Status: concept

Recycling staalvezelbeton

Eindrapport afstudeeronderzoek

Auteurs	:	Jesper Roemaat	467720	OR
		Harm Severins	463888	BT
Begeleidende docenten	:	Dhr. Rikken		
		Dhr. Kerstma		

Periode	:	04/02/13 t/m 04/06/13
Inleverdatum	:	4 juni ‘13

In samenwerking met:

VOBN abt VAR Resultaat met recycling metal products let's prove our quality!

Samenvatting

Voorafgaande aan dit afstudeeronderzoek hebben studenten van de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) sterkteproeven uitgevoerd op 60 betonbalken. In opdracht van adviesbureau ABT te Velp zijn er testen uitgevoerd naar constructieve eigenschappen van deze hybride gewapende betonbalken. Dit vervolgonderzoek op de constructieve testen is het onderzoek naar het gedrag van hybride gewapend beton tijdens de recyclefase.

De geteste betonbalken zijn uitgevoerd met een combinatie van traditionele wapening en staalvezel wapening (hybride gewapend). Over het gedrag van traditioneel gewapend beton tijdens het recycle traject is al veel bekend. Hybride gewapend beton wordt al een tiental jaren toegepast, alleen was hier nog weinig tot niets van bekend betreft het recycle traject.

Hybride gewapende betonconstructies hebben ten opzichte van traditioneel gewapende betonconstructies voordelen op het gebied van sterkte, materiaalgebruik en verwerkbaarheid. In bepaalde situaties kunnen bedrijfsvloeren, door toevoeging van staalvezels, slanker en sneller uitgevoerd worden dan alleen met traditionele wapening. Dit zijn voordelen waar tijd en geld mee bespaard kan worden. Betreft de recycling is er nog weinig concrete informatie bekend over de voor- en nadelen van staalvezelbeton.

53 van de 60 balken zijn getest. Van deze 53 waren er 5 uitgevoerd zonder staalvezels. Deze balken zijn gebruikt als referentie modellen omdat deze uitgevoerd zijn met dezelfde betonsamenstelling. De overige 47 balken waren ingedeeld in 4 charges. Elke charge bestond uit balken met dezelfde afmetingen. De betonbalken zijn uitgevoerd in hoogtes van 300 en 600mm en met lengtes van 3400 en 6200mm. De breedte van alle balken was hetzelfde, namelijk 300mm. De balken zijn gecodeerd en vanaf de TU/e naar de VAR in Wilp getransporteerd door Metal Products. 7 van 60 balken zijn achtergebleven bij de TU/e voor gebruik bij andere onderzoeken.

Per charge zijn de balken gebroken door de traditionele breekinstallatie van de VAR. Er zijn na het breken van elke charge monsters genomen van het granulaat dat uit de breker kwam. De monsters zijn genomen uit de fractie met korrelgrootte 4-40mm (granulaat) en 0-4mm (zand). Naast de monsters zijn alle staalvezels, die door de magneetband van de breekinstallatie vrij kwamen, in big bags verzameld voor nader onderzoek.

In de 2 weken na het breken van de balken zijn alle staalvezels en emmers met monsters geanalyseerd. Er is bepaald hoeveel staalvezels er in elke big bag terecht zijn gekomen. Dit is het aantal staalvezels, dat door de traditionele breker uit het granulaat gehaald is. Dit bleek 71,7% te zijn. Het overige percentage zat in het granulaat, zowel los als in egels. Met egels wordt granulaat bedoeld waar één of meerdere staalvezels doorheen zitten. Naast de analyse van de staalvezels is er bepaald hoeveel losse staalvezels en egels er per monster aanwezig waren. Elk monster is gescheiden in schoon granulaat, egels en losse staalvezels.

Van elk monster met schoon granulaat zijn zeefanalyses gemaakt om inzichtelijk te krijgen wat de verhoudingen waren tussen de grootte van het granulaat en het aantal egels. Nadat alle gegevens verwerkt waren kon er gezegd worden dat van het totale gewicht 26,9% uit egels bestond. In het granulaat zaten voor 14,2% losse staalvezels ten opzichte van dat er aan staalvezels vooraf in het beton is gegaan. Het totaal aan staalvezels dat los uit traditionele breker is gehaald, bleek 85,9% te zijn. Dit is laag in vergelijking met traditionele wapening,

omdat dit voor 100% uit beton gehaald kan worden. Er zijn oplossingen onderzocht om dit percentage te verbeteren.

Een van deze oplossingen is het toepassen van de slimme breker, ontwikkeld door Dhr. Schenk in samenwerking met de VAR. Er zijn tijdens dit onderzoek testen gedaan met de labversie van deze machine. De slimme breker breekt op een andere manier dan de gebruikte traditionele breker en breekt alleen de cementverbinding tussen grind, zand en wapening. Een gevolg hiervan is dat de uitvoer van deze machine bestaat uit schoon grind, schoon zand en cementsteen. Bij dit afstudeeronderzoek zijn 12 monsters getest met de slimme breker.

Deze monsters zijn gebroken en geanalyseerd. Uit de monsters, waar vooraf nog staalvezels in zaten, is na slim breken 0,4% van het totale gewicht nog aanwezig als egel. Van het granulaat zijn zeefkrommen opgesteld en vergeleken met het betonmengsel waarmee de balken geproduceerd zijn. Naast de analyse van het granulaat is er gekeken naar de staalvezels die vrij kwamen bij de slimme breker. Hiervan is een monster opgestuurd naar de leverancier, Metal Products, voor nader onderzoek. De staalvezels zijn voor 90% nog heel, maar wel vervormd. Dit laatste zorgt ervoor dat het praktisch onmogelijk is om de vezels, zonder om te smelten, her te gebruiken.

Na alle gegevens verwerkt te hebben, zijn alle resultaten duidelijk weergegeven in tabellen en grafieken. Aan de hand van deze tabellen en grafieken zijn de hoofd- en deelvragen beantwoord. De conclusies en aanbevelingen zijn te vinden in hoofdstuk 5 en 6 van dit afstudeerrapport.

Voorwoord

Voor het positief afronden van de opleiding Bouwkunde aan de Hogeschool Arnhem en Nijmegen hebben wij dit afstudeeronderzoek uitgevoerd. Dit afstudeeronderzoek gaat in op de recycling van staalvezelbeton. Het testproduct dat hiervoor gebruikt wordt zijn hybride gewapende betonbalken. Dit is beton dat gewapend is door middel van traditionele wapening en staalvezel. Het onderzoek is een initiatief van 4 partijen, ABT te Velp, Metal Products te Horst, VAR te Wilp en VOBN te Veenendaal. Er is door eerdere onderzoeken kennis opgedaan betreft de constructieve eigenschappen van hybride gewapend beton. Voorafgaande van dit onderzoek was er nog weinig bekend over de recycling van staalvezelbeton. Ons doel was dan ook om tijdens ons afstudeeronderzoek inzicht te krijgen in het gedrag van staalvezelbeton tijdens de recyclefase.

Dit onderzoek is een vervolg op een onderzoek van de Technische Universiteit te Eindhoven (TU/e). Studenten hebben bij de TU/e 60 balken getest op sterkte. Het doel was om te kijken naar het constructieve gedrag van de balken. 53 van de 60 balken hebben wij na de constructieve testen gebroken door middel van een traditionele breekinstallatie. 8 balken bleven bij de TU/e voor gebruik bij andere onderzoeken. Het granulaat en de staalvezels, die vrij kwamen bij het traditionele breekproces, hebben wij geanalyseerd. Een gedeelte van het granulaat hebben wij laten breken door een labversie van de slimme breker. Deze slimme breker is een nieuwe ontwikkeling op het gebied van beton recyclen.

VOBN en ABT zijn de opdrachtgevers, vanuit deze organisaties is het onderzoek begeleid. De initiatiefnemer ABT is de ontwikkelaar van de hybride balken in combinatie met Metal Products (staalvezels) en Bruil (betonmortel). VAR is het recyclingbedrijf waar onderzoeken uitgevoerd zijn. De geteste balken lagen opgeslagen bij de TU/e en bij Mertens te Weert.

Het onderzoek had niet plaats kunnen vinden zonder inbreng van alle deelnemende partijen en begeleiders. Deze willen wij dan ook graag bedanken voor hun tijd en inzet tijdens het afstudeeronderzoek.

Veenendaal, vrijdag 17 mei 2013
Harm Severins
Jesper Roemaat

Begrippenlijst

Charge	:	Een aantal balken die dezelfde afmetingen hebben en als één ` groep bij elkaar horen tijdens het onderzoek.
Crusher	:	Kraan om beton mee voor te breken, voordat het de breekinstallatie ingaat.
Downcycling	:	Producten of grondstoffen als een minder waardig product hergebruiken. Voorbeeld: beton breken en het granulaat onder een snelweg toepassen als fundering.
Egels	:	Granulaat uit het breekproces waar nog zichtbare staalvezels in vast zitten.
EVA	:	Energie Verbruik Analyse
Granulaat	:	Grind en zand met resten beton die vrijkomen uit het breekproces.
Hybride gewapend beton	:	Beton dat gewapend is door middel van een combinatie tussen traditionele wapening en staalvezels.
K-waarde	:	Deze waarde geeft aan welk deel van de vulstof als bindmiddel mag worden gezien.
Milieuprofiel	:	Document dat gebruikt wordt voor het bepalen van de belasting op het milieu. De gegevens in dit document komen van levenscyclusanalyses.
Pralmolen	:	Het deel van de breekinstallatie die het beton kapot breekt
Slimme breker	:	Machine die op een nieuwe manier puin breekt. Binnen dit onderzoek zijn er testen uitgevoerd met een labversie van deze machine.
TU/e	:	Technische Universiteit Eindhoven
VAR	:	Veluwse Afval Recycling
WBF	:	Water Bindmiddel Factor
Zeefanalyse	:	Methode om te bepalen hoeveel procent er van een bepaalde korrelgrootte aanwezig is in een getest monster. Door middel van zeven wordt er een monster op 14 verschillende groottes gesorteerd.
Zeefkromme	:	Grafiek die aangeeft waaruit een betonmengsel of hoeveelheid granulaat bestaat. Aan de hand van percentages verkregen door een zeefanalyse aangeduid worden hoeveel % er van een bepaalde grootte granulaat aanwezig is.

Inhoudsopgave

1. Inleiding 9

2. Doelstelling 11

3. Werkwijze 12

3.1 Testproduct 12

3.1.1 Hybride gewapende balken 12

3.1.2 Staalvezel type MPZ HT 50/1.0 13

3.2 Testvoorziening 14

3.2.1 Technische gegevens brekerinstallatie 14

3.3 Aanpak 15

3.3.1 Beschrijving 15

3.3.2 Schematische weergave 17

3.4 Randvoorwaarden 20

3.4.1 Normen en eisen van toepassing op het onderzoek 20

3.4.2 Randvoorwaarden 20

4. Resultaten 22

4.1 Traditionele breker 22

4.1.1 Staalvezels magneetband 22

4.1.2 Granulaat 23

4.1.3 Losse staalvezels 24

4.1.4 Zeefkrommen 25

4.1.5 Egels 28

4.2 Slimme breker 30

4.2.1 Resultaten monsters 30

4.2.2 Zeefgrafieken 32

4.3 Milieu 34

4.3.1 Energieverbruik puinbreker VAR 34

4.3.2 Bepalen energieverbruik 34

4.3.3 CO_2 uitstoot 35

5. Conclusie 36

5.1 Deelvraag 1 36

5.2 Deelvraag 2 37

5.3 Deelvraag 3 38

5.4 Deelvraag 4 39

6. Aanbevelingen 42

6.1 Slim breken 42

6.2 Hergebruik toeslagmaterialen na slimme breker 42

6.3 Milieu 42

7. Bronvermelding 43

7.1 Bronnen 43

7.2 Presentaties 43
7.3 Voorgaande projecten 44
7.4 Internet 44

8. Bijlagen ..... Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.

Bijlage 1: Stroomschema traditionele breker ..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
Bijlage 2: Meetresultaten staalvezels uit magneetband ..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
Bijlage 3: Meetresultaten na traditionele breker ..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
Bijlage 4: Zeefanalyses monsters traditionele breker ..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
Bijlage 5: Percentage egels naar korrelgrootte ..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
Bijlage 6: Zeefanalyses monster uit slimme breker . **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
Bijlage 7: Energie verbruik en CO_2 uitstoot van traditionele breker ..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
Bijlage 8: Artikel Slim breken sluit Materiaal kringloop ..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

1. Inleiding

Duurzaamheid is een begrip dat steeds meer mensen en bedrijven bezig houdt. Een onderdeel van duurzaamheid is recycling. Recycling van producten die gebruikt worden in de bouw is een onderwerp waar steeds meer aandacht aan besteed wordt. Zo ook in het bouwbesluit 2012. Hierin is paragraaf 5.9 opgenomen, die ingaat op de CO_2-uitstoot en de uitputting van grondstoffen van een te realiseren gebouw. Hierbij is recycling meegenomen. Als een product niet recyclebaar is, zal deze negatiever naar voren komen dan een product dat volledig recyclebaar is. Met dit in het achterhoofd is dit onderzoek tot stand gekomen. Over traditioneel gewapend beton is veel bekend betreft het gedrag bij recycling. De wapeningsstaven en netten kunnen voor 100% gerecycled worden.

Nu is de vraag hoe dit zit met hybride gewapend beton. De traditionele wapening kan hierbij nog steeds 100% hergebruikt worden, maar voor de staalvezels die verwerkt worden was dit percentage voorafgaande van dit onderzoek nog onbekend.

