

Selectief slopen van betonconstructies

Ontwikkeling in-situbetonidentificatietechniek

Nedeljković, Marija; Schlangen, E.; Fennis, Sonja

Publication date

2021

Document Version

Final published version

Published in

Cement: vakblad voor de betonwereld

Citation (APA)

Nedeljković, M., Schlangen, E., & Fennis, S. (2021). Selectief slopen van betonconstructies: Ontwikkeling in-situbetonidentificatietechniek. *Cement: vakblad voor de betonwereld*, 2021(8), 24-31.
<https://www.cementonline.nl/article/15512/ODYxMjZkMGRINDhmNTgwNmFhM2ExNzQwM2QyNjVIYmM=>

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Green Open Access added to TU Delft Institutional Repository

'You share, we take care!' - Taverne project

<https://www.openaccess.nl/en/you-share-we-take-care>

Otherwise as indicated in the copyright section: the publisher is the copyright holder of this work and the author uses the Dutch legislation to make this work public.

Selectief slopen van betonconstructies

Ontwikkeling in-situbetonidentificatietechniek



Momenteel wordt gerecycled beton meestal toegepast als wegfundering en daarmee 'gedowncycled'. Dat komt onder meer doordat er geen informatie beschikbaar is over de kwaliteit van het gesloopte beton. Hoogwaardig hergebruik van gerecyclede toeslagmaterialen in nieuwe betonconstructies vereist een strengere kwaliteitscontrole. Aan de TU Delft wordt nu in samenwerking met Rijkswaterstaat een methode ontwikkeld – een niet-destructieve betonidentificatietechniek gebaseerd op chemische en ultrasone analyse – om 'gezond' beton vóór het slopen te karakteriseren en te scheiden van 'aangetast' beton. Met die methode kan beton ook worden voorgesorteerd op sterkteklasse en kwaliteit zodat er meer garantie kan worden gegeven voor de kwaliteit van het nieuwe beton.

Rijkswaterstaat heeft als doelstelling in 2030 circulair te werken en wil dan 50% minder grondstoffen gebruiken.

Beton speelt daarbij een belangrijke rol, immers de meeste infrastructuur in Nederland is gebouwd met beton. Het aanbod aan bouwen sloopafval, waarvan betonafval een groot deel uitmaakt, zal alleen maar toenemen door veroudering en verslechtering van onze betoninfrastructuur. Betonpuin wordt al 100% gerecycled, maar het overgrote deel wordt gedowncycled en gebruikt als wegfundering. In ideaal circulair beton moet gerecycled betonpuin hoogwaardig worden ingezet om primaire grondstoffen grind en zand te vervangen (fig. 2).

Eigenschappen betonpuin

Omdat er geen sorteermethode beschikbaar is, wordt het puin van verschillende soorten beton door recyclingbedrijven gemengd. Dat kan gaan om traditioneel beton, ultra-hogesterktebeton, licht beton, zwaar beton, vezelversterkt beton enz. Ook kan het beton gedurende de levensduur zijn blootgesteld aan verschillende omgevingscondities, onder wisselende omstandigheden van droog-nat, chlorides, carbonaat, chemische aantasting, alkali-silicareactie (ASR) (fig. 4). Het beton met verschillende samenstellingen komt tijdens het slopen dus bij elkaar terecht, zowel 'gezond' beton als aangetast beton.

Het is zeer moeilijk, zo niet onmogelijk, om een betonconstructie te slopen met voor-kennis over herkomst en eigenschappen van alle componenten. Informatie over het cement, toeslagmaterialen, vezels, coating, maar ook over eigenschappen als sterkteklasse en wapening bij het vervaardigen van het beton is moeilijk te verkrijgen. En mocht die informatie uit het ontwerp al te achterhalen zijn, geldt dit niet voor de factoren die het beton tijdens de levensduur hebben beïnvloed (chloride-indringing, chemische aantasting, ASR).

