

Vijf presentaties vanuit verschillende invalshoeken

Stubeco, Stutech en Stufib brengen kennis circulariteit samen



Foto 1 Stubeco-, Stutech-, en Stufib-leden luisteren aandachtig naar Niels Hulsbosch van Buildwise (foto Jan Tol)

Op 16 oktober 2024 was er, voor het tweede jaar op rij, een gezamenlijke bijeenkomst van Stubeco, Stufib en Stutech, ook wel 3S genoemd. Het thema dit jaar: circulariteit. Het onderwerp werd voor zo'n 120 enthousiaste leden van de drie studieverenigingen vanuit verschillende invalshoeken belicht. Een beknopte weergave van de vijf lezingen.

De presentaties

- Versterken bestaande constructies – Antony van Middelkoop (ABT)
- Duurzaam beton – René Rutte (Urban Mine)
- Circulariteit in België – Niels Hulsbosch (Buildwise)
- Hergebruik prefab betonnen brugliggers – Rob Vergoossen (Royal HaskoningDHV)
- Ervaringen met duurzaam aanbesteden – Ruud Jansen en Ineke Andries (Gemeente Dongen)

Grensverleggend behouden – Versteken bestaande constructies

Presentatie Antony van Middelkoop – ABT

Als een bouwwerk om wat voor reden dan ook niet meer voldoet, wordt al snel gedacht aan sloop. Hoewel het puin dat daarbij vrijkomt kan worden hergebruikt, is slopen vanuit het oogpunt van circulariteit de slechtste optie. Het levert herrie en rommel op, maar belangrijker nog: waardevolle grondstoffen gaan verloren of worden gedownsized. Gelukkig zijn er volop kansen om bestaande constructies te hergebruiken.

Hergebruik brengt wel de nodige uitdagingen met zich mee. Je weet op voorhand niet alles over de staat en capaciteit van een bestaand bouwwerk. En in de praktijk kom je vaak verrassingen tegen. Het begint bij het goed in kaart brengen van de bestaande constructie, in eerste instantie met archiefonderzoek. Maar dat levert lang niet altijd genoeg informatie op. Vaak is niet-destructief onderzoek ter plaatse nodig. Denk aan conditiemetingen of het scannen van de wapening. Als je er daarmee niet uitkomt, kan ook destructief onderzoek nodig zijn, bijvoorbeeld aan de hand van kernboringen, chloridemetingen, potentiaalmetingen of het blootleggen van de wapening.



Met de informatie die de verschillende onderzoeken oplevert, kunnen, al dan niet met behulp van geavanceerde berekeningen, betrouwbare uitspraken worden gedaan over de capaciteit en de restlevensduur. Het kan goed zijn dat een constructie niet aan de eisen blijkt te voldoen. Dan is het nodig de constructie te versterken. Daarvoor bestaan uiteenlopende mogelijkheden, met elk hun eigen toepassingsgebied. Een robuuste, maar niet altijd geschikte oplossing is het toevoegen van constructiemateriaal, bijvoorbeeld een extra stalen balk of het opdikken van het beton. Interessant is ook de toepassing van koolstoflijmwapening ofwel CFRP (*carbon-fiber reinforced polymer*).



Interessant is de toepassing van koolstoflijmwapening ofwel CFRP

CFRP kan op verschillende manieren worden toegepast, óp of in de dekking. De techniek heeft veel voordelen: CFRP weegt weinig, het heeft nauwelijks hoogte nodig, je hoeft de bestaande constructie niet aan te tasten en het is sterk. Een versterkinggraad van 1,5 is goed haalbaar.

Bepalend in de sterkte is de aanhechting. Het materiaal zelf heeft een treksterkte van wel 3000 N/mm², maar met de lijmverbinding meegerekend haal je een sterkte van 800 – 850 N/mm² (bij steunpuntsmomenten 400 – 500 N/mm²). De capaciteit kan nog meer worden benut wanneer koolstofwapening wordt voorgespannen. Om de sterkte goed te kunnen aanwenden, is een zorgvuldige detaillering belangrijk onder andere voor een goede verankering.

