scheurspanning, hoe meer de overige vezels worden belast. Dit proces zorgt ervoor dat er geen brose breuk zal optreden maar het beton een zekere plastische vervorming toelaat. Deze taaierheid heeft geen rechtstreeks verband met de buigsterkte.

5.7.4 Waterabsorptie

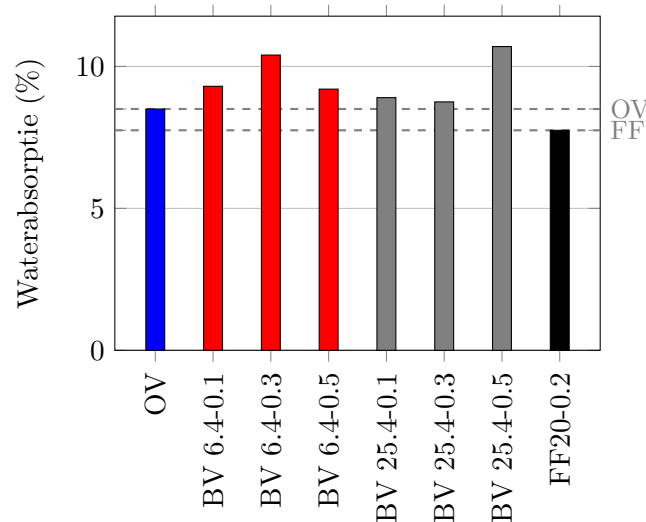
De resultaten van de waterabsorptietest op de betoncilinders zijn weergegeven in Tabel 5.9. Van elk betonmengsel zijn telkens 2 cilinders vervaardigd en getest. Onderstaande tabel toont van elk proefstuk het waterabsorptiepercentage, de vergelijking wordt gemaakt aan de hand van de gemiddelde waarden.

Tabel 5.9: Waterabsorptie resultaten

Mix benaming	Test 1 (%)	Test 2 (%)	Gemiddelde waterabsorptie (%)
OV	8,6	8,4	8,5
BV 6.4-0.1	9,2	9,4	9,3
BV 6.4-0.3	10,5	10,3	10,4
BV 6.4-0.5	9,2	9,2	9,2
BV 25.4-0.1	9,3	8,5	8,9
BV 25.4-0.3	8,8	8,7	8,7
BV 25.4-0.5	11,4	10	10,7
FF 20-0.2	7,7	7,8	7,7

Bespreking

Figuur 5.19 geeft de resultaten weer van een waterabsorptietest van elk composiet. Enkel het mengsel FF20-0.2 met metaalvezels is minder waterabsorberend dan het onversterkte mengsel. De maximale waterabsorptie door onderdompeling is 10,7% voor mengsel BV25.4-0.5 wat 25% meer is dan het referentiemengsel (OV).



Figuur 5.19: Gemiddelde waterabsorptie

De mate van waterabsorberend vermogen is gelinkt aan de porositeit van beton. Uit de resultaten blijkt dat de waterabsorptie toeneemt bij basaltvezelversterkte mengsels. Een reden hiervoor is dat de compactheid van de composieten afneemt door de vorming van holtes in het beton.

Basaltvezels hebben een groter specifiek grensooppervlak waardoor meer cementpasta vereist is voor een goede hechting. Omdat het cementgehalte in dit proefonderzoek constant blijft kunnen de vezels zich niet optimaal hechten met een meer poreuze matrix als gevolg. Bovendien bestaat de kans dat bij grote vezelgehaltenes of bij een slechte vezelverdeling basaltvezels gaan samenklonteren waardoor er zicht holtes kunnen vormen in het beton.

Wat opvalt uit de resultaten is dat er geen verband te vinden is tussen het vezelgehalte en het waterabsorberend vermogen. Bij de korte vezels (6,4 mm) is het mengsel met 0,3 vol.% het meest poreus. In tegenstelling tot de mengsels met de langere vezels (25,4 mm) waarbij het mengsel met hetzelfde vezelgehalte het minst waterabsorberend is. Deze afwijkende waarden zijn te wijten aan een ongelijke vezelverdeling en/of onvoldoende verdichting van de proefstukken.

Bij een goede vezel-matrix hechting en een homogene vezelverdeling zal het poriënblokkerend effect van vezels ervoor zorgen dat het beton minder poreus wordt en dus minder water absorbeert zoals het geval is bij composiet FF20-0.2.

Geen enkel proefstuk voldoet aan de eisen die gesteld worden door NBN B 15-001 waarin een maximale waterabsorptie van 6% staat beschreven. Belangrijk om te weten is dat wanneer het mengsels onder hoge druk wordt gespoten de dichtheid zal verbeteren en dus de waterabsorptie ook zal dalen. In de praktijk wordt een waterabsorptie van 6% of lager zeer zelden behaald.

5.8 Resultaat analyse

In een resultaten-analyse zal getracht worden het meest geschikte vezeltype te bepalen aan de hand van de eigenschappen die in het proefonderzoek werken onderzocht, namelijk:

- consistentie;
- druksterkte;
- buigsterkte;
- waterabsorptie.

Op basis van de prestatie op bovenstaande eigenschappen wordt aan elk vezeltype een puntenscore toegekend. Hieruit volgt ten slotte een totaalscore om de diverse vezels aan elkaar te toetsen.

5.8.1 Weging

De weging van elk criteria wordt gemaakt aan de hand van een puntenschaal van 1 (onbelangrijk) tot en met 5 (heel belangrijk). Minder relevante factoren worden een lagere weging toegekend. Het resultaat is dat minder belangrijke factoren minder zwaar meewegen in de uiteindelijke totaalscore van de analyse.

5.8.2 Score-indicator

Naast het toekennen van de weging worden ook puntenscores gegeven. Elke factor wordt beoordeeld met punten van 1 tot en met 5. In tabel 5.10 worden de scores van elke factor verduidelijkt.



Figuur 5.20: Score-indicator

Tabel 5.10: Score indicatie

Factor	Score	Omschrijving
Consistentie	1	Zetmaat kleiner dan 60 mm
	2	Zetmaat tussen 60 mm en 100 mm
	3	Zetmaat tussen 100 mm en 140 mm
	4	Zetmaat tussen 140 mm en 180 mm of groter dan 220 mm
	5	Zetmaat tussen 180 mm en 220 mm
Druksterkte	1	Druksterkte afname groter dan 5%
	2	Druksterkte afname tussen 5% en 0%
	3	Druksterkte toename tussen 0% en 5%
	4	Druksterkte toename tussen 5% en 10%
	5	Druksterkte toename groter dan 10%
Buigsterkte	1	Buigsterkte afname groter dan 5%
	2	Buigsterkte afname tussen 5% en 0%
	3	Buigsterkte toename tussen 0% en 5%
	4	Buigsterkte toename tussen 5% en 10%
	5	Buigsterkte toename groter dan 10%
Waterabsorptie	1	Waterabsorptiewaarde groter dan 10.5%
	2	Waterabsorptiewaarde tussen 9% en 10.5%
	3	Waterabsorptiewaarde tussen 7.5% en 9%
	4	Waterabsorptiewaarde tussen 6% en 7.5%
	5	Waterabsorptiewaarde kleiner dan 6%

5.8.3 Analyse

Voor alle criteria krijgen een weging van 4 met uitzondering van consistentie. Voor dit aspect is met een weging van 3 gerekend omwille van het feit dat de verwerkbaarheid simpelweg kan worden vergroot door het toevoegen van water en/of plastificeerders. De waarden voor analyse zijn niet standaard maar geven alsnog een goede indicatie van het versterkend vermogen van de verschillende vezels.

Factor	Weging	BV 6.4-0.1	BV 6.4-0.3	BV 6.4-0.5	BV 25.4-0.1	BV 25.4-0.3	BV 25.4-0.5	FF 20-0.2
Consistentie	3	4	5	3	5	5	3	4
Druksterkte	4	4	2	2	4	3	1	5
Buigsterkte	4	1	1	2	2	3	3	5
Waterabsorptie	4	2	2	2	3	3	1	3
	Maximale score	75	75	75	75	75	75	75
	Behaalde score	40	35	33	51	51	29	64
	Totaalscore	60%	46,6%	44%	68%	68%	38,6%	85,3%

Uit de analyse blijkt dat de beste prestaties bekomen worden voor betonmengsel FF20-0.2 met een totaalscore van 85,3%, gevolgt door BV25.4-0.1 en BV25.4-0.3 met beide een score van 68%. Volledigheidshalve moet vermeld worden dat deze analyse enkel rekening houdt met de onderzochte eigenschappen uit het proefonderzoek. Invalshoeken zoals de milieuvriendelijkheid en het economische standpunt zijn echter niet in rekening genomen.