Om het gedrag van hybride gewapend beton tijdens de recyclefase te bekijken zijn er 52 balken gebroken door middel van een traditionele breekinstallatie. Het granulaat en de staalvezels die hier uit kwamen zijn geanalyseerd. Van het granulaat zijn zeefanalyses gemaakt en van de staalvezels is gekeken hoeveel procent van het geheel tijdens het traditionele breekproces vrijkomt. Om het granulaat van hybride gewapend beton opnieuw hoogwaardig toe te passen is gekeken naar vervolgstappen en toepassingsmogelijkheden hiervan. Een van de opties was het gebruik van een slimme breker. Een machine die, tijdens dit onderzoek, als labversie gebruikt kon worden om het granulaat verder te breken. Het granulaat wat uit deze slimme breker kwam is ook geanalyseerd en resultaten zijn opgenomen in dit afstudeerrapport.

Om inzichtelijk te maken hoe hybride gewapend beton zich gedraagt tijdens de recycle fase is dit afstudeerrapport opgesteld. In dit verslag zijn meetresultaten, conclusies en aanbevelingen te vinden betreft hybride gewapend beton.

Opbouw onderzoeksrapport
Het onderzoeksrapport bestaat uit zeven hoofdstukken waarin het gehele onderzoek weergegeven staat.

Hoofdstuk 1, de inleiding van het onderzoeksrapport

Hoofdstuk 2, toelichting doelstelling. Waarom dit onderzoek plaats vindt en wat de verwachtingen zijn.

Hoofdstuk 3, de werkwijze van het onderzoek. Een uitgebreide weergave hoe het onderzoek is opgesteld. Daarnaast de randvoorwaarden, die een zekerheid garanderen voor het resultaat van het onderzoek. Ook worden hier de, voor dit onderzoek van toepassing zijnde, normen en eisen weergegeven.

Hoofdstuk 4, de resultaten van het onderzoek. Alle gegevens, die uit het onderzoek naar voren zijn gekomen worden hier overzichtelijk weergeven in tabellen en grafieken.

Hoofdstuk 5, de conclusies op basis van de resultaten. Aan de hand van de resultaten van het afstudeeronderzoek worden hier conclusies getrokken en wordt er antwoord gegeven op de hoofd- en deelvragen.

Hoofdstuk 6, aanbevelingen naar aanleiding van dit onderzoek. Uit alle resultaten en conclusies kunnen aanbevelingen over het toepassen van hybride gewapend beton opgesteld worden. Tevens komen een aantal vervolgstappen naar voren, omdat dit onderzoek een basis is voor nader uit te voeren onderzoeken.

Hoofdstuk 7, bijlagen en bronnenlijst. Alle gemeten gegevens zijn bijgevoegd als bijlage. Om het hoofdstuk resultaten overzichtelijk te houden is achtergrond informatie te vinden in bijlagen. Naast de bijlagen is hier een bronnenlijst te vinden waar de geraadpleegde bronnen weergegeven staan.

2. Doelstelling

De doelstelling van dit afstudeeronderzoek was het inzichtelijk maken van het gedrag van hybride gewapend beton tijdens de recycling. Deze doelstelling is gespecificeerd in 2 hoofddoelen.

Hoofddoelen

1. *Het recyclen van hybride gewapende constructie-elementen met volledig hergebruik van de componenten granulaat en staalvezels zonder dat er sprake is van downcycling.*
2. *Inzicht en kennis opdoen over de invloed van het sloop- en recycleproces van staalvezelbeton op het milieuprofiel.*

Deze 2 hoofddoelen hebben wij getracht te verwezenlijken door een hoofdvraag en 4 deelvragen op te stellen en te beantwoorden naar aanleiding van het uitgevoerde onderzoek.

Hoofdvraag

Welke overeenkomsten zijn er tussen traditioneel en staalvezel gewapend beton in de sloop- en recyclefase?

Deelvragen

1. Welk percentage granulaat en wapening houd je over na het breken van traditioneel en staalvezel gewapend beton?

2. Welke mogelijkheden zijn er voor granulaten uit staalvezelbeton zonder downgrading?

3. Welk effect heeft het breekproces van staalvezelbeton op de milieubelasting?

4. Heeft het voor staalvezelbeton een positief effect wanneer je het granulaat door een 'slimme' breker haalt?

In hoofdstuk 5 worden er antwoorden gegeven op de hoofd- en deelvragen.

3. Werkwijze

3.1 Testproduct

3.1.1 Hybride gewapende balken

Als testproduct zijn er 53 betonbalken gebruikt die ter beschikking zijn gesteld door ABT. Deze balken zijn in een onderzoek bij de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) getest op sterkte. In totaal zijn er 60 balken getest bij de TU/e, 7 van deze balken bleven achter bij de TU/e om te gebruiken bij overige onderzoeken. Deze 53 (60-7) balken zijn ingedeeld in 5 verschillende charges. Deze charges zijn bepaald aan de hand van afmetingen van de balken.

- Charge 1: 12 balken, 300*300*3400mm
- Charge 2: 10 balken, 300*300*6200mm
- Charge 3: 12 balken, 300*600*3400mm
- Charge 4: 14 balken, 300*600*6200mm
- Charge 5: 5 met verschillende afmetingen

Charge 1 t/m 4 bevatten balken die hybride gewapend zijn. Charge 5 bestaat uit 5 balken die uitgevoerd zijn met alleen traditionele wapening. Deze balken hebben tijdens het onderzoek als referentiemodel gefungeerd. De betonmortel samenstelling van de balken was van alle charges hetzelfde. De grondstoffen per m^3 zijn als volgt:

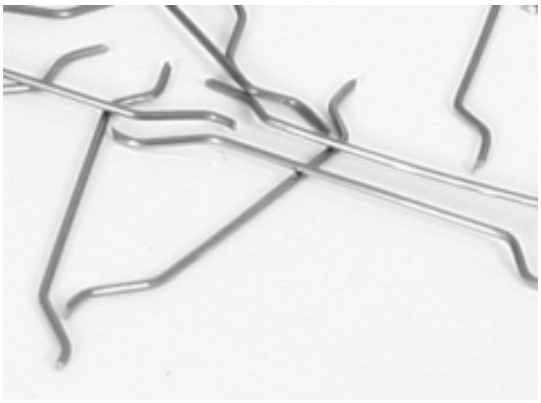
Grondstoffen per m3 beton		
Toeslagen	% van totaal	Gewicht in kg
3 Zand 0-4	38,0	681
1 Zand 0-1	6,0	108
5 Grind 4-16	14,0	251
6 Grind 4-32	42,0	753
Cement		Gewicht in kg
1 CEM III/B 42,5 LH HS		240
12 CEM I 52,5 N		100
Vulstof	K	Gewicht in kg
Poederkoolvliegas	0,2	40
Extra		Gewicht in kg
5 Staalvezel MPZHT		35
Hulpstof	%	Gewicht in kg
2 Superplast Z	0,38	1,44
Water	WBF	
Totaal: 165 Liter	0,474	

Tabel 3.1: Eigenschappen testproduct

Aan de hand van tabel 3.1 zijn alle grondstoffen per charge bepaald, waarmee de resultaten vergeleken konden worden.
De balken zijn gecodeerd om ze per charge bij elkaar te houden. Hierdoor kon geen verwarring ontstaan tijdens het breekproces over wat bij elkaar hoorde.

3.1.2 Staalvezel type MPZ HT 50/1.0

De hybride gewapende betonbalken zijn uitgevoerd met staalvezels type MPZ HT. Deze vezels hebben een dikte van 1mm en een lengte van 50mm. Deze staalvezels hebben aan beide uiteinden een verankering. Deze verankeringen zijn ervoor om meer trekkrachten op te kunnen vangen. Staalvezels komen constructief van pas wanneer er scheuren optreden in beton, op dat moment zorgen staalvezels ter voorkoming van verder scheuren. Wanneer staalvezels recht uitgevoerd zouden worden zal het beton sneller langs de vezels ‘slippen’ en dus verder scheuren.



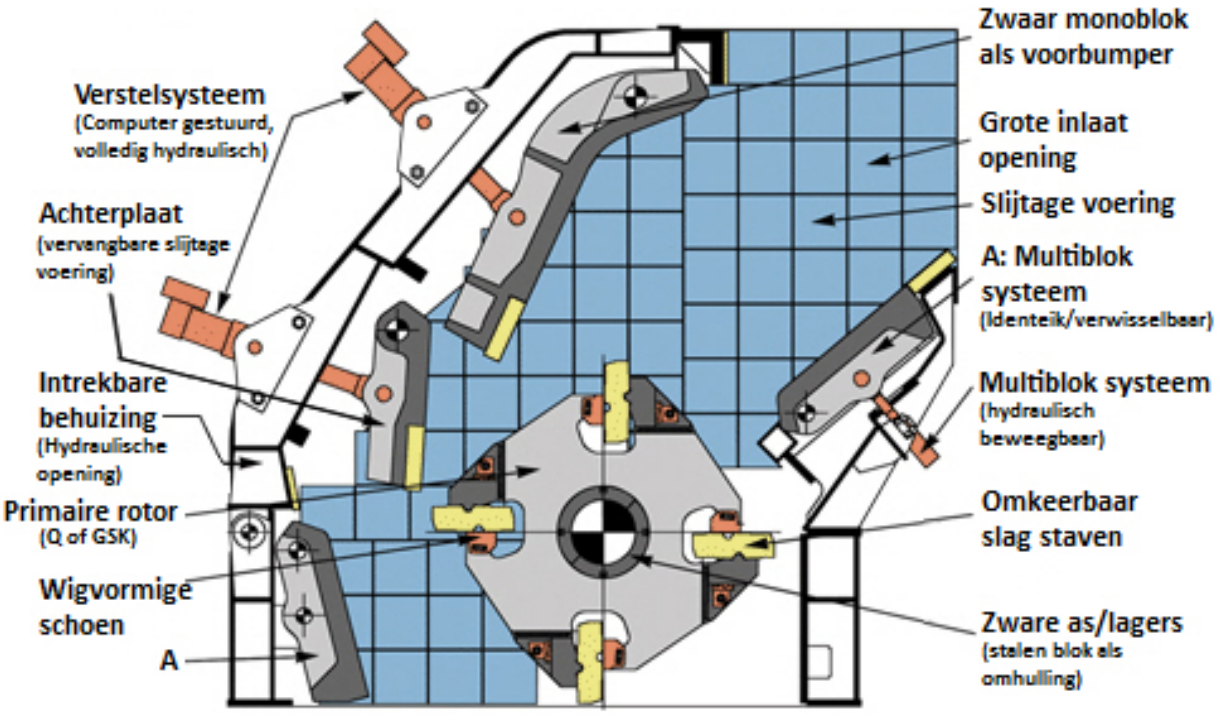
Figuur 3.2: Toegepaste staalvezels

3.2 Testvoorziening

Tijdens het onderzoek wordt gebruik gemaakt van een traditionele methode van beton breken. Hiervoor is de breekinstallatie van de Veluwse Afval Recycling beschikbaar gesteld. In bijlage 1 staat uitgelegd hoe de breker vanaf de invoer van het beton tot aan de uitvoer van de sorteerinstallaties werkt. Een belangrijk onderdeel in deze installatie is de pralmolen (roterende breker), die vlak na de voorzeef het beton kapot zal breken tot een fractie kleiner dan 40mm. De eigenschappen en instellingen van de breekinstallatie zullen van invloed zijn op de uitkomst van het onderzoek.

3.2.1 Technische gegevens brekerinstallatie

Opgavemateriaal	:	Bouwpuin, beton, ook gewapend, en asfalt
Capaciteit	:	Ca. 120 ton/u, afhankelijk van het opgavemateriaal
Het vooraf zeven	:	Vooraf wordt het te breken materiaal ontdaan van de fractie 0-40mm door de voorzeef.
Pralmolen	:	AP-PH 1315 Q
Afmeting invoer	:	1.100mm, breedte: 1.520mm
Geïnstalleerde aandrijving	:	200kW
Breekproduct	:	0-40 mm met ca. 4-8% overkorrel



Figuur 3.3: Toegepaste pralmolen (VAR)

3.3 Aanpak

3.3.1 Beschrijving

Om het onderzoek goed te laten verlopen is deze aanpak opgesteld. Er zijn met behulp van een traditionele breekinstallatie en een nieuw ontwikkelde breker testen gedaan om metingen te kunnen doen.

De traditionele breekinstallatie (zie bijlage 1) staat bij de Veluwse Afval Recycling (VAR) en in de eerste fase zijn de balken van de TU Eindhoven en Mertens Weert naar de VAR in Wilp getransporteerd.
Pas toen deze balken in Wilp waren, konden de testen met de breekinstallatie beginnen.

De testdag stond gepland op 5 april. Er zijn 5 charges door de breekinstallatie gegaan. De reden om de 60 balken in 5 charges op te splitsen was om deze als monsters te kunnen gebruiken.

Voordat de balken de breekinstallatie in zijn gegaan, zijn ze eerst voorgebroken. Een mobiele kaakbreker heeft de balken vergruisd om de balken hanteerbaar te maken voor de breker. Daarnaast is het overgrote deel van de traditionele wapening er uitgehaald. Dit voorkwam dat de breker extra energie en kracht moest gebruiken om alles te crushen.

Wanneer er één voorgebroken charge compleet door de breker is geweest, werden eerst in de metaal opvangbank alle staalvezels weggehaald. Deze zijn in big bags opgevangen.
Daarnaast zijn er 2 fracties granulaat uit de breker gekomen. Eén met granulaat van 4-40mm, waarvan 8 monsters (8 emmers van 10L) zijn genomen. Bij de 2e uitgang is een fractie terecht gekomen met granulaat van 0-4mm, ook wel zand genoemd, waar 2 monsters van worden genomen. Wanneer de gehele charge door de breekinstallaties is geweest en beide granulaatstapels opgeruimd zijn, kan de volgende charge in de bij de invoer gestort worden.