Daardoor variëren ook de eigenschappen van de uit het puin verwekte granulaten [2]. Deze variaties leiden ook weer tot variaties in de eigenschappen van nieuwe betonmengsels, waarbij toeslagmateriaal is vervangen door dat betongranulaat [3]. Dat geldt bijvoorbeeld voor de sterkte. Onderzoekers toonden aan dat beton gemaakt met toeslagmateriaal uit gerecycled 'high-performance beton' een hogere druksterkte ontwikkelde dan beton met toeslagmateriaal uit gerecycled beton met normale sterkte. Onder meer Lotfi toonde aan dat de kwaliteit van het originele beton een bepalende parameter is voor de uiteindelijke eigenschappen van het betongranulaat [4].

Betonidentificatietechniek

Juist omdat er de komende tijd steeds meer constructies het einde van hun levensduur bereiken en omdat de wens bestaat →

auteurs



**DR.IR. MARIJA
NEDELJKOVIC**

Onderzoeker
Rijkswaterstaat /
TU Delft, fac. CiTG,
Sectie Materialen en
Milieu



**PROF.DR.IR. ERIK
SCHLANGEN**

Hoogleraar
Experimentele
Micromechanica
TU Delft, fac. CiTG,
Sectie Materialen en
Milieu



**DR.IR. SONJA
FENNIS**

Technisch Adviseur
Rijkswaterstaat



Primair grind



Primair zand



Grof betongranulaat



Fijn betongranulaat



Na het recyclen van betonelementen van bekende herkomst en kwaliteit kan gerecycled materiaal worden opgeslagen in afzonderlijke bulkopslag

REDENEN TOT SLOOP

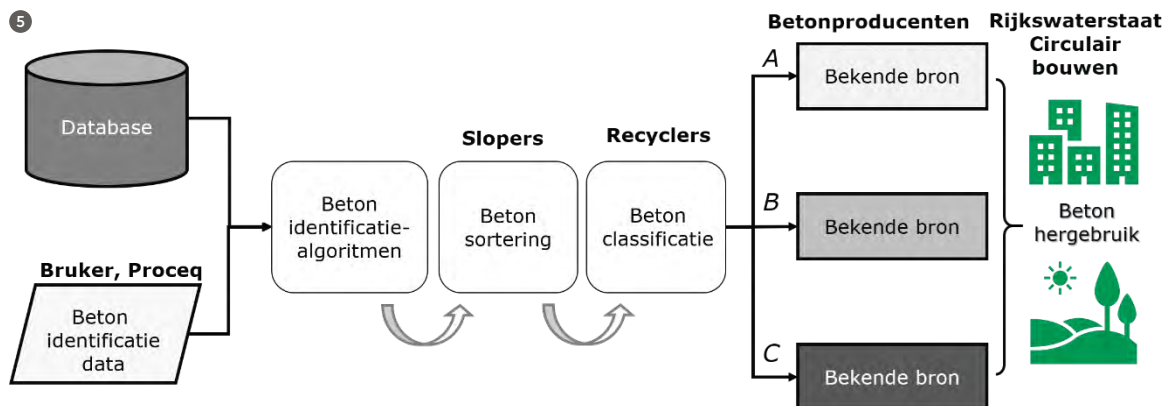
Dat constructies worden gesloopt kan verschillende redenen hebben. Figuur 3 toont verschillende voorbeelden. Oorzaken hiervoor waren (1) het einde van de levensduur van een brug, (2) slecht onderhoud van een brug samen met een toename van het aantal voertuigen (wat resulteerde in een catastrofale storing), (3) vervangen van een bestaande burgconstructie vanwege de komst van een tramlijn op de brug (het oude brugdek kon de nieuwe belasting van de tram niet aan) en (4) het vervangen van woningen door energiezuinige woningen.

Voor het merendeel van de bruggen en viaducten dat in Nederland is gesloopt geldt dat dat om functionele redenen is gedaan, bijvoorbeeld voor een betere doorstroming op het wegennet of vanwege het aanleggen van een extra spoor. Een kleiner deel is gesloopt om technische redenen, zoals onvoldoende draagvermogen (ontwerpbelastingen, accidentele overbelasting) [1].