Uit de analyse van de consistentie-, druk-, buig- en waterabsorptietest van vezelversterkt en gewoon beton, kan geconcludeerd worden dat:

- De beste prestaties worden verkregen door toevoeging van Fibraflex metaalvezels, in dit geval worden de druksterkte, buigsterkte, en waterabsorptie van beton aanzienlijk verbeterd.
- De optimale volumefractie van basaltvezels is 0,1% en 0,3% in het kader van deze studie. Bij grotere volumefracties basaltvezel verminderen de mechanische eigenschappen van beton.
- Het versterkend effect is meer uitgesproken bij proefstukken met lange basaltvezels ten opzichte van de proefstukken met korte vezels.
- Het breukgedrag van beton verandert van brosse breuk naar niet-brosse breuk door toevoeging van basaltvezels. Dit wijst erop dat het beton een zekere taaiheid krijgt met een betere scheurverdeling en dus ook een beperkte scheurwijdte.

5.9 Algemene opmerking

Ten gevolge van de COVID-19 crisis was het niet mogelijk de proefstukken te laten testen na 28 dagen zoals voorgeschreven. De waterabsorptieproef, de druktest en de buigsterkteproef werden uitgevoerd na respectievelijk 50, 57 en 72 dagen. Dit heeft mogelijk een impact gehad op de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten.

5.10 Besluit

Het effect van basaltvezels op beton is afhankelijk van het vezelgehalte en de vezellengte. Er is reeds veel onderzoeken gevoerd naar de bepaling van de optimale basaltvezeldosering in beton. De uiteenlopende waarden uit deze onderzoeken rechtvaardigen het proefonderzoek dat in het kader van deze masterproef wordt uitgevoerd.

Aan de hand van een vergelijkende studie wordt de toepasbaarheid van basaltvezels in spuitbeton voor rioolrenovaties onderzocht. Voor het vervaardigen van de proefstukken in deze studie werd een 1-componentige natspuitmortel gebruikt (Grouttech GUN 172). Een set van 8 mengsels met twee verschillende basaltvezellengtes (6,4 mm en 25,4 mm) in 3 drie verschillende doseringen van respectievelijk 0,1; 0,3 en 0,5 vol.% zijn getest. Het referentiemengsel (OV) bevat geen basaltvezels en het betonmengsel FF-20-0.2 is versterkt met 0,2 vol.% Fibraflex metaalvezels. Het vezelgehalte Fibraflex in betonmix FF-20-0.2 komt overeen met 15 kg/m^3 wat tevens ook de hoeveelheid is die Renotec momenteel hanteert.

Uit de beproeving met de Abrams kegel blijkt dat vezels een grote invloed hebben op de consistentie van het beton. Een toename van de vezellengte en het vezelgehalte leiden tot een verminderde consistentie. Bij een volumefractie van 0,3% zijn de mengsels optimaal verwerkbaar en verpompbaar.

De druksterkte neemt af bij mengsels met een hoge basaltvezeldosering. Voor betonmengsel BV25.4-0.5 is deze maximaal met 10,6% ten opzichte van het onversterkte proefstuk (OV). Deze reductie in sterkte kan verklaard worden door de moeilijke verdichting en de daarbij horende afname in compactheid. Bij lage vezeldoseringen kunnen basaltvezels zorgen voor een druksterketoename door dwarsuitbreiding te voorkomen. De hoogste druksterketoename werd gemeten voor betonmengsel FF20-0.2 met 17,5%

Basaltvezels hebben weinig invloed op de buigsterkte wel krijgt het beton een zekere taaiheid. Dit is te merken aan de buffertijd vanaf het verschijnen van scheuren tot de breuk bij vezelversterkte proefstukken. Uit de resultaten van de buigsterkteproef kan geconcludeerd worden dat korte basaltvezels zorgen voor een afname van de buigsterkte. Voor lange basaltvezels is de buigsterkteafname verwaarloosbaar klein. De lage buigsterkte is te wijten aan een slechte verbinding tussen de vezel en het beton. Deze slechte verbinding wordt veroorzaakt door een slechte verdichting van het beton. Bij een slechte hechting kan de trekspanning onvoldoende over de scheur heen worden overgedragen.

De toevoeging van vezels verhoogt de porositeit en waterabsorptie, met uitzondering van mengsel FF20-0.2 met metaalvezels. Een reden hiervoor is wederom dat de compactheid van de composieten afneemt door de vorming van holtes in het beton. Geen enkel proefstuk voldoet aan de eisen die gesteld worden door NBN B 15-001 waarbij een maximale waterabsorptie van 6% staat beschreven. Belangrijk om te weten is dat in de praktijk een waterabsorptie van 6% of lager zeer zelden wordt behaald.

Uit de analyse blijkt dat de beste prestaties bekomen worden voor betonmengsel FF20-0.2 met een totaalscore van 85,3%, gevolgd door BV25.4-0.1 en BV25.4-0.3 met beide een score van 68%.

Hoofdstuk 6

Conclusie

Renovatie van rioolleidingen door middel van spuitbeton, ook gekend als gunitering, is een veel gebruikte techniek in deze nichemarkt. Gunitering wordt toegepast voor de renovatie van betonnen of cementgebonden mantoegankelijke collectoren. Bij gunitering worden vezels het aan beton toegevoegd om zijn prestaties te verbeteren. Door de ontwikkeling van nieuwe effectievere soorten vezels en de toenemende beschikbaarheid ervan worden vezels vaak als standaard beschouwd bij spuitbetontoepassingen. De meest voorkomende vezel zijn staal-, glas- en kunststofvezels die vanwege hun productie of vervuilingseffect op de natuur niet als ecologisch kunnen worden beschouwd. Een relatief nieuw vezeltype dat wordt gebruikt voor betonversterking zijn basaltvezels. Deze vezels bestaan uit bundels filamenten die worden geproduceerd door het verwerken van natuurlijk voorkomend basaltsteen. Dankzij zijn uitstekende eigenschappen zoals hoge treksterkte, hoge hittebestendigheid en relatief lage kosten, worden basaltvezels beschouwd als potentieel milieuvriendelijk alternatief voor meer gangbare vezeltypes.

Spuitbeton wordt, zoals de naam doet vermoeden, onder hoge druk op de binnenwand geprojecteerd zodat onmiddellijk een volledig verdichte betonstructuur gevormd wordt. De grondstoffen voor spuitbeton zijn toeslagstoffen, cement, water en hulpstoffen die worden aanbevolen. Optionele componenten zijn toevoegsels en vezels. Omdat het beton door een nauwe spuitkop moet gaan, zijn grove toeslagmaterialen geen optie en gelden er andere regels bij het ontwerpen van spuitbeton. Zoals een hoger gehalte aan fijnen, een maximale korrelgrootte of de noodzaak om versneller toe te voegen. De eisen die aan spuitbeton worden gesteld, verschillen ook van traditioneel beton. Het belangrijkste kenmerk van vers gespoten beton is de uithardingstijd, de druksterkte en de buigsterkte na uitharding.

Uit literatuuronderzoek blijkt dat basaltvezels een belangrijke rol kunnen spelen bij het verbeteren van de taaierheid en het voorkomen van scheuren in beton. Ten eerste versterken basaltvezels het beton in microscopisch perspectief en fungeren ze met hun hoge elasticiteitsmodulus en treksterkte als brug bij scheuren. Dit resulteert in een toename van de sterkte vóór scheuren, een ductieler materiaalgedrag met een betere scheurverdeling en dus ook een beperkte scheurwijdte. Door de effectieve scheurwijdte tot een minimum te beperken is de kans op indringing van agressieve stoffen en lekkages zeer klein. Volgens verschillende onderzoekers hebben basaltvezels een versterkend effect op de buigsterkte van beton. Het effect van basaltvezels op de druksterkte daarentegen is niet opvallend. Wat betreft duurzaamheidsaspecten wordt dieper ingegaan op het gedrag in verschillende omgevingen. Een aandachtspunt bij basaltvezels is de alkalibestendigheid van de vezels. Vezelproducten in contact met verse betonspecie bevinden zich namelijk in een sterk alkalische omgeving. Uit het onderzoek van Afroz et al. (2017) [30] blijkt dat alkalische oplossingen een belangrijke rol bij de diffusie en afbraak van basaltvezels. Door de sterk agressieve omgeving in rioleringsstelsel worden de vezels ook blootgesteld aan zure chloride- en sulfaationen. Chloride- en sulfaatoplossingen hebben weinig tot geen invloed op het massaverlies van basaltvezels.