Naast de sterkte in de uiterste grenstoestand en de bruikbaarheidsgrenstoestand, is ook de brandsituatie van groot belang. Al bij circa 60 °C verweekt de (epoxy)lijm waarmee de koolstoflijmwapening wordt aangebracht. Als de bijzondere belastingcombinatie voor brand niet door de onversterkte constructie is op te nemen, moet brandwerende bekleding worden toegepast.

Uiteraard is voor een goede prestatie de uitvoering essentieel. Dat begint met de voorbehandeling van het betonoppervlak. Vervolgens moet de hechtsterkte worden gemeten. Dan volgt het verlijmen en vervolgens het uitharden. Voor dat laatste mogen de temperaturen niet te laag zijn; denk aan een dauwpunt van meer dan 5 a 10 °C.

Met de juiste inzet en kennis kunnen bestaande constructies vaak van sloop worden gered. CFRP kan daarbij uitkomst bieden. Deze techniek zou in de toekomst wellicht ook kunnen worden toegepast voor het versterken van geogoste elementen.

Links

- [Presentatie](#)
- [Cement-artikel Mogelijkheden en aandachtspunten voor het versterken van constructies](#)
- [Cement-artikel Uitwendige koolstoflijmwapening in actie](#)
- [Cement-artikel Constructief geheugen](#)



Figuur 2 Lijmwapening bij de Nijkerkerbrug

Duurzaam beton

Presentatie René Rutte – Urban Mine

Beton is een mooi materiaal, maar de productie ervan gaat gepaard met veel CO₂-uitstoot. Dat is met name te wijten aan de productie van cement. Nederland scoort, vanwege het relatief grote aandeel hoogovencement en vliegglas, relatief goed als het gaat om de footprint van cement. Maar ook bij ons moet de CO₂-uitstoot van beton omlaag.

Ook de ambities op het gebied van circulariteit zijn groot. In dat opzicht is het positief dat beton goed is te recycleren, mede dankzij de hoge kwaliteit van de ingrediënten, het zand, het grind en het bindmiddel. De kunst is die ingrediënten in zo hoog mogelijke kwaliteit uit het betonpuin te halen en dat zo hoogwaardig mogelijk toe te passen, bij voorkeur in nieuw beton en niet in laagwaardigere toepassingen.

De kwaliteit van gerecycled betonpuin kan door moderne, innovatie recyclingsmethoden sterk worden verbeterd. Er zijn meerdere voorbeelden van die nieuwe recyclingsmethoden. Bij Urban Mine wordt gebruikgemaakt van de zogenoemde Smart Liberator, gebaseerd op de Smart Crusher-techniek, uitgevonden door Koos Schenk. Bij deze techniek blijft er slechts weinig cementsteen aan het toeslagmateriaal zitten. En juist die cementsteen heeft een negatieve invloed op de kwaliteit van het granulaat.

De kwaliteit van het toeslagmateriaal is dankzij de nieuwe technologie beter dan we gewend zijn. Dat maakt hogere vervangingspercentages mogelijk. Om dit normtechnisch te regelen is in 2021 CROW-CUR Aanbeveling 127 opgesteld.

“

De kwaliteit van gerecycled betonpuin kan door moderne, innovatie recyclingsmethoden sterk worden verbeterd

Bij deze techniek komen naast een grove en een fijne fractie ook zogenoemde *recycled concrete fines* vrij. Waar de grove en fijne fractie het grind en zand kunnen vervangen, zijn deze RCF's een mogelijke grondstof voor nieuw cement. Daarmee kan het klinkeraandeel in cement worden beperkt

en dus het CO₂-profiel worden verbeterd. Er is sinds kort een nieuwe cementnorm uit, de EN 197-6, waarin toepassing van RCF normtechnisch is vastgelegd.

Recycled concrete fines zijn ook opnieuw te activeren, zodat ze bijvoorbeeld als bindmiddel in betonmortel kunnen worden toegepast. Sowieso bevatten de *fines* een deel ongehydrateerd cement – niet alle cement in het beton reageert immers – dat bij hergebruik nog reactief is. Maar ook het gehydrateerde deel kan reactief worden gemaakt. Een van de mogelijkheden daartoe is carbonatatie. RCF's kunnen namelijk reageren met CO₂ (carbonateren), waarmee ze puzzolane eigenschappen krijgen. Het is zelfs mogelijk om bij deze carbonatatie gebruik te maken van CO₂ die vrijkomt bij de productie van portlandcementklinker. Hiermee snijdt het mes aan twee kanten. Een tweede mogelijkheid is het reactief maken van RCF met een warmtebehandeling.

