



## Gebruik van gerecycleerde rubbergranulaten in beton: eerste resultaten van het Rubost-project

Vanuit de vaststelling dat het in ons land ontbreekt aan voldoende ontwikkeling en innovatie binnen de markt voor recycling van oude banden, werd in 2017 het Green.er-fonds ([www.greener.fund](http://www.greener.fund)) opgericht om lokale projecten te ondersteunen die bijdragen tot de milieuvriendelijke en duurzame verwerking van oude banden en het potentieel gebruik als secundaire grondstof in welbepaalde toepassingen te bevorderen.



**Figuur 1** – Beschikbare materialen afkomstig van afvalbanden uit België (RRO) [R0-0,8 mm – R0,8-2,5 mm – R1,6-2,5 mm – R2,5-4,5 mm – “Cowhouse” 3/7 mm – gerecycleerde staalvezels]

Daarnaast heeft onderzoek in het buitenland aangetoond dat gebruik van rubbergranulaten in beton een potentieel toegevoegde waarde kan opleveren onder meer op vlak van verbeterde impactweerstand, verhoogde ductiliteit, gewichtsreductie, verlaagde krimp en verbeterde vorst-dooiweerstand in aanwezigheid van dooizouten, e.g. (Alam et al., 2015; Guo et al., 2014; Kew et al., 2004; Research Information Digest, 2005). Anderzijds blijkt uit diezelfde literatuur (Mohammadi et al., 2016; Pilakoutas, 2009) ook duidelijk de negatieve impact op de mechanische eigenschappen van het “rubberbeton”.

In deze context werd in 2019 het **Rubost-project** gestart met als doel de toepasbaarheid van gerecycleerde rubbergranulaten – afkomstig van afvalbanden – in betonnen veiligheidsstootbanden te evalueren met het oog op verbeterde verkeersveiligheid in de wegenbouw. Hierbij zou zowel een deel van de natuurlijke fijne (zand) als de grove (steenslag) granulaten in het beton kunnen worden vervangen.

Dit onderzoek richt zich vooral op ter plaatse gestorte elementen om de impactweerstand van het beton te verbeteren en de energieabsorptie bij aanrijding (*impact severity*) te verbeteren, terwijl de overige prestatie-eisen volgens de Europese normreeks EN 1317 “Afscherpende constructies voor wegen” (Bureau voor Normalisatie (NBN), 2002-2012) minimaal behouden blijven.

Dit Green.er-project, uitgevoerd in samenwerking met wegenbouwer Colas Belgium en met Rubber Recycling Overpelt (<https://www.rubberrecycling.be/>) als leverancier van de rubbergranulaten, is ingedeeld in verschillende fasen: karakterisering en selectie van de rubbergranulaten, invloed op de eigenschappen van het verse beton, impact op de eigenschappen van het verhard beton, optimalisatie van de betonsamenstelling voor veiligheidsstootbanden, en ontwikkeling van een prototype.

In dit artikel lichten we dit onderzoek en de huidige stand van zaken toe.

## Karakterisering en selectie van de rubbergranulaten

Doel van deze taak was de beschikbare afvalmaterialen (e.g. fijne, vermalen fractie = “*crumb rubber*”, grove fractie = “*tire chips*”, gerecycleerde staalvezels, enz.) op de Belgische markt te karakteriseren en hieruit materialen te selecteren die in beton kunnen worden toegepast.

Partner RRO leverde hiervoor verschillende materialen (figuur 1). Om de geschiktheid voor gebruik in beton na te gaan in overeenstemming met de Europese norm NBN EN 12620 (NBN, 2002+2008) en de Belgische PTV 411 (Be-CERT, 2019) zijn meerdere proeven uitgevoerd op de verschillende korrelfracties (en productiebatches).

De resultaten zijn weergegeven in tabel 1 en worden vergeleken met de eisen in het standaardbestek SB 250 (Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (AWV), 2021) en de eisen voor gerecycleerde granulaten volgens Annex E van NBN EN 206 (NBN, 2013+2021) (tabel 1, laatste rij). **Hieruit blijkt dat alle geteste materialen – buiten het zeer vervuilde product “Cowhouse” – voldoen aan de eisen van SB 250 versie 4.1a (Vlaamse Overheid, AWV, 2021) en als dusdanig bruikbaar zouden zijn in beton.** Sommige parameters – zoals de waterabsorptie – zijn weliswaar moeilijk of onmogelijk te meten op alle rubberfracties, en er is ook enige variatie mogelijk op verschillende batches van dezelfde korrelfractie (bijvoorbeeld fractie 1,6/2,5 in tabel 1).

Naast de technische eisen dient echter ook de milieuhygiënische kwaliteit (bv. met betrekking tot de uitloging van gevaarlijke stoffen) van de rubbergranulaten te worden nagegaan, vermits het afvalstoffen betreft die opnieuw in een vormgegeven bouwstof zullen worden gebruikt. Daartoe zijn screeningtests uitgevoerd volgens de Vlaamse Vlarena-wetgeving (Vlaamse Overheid, 2012).

Deze toonden aan dat de milieuhygiënische parameters allemaal voldeden, uitgezonderd de concentratie van zink (in ongebonden rubber), welke gebruikt wordt in de vulkanisatiereactie bij de productie. Daarom werden in een latere fase ook uitlogingsproeven uitgevoerd op proefstukken van “rubberbeton” (zie verder).

Op basis van al deze resultaten werd dan ook besloten de drie rubberfracties [0,0/0,8 (=0,5/2 mm); 0,8/2,5 (= 1,6/2,5 mm); 2,5/4,5 (= 2/4 mm)] te selecteren voor het verdere verloop van het onderzoek.

Fractie	Korrelmaat volgens EN 12620	MB [g/kg]	Absolute dichtheid $\rho_a$ [kg/m <sup>3</sup> ]	WA [%] Droge dichtheid $\rho_{rd}$ [kg/m <sup>3</sup> ] - *geschat	Ecs [s]	FI [-]	Cl <sup>-</sup> [%]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [%]
0,0/0,8	0/2 (0,5/2) GF 85 f3	< 0,33 (a)	931	- 890*	Niet meetbaar	-	0,0029	0,0029
0,8/2,5 Colas	1,6/2,5 GC 85/20 f0,5	-	1115	- 1056*	Niet meetbaar	-	0,0040	0,0070
1,6/2,5 Colas	1,6/3,15 GC 85/20	-	985	- 939*	- 939*	-	-	-
1,6/2,5 OCW	f0,5	-	1148	5,1 1085	-	-	-	-
2,5/4,5	2/4 GC 85/20 f0,5	-	-	-	-	-	-	-
“Cowhouse”	4/12,5 GC 90/15 f0,5	-	-	-	-	19	-	-
Eis SB250 versie 4.1	GF 85 [D≤4] f3 GC 85/20 [d>0] f4 [D≤8mm]	a (MB≤1,5)	-	Hoogwaardig betonpuin: WA <sub>10</sub> $\rho_{rd} \geq$ 2200	-	FI <sub>25</sub> [8<D≤16 mm]	CB (< 0,06%)	SS <sub>0,2</sub>