De reden waarom een constructie wordt gesloopt kan soms ook al iets zeggen over de kwaliteit van het beton.



4



4 Alle beton wordt eerst op een hoop gegooid

5 Globaal schema van projectaanpak

Om de verschillende soorten beton te classificeren, worden de sterkte en chemische samenstelling van het beton in kaart gebracht

betonpuin hoogwaardiger te hergebruiken, zou het enorm helpen als we meer weten over de kwaliteit van het originele beton. Een manier is het uitvoeren van destructief onderzoek. Maar dat is moeizaam, kost veel tijd en is duur. Daarom is dit voorjaar op de TU Delft een project gestart voor de ontwikkeling van een niet-destructieve techniek, waarmee de oorsprong en de kwaliteit vóór sloop van beton kan worden geïdentificeerd (fig. 5). Het onderzoek wordt gefinancierd door Rijkswaterstaat, SKKB en TU-Delft en in-kind bijdrages van Benelux Scientific en Proceq.

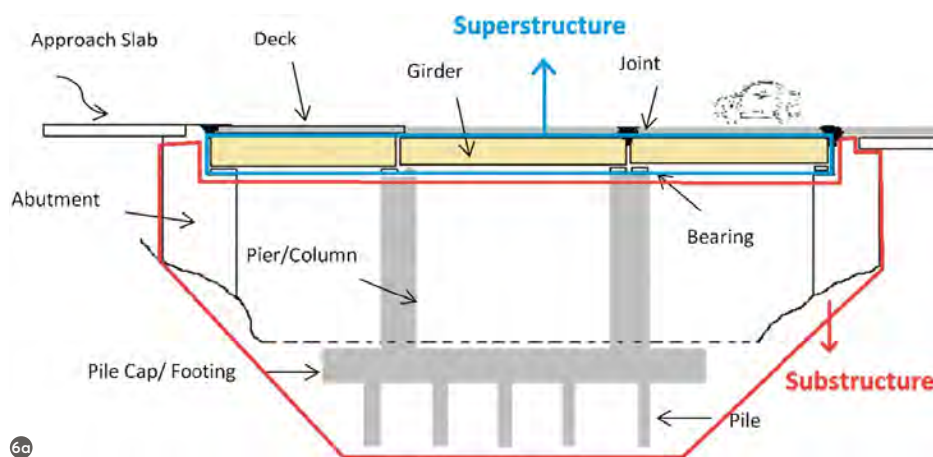
Het uiteindelijke doel van dit project is onderscheid te maken tussen verschillende soorten beton, zodat het materiaal effectief kan worden afgebroken, gerecycled en eenvoudig opnieuw kan worden gebruikt in nieuw beton. Een voorbeeld staat in figuur 6, waar verschillende delen van een betonnen brug worden gescheiden en beton wordt geïdentificeerd voordat het wordt gerecycled. De sortering gebeurt aan de hand van de belangrijkste parameters (cementtype, toelagmateriaal, sterkte of verontreiniging).

Recyclingbedrijven krijgen zo de kans om beton te selecteren met eigenschappen die het beste passen bij hun breektechnologie en bedrijfsmodel. Na het recyclen van betonelementen van bekende herkomst en kwaliteit, kan een geavanceerde classificatie worden gemaakt en kan gerecycled materiaal worden opgeslagen in afzonderlijke bulkopslag. Daarbij kan bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt tussen betongranulaat van hogesterktebeton zonder verontreiniging, betongranulaat van normalesterktebeton zonder verontreiniging, betongranulaat uit lichtgewicht beton zonder verontreiniging, betongranulaat uit verontreinigd beton.