Het effect van basaltvezels op beton is afhankelijk van het vezelgehalte en de vezellengte. Er zijn reeds veel onderzoeken gevoerd naar de bepaling van de optimale basaltvezeldosering in beton. De spreiding van deze waarden tussen vergelijkbare onderzoeken is relatief groot. Deze uiteenlopende waarden rechtvaardigen het proefonderzoek dat in het kader van deze masterproef wordt uitgevoerd. De invloed van basaltvezels op de eigenschappen van vers en verhard beton werd binnen deze studie geanalyseerd.

Voor het proefonderzoek werden proefstukken gemaakt met een 1-componentige natspuitmortel, Grouttech GUN 172. Proefstukken met korte (6,4 mm) en lange (25,4 mm) basaltvezels in dosering van respectievelijk 0,1; 0,3 en 0,5 vol.% zijn getest. Net zoals het referentiemengsel (OV) zonder basaltvezels en het betonmengsel versterkt met 0,2 Vol.% Fibraflex metaalvezels. Het vezelgehalte Fibraflex in betonmix FF-20-0.2 komt overeen met 15 kg/m^3 wat tevens ook de hoeveelheid is die Renotec momenteel hanteert. De basaltvezels zijn voorzien van een KV-13 sizing, hierdoor hebben ze een uitstekende alkalibestendigheid en zijn ze goed compatibel met beton. In een resultaten analyse werd het meest geschikte vezeltype bepaald aan de hand van de eigenschappen die in het proefonderzoek werden onderzocht.

Het onderzoek toont aan dat de resultaten voor basaltvezelbeton niet zo goed zijn als voor beton met metaalvezels. Vooral problemen rond verwerkbaarheid en verdichting liggen aan de basis voor de mindere resultaten. Basaltvezels hebben een groter specifiek grensooppervlak waardoor meer cementpasta vereist is voor een goede hechting. Omdat het cementgehalte in dit proefonderzoek constant blijft kunnen de vezels zich niet optimaal hechten met een meer poreuze matrix als gevolg. Bovendien bestaat de kans dat bij grote vezelgehaltenes of bij een slechte vezelverdeling basaltvezels gaan samenklonteren waardoor er zicht holtes kunnen vormen in het beton. Verschillende onderzoekers stellen dat door toevoeging van cementmelk een veel betere hechting ontstaat tussen de basaltvezels met het beton. Cementmelk bestaat uit cement en water met een W/C factor van 0,55. Belangrijk is wel dat door deze toevoeging het cementgehalte van de proefstukken significant verandert, wat uiteraard resulteert in betere prestaties. Bij gunitering zal automatisch een betere verdichting bereikt wordt ten gevolge van de hoge druk waarmee het beton verspoten wordt op het binnenoppervlak. We kunnen besluiten dat door de betonsamenstelling en de vezelfractie op elkaar af te stemmen de prestaties van basaltvezelbeton zichtbaar zullen verbeteren.

De basaltvezels waarmee in het kader van deze studie de beste prestaties bereikt worden zijn de 25,4 mm lange vezels in volumefracties van 0,1% en 0,3%. Uit de resultaten-analyse behalen betonmengsels met deze vezels de op een na hoogste totaalscore van 68%. De beste prestaties worden bekomen met de Fibraflex metaalvezels. Volledigheidshalve moet vermeld worden dat deze analyse enkel rekening houdt met de onderzochte eigenschappen uit het proefonderzoek. Invalshoeken zoals de milieuvriendelijkheid en het economische standpunt zijn echter niet in rekening genomen.

Met toenemende nadruk op milieuvriendelijke materialen wordt verwacht dat de toepassing van basaltvezels in de bouwsector in de nabije toekomst sterk zal toenemen. Vanwege zijn minerale oorsprong, hoge biologische afbreekbaarheid en eenvoudig productieproces kan basaltvezel als milieuvriendelijk materiaal worden beschouwd. Volgens cijfers van Imperial College London is de CO₂-footprint van basaltvezels 170% lager dan die van staal. Naast het feit dat basaltvezels milieuvriendelijker zijn dan de Fibraflexvezel is de toepassing ervan ook financieel interessant. Qua kostprijs is de Fibraflex met 10,5 €/kg meer dan 3 maal zo duur als basaltvezels (3 €/kg). Aangezien de dichtheid van basalt drie maal lichter is dan staal, kan de materiaalkost voor eenzelfde volume basaltvezel tot 9 maal voordeliger zijn dan metaalvezels.

6.1 Nabeschuwing

Met deze scriptie werd alvast de basis gelegd om de mogelijke toepassingen van basaltvezels in spuitbeton voor rioolrenovaties te onderzoeken. Ondanks de mindere prestaties ten opzichte van metaalvezels kan basaltvezelbeton toch verantwoord zijn voor rioolrenovatie-toepassingen vermits basaltvezels niet roesten, goede mechanische eigenschappen bezitten, milieuvriendelijk en betrekkelijk goedkoop zijn.

Aanvullend onderzoek met betrekking tot basaltvezels in spuitbeton is zeker mogelijk. Hiervoor kunnen verschillende proefopstellingen gemaakt worden waarbij basaltvezelversterkt beton met vezeltype BCS 17- 25.4 - KV13 en met een variërend vezelgehalte tussen 0,1 en 0,3 vol.% verspoten wordt op een minerale ondergrond. Naast de druksterkte en waterabsorptie kan dan ook de hechtsterkte en vroege sterkteontwikkeling geanalyseerd worden. Door de hoge druk waarmee het beton verspoten wordt zal de verdichting van het beton verbeteren. Daarnaast kan ook de betonmix samenstelling verder worden geoptimaliseerd om een goede hechting tussen de vezel en het beton te verkrijgen.

Bibliografie

- [1] VLARIO vzw. *VADEMECUM PRAKTISCH AFKOPPELEN VAN REGENWATER*. VLARIO vzw, januari 2019.
- [2] Vlaamse Milieumaatschappij. Waar gaat je afvalwater heen?
- [3] Aquaflanders. Afvalwater en regenwater.
- [4] Vlaamse Milieumaatschappij. Riolerings- en zuiveringsgraden.
- [5] W. Motmans, E. Demaeght, R. Rogge, D. Mervis, G. De Nutte, and C. Verscheure. 20 jaar waterzuivering in vlaanderen. *Verre kijker*, pages 20 – 23, 2014.
- [6] Aquafin NV. Europese richtlijn stedelijk afvalwater.
- [7] Vlario. *Schadecatalogus volgens NBN EN13508-2*.
- [8] Wegwijs in rioolrenovatie.
- [9] P.L. Ng and Albert Kwan. *Improving Concrete Durability for Sewerage Applications*, volume 19, pages 1043–1053. 11 2015.
- [10] AWV. *Standaardbestek 250 versie 4.1*.
- [11] Dipl.-Ing. Jürgen Höfler, Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, and Dipl.-Ing. FH Markus Jahn. *Sika Sprayed Concrete Handbook*.
- [12] Rioolrenovatie techniekenle.
- [13] *GUN 172*.
- [14] Spuitbeton voorschrijven.
- [15] Geert De Mets, Thibaut Mercenier (coördinatie), and Steven Schaerlaekens. *Ontwerp en uitvoering van duurzaam beton*, volume 2e editie. Holcim (België) N.V., 2018.
- [16] Cement en beton centrum. Alkali-silicareactie (asr). Vughterweg 47P 5211 CK 's-Hertogenbosch.
- [17] Do you have the right aggregate for your shotcrete mix? find out with the grading curve!
- [18] Dr. Benedikt Lindlar. *Strength Measurement of Shotcrete*.
- [19] WTCB. *Normenfiches BETON – MORTEL - GRANULATEN*. FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie.
- [20] ir. C. Ployaert. *DUURZAAM BETON DOOR BEHEERSING VAN DE WATERABSORPTIE*.
- [21] WTCB. De krimp van jong speciaal beton.