MB = methyleenblauwwaarde; WA = waterabsorptie; Ecs = stroomcoëfficiënt; FI = vlakheidsindex; "-" = niet gemeten

**Tabel 1** – Samenvatting van de resultaten van fysische en mechanische proeven op rubbergranulaten

## Invloed op eigenschappen van het verse beton

Om het effect van de incorporatie van rubbergranulaten op de eigenschappen van het verse beton te bestuderen, werd in deze fase de gecertificeerde betonsamenstelling voor veiligheidsstootbanden van partner Colas als basis gebruikt. Deze heeft de volgende specificaties:

- omgevings-/blootstellingsklasse: vorst met dooizouten;
- maximale korrelmaat  $D_{max} = 20$  mm;
- maximale water-cementfactor  $W/C_{max} = 0,50$ ;

- minimaal cementgehalte  $C_{\min} = 350 \text{ kg/m}^3$  CEM III/A 42,5 LA;
- gemiddelde druksterkte  $W_m \geq 50 \text{ MPa}$  na 90 dagen (SB 250);
- consistentieklasse: S1 (slump < 40 mm voor glijbekisting);
- luchtgehalte: 4-6% (gebruik van luchtbelvormer = LBV);
- kalksteengranulaten en twee types natuurzand;
- type lijnvormig element: veiligheidsstootbanden.

Om de verwerkbaarheid (in een glijbekistingsmachine) van het mengsel te garanderen, zijn de korrelverdelingskrommen geoptimaliseerd om het inert skelet van het referentiemengsel (zonder rubber) zoveel als mogelijk te benaderen, waarbij een deel van het volume aan natuurzand of kalksteenfractie 4/6 is vervangen door rubbergranulaten. Daartoe zijn verschillende proefmethoden volgens de normenreeks NBN EN 12350 “Testen van vers beton” (NBN, 2010-2022) gebruikt om het gedrag van het verse beton te evalueren (figuur 2a) terwijl gelijktijdig de druksterkte op kubussen na 28 dagen werd gecontroleerd voor een aanvaardbaar verlies.

Vervolgens zijn verschillende “rubberbetonsamenstellingen” met variërende fractie en gehalte aan rubber voorbereid met dezelfde dosering aan hulpstoffen als het referentiebeton. Hieruit bleek duidelijk de systematische stijging in verwerkbaarheid en luchtgehalte van de resulterende betonmengsels, in lijn met andere onderzoeken, e.g. (Atahan & Sevim, 2008). Dit effect lijkt ook meer uitgesproken te zijn voor de fijnere rubberfracties (0/0,8 en 0,8/2,5) waarbij het beton doorgaans te vloeibaar is en het luchtgehalte te hoog kan zijn.

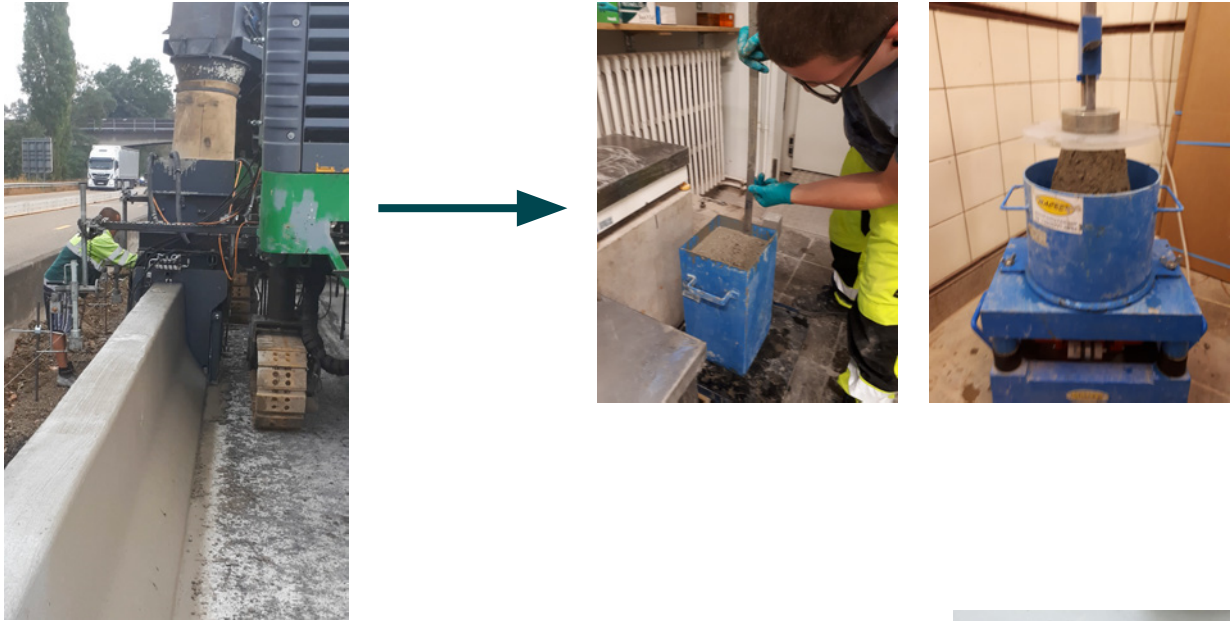
In tegenstelling tot de toegenomen vloeibaarheid en het hogere luchtgehalte is het negatieve effect op de druksterkte duidelijk zichtbaar (figuur 2b). Daarbij wordt een duidelijk verlies vastgesteld als functie van het gehalte zand (Z) of steenslag (S) dat vervangen wordt door rubbergranulaten, zo goed als onafhankelijk van het type of de korrelmaat van de rubberfractie binnen het geteste bereik. **Slechts tot 20 volumeprocent van het zand of grof granulaat** kan vervangen worden om de limietwaarde van 35 MPa op 28 dagen aan te houden, ook naar analogie met vroeger onderzoek, e.g. (Turatsinze et al., 2018). Anderzijds kon een meer ductiel gedrag geobserveerd worden voor de rubberbetonmengsels, en werd er een goede verdeling van de rubberdeeltjes in de betonmatrix verkregen (figuur 2b, foto).

In deze fase is ook de integratie van gezuiverde, gerecycleerde staalvezels van banden (RSTF) van de firma Twincon (Koutselas et al., 2010; Pilakoutas, 2017) bestudeerd (figuur 2b). In dit geval vertoonde de gerecycleerde staalvezelfractie (gedoseerd aan  $15 \text{ kg/m}^3$ ) echter geen toegevoegde waarde op het vlak van druk- of buigsterkte van de betonmengsels, al dan niet in combinatie met de rubbergranulaten. Deze piste werd dan ook verlaten in het vervolg van het onderzoek.