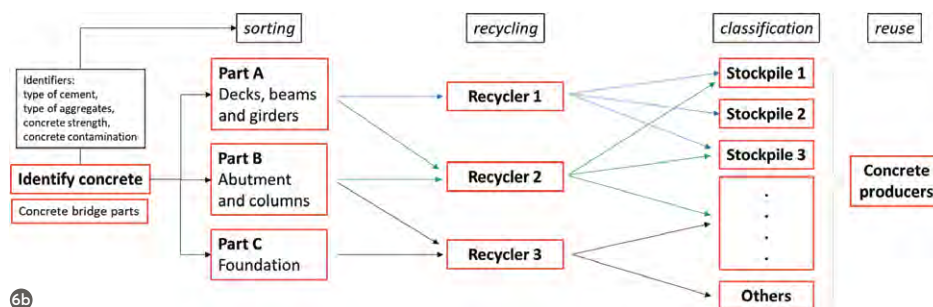
Deze sortering, die tot nu toe nooit wordt gedaan, kan betonproducenten helpen bij het maken van nieuw beton.

Uitdagingen

Het nauwkeurig en betrouwbaar testen van de belangrijkste eigenschappen en samenstelling van in-situbeton kent diverse uitdagingen. In-situmetingen kennen de nodige onzekerheden, onder meer door gevoelig-



6a



6b

heid van het meetinstrument en de invloed van de omgeving. Ook de betonsamenstelling is zeer heterogeen.

Het ontbreekt aan experimentele benaderingen die op niet-destructieve wijze de chemische en mechanische eigenschappen van betonconstructies kunnen bepalen. Vooral het meten van de chemische samenstelling van beton vóór sloop is een groot knelpunt.

Onderzoeksopzet

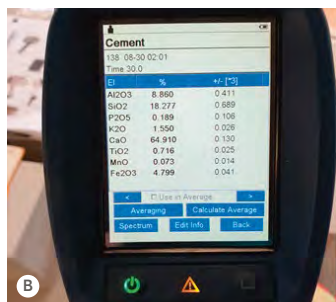
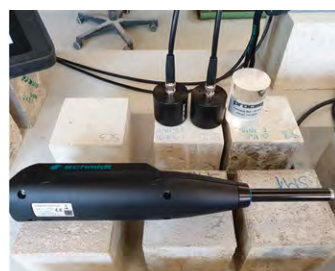
In het project wordt samen met RWS onderzocht welke eigenschappen essentieel zijn om te testen voor hoogwaardig hergebruik van beton en waar deze informatie beschikbaar moet zijn. Het fundamentele karakter van de vragen in deze studie maakt het onderzoek

relevant en toepasbaar voor elke betonsamenstelling. In het onderzoek wordt het te ontwikkelen concept toegepast op in Nederland veelgebruikte betonsamenstellingen (tabel 1). Om de verschillende soorten beton te classificeren, moeten in eerste instantie de sterkte en chemische samenstelling van het betonoppervlak in kaart worden gebracht.

Er bestaan enkele veelbelovende tests voor niet-destructieve betonkarakterisering, zoals de handheld X-ray fluorescentie (hXRF)-metingen (geleverd door BRUKER) (fig. 7). De hXRF-toepassing is een nieuwe techniek voor het chemisch identificeren en kwantificeren van elementen met verschillende soorten beton en dus verschillende gebruikte cement- en toeslagmaterialen. Als de chemische elementsamenstelling van het cement →

Tabel 1 De meest gebruikte cementsoorten in Nederland [6]

hoofdsoort	benaming	aanduiding cementsoort	hoofdbestanddelen			overige bestanddelen (gesommeerde gehalten)	beton totaal [7] (totaal is som van betonmortel en betonproducten)
			portlandklinker	gegranuleerde hoogovenslak	poederkoolvliegias		
%							
I	portlandcement	CEM I	95-100	–	–	0-5	34%
II	portland vliegascement	CEM II/B-V	65-79	–	21-35	0-5	2,6%
III	hoogovencement	CEM III/A	35-64	36-65	–	0-5	10%
		CEM III/B	20-34	66-80	–	0-5	52%



A. Betonoppervlak testen met hXRF

B. Elementsamenstelling van betonoppervlak

C. Rebound Hammer (Silver Schmidt)

D. Ultrasonics Pulse Velocity (Pundit PL200)

E. Ultrasonics Pulse Echo (Pundit PL200PE)

Zodra de chemische elementsamenstelling van het cement en toeslagmateriaal is gekarakteriseerd, wordt deze automatisch door middel van een algoritme gekoppeld aan de juiste betonsamenstelling vanuit een voor dit project ontwikkelde database

en toeslagmateriaal is gekarakteriseerd, wordt die automatisch gekoppeld aan de juiste betonsamenstelling, door middel van een algoritme en een voor dit project ontwikkelde database, waarin de samenstelling van de meest gebruikte cement-, zand- en grindsoorten is opgenomen voor vergelijking (fig. 8).

