



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Zelfherstellende verhardingen in de wegebouw

Self-healing in road construction

Water. Wegen. Werken. Rijkswaterstaat



Contents

Preface (in Dutch)	5
1 Self-healing in road construction - why?	6
2 Road construction, life span and damage	10
Traffic and usage circumstances	14
In depth: what causes the damage?	16
3 Solutions	26
Technical solutions	30
Microcapsules	32
Induction heating	34
Controlled phase separation in bitumen	36
Organisational solutions	40
Short term actions	42
‘Bumps in the road’	42
4 Financial aspects of self-healing asphalt	50
Road laying and major repairs	50
Financial benefits of self-healing asphalt	52
5 Vision of the future - in brief	56
For further information	60

Inhoudsopgave

Voorwoord	5
1 Zelfherstellende materialen in de wegenbouw - waarom?	7
2 Wegenbouw, levensduur en schade	11
Verkeer en gebruiksomstandigheden	15
De diepte in: wat veroorzaakt de schade?	17
3 Oplossingen	27
Technische oplossingen	31
Microcapsules	33
Inductieverwarming	35
Gecontroleerde fasescheiding in bitumen	37
Organisatorische oplossingen	41
Acties op de korte termijn	43
‘Hobbels op de weg’	43
4 Zelfherstellend asfalt – de financiële kant	51
Aanleg en groot onderhoud	51
Financiële voordelen met zelfherstellend asfalt	53
5 Toekomstvisie in het kort	57
Colofon / voor verdere informatie	60



Voorwoord

Zelfherstellende materialen staan steeds meer in de belangstelling. Deze materialen zijn in staat, min of meer zelfstandig en autonoom, scheuren en krassen te doen verdwijnen. Een bekend voorbeeld is zelfherstellend beton waarbij dreigende schade van betonrot of tunnellekkage in de kiem gesmoord wordt.

Nederland loopt voorop bij de ontwikkeling van deze zelfherstellende materialen en heeft als enige land ter wereld een nationaal coherent onderzoeksprogramma: het Innovatiegerichte Onderzoeksprogramma (IOP) "Self Healing Materials". Binnen IOP wordt onderzoek uitgevoerd aan zeer uiteenlopende materialen.

Voor Rijkswaterstaat is onderzoek aan zelfherstellend asfalt bijzonder interessant. Het zou immers de levensduur van (snel) wegen aanzienlijk kunnen verlengen. En een langere levensduur past weer uitstekend in ons streven naar minder hinder voor de weggebruiker ten gevolge van wegonderhoud.

Voorliggend boekje is bedoeld als stimulans voor de partners van Rijkswaterstaat en voor de eigen organisatie om samen door te pakken. Overigens is ook bij de totstandkoming van het boekje prima samengewerkt, met bijdragen van wegebouwers, bitumenleveranciers, kennisinstellingen en Agentschap NL. Mijn hartelijke dank daarvoor.

Graag spreek ik de verwachting uit dat met dit boekje de ontwikkeling en acceptatie van zelfherstellende verhardingen met de zo gewenste langere levensduur flink wordt versneld. Op die manier kan Rijkswaterstaat zijn rol als assetmanager van het Nederlandse wegennet nog beter vervullen.

Ik wens u veel leesplezier toe.

drs. G.J.A. Al
Hoofdingenieur-Directeur Rijkswaterstaat
Dienst Verkeer en Scheepvaart

1 Self-healing in road construction - why?

In the nineties of last century, porous asphalt concrete (PAC) seemed to be the ideal solution for two problems regarding the Dutch network of national roads: noise pollution of raging traffic in the densely populated Netherlands and aquaplaning caused by rainwater that remained on the road surface. The open structure of PAC would be able to absorb part of the noise and drain the rainwater at the same time.

Meanwhile, almost 20 years later, 90 percent of the Dutch national roads are covered with porous asphalt concrete. Indeed the advantages have been proven: compared to its predecessor, dense asphalt concrete or DAC, porous asphalt concrete is three to four decibels more silent. And the noise reduction for two-layer PAC is again three decibels. But these advantages go together with a few drawbacks. The life span of PAC is four to five years shorter than for its dense counterpart. PAC will last for 12 to 13 years on average and DAC 16 to 17 years on average - in both cases with a substantial scatter. Ravelling - the release of small stones from the PAC wearing course - is the main damage phenomenon at the end of the life span of the PAC wearing course.

Ravelling occurs on well-travelled lanes as well as on less heavily loaded hard shoulders. The reduced life span means on the one hand that a PAC wearing course has to be replaced more often and on the other hand that maintenance has to take place at a higher frequency. In both cases the traffic is severely disrupted. In view of the increasing streams of traffic on the Dutch roads, innovative solutions are necessary to reduce the traffic hindrance due to road maintenance. Asphalt that can heal itself is expressly one of the options. After all, if the material repairs itself, maintenance will be necessary on a lower level, reducing road construction and, hence, traffic jams. A new generation of pavements with a high added value will become within reach.

1 Zelfherstellende materialen in de wegebouw - waarom?

In de jaren negentig van de vorige eeuw leek zeer open asfaltbeton (ZOAB) dé oplossing voor twee problemen met het Nederlandse hoofdwegennet: geluidsoverlast door langsrazend verkeer in het dichtbevolkte Nederland en aquaplanning ('watergladheid') door regenwater dat op het wegdek bleef liggen. De open structuur van het ZOAB zou een deel van de geluidsoverlast kunnen absorberen en tegelijkertijd het regenwater afvoeren.

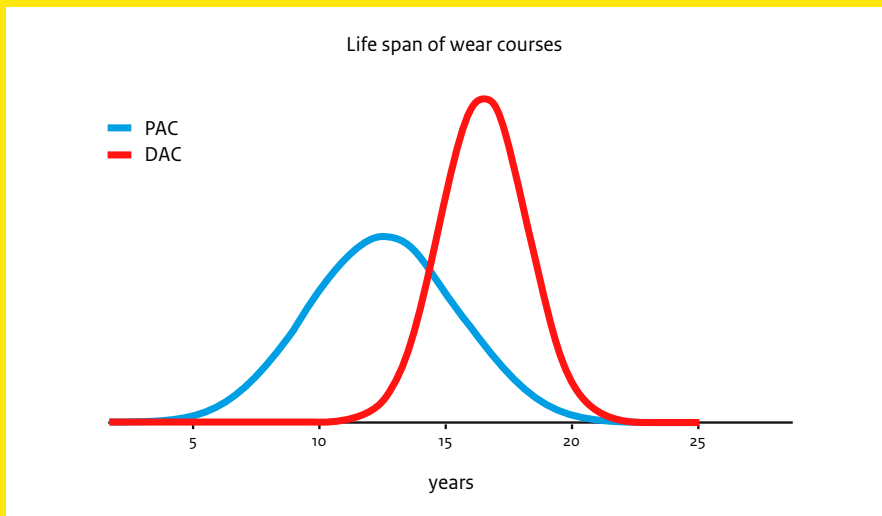
Inmiddels zijn we anno 2010 bijna 20 jaar verder en 90 procent van het wegdek van het hoofdwegennet bestaat uit ZOAB. De voordelen zijn gebleken: in vergelijking met z'n voorganger, dicht asfaltbeton of DAB, is ZOAB zo'n drie tot vier decibel stiller. En bij dubbellaags ZOAB is de geluidsemisatie nog eens drie decibel lager. Maar nadelen hebben zich ook aangediend. Zo is de levensduur bij ZOAB ruim vier tot vijf jaar korter dan in het geval van zijn dichte tegenhanger. ZOAB gaat gemiddeld 12 à 13 jaar mee en DAB gemiddeld 16 à 17 jaar. Overigens in beide gevallen met een forse spreiding. 'Rafeling' - het loslaten van steentjes uit de ZOAB-deklaag - is het voornaamste schadeverschijnsel tegen

het einde van de levensduur van de ZOAB-deklaag. Rafeling komt zowel voor op de drukbereden rijbanen als op de veel minder belaste vluchtstroken.