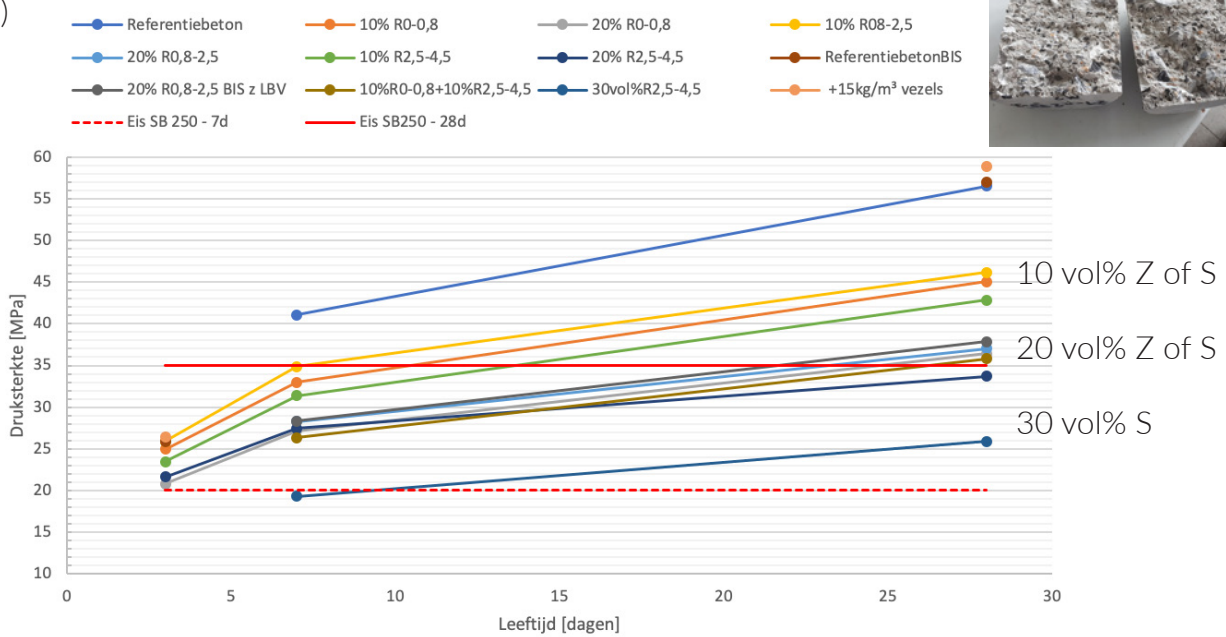
Op basis van deze eerste resultaten werd dan een verdere optimalisatie uitgevoerd van de rubberbetonmengsels (zonder LBV) die het mogelijk maakte de vloeibaarheid en het luchtgehalte beter te controleren, **met een slumpwaarde rond 20 mm en een luchtgehalte van  $4 \pm 0,5\%$ .**



A)



B)



**Figuur 2** - a) Evaluatie van de eigenschappen van het verse beton met verschillende methoden om de extrudeerbaarheid van het betonmengsel voor veiligheidsstootbanden te garanderen; b) Invloed van de incorporatie van rubbergranulaten (R0-0,8; R0,8-2,5 en R2,5-4,5) op de druksterkte-ontwikkeling (3, 7 en 28 dagen). Top: foto van verdeling van rubbergranulaten in de betonmatrix

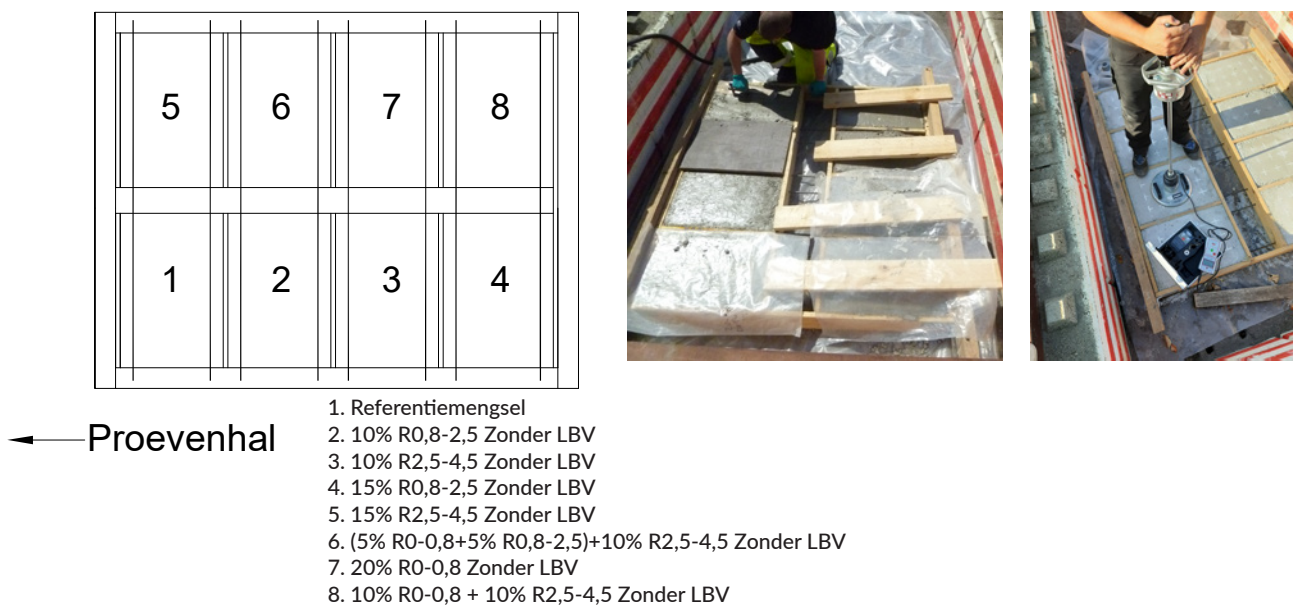
Daarnaast zijn in deze fase ook combinaties van verschillende rubberfracties getest, waarbij **zowel een deel van het zand als van het steenslag** (bv. 10% R0-0,8 + 10% 2,5-4,5 en [5% R0-0,8 + 5% R0,8-2,5] + 10% 2,5-4,5) werd vervangen. Al de acht geteste mengsels voldeden daarbij aan de eis van 35 MPa in deze fase.