Het voorbreken van de balken is op één dag gedaan, gezien het feit dat er ook breekvlakken blootgelegd moesten worden. Dit nam erg veel tijd in beslag neemt. De breekdag nam ook één dag in beslag om alle charges te breken en bemonsteren.

De 2 weken na de breekdag zijn de monsters onderzocht. Dit gebeurde in de volgende stappen:

- Wegen van het totale gewicht van de big bags met staalvezels
- Sorteren fractie 4-40 op egels, schoon granulaat en losse staalvezels
  Met schoon granulaat wordt granulaat bedoeld waar geen zichtbare staalvezels aan de buitenkant zitten. Het is dus wel mogelijk dat er gebroken vezels binnen in dit granulaat zitten.
- Fractie zand bekijken of hier nog losse staalvezels in zitten.
- Percentages uitrekenen en vergelijken, daarnaast gemiddelden bepalen
- Van de schone granulaten die overblijven, zal een zeefanalyse gemaakt worden, die vergeleken wordt met de zeefanalyse van de monsters van charge 5 (het granulaat waar geen staalvezels in zitten).

Wanneer deze metingen afgerond waren, zijn er nieuwe monsters gemaakt worden voor de testen met de labversie van de slimme breker.

Slimme breker

In de slimme breker zijn 3 soorten monsters getest. Deze monsters bestonden elk uit 3 emmers van 10L. In de eerste serie (Monsters U, V, W) zat alleen schoon granulaat, deze werd als eerste getest om te kijken of hier nog losse staalvezels in zouden kunnen zitten.
In de tweede serie (monsters 2C, 2E, 2G) zat de standaard verhouding tussen egels en schoon granulaat, zoals deze uit de traditionele breker zijn gekomen. De derde serie (monsters Q, R, S, T) bestond uit alleen egeltjes. Dit was om te bepalen hoeveel procent van de staalvezels uit het granulaat gehaald kon worden met de slimme breker.

Voordat de monsters, die getest werden, door de slimme breker gingen, is er eerst een emmer met granulaat zonder staalvezels geprobeerd. Dit was om de werking van het prototype te bepalen.

Vervolgens zijn de series in gelijke monsters verdeeld en kon er onderzoek gedaan worden.
De monsters uit de eerste serie zijn gecontroleerd op staalvezels.
Van de monsters uit de tweede serie werd gecontroleerd hoeveel losse staalvezels en (mogelijke) egels er in zaten. Daarnaast is er een zeefanalyse gemaakt, deze wordt vergeleken met de samenstelling van het beton uit de fabriek.
De monsters uit de derde serie zijn gecontroleerd op de vorm van de staalvezels. Of deze kapot waren of schoon en of er nog egeltjes overbleven, nadat het door de slimme breker is geweest.

Wanneer deze metingen allemaal waren afgerond en verwerkt in Excel, zijn de resultaten vergeleken aan de hand van percentages en zeefkrommes. Hier zijn tot slot conclusies uitgetrokken en eventuele aanbevelingen bij geschreven.

3.3.2 Schematische weergave

Donderdag 4 april zijn de balken hanteerbaar gemaakt voor de traditionele breekinstallatie. Met een crusher werden eerst de breekvlakken blootgelegd van de afwijkende balken van het onderzoek van de TU Eindhoven.

Daarnaast was het doel om de wapenings-staven van het beton te scheiden, om te voorkomen dat er teveel krachten nodig zijn in de pralmolen.

In de verschillende charges was al te zien dat de staalvezels (door elkaar) in het granulaat blijven zitten. Deze brokken worden in dit onderzoek ‘egels’ genoemd.

5 april stond in het teken van de breekdag, de voorgebroken charges werden 1 voor 1 door de breekinstallatie van de VAR gehaald.

De magneetband sorteerde alle metalen van het granulaat. Naast de staalvezels (grijze massa) werd er ook traditionele wapening aangetroffen.

Vervolgens werd het granulaat gezeefd in 2 fracties, zand (0-4mm) en granulaat (4-40mm). Grotere brokken werden via de retourband opnieuw naar de breker vervoerd.

Het resultaat, een stapel met granulaat (4-40mm), hierin waren al meerdere egels en losse staalvezels te zien.

In deze fractie (0-4mm) waren geen egeltjes te vinden, wel enkele losse staalvezels.

Uiteindelijk zijn er van de granulaatfractie (4-40) per charge 8 emmers als monster genomen, van de zandfractie (0-4) 2 monsters. Alle staalvezels zijn in big bags verzameld.

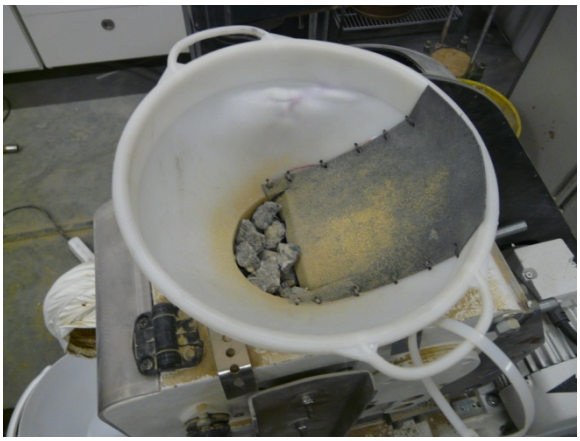
Tijdens het monsteronderzoek is vervolgens het gewicht van de staalvezels gewogen. Er zaten echter nog kleine egeltjes tussen, waardoor er met een correctiefactor gerekend is.

Van de monsters zijn het ‘schone’ granulaat, de egels en de losse staalvezels gesorteerd. In het schone granulaat zijn geen staalvezels zichtbaar aan de buitenkant.

Van al het schone granulaat dat overbleef zijn zeefanalyses gemaakt. Dit werd op een trilplaat in het lab van de VAR gedaan.

Voor de test met de slimme breker zijn een aantal monsters samengesteld. Monsters met schoon granulaat, egels of een combinatie, zoals die uit de traditionele breker kwamen.

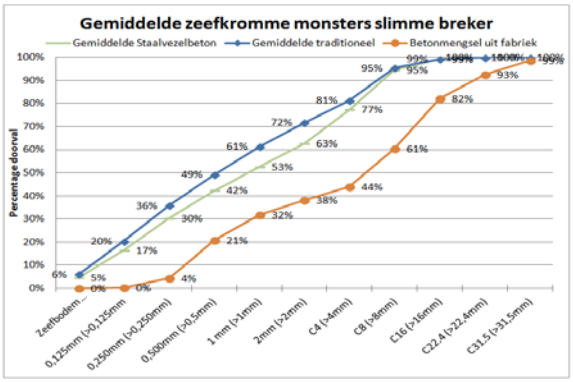
De labversie van de slimme breker staat in Oss, eerst is er een emmer granulaat zonder staalvezels door gegaan om de machine te proberen.



Voordat de breker aangaat wordt de schacht tot de rand gevuld met granulaat. Deze massa is nodig om een wrijving te creëren, die het granulaat weer tot z'n oorspronkelijke grondstoffen breekt.

Bij de uitvoer was te zien dat de staalvezels er los uit kwamen, zonder dat er sprake was van egels.

Het resultaat dat uit de breker komt is, na gezeefd te hebben op 2mm, een product met schoon grind, schoon zand en ook losse staalvezels.



Van alle emmers zijn zeefanalyses gemaakt. Hierboven staat de zeefkromme van het resultaat van de uitvoer van het traditioneel gewapende beton, het staalvezelbeton en de zeefkromme van de betonsamenstelling uit de fabriek.

3.4 Randvoorwaarden

3.4.1 Normen en eisen van toepassing op het onderzoek

- ISO 565: Testzeven - Metalen gaas, geperforeerde metalen plaat. Nominale maten openingen
- NEN 5753: Bodem - Bepaling van het lutumgehalte en de korrelgrootteverdeling in grond en waterbodem met behulp van zeef en pipet
- NEN-EN 14721+A1: Beproevingsmethode voor staalvezelbeton – meting van het vezelgehalte in betonspecie en verhard beton
- NEN-EN 14845-2: Beproevingmethodes voor vezels in beton- Deel 2: invloed op het beton
- NEN-EN 14889-1: Vezels in beton – Deel 1: Staalvezels – Definities, specificaties en conformiteit

3.4.2 Randvoorwaarden

Knippen

- Balken zijn geknipt en ontdaan van traditionele wapening zodat het overgebleven materiaal door de traditionele breker gebroken kan worden.
- Het granulaat dat overbleef na het knippen moest per charge apart gehouden worden.

Traditionele Breker

- De breker is ingesteld zodat deze brak op korrelgrootte 0-40mm.
- Zeefinstallatie is ingesteld zodat deze zeefde op korrelgrootte 0-4mm en 4-40mm.
- Na elke charge heeft de breekinstallatie enkele minuten door gedraaid zodat alle banden leeg/schoon waren bij de start van de volgende charge.
- Na elke charge is de opvangbak voor metaal veegschoon gemaakt zodat er geen staalvezels bij andere charges konden komen.
- Na elke charge is het granulaat dat niet gebruikt is als monster verwijderd zodat er geen granulaat door elkaar kon komen.
- Van de traditionele wapening mag gesteld worden dat dit voor 100% van het beton gescheiden wordt. Een deel hiervan wordt al bij het voorbreken gescheiden, de rest wordt door de magneetband verwijderd.
- Verhouding tussen de uitvoer van fractie 0-4mm en 4-40mm is 50-50.
- Het resultaat uit de traditionele breker is machine specifiek. Andere brekers staan anders ingesteld, breken niet op dezelfde manier en hebben andere randvoorwaarden.

Bemonstering

- Per charge moesten er minimaal 3 monsters genomen worden met een minimale inhoud van 1L conform NEN-EN 14721 + A1. Aan de hand van deze norm zijn er 8 monsters van ca. 15L genomen van fractie 4-40mm en 2 monsters van dezelfde inhoud van fractie 0-4mm.
- Elk monster heeft een eigen code gekregen om verwarring te voorkomen.
- Codering moest watervast zijn. Emmers kwamen buiten te staan in de regen.
- Gewichtsbepaling van elk monster is gebeurd met behulp van de zogenoemde ‘weegemmer’, om verschillen in gewicht van emmers te voorkomen. Het gewicht van deze weegemmer was 290,8g.
- Afspraken hoe bemonsterd wordt zijn vooraf vastgelegd en besproken met Dhr. H. Boer.
- Monsters bleven tot het eind van het afstudeeronderzoek aanwezig bij de VAR voor mogelijke verdere onderzoeken.
- Bij het bepalen van het begingewicht is het betonmengsel aangehouden dat aangeleverd is door ABT. Massa wordt bepaald inclusief water.

Slimme breker

- De slimme breker waarmee testen zijn uitgevoerd, is een labversie. De resultaten kunnen niet 1 op 1 overgenomen worden voor de grootschalige versie.
- Om het resultaat van de labversie zo goed mogelijk over te laten komen met de (verwachte) resultaten van de grootschalige versie wordt het granulaat 2 maal door de slimme breker gehaald.
- Invoer granulaat in de slimme breker was maximaal 50mm
- De monsters die in de slimme breker gebroken zijn waren emmers die overeen kwamen betreft samenstelling met het gemiddelde.
- Het granulaat dat onder de slimme breker uit viel is nogmaals door de breker gegaan en meegenomen in de meetresultaten.
- Doordat er een verlies was van granulaten die rondom de machine terecht kwamen zijn van al het granulaat nieuwe monsters gemaakt en opgenomen in het eindrapport. Deze nieuwe monsters zijn samengesteld door van elke emmer een 4^e te nemen en deze samen te voegen zodat de samenstellingen zoveel mogelijk gelijk waren.

Monsteronderzoek

- De weegschaal waarmee gewogen is, had een nauwkeurigheid van 0.1g. (minimale nauwkeurigheid moest 0.5g zijn conform NEN-EN 14721 + A1).
- Zeefkromme zijn conform NEN 5753 opgesteld.
- Alle gewogen hoeveelheden zijn zowel op papier als digitaal vastgelegd.
- De gewogen hoeveelheden zijn gewogen met de weegemmer om verschillen in gewicht van emmers te voorkomen. Gewicht van weegemmer was 290,8g.
- Resultaten zeefrapporten van het granulaat uit de traditionele breker zijn onderverdeeld in 8 korrelgroottes.
- Resultaten zeefrapporten van het granulaat uit de slimme breker zijn onderverdeeld in 14 korrelgroottes exclusief zeefbodem.
- Vergelijkingen van zeefrapporten zijn gemaakt op basis van percentages van totalen. Niet op basis van hoeveelheden omdat elk monster verschilt in totaal gewicht.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk zijn de bevindingen weergegeven van het monsteronderzoek. Hier worden alleen de uiteindelijk resultaten getoond, waar conclusies uit getrokken zijn. De metingen van de verschillende onderzoeken zijn terug te vinden in de bijlagen.

De opbouw is gemaakt aan de hand van de volgorde van het breekproces en het monsteronderzoek. Eerst zijn staalvezels gemeten afkomstig van de magneetband. Vervolgens is het granulaat gesorteerd en zijn er zeefanalyses gemaakt.

Slim breken is een vervolgstap op traditioneel breken en hoort in eerste instantie niet bij het hoofdonderzoek. De resultaten hiervan staan, na het traditionele proces, als apart hoofdstuk.

Tot slot volgt er een paragraaf met betrekking tot het milieu. Er is gekeken naar het energieverbruik bij het proces van beide brekers. Tevens is de CO_2 uitstoot bekend van het gehele traditionele breekproces. Hieruit zijn conclusies getrokken, die ook gelden voor het slimme breekproces.