Nieuwe recyclingsmethoden als de Smart Liberator maken het hergebruik van betonpuin steeds interessanter. Tot de fijnste delen is het recycle materiaal hoogwaardig in te zetten, waarmee niet alleen een bijdrage wordt geleverd aan de circulaire economie, maar ook het CO₂-profiel van beton kan worden verbeterd.



Figuur 3 Smart Liberator

Links

- [Technisch verslag Stubeco-excursie 'Circulair beton bij Urban Mine'](#)

Circulariteit in België – Van R&D naar normalisatie

Presentatie Niels Hulbosch – Buildwise

Ook in België is circulariteit een belangrijk thema. Opgemerkt moet worden dat het, net als bij ons, geen doel op zich moet zijn; het gaat uiteindelijk om het verlagen van de milieu-impact van beton. Circulariteit is een strategie om dat doel te bereiken. Die kanttekening speelt ook bij de meest bekende vorm van circulariteit: recycling. Hergebruik van betonpuin mag niet leiden tot een slechter milieuprofiel. Het is goed te beseffen dat toepassing van gerecycled granulaat doorgaans slechts een beperkte positieve invloed heeft op de milieu-indicator *global warming potential* (GWP) van beton. Groter is het effect op *land use*, lokale uitputting van grondstoffen en in sommige gevallen transport. De invloed van de wapening op de CO₂-footprint is wel aanzienlijk. Daarom moet altijd naar het totaalplaatje worden gekeken, van het beton inclusief de wapening.

Op het vlak van granulaten worden in de Belgische betonnorm NBN B 15-001 onderscheid gemaakt tussen betongranulaat A+ en menggranulaat B+. De zandfractie (0/4 mm) mag in België nog niet worden gebruikt (het prenormalisatie onderzoek RECYSAND zet hierop in, zie verderop).

De normen zijn vrij conservatief. In de NBN B 15-001 staan regels over het vervangingspercentage van deze twee +-typen, afhankelijk van de milieuklasse. Deze eisen lopen uiteen van 0% voor de strengste milieuklassen, tot 50% voor betongranulaat A+ in XC0. Verder mag betongranulaat A+ worden toegepast in sterkteklassen van maximaal C30/37. Voor menggranulaat B+ geldt maximaal C20/25.



De normen in België zijn vrij conservatief

Beide +-typen granulaat worden evenwel nog maar weinig toegepast in BENOR beton (beton gecertificeerd volgens EN 206-1 en NBN B 15-001) (fig. 4). Via het project Living Lab Circulair Beton wordt momenteel hard gewerkt aan opschaling. Via dat programma loopt onder andere een pilotproject met supermarktketen Colruyt. Ieder jaar worden verschillende winkels ge- en verbouwd (te beginnen in Temse), waarbij zo veel mogelijk betongranulaat A+ wordt toegepast. Dit binnen maar ook buiten de norm, op basis van aangetoonde geschiktheid. Ook andere betoninnovaties (bijvoorbeeld alkali geactiveerd beton) worden geëvalueerd.

Gerecycleerd granulaat	Productie 2023 [kiloton]
Betongranulaat	8043
waaronder betongranulaat A+	45
Menggranulaat	6560
waaronder menggranulaat B+	0,7

Figuur 4 Productie gerecycleerde granulaten. Data: COPRO cijfer rapport 2023

Een succesvol voorbeeldproject is verder Zin, het innovatieve en multifunctionele complex in de Brusselse Noordwijk, dat het WTC vervangt. Maar liefst 30.000 ton puin van de oude WTC-torens werd verzameld, gesorteerd, verbrijzeld en omgevormd tot 3.500 ton A+-granulaat. Hiermee werd bovendien veel bespaard op transport.

Er zijn enkele actuele prenormalisatie-studies rond circulair beton. Een daarvan is het recent afgeronde GRANISEC-project, waarbij de geschiktheid van secundaire inerte toeslagmaterialen voor gebruik in beton werd onderzocht. Het ging hierbij onder meer om koperslak, RVS-slak, bodemas en loodslak. Er zijn procedures vastgesteld om toepasbaarheid van deze secundaire materialen aan te kunnen tonen, op basis van een aantal constructieve en levensduureisen.