## Impact op de eigenschappen van het verhard beton

Als resultaat van de vorige fase zijn dus een aantal “rubberbetonsamenstellingen” op punt gesteld op het vlak van verwerkbaarheid en wat betreft een aanvaardbaar verlies van druksterkte. Om een fijnere selectie te maken alvorens een meer uitgebreide studie aan te vatten van de eigenschappen voor verhard beton, werd eerst een soort screening uitgevoerd. Die screening betrof de potentiële toegevoegde waarde van rubbergranulaten op het vlak van energieabsorptie bij impactbelasting zoals aangegeven in de literatuur, e.g. (Atahan & Yücel, 2012).

### Screening van energieabsorptie bij impact

Voor deze fase werden met de Duitse dynamische plaatproef (*Light-weight deflectometer – LWD*) op acht verschillende betonplaten proeven uitgevoerd, gebruikmakend van verschillende betonsamenstellingen, zoals aangegeven in figuur 3. Deze proef wordt normaal enkel toegepast op funderingsmaterialen om de dynamische vervormingsmodulus  $E_{v,d}$  te bepalen (Kudla et al., 2012). In dit geval kan de deflectiecurve van de plaat echter worden gebruikt om de hoeveelheid geabsorbeerde energie te berekenen gedurende de dynamische impactkracht door het valgewicht (ca. 7,07 kN).



**Figuur 3** – Dynamische plaatproeven op acht verschillende betonplaten om het potentieel voor energieabsorptie bij impact te screenen

Op basis van deze proeven zijn dan vijf betonmengsels geselecteerd voor verdere proeven in een volgende fase:

- M1 = Referentiebeton (geen rubber);
- M2 = 10 % R0-0,8 + 10 % R2,5-4,5 zonder LBV;
- M3 = 15 % R2,5-4,5 zonder LBV;
- M4 = 15 % R0,8-2,5 zonder LBV;
- M5 = (5 % R0-0,8 + 5 % R0,8-2,5)+10 % R2,5-4,5; zonder LBV.

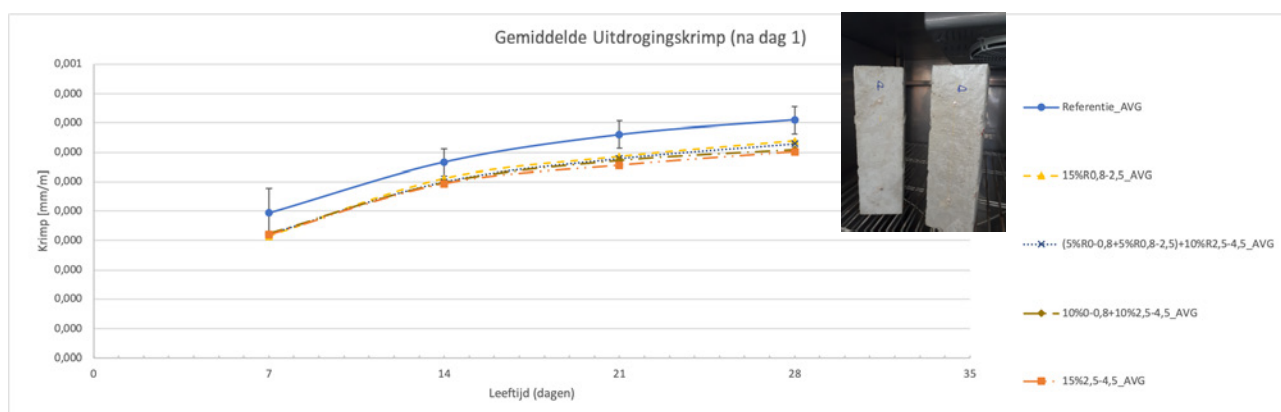
## Effect op eigenschappen van verhard beton

Voor de geselecteerde betonsamenstellingen werd dan eerst nagegaan of aan de eisen betreffende de voorstudie voor gecertificeerd wegenbeton volgens het Vlaamse SB 250 (Vlaamse Overheid, AWW, 2021) kon worden voldaan (tabel 2). Daarnaast werden ook het effect van het rubber op de elasticiteitsmodulus onder druk, de buig- en slijttreksterkte, en het krimpgedrag bestudeerd.

	$D_{max}$	Min. cementgehalte	Max. W/C-factor	Buigtreksterkte 28 d	Druksterkte 28 d	Druksterkte 7 d	Vorst-dooiweerstand in aanwezigheid van doozouten
Lijnvormige elementen	31,5 mm	$\geq 350 \text{ kg/m}^2$	0,5	-  (4 MPa voor BF)	40 MPa (lucht < 3%) 35 MPa (lucht $\geq 3\%$ )	25 MPa (lucht < 3%) 20 MPa (lucht $\geq 3\%$ )	Afschilfering $\leq 3,00 \text{ kg/m}^2$

**Tabel 2** – Vereisten voor wegenbeton in veiligheidsstootbanden (lijnvormige elementen) in Vlaanderen (Vlaamse Overheid, AWW, 2021)

Alle mengsels voldoen aan de vereisten van tabel 2, uitgezonderd de vorst-dooiweerstand voor M3: met een gemiddelde afschilfering van  $3,52 \text{ kg/m}^3$  is die lichtjes boven de grenswaarde. Voorts vertonen de resultaten voor de buigsterkte (gemiddeld verlies van 20 % ten opzichte van het referentiebeton, maar wel nog  $> 4 \text{ MPa}$ ), de slijttreksterkte (verliezen tot 40 % als functie van rubbergehalte) en de E-modulus (ongeveer 30 GPa voor rubberbeton) aanvaardbare waarden. Deze waarnemingen zijn ook in lijn met vroeger onderzoek (Aslani, 2016).



**Figuur 4** – Resultaten voor uitdrogingskrimp als functie van de tijd (gemiddelde resultaten voor drie testprisma's) van verschillende rubberbetonmengsels (volle lijn = referentie, streepjeslijnen = rubberbeton)

Tot slot is er ook een duidelijk effect van de rubbergranulaten op de uitdrogingskrimp zichtbaar, zoals geïllustreerd in figuur 4; **gemiddeld is er een reductie van 10-15% zichtbaar in de krimpwaarden** (in mm/m) op 28 dagen, wat betekent dat hier ook geen specifieke problemen verwacht worden voor de geteste rubberbetonsamenstellingen.

## Impactbelasting en energie-absorptie

Op basis van de mechanische proeven zoals hierboven beschreven, zijn alle vijf mengsels ook getest op hun gedrag ten aanzien van impactbelasting en hun potentiële toegevoegde waarde voor energieabsorptie. Daarvoor werden in eerste instantie impactproeven uitgevoerd op proefkubussen met zijde 15 cm volgens de procedure van (Snoeck et al., 2018) (figuur 5).