- [22] Caijun Shi, Jianfan Xiao, Dehui Wang, Huang Zhengyu, and Zhi Fang. A review on ultra high performance concrete: Part i. raw materials and mixture design. *Construction and Building Materials*, 101:741–751, 12 2015.
- [23] Hedda Vikan. Improved construction technology.
- [24] Bureau Schoonebeek VOF. *innovatieve materialen*.
- [25] Tanmay Bhat. *STRUCTURAL PROPERTIES OF MINERAL AND PLANT FIBRE COMPOSITES IN FIRE OR HIGH TEMPERATURE ENVIRONMENTS*. PhD thesis, 08 2016.
- [26] *Basalt basic properties*.
- [27] *Declaration of Performance*.
- [28] Recyclable resource.
- [29] K. Boonen, G. Janssens, and S. Manshoven;. Summary report on the environmental potential of basalt fibres versus glass fibres.
- [30] Mahzabin Afroz, Indubhushan Patnaikuni, and Srikanth Venkatesan. Chemical durability and performance of modified basalt fiber in concrete medium.
- [31] V.A. Rybin, Aleksei Utkin, and Natalya Baklanova. Alkali resistance, microstructural and mechanical performance of zirconia-coated basalt fibers. *Cement and Concrete Research*, 53:1–8, 11 2013.
- [32] John Branston, Sreekanta Das, Sara Y Kenno, and Craig Taylor. Mechanical behaviour of basalt fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 124:878–886, 2016.
- [33] C. Jiang, K. Fan, F. Wu, and D. Chen. Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete. *Materials and Design*, 58:187–193, 2014.
- [34] Padmanabhan Iyer, Sara Y Kenno, and Sreekanta Das. Mechanical properties of fiber-reinforced concrete made with basalt filament fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(11), 2015.
- [35] Tumadhir Borhan. Thermal and mechanical properties of basalt fibre reinforced concrete. *Proc. World Acad. Sci., Eng. Technol.*, 76, 04 2013.
- [36] Arnon Bentur and Sidney Mindess. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. CRC Pres.
- [37] A E Naaman, T Wongtanakitcharoen, and G Hauser. Influence of different fibers on plastic shrinkage cracking of concrete. *ACI Materials Journal*, 102:49–58, 2005.
- [38] John Branston, Sreekanta Das, Sara Kenno, and Craig Taylor. Influence of basalt fibres on free and restrained plastic shrinkage. *Cement and Concrete Composites*, 74, 10 2016.
- [39] Chaohua Jiang, Shanshan Huang, Yuwen Zhu, Yifeng Lin, and Da Chen. Effect of polypropylene and basalt fiber on the behavior of mortars for repair applications. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016:1–11, 01 2016.
- [40] M. Hanafi and A. Aydin, E.and Ekinici. Fiber-reinforced cement paste composites for better sustainability. 2020.
- [41] Huang Zhang, Bin Wang, Aoyu Xie, and Yazhen Qi. Experimental study on dynamic mechanical properties and constitutive model of basalt fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 152:154–167, 2017.

- [42] Nihat Kabay. Abrasion resistance and fracture energy of concretes with basalt fiber. *Construction and Building Materials*, 50:95–101, 2014.
- [43] Sruthi Jalasutram, Dipti Ranjan Sahoo, and Vasant Matsagar. Experimental investigation of the mechanical properties of basalt fiber-reinforced concrete. *Structural Concrete*, 18(2):292–302, 2017.
- [44] Hasan Katkhuda and Nasim Shatarat. Improving the mechanical properties of recycled concrete aggregate using chopped basalt fibers and acid treatment. *Construction and Building Materials*, 140:328–335, 2017.
- [45] WTCB. *Normenfiches BETON – MORTEL - GRANULATEN*. FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie.
- [46] WTCB. *Normenfiches BETON – MORTEL - GRANULATEN*. FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie.
- [47] Drukbank.
- [48] WTCB. *Normenfiches BETON – MORTEL - GRANULATEN*. FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie.
- [49] ir. C. Ployaert. *DUURZAAM BETON DOOR BEHEERSING VAN DE WATERABSORPTIE*. FEBELCEM.
- [50] WTCB. Beoordeling van beton in situ bij geschillen.

BIJLAGE A: Technische fiche Grouttech GUN 172

Grouttech GUN 172

Natspuitmortel C 45/55

Toepassingsgebieden

Grouttech GUN 172 is een 1-componentige natspuitmortel, die met behulp van een natspuitmachine op een minerale ondergrond aangebracht kan worden.

Grouttech GUN 172 wordt toegepast voor het herstellen van het alkalisch milieu rondom de wapening (corrosiebescherming).

Tevens kan Grouttech GUN 172 toegepast worden voor het realiseren van een (verhoogde) dekking op de wapening en voor het repareren van beschadigde betonoppervlakken.

Als constructieve mortel kan de Grouttech GUN 172 toegepast worden voor het verdikken en/of versterken van constructie onderdelen of voor de totale renovatie van betonskeletten, tunnels, rioleringen, zwembaden en moeilijk te bekisten constructies.

Type materiaal

- natspuitmortel
- zonder polymeren
- minimale rebound & stofvorming
- optie polypropyleen of glasvezel

Materiaaleigenschappen

Grouttech Gun 172 is een niet polymeer gemodificeerde fabrieksmatig vervaardigde droge minerale mortel, op basis van EN 206-1-2001, en de NBN B 15-001:2004 (Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit). Wanneer spuitbeton (bestekmatig) voorgeschreven wordt, kan gebruik gemaakt worden van het WTCB document "Spuitbeton voorschrijven". Onder het kopje technische gegevens in dit productblad zijn de criteria met de bijbehorende classificatie weergegeven. Het toegepaste cement is sulfaat- en alkalibestendig (slakgehalte >50%).

In CUR aanbeveling 89 "Maatregelen ter voorkoming van betonschade door alkali-silicareactie (ASR)" wordt de procedure aangegeven hoe ASR schade te voorkomen.

De cement keuze en de beton-/mortelsamenstelling zijn van directe invloed op het effectieve alkaligehalte van het product. Het risico op schade door ASR kan op een eenvoudige wijze tot een verwaarloosbaar laag niveau worden teruggebracht door een juiste keuze van cement en toeslagmateriaal.

Het cement dat in de Gun 172 is toegepast voldoet aan de eisen zoals beschreven in de genoemde CUR 89. Daarnaast is het afzonderlijke alkaligehalte van de toeslagmaterialen zodanig laag dat er bij de Gun 172 geen risico bestaat op ASR schade.

Vorbereidende werkzaamheden

Maak het betonoppervlak voor het aanbrengen van de Grouttech GUN 172 volledig vrij van vuil, olie, stof, verfresten, curing compound en andere stoffen die nadelig zijn voor de hechting.

De ondergrond moet een potentiële hechtsterkte hebben die tenminste overeen komt met de vereiste hechtsterkte van het spuitbeton. Wanneer



hierover twijfel bestaat moet vooraf onderzoek naar de hechtsterkte uitgevoerd worden.

Bevochtig de ondergrond zodanig dat tijdens het aanbrengen van het spuitbeton deze op een matvochtige ondergrond gespoten wordt.

Aanmaken

Waterhoeveelheid: zie eigenschappen mortelspecie. Mengen (spuit equipment): meng, gebruikmakend van het spuit equipment, overeenkomstig de handleiding behorende bij het desbetreffende mengsysteem.

Verwerken

Verwerken alleen op mechanische wijze volgens de natte spuitmethode.

Verwerk de spuitbeton tussen de 5°C en 40°C. Verwerking van spuitbeton beneden 5°C heeft een negatieve reactie op de hydratatiesnelheid van cement. Werk niet op een bevroren ondergrond. Tenminste in één arbeidsgang aan te brengen laagdikte 15 mm. Maximaal aan te brengen laagdikte is geheel afhankelijk van de aard van de constructie en de conditie waaronder wordt gespoten. Het gebruik van curing compound tussen 2 aan te brengen lagen is niet toegestaan.

Verwerkingssystemen

Meng de spuitbeton in een dwangmenger gecombineerd met een pompinrichting ten behoeve van de natte spuitme-

4.0302

Grouttech GUN 172

Natspuitmortel C 45/55

thode.

