

Zonder gaten straat

Met de zon duiken in het voorjaar traditioneel ook wegenwerkers op om de winterschade aan bruggen en wegen te herstellen. Een frustrerende periode voor de pendelaars, die in de file bakken tijd en geld verloren zien gaan. Constructiematerialen die zichzelf repareren, kunnen soelaas bieden.

Door Kim VERHAEGHE



De jaarlijks terugkerende putten in het wegdek kende u al. Maar toen begin februari twee doorgeroeste verlichtingspalen op de E19 tussen Brussel en Antwerpen terechtkwamen, werd de schrijnende toestand van het wegennet pas echt duidelijk. De metalen palen waren in acht maanden tijd onderaan doorgeroest door insijpelend regenwater. Niet alleen de verroeste metalen palen geven het Agentschap Wegen en Verkeer kopzorgen. Maar liefst zeshonderd betonnen verlichtingspalen langs de E34 zijn dringend aan vervanging toe. Betonrot heeft de palen aangetast.

Volgens een recente schatting besteden de overheden in Europa de helft van het jaarlijkse budget voor infrastructuur aan het onderhoud van bestaande wegen, bruggen en gebouwen. Dat is niet alles. De indirecte kosten die wegwerkzaamheden veroorzaken, onder meer door files, worden tien keer hoger geschat dan die voor de onderhoudswerken op zich.

'De grootste levensbedreiging voor wegen en betonconstructies zijn microscopisch kleine haarscheurtjes waarlangs water en andere schadelijke stoffen het constructiemateriaal binnendringen', zegt professor Herman Terry, die zelfhelende materialen bestudeert in opdracht van de Vrije Universiteit Brussel en de TU Delft. 'Water dat bevriest, zet uit met een bovenmenselijke kracht en duwt de scheur steeds verder open. Op die manier gaat asfalt verbrijzelen en doet pekkel (water met strooizout) in betonconstructies de interne bewapening roesten: het fenomeen van betonrot. Het ontstaan van haarscheuren kan nooit helemaal uitgesloten worden. Periodiek inspecteren en onderhouden, een tijdrovende en dure bezigheid, is dus de boodschap. Daarom zou het veel beter zijn om materiaal te gebruiken dat zijn eigen onderhoud zonder ingrijpen van buitenaf tot stand brengt: zelfherstellend materiaal dus.'

NET ALS EEN LEVEND ORGANISME

Zelfherstellend materiaal kan ontstane beschadigingen - bijvoorbeeld scheuren - spontaan laten verdwijnen. De lege ruimte van een haarscheurtje vult zich dan op met 'iets' dat vanuit het materiaal zelf komt. Na de herstelling is het weer net zo goed als voor de beschadiging.

Deze eigenschap is niet nieuw. Levende wezens kunnen het al miljoenen jaren. Neem nu een (eenvoudige) botbreuk. Zodra een fractuur optreedt, komt aan de 'kapotte' uiteinden een reeks herstelmechanismen op gang. Een lokale bloeding vormt een stolsel, waarin bindweefselcellen groeien.

Ook een aantal 'dode' materialen kunnen zichzelf herstellen: een scheur in een ijslaag vriest uit zichzelf opnieuw dicht.

Toch slaagden we er pas in de jaren 1990 in om bewust een zelfhelend materiaal te maken. Caroline Dry van de University of Illinois ontwikkelde in 1993 een betonmix die naast het gebruikelijke mengsel ook capsules bevat. Die breken open bij schade en geven vervolgens een herstellend materiaal vrij. De Amerikaan Scott White ging door op het werk van zijn collega en ontwikkelde in 2001 een zelfhelend polymeer. Nog eens tien jaar later zijn de eerste zelfhelende materialen op de markt verkrijgbaar. Wat

Wat dacht u van een auto die krasvrij wordt op een zonnige dag?

dacht u van skibrillen die onder invloed van warmte - een haardroger volstaat - krasjes weer gladstrijken. Een soortgelijk principe in de vorm van een autolak maakt uw auto op een zonnige dag opnieuw krasvrij.

LOGISCHE SCHADE

Terug naar onze wegen. Negentig procent van de autosnelwegen in Nederland en Vlaanderen bestaan uit zeer open asfaltbeton (zoab), in Vlaanderen beter bekend als fluis-terasfalt. Het materiaal is een mengsel van bitumen - een stroperige stof uit aardolie-destillaat - en stenen of grind. Die vormen een 'steenskelet', waardoor het asfalt voor 20% uit kleine holtes bestaat. Daarin wordt naast geluid ook water geabsorbeerd, wat het risico op aquaplaning vermindert.