De verkorte levensduur betekent enerzijds dat je een deklaag van ZOAB, gerekend over de volledige levensduur van de gehele wegverharding, vaker moet vervangen. Anderzijds blijkt onderhoud in de praktijk met een hogere frequentie nodig. Uiteraard met verkeershinder tot gevolg. Gezien de toenemende verkeersstromen op de Nederlandse wegen zijn innovatieve oplossingen gewenst om verkeershinder door wegonderhoud te verminderen.

In the beginning of 2010 representatives of research institutes, the national government, industrial suppliers and road contractors came together to explore the possibilities of self-healing asphalt. Besides technical solutions also cooperation opportunities were discussed, resulting in the present vision document.

The aim of this vision document is to give an impulse to the development of self-healing materials for road constructions. By transferring the enthusiasm of 'players in the field' to a larger audience: in fact a book of ideas for other people.

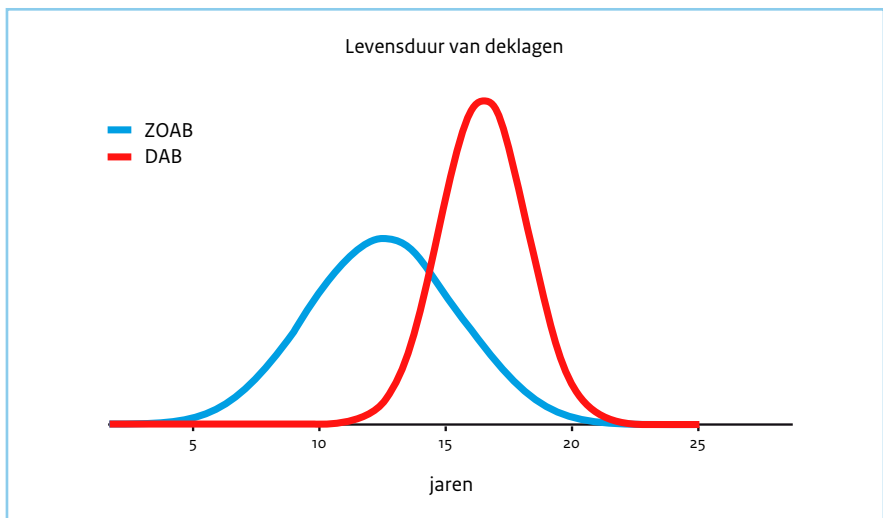


Schematic view of the life span of wearing courses made of porous asphalt concrete (PAC) and dense asphalt concrete (DAC). For both material types the scatter of the life span is substantial.

Asfalt dat zichzelf kan herstellen is daarbij nadrukkelijk één van de opties. Immers, als het materiaal zichzelf repareert dan is onderhoud niet of veel minder nodig en dat scheelt in wegwerkzaamheden en dus in files. Een nieuwe generatie verhardingen met een hoge toegevoegde waarde komt hiermee dichterbij.

Begin 2010 kwamen afgevaardigden van onderzoeksinstituten, de Rijksoverheid, de toeleverende industrie en wegenbouwers bijeen om de mogelijkheden van zelfherstellend asfalt in kaart te brengen. Het ging hierbij niet alleen om de

technisch-inhoudelijke mogelijkheden, maar ook om af te tasten hoe de spelers in het veld zo optimaal met elkaar zouden moeten samenwerken om zelfherstellend asfalt tot een succes te maken. Deze bijeenkomst heeft dit visiedocument als resultaat opgeleverd. Het doel van dit visiedocument is dan ook om een verdere impuls te geven aan de ontwikkeling van zelfherstellende materialen voor verhardingsconstructies van wegen. Concreet gebeurt dit door het enthousiasme van spelers in het veld over te brengen naar een groter publiek: een 'ideeënboek voor anderen' als het ware.



Schematische weergave van de levensduur van deklagen gemaakt van zeer open asfaltbeton (ZOAB) en dicht asfaltbeton (DAB). Bij beide materialen vertoont de levensduur een forse spreiding.

2 Road construction, life span and damage

In the year 2010 a fast - and also safe - flow of traffic on the Dutch main roads is of utmost importance. With the slogan “From A to Better” the Dutch Rijkswaterstaat informs road users about traffic hindrance and work on the road. And that is really necessary in a country with increasing mobility. More traffic leads to more road damage, while less and less time will be available to repair this damage. How can we break this vicious circle in a smart way?

Nowadays, Rijkswaterstaat (Dutch Public Works and Water Management) maintains 87 km² of national roads in The Netherlands: 5684 kilometers (76 km²) of main lanes and 1427 kilometers (11 km²) of connecting roads and slip roads. About 90 percent or 74 km² consists of standard porous asphalt concrete (PAC) as wearing course, of which the average annual costs for major repairs are about 180 million euros according to Rijkswaterstaat. The remaining 15 percent consists mainly of dense asphalt concrete (DAC) as wearing course.

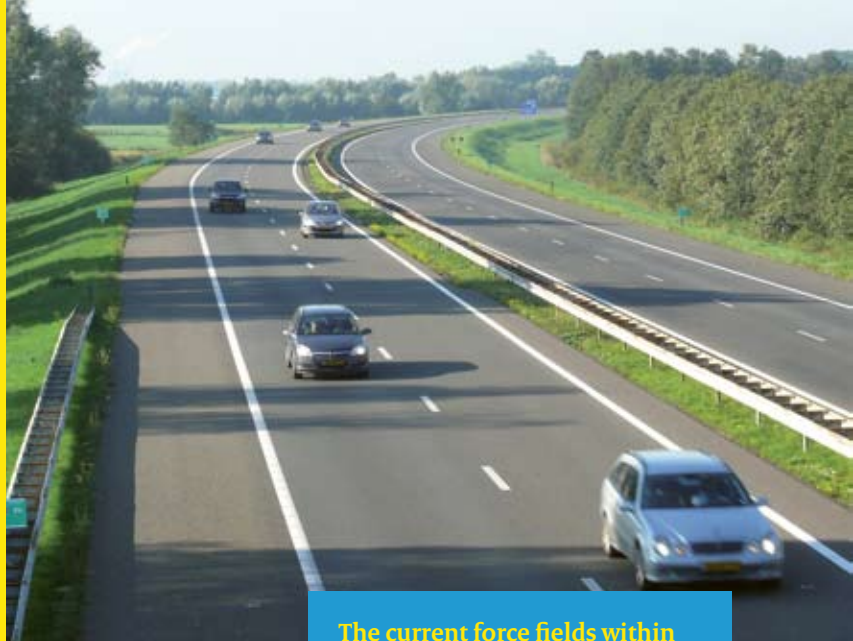
The wearing course of the national roads, in particular the PAC, apparently is very sensitive to ‘ravelling’. With ravelling, which causes approximately 75 to 80 percent of all damage costs, small stones become dislodged from the road surface. Ravelling is in effect the normal deterioration process whenever a wearing course ages. And not only in the case of traffic lanes with dense traffic, but eventually also with wearing courses which are hardly burdened by traffic, like hard shoulders.