Een tweede project is het NEOCEM-project, dat nagenoeg op zijn einde loopt. Hierbij wordt de geschiktheid van nieuwe Belgische cementsoorten onderzocht in relatie tot EN 197-5 en 6.

Een derde onderzoekproject is RECYSAND, over de toepassing van betonbrekerzand. Belangrijke rol is hier weggelegd voor waterabsorptie van granulaat, die wordt beproefd met een nieuwe meetmethode, gebaseerd op elektrische geleidbaarheid.

Tevens loopt er een traject voor het opwaarderen van de toepassing van secundair zand uit lokaal ontgonnen grond in hoogwaardig beton. Daarbij worden de praktische mogelijkheden bij het ECA-project van de Haven van Antwerpen onderzocht. Hier komen grote hoeveelheden grond vrij, waarvan de geschiktheid wordt beproefd.

Over Buildwise

Buildwise (tot 2022 Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, WTCB), is een collectief onderzoeks- en innovatiecentrum van de bouwsector in België. Het centrum, dat zo'n 110.000 leden vertegenwoordigt, bevordert het toegepaste onderzoek in de sector om zo het concurrentievermogen te vergoten. Momenteel lopen er zo'n 130 gesubsidieerde projecten. Buildwise is trekker van het Living Lab Circulair Beton.

Belangrijke functie van Buildwise is ook het verstrekken van technische informatie, bijstand en advies.



Links

- [Presentatie](#)



Foto 5 Meten van waterabsorptie gebaseerd op elektrische geleidbaarheid

Hergebruik prefab betonnen brugliggers

Presentatie Rob Vergoossen – Royal HaskoningDHV

Veel aandacht gaat recent uit naar het hergebruiken van elementen uit bestaande bouwwerken, bijvoorbeeld prefab betonnen liggers uit viaducten. Het heeft een flinke impuls gekregen vanuit het SBIR-programma (*Strategic Business Innovation Research*) van Rijkswaterstaat, waarbij partijen werden uitgedaagd met circulaire oplossingen te komen. Van de 32 inschrijvers mochten er drie door naar een pilotfase: Consortium ViCi (Boskalis, ABT e.a.), Closing the Loop (Nebest e.a.) en Consortium Liggers2.0 (Royal HaskoningDHV e.a).

Inmiddels heeft Rijkswaterstaat een vervolgoopdracht gegeven aan een samenwerkingsverband tussen Closing the Loop en Liggers2.0: Groene Liggers. Dat moet leiden tot het opschalen naar het hergebruik van honderden liggers in de komende jaren.

Kennis van de geschiedenis van prefab in liggers is van belang bij het verkennen van de mogelijkheden. De ontwikkeling en het gebruik begonnen in de jaren '60 serieus te worden, een periode waarin ook regelgeving beschikbaar kwam en liggers onder certificaat konden worden geleverd. Veel van de liggers die nu vrijkomen, dateren uit die periode.

Om te kunnen beoordelen wat we nu nog met die liggers kunnen, moet je een aantal interessante zaken in acht nemen. Zo zeggen de specificaties van toen niet alles over de capaciteit van nu. De manier van de beproeven is bijvoorbeeld sterk veranderd, waardoor een sterkteklasse van destijds eigenlijk niet is te vergelijken met de huidige sterkteklasse. Liggers werden destijds vaak geleverd met een kwaliteit K600 ($f_{cm;cube} = 71$ MPa). Conform de RBK zouden we dit nu moeten specificeren als een sterkteklasse C40/50. Als je de exacte meetmethoden en toen geldende certificeringsregels goed beschouwd, zou je dit eerder een C50/60 of C52/64 kunnen noemen. Bij een onderzoek in 2006, waar de sterkte van 16 kernen is gemeten, kwam er voor diezelfde liggers C60/73 uit. Een grootschaliger onderzoek in 2010-2011 leidde zelfs tot C66/81. De doorgaande sterkteontwikkeling speelt daarbij natuurlijk een rol. Het is ook goed om te weten dat volgens de ROBK een maximaal aan te houden betonkwaliteit B52,5 gold.