Naast de chemische identificatie wordt ook de betonsterkte bepaald. Dit door middel van een combinatie van ultrasone pulstesten en met de Schmidt Rebound Hammer (terugslaghamer) (geleverd door PROCEQ) (fig. 7).

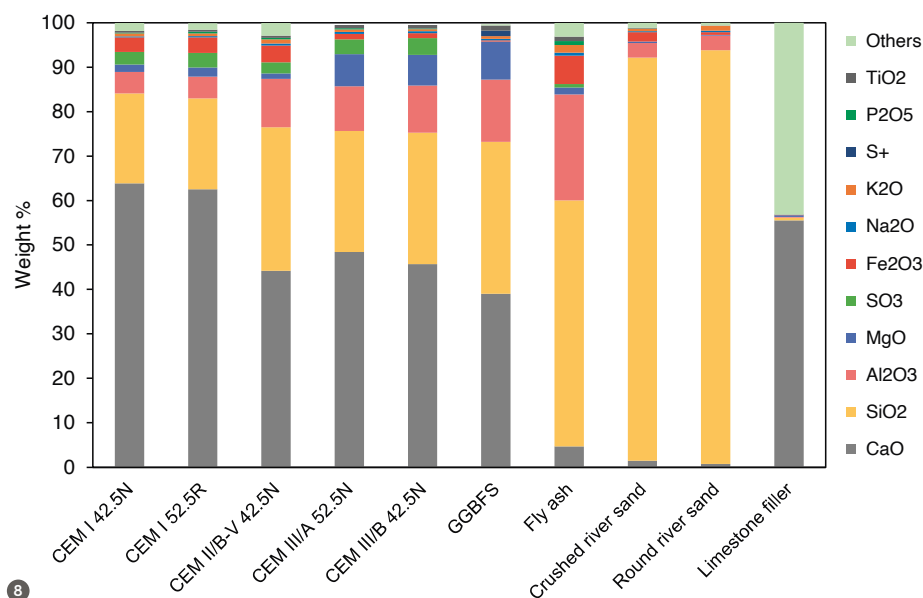
In het onderzoek worden de resultaten van deze meetmethoden gevalideerd met destructieve laboratoriummethoden (Cube press, desktop XRF, petrography, Energy-dispersive X-ray spectroscopy).

Testen chemische samenstelling

Bij het testen van de chemische samenstelling van verhard beton ligt de uitdaging in het herkennen van cementpasta, het fijne toeslagmateriaal en het grove toeslagmateriaal. Kreijger [13] toonde aan dat de huid van een betonconstructie uit drie lagen bestaat, de cementhuid (~ 0,1 mm dik), de mortelhuid (~ 5 mm) en de betonhuid (~ 30 mm) (fig. 9). Daarom is de hypothese dat met het testen van de chemische samenstelling van

het oppervlak (eerste huidlaag) het cementtype kan worden bepaald, terwijl het testen van de chemische samenstelling van interne lagen het type toeslagmateriaal oplevert. Labmonsters (pasta, mortel, beton) met bekende samenstelling zullen worden geproduceerd en de resultaten worden gebruikt voor kalibratie. Vergelijking van spectra van geteste pasta-/mortel-/betonoppervlakken laat zien of cementpasta, fijne en grove toeslagmaterialen duidelijk te onderscheiden zijn.