4.1 Traditionele breker

4.1.1 Staalvezels magneetband

In onderstaande tabel staat hoeveel procent van de staalvezels er per charge door de magneetband uit gehaald is. Dit is ten opzichte van de hoeveelheid, die er in de fabriek in is gegaan. Van de 35kg/m^3, die er per charge in is gegaan, wordt dus gemiddeld 71,7% door de magneetband gefilterd uit het granulaat.

Uitkomst magneetband staalvezels	
Charge 1	67,9 %
Charge 2	77,5 %
Charge 3	76,6 %
Charge 4	64,9 %
Gemiddelde	71,7 %

Tabel 4.1: Resultaten magneetband

In dit percentage zit een correctiefactor, i.v.m. het gegeven dat er niet alleen staalvezels gewogen zijn. Ook zijn door de magneetband staalvezels met granulaat meegenomen. Deze kleine egels zijn, met het oog op het direct hergebruik van de vezels, niet meegerekend. Met behulp van een aantal monsters is bepaald, dat er van de totale hoeveelheid staalvezels uit de magneetband van de breker nog 8,45% kleine egels in zit. Deze waarde is een correctie over het percentage losse staalvezels. De berekening hiervan is toegevoegd als bijlage.

In bijlage 2 zijn de meetresultaten te zien waarop tabel 4.1 gebaseerd is

4.1.2 Granulaat

Het granulaat dat uit de breker komt wordt gesplitst in twee fracties. Uit één van de uitgangen komt het granulaat van 4-40mm. Uit de andere uitgang komt het zand met korrelgroottes 0-4mm.
Hieronder staat een tabel met het percentage schoon granulaat, egels en losse staalvezels dat uit de traditionele breker komt. Met schoon granulaat wordt al het granulaat bedoeld, dat er niet als egel uitziet en dus staalvezelvrij is. Het kan wel zo zijn, dat er binnenin nog afgebroken staalvezels zitten. De percentages zijn ten opzichte van het gewicht van het monster.

	% Staalvezels van totaal	% Egels van totaal	% Schoon van totaal	Gewicht per monster	% Staalvezels van totaal	Gewicht per monster
Charge 1	0,347 %	31,2 %	68,5 %		0,270 %	
Charge 2	0,110 %	18,3 %	81,6%		0,030 %	
Charge 3	0,220 %	20,7 %	79,1 %		0,118 %	
Charge 4	0,271 %	37,4 %	62,3 %		0,329 %	
Gemiddelde	0,237 %	26,9%	72,9 %	11,84 kg	0,187 %	14,60 kg
Fractie	Granulaat 4-40mm				Zand 0-4mm	

Tabel 4.2: Resultaten monster onderzoek

Tegenwoordig wordt er voor 20% granulaat gebruikt als grindvervanger in nieuw beton. Dit geldt voor granulaat zonder staalvezels. Het enige waar de egels eventueel wel toegepast kunnen worden is in een funderingslaag onder wegverharding. Om de kringloop van een materiaal rond te krijgen mag materiaal niet laagwaardiger worden toegepast.

In tabel 4.2 is te zien dat er voor 26,9% aan egels nog in het granulaat zit. Dit is een hoog percentage als je bedenkt dat het zonder downgrading niet toegepast kan worden. Er zal dus gekeken moeten worden naar een oplossing voor deze egels.

Het grootste deel dat overblijft, is het schone granulaat (72,9%). Dit granulaat kan in nieuw beton 20% van het grind vervangen. In paragraaf 4.1.4 worden van dit granulaat zeefanalyses weergegeven. In het prototype van de slimme breker is getest of er wel staalvezels in het granulaat zitten, dit wordt toegelicht in paragraaf 4.2.1

Verder is in de tabel te zien dat er een relatief laag percentage losse staalvezels in het granulaat gevonden is (0,237%). Dit komt omdat de staalvezels weinig wegen in verhouding tot het granulaat. In het volgende hoofdstuk worden deze staalvezels vergeleken met het percentage staalvezels dat in de fabriek aan het beton is toegevoegd. Ook worden hier de staalvezels meegenomen die uit de zandfractie zijn gefilterd. Dit gewicht bedraagt 0,187% ten opzichte van het totale gewicht van het zand.

Bovenstaande gegevens zijn op basis van de meetresultaten in bijlage 3

4.1.3 Losse staalvezels

Er is gekeken naar de staalvezels in de granulaatmonsters. Hiervan bleek dat er in zowel het zand (0-4mm) als in het granulaat (4-40mm) nog losse vezels zaten. In tabel 4.2 van de vorige paragraaf is het percentage te zien ten opzichte van het gewicht van het granulaat.

In tabel 4.3 is het percentage bepaald ten opzichte van het gewicht van de staalvezels die in de fabriek aan het beton zijn toegevoegd. Dit percentage geldt voor losse staalvezels zonder betonresten. In het percentage van de staalvezels uit de magneetband zijn de egeltjes, zoals eerder vermeldt, met behulp van een correctiefactor niet meegerekend.

Staalvezels Traditionele breker	**Charge 1**	**Charge 2**	**Charge 3**	**Charge 4**		**Gemiddelde**	**Opmerking**
Gewicht van 1 m^3 beton	2374,44	2374,44	2374,44	2374,44	kg		
Aantal m^3	3,67	6,12	6,696	15,624	m^3		
Totaal gewicht	8631,6	14365,7	15719,9	36743,3	kg		- Magneetband uit
Gewicht fractie 0-4 en 4-40	4315,8	7182,8	7859,9	18371,6	kg		Verdeling 50/50
Staalvezels IN	128,52	214,20	234,36	546,84	kg		
% t.o.v. gewicht beton	1,489 %	1,491 %	1,491 %	1,488 %			
Granulaatband 4-40 UIT							
% Staalvezels in F4-40mm	0,347 %	0,110 %	0,220 %	0,271 %		0,237 %	
Kg Staalvezels in F4-40mm	14,97	7,94	17,28	49,73	kg		
% t.o.v. staalvezels IN	11,65 %	3,70 %	7,37 %	9,09 %		7,96 %	In granulaat
Zandband 0-4 UIT							
% Staalvezels in F0-4mm	0,187 %	0,187 %	0,187 %	0,187 %			
Kg Staalvezels in F0-4mm	8,06	13,41	14,67	34,29	kg		
% t.o.v. staalvezels IN	6,27 %	6,26 %	6,26 %	6,27 %		6,26 %	In zand
Magneetband UIT	87,33	165,9	179,4	355	kg		
% t.o.v. staalvezels IN	68 %	77 %	77 %	65 %		71,72 %	Excl. egels
Totaal losse staalvezels UIT	110,36	187,24	211,35	439,02	kg		
% t.o.v. staalvezels IN	85,87 %	87,41 %	90,18 %	80,28 %		85,94 %	Als losse vezels
Restant/verlies staalvezels	18,16	26,96	23,01	107,82	kg		
% t.o.v. staalvezels IN	14,13 %	12,59 %	9,82 %	19,72 %		14,06 %	In egels of verlies

Tabel 4.3: Uitgang staalvezels na traditionele breker

De totale hoeveelheid schone staalvezels, die uit het beton gebroken is, komt op 85,9%. In deze 85,9% zit ook de 71,7% uit de magneetband. Dit betekent dat er 14,1% staalvezels in egels zit, of als verlies mag worden gerekend. Er zit een kanttekening aan deze berekening. Er is gerekend met het gegeven dat er van het totale gewicht, dat in de breker is gegaan, 50% bij de zandfractie terecht komt en 50% bij de granulaatfractie.

14,22% (7,96+6,26) van alle staalvezels blijft los achter in de zand- of granulaatfractie. Dit zou voorkomen kunnen worden door bijvoorbeeld een langere magneetband toe te passen, of een extra magneetband. Dit zorgt ervoor dat het granulaat minder staalvezels bevat.

4.1.4 Zeefkrommen

Van het granulaat uit elk monster, vrijgemaakt van egels en losse staalvezels, zijn zeefrapporten opgesteld. In totaal zijn er 40 zeefanalyses uitgevoerd. Van deze 40 zeefanalyses zijn er 32 gemaakt van granulaat uit staalvezel gewapend beton. De overige 8 zeefanalyses zijn gemaakt van het granulaat van de traditioneel gewapende balken. Het zeven van het granulaat wordt hieronder kort toegelicht.

Zeefmaten

Zeefrapporten worden opgesteld aan de hand van vaste zeefmaten (conform ISO 565). Hierin staan 14 verschillende maten vermeld waarmee gezeefd moet worden. Met de volgende maten is gezeefd:

Traditioneel gebroken beton:
C45: Granulaat groter dan 45 mm
C31,5: Granulaat tussen de 31,5 en 45 mm
C22,4: Granulaat tussen de 22,4 en 31,5 mm
C16: Granulaat tussen de 16 en 22,4 mm
C11,5: Granulaat tussen de 11,5 en 16 mm
C8: Granulaat tussen de 8 en 11,5 mm
C5,6: Granulaat tussen de 5,6 en 11,5mm

Bij slim breken is er daarnaast gezeefd op:
C4: Granulaat tussen de 4 en 5,6 mm
2 mm: Granulaat tussen de 2 en 4 mm
1 mm: Granulaat tussen de 1 en 2 mm
500 µm: Granulaat tussen de 0,5 en 1 mm
250 µm: Granulaat tussen de 0,25 en 0,5 mm
125 µm: Granulaat tussen de 0.125 en 0.25 mm
63 µm: Granulaat tussen de 0.063 en 0.125 mm
Zeefbodem: Granulaat kleiner dan 5,6 mm

Na een zeefanalyse zijn de resultaten verwerkt in een zeefrapport. Per korrelgrootte is de hoeveelheid bepaald, die op de zeef achter bleef. Deze hoeveelheid is een percentage van het geheel, de zeefrest. Door de zeefresten bij elkaar op te tellen per korrelgrootte wordt de doorval berekend. In tabel 4.4 voorbeelden van 2 gemaakte zeefrapporten.

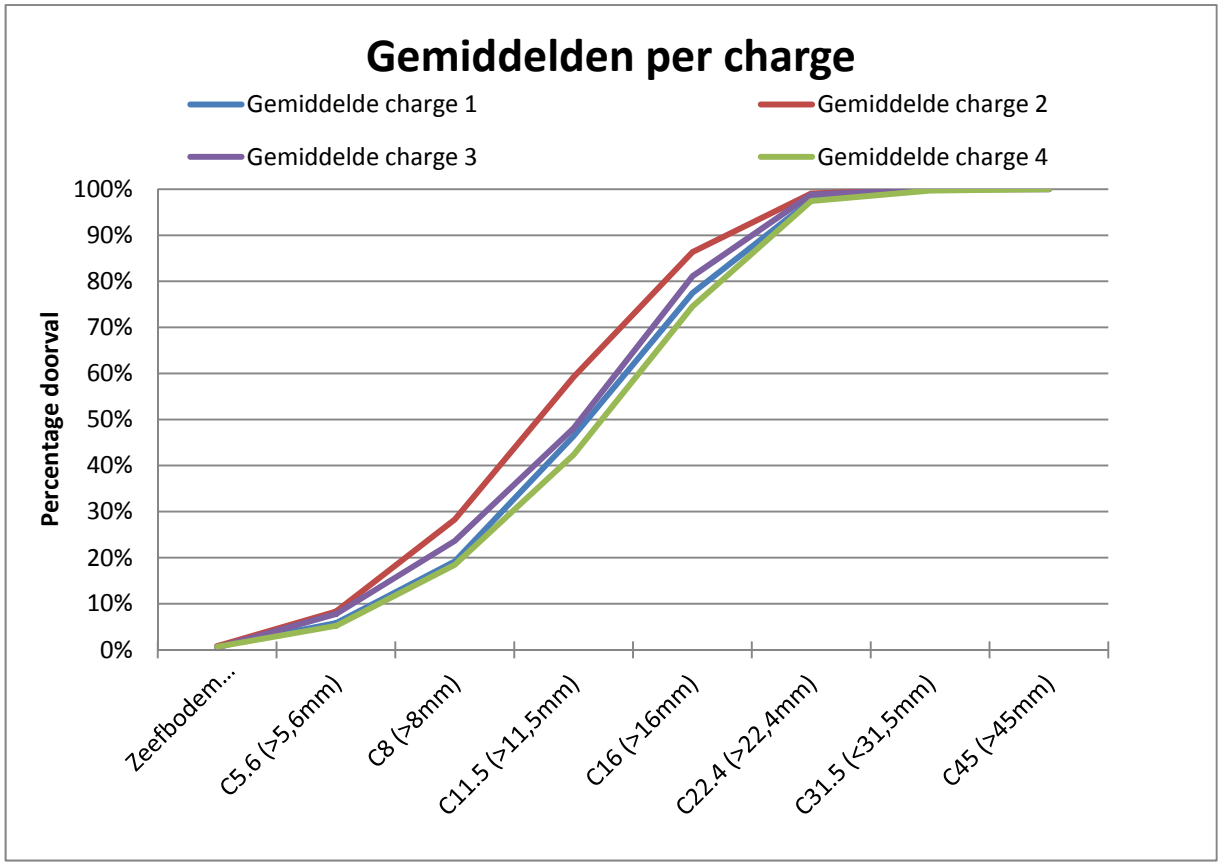
Fractie grootte:	Monster 2A			Monster 3F		
	Zeefrest		Doorval	Zeefrest		Doorval
Zeefbodem (<5,6mm)	71,9 g	2%	+ 2%	10,2 g	0,2%	0%
C5.6 (>5,6mm)	1003,5 g	21%	= 23%	26,6 g	0.5%	1%
C8 (>8mm)	1924,4 g	41%	64%	102,7 g	2%	3%
C11.5 (>11,5mm)	1262,3 g	27%	91%	692,3 g	13%	15%
C16 (>16mm)	369,7 g	8%	99%	2627,0 g	49%	64%
C22.4 (>22,4mm)	49,1 g	1%	100%	1728,8 g	32%	96%
C31.5 (<31,5mm)	0,0 g	0%	100%	196,5 g	4%	100%
Totaal gezeefde fractie (UIT):	4680,9 g	100,0%		5384,1 g	100,0%	
Totaal gewogen fractie (IN):	4684,5 g			5384,9 g		
Verlies na zeven:	3,6 g			0,8 g		

Tabel 4.4: Zeefrapporten van monsters 2A en 3F

Per charge zijn 10 monsters genomen. Van de monsters met korrelgrootte 4-40mm (8stuks) zijn zeefrapporten opgesteld. Met de gegevens uit bijlage 4 is tabel 4.5 opgesteld. In tabel 4.5 staat per charge de gemiddelde doorval weergegeven. Van de gemiddelde percentages doorval is grafiek 4.6 opgesteld.