Aan de open structuur is ook een groot nadeel verbonden. Het bitumen oxideert - onder andere onder invloed van zonlicht - waardoor het steeds droger en brosser wordt. Zo ontstaan kleine scheurtjes tussen het bitumen en de steentjes. Water dat in de openingen bevriest, versnelt het proces. Gevolg: het bitumen verliest zijn 'grip' op de steentjes en die komen los te liggen. Ook zonder belasting - bijvoorbeeld op de pechstrook - moet een asfaltlaag daarom gemiddeld om de twaalf jaar vervangen worden. Op de rijweg gaat het iets sneller omdat voertuigen de steentjes opscheppen en zo gaten in de weg creëren.

Een verouderd wegennet in combinatie met strenge winters maakt de enorme schade van de laatste jaren daarom niet meer dan logisch. Uit Nederlands onderzoek blijkt dat 60% van de vorstschade in de winter 2009-2010 betrekking had op asfalt dat volgens planning binnen de

drie jaar vervangen zou moeten worden. 'Zelfhelend asfalt pakt de verbrokkeling aan op het moment waarop een haarscheurtje ontstaat', zegt Erik Schlangen, materialenonderzoeker aan de TU Delft. 'Door het bitumen op dat moment tijdelijk vloeibaar te maken, wordt zo'n scheurtje gedicht. Dat kan bijvoorbeeld door nanocapsules in het asfalt te mengen. Een scheurtje breekt de capsule, waardoor er olie vrijkomt. Dat mengt zich met het bitumen tot een (tijdelijk) meer vloeibaar geheel.'

De ontwikkeling van de nanocapsules vormt een enorme uitdaging voor het onderzoek van Erik Schlangen. Hoe maak je in gods-

naam een capsule die niet breekt tijdens het proces van asfalt mengen, storten en walsen, maar dat wel doet als er zich een haarscheurtje vormt in het aangelegde asfalt? 'De eerste capsules die we maakten, gingen inderdaad stuk tijdens het productieproces. De hoge temperatuur (180°C) tijdens het mengen deed ze exploderen. Intussen zijn we er wel al in geslaagd om capsules te maken die het proces overleven. Om ervoor te zorgen dat ze later door ontstane haarscheuren wel openbreken, werken we nu aan een capsulehuid die langzaam degradeert en verzwaakt.'

STAALVEZELS VERDUBBELEN LEVENSDUUR

Een andere manier om het bitumen vloeibaarder te maken is de temperatuur ervan tijdelijk verhogen aan de hand van inductiewarmte. 'We mengen krullen staalwol in het asfalt', zegt Erik Schlangen. 'De staalwol voorkomt de breuken niet, maar helpt wel bij het herstellen ervan. Een spoel die boven het asfalt beweegt, kan een wisselstroom in de staalwol opwekken. Omdat het metaal van de vezels een elektrische weerstand heeft, wordt de stroom in warmte omgezet. Het is ongeveer hetzelfde principe als dat van een inductiekookplaat.'

Door de temperatuursverhoging gaat het bitumen smelten en worden scheurtjes gedicht. 'Een onderhoudsploeg moet van tijd tot tijd wel nog met een inductiewagen over het asfalt rijden. Dit asfalt is dus niet volledig zelfhelend - er is immers nog een menselijke ingreep nodig - maar de tijd die nodig is om de werkzaamheden uit te voeren, is uiterst beperkt.'

Eind vorig jaar werd op de A58 bij Vlissingen een strook van vierhonderd meter zelfhelend asfalt aangelegd. In januari werden

vervolgens 120 kernen opnieuw uitgeboord om in het lab te bestuderen. 'Het asfalt heeft de vriesdagen perfect doorstaan. We vonden geen enkel spoor van schade of kleine barstjes. Nu laten we de proefkernen kunstmatig verouderen in het lab. Zo hopen we te achterhalen hoe scheurtjes ontstaan en hoe we ze het best aanpakken. Moet een onderhoudsploeg bijvoorbeeld jaarlijks met een inductiewagen over het asfalt rijden, of kan die ingreep vijf jaar wachten? We zijn er ondertussen al van overtuigd dat het inductieasfalt dubbel zolang meegaat als het zoab.'