**Figuur 5** – Impactproeven op kubussen met zijde 15 cm volgens (Snoeck et al., 2018)

Hierbij laat men een stalen kogel met een gewicht van 1 kg vanop een hoogte van 1 m vallen op het oppervlak van de kubus, waarna de terugslaghoogte wordt gemeten met behulp van een camera om de zogenaamde restitutiecoëfficiënt  $r_c$  te meten:

$$r_c = \sqrt{h_t/h_i} \quad (1)$$

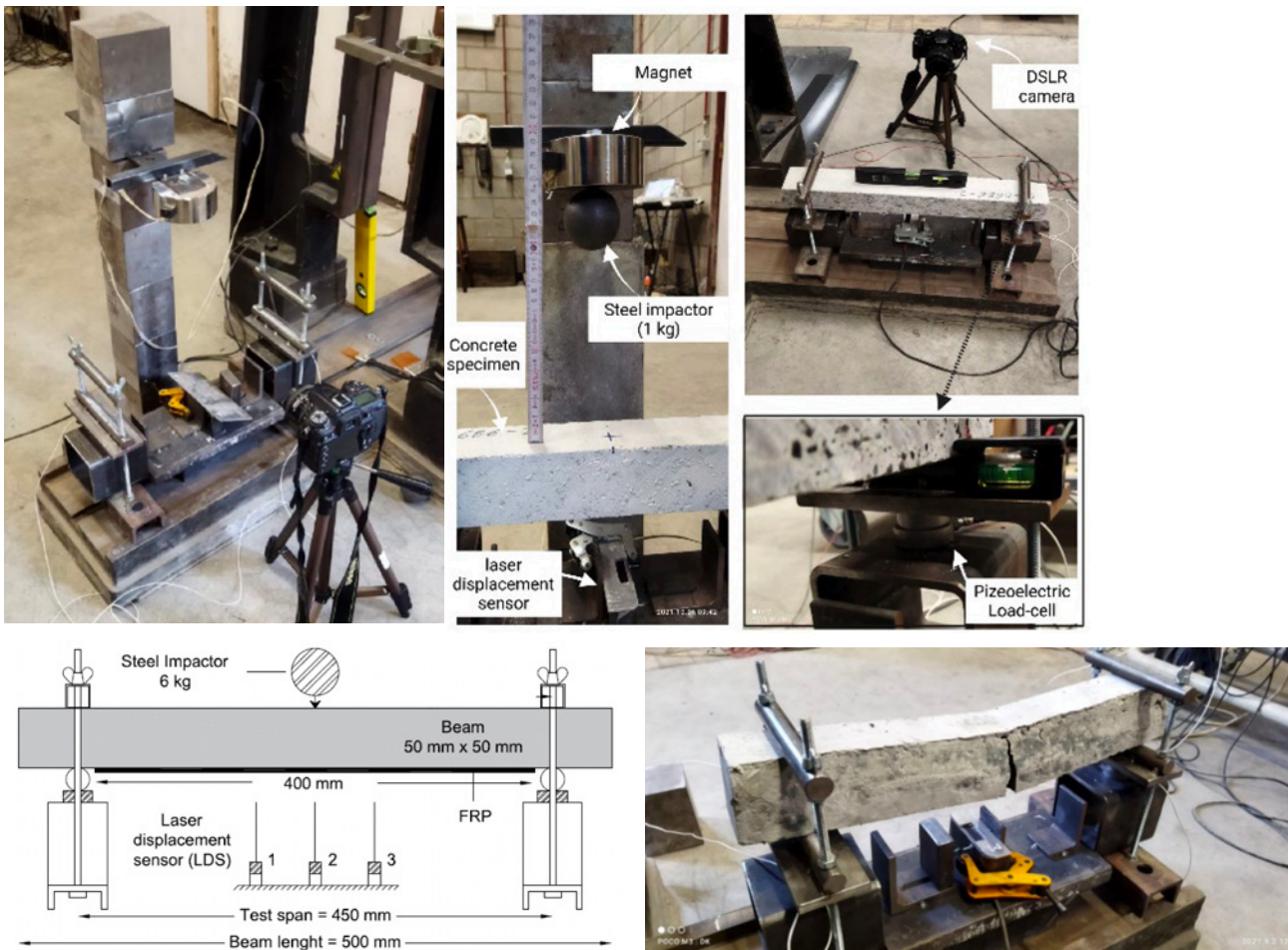
Met:  $h_t$  = terugslaghoogte en  $h_i$  = initiële hoogte.

Hoe hoger de waarde van  $r_c$ , hoe meer energie wordt geabsorbeerd, en deze waarde werd bepaald bij opeenvolgende impacts op de testkubussen. Het effect van de rubbergranulaten was gemiddeld wel zichtbaar, maar nauwelijks significant en moeilijk te onderscheiden tussen de verschillende rubberbetonmengsels.

Daarom zijn verdere proeven uitgevoerd met een andere experimentele opstelling zoals getoond in figuur 6 [aangepast van (Memon et al., 2020)]. Hierbij worden valproeven met een aangepaste valhoogte van 20 cm uitgevoerd op prismatische proefstukken ( $75 \times 75 \text{ mm}^2$  en een lengte van 50 cm) die worden ingeklemd ter hoogte van de steunpunten. Op die manier konden verschillende parameters worden bepaald in een poging om de potentieel toegevoegde waarde van het rubberbeton op vlak van impactbelasting te evalueren:



- maximale verplaatsing bij elke impact;
- aantal impacts tot falen van het proefstuk;
- maximale reactiekracht aan de steunpunten;
- scheurwijdtes.



**Figuur 6** – Experimentele opstelling en instrumentarium gebruikt voor impactproeven op betonprisma's van  $75 \times 75 \text{ mm}^2 \times 50 \text{ cm}$  (@Universiteit Gent)

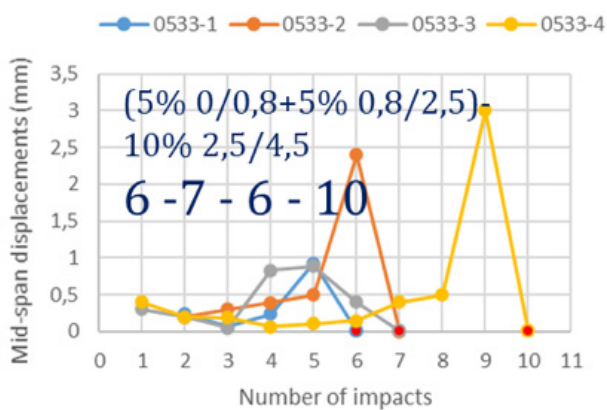
Samenvattend, werden verschillende zaken waargenomen voor deze impactproeven (figuur 7):

- er is veel variatie zichtbaar in de resultaten;
- een niet-uniform aantal impacts tot breuk wordt gemeten voor elk betonmengsel;
- rubberbetonsamenstellingen vertonen meer verplaatsing en dus meer ductiel gedrag;
- een graduele vermindering van de reactiekracht is zichtbaar met toenemend aantal impacts, wat wijst op meer absorptie van energie, en over het algemeen wordt een grotere vermindering verkregen bij stijgend rubbergehalte;
- de startwaarde van de reactiekracht varieert lichtjes als functie van betonmengsel én proefmonster;
- microscheuren worden waargenomen bij de rubberbetonmengsels en de maximale verplaatsingen kunnen worden gelinkt met initiatie van scheuren;
- microscheuren zijn groter bij rubberbeton M3 in vergelijking met M2.