Afwerken

Na het aanbreggen van de natspuitmortel kan het gespoten oppervlak onafgewerkt blijven of kan het afgewerkt worden met een schuurbord of stalen spaan. Maak het gebruikte gereedschap schoon met water.

Mengverhouding

Voor het realiseren van een goed verwerkbaar spuitmortel is $\pm 12,5-13,7\%$ (m/m) leidingwater nodig. Dit komt overeen met 3,1-3,4 liter water per zak van 25 kg.

Verbruik

Het verbruik van de Grouttech GUN 172

is ongeveer 1,9 kg/liter.

1.000 kg materiaal levert ± 520 liter spuitbeton op.

Reinigen

Het gebruikte gereedschap kan met water worden gereinigd. Uitgehard materiaal kan alleen mechanisch worden verwijderd.

Nabehandelen

Bescherm het gespoten of afgewerkte betonoppervlak tegen tocht en uitdroging door langdurig afdekken met vochtig jutte of plastic folie (minimaal 7 dagen). Indien de gespoten delen te groot zijn om te kunnen afdekken met folie is regelmatig bevochtigen met water van het afgewerkte oppervlak een alternatief.

Het gebruik van curing compound hoort eveneens tot de mogelijkheden. Let hierbij op dat curing compound nadelig effect kan hebben op de aanhechting van eventueel later aan te brengen afwerklagen. Bescherm het betonoppervlak tegen kans op bevriezing.

Opslag en houdbaarheid

Het materiaal moet droog opgeslagen worden.

Grouttech GUN 172 is in een goed gesloten verpakking 12 maanden





Nederland/Pays-Bas • tel +31 (0)341 25 17 34 • e-mail info@grouttech.nl • www.grouttech.nl
België/Belgique/Luxembourg • tél +32 (0)53 77 48 28 • e-mail info@grouttech.be • www.grouttech.be

GROUTTECH GUN 172



Natspuitmortel C 45/55


Technische gegevens

Grondstoffen		
Bindmiddel (EN 197-1)	Hoogovencement CEM III/B gecombineerd met portlandcement CEM I Met BENOR – certificaat volgens de PTV 603 – “Cementsoorten – Bijkomende kenmerken” Afgegeven door BE-CERT (CPR 0965). 	
Slakgehalte (CUR 89)	> 50% (m/m)	
Toeslagmateriaal (EN 12620)	harde dichte toeslagmaterialen Met BENOR – certificaten volgens de PTV 411 – “Codificatie van de granulaten” afgegeven door BE-CERT (CPR 0965). 	
Korrelafmeting	0 - 4 mm	
Toevoegingen (EN 13263)	microsilica	
Hulpstoffen (EN 934-2)	stabilisatoren, plastificerende hulpstoffen	
Eigenschappen betonspecie		
Waterbehoefte	12,5 - 13,7% (3,1 - 3,4 liter/25 kg)	
Spreadmaat (EN 1015-3)	150 mm	
Volumieke massa (EN 1015-6)	± 2.150 kg/m ³	
Luchtgehalte (EN 1015-7)	± 3%	
Uitlevering	± 520 liter per ton	
Eigenschappen verharde mortel		
Volumieke massa (EN 12390-7)	28 dagen	± 2.200 kg/m ³
Druksterkte (EN 12390-7)	7 dagen	> 38 N/mm ²
	28 dagen	> 55 N/mm ²
Hechtsterkte (CUR 20)	28 dagen	> 2,0 N/mm ²
Waterindringing (ISO/DIS 7031)		< 5 mm
Krimp	28 dagen	± 0,8 mm/m
Classificatie volgens WTCB “Spuitbeton voorschrijven”		
Consistentieklasse	S2 / F2	
Druksterkteklasse	C45 / 55	
Omgevingsklassen	E0, E1 EE1 t/m EE4 ES1 t/m ES4 EA1 t/m EA3*	
	*Mits sulfaatgehalte voldoet aan eis volgens tabel 2 paragraaf 4.1 van EN 206-1.	
Chloridegehalteklasse	Cl 0,20	
Inspectieklasse	3	
Nominale grootste korrelafmeting	Dmax = 4 mm	
Residuele sterkte met glasvezel	zie testrapport (glasvezelversterkt beton)	
Energie absorptievermogen	niet van toepassing (vezelversterkt beton)	
Aanvullende eisen	afhankelijk van de toepassing	

4.0302

BIJLAGE B: Technische fiche Fibraflex

	Declaration of Performance		2019-04-08 QFA-DDP-FFX-EN Index B
---	-----------------------------------	---	---

<p><u>1. Unique identification code:</u> This EC declaration of performance concerns the following FIBRAFLEX amorphous metallic fibre references: FF30L6, FF20L6, FF20E0, FF15E0, FF10E0, FF5E0.</p> <p><u>2. Element allowing identification of the construction product:</u> See the product label for traceability elements;</p> <p><u>3. Intended use (in accordance with standard NF EN 14889-1):</u> FIBRAFLEX® fibres are intended for use in concrete, mortar or grouting material, including sprayed concrete or mortar, concrete for paving, concrete for prefabrication, in-situ cast concrete and concrete or mortar for repairs. FIBRAFLEX® FF30L6, FF20L6 and FF15E0 fibres have been assessed for cases of structural use. The use is considered to be structural if the addition of fibres is designed to contribute to the bearing capacity of a concrete element. FIBRAFLEX® FF20E0, FF10E0 and FF5E0 fibres have been assessed for cases of non-structural use.</p> <p><u>4. Name, company name and contact address of the manufacturer:</u></p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <p>SAINT-GOBAIN SEVA 43, rue du Pont de Fer BP 10176 71105 CHALON-SUR-SAONE CEDEX - FRANCE</p> </div> <p><u>5. Name and contact address of the representative:</u> Not applicable.</p> <p><u>6. Performance consistency assessment and verification systems:</u> For FIBRAFLEX® FF30L6, FF20L6 and FF15E0 fibres for structural use: <u>System 1</u>. For FIBRAFLEX® FF20E0, FF10E0 and FF5E0 fibres for non-structural use: <u>System 3</u>.</p> <p><u>7. The case of products covered by a harmonised standard:</u> For FIBRAFLEX® FF30L6, FF20L6 and FF15E0 fibres for structural use, the Study and Research Centre for the Manufactured Concrete Industry (CERIB) has carried out, in accordance with "system 1" of the standard NF EN 14889-1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ the determination of the product type following initial type-testing, ✓ the initial inspection of the production plant and the control of production in the factory, ✓ the monitoring, assessment and validation of the control of production in the factory. <p>The corresponding certificate No. 1164-CPR-FAP001 issued by the CERIB (notified body No.1164) can be accessed online: www.cerib.com.</p> <p>For FIBRAFLEX® FF20E0, FF10E0 and FF5E0 fibres for non-structural use, the CERIB has carried out, in accordance with "system 3" of the standard NF EN 14889-1:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ the determination of the product type following initial type-testing, <p><u>8. The case of products for which a European technical assessment has been issued:</u> Not applicable.</p> <p><u>9. Declared performances:</u> The essential characteristics are listed in Table 1 on page 2.</p> <p><u>10. The product performances</u> identified in points 1 and 2 comply with the declared performances given in point 9. This declaration of performance is established under the sole responsibility of the manufacturer identified in point 4.</p>
--


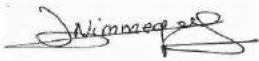
	Signed on behalf of the manufacturer by: David NIMMEGEERS, Quality Manager 	Page 1 of 2
---	--	-------------

Table 1 Declaration of characteristics by product type						
FIBRAFLEX® product type	FF30L6	FF20L6	FF15E0	FF20E0	FF10E0	FF5E0
Assessment system	System 1. Structural use.			System 3. Non-structural use.		
Length (mm)	30	20	15	20	10	5
Width (mm)	1.6		1	1		
Equivalent diameter (mm)	0.25		0.18	0.18		
Slenderness	120	80	83	111	56	28
Density (Kg/m ³)	7,250					
Declaration of essential characteristics by product type						
Assessment system	System 1. Structural use.			System 3. Non-structural use.		
Tensile strength (MPa)	1,400					
Modulus of elasticity (GPa)	NDP*					
Impact on concrete consistency (s)	NDP*	NDP*	NDP*	NDP*	NDP*	NDP*
Impact on concrete resistance (Kg/m ³)	35	40	40	NDP*	NDP*	NDP*
Emanation of dangerous substances	See Safety Data Sheet					
Durability	Durability refers to fibre-reinforced concrete.					