De karakterisering van beton zal een grote hoeveelheid gegevens genereren die systematische verwerkingsalgoritmen nodig hebben voor de identificatie van beton. Voor de sterkte waarden en hXRF-spectra die in situ zijn verzameld, beschikken de instrumenten niet over interpretatiesoftware. Daarom zullen algoritmen voor de automatische identificatie en vergelijking van de sterkte waarden en in situ verkregen XRF-spectra worden ontwikkeld. Om deze reden zijn patroonherkenningsalgoritmen nodig om het type cement en toeslagmaterialen in beton te matchen en te detecteren op basis van database- en karakteriseringsgegevens. Vooral in het geval van betonidentificatie zijn clusteralgoritmen een belangrijk hulpmiddel voor de evaluatie van de heterogeniteit. Hiervoor is internationale samenwerking met Dr. Nikola Tošić (UPC Barcelona) opgezet.



Testen betonsterkte

Voor het bepalen van de betonsterkte wordt zoals gezegd gebruikgemaakt van ultrasone pulstesten in combinatie met de terugslaghamer. EN 12504-2:2021 [8] specificeert de methode voor het bepalen van de terugslagwaarde, terwijl EN 12504-4:2021 [9] de methode specificeert voor het bepalen van de ultrasone pulssnelheid. EN 13791:2019 [10] vat richtlijnen samen voor de beoordeling van de in-sitdruksterkte van beton in constructies. Daarnaast wordt een aanbeveling voor niet-destructieve in-situsterktebeoordeling van beton gegeven door RILEM TC249-ISC [11, 12]. Algemeen wordt gesteld dat het meten van terugslagwaarde niet bedoeld is als alternatief voor de druksterkte-tests, maar met een geschikte correlatie kan het een schatting geven van de sterkte ter plaatse, die voldoende kan zijn voor selectieve sloopdoeleinden.

Verwachte uitkomsten

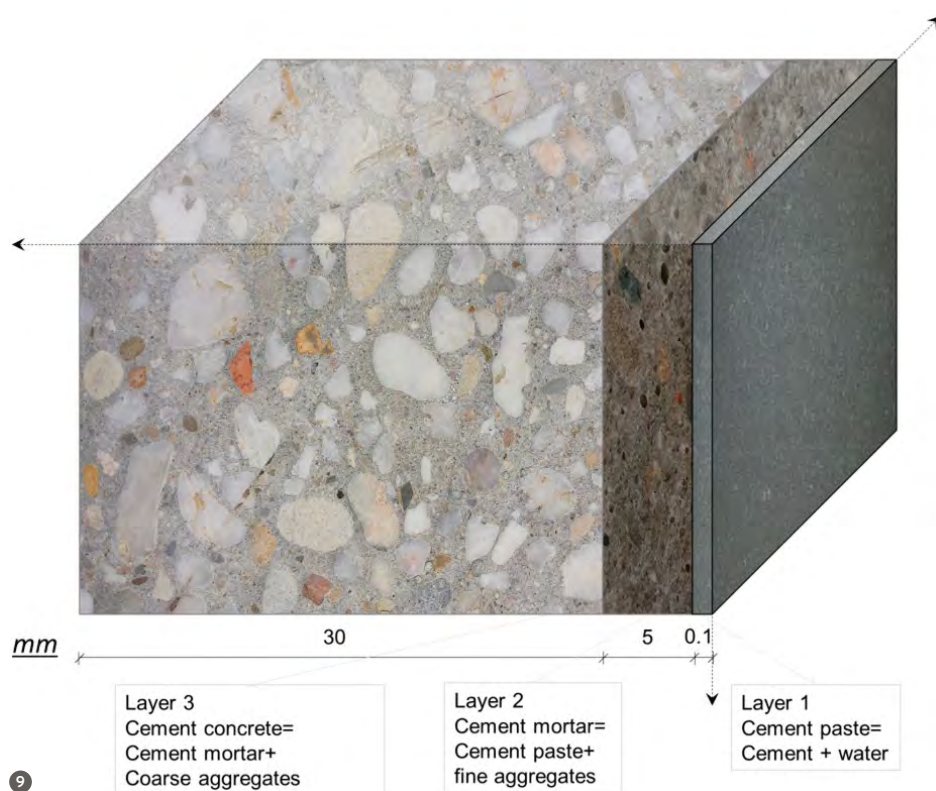
Het te ontwikkelen concept biedt voor het eerst een alomvattend kader voor het selectief slopen van betonconstructies. De directe gebruikers van de resultaten uit dit onder-