Het inductieasfalt biedt overigens nog meer mogelijkheden. 'De staalwolvezels trekken magneten aan. Magnetische toepassingen, zoals tijdelijke wegmarkeringen, blijven daardoor kleven op de weg. Maar er is meer. Het asfalt is geleidend. Signalisatie en meettoestellen voor snelheids- of gewichtscontrole kunnen in de weg geïntegreerd worden en hun energie uit het asfalt halen. Het asfalt zou ook kunnen opwarmen om het wegdek ijsvrij te houden.'

BIOBETON

En hoe zit het voor betonnen wegen en bruggen? Ook aan zelfhelend beton wordt gewerkt. Dat kan onder meer rekenen op microscopisch kleine bouwvakkers. Ingemengde bacteriën produceren kalksteen en metselen zo haarscheurtjes dicht. Promovenda Kim Van Tittelboom bestudeert dit 'biobeton' aan het Laboratorium Magnel voor Betononderzoek in Gent onder leiding van professor Nele De Belie. 'Slapende bacteriën (sporen) kunnen honderd jaar overleven in ruige omstandigheden. Ze verdragen extreme hitte en hebben geen zuurstof of voedsel nodig. Als de slapende wezentjes in contact komen met water - wat het geval is bij scheurtjes in het beton - zullen ze ontwaken. De bacteriën gaan dan op zoek naar voedsel en maken ladingen calciumcarbonaat aan, beter bekend als kalksteen. In enkele dagen zijn de scheurtjes gedicht.'

Bij de zoektocht naar de geschikte bacteriën werkte het Gentse betonlab samen met dat van microbioloog Willy Verstraete. 'Hij was op zoek naar geschikte bacteriën om in te zetten bij biologische waterzuivering. Daarbij stootte professor Verstraete op een probleem. Een specifieke waterzuiveringsbacterie, de *Bacillus sphaericus*, produceerde kalksteen en liet zo buizen dichtslibben. Hij ontdekte echter dat de bacterie zijn kalkproductie verplaatst naar locaties waar veel ureum, een voedingsstof, aanwezig is. Daarom wordt ureum nu in zuiveringsinstallaties toegediend op makkelijk bereikbare plaatsen. De bacteriën produceren daar kalksteen, waardoor de buizen gespaard blijven. Die eigenschappen



Op de A58 bij Vlissingen ligt een strook van vierhonderd meter zelfhelend asfalt.

maakten de bacterie interessant voor ons.' Momenteel worden bacteriën al gebruikt om kalkstenen monumenten te repareren. Het bouwwerk wordt besprenkeld met een vloeistof rijk aan bacteriën en voedingsstoffen die de natuurlijke huid van de steen herstelt. 'Iets

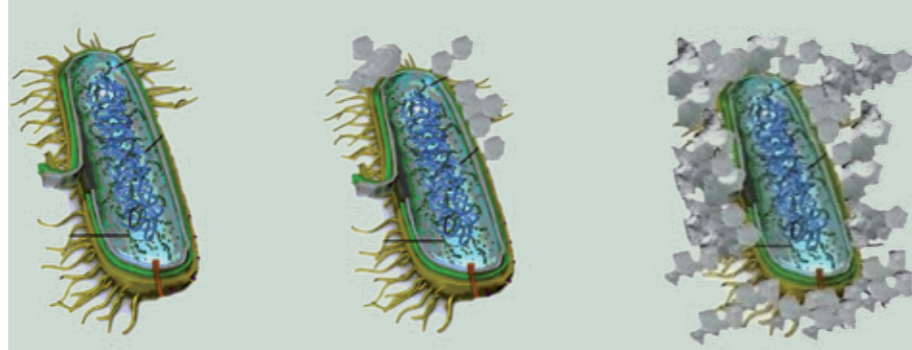
tonen immers aan dat het voedsel, in ons geval proteïnen, een negatieve invloed heeft op de sterkte van het beton. Daarom stoppen we de voedingsstoffen en bacteriën in gescheiden capsules, die enkel opengaan als er zich een scheurtje in het beton voordoet.'