Fractie grootte:	Gemiddelde charge 1	Gemiddelde charge 2	Gemiddelde charge 3	Gemiddelde charge 4
Zeefbodem (<5,6mm)	0,74%	0,79%	0,46%	0,63%
C5.6 (>5,6mm)	5,79%	8,30%	7,76%	5,19%
C8 (>8mm)	19,18%	28,30%	23,62%	18,45%
C11.5 (>11,5mm)	46,39%	59,20%	48,11%	42,31%
C16 (>16mm)	77,45%	86,36%	81,10%	74,55%
C22.4 (>22,4mm)	97,62%	99,09%	98,82%	97,45%
C31.5 (<31,5mm)	100,00%	100,00%	100,00%	99,69%
C45 (>45mm)	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

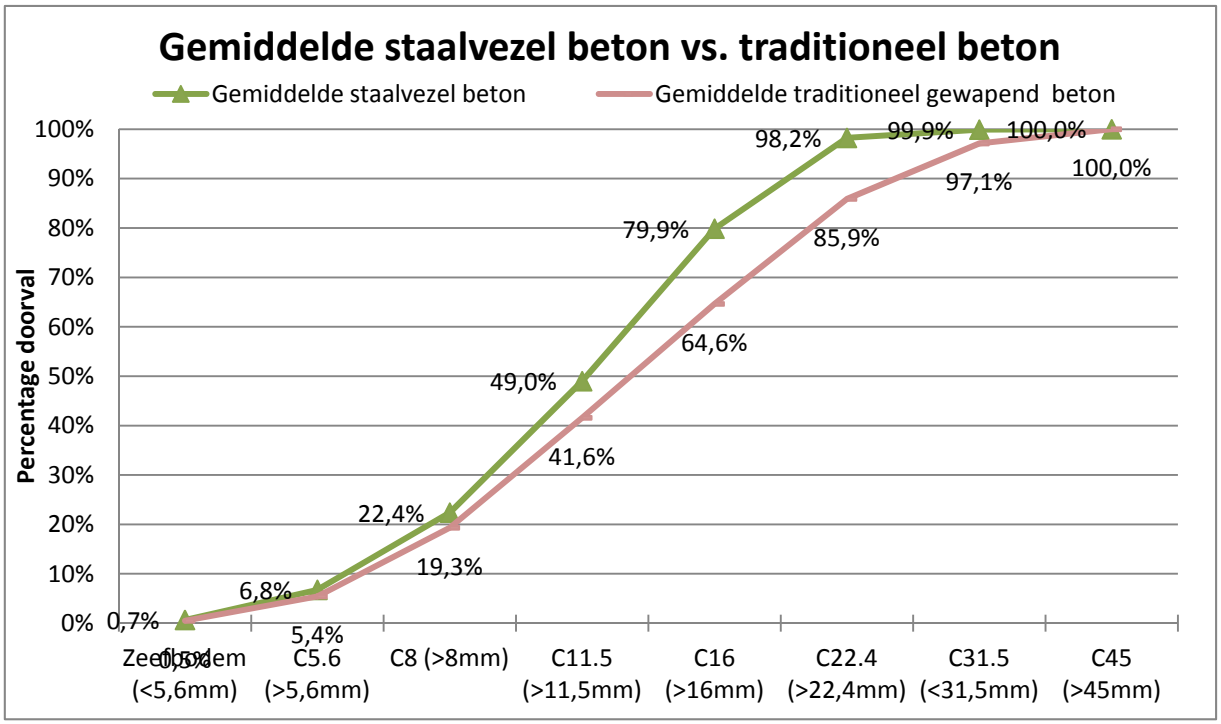
Tabel 4.5: Gemiddelden per charge



Grafiek 4.6: Zeefkromme staalvezelbeton

In bovenstaande grafiek zijn de gemiddelde zeefkrommen van charge 1 t/m 4 af te lezen. Charge 1 t/m 4 bestond uit balken, die staalvezel gewapend waren. De zeefkromme van deze 4 charges komen grotendeels overeen. Van deze 4 gemiddelde is 1 gemiddelde gemaakt waarmee de zeefkromme van traditioneel gewapend beton is vergeleken op de volgende pagina.

Naast de 4 staalvezel gewapende charges is er een 5e charge gebroken met balken, die traditioneel gewapend waren. Deze 5e charge is gebruikt om een vergelijking te kunnen maken. Grafiek 4.7 toont deze vergelijking.



Grafiek 4.7: Zeefkromme traditionele breker

Uitleg bij zeefkromme
Een zeefkromme geeft het percentage doorval, de hoeveelheid granulaat dat bij een zeefanalyse door de zeef met een bepaalde grootte valt. Kijkend naar bovenstaande grafiek bestaat het granulaat van staalvezelbeton voor 100-79,9=20,1% uit korrelgrootte C16 of groter, terwijl traditioneel gewapend beton voor 100-64,6=35,4% uit korrelgrootte C16 of groter. Wanneer de grafiek steiler loopt, is er van de korrelgrootte in dat gebied meer aanwezig is.

Korrelgrootte	Verschil
C45-C31,5	2,8% meer in trad.
C31,5-C22,4	9,5% meer in trad.
C22,4-C16	3,0% meer in trad.
C16-11,5	7,9% meer in svb.
C11,5-C8	4,3% meer in svb.
C8-C5,6	1,7% meer in svb.
C5,6-bodem	1,2% meer in svb.

Tabel 4.8: Verschil korrelgrootte
trad.= traditioneel gewapend beton
svb. = staalvezel gewapend beton

Zichtbaar in grafiek
Er is in grafiek 4.7 een verschil te zien tussen het granulaat van staalvezel en traditioneel gewapend beton. Zichtbaar is dat er bij staalvezelbeton meer fijn granulaat vrij komt. Grind met korrelgroottes 22,4 - 31,5mm is in het granulaat van traditioneel gewapend beton in grotere getale terug te vinden dan in granulaat van staalvezelbeton.
Tabel 4.8 onderbouwt bovenstaande waarneming. Tabel 4.8 geeft aan dat er in granulaat van traditioneel gewapend beton meer grove korrels aanwezig zijn dan in staalvezelbeton. Dit percentage is het verschil tussen de dalingen van de lijnen.
Het wordt hierdoor duidelijk dat er meer fijne korrels in het granulaat van staalvezelbeton zit. Voor dit onderzoek is gekozen dat de aanwezige egels niet in de zeefkromme mee zijn genomen, omdat deze niet bruikbaar zijn als grindvervanger in beton.

Gegevens in paragraaf 4.1.4 zijn op basis van de meetresultaten in bijlage 4

4.1.5 Egels

Aan de hand van opgestelde zeefrapporten is bepaald uit welke korrelgrootte het monster voornamelijk bestond. Door de meetgegevens te vergelijken met de meest aanwezige korrelgrootte kan gekeken worden naar de samenstelling van granulaat. Op de volgende pagina staat in 2 grafieken weergegeven hoe de inhoud is per monster, ingedeeld naar korrelgrootte. Er is gekeken naar de korrelgrootte die het meest aanwezig was in het granulaat.

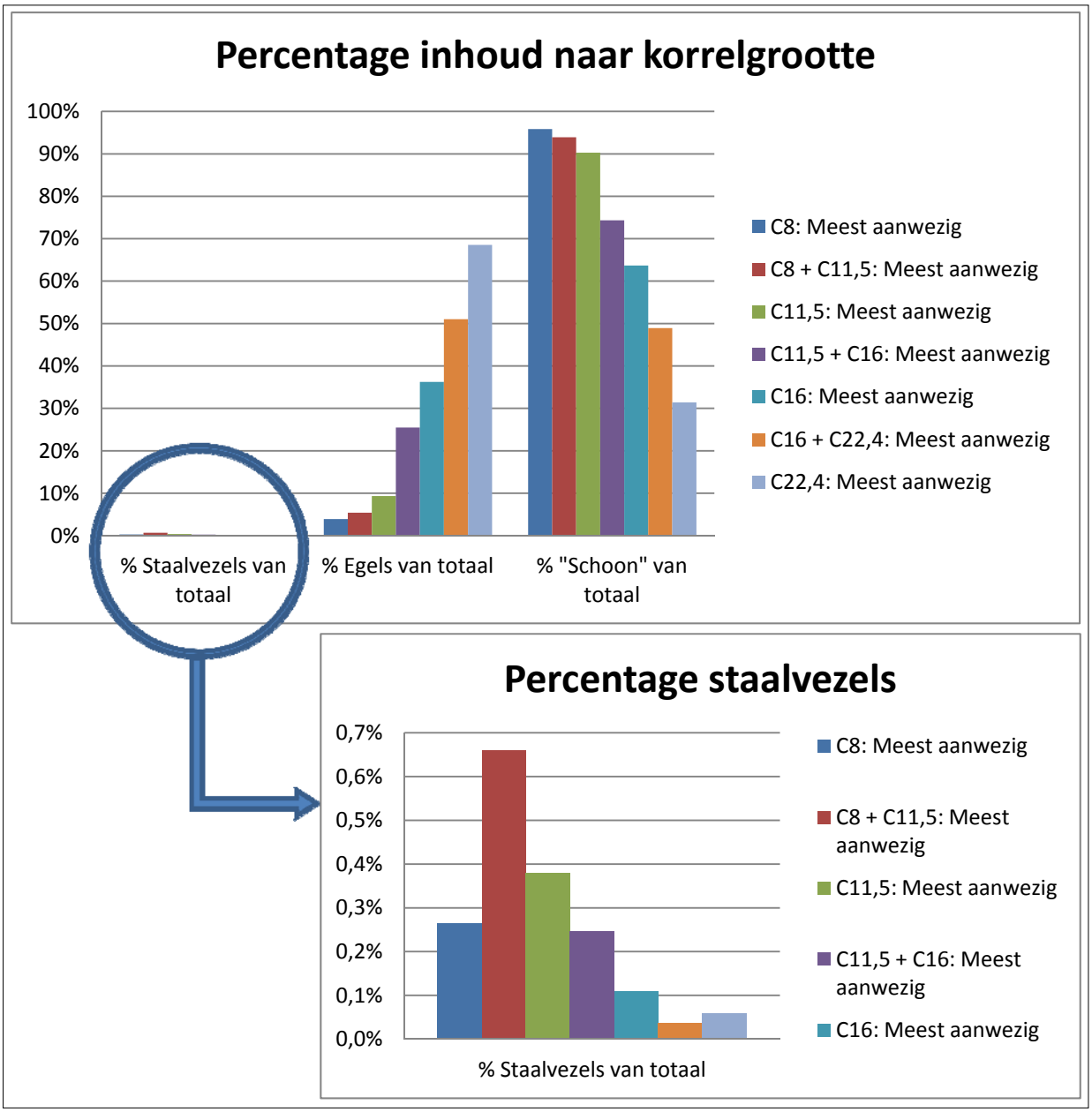
De aanduiding C8 + C11,5 is gebruikt wanneer de meest aanwezige korrelgrootte uit 2 groottes bestond. Wanneer het verschil tussen de 2 meest aanwezige korrelgroottes kleiner dan 5% was, zijn deze beide benoemd als grootste korrelgrootte. Wanneer er C16 staat, bestond het monster voornamelijk uit korrelgrootte 16mm tot 22,4mm.

In tabel 4.9 zijn de gegevens te zien waarop grafiek 4.10 gebaseerd is. In de geel gemarkeerde cellen staat het percentage staalvezels, egels of schoon granulaat van het totaal. Met deze percentages is grafiek 4.10 opgesteld. Per monster is bepaald welke korrelgrootte het meest aanwezig was. Door deze gegevens te sorteren is er een gemiddelde per korrelgrootte gekomen, dit gemiddelde is verwerkt in grafiek 4.10.

Grootste fractie C8 / C11,5								
Monster	Staalvezels		Egels		Schoon granulaat			
3B	79,8 g	0,606%	803,2 g	6,1%	12281,8 g	93,3%	13,16	kg
3G	72,8 g	0,589%	832,0 g	6,7%	11462,6 g	92,7%	12,37	kg
4A	110,5 g	0,985%	750,9 g	6,7%	10353,5 g	92,3%	11,21	kg
4B	52,3 g	0,461%	240,8 g	2,1%	11041,1 g	97,4%	11,33	kg
Gemiddeld van totaal:		0,66%		5,41%		93,93%		
Grootste fractie C16								
Monster	Staalvezels		Egels		Schoon granulaat			
1C	6,3 g	0,053%	4025,6 g	33,8%	7890,5 g	66,2%	11,92	kg
1E	37,9 g	0,312%	3448,0 g	28,4%	8667,2 g	71,3%	12,15	kg
1F	24,9 g	0,218%	5518,8 g	48,2%	5894,9 g	51,5%	11,44	kg
2C	5,7 g	0,051%	2164,5 g	19,4%	8984,1 g	80,5%	11,15	kg
2D	3,1 g	0,027%	3161,2 g	27,9%	8180,8 g	72,1%	11,35	kg
2F	10,5 g	0,099%	3006,3 g	28,2%	7632,7 g	71,7%	10,65	kg
3E	7,2 g	0,062%	3942,8 g	34,1%	7617,9 g	65,9%	11,57	kg
3F	6,6 g	0,059%	3916,8 g	34,9%	7290,8 g	65,0%	11,21	kg
3H	3,9 g	0,033%	3622,8 g	30,7%	8155,1 g	69,2%	11,78	kg
4D	3,5 g	0,031%	5221,3 g	46,3%	6041,6 g	53,6%	11,27	kg
4F	7,2 g	0,062%	5350,7 g	46,3%	6204,8 g	53,7%	11,56	kg
4H	35,2 g	0,314%	6329,3 g	56,5%	4846,3 g	43,2%	11,21	kg
Gemiddeld van totaal:		0,11%		36,23%		63,66%		

Tabel 4.9: Percentage inhoud monsters fractie C8 / C11,5 en C16

Hieronder is weergegeven wat de gemiddelde inhoud is van het monster, ingedeeld naar korrelgrootte die het meest aanwezig was in het monster.