2 Wegenbouw, levensduur en schade

Anno 2010 staat een snelle – en tegelijkertijd veilige – doorstroming van het verkeer op 's lands rijkswegen hoog op de agenda. Met de slogan 'Van A naar Beter' informeert het Rijkswaterstaat de weggebruikers over verkeershinder en wegwerkzaamheden. En dat is geen overbodige luxe bij een steeds groter wordende vraag naar mobiliteit. Meer verkeer leidt tot meer schade aan de weg, terwijl er steeds minder tijd beschikbaar is om deze schade te repareren. Hoe kunnen we zo'n vicieuze cirkel op een slimme manier doorbreken?

Rijkswaterstaat heeft momenteel in heel Nederland ruim 87 km² aan rijkswegen in beheer. Dit bestaat uit 5684 strekkende kilometer (76 km²) rijbaanlengte aan hoofdrijbanen en 1427 strekkende kilometer (11 km²) aan verbindingswegen, op- en afritten. Ruim 90 procent of 74 km² hiervan heeft standaard zeer open asfaltbeton (ZOAB) als deklaag en de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten aan deze verhardingen bedragen volgens Rijkswaterstaat ruim 180 miljoen euro. De overige 15 procent, oftewel 13 km², heeft hoofdzakelijk dicht asfaltbeton (DAB) als deklaag.

Het wegdek van de rijkswegen en dan vooral het ZOAB, blijkt gevoelig te zijn voor 'rafeling'. Bij rafeling, dat qua kosten zo'n 75 tot 80 procent uitmaakt van alle schadetypes, laten steentjes los uit het wegdek. Rafeling is als het ware het normale schadebeeld als een deklaag ouder wordt. En niet alleen bij drukbereden rijstroken, maar ook uiteindelijk bij deklagen die nauwelijks met verkeer belast worden zoals vluchtstroken.



The average life span of PAC wearing courses due to ravelling is 12-13 years, with a wide margin between 7 and 19 years. Following this cause reduced road surface roughness, rutting and cracks originating from the sub-grade are usually seen as important causes for road deterioration.

Besides, more and heavier traffic contributes to more deterioration of the road surface of the national roads. On the other hand less time is available for maintenance services in order to keep traffic hindrance at a minimum - both for road user and road worker. The road authority 'embodied' by Rijkswaterstaat is now looking for ways to slow down the different deterioration processes and also for quick, cheap and efficient repair methods.

Other road managers like districts, municipalities and water regulatory authorities dealing with the same deterioration issues can benefit from this.

The current force fields within road construction:

Several parties play a role in laying and maintaining national roads. The **Central government** for one is the principal for new national roads as well as the director for maintaining the national road system. As executive office within the Department of Infrastructure and the Environment, Rijkswaterstaat takes care of realising both tasks. **Road contractors** execute the actual services – like placement and maintenance - by order of Rijkswaterstaat. **Industrial suppliers** deliver components like bitumen, stone and sand mixtures and aggregates, which combined form a mixture which is processed by road contractors during the laying of the road. **Science** in the form of universities and research institutes supply innovative solutions on a small scale, which in a later stage - for example together with other parties - can be up-scaled to actual solutions.

De gemiddelde levensduur van ZOAB-deklagen als gevolg van rafeling is 12-13 jaar met een brede spreiding tussen 7 en 19 jaar. Deze schade-oorzaak wordt op ruime afstand gevolgd door verminderde stroefheid, spoorvorming en scheuren vanuit de ondergrond.

Daarbij draagt meer en zwaarder verkeer bij aan meer schade aan het wegdek van de rijkswegen. Daarentegen is er steeds minder tijd beschikbaar om onderhoudswerkzaamheden uit te voeren, om zodoende de verkeershinder te beperken - voor weggebruiker én wegwerker.

De wegbeheerder in de 'persoon' van Rijkswaterstaat is nu op zoek naar manieren om de verscheidene schade-ontwikkelingen te vertragen en ook naar manieren om snel, goedkoop en effectief te repareren. Ook andere wegbeheerders zoals provincies, gemeenten en waterschappen die met dezelfde schadeproblematiek te maken hebben, kunnen hiervan profiteren.

Het huidige krachtenveld binnen de wegenbouw:

Bij het aanleggen en onderhouden van rijkswegen spelen diverse partijen een rol. Zo is de **Rijksoverheid** de opdrachtgever voor nieuw aan te leggen rijkswegen en ook de regisseur van het onderhoud aan het hoofdwegennet. Als uitvoerende instantie binnen het Rijkswaterstaat draagt Rijkswaterstaat zorg voor de realisatie van beide taken.

Wegenbouwers voeren de daadwerkelijke werkzaamheden uit - zowel aanleg als onderhoud - in opdracht van Rijkswaterstaat. **Industriële toeleveranciers** leveren componenten zoals bitumen, steen- en zandmengsels en toeslagstoffen, die samengevoegd een mengsel vormen dat de wegenbouwers bij de aanleg verwerken. De **wetenschap** in de vorm van universiteiten en onderzoeksorganisaties levert vernieuwende oplossingen – al of niet 'op de vierkante centimeter' - die in een later stadium – bijvoorbeeld met andere partijen - kunnen worden opgeschaald tot oplossingen in de praktijk.



Traffic and usage circumstances

The amount of traffic, the composition – for instance, the number of lorries – and the driving speed are all of influence on the deterioration of the road. However, as it turns out it's not just the traffic volume which determines the life span of the road. The *usage circumstances* - like rain, temperature, oxygen, the sun's UV-radiation and spreading salt - all play a significant part. A 50 percent reduction of the amount of traffic, for instance, will not result in a proportional reduction of damage. Temperature fluctuations cause tension and stretching in the hardening construction of the road. Environmental factors like (high)

temperatures, rain, oxygen and ultraviolet radiation all have a negative influence on the asphalt quality at the surface of the hardening and therefore it causes ageing of the asphalt with ravelling as an end result.