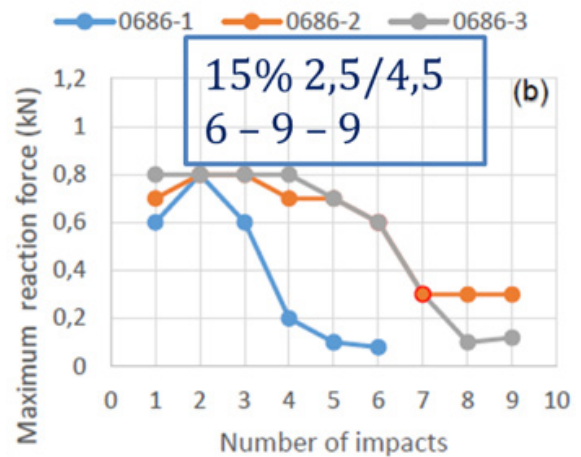
Daarom is een **meer globale interpretatie** van de testresultaten nodig, aan de hand van drie belangrijke parameters:

- 1.+2. Gemiddeld verschil in maximale reactiekracht per impact in verhouding tot de waarde bij de eerste impact: zowel absoluut (in kN) als relatief verschil (in %);
3. Gemiddeld aantal impacts tot falen (breuk) van de verschillende proefmonsters.

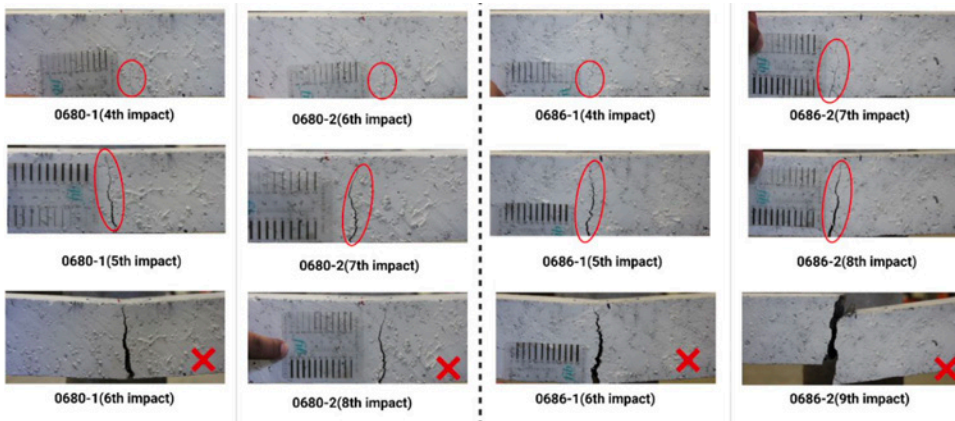
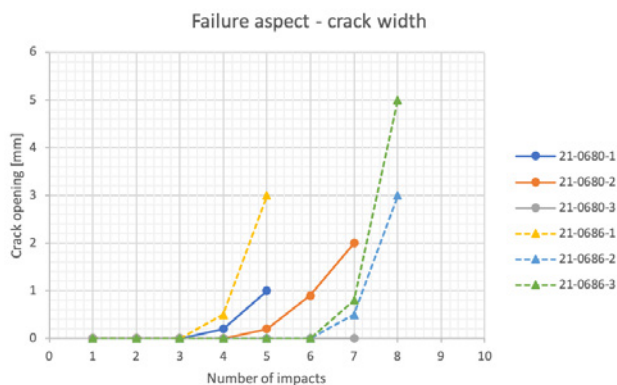
A)



B)



C)



**Figuur 7** – Voorbeelden van resultaten verkregen uit proeven van figuur 6: a) maximale centrale verplaatsing als functie van aantal impacts [mengsel M5]; b) maximale reactiekracht aan de steunpunten versus aantal impacts [M3]; c) scheurwijdte-evolutie en faalmodus [M2 & M3] ©Ugent/OCW

Gebaseerd op dit gecombineerde criterium van grootste vermindering van de reactiekracht met een hoger aantal impacts tot breuk, zijn uiteindelijk rubberbetonsamenstellingen M3 (15% R2,5-4,5) en M5 ([5% 0-0,8 + 5% 0,8-2,5] + 10% 2,5-4,5) geselecteerd voor de laatste fase van het onderzoek, samen met het referentiebeton M1. Een samenvatting van hun mechanische prestaties, gebruikt als input voor de simulaties (zie verder) wordt gegeven in tabel 3.

Mix	Rc 28d [MPa]	Rt,fl 28d [MPa]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	E <sub>C,s</sub> [GPa]	Rt,sp 28d [MPa]
M1 (reference)	56,4 ± 1,6	6,26 ± 0,51	2382	41,2 ± 4,1	4,39 ± 0,21
M3	39,0 ± 1,6	5,00 ± 0,34	2316	32,2 ± 1,3	2,54 ± 0,26
M5	37,5 ± 1,4	5,02 ± 0,32	2268	34,5 ± 0,4	2,49 ± 0,25
remark	On cubes	4-point bending	apparent	Elastic modulus	Splitting tensile

**Tabel 3** – Eigenschappen van verhard beton voor drie geselecteerde betonsamenstellingen voor de finale (en nog in uitvoering zijnde) fase van het Rubost-project

## Recycleerbaarheid en milieu-aspecten

Naast de prestatie-eisen van het rubberbeton zoals bestudeerd in dit onderzoek, zijn ook de recycleerbaarheid en de milieuhygiënische kwaliteit van belang in het kader van een circulaire economie. Daarom is het tweede (of derde als functie van het perspectief) leven van het gebroken rubberbeton ook onderzocht met betrekking tot de scheiding van het rubber van het beton wanneer we het opnieuw zouden gebruiken als gerecycleerd granulaat in bouwkundige toepassingen. Daarnaast moeten ook de milieuhygiënische parameters, zowel voor gebruik in vormgegeven als niet-vormgegeven bouwstoffen, worden gecontroleerd volgens het Vlarema (Vlaamse Overheid, 2012).

## Recycleerbaarheid van “rubberbeton”

Hiertoe werden zowel proeven op laboratoriumschaal uitgevoerd door OCW in samenwerking met partner Colas (figuur 8) als een genormaliseerde classificatieproef volgens Annex I van PTV 406 (COPRO, 2020), op gebroken rubberbetonmateriaal en gebruik makend van de labobreker bij Colas (figuur 8a).