Grafiek 4.10: Verhouding schoongranulaat vs. egels per korrelgrootte

Conclusie

In de grafiek is duidelijk te zien dat er een verhouding is tussen gemiddelde grootte van het schone granulaat en de hoeveelheid egels. De grafiek toont aan dat wanneer de meest aanwezige korrelgrootte tussen de 8 en 11,5 mm ligt, er weinig egels in het monster hebben gezeten. Hoe groter de meest aanwezige korrel wordt, des te meer egels er in het granulaat zitten. Hieruit kan geconcludeerd worden dat wanneer er fijner gebroken, er minder egels achter blijven in het granulaat.

Naast deze verhouding tussen de egels en het schone granulaat is er ook een verhouding te zien tussen het aantal egels en het aantal losse staalvezels in het granulaat. Te zien is dat er een afname optreedt naarmate het aantal egels toeneemt.

Bovenstaande gegevens zijn op basis van de meetresultaten in bijlage 5

4.2 Slimme breker

4.2.1 Resultaten monsters

Om de granulaten hoogwaardiger te kunnen toepassen is onderzoek gedaan naar een vervolgstap op het traditionele breken. Het slimme breken is een nieuwe methode om beton weer terug te brengen tot schoon grind, schoon zand en cementsteen. Tijdens dit onderzoek zijn er 3 verschillende monsters getest.

- Monsters met het staalvezel granulaat, zoals het uit de traditionele breker komt.
- Monsters met alleen schoon granulaat, om te kijken of hier nog vezels in zitten.
- Monsters met alleen egels, gesorteerd uit het granulaat.

Vooraf is er een monster met staalvezelvrij granulaat ingegaan om het resultaat zonder staalvezels te kunnen zien. Als laatste is er nog een monster getest met kleine egels, die uit de magneetband zijn gekomen. Deze zijn kleiner dan de normale egels uit het granulaat. Het prototype kon alle kleine egels niet verwerken, omdat er in verhouding teveel staalvezels door het beton zaten, daarom is dit niet gemeten. Hier zouden geen representatieve resultaten uit zijn gekomen, omdat er naar verhouding te veel staalvezels in het beton zitten.

IN				UIT			
Monster	**Gewicht**	**Opmerking**	**Gewicht egels/staalvezels**	**Monster**	**Gewicht**	**Losse staalvezels**	**Egels**
2B	12703,0 g	Monster uit TB*	1093,8 g	SB1 t/m SB4	33520,7 g	217,6 g	126,9 g
2C	10863,5 g	Monster uit TB	2164,5 g			0,649 %	0,379 %
2G	11265,1 g	Monster uit TB	3098,9 g				
Totaal	34831,6 g	18,3% van totaal	6357,2 g				
		Na sorteren					
U	-	Schoon		U, V, W tot.	30707,6 g	34,4 g	0 g
V	-	Schoon				0,112 %	0 %
W	-	Schoon					
Q	9969,2 g	Egels		Q, R, S, T tot.	32544,1 g	956,1 g	361,2 g
R	9084,4 g	Egels				2,94 %	1,110 %
S	9729,4 g	Egels					
T	10102,3 g	Egels					
Totaal	38885,3 g						
5E	12971,9 g	Vezelvrij		SB-5E-A/B	Zie zeefrapport		
Egels uit magneet-band	8762,2 g	Egels (klein)		Niet gemeten, i.v.m. storing prototype			
* TB = Traditionele breker							

Tabel 4.11: Resultaten slimme breker

In tabel 4.11 is te zien wat er in het prototype van de slimme breker is gestopt en wat er uit kwam. Aan de percentages is te zien dat er relatief veel losse staalvezels uit komen, die vooraf nog allemaal in de egels zaten. Bij de monsters Q t/m T (egels) zit nog voor 1% egels, waar het vooraf 100% was.
Uit de tabellen van paragraaf 4.1.5 bleek, dat wanneer men fijner breekt er ook meer losse staalvezels en minder egels vrijkomen. De slimme breker maakt het granulaat ook fijner, waardoor het voorspelbaar was dat er veel meer losse staalvezels vrij zouden komen.

De testproducten, die als representatief worden beschouwd, zijn de monsters die rechtstreeks uit de traditionele breker zijn gekomen. Het blijkt dat er van de 26,9% egels, die gemiddeld nog in het granulaat zaten na traditioneel breken, nog 0,379% overblijft na slim breken.
De slimme breker zorgt er niet alleen voor dat het granulaat wordt omgezet in schone toeslagmaterialen, maar ook dat andere materialen als staalvezels en kunststoffen ongeschonden worden gescheiden van het beton.

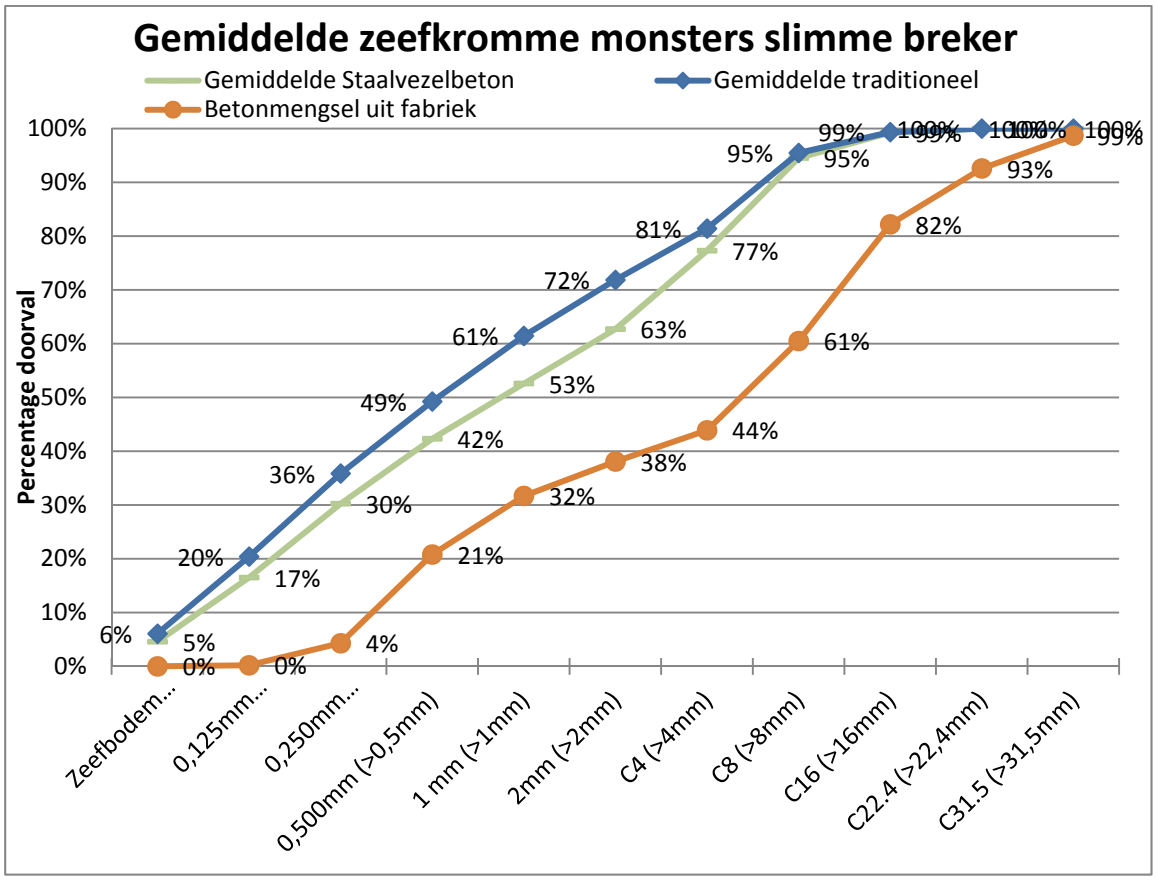
De slimme breker gebruikt de sterkte van het granulaat om te breken. In de schacht, die gevuld moet zijn voordat de breker aangaat, wrijven de granulaten langs elkaar, waardoor het op de zwakste verbinding losbreekt. Deze zwakste verbinding is de aanhechting tussen cement en de toeslagmaterialen. Ook de aanhechting tussen staalvezels en cement zal eerder los worden gewreven dan dat het oorspronkelijke materiaal zelf breekt. Zo is er weinig kracht nodig, om een optimaal resultaat te behalen.

Tussen het prototype en de grote versie van de slimme breker zitten wel een aantal verschillen, dat van invloed kan zijn om dezelfde resultaten te krijgen. De grote versie beschikt over een grotere schacht, waar meer granulaat tegelijk ingevoerd wordt. Dit betekent dat het granulaat een langere weg aflegt, voordat het de breker weer uitgaat. Dit heeft als voordeel dat er langer wrijvende krachten werken en dat er meer materialen gescheiden worden van elkaar. Om het resultaat van het prototype gelijkwaardig te maken aan de grote versie, zijn alle monsters twee keer door het prototype gegaan.

Figuur 4.12: Resultaat na slimme breker, schone toeslagmaterialen en losse staalvezels

4.2.2 Zeefgrafieken

Naast de gegevens uit grafiek 4.11 zijn er van het schone product (zonder egels en losse vezels) dat overblijft nog zeefanalyses gemaakt. Wanneer er schoon grind, schoon zand en cementsteen gescheiden kan worden uit voorgebroken beton, zouden de zeefanalyses grotendeels overeen moeten komen met de samenstelling van het beton uit de fabriek. Dit is immers ook als grind en zand en cement/water ingevoerd.



Grafiek 4.13: Zeefkromme slimme breker vs. betonmengsel uit fabriek
Gegevens uit grafiek 4.13 is op basis van de meetresultaten in bijlage 6

Om te kijken of de resultaten overeen kwamen, zijn er zeefkrommen opgesteld van staalvezel en traditioneel gewapend beton, gebroken door de slimme breker. Deze zeefkrommen zijn samen met de betonsamenstelling uit de fabriek in één grafiek gezet (grafiek 4.13).

Conclusie
Hieruit blijkt dat er in de betonsamenstelling uit de grafiek meer grove korrels zitten, de grindfractie. Wanneer de grafiek vlakker loopt, betekent dit dat er meer doorval is en er dus minder korrels van de volgende grootte blijven liggen. Zo is in bovenstaande grafiek te zien dat er minder zand (1-4mm) in de betonsamenstelling uit de fabriek zat.

De reden dat er in het gebroken materiaal uit de slimme breker minder grove korrels zitten is dat het voorgebroken granulaat is. De traditionele breker heeft een pralmolen die alles kapot breekt op 40mm. Er zijn veel van de grove grindkorrels al kapot geslagen, waardoor de zandfractie meer aanwezig is na slim breken.

De tweede conclusie, die uit grafiek 4.13 getrokken kan worden, is dat er meer van de grove fractie overblijft bij staalvezelbeton t.o.v. traditioneel gewapend beton. Dit is te herleiden uit het feit dat staalvezelbeton in de traditionele breker beter standhoudt dan beton zonder vezels.

Het resultaat van de slimme breker is dus afhankelijk van het voorbreken. Mocht dit niet in een traditionele breker, maar met een crusher worden gedaan, dan zal er na slim breken hoogstwaarschijnlijk meer van de grove fractie grind overblijven.

Cement is, net als staal, een milieuonvriendelijke grondstof in beton. Van de fijnste fractie uit de slimme breker, cementsteen, is onderzoek gedaan naar herbruikbaarheid hiervan. Uit onderzoek blijkt dat er tot 20% cement vervangen kan worden door dit cementsteen. Deze besparing van nieuw cement zorgt voor een reductie van de CO_2-uitstoot.
Het artikel over dit onderzoek is terug te vinden in bijlage 8.

Figuur 4.14: Granulaat fracties uit slimme breker

4.3 Milieu

Binnen het kader van de milieubelasting is er gekeken naar de energie die nodig is bij het breken van beton. In dit hoofdstuk worden de gegevens van de traditionele breker vergeleken met de metingen van de slimme breker. De gedetailleerde gegevens van de traditionele breker, gemeten door de VAR, staan in bijlage 7. In dit hoofdstuk worden alleen de totalen genoemd.

4.3.1 Energieverbruik puinbreker VAR

In tabel 4.15 is te zien wat de traditionele breker van de VAR aan energie verbruikte in 2012. Zo is bijvoorbeeld te zien dat er 199.447 ton is gerecycled. Als dit vergeleken wordt met het aantal uren dat de breker draait (ca. 1670), blijkt dat er 120 ton per uur wordt gedraaid.
In de tabel is verder te zien wat het verbruik in Giga Joule is per ton, in de kolom EVA (Energie Verbruik Analyse).