'Zodra er een scheurtje in het asfalt komt, breekt de nanocapsule open, olie komt vrij en dicht het scheurtje'

moeilijker wordt het als we bacteriën met beton willen mengen,' zegt Kim Van Tittelboom. 'De bacteriën moeten lang genoeg overleven, mogen niet te vroeg - bijvoorbeeld tijdens het mengen van het cement - ontwaken en het voedsel dat we in de betonmix stoppen, mag de sterkte ervan niet beïnvloeden.' Het is balanceren op een slappe koord. 'Tests

Ook dr. Henk Jonkers, onderzoeker aan de TU Delft, kent het probleem. 'Tijdens het mengproces van cement wordt water gebruikt. Om te voorkomen dat de bacteriën dan al reageren en starten met hun kalksteenproductie, verpakken we de bacteriesporen en het voedsel in aparte gebakken kleikorrels. Die zijn minder sterk dan het beton, en breken

Bob de bouw bacterie



Het voedsel is aanwezig als eiwitten. Die worden door de bacteriën omgezet in carbonaationen en ammonium. De bacteriën trekken - dankzij een negatief geladen celwand - positieve calciumionen aan uit de omgeving en houden die vast op hun celoppervlak. Vervolgens reageren de calciumionen met de carbonaationen om calciumcarbonaat of kalksteen te vormen. Door de vorming van ammonium stijgt de zuurtegraad in de omgeving van het micro-organisme en wordt de afzetting van carbonaationen als kalksteen bevorderd.

daarom altijd open als er een scheur ontstaat.' In 2008 schreef *Eos* al over het biobetononderzoek van Henk Jonkers. Is het product ondertussen al praktijkrijp? 'De laboratoriumtests zijn - met succes - afgelopen,' zegt hij. 'De komende vier jaar werken we samen met acht bedrijven aan de concrete ontwikkeling van het biobeton. In een eerste project willen we drie verschillende zelfhelende betonproducten ontwikkelen waaraan bacteriën zijn toegevoegd. Ons tweede project moet een zelfherstellend product opleveren dat aangebracht kan worden op bestaande en beschadigde betonconstructies.'

Ook voor de metalen verlichtingspalen ziet de toekomst er zelfhelend uit. 'Een zelfhelende beschermlaag zou incidenten als die met de metalen verlichtingspalen kunnen voorkomen,' zegt professor Herman Terryn. 'In tegenstelling tot traditionele coatings kan een zelfhelende versie krasjes - die een ingang vormen voor water - in de beschermlaag zelf herstellen. Een combinatie van nieuwe antiroestmiddelen en zelfherstellende polymeren moet er dan voor zorgen dat de oxidatie van het metaal stopt en dat de beschermende eigenschappen van de coating worden hersteld.'

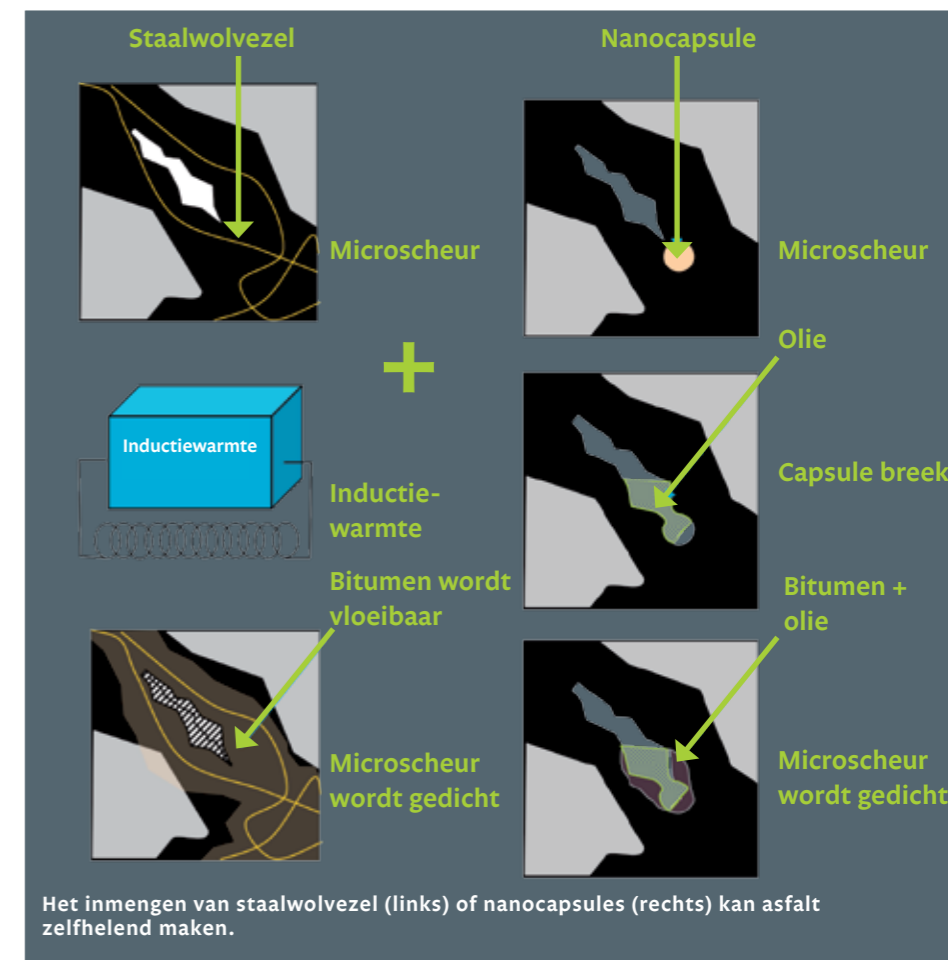
NOOIT MEER KAPOT?