The weight of vehicles however does count 'heavily' towards the damage to the hardening - roadbeds and wearing courses. In this manner a fully loaded 46 ton lorry divided over five axles will inflict as much damage as the passage of 150.000 passenger vehicles. Furthermore, the contact tension for lorries between tyre and wearing course is three to four times greater than for passenger vehicles, which significantly increases the part lorries play in damage development in wearing courses. So it goes without saying that heavy lorries are the primary cause of damage, after which passenger vehicles speed up the further development of damage. The number of lorries increases faster than that of passenger vehicles. It's expected that by the year 2020 one in five vehicles on the national road system will be a lorry, while this share is 15 percent in the year 2010. And because a lorry occupies 50 percent more space than an "average" vehicle, the lorry freight traffic capacity will increase by 30 percent in 2020. In particular the right traffic lane will be influenced, as lorries use this most often. The growth of the heavy goods traffic will be leading for asphalt maintenance.



Verkeer en gebruiksomstandigheden

De hoeveelheid verkeer, de samenstelling – bijvoorbeeld het aandeel vrachtauto's – en de rijsnelheid zijn allemaal van invloed op de slijtage van de weg. Maar niet alleen de verkeersbelasting blijkt de levensduur van de weg te bepalen. Ook de *gebruiksomstandigheden* - denk aan regen, temperatuur, zuurstof, UV-straling van de zon en strooizout – spelen een aanzienlijke rol. Hierdoor zal bijvoorbeeld een halvering van de hoeveelheid verkeer geen evenredige vermindering van de schade inhouden. Temperatuurschommelingen zorgen voor spanningen en rekken in de verhardingsconstructie van de weg. Omgevingsfactoren zoals (hoge) temperatuur, regen, zuurstof en ultraviolette straling hebben een negatieve invloed op de kwaliteit van het asfalt aan het oppervlak van de verharding en zorgen zo voor veroudering van dit asfalt, met uiteindelijk rafeling tot gevolg.

Het gewicht van de voertuigen telt wel 'zwaar' mee voor de schade aan de verharding - onderlagen én deklagen. Zo levert een volgeladen vrachtwagen van 46 ton verdeeld over vijf assen evenveel schade aan de verhardingsconstructie als de passage van 150.000 personenauto's. Bovendien zijn bij vrachtwagens de contactspanningen tussen band en wegdek zo'n drie tot vier keer groter dan bij personenauto's, waardoor vrachtwagens ook een grotere rol spelen bij de schadeontwikkeling in deklagen.



Het ligt dus voor de hand dat eerst de zware vrachtauto's schade veroorzaken, waarna ook personenauto's de verdere ontwikkeling van de schade versnellen. Het aantal vrachtauto's groeit sneller dan het aantal personenauto's. De verwachting is dat in het jaar 2020 één op de vijf voertuigen op het hoofdwegennet een vrachtauto is, terwijl dit aandeel 15 procent is anno 2010. En doordat een vrachtauto anderhalf keer zoveel ruimte inneemt als een 'gewone' auto, zal de capaciteit aan vrachtverkeer in 2020 tot zo'n 30 procent stijgen. Met name de rechterrijstrook zal dit merken, aangezien vrachtauto's hiervan het meeste gebruik maken. Voor onderhoud van asfalt is de groei van het vrachtverkeer maatgevend.

In depth: what causes the damage?

Take ravelling. When this damage occurs - by observing the small stones dislodging from the wearing course - the most important cause is still unknown. And it's also not known how to best solve this problem. A careful analysis is called for.

However, it's not simple to indicate a clear-cut cause for deterioration of the wearing course. It all starts with the construction of the road. If you have ten different road contractors with identical filling materials, bitumen and aggregates produce a PAC-mixture and use it to construct a wearing course, the most likely result will be ten wearing courses with different qualities. And that is not only caused by the natural origin of the composite components - with a natural difference in qualities. The different steps during production also are of direct influence on the quality of the final PAC wearing course. For instance, the number of times a roller drives over the applied asphalt layer decides the form and strength of the adhesive bridges between the stones. Furthermore a small variation in the temperature of the mixture during processing can have major consequences for the adhesion of the wearing course to the sub-layers.

Of course the ageing of the asphalt also plays a part here. But also traffic loads are of importance, because the damage to the right lane - which is used most often and carries the heaviest loads - develops quicker and increases faster. This results in an unequal life span of the different traffic lanes and causes maintenance between the right and left traffic lanes to be phased unevenly. Dutch empiric numbers do not give an unambiguous relation between heavy load traffic and the progression of ravelling as a deterioration process.

This suggests that usage circumstances are also influential to ravelling, in addition to the number of lorries. The fact that traffic in itself is not the only cause becomes clear from the fact that the cohesion of the asphalt on unloaded road parts like the hard shoulder ultimately is lost. From this point of view one could come to the conclusion that ravelling seems to be a 'natural' ageing process at the end of the life span of wearing courses.

The intensity of heavy load traffic, however, has an obvious influence on the load bearing capacity of the total hardening construction.

De diepte in: wat veroorzaakt de schade?

Neem nu rafeling. Als je constateert dat deze schade optreedt - je ziet dat steentjes loslaten uit het wegdek - dan weet je nog niet wat de voornaamste oorzaak is. En dan weet je ook nog niet hoe je dit probleem het beste kunt oplossen. Een zorgvuldige analyse is hier op z'n plaats.

Het is echter niet eenvoudig om een eenduidige oorzaak aan te wijzen voor slijtage van het wegdek. Het begint al bij de aanleg van de weg. Als je tien verschillende wegebouwers met dezelfde vulstoffen, bitumen en toeslagmaterialen en dezelfde methodes een ZOAB-mengsel laat produceren en hiermee een wegdek laat aanleggen, dan ontstaan er waarschijnlijk tien kwalitatief verschillende deklagen. En dat komt niet alleen door de natuurlijke oorsprong van de samenstellende componenten – met een natuurlijke spreiding in eigenschappen. Ook de verschillende stappen bij het verwerken hebben een directe invloed op de kwaliteit van de uiteindelijke ZOAB-deklaag. Zo bepaalt het aantal keren dat je met een wals over de aangebrachte asfaltlaag rijdt de vorm en de sterkte van de hechtbruggen tussen de stenen. Verder kan een kleine variatie in temperatuur van het mengsel bij de verwerking grote gevolgen hebben voor de hechting van de deklaag op de onderlagen.

Uiteraard speelt veroudering van het asfalt een rol. Maar ook de verkeersbelasting is van belang, want schade in de rechter rijstrook - die het meest en zwaarst bereden wordt - ontstaat na een kortere tijdsduur en neemt sneller toe. Hierdoor is de levensduur van de verschillende rijstroken niet gelijk en loopt het onderhoud voor de rechter en linker rijstrook niet in fase. Nederlandse ervaringscijfers geven geen eenduidige relatie tussen de vrachtwagenintensiteit en het verloop van rafeling als schadeproces. Dit suggereert dat de gebruiksomstandigheden eveneens een grote invloed op rafeling hebben dan uitsluitend het aantal vrachtauto's. Dat het verkeer alléén niet de oorzaak is blijkt uit het feit dat de samenhang in het asfalt ook op onbelaste weggedelen zoals de vluchtstrook uiteindelijk verloren gaat. In zoverre kun je zeggen dat rafeling een 'natuurlijk' ouderdomsverschijnsel lijkt te zijn bij het einde van de levensduur van deklagen. De intensiteit van de vrachtwagens heeft overigens wél een duidelijke invloed op het draagvermogen van de totale verhardingsconstructie.