zoek zijn Rijkswaterstaat, VERAS (sloopaannemers), BRBS (recycling bedrijven) en Betonhuis (betonproducenten). Uiteindelijk zal het betonpuinrecyclers in staat stellen om de kwaliteit van hun producten te verbeteren, waarna betonproducenten en Rijkswaterstaat gerecycled betongranulaat van bekende kwaliteit kunnen gebruiken in nieuwe betonconstructies.

Verdere verwachte resultaten zijn:

- een uitgebreide database over eigenschappen van beton;
- een aanpak voor betonoorsprong- en kwaliteitsidentificatie vóór sloop van beton;
- automatisch bepalen van de betonkwaliteit op basis van de algemene betoneigenschappen die zijn opgeslagen in de database;
- gestructureerde aanpak voor slim slopen, sorteren en aanbieden van betonpuin op basis van gelijkwaardige kwaliteit en bekende herkomst.

Tot slot kan deze technologie ook een potentieel identificatiemiddel zijn tijdens de levensduur van infrastructurale betonconstructies om hun kwaliteit en eigenschappen te bepalen. ●



LITERATUUR

- 1 RWS Grote Projecten en Onderhoud, Sloopoorzaken bruggen en viaducten in en over rijkswegen, Iv-Infra b.v. 2016.
- 2 Nedeljković, M., Visser, J., Nijland, T. G., Valcke, S., & Schlangen, E. (2021). Physical, chemical and mineralogical characterization of Dutch fine recycled concrete aggregates: A comparative study. *Construction and Building Materials*, 270, 121475.
- 3 Akis Mylonas, MSc Thesis, Delft University of Technology (2021), Experimental investigation of concrete mixtures incorporating recycled concrete aggregates, <http://resolver.tudelft.nl/uuid:e0075d76-d0c9-4425-8214-9317303e8721>
- 4 Lotfi, S., C2CA Concrete Recycling Process. 2016, PhD thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- 5 Bektas, B. A., Carriquiry, A., & Smadi, O. (2013). Using classification trees for predicting national bridge inventory condition ratings. *Journal of Infrastructure Systems*, 19(4), 425-433.
- 6 <https://www.betonvereniging.nl/media/15669/1-dictaat-bba-januari-2018.pdf>.
- 7 Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw, Vergelijking 1990, 2010 en 2017, CE Delft, 2020.
- 8 EN 12504-2 Testing concrete in structures - Part 2: Nondestructive testing Determination of rebound number. 2021.
- 9 EN 12504-4 Testing concrete in structures - Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity. 2021.
- 10 EN 13791 Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components. 2019.
- 11 Breyse, D., Balayssac, J. P., Biondi, S., Corbett, D., Goncalves, A., Grantham, M., Luprano, V. A. M., Masi, A., Monteiro, A.V. & Sbartai, Z. M. (2019). Recommendation of RILEM TC249-ISC on non destructive in situ strength assessment of concrete. *Materials and Structures*, 52(4), 1-21.
- 12 Breyse, D., Balayssac, J. P., Alwash, M., Biondi, S., Chiauzzi, L., Corbett, D., Garnier, V., Goncalves, A., Grantham, M., Gunes, O., Kenai, S., Luprano, V. A. M., Masi, A., Moczko, A., Qasrawi, H.Y., Romão, X., Sbartai, Z. M., Monteiro, A.V., & Vasanelli, E. (2021). In-Situ Strength Assessment of Concrete: Detailed Guidelines. In *Non-Destructive In Situ Strength Assessment of Concrete* (pp. 3-56). Springer, Cham.
- 13 Kreijger, P. C. (1984). The skin of concrete composition and properties. *Matériaux et Construction*, 17(4), 275-283.