Voorlopig hebben zelfhelend asfalt en beton nog één grote beperking: Op lange termijn verdwijnt de helende functie. Een gebroken capsule kan een scheurtje maar één keer dichten en de bacteriën sterven na afloop van hun werkzaamheden. Alleen het inductieasfalt blijft in principe altijd zijn zelfhelende functie behouden.

'Daarom moeten er bijvoorbeeld microscopisch kleine netwerken van toevoerkanalen ingevoegd worden,' zegt Herman Terryn. 'We verwachten van zelfhelende materialen dus een zekere interne mobiliteit. Nochtans is dat tegenstrijdig met de functie van bijvoorbeeld ondersteunende materialen. Die moeten net intern immobiel zijn om hun stevigheid te behouden. Dat is de grote uitdaging voor verder onderzoek: niet inboeten op stevigheid, maar tegelijk de zelfheling toelaten.'

Kim Van Tittelboom ziet een oplossing voor dit probleem in sterke heelmateriaal. 'Als een scheurtje na het herstel sterker wordt dan de omgeving, is de kans groter dat een nieuwe scheur op een andere plaats ontstaat, waar wel nog zelfhelende capsules aanwezig zijn.'

Zelfhelende constructiematerialen zijn duurder dan traditionele. Toch is de verwachting groot dat de kosten op termijn terugverdiend zullen worden. Zelfhelende constructiematerialen verlengen immers de levensduur van wegen en bruggen en dus ook de periodes



tussen onderhoudswerkzaamheden. Naast de directe onderhoudskosten zullen daarom ook de filekosten dalen. Volgens een berekening van Rijkswaterstaat, het uitvoerende agentschap van het Nederlandse ministerie van Infrastructuur en Milieu, mag zelfhelend asfalt meer dan dertien keer zo duur zijn als standaardasfalt voor het financieel gezien minder aantrekkelijk wordt. De studie rekent daarvoor op een le-

vensduurverlenging van vijftig procent. 'En dat ligt zeker binnen de mogelijkheden,' bevestigt onderzoeker Erik Schlangen. Ook voor zelfhelend beton rekent onderzoeker Kim Van Tittelboom op een verlenging van de levensduur met 50%. 'Zelfs als de zelfhelende stoffen die in het beton gemengd worden tot tien keer duurder zijn als de standaardmaterialen, resulteert zelfheling nog in een daling van de totale kosten.' ■

Geen natte voeten



Het hoofddoel van betonherstel is vermijden dat water de structuur binnendringt. Om die waterdichtheid te testen plaatste Kim van Tittelboom verschillende types 'gescheurd' beton met de onderkant in water. Daarna werden de stukken beton aan de hand van neutronradiografie doorgelicht. In onbehandeld beton (links) is te zien hoe water na twee uur het beton breed is binnengedrongen. In een reële situatie kan dat water de interne wapening van een constructie doen roesten. In het zelfhelend beton (midden), voorzien van capsules die lijm bevatten, is de scheur hersteld. Er stijgt bijna geen water op in het beton. Het resultaat bij manueel herstel (rechts) is vergelijkbaar, maar vraagt een ingreep van buitenaf.