	VAR Mineralen puinbreker				
	Elektra verbruik	Diesel verbruik	Acceptatie	Tonnage recycling	EVA
	kWh	Liter	Ton	Ton	GJ/tonrecycling
Totaal	490.603	80.691	200.449	199.447	0,0365
Gemiddeld per maand	40.884	6.724	16.704	16.621	0,0398

Tabel 4.15: Meterstanden VAR puinbreker

4.3.2 Bepalen energieverbruik

Het energieverbruik van de traditionele breker is in tabel 4.15 benoemd. Deze waarde is uitgedrukt in GJ/tonrecycling. Dit wordt vergeleken met het verbruik van de slimme breker.
In tabel 4.16 staat de berekening van het aantal GJ/tonrecycling van de slimme breker.
Op de volgende pagina volgt de uitleg van deze berekening.

Slimme breker *(Prototype)*		
Waarde	**Eenheid**	**Bron of formule**
200	kg/uur	Capaciteit prototype
0,056	kg/s	Omgerekend per seconde ÷3600
P in	Watt = J/s	P = U * I
230	V	Spanning [U] is 230 Volt
4,00	I	Stroom [I] is 4 Ampère
920	W	Maximaal vermogen, energie is 920 J/s
920 J => 0,056 kg		920 J/s = 0,056 kg/s => secondes wegstrepen
16560	J/kg	920 * 1/0,056
0,01656	GJ/kg	Omrekenen van J/kg naar GJ/ton [$\div 10^6$]

Tabel 4.16: Berekening energieverbruik slimme breker

Van het prototype van de slimme breker is bekend dat deze 4 ampère stroom verbruikt. Met de formule P = U * I kan bepaald worden dat er met 230V spanning een vermogen van 920W nodig is. Dit vermogen mag ook uitgedrukt worden in 920 J/s.
De capaciteit van het prototype van de slimme breker is 200 kg/uur, of 0,056 kg/s.
Er is dus 920 Joule nodig om 0,056 kg beton te recyclen d.m.v. slim breken. Dit kan omgerekend worden naar het aantal Joules per kilo.
Er is 16.560 Joule nodig om 1 kg beton te recyclen. Dit betekent dat er $16.560/10^6 = 0{,}01656$ GJ/ton nodig is.
Voor dezelfde hoeveelheid heeft de traditionele 2,2 keer zoveel energie nodig (0,0365GJ/ton).
De grote slimme breker moet nog getest worden op energieverbruik, maar de verwachting is dat deze 5 keer zuiniger is dan het prototype. Dit zal nader onderzocht moeten worden wanneer de grootschalige versie bij de VAR draait.
De traditionele breker verwerkt per uur 3x zoveel dan de grootschalige versie van de slimme breker. Dit verschil is belangrijker voor de milieubelasting, dan het elektrische verbruik. In het hierop volgende hoofdstuk over de CO_2 uitstoot komt dit aan de orde.

4.3.3 CO_2 uitstoot

Het eerste deel gaat over het verschil in uitstoot tussen de verschillende breek methodes. In het tweede deel komt het verschil tussen staalvezelbeton en traditioneel gewapend beton aan de orde.

	VAR Mineralen puinbreker		
	Elektra verbruik CO_2	Diesel Productie CO_2	Totaal CO_2
	Ton	Ton	Ton
Totaal 2012	31,6	253,0	293,1

Tabel 4.17

Tabel 4.17 toont de CO_2 uitstoot van de puinbreker van de VAR. Wat opvalt is dat de meeste uitstoot van de dieselproductie afkomt en relatief weinig van het elektraverbruik. De uitstoot van CO_2 diesel ligt 8 maal zo hoog als van elektraverbruik in hetzelfde breekproces.
Diesel wordt door de shovels gebruikt om de aanvoer van de breker te verzorgen en om de uitvoer weer leeg te maken. Dit zal bij de slimme breker ook nodig zijn. Toch verwerkt de slimme breker in één uur een derde deel van wat de traditionele breker verwerkt, waardoor er ook minder aan- en afvoer per uur is voor de shovels. Een nadeel van slim breken is t.o.v. traditioneel breken dat het beton fijner voorgebroken moet worden i.v.m. kleinere afmetingen van de invoer.
Tijdens het breekproces van staalvezelbeton kan de emissie afwijken van het proces bij traditioneel gewapend beton. Dit verschil zit in het voorbreken van het beton. Bij staalvezelbeton kost het de crusher duidelijk meer energie om het beton te breken. Wanneer staalvezelbeton als combinatie met traditionele wapening is toegepast (hybride), kost het extra tijd om de traditionele wapening te sorteren en door de vezels ook meer energie. Dit is milieutechnisch ongunstig, omdat er dan veel diesel verbruikt wordt.

Traditioneel beton kost met voorknippen extra tijd om de wapening te sorteren. Echter breekt het beton daarna sneller kapot dan wanneer er staalvezels in zitten. In de conclusie komt de vergelijking tussen traditioneel, hybride en staalvezel gewapend beton duidelijker naar voren.

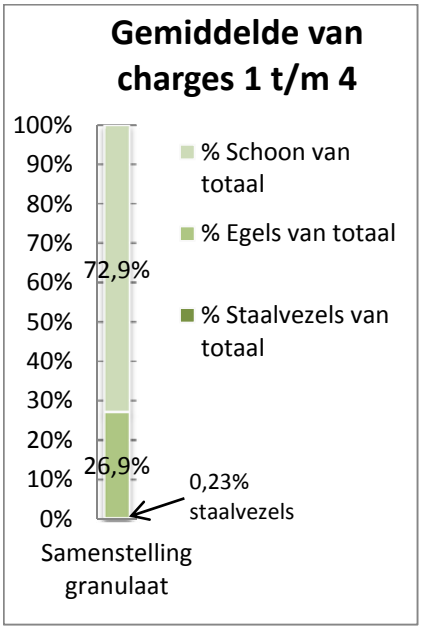
5. Conclusie

Aan de hand van antwoorden op de gestelde hoofd- en deelvragen is de conclusie van dit afstudeeronderzoek opgesteld. Eerst is er antwoord gegeven op de deelvragen om vervolgens de hoofdvraag te kunnen beantwoorden. Na alle vragen behandeld te hebben, is gekeken naar de hoofddoelen die gesteld zijn voorafgaande van het onderzoek.

5.1 Deelvraag 1

Welk percentage granulaat en wapening houd je over na het breken van traditioneel en staalvezel gewapend beton met de traditionele methode?

Granulaat
Op basis van de resultaten uit de testen komt er bij het traditionele breekproces van staalvezelbeton 72,9% granulaat schoon uit de breker. Dit is laag ten opzichte van de 100% die bij traditioneel gewapend beton vrijkomt. Deze lagere waarde heeft als verklaring dat er in het granulaat van staalvezel gewapend beton egels achter blijven. De 27,1% die niet tot schoon granulaat gerekend mag worden, bestaat voor 26,9% uit egels. Deze egels kunnen niet worden gebruikt als grindvervanger in nieuw beton. Hierdoor komt staalvezelbeton negatiever uit het onderzoek kijkend naar hergebruik van granulaat.



Grafiek 5.1

Samenstelling granulaat
In grafiek 4.7 en tabel 4.8 is te zien dat het granulaat van traditioneel gewapend beton uit meer grove korrels bestaat en dat het granulaat van staalvezel gewapend beton juist uit fijnere korrels bestaat. Deze resultaten geven aan dat granulaat van traditioneel gewapend beton beter als grindvervanger toe te passen is. Wanneer er fijner granulaat toegepast wordt als grindvervanger moet er meer oppervlak gebonden worden. Dit heeft als gevolg dat er meer water en cement er nodig is om een zelfde sterkte te behalen.

Wapening
Tijdens het onderzoek is naar voren gekomen dat in totaal 85,94% van alle staalvezels los uit het traditionele breekproces komen. De 14,06% dat nog niet is vrij gekomen bij het traditioneel breken zit deels in de egels en een deel zal als verlies gerekend moeten worden dat opgetreden is tijdens het knippen van de balken. Ten opzichte van 100% van de wapening bij traditioneel gewapend beton is dit geen positieve uitslag voor staalvezelbeton.

Het nadeel van traditionele wapening is dat het na het breekproces eerst omgesmolten moet worden om hergebruikt te worden. Een vervolgvraag op dit onderzoek is in hoeverre staalvezels direct na het breekproces hergebruikt kunnen worden zonder het eerst te hoeven omsmelten.

5.2 Deelvraag 2

Welke mogelijkheden zijn er voor granulaten uit staalvezelbeton zonder downgrading?

Het granulaat van staalvezelbeton bestaat uit 2 groepen, schoon granulaat en onbruikbare egels. Het schone granulaat kan 20% van het grind vervangen in nieuw beton. 72,9% van het granulaat wordt niet in een laagwaardige toepassing gebruikt. Het overige gedeelte van het granulaat (de egels) kan alleen toegepast worden als verharding onder (snel)wegen. Hierbij worden de egels als laagwaardige toepassing gebruikt. Het doel is juist om dit te voorkomen.

Een optie om het percentage egels te verminderen in granulaat is de breekinstallatie anders in te stellen. Wanneer deze zo ingesteld wordt dat het granulaat kleiner gebroken wordt, komen er minder egels vrij. Dit blijkt uit grafiek 4.10. Het nadeel van het fijner breken is dat het overige granulaat ook kleiner wordt en zo minder goed toegepast kan worden als grindvervanger.
Een andere variant ter voorkoming van egels is deze, zonder schoon granulaat, nogmaals door de breker te halen. De breker moet in dit geval fijner ingesteld worden. Nadelen hiervan zijn de extra handelingen, die hiervoor nodig zijn. Alle egels moeten uit het granulaat gesorteerd worden. Dit is niet mogelijk met de magneetband, omdat is gebleken dat de magneet niet sterk genoeg is om alle egels uit het granulaat te sorteren. Tot slot moeten de egels nogmaals door de breker gehaald worden. Dit kost meer tijd en energie.

Een andere optie is een vervolgstap op het traditionele breekproces. Het gebruik van de slimme breker. Hiermee kan downgrading voorkomen worden. Met een prototype hiervan is deze methode onderzocht en de conclusie hiervan staat weergegeven bij deelvraag 4.

Conclusie
Het granulaat, dat zonder staalvezels uit de breker komt, kan voor 20% in nieuw beton worden toegepast. De zogenoemde egels kunnen alleen als laagwaardiger materiaal worden toegepast. Bijvoorbeeld als fundering onder een wegverharding. Om downgrading te voorkomen kan men beton slim breken, zie hiervoor deelvraag 4.

5.3 Deelvraag 3

Welk effect heeft het breekproces van staalvezelbeton op de milieubelasting?

De traditionele breker werkt, evenals de slimme breker, op elektrische energie. De uitstoot van deze elektrische energie ligt relatief laag wanneer dit vergeleken wordt met de CO_2 uitstoot, die vrijkomt bij dieselproductie. Dit ligt 8 maal hoger dan bij het elektraverbruik bij de traditionele breker.

Diesel is zowel bij slim breken als bij traditioneel breken nodig voor het transporteren van het materiaal naar de invoer en voor de afvoer van het restproduct.
Er zit een verschil in de verwerkingssnelheid van de breker. De grootschalige versie van de slimme breker zal $1/3^e$ van de capaciteit van de traditionele breker per uur hebben, wat gunstiger is voor de uitstoot per uur. Wanneer capaciteit gelijk wordt getrokken zal het elektraverbruik ook toenemen. Het prototype van de slimme breker heeft de helft van de energie nodig om hetzelfde gewicht aan beton te verwerken. De grote versie zou 5 keer zuiniger moeten zijn dan de traditionele breker, echter is dit nog niet bewezen.
Om slim te breken zal beton verder voorgebroken moeten worden ten opzichte van traditioneel breken. Dit kost extra diesel voor de crusher en zorgt dus voor meer uitstoot. De CO_2 uitstoot van diesel is een factor 8 groter dan de uitstoot van het elektraverbruik, waardoor het energieverbruik van de breekinstallatie zelf weinig invloed heeft op het milieu.

Voor hybride gewapend beton betekent dit dat het milieutechnisch ongunstig is. Bij hybride gewapend beton kost het voorbreken namelijk het meeste tijd, energie en dus veel diesel vergeleken met het voorbreken van traditioneel gewapend beton of staalvezel beton.

Conclusie

Het effect van het breken van staalvezelbeton heeft geen grote invloed op de milieubelasting. Dit heeft als reden dat 90% van de totale uitstoot voor rekening is van de productie en diesel. Deze 90% komt voort uit de handelingen die nodig zijn om het proces om de breekinstallatie heen goed te laten verlopen. Deze handelingen verschillen bij staalvezel en traditioneel beton niet veel van elkaar. Het verschil op de milieubelasting is hierdoor verwaarloosbaar.

5.4 Deelvraag 4

Heeft het voor staalvezelbeton een positief effect wanneer je het granulaat door een slimme breker haalt?

De slimme breker zorgt er niet alleen voor dat het granulaat wordt omgezet in schone toeslagmaterialen, maar ook dat andere materialen als staalvezels en kunststoffen ongeschonden worden gescheiden van het beton. Zo blijkt uit hoofdstuk 4.2.1. Het heeft dus voor zowel staalvezelbeton als traditioneel gewapend beton een positief effect op de herbruikbaarheid.

In deze breker kunnen beide betontypes als gelijkwaardig worden beschouwd, omdat alle materialen los gewreven worden ter plaatse van het zwakste punt, de cementverbinding.
Eén van de nadelen van de slimme breker is dat het extra voorbereiding kost, voordat de breker zijn werk kan doen. Het beton zal moeten worden voorgeknipt om de granulaatbrokken hanteerbaar te maken voor de slimme breker, die een maximale ingang van 30cm heeft (prototype overigens ca. 50mm).