Frost damage during the winter of 2009-2010

Recent problems with the road, like frost damage consisting of holes and loosened stones in the wearing course during the winter of 2009-2010, avert attention from long term road management. Yet this damage does fit the long term picture, as the PAC is more vulnerable to damage at the end of its life span.

In the beginning, when laying the wearing course, bitumen is a viscous and elastic material, with liquid-like and somewhat solid components. In particular the liquid-like maltenes (see the paragraph 'Bitumen' in this chapter) become oxidized throughout the years - whether influenced by the ultraviolet radiation from sunlight or not. With the loss of the liquid components the bitumen becomes increasingly 'drier' and 'brittle' and retains less and less of its ability to bond with stones.

Add to that the increase of embrittlement at lower temperatures and you have the 'ideal' combination for certain winters. Three quarters of the frost damage caused during the aforementioned winter related to PAC layers which, according to planning, should have been replaced within two years. Frozen water in the open structure of the wearing course expands and pushes out the stones, or vehicles force the stones out. The wintry conditions of 2009-2010 simply were the proverbial straw that broke the camel's back for the PAC layers which were at the end of their life span.



Foto: Truus van Gog / Hollandse Hoogte

Vorstschade in de winter van 2009-2010

Recente problemen op de weg, zoals vorstschade in de vorm van gaten en losspringende steentjes in het wegdek in de winter van 2009 op 2010, leiden de aandacht af van wegbeheer op de lange termijn. Toch past deze schade wel binnen het langetermijnplaatje, want tegen het einde van de levensduur is ZOAB kwetsbaarder voor schade. In het begin, bij de aanleg van de deklaag, is bitumen een viskeus en elastisch materiaal, met vloeistofachtige en enigszins vaste componenten. Vooral de vloeistofachtige maltenen (zie het kader 'Bitumen' in dit hoofdstuk) raken in de loop van de jaren geoxideerd - al dan niet onder invloed van ultraviolette straling uit het zonlicht. Met het verlies van de vloeistofachtige componenten wordt het bitumen steeds 'droger' en 'brosser' en gaat het vermogen om steentjes te binden meer en meer verloren. Tel daar nog bij op dat de brosheid toeneemt bij lagere temperaturen en je hebt een 'ideale' combinatie in bepaalde winters. 60% van de vorstschade van de hierboven genoemde winter had betrekking op ZOAB-lagen die volgens planning binnen drie jaar vervangen zouden moeten worden. Bevroren water in de open structuur van de deklaag zet uit en duwt de steentjes eruit, of auto's rijden de steentjes eruit. De winterse omstandigheden van 2009-2010 waren simpelweg de spreekwoordelijke druppel voor de ZOAB-deklagen die tegen het einde van hun levensduur liepen.

But what causes the loosened stones *within* the asphalt? Is this the result of a reduced attraction between the stones in the asphalt and the bonding bitumen? Is the cohesion between the stones and the bitumen the same under dry, wet, warm or cold conditions? And is the *shape* of the adhesive bridge between the stones of influence to the strength of the PAC?

To answer these questions - and as a result optimise the asphalt - we have to 'dig deeper into the asphalt'. Sometimes investigation is necessary, at the micrometer or even nanometer level, to finally find a solution for the tens of square kilometers of the national road system. We already know a lot, but not everything yet. But there remains another question: in the end, what do we have to investigate and develop ourselves? Because it is very well possible that a solution to our problem has already been found a long time ago in another field of expertise.

The 'only' thing we then have to do is inform ourselves of this solution and apply it. Cooperation with others from different fields of expertise is vital. The self-repairing or self-healing aspect of asphalt is one route which is investigated to produce even better asphalt, specifically oriented at prolonging the life span before ravelling occurs. The idea behind it is that less maintenance will be necessary - and materials with a longer life span will be obtained - if these materials have the capacity to repair themselves. However, a challenge with this is: how fast can we incorporate and evaluate

the self-healing aspects of asphalt mixtures? After all, standard PAC will last on average 12 years. And this in turn will result in other forms of damage becoming dominant as the life span for ravelling extends. With *non-porous* wearing courses older than 19 years the reduced roughness - the polishing of the stones in the asphalt - now becomes the main concern. The average age of non-porous wearing courses is 17 years, but this average - as with PAC - has a wide variation. Non-porous wearing courses of 20 to 22 years old are common.

It is widely known that asphalt has some self-healing properties by nature. Microscopically small cracks which occur in the asphalt during the day, will slowly close again during the night - if traffic is absent and temperatures do not drop too much. It seems as if the bitumen component is responsible for this. At the moment investigating new methods of making asphalt self-healing has already been started at universities and shows some hopeful results.

Maar wat is nu *binnen* in het asfalt de oorzaak van het steenverlies? Komt dit door een verminderde aantrekking tussen de steentjes in het asfalt en de verbindende bitumen? Is de hechting tussen steentjes en bitumen hetzelfde onder droge, natte, warme of koude omstandigheden? En is de *vorm* van de hechtbrug tussen de stenen van belang voor de sterkte van ZOAB?

Om de antwoorden op deze vragen te krijgen - en daardoor asfalt te kunnen optimaliseren – moeten we ‘dieper in dit asfalt’ duiken. Soms is onderzoek nodig, op micrometer- of zelfs nanometerschaal, om uiteindelijk een oplossing te geven voor de tientallen vierkante kilometers van het hoofdwegennet. We weten op dit moment al veel, maar nog lang niet alles. Maar er speelt nog een andere vraag: wat moeten we uiteindelijk *zelf* onderzoeken en ontwikkelen? Want het kan best zo zijn dat een oplossing voor ons probleem allang op een ander gebied gevonden is. Het ‘enige’ wat we dan hoeven te doen is kennis te nemen van deze oplossing en die toe te passen. Samenwerking met anderen in verschillende vakgebieden is onontbeerlijk.

Het zichzelf repareren of herstellen van asfalt is één route die onderzocht wordt om tot nog beter asfalt te komen, specifiek gericht op het verlengen van de levensduur voor rafeling. Het idee hierbij is dat we minder onderhoud hoeven uit te voeren - en materialen met een langere levensduur krijgen - als deze materialen het vermogen bezitten om zichzelf te repareren.