Goede eigenschappen gaan verder dan alleen de sterkte. Uit onderzoek blijkt dat de aantasting door carbonatatie en chloride-indringing van bestaande liggers heel beperkt is en dat de liggers nauwelijks

gevoelig zijn voor ASR. De sterkte en de kwaliteit van de liggers is dus vaak uitstekend. Een levensduur van veel meer dan 100 jaar is prima te rechtvaardigen.

Bij het daadwerkelijk hergebruik van liggers zijn er wel een aantal uitdagingen. Zo werden omgekeerde T-liggers, een veel toegepast type, vaak voorzien van een druklaag, die met beugels werd gekoppeld aan de liggers. Deze druklaag moet uit praktische overwegingen worden verwijderd, waarbij de beugels niet mogen worden aangetast. Het gebroken beton uit deze druklaag is overigens uitstekend her te gebruiken bij nieuwe druklagen.

Verder spelen er uitdagingen ten aanzien van transport en tijdelijke opslag. Ook zijn er vaak bewerkingen nodig. De liggers kunnen immers niet 1-op-1 worden toegepast. Zo kan het nodig zijn liggers in te korten of aan te passen aan nieuwe kruisingshoek.

“

Bestaande liggers zijn beter dan de liggers die nu worden geproduceerd

Het zijn zaken waar prima rekening mee te houden is. De kennis en ervaring op dit gebied groeien snel. Deze worden weer aan de markt ter beschikking gesteld, onder meer met de CROW-CUR Richtlijn 4 en het Protocol hergebruik prefab betonnen omgekeerde T-liggers. Dit leidt ertoe dat er inmiddels al behoorlijk veel liggers worden hergebruikt. Zo zijn bij de Brug Appingedam bijna alle onderdelen hergebruikt. Bekend voorbeeld is verder het viaduct bij Hoog Burel in de A1. Hier worden prefab liggers toegepast, afkomstig uit een gesloopt viaduct over de A7 bij Groningen. Hiermee werd de MKI per ligger met 73% gereduceerd en de CO₂-uitstoot zelfs met 97%. Bestaande liggers zijn hierdoor beter dan de liggers die nu worden geproduceerd.

Het credo zou moeten worden 'Hergebruik tenzij', met als uitgangspunt dat alle liggers moeten worden gedemonteerd voor hergebruik. Een extra stimulans kan zijn om de waarde van de CO₂- en grondstoffenbesparing beter te waarderen. Bij de opschaling hebben beheerders een belangrijke rol. Die moeten vanuit een positieve grondhouding meedenken en in sommige gevallen hergebruik misschien wel verplichten. Daarnaast moeten ze energie steken in de realisatie van opslagterreinen. Daarmee kan het hergebruik in de toekomst gemeengoed worden.

Links

- [Presentatie](#)
- www.circulaireviaducten.nl/de-prototypes/



Figuur 6 Kwaliteit van de geogste liggers is vaak nog heel goed

Ervaringen met duurzaam aanbesteden

Presentatie Ruud Jansen en Ineke Andries – Gemeente Dongen

Als het gaat om beleid vanuit opdrachtgevers voor circulaire infrastructuur wordt vaak gekeken naar Rijkswaterstaat. Maar gerekend in aantallen is dat feitelijk maar een kleine speler. Verreweg de meeste bruggen zijn in beheer bij gemeentes. En ook daar beginnen duurzaamheid en circulariteit steeds belangrijker te worden.

Goed voorbeeld is gemeente Dongen. De gemeente is sinds een aantal jaar aan het pionieren met duurzaam aanbesteden en heeft de ambitie een flinke stap voorwaarts te zetten in de transitie naar een circulaire economie. Spaarzaam omgaan met bouwmaterialen en zo min mogelijk CO₂-uitstoot tijdens de gehele levensduur zijn hierbij speerpunten.

Bij deze ambitie heeft de gemeente veel gehad aan kennis en voorlichting over circulaire inkoop bij Pianoo. Ze hebben meegedaan aan de Circulaire Inkoop Academie en zijn lid geworden van BouwCirculair. Daar ontmoeten ze aannemers, betonproducenten en andere opdrachtgevers die bezig zijn met duurzaamheid. In de verkenningstocht naar duurzaam aanbesteden werden er ook diverse subsidies verkregen. Die tocht is overigens niet altijd makkelijk. Je komt nog wel eens wat weerstand tegen, ook vanuit de eigen organisatie.