Het overgrote deel van de traditionele wapening zal vooraf moeten worden gescheiden van het beton om het breekproces beter te laten verlopen. Dit wordt ook gedaan bij de traditionele breker, die stukken van maximaal een meter kan verwerken.
Een tweede nadeel is dat het, ten opzichte van de traditionele breekmethode, meer tijd kost om het beton te breken. De traditionele breker verwerkt 120 ton per uur. De slimme breker heeft een capaciteit van 40 ton per uur. Slimme breker heeft een derde van de capaciteit van de traditionele breker.

Ondanks deze mindere punten is het restproduct uiterst geschikt om her te gebruiken. De schone toeslagmaterialen kunnen in hoogwaardig beton worden toegepast. Daar waar tegenwoordig 20% van nieuw beton uit granulaat mag bestaan, kan dit percentage omhoog geschroefd worden wanneer de schone toeslagmaterialen uit de slimme breker worden gebruikt als grindvervanger. Daarnaast kan het cementsteen tot 20% als cementvervanger gebruikt worden. Dit blijkt uit het artikel over de slimme breker, opgenomen in bijlage 8.

Conclusie
Wanneer de slimme breker wordt toegepast in het recycletraject van beton, zijn er tussen traditioneel en staalvezel gewapend beton geen verschillen qua samenstelling van herbruikbaar materiaal.

Hoofdvraag

Welke overeenkomsten zijn er tussen traditioneel en staalvezel gewapend beton in de sloop- en recyclefase?

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden wordt er eerst aangegeven wat de verschillen zijn in de sloop en recyclefase tussen traditioneel en staalvezel gewapend beton. Wanneer er door middel van een traditionele breker gebroken wordt is er een verschil te zien bij het granulaat. Het granulaat van traditioneel gewapend beton zit geen wapening meer en er zijn meer grote korrels aanwezig. In het granulaat van staalvezelbeton zijn nog wel staalvezels aanwezig in de vorm van egels. Bij dit onderzoek bleef er 14,1% van alle staalvezels achter in het granulaat als egels. Daarnaast bestaat het bruikbare granulaat van staalvezelbeton uit fijnere korrels, omdat in de grotere korrels nog staalvezels achter blijven (egels).

Overeenkomsten naar aanleiding van dit onderzoek zijn zichtbaar wanneer er gebruik wordt gemaakt van de slimme breker. Zichtbaar is dat het granulaat van zowel traditioneel als staalvezel gewapend beton in dezelfde samenstelling uit de slimme breker komt. Traditionele wapening wordt in voorbereiding op het breekproces uit het beton verwijderd, dit moet bij zowel traditioneel als hybride gewapend beton. Hierdoor is traditionele wapening in beide gevallen voor 100% recyclebaar na omsmelting. Na omsmelting kunnen ook de staalvezels die vrijkomen bij het breekproces voor 100% gerecycled worden, mogelijk dat er een gedeelte van de vrijgekomen staalvezels direct opnieuw gebruikt kan worden.
Omdat de slimme breker beton tot schoon grind en zand breekt, is het resultaat uit deze breker gelijk tussen beide betonsoorten.

Kort gezegd is er een verschil tussen traditioneel en staalvezel gewapend beton wanneer het traditioneel gebroken wordt. Wanneer deze 2 soorten beton gebroken worden door middel van de slimme breker zit er geen verschil in het granulaat wat uit de breker komt. Kijkend naar de wapening zit er na gebruik van de slimme breker ook geen verschil tussen traditionele wapening en staalvezels. Beide worden voor bijna 100% uit het beton gehaald en kunnen omgesmolten worden tot nieuwe wapening. Wellicht dat staalvezels hier nog winst kunnen boeken ten opzichte van traditionele wapening door een vervolg onderzoek naar de directe herbruikbaarheid van staalvezels na het breken.

Op de volgende pagina een schematisch overzicht met de voor en nadelen van traditioneel en staalvezel gewapend beton.

Hoofddoelen

1. *Het recyclen van hybride gewapende constructie-elementen met volledig hergebruik van de componenten granulaat en wapening, zonder dat er sprake is van downcycling.*

   Door middel van dit onderzoek is er een stap verder gezet in het volledig hergebruiken van beton. Er is inzichtelijk gemaakt hoe staalvezel gewapend beton zich gedraagt bij het traditionele breekproces. Nu is duidelijk wat de, met cijfers onderbouwde, verschillen zijn tussen traditioneel en staalvezel gewapend beton na het breekproces.

   Daarnaast is er gekeken naar een optie om downcycling te voorkomen van granulaat uit staalvezel beton. Uit het onderzoek is gebleken dat gebruik van de slimme breker een positief effect heeft op het granulaat dat hergebruikt kan worden. Waar bij het traditionele breekproces nog voor 26,9% aan egels in het granulaat achter bleven is dat bij gebruik van de slimme breker nog maar 0,4%. Dit geeft aan dat wapening bijna volledig uit staalvezelbeton gehaald kan worden. Naast de wapening heeft de slimme breker ook een positief effect op het granulaat.
   Uit het traditionele breekproces komt betongranulaat vrij, brokken van grind, zand en cementsteen. Dit betongranulaat kan, op dit moment, voor 20% als grindvervanger toegepast worden.
   Na het breken met de slimme breker komt grind en zand schoon uit het breekproces. Dit biedt nieuwe perspectieven betreft het hergebruik van het granulaat. Door middel van dit onderzoek is aangetoond wat de samenstelling is van het granulaat van staalvezelbeton, dat uit de slimme breker komt.

2. *Inzicht en kennis opdoen over de invloed van het sloop- en recycleproces van staalvezelbeton op het milieuprofiel.*

   Uit gegevens die bij dit onderzoek gevonden zijn, is er meer bekend geworden over staalvezelbeton. Deze gegevens geven meer inzicht in de gevolgen van recyclen van staalvezelbeton voor het milieuprofiel. Het milieuprofiel wordt opgesteld op basis van gegevens uit onderzoeken en van leveranciers. Over de recycling waren nog geen concrete en door een onderzoek onderbouwde getallen bekend. Door dit onderzoek is nu inzichtelijker hoe staalvezelbeton zich gedraagt tijdens de recyclefase.

   Door het onderzoek is naar voren gekomen dat het traditionele breekproces geen positief effect heeft op het milieuprofiel van staalvezelbeton. Door gebruik van de slimme breker wordt het milieuprofiel wel gunstiger. Ten eerste komt vrijwel 100% van de staalvezels uit het beton bij gebruik van de labversie. Naast dit voordeel is granulaat wat uit de slimme breker komt van betere kwaliteit dan uit een traditionele breker. Het granulaat uit de slimme breker oogt als schoon grind, zand en cementsteen. Door een vervolg onderzoek over dit granulaat kan bepaald worden in hoeverre dit herbruikbaar is in nieuw beton.

6. Aanbevelingen

Naar aanleiding van dit onderzoeksrapport zijn er een aantal vragen naar voren gekomen. Een vervolgonderzoek naar deze vragen zal het hoofddoel nog beter kunnen benaderen.

6.1 Slim breken

In dit onderzoek worden de eerste resultaten van de nieuwe slimme methode van breken duidelijk. Echter staat het nog in zijn kinderschoenen en een vervolgonderzoek hierna is zeker nodig.

Het prototype van de slimme breker heeft zich inmiddels bewezen, maar het is de vraag of de grote versie dit resultaat ook waar kan maken. Daarnaast is het de vraag of het proces om het breken heen niet te nadelig is. Voor slim breken zal het beton eerst voorgebroken moeten worden in brokken, die maximaal 300mm zijn. Daarnaast verwerkt de breker het beton 3 keer langzamer dan de traditionele breker. De vraag is of het resultaat opweegt tegen de extra tijd en handelingen die het kost. De eerste onderzoeken naar deze slimme breker zullen door de VAR gedaan worden.

6.2 Hergebruik toeslagmaterialen na slimme breker

De toeslagmaterialen die uit de slimme breker zien eruit als schoon grind en zand, zoals het vooraf ook in het beton is gegaan. Normaal gesproken wordt er maximaal 20% van beton vervangen door granulaat uit een traditionele breker.
Advies hergebruik toeslagmaterialen na slim breken:

- Is de hechtingslaag van de schone toeslagmaterialen beter of minder goed?
- Kan de 20% hergebruikt granulaat dusdanig opgeschroefd worden, zodat de kringloop van beton rond wordt?
- Heeft het toepassen van deze toeslagmaterialen invloed op de watercementfactor?

6.3 Milieu

De slimme breker is milieutechnisch niet meer belastend dan de traditionele breker. Echter vergt het wel meer voorbereiding voordat het te recyclen beton de slimme breker in kan. Dit zorgt voor extra dieselproductie, dat het milieu aantast. Het diesel verbruik is de grootste vervuiler bij het breekproces. Als gekeken wordt naar de CO_2 uitstoot van het breekproces is 10% van het totaal toe te rekenen aan de elektra, de overige 90% van de CO_2 uitstoot komt door gebruik van diesel.

Advies

Een vervolgonderzoek naar de milieubelasting van diesel per breekproces (slim breken en traditioneel breken). Diesel wordt gebruikt voor de machines die het proces om de breekinstallatie zelf goed te laten verlopen. Wanneer hier op bespaard kan worden, zal de CO_2 uitstoot van het gehele breekproces sterk afnemen.

7. Bronvermelding

7.1 Bronnen

- ABT (2011), *Kosten SVB vs. traditioneel gewapend beton*
- Bentoniek (nummer 25 juni 2012) *Een sterk staaltje*
- Bentoniek (nummer 1 feb. 2013) *AEC-granulaat*
- Braam C.R. (Agrabeton, nummer 5 2004), *Duurzaamheid: CEM I vs. CEM III*
- Brink, H.J. van der/Bovenkamp, M.V. van den, (13 sept. 2011) *Uitstoot CO_2 per grondstof beton*
- Cement&BetonCentrum: *Beton en CO_2, Feiten en trends*
- Gezamenlijk college van Deskundigen Recyclinggranulaten (2007), BRL 2506: *Recyclinggranulaten*
- CUR Aanbeveling 36: *Ontwerpen van elastisch ondersteunde betonvloeren en –verhardingen*
- CUR Aanbeveling 80: *Beton met menggranulaten als grof toeslagmateriaal*
- CUR Aanbeveling 106: *Beton met fijne fracties uit BSA-granulaten als fijn toeslagmateriaal*
- CUR Aanbeveling 112: *Beton met granulaat als grof toeslagmateriaal*
- Cursor 35 (24 juni 2010), *Artikel: Goedkoop bouwen dankzij 'paperclips'*
- DLV Bouw (Agrabeton, nummer 1 2006), *Kansen voor betonvloer met staalvezels*
- Documenten onderzoek TU Eindhoven
- Fibre Systems International, *Vezelbeton: Standaard Toepassing*
- Gompel, K. van (2009), *Zelfverdichtend vezel versterkt beton*
- Hermans, M.H. (2010), *Literatuurstudie TU Eindhoven van test woningcasco in SVB*
- NEN-EN 12620 (2008), *Toeslagmateriaal voor beton*
- NEN-EN 14650 (2005), *Vooraf vervaardigde betonproducten – algemene regels voor de productiecontrole in de fabriek van staalvezelbeton*
- NEN-EN 14721+A1 (2007), *Beproevingsmethode voor staalvezelbeton – meting van het vezelgehalte in betonspecie en verhard beton*
- NEN-EN 14845-2 (2006), *Beproevingmethodes voor vezels in beton- Deel 2: invloed op het beton*
- NEN-EN 14889-1 (2006), *Vezels in beton – Deel 1: Staalvezels – Definities, specificaties en conformiteit*
- NEN-EN 15804 (2012), *Duurzaamheid van bouwwerken – milieuverklaringen van producten en basisregels voor de productgroep bouwproducten*
- Poel, M. van der (Agrabeton, nummer 3 2007), *Betongranulaat als grindvervanger*
- Seggelen, M. van (Agrabeton, nummer 2 2002), *Staalvezelbetonvloer versus gewapend vloerveld*
- Stutech rapport 24 (april 2005), *EN 206-1 en diverse nationale invullingen*
- Stutech rapport 29 (november 2012) *Duurzaamheid als ontwerpcriterium voor beton – toegespitst op CO_2*
- Versele, N. (2007), Afstudeerscriptie Universiteit Gent: *Duurzaam grondstofgebruik voor gebouwen: afbraak en recyclage*

7.2 Presentaties

- Broere, P. (december 2010), *Recyclinggranulaat in beton*
- Köhne, H. (april 2011), *Leren van SVB-proefproject TU/e*
- Menting, M. (april 2011), *Praktische berekening in vezelversterkt beton*
- Nieuweboer, N. (april 2011), *Marktkansen van staalvezelbeton in prefab beton*
- Walraven, J. (april 2011), *Actuele ontwikkelingen in staalvezelbeton wereldwijd*

7.3 Voorgaande projecten

- TU/e (2010) Staalvezelbeton in woningbouwcasco
- TU/e (2013) Hybride wapening betonbalken (onderzoek voorafgaande van dit onderzoek)

7.4 Internet

www.argex.eu
www.bentumrecycling.nl
www.betonplaza.nl
www.cementenbeton.nl
www.cementonline.nl
www.dutchhall.nl
www.duurzaaminstaal.nl
www.ecoinvent.org
www.intron.nl
www.joostdevree.nl
www.kviv.be
www.mermansbeton.be
www.milieudatabase.nl
www.skao.nl
www.wapeninginbeton.nl
www.vermeuleningenieursbureau.nl
www.vnp-groep.nl
www.vobn.nl
www.wikipedia.org
wiki.bk.tudelft.nl