Uitdaging hierbij is wel: hoe snel kunnen we de zelfherstellende capaciteit in asfaltmengsels inbouwen en beoordelen? Standaard ZOAB gaat immers gemiddeld ruim 12 jaar mee. En wat hiermee in verband staat: andere schadevormen gaan meer domineren bij een verlengde levensduur voor rafeling. Zo wordt voor dichte deklagen ouder dan 19 jaar de verminderde stroefheid – het polijsten van de steentjes in het asfalt – het grootste punt van zorg. De gemiddelde leeftijd van *dichte* deklagen is 17 jaar, maar dit gemiddelde kent - net als bij ZOAB - een grote spreiding. Dichte deklagen van 20 tot 22 jaar komen regelmatig voor.

Het is bekend dat asfalt van nature enige zelfhelende eigenschappen bezit. Microscopisch kleine scheurtjes die overdag in het asfalt ontstaan, trekken ‘s nachts - als er geen verkeer is en de temperatuur niet te ver zakt - langzaam weer dicht. Het bestanddeel bitumen lijkt hiervoor verantwoordelijk te zijn. Onderzoek naar nieuwe manieren om asfalt zelfherstellend te maken wordt momenteel al bij universiteiten uitgevoerd en biedt hoopvolle resultaten.

Road composition

The hardening construction of a road is composed of several layers of asphalt, each with its own specific qualities.

The most eye-catching detail is the approximately five cm thick wearing course. This layer has to ensure a sufficient level of comfort, safety and noise emission and therefore has a functional character.

Qualities like flatness, roughness, rigidity, sound absorption and water discharge are important in this. The underlying foundation layers determine the load bearing capability of the hardening construction. These layers have a structural character, in which the rigidity of the layers and the sensitivity for rutting are definitive. The life span of these underlying layers is approximately 30-40 years.

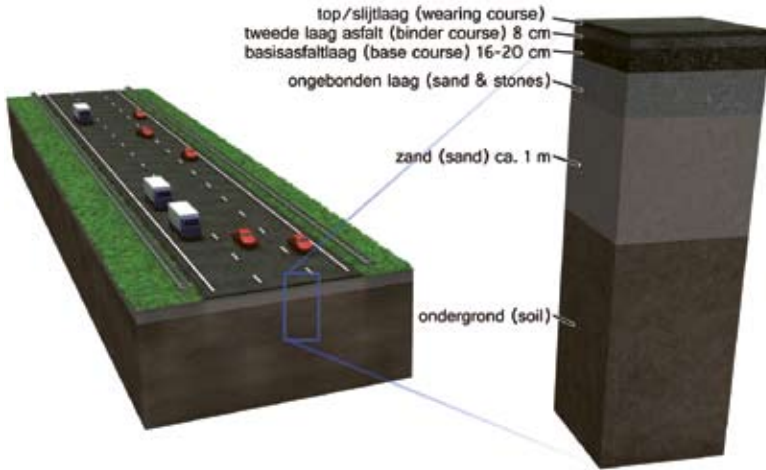
Asphalt

Asphalt is a (porous or not) mixture of bitumen - a viscous liquid distilled from crude oil - and granular raw materials like sand, stone, grit and filler materials.

The (larger) stones form a 'stone skeleton' and supply the asphalt with sufficient load-bearing properties, while the bitumen acts as a binding material for the asphalt.

By selecting the different components in a specific ratio and by varying the granules in shape and type, asphalt can be produced in various types: from liquid-proof mixtures to porous, water-permeable asphalt.





Wegopbouw

De verhardingsconstructie van een weg is samengesteld uit verschillende lagen asfalt met ieder hun specifieke eigenschappen.

Het meest in het oog springend is de ca. vijf cm dikke bovenste deklaag.

Deze laag moet zorgen voor een voldoende mate van comfort, veiligheid en geluidemissie en is daardoor functioneel van aard. Eigenschappen als vlakheid, stroefheid, stijfheid, geluidsabsorptie en waterafvoerend vermogen zijn hierbij van belang.

De onderliggende funderingslagen bepalen het draagvermogen van de verhardingsconstructie. Deze lagen zijn meer structureel van aard, waarbij de stijfheid van de lagen en de gevoeligheid voor spoorvorming bepalend zijn. De levensduur van deze onderliggende lagen bedraagt al gauw zo'n 30-40 jaar.

Asfalt

Asfalt is een (al dan niet poreus) mengsel van bitumen – een stroperige vloeistof uit aardoliedestillaat – met korrelige grondstoffen zoals zand, steen, grind en vulstoffen.

De (grotere) stenen vormen een 'steenskelet' en geven het asfalt voldoende dragend vermogen, terwijl het bitumen als bindmiddel het asfalt bij elkaar houdt.

Door de verschillende componenten in een bepaalde verhouding te kiezen en door de korrels qua vorm en soort te variëren, kun je asfalt in allerlei soorten verkrijgen: van vloeistofdichte mengsels tot poreus, waterdoorlatend asfalt.

PAC

PAC, short for porous asphalt concrete, is a popular type of asphalt in The Netherlands. As this asphalt consists of a relatively large amount of coarse granulate with exact granule size ratio and four to five mass percentage of bitumen, an asphalt layer is created with over 20 percent of 'very open' cavities which are interconnected. The advantage is that rainwater can immediately subside in it, which renders hydroplaning - slipperiness as a result of water on the road surface - a thing of the past. Furthermore the porous structure causes the sound of vehicles roaring over it to be somewhat absorbed and this makes expensive acoustic shielding unnecessary. But this open structure also has drawbacks. For example, during the winter period spreading services cannot use sand instead of brine for PAC, because sand actually plugs the open structure. And brine also subsides into the porous structure, which makes combating icy road conditions much more difficult than with 'closed' road surfaces. A temporary disadvantage of PAC is that during the first weeks after construction the roughness of the road surface is much less than desired, which results in a longer braking distance. This is caused by the granules still being covered by a thin layer of bitumen which first has to be worn off by traffic. A more structural disadvantage is the relatively short life span of PAC (an average of 12 years) and the sensitivity of the material to loosening stones (ravelling) - especially when compared to closed wearing courses which last on average 17 years.

The open structure allows the 'big, bad world' to penetrate deeper than with closed wearing courses.

Bitumen

Even though only five mass percent of asphalt is composed of bitumen, this binder material plays a vital role. Bitumen is a residual product that remains after the separation through distillation of other (low boiling) hydrocarbons from crude oil. Bitumen is mainly composed of organic hydrocarbons, which can be roughly divided into two groups: maltenes, with a liquid-like behaviour and asphaltenes which behave more like a solid substance. The amount and type of maltenes and asphaltenes determine the elasticity and plasticity of the bitumen. At a constant temperature the viscosity of bitumen will increase with asphaltene content. At higher temperatures the bitumen will be more liquid-like (lower viscosity) than at lower temperatures, which results in a better moulding of the asphalt at higher temperatures. Approximately 80 percent of worldwide produced bitumen is used for binding in asphalt for roads. Other materials like polymers can be added to bitumen to change the characteristics even more.