Om de transitie mogelijk te maken is gemeente Dongen anders gaan aanbesteden. Waar in het verleden gegund werd op laagste prijs, gaat dat nu op beste prijs-kwaliteitverhouding (BPKV). Kwaliteit telt daarbij voor 70 of 80% mee, en de prijs dus maar 30 of 20%. Bij een verhouding van 50-50% blijft prijs nog teveel de doorslag te geven.

Kwaliteit wordt voor een belangrijk deel ingevuld door de MKI-waarde. Een lage MKI-waarde leidt tot een fictieve korting, waarmee je meer kans maakt een aanbesteding te winnen. Hoe lager de MKI, hoe hoger de korting. De laagste fictieve prijs wint. Op deze manier worden inschrijvers gestimuleerd meer te bieden dan wordt geëist. Die korting bedraagt maximaal 80% van de totale waarde en wordt berekend met een verhoudingsformule. Uiteindelijk wordt uiteraard de inschrijvingsprijs betaald.

“

Bij een verhouding van 50-50% tussen prijs en kwaliteit blijkt prijs nog teveel de doorslag te geven

Gemeente Dongen heeft recent bij een aantal projecten positieve ervaring opgedaan met duurzaam aanbesteden. Zo was er de herinrichting van de Meester Janssenweg. De duurzame aanpak heeft ertoe geleid dat er cementarme klinkers liggen, een milieuvriendelijker type trottoirbanden is gebruikt en rioolbuizen in de grond zitten die circulair zijn. De oplossingen zijn vooraf zorgvuldig getoetst door een onafhankelijk bureau. Zo wilde de gemeente zekerheid hebben of de claims ten aanzien van MKI daadwerkelijk konden worden gehaald. Er wordt nog wel eens gewerkt met boetes achteraf, maar veel heb je daar niet aan. Het levert weliswaar geld op, maar op die manier heb je alsnog niet wat je wilde: een zo duurzaam mogelijk resultaat. Bij dit project is 52 ton CO₂ bespaard, zo werd becijferd. Opmerkelijk bij dit project was ook de bewonersparticipatie. Bewoners hebben zelf mee beslist over de herinrichting.

Een tweede voorbeeld is de fiets- en voetgangersbrug aan de Sportlaan. Hoewel het vanwege de omvang niet had hoeven, is het project openbaar aanbesteed. Daarmee wilde de gemeente een beter beeld krijgen wat de markt te bieden had. Om meer vrijheid te geven en te voorkomen dat de aanbesteding niet zou lukken, is gewerkt met een richtbedrag en niet met een plafondbedrag. Als het plafondbedrag zou worden overschreden, zou de aanbesteding immers moeten worden ingetrokken. En voor een nieuwe aanbesteding moet er sprake zijn van een wezenlijke wijziging. Bij toepassing van een richtbedrag is dat niet aan de orde. Wel voorkomt het richtbedrag dat de inschrijvingen te hoog worden.

Esthetiek werd bij de selectie losgelaten; mooi hoefde de brug niet te zijn, wel zo duurzaam mogelijk.

Het aantal inschrijvingen viel evenwel tegen. Dat waren er maar drie. Daarvan trok er één zich terug en een tweede viel af omdat die een aantal waarden niet in de MKI-berekening had meegenomen.

Een derde voorbeeld is de vervanging van twee bruggen aan de Waspikseweg. De bruggen, naar een ontwerp van ipv Delft, zijn gebouwd met geopolymeerbeton. Dit beton is (nog) niet toegestaan volgens het Bouwbesluit. Op basis van een verificatieprotocol van BouwCirculair kon SKG-IKOB aantonen dat de oplossing voldeed aan alle eisen.

Gemeente Dongen is met zo'n 28.000 bewoners weliswaar een wat kleinere gemeente, maar laat zien dat met durf en de juiste instelling veel kan worden bereikt als het gaat om duurzaamheid. Het is daarmee een voorbeeld voor andere opdrachtgevers.

Links

- [Presentatie op Stubeco-site](#)



Figuur 7 Fiets- en voetgangersbrug aan de Sportlaan

Tekst: Jacques Linssen