* NDP = Non-Declared Performance.

	Signed on behalf of the manufacturer by: David NIMMEGEERS, Quality Manager		Page 2 of 2
--	---	--	-------------

BIJLAGE C: Material safety data sheet Fibraflex



FIBRAFLEX

Safety Data Sheet

according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH) with its amendment Regulation (EU) 2015/830
Revision date: 2/13/2018 Supersedes: 6/13/2016 Version: 7.0

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. Product identifier

Product form : Mixture
Product name : FIBRAFLEX
Product code : FIBRAFLEX FF30L6, FF20L6, FF20E0, FF15E0, FF10E0, FF5E0

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

1.2.1. Relevant identified uses

Use of the substance/mixture : Metal fibers for reinforcement of concrete and mortar

1.2.2. Uses advised against

No additional information available

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

SAINT-GOBAIN SEVA
43 rue du Pont de Fer - BP 10176
71105 Chalon sur Saône Cédex - FRANCE
T +33 3 85 47 25 88
fibraflex@saint-gobain.com

1.4. Emergency telephone number

Country	Organisation/Company	Address	Emergency number	Comment
United Kingdom	National Poisons Information Service (Birmingham Centre) City Hospital, Guy's & St Thomas' Hospital Trust	Dudley Road B18 7QH Birmingham	0844 892 0111 (UK only, Monday to Friday, 08.00 to 18.00 hours)	-

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]

Not classified

Adverse physicochemical, human health and environmental effects

To our knowledge, this product does not present any particular risk, provided it is handled in accordance with good occupational hygiene and safety practice.

2.2. Label elements

Not subjected.

2.3. Other hazards

This substance/mixture does not meet the PBT criteria of REACH regulation, annex XIII

This substance/mixture does not meet the vPvB criteria of REACH regulation, annex XIII

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1. Substances

Not applicable

3.2. Mixtures

Comments : Metal alloy (Fe,Cr)80 (P,C,Si)20

Name	Product identifier	%	Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]
Iron	(CAS-No.) 7439-89-6 (EC-No.) 231-096-4	40 - 80	Not classified
Chromium	(CAS-No.) 7440-47-3 (EC-No.) 231-157-5	40 - 80	Not classified
Phosphorus	(CAS-No.) 7723-14-0 (EC-No.) 231-768-7	20	Not classified

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

First-aid measures after inhalation : Not specifically applicable.

First-aid measures after skin contact : Wash with soapy water. If skin irritation occurs: Get medical advice/attention.

FIBRAFLEX

Safety Data Sheet

according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH) with its amendment Regulation (EU) 2015/830

First-aid measures after eye contact : Immediately rinse with plenty of water. If irritation persists, consult an eye specialist.

First-aid measures after ingestion : Not specifically applicable.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

No additional information available

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Treat symptomatically.

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media : Not combustible. If there is a fire close by, use suitable extinguishing agents.

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Fire hazard : Not combustible.

5.3. Advice for firefighters

Firefighting instructions : Cool down the containers exposed to heat with a water spray. Contain the extinguishing fluids by bunding.

Protection during firefighting : Do not attempt to take action without suitable protective equipment. Self-contained breathing apparatus. Complete protective clothing.

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

6.1.1. For non-emergency personnel

Emergency procedures : Avoid contact with skin and eyes. Do not breathe dust. In case of important spillage : Only qualified personnel equipped with suitable protective equipment may intervene.

6.1.2. For emergency responders

Protective equipment : Do not attempt to take action without suitable protective equipment. For further information refer to section 8: "Exposure controls/personal protection".

6.2. Environmental precautions

Do not discharge into drains or rivers.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

For containment : Mechanically recover the product.

Other information : Dispose of at a licensed waste collection centre.

6.4. Reference to other sections

For further information refer to section 13.

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Precautions for safe handling : Ensure good ventilation of the work station. Avoid contact with skin and eyes. Do not breathe dust.

Hygiene measures : Do not drink, eat or smoke in the workplace.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Technical measures : Take all necessary measures to avoid accidental discharge of products into drains and waterways due to the rupture of containers or transfer systems.

Incompatible products : Hydrofluoric Acid. Fluoronitric acid.

7.3. Specific end use(s)

Not applicable.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

Chromium (7440-47-3)		
EU	Local name	Chromium metal
EU	IOELV TWA (mg/m ³)	2 mg/m ³
EU	Regulatory reference	COMMISSION DIRECTIVE 2006/15/EC
United Kingdom	Local name	Chromium
United Kingdom	WEL TWA (mg/m ³)	0.5 mg/m ³ 0.5 mg/m ³ Chromium (II) compounds (as Cr) 0.5 mg/m ³ Chromium (III) compounds (as Cr) 0.05 mg/m ³ Chromium (VI) compounds (as Cr)
United Kingdom	Regulatory reference	EH40/2005 (Third edition, 2018). HSE

FIBRAFLEX

Safety Data Sheet

according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH) with its amendment Regulation (EU) 2015/830

8.2. Exposure controls

Appropriate engineering controls:

Ensure good ventilation of the work station.

Hand protection:

Protective gloves

Eye protection:

Safety glasses

Skin and body protection:

Long sleeved protective clothing

Respiratory protection:

In the event of insufficient ventilation: Dust mask (NF EN 149 - FFPS2 / 3M 8822 / 9320)

Environmental exposure controls:

Take all necessary precautions to avoid the accidental release of the product outside, due to the rupture of containers or transfer systems.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

Physical state	: Solid
Appearance	: Fibres.
Colour	: Metallic.
Odour	: Odourless.
Odour threshold	: Not established
pH	: Not applicable
Relative evaporation rate (butylacetate=1)	: No data available
Melting point	: 900 - 1000 °C
Freezing point	: Not required
Boiling point	: Not applicable
Flash point	: Not applicable
Auto-ignition temperature	: Not applicable
Decomposition temperature	: No data available
Flammability (solid, gas)	: The product is not flammable
Vapour pressure	: Not applicable
Relative vapour density at 20 °C	: Not applicable
Relative density	: 7.2
Solubility	: Insoluble.
Log Pow	: Not applicable
Viscosity, kinematic	: No data available
Viscosity, dynamic	: Not applicable
Explosive properties	: Not applicable.
Oxidising properties	: Not applicable.
Explosive limits	: No data available
	Not applicable

9.2. Other information

Specific conductivity : 180 µW.cm

SECTION 10: Stability and reactivity

10.1. Reactivity

To our knowledge, the product does not present any particular risk.

10.2. Chemical stability

Stable at ambient temperature and under normal conditions of use.

10.3. Possibility of hazardous reactions

None to our knowledge.

10.4. Conditions to avoid

None.

10.5. Incompatible materials

Hydrofluoric Acid. Fluoronitric acid.

FIBRAFLEX

Safety Data Sheet

according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH) with its amendment Regulation (EU) 2015/830

10.6. Hazardous decomposition products

on contact with incompatible materials : Hydrogen. Nitrous fumes.

SECTION 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

Acute toxicity (oral) : Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)
Acute toxicity (dermal) : Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)
Acute toxicity (inhalation) : Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)

Iron (7439-89-6)

LD50 oral rat	986000 mg/kg bodyweight (Published data) (OECD 401 method)
Skin corrosion/irritation	: Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met) pH: Not applicable
Serious eye damage/irritation	: Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met) pH: Not applicable
Respiratory or skin sensitisation	: Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)
Germ cell mutagenicity	: Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)
Carcinogenicity	: Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)
Reproductive toxicity	: Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)
STOT-single exposure	: Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)
STOT-repeated exposure	: Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)
Aspiration hazard	: Not classified (Technical impossibility to obtain the data)

SECTION 12: Ecological information

12.1. Toxicity

Acute aquatic toxicity : Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)
Chronic aquatic toxicity : Not classified (Based on available data, the classification criteria are not met)

Iron (7439-89-6)

EC50 Daphnia	> 100 mg/l (48Hours) (Daphnia magna) (OECD 202 method)
--------------	--

12.2. Persistence and degradability

FIBRAFLEX

Persistence and degradability	Not readily biodegradable.
-------------------------------	----------------------------

12.3. Bioaccumulative potential

FIBRAFLEX

Log Pow	Not applicable
Bioaccumulative potential	Not bioaccumulable.