**Figuur 8** – Proeven op laboratoriumschaal om recycleerbaarheid van rubberbeton na te gaan: a) labobreker beschikbaar bij Colas met resulterend gebroken rubberbeton; b) proeven bij OCW om het aandeel “losse” en “gebonden” rubberdeeltjes te bepalen

Uit al deze proeven blijkt de gebruiksgeschiktheid als (grof) gerecycleerd betongranulaat (> 4 mm) in de wegenbouw aangezien het gehalte niet-vlottende verontreiniging 0,0 % bedroeg (klasse  $X_1$  - volgens EN 933-11 (NBN, 2009)) en het aandeel vlottende deeltjes minder dan  $3 \text{ cm}^3/\text{kg}$  droge massa bedraagt (klasse FL5-). Bijgevolg zou er **geen probleem voor toepassing van het rubbergranulaat in beton mogen zijn als de toegevoegde waarde tenminste kan worden aangetoond**<sup>1</sup>, en zeker rekening houdend met de gebruikte rubberpercentages (< 5 massaprocent in ons geval). Echter dienden er ook nog uitlogingsproeven op proefkubussen te worden uitgevoerd, zoals hieronder besproken.

## Milieuhygiënische kwaliteit

Om het “tweede en derde leven” van de rubberafvalmaterialen in beton na te gaan, werden ook nog volgende proeven uitgevoerd op batches van betonmengsel M2 en M5:

- Maximale beschikbaarheid en diffusietest op betonnen proefkubussen volgens CMA/2/II/A.9.3 en 9.2 = tweede leven op vormgegeven bouwstof (Vlaamse Overheid, Energie- en Milieuinformatiesysteem voor het Vlaamse Gewest [emis], 2020).
- Een kolomproef op gebroken materiaal volgens CMA/2/II/A.9.1 = derde leven op niet-vormgegeven bouwstof.

Ten eerste bleek hieruit dat voor alle geteste zware metalen de **immissiewaarden (in  $\text{mg}/\text{m}^3 \cdot 100 \text{ jaar}$ ) beneden de limietwaarden** lagen volgens Annex 2.3.2.C van het Vlaamse Vlarema (Vlaamse Overheid, 2012) voor gebruik in vormgegeven bouwstoffen, zelfs voor Zink, dat nog problemen gaf voor het zuivere rubbermateriaal (zie boven).

<sup>1</sup> Na discussie en bespreking ook met de Openbare Afvalstoffenmaatschappij (OVAM) in Vlaanderen



Ten tweede toonden de resultaten van de kolomproef op gebroken “rubberbeton” dat alle uitlogingsparameters ver beneden de grenswaarden liggen zoals vermeld in Annex 2.3.2B van Vlarema (Vlaamse Overheid, 2012) voor hergebruik als gerecycleerd granulaat (niet-vormgegeven bouwstof), en ook veel lager als het zuivere rubbergranulaat 2,5-4,5 mm.

Bijgevolg is de **milieuhygiënische kwaliteit van het rubberbeton ook perfect in lijn met de huidige regelgeving**, door de integratie in de cementmatrix en het verdunningseffect, en dus ook geschikt voor toepassing vanuit dit standpunt.

## Conclusies en perspectieven

In het kader van het Green.er-project Rubost onderzoekt OCW de **mogelijke toepassing en toegevoegde waarde van rubbergranulaten afkomstig van afvalbanden in ter plaatse gestort beton voor veiligheidsstootbanden**. Het onderzoek is georganiseerd in verschillende fasen. Deze fasen betreffen de evaluatie van het rubbermateriaal voor toepassing in beton, het effect op de eigenschappen van het verse beton, de invloed op het verhard beton en de voordelen op het vlak van energieabsorptie bij impactbelasting, en tot slot de milieuhygiënische kwaliteit van de resulterende betonmengsels.

Tot dusver werden **verschillende rubberbetonmengsels op punt gesteld** om te voldoen aan de conventionele (voornamelijk mechanische) vereisten volgens de standaardbestekken voor de wegenbouw, inclusief trek- en buigsterkte, elasticiteitsmodulus en het krimpgedrag. Daarnaast zijn ook de milieuaspecten en de recycleerbaarheid onder de loep genomen in het kader van een meer circulaire economie, en ook de potentieel toegevoegde waarde van het rubber tijdens impactproeven op laboratoriumschaal is duidelijk geïdentificeerd.

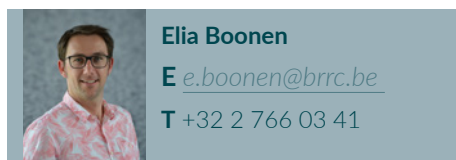
In de finale (en nog in uitvoering zijnde) fase van het project beogen we een **prototype van “rubberbeton veiligheidsstootband”** te ontwikkelen vertrekkende van de twee overgebleven rubberbetonsamenstellingen. Op basis van numerieke simulaties in verschillende stappen en de combinatie met fysieke botsproeven op “rubberbeton muurtjes” (aangemaakt door partner Colas) wordt gepoogd meer informatie te bekomen over het gedrag van beide rubberbetonsamenstellingen. Het doel is niet om “echte botsproeven” op reële veiligheidsstootbanden (volgens normenreeks EN 1317 (NBN, 2002-2012)) uit te voeren, maar wel proeven op kleinere schaal met een personenvoertuig om de toegevoegde waarde van het rubber te demonstreren en het numeriek model te kalibreren voor het simuleren van de gestandaardiseerde crashtesten. Als de resultaten positief blijken te zijn, kan deze oplossing in de toekomst dan ook worden gecommercialiseerd.



**Figuur 9** – Aanmaak van “rubberbetonplaten” bij de betoncentrale van Colas te Zolder, die gebruikt zullen worden voor de fysieke impactproeven met een personenvoertuig

## Dankbetuiging

De auteurs wensen partner Rubber Recycling Overpelt te bedanken voor het aanleveren van de rubbermaterialen en andere nuttige informatie tijdens het onderzoek, en partner Colas voor de praktische medewerking en ondersteuning tijdens het project. Daarnaast betuigen we ook onze dank aan het Green.er-fonds en de Koning Boudewijnstichting voor de financiële ondersteuning.



**Elia Boonen**

E [e.boonen@brrc.be](mailto:e.boonen@brrc.be)

T +32 2 766 03 41



**Wietze Claesen**

E [w.claesen@brrc.be](mailto:w.claesen@brrc.be)

T +32 2 766 03 44



**Kris Redant**

E [k.redant@brrc.be](mailto:k.redant@brrc.be)

T +32 10 23 65 38

## Literatuur

Alam, I., Mahmood, U. A., & Khattak, N. (2015). Use of rubber as aggregate in concrete: A review. *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering (IJASGE)*, 4(2), 92–96.