ZOAB

Een populaire soort asfalt in Nederland is zeer open asfaltbeton, kortweg ZOAB. Doordat dit asfalt relatief veel grof granulaat met nauwe korrelgrootteverdeling en vier tot vijf massaprocent bitumen bevat, ontstaat een asfaltlaag met ruim 20 procent 'zeer open' holtes die onderling met elkaar verbonden zijn. Voordeel hiervan is dat regenwater direct hierin kan wegzakken, waardoor aquaplaning – gladheid veroorzaakt door water op het wegdek – tot het verleden behoort. Bovendien zorgt de poreuze structuur dat geluid van er overheen razende auto's enigszins wordt geabsorbeerd en dit maakt kostbare geluidschermen overbodig. Maar deze openheid geeft ook nadelen. Zo kunnen in de winterperiode strooidiensten bij ZOAB geen zand in plaats van pekels gebruiken, omdat het zand de open structuur juist verstopt. En ook pekels zakt weg in de poreuze structuur, waardoor ijzel lastiger te bestrijden is dan bij een 'dicht' wegdek. Een tijdelijk nadeel van ZOAB is dat het wegdek de eerste weken na aanleg veel minder stroef is dan je zou willen, met een langere remweg tot gevolg. Dit komt doordat de korrels nog door een dun laagje bitumen bedekt zijn dat eerst moet worden weggesleten door het verkeer. Een meer structureel nadeel is dat de levensduur van ZOAB relatief kort is (gemiddeld 12 jaar) en dat het materiaal gevoelig is voor losrakende steentjes (rafeling) – zeker in vergelijking met dichte deklagen die gemiddeld 17 jaar meegaan.

Door de open structuur dringt de 'boze buitenwereld' dieper in de laag door dan bij dichte deklagen.

Bitumen

Hoewel slechts vijf massaprocent van asfalt uit bitumen bestaat, neemt dit bindmiddel een cruciale plaats in. Bitumen is een restproduct dat na scheiding via destillatie van andere (laagkokende) koolwaterstoffen uit aardolie overblijft. Bitumen bestaat grotendeels uit organische koolwaterstoffen, die grofweg in twee groepen te verdelen zijn: de maltenen, met vloeistofachtig gedrag en de asfaltenen die zich meer als vaste stoffen gedragen. De hoeveelheid en de soort maltenen en asfaltenen bepalen de elastische en plastische vervormbaarheid van het bitumen. Bij een constante temperatuur neemt de viscositeit (stropigheid) van een bitumen toe met het gehalte aan asfaltenen. Bij hogere temperatuur gedraagt bitumen zich vloeibaarder (lagere viscositeit) dan bij lagere temperaturen, waardoor je het asfalt bij hogere temperaturen beter vorm kunt geven. Ongeveer 85 procent van de wereldwijd geproduceerde bitumen wordt gebruikt als bindmiddel in asfalt voor wegen. Je kunt andere materialen zoals polymeren aan het bitumen toevoegen om de eigenschappen nog meer te veranderen.

3 Solutions

The accumulating traffic load of motorways does not only increase road deterioration, but also progressively frustrates the maintenance of these roads. After all, less time is available for executing these services in order to keep traffic hindrance at a tolerable minimum. So on the one hand methods need to be found to slow down the damage to the hardening and on the other hand it is wise to quickly, efficiently and cheaply repair any damaged portions of the wearing course.

Ravelling, the loosening of stones from the wearing course, at first seems a 'logical' type of deterioration for PAC, the asphalt which is used for most of the wearing courses of motorways. This porous asphalt concrete consists of a coarse granulate (stones and smaller stones) that is kept together with just four to five mass percentage of bitumen. This bitumen is specifically located between the granulate contact points in the shape of so-called adhesive bridges. Due to the high porosity of the PAC - and the inherently relative large inner open surface - the material is vulnerable to outside (weather) influences. Because the stones form a robust phase within the asphalt, ravelling is usually caused by 'problems' in the bitumen or the interface between bitumen and the stones.

The moment ravelling becomes visible the bituminous bonding agent is no longer sufficiently capable of keeping the stones together. The result: small cracks in the asphalt, roughness at the surface, holes in the wearing course. When the cracks are still in an early phase, it is possible to apply maltenes - the original liquid-like component present in the bitumen - as an asphalt rejuvenator to the wearing course. This viscous substance changes the chemical composition of the bitumen that has become dryer and more brittle during the course of the years, because the maltenes have increasingly oxidized off. In this manner the life span of the asphalt can be extended by several years, but only the top centimeters are tackled in this manner.

3 Oplossingen

Door de steeds groter wordende verkeersbelasting van autosnelwegen neemt de slijtage toe en komt ook het onderhoud van autosnelwegen steeds meer in de knel. Er is immers minder tijd beschikbaar voor het uitvoeren van deze werkzaamheden om de verkeershinder nog enigszins binnen de perken te houden. Dus enerzijds moeten er manieren worden gevonden om de schade aan de verharding te vertragen en anderzijds is het verstandig om eventuele kapotte stukken wegdek snel, effectief en goedkoop te repareren.

Rafeling, het loslaten van stenen uit het wegdek, is zo op het eerste gezicht een 'logische' soort schade voor ZOAB, het asfalt waaruit de deklagen van de meeste autosnelwegen bestaan. Want je hebt in dit zeer open asfaltbeton te maken met een grof granulaat (stenen en steentjes) dat met slechts vier tot vijf massaprocent aan bitumen bij elkaar wordt gehouden. Dit bitumen zit vooral tussen de contactpunten van het granulaat in de vorm van zogenaamde hechtbruggen. Door de hoge porositeit van het ZOAB - en daaraan gekoppeld het relatief grote inwendig open oppervlak - is het materiaal kwetsbaar voor (weers)invloeden van buitenaf. Omdat steentjes een robuuste fase binnen het asfalt vormen, is rafeling doorgaans het gevolg van 'problemen' in het bitumen of op het grensvlak tussen bitumen en de stenen.

Op het moment dat rafeling zichtbaar begint te worden lukt het de bitumineuze bindmiddel niet meer in voldoende mate om de steentjes bijeen te houden. Het gevolg: scheurtjes in het asfalt, ruwheid aan het oppervlak, gaten in het wegdek. Als de scheuren nog in een pril stadium zijn, is het mogelijk om maltenen - de oorspronkelijk aanwezige vloeistofachtige componenten in het bitumen - als 'asfaltverjongers' op de deklaag aan te brengen. Deze viskeuze vloeistoffen veranderen de chemische samenstelling van het bitumen dat in de loop der jaren steeds droger en brosser is geworden, doordat de maltenen meer en meer zijn weggeoxideerd.

One method of extending the life span for ravelling and to decrease the need for maintenance is to ensure that the asphalt can heal itself. Self-repair of asphalt is mainly applicable to the bitumen, or to the interface between bitumen and the stones. For it is far easier to direct the viscous (syrupy) bitumen to a specific spot - and in this manner close cracks in the asphalt - than to try any form of processing with the rigid, anorganic components. This 'causing to flow' will go easier if the bitumen act more like a liquid - for example by heating the substance - or by reducing the viscosity of the material itself.