12.4. Mobility in soil

No additional information available

12.5. Results of PBT and vPvB assessment

FIBRAFLEX

This substance/mixture does not meet the PBT criteria of REACH regulation, annex XIII

This substance/mixture does not meet the vPvB criteria of REACH regulation, annex XIII

12.6. Other adverse effects

No additional information available

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Waste treatment methods : Dispose of in accordance with relevant local regulations.

SECTION 14: Transport information

In accordance with ADR / RID / IMDG / IATA / ADN

ADR	IMDG	IATA	ADN	RID
14.1. UN number				
Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable

FIBRAFLEX

Safety Data Sheet

according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH) with its amendment Regulation (EU) 2015/830

14.2. UN proper shipping name				
Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable
14.3. Transport hazard class(es)				
Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable
14.4. Packing group				
Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable
14.5. Environmental hazards				
Dangerous for the environment : No	Dangerous for the environment : No Marine pollutant : No	Dangerous for the environment : No	Dangerous for the environment : No	Dangerous for the environment : No
No supplementary information available				

14.6. Special precautions for user

Special transport precautions : No additional information available

Overland transport

No data available

Transport by sea

No data available

Air transport

No data available

Inland waterway transport

No data available

Rail transport

No data available

14.7. Transport in bulk according to Annex II of Marpol and the IBC Code

Not applicable

SECTION 15: Regulatory information

15.1. Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

15.1.1. EU-Regulations

Contains no REACH substances with Annex XVII restrictions

Contains no substance on the REACH candidate list

Contains no REACH Annex XIV substances

Contains no substance subject to REGULATION (EU) No 649/2012 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 4 July 2012 concerning the export and import of hazardous chemicals.

Substance(s) are not subject to Regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on persistent organic pollutants and amending Directive 79/117/EEC.

15.1.2. National regulations

No additional information available

15.2. Chemical safety assessment

No chemical safety assessment has been carried out

SECTION 16: Other information

Indication of changes:

This sheet was updated (refer to the date at the top of this page).

Section	Changed item	Change	Comments
	Logo	Modified	

Other information

: No experimental study on the product is available. The information given is based on our knowledge of the components and the classification of the product is determined by calculation. Safety data sheet established by : LISAM SERVICES - TELEGIS
17 rue de la Couture F-60400 Passel
www.lisam-telegis.fr.

BIJLAGE D: Technische fiche Basalt Chopped Strands KV13



Basalt chopped strand Technical Data Sheet

KV13 Chopped strand series

Chopped strand nomenclature

Example: BCS 13-1/4"-KV13

BCS- basalt chopped strand

13 - monofilament diameter [μm]

1/4" – cut length [inches]

KV13 – type of sizing



Processing

KV13 is a hydrophobic sizing. It is recommended for different technologies of concrete/cement reinforcement.

Product description

Property	Description
Type of fiber	Basalt
Monofilament diameter [μm]	13-21
Cut length [inches]	$\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$, 1, $1\frac{1}{4}$, 2, $3\frac{1}{2}$
Type of sizing	Silane
Sizing content (% wt)	≥ 0.4
Resin compatibility	Concrete, cement
Moisture content (% wt)	< 0.1

Applications


Construction market: for concrete/cement reinforcement


Packaging information

Type of bag	Amount of fiber, kg
PE bag	20
Big bag	500-600

Up to 30 PE bags or 1 big bag are loaded in a big cardboard box on a 120 x 80 cm pallet.

BIJLAGE E: Material safety data sheet Basaltex

Material Safety Data Sheet		 ISO 9001 A Division of Group MASUREEL nv.	
BASALT CONTINUOUS FILAMENT FIBERS			
Date of Print: 19/11/08		Last revision: 19/11/08	
1. Identity and Manufacturer Information			
Identity of the Product:	Basalt fibre components: yarns, rovings, chopped strands, fabrics, non-woven mats.		
Identity of the Manufacturer:	BASALTEX - FLOCART nv Zuidstraat 18 B-8560 Wevelgem, Belgium		
Emergency Contact:	Tel.: +32(0)56.420.662 Fax.: +32(0)56.424.234		
2. Composition / Chemical Description		Textile products made of mineral continuous filament fibres with a nominal diameter >5µm. The products contain max 5% processing aids (e.g. paraffin, silane)	
3. Risks			
Identification of the hazard:	N/A		
Health hazards:			
Short term hazard:	Not likely to occur, basalt continuous filaments can be a mechanical irritant: irritation of the skin, eyes and respiratory tract.		
Long term hazard:	There is no known health effect connected with long term use or contact with this product.		
Environmental hazards :	N/A		
4. Emergency and First Aid Procedures			
Inhalation:	No specific treatment is necessary as this material is not likely to be inhaled, unless the material is in dust form: see infra 8.		
Skin contact:	Wash with soap and running water.		
Eye contact:	Immediately flush with plenty of water. Get medical attention if problem develops.		
Ingestion:	Ingestion of this material is unlikely. If it does occur, get medical attention.		
5. Fire Fighting Procedure			
Suitable extinguishing media:	Not applicable. Product will not support combustion.		
Hazardous decomposition :	None known.		
6. Accidental Material Release or Spillage			
Personal protective equipment:	See infra 8.		
Environmental protection:	Prevent spread of basalt fibre dust and avoid dust-generating conditions.		
Cleaning procedures:	Vacuum clean dust. If sweeping is necessary, use a dust suppressant		

Material Safety Data Sheet		 ISO 9001 A Division of Group MASUREEL nv.																																								
BASALT CONTINUOUS FILAMENT FIBERS																																										
Date of Print: 19/11/08		Last revision: 19/11/08																																								
7. Storage and Handling Precautions Handling & storage		No special procedures are required for this material.																																								
8. Exposure Limits and Personal Protective Equipment Fibrous basalt (Fibrous basalt dust), CAS No. 65997-17-3 Basalt fibre continuous filament Size (µm) Personal protective clothing and equipment Respiratory protection: Protective gloves: Eye protection: Body protection:		<table border="0"> <tr> <td>OSHA PEL (8 h TWA) 5 mg/m³ (respirable dust) 15 mg/m³ (total dust) 1 fibre/cm³ (proposed)</td> <td>ACGIV TLV (8 h TWA) 5 mg/m³ 1 fibre/cm³</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> </table> <p>When, through mechanical processing, basalt dust is produced and when the dust levels exceed the recommended levels, use an approved respirator and local exhaust for the processing machines.</p> <p>Impervious gloves are recommended. Safety glasses are recommended. Protect skin as much as possible by clothing.</p>		OSHA PEL (8 h TWA) 5 mg/m ³ (respirable dust) 15 mg/m ³ (total dust) 1 fibre/cm ³ (proposed)	ACGIV TLV (8 h TWA) 5 mg/m ³ 1 fibre/cm ³	N/A	N/A																																			
OSHA PEL (8 h TWA) 5 mg/m ³ (respirable dust) 15 mg/m ³ (total dust) 1 fibre/cm ³ (proposed)	ACGIV TLV (8 h TWA) 5 mg/m ³ 1 fibre/cm ³																																									
N/A	N/A																																									
9. Physical and Chemical Characteristics Appearance Colour Odour Safety Related Data Boiling point Melting point Vitrification point Decomposition point Inflammation point Self inflammation Explosion limits Specific gravity Solubility in water pH Vapour pressure Evaporation rate		<table border="0"> <tr> <td>solid green-brown very limited</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>value</td> <td>unit</td> <td>method</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>°C</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>1450±150</td> <td>°C</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>1050±100</td> <td>°C</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>°C</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>non-combustible not self-inflaming</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.70</td> <td>g/cm³</td> <td>20 °C</td> </tr> <tr> <td>Insoluble</td> <td></td> <td>20 °C</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td>20°C, 100g/l</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td>mm Hg</td> <td>(air = 1)</td> </tr> <tr> <td>N/A</td> <td></td> <td>(n-butyl acetate = 1)</td> </tr> </table>		solid green-brown very limited			value	unit	method	N/A	°C	N/A	1450±150	°C	-	1050±100	°C	-	N/A	°C	N/A	non-combustible not self-inflaming			N/A			2.70	g/cm ³	20 °C	Insoluble		20 °C	6		20°C, 100g/l	N/A	mm Hg	(air = 1)	N/A		(n-butyl acetate = 1)
solid green-brown very limited																																										
value	unit	method																																								
N/A	°C	N/A																																								
1450±150	°C	-																																								
1050±100	°C	-																																								
N/A	°C	N/A																																								
non-combustible not self-inflaming																																										
N/A																																										
2.70	g/cm ³	20 °C																																								
Insoluble		20 °C																																								
6		20°C, 100g/l																																								
N/A	mm Hg	(air = 1)																																								
N/A		(n-butyl acetate = 1)																																								
10. Stability and Reactivity Data Stability: Conditions to avoid: Materials to avoid: Hazardous decomposition or by-products: Hazardous polymerisation Products:		Stable None known None known None known Will not occur																																								