Aslani, F. (2016). Mechanical properties of waste tire rubber concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering (JMCEE7)*, 28(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001429](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001429)

Atahan, A. O., & Sevim, U. K. (2008). Testing and comparison of concrete barriers containing shredded waste tire chips. *Materials Letters*, 62(21-22), 3754–3757. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2008.04.068>

Atahan, A. O., & Yücel, A. Ö. (2012). Crumb rubber in concrete: Static and dynamic evaluation. *Construction and Building Materials*, 36, 617–622. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.068>

Be-CERT. (2019). *Codificatie van de granulatens overeenkomstig de normen NBN EN 12620, NBN EN 13043, NBN EN 13139 en NBN EN 13242 (Technisch Voorschrift [PTV] No. 411, uitgave 2.5)*. [http://www.be-cert.be/documents/reglements-benor/granulats/ptv-411\\_nl uitgave-2-4\\_bcg-21062018.pdf](http://www.be-cert.be/documents/reglements-benor/granulats/ptv-411_nl uitgave-2-4_bcg-21062018.pdf)

- Bureau voor Normalisatie (2002-2012). *Afscherpende constructies voor wegen* (NBN EN 1317-[1-5]).
- Bureau voor Normalisatie (2002+2008). *Granulaten voor beton* (NBN EN 12620+A1). [https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-12620-a1-2008\\_23722/](https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-12620-a1-2008_23722/)
- Bureau voor Normalisatie (2009). *Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van granulaten. Deel 11: Classificatiebeproeving voor de bestanddelen van grove gerecyclede granulaten* (NBN EN 933-11+AC). <https://www.nbn.be/shop/nl/zoeken/?src=t&k=en+933-11>
- Bureau voor Normalisatie (2010-2022). *Beproeving van betonspecie* (NBN EN 12350-[1-12]). <https://www.nbn.be/shop/nl/zoeken/?k=12350&page=3>
- Bureau voor Normalisatie (2013+2021). *Beton: Specificatie, prestaties, productie en conformiteit* (NBN EN 206+A2). [https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-206-2013-a2-2021\\_28874/](https://www.nbn.be/shop/nl/norm/nbn-en-206-2013-a2-2021_28874/)
- COPRO. (2020). *Technische voorschriften voor gerecycleerde granulaten* (Technische Voorschriften [PTV] No. 406, versie 9.0). <https://www.copro.eu/nl/ptv-406>
- Guo, Y., Zhang, J., Chen, G., & Xie, Z. (2014). Compressive behaviour of concrete structures incorporating recycled concrete aggregates, rubber crumb and reinforced with steel fibre, subjected to elevated temperatures. *Journal of Cleaner Production*, 72, 193–203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.036>
- Kew, H. Y., Cairns, R., & Kenny, M. J. (2004, September 14-15). The use of recycled rubber tyres in concrete. In M. C. Limbachiya & J. J. Roberts (Eds.), *Proceedings of the international conference on sustainable waste management and recycling: Used/post-consumer tyres*, London, UK (pp. 135–142). ICE Publishing.
- Koutselas, K., Neocleous, K., Angelakopoulos, H., & Pilakoutas, K. (2010, October 13-15). Specifications for the construction of steel fibre-reinforced roller compacted concrete roads. In *11th international symposium on concrete roads: The answer to new challenges*, Sevilla, Spain. European Concrete Paving Association (EUPAVE).
- Kudla, W., Bumiller, B., Cejka, A., Deutler, T., Diehl, U., Franzen, K.-H., Jansen, D., Kliesch, K., Kloubert, H.-J., Kratzer, B., Iammen, H., Lange, W., Neuhaus, M., Nickol, R., Paulsen, A., Schlögl, f., Soos, P. von, Straussberger, D., & Weingart, W. (2012). *Technical testing regulations for soil and rock in road construction (TP BF-StB). Part B 8.3: Dynamic plate load testing with the light drop-weight tester (FGSV-R1 No. 591/B 8.3 E)*. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV). <https://www.fgsv-verlag.de/tp-bf-stb-part-b-8-3-e-pdf>
- Memon, D., Matthys, S., & Lecompte, D. (2020, November 22-24). Numerical analysis of small-scale concrete beams strengthened with CFRP under impact loading. In B. Zhao & X. Lu (Eds.), *Concrete structures for resilient society: 17th Proceedings of the FIB symposium 2020, Shanghai, China*. International Federation for Structural Concrete (FIB). <https://biblio.ugent.be/publication/8681747/file/8686576>

- Mohammadi, I., Khabbaz, H., & Vessalas, K. (2016). Enhancing mechanical performance of rubberised concrete pavements with sodium hydroxide treatment. *Materials and Structures (M&S)*, 49(3), 813–827. <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-015-0540-7>
- Pilakoutas, K. (Ed.). (2009). *EcoLanes: Economical and sustainable pavement infrastructure for surface transport: Publishable final activity report*. [https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20120315\\_100620\\_30751\\_Publishable\\_Final\\_Activity\\_report-EcoLanes.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20120315_100620_30751_Publishable_Final_Activity_report-EcoLanes.pdf)
- Pilakoutas, K. (2017). *Anagennisi: Innovative reuse of all tyre components in concrete* (Definitieve rapport, versie 1.7). <https://cordis.europa.eu/docs/results/603/603722/final1-final-report-v1-7.pdf>
- Research information digest 5: Granulated rubber. (2005). *Concrete*, 39(10), 6–8.
- Snoeck, D., de Schryver, T., & de Belie, N. (2018). Enhanced impact energy absorption in self-healing strain-hardening cementitious materials with superabsorbent polymers. *Construction and Building Materials*, 191, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.015>
- Turatsinze, A., Measson, M., & Faure, J.-P. (2018). Rubberised concrete: From laboratory findings to field experiment validation. *International Journal of Pavement Engineering*, 19(10), 883–892. <https://doi.org/10.1080/10298436.2016.1215688>
- Vlaamse Overheid. (2012). *VLAREMA: Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van het Vlaams reglement betreffende het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen* (Versie 01/07/2022). <https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=43991>
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer. (2021). *Standaardbestek 250 voor de wegenbouw* (Versie 4.1a). <https://wegenverkeer.be/zakelijk/documenten/standaardbestek#250>
- Vlaamse Overheid, Energie- en Milieuinformatiesysteem voor het Vlaamse Gewest. (2020). *Compendium voor monsterneming en analyses van afvalstoffen en bodem (CMA)* (Gedeeltelijk geüpdatet). <https://emis.vito.be/nl/erkende-laboratoria/bodem-en-afvalstoffen-ovam/compendium-cma>