Self-healing of asphalt is not just anything. We would prefer to use this approach to tackle the ravelling without causing new problems. In this manner a realistic vision of the future still takes a lot of effort. To give an impulse to the development of new materials it is meaningful to find out where we are at this moment. What ideas are existing - both in the technical field as organization wise?

Revolution in materials land

Self-healing materials have caused a revolution in materials land. They break with the traditional principle that we should produce materials better and stronger, with the intention of preventing spontaneous damage during usage for as long as possible. We could say that traditional materials are produced too well, especially by optimising the production process. Self-healing materials deviate strongly from this principle. For we can also make materials 'better' in the meaning of 'healing' or 'repair'. The underlying idea is that damage to a material does not have to be a problem, as long as the material has the capacity to repair these defects itself. The goal therefore is not so much obtaining increasingly stronger materials, but an optimum between strength and self-healing capacities.

De levensduur van het asfalt is hiermee met een paar jaar te verlengen, maar hierbij worden alleen de bovenste paar centimeter van de deklaag aangepakt.

Eén manier om de levensduur voor rafeling te verlengen en minder onderhoud uit te hoeven voeren is door te zorgen dat het asfalt zichzelf kan herstellen.

Zelfherstel van asfalt grijpt voor het grootste deel aan op het bitumen, of op het grensvlak tussen bitumen en de stenen. Het is namelijk eenvoudiger om het viskeuze (stroperige) bitumen naar een bepaalde plaats te laten stromen – en zo scheuren in het asfalt te laten dichten – dan om enige bewerking te doen met de starre, anorganische componenten. Dit ‘laten stromen’ gaat beter als het bitumen zich meer als een vloeistof gedraagt - bijvoorbeeld door het materiaal te verwarmen - of door de viscositeit van het materiaal zelf te verlagen.

Bij zelfherstel van asfalt komt nog wel het één en ander kijken. Want het liefst wil je met deze benadering de oorzaak van rafeling aanpakken zonder nieuwe problemen te veroorzaken. Zo heeft een realistische toekomstvisie voor een nieuwe generatie zelfherstellende verhardingen nog enige voeten in de aarde. Om een impuls te geven aan de ontwikkeling van deze materialen is het zinvol om duidelijk te maken waar we nu staan en welke ideeën er leven – zowel op technisch-inhoudelijk gebied als op organisatorisch gebied.

Revolutie in materialenland

Zelfherstellende materialen hebben een revolutie in materialenland teweeggebracht. Ze breken met het traditionele principe om materialen steeds beter en sterker te maken, met als doel om spontane beschadigingen tijdens gebruik zo lang mogelijk te voorkomen. Je zou kunnen zeggen dat traditionele materialen te goed worden gemaakt, vooral door het productieproces te optimaliseren. Zelfherstellende materialen wijken sterk af van dit principe. Je kunt materialen namelijk ook ‘beter maken’ in de zin van ‘herstellen’. Het idee hierachter is dat beschadiging van een materiaal geen probleem hoeft te zijn, als dit materiaal maar het vermogen bezit om deze defecten zelf te repareren. Het streven is dus niet zozeer naar steeds sterkere materialen, maar naar een optimum tussen sterkte en zelfherstellend vermogen.



Technical solutions

Assuming that ravelling starts with small cracks in the bitumen or between the bitumen and the small stones, it might be possible to close these cracks by filling them with flowing bitumen. In a simplified way, bitumen can be considered as a very dense viscous fluid with liquid-like components (maltenes) and more solid-like components (asphaltenes). If a crack occurs, the material can repair itself by flowing into the crack.

Of course this ‘flowing’ goes faster when the ‘fluid’ is less viscous and behaves more like a liquid – for example by mixing with a less viscous fluid, or by increasing the temperature. Within the academic world, there are two routes to let asphalt heal itself in the way described above: by using microcapsules and induction heating. Furthermore, intensive investigations are being performed to understand – and stimulate – the natural self-healing ability of bitumen, with a possible role for controlled phase separation.



Technische oplossingen

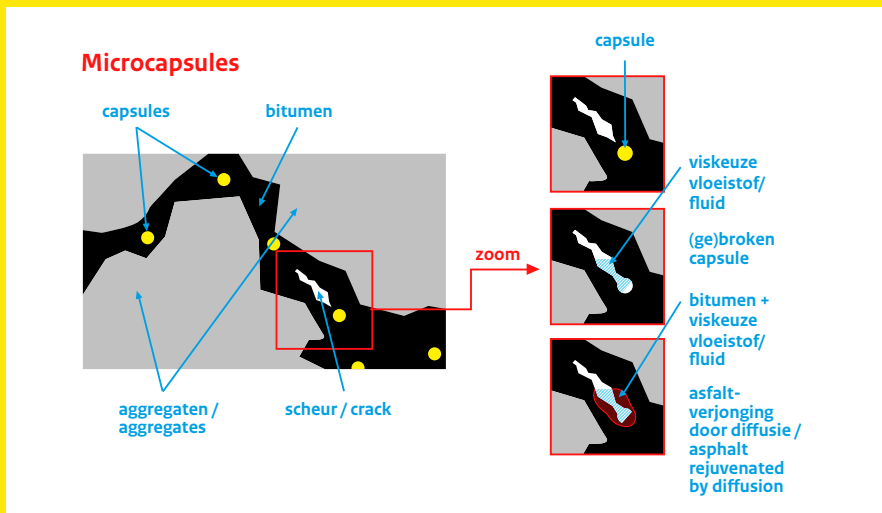
Ervan uitgaande dat rafeling begint met kleine scheurtjes in het bitumen of tussen het bitumen en de stenen, kun je deze scheurtjes laten dichtstromen. Sterk vereenvoudigd is bitumen te beschouwen als een hele dichte viskeuze vloeistof met vloeistofachtige componenten (maltenen) en meer vaste componenten (asfaltenen). Als er een scheur optreedt, dan zou deze vanuit het materiaal zelf kunnen dichtvloeien. Uiteraard gaat dit 'vloeien' sneller als de 'vloeistof' minder stroperig is

en zich meer als een vloeistof gaat gedragen - bijvoorbeeld door het met een minder viskeuze vloeistof te mengen, of door de temperatuur te verhogen. Binnen de universitaire wereld wordt momenteel in twee richtingen gedacht om asfalt zichzelf op de bovenstaande manier te laten herstellen: met microcapsules en met inductieverwarming. Daarnaast wordt er intensief onderzoek gedaan om het natuurlijke zelfherstellende vermogen van bitumen te begrijpen - en te stimuleren - met een mogelijke rol voor gecontroleerde fasenscheiding.

Microcapsules

One way to make bitumen flow better is by incorporating capsules containing a suitable fluid with lower density. When a developing crack encounters such a capsule on its pathway, the capsule will tear open and the rejuvenator will flow into the crack. This rejuvenator gets into contact with the bitumen and intermixes through diffusion to a less viscous type of bitumen. It is rather obvious that this fluid consists of maltenes – a ‘natural’ component of the bitumen.