BIJLAGE F: Beproeversverslag



Rapport nummer	: ORDVV2002566
Totaal aantal blz.	: 9
Blz. nummer	: 1

contactpersoon : ir. Géraldine Welvaert
telefoon : 09/326 86 30
email : geraldine.welvaert@groupvanvooren.com
plaats : Zelzate
datum : 19 mei 2020
uw kenmerk : -
ons kenmerk : ORDVV2002566/ddp
cc : -

Renotec nv Acaciastraat 14c 2440 Geel



Onderwerp : Beproeversverslag proeven op betonkubussen, betonkernen en prisma's

Geachte Mevrouw, Geachte Heer,

In bijlage treft u de resultaten aan van proeven uitgevoerd op betonkubussen, betonkernen en prisma's.

Opdrachtgever : Renotec nv
Acaciastraat 14c
2440 Geel

Datum van afgifte in het labo : 20/04/2020 door Nicolas Billens

Kenmerk stalen : reeks 1-8

Uitgevoerde proeven :

- druksterkte op betonkubussen volgens NBN EN 12390-3 (*)
- wateropsorping op betonkernen volgens NBN B15-215 (*)
- buigsterkte volgens NBN EN 1015-11

(*) deze proef is Belac-geaccrediteerd

Datum uitvoering proeven : week 18 – week 20

ir. Géraldine Welvaert
Technisch verantwoordelijke

Kristof Van Vooren
Vaste vertegenwoordiger LRJ Van Vooren NV
Gedelegeerd bestuurder

Labo Devlieger - Van Vooren nv | Industriepark Rosteyne 1 | 9060 Zelzate - Belgium | T. +32 9 326 86 30 | F. +32 9 326 86 31
www.groupvanvooren.com | ldvv@groupvanvooren.com | BE 0878 887 702

1. de opgegeven resultaten hebben uitsluitend betrekking op de vermelde beproefde objecten
2. bijhorend verslag mag niet gereproduceerd worden, behalve in volledige vorm, zonder de schriftelijke toestemming van het beproevingslaboratorium
3. de proef wordt uitgevoerd volgens de laatst geldende versie van de norm, tenzij anders aangegeven

PROEVEN OP BETONKUBUSSEN

1) Bepaling druksterkte volgens NBN EN 12390-3

formaat : 150 mm x 150 mm x 150 mm
datum vervaardiging : -
datum voorbereiding : 27/04/2020
datum aankomst in het labo : 20/04/2020
bewaarwijze in het labo : onder water bij 20°C

merkteken	datum drukproef	afstand bekist - onbekist oppervlak [mm]	doorsnede proefstuk [mm ²]	breuklast [kN]	drukweerstand [N/mm ²]	gewicht proefstuk [kg]	volumegewicht [kg/m ³]
1.1	30/04/2020	151,0	22650	1159,6	51,2	7,090	2120
1.2		141,0	21150	1069,0	50,5	6,678	2130
2.1		150,0	22500	1138,2	50,6	7,090	2130
2.2		148,0	22200	1159,9	52,2	7,030	2140
3.1		151,0	22650	959,9	42,4	7,019	2090
3.2		152,0	22800	1008,6	44,2	7,065	2090
4.1		155,0	23250	1076,4	46,3	7,189	2090
4.2		150,0	22500	1074,3	47,7	6,956	2090
5.1		152,0	22800	1209,5	53,0	7,206	2130
5.2		146,0	21900	1176,1	53,7	6,921	2130
6.1		148,0	22200	1083,6	48,8	6,932	2110
6.2		149,0	22499	1062,6	47,2	7,045	2120
7.1		149,0	22350	1096,4	49,1	7,124	2150
7.2		145,0	21895	1054,9	48,2	6,955	2140
8.1		149,0	22201	1268,6	57,1	7,318	2200
8.2		151,0	22650	1296,2	57,2	7,318	2180

PROEVEN OP BETONKERNEN

1. Wateropslorping

diameter : 119 mm
 bewaring : in labo omstandigheden
 datum aanvang wateropslorping : 23/04/2020

merkteken	hoogte proefstuk [mm]	massa na onderdompeling M ₁ [g]	massa na drogen M ₂ [g]	wateropslorping [%]
1.1	76,4	1759,9	1617,4	8,8
1.2	81,7	1891,3	1739,5	8,7
2.1	82,3	1927,5	1763,1	9,3
2.2	83,2	1975,8	1820,9	8,5
3.1	69,6	1599,5	1435,3	11,4
3.2	74,8	1745,9	1587,9	10,0
4.1	68,8	1567,2	1418,6	10,5
4.2	64,6	1493,1	1354,1	10,3
5.1	78,9	1866,5	1709,3	9,2
5.2	74,2	1780,6	1628,3	9,4
6.1	72,2	1746,9	1600,0	9,2
6.2	73,5	1741,4	1595,0	9,2
7.1	79,3	1898,8	1748,0	8,6
7.2	73,0	1755,9	1620,0	8,4
8.1	86,3	2053,8	1907,1	7,7
8.2	85,8	2030,4	1882,7	7,8

PROEVEN OP PRISMA'S

1. Bepaling van de buigsterkte NBN EN 1015-11

Bewaringscondities : labo omstandigheden

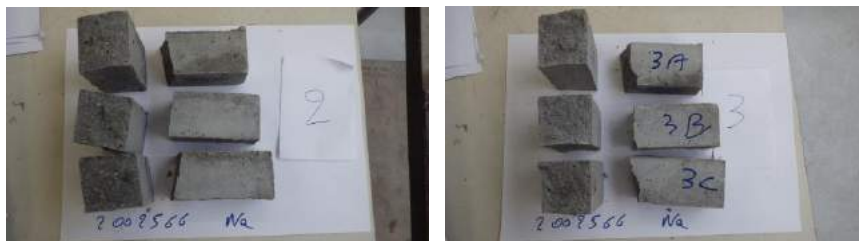
Datum uitvoering proeven : 13/05/20

Toegepaste belastingssnelheid buigproef : 0,02 kN/s

merkteken	buiglast [kN]	buigsterkte [N/mm ²]
1.a	1,52	3,46
1.b	3,46	7,87
1.c	1,38	3,23
	gemiddelde :	4,9



merkteken	buiglast [kN]	buigsterkte [N/mm ²]
2.a	3,48	7,43
2.b	3,53	7,69
2.c	2,87	5,72
	gemiddelde :	6,9



merkteken	buiglast [kN]	buigsterkte [N/mm ²]
3.a	3,43	7,70
3.b	2,98	6,29
3.c	2,86	6,17
	gemiddelde :	6,7

merkteken	buiglast [kN]	buigsterkte [N/mm ²]
4.a	1,80	4,17
4.b	2,25	5,21
4.c	1,94	4,53
	gemiddelde :	4,6



merkteken	buiglast [kN]	buigsterkte [N/mm ²]
5.a	2,13	4,86
5.b	2,19	4,77
5.c	2,35	5,14
	gemiddelde :	4,9

merkteken	buiglast [kN]	buigsterkte [N/mm ²]
6.a	3,09	6,65
6.b	3,47	7,43
6.c	3,19	6,62
gemiddelde :		6,9



merkteken	buiglast [kN]	buigsterkte [N/mm ²]
7.a	3,50	7,43
7.b	3,72	7,81
7.c	3,75	7,97
gemiddelde :		7,7

merkteken	buiglast [kN]	buigsterkte [N/mm ²]
8.a	4,05	8,69
8.b	4,27	9,03
8.c	4,36	9,05
	gemiddelde :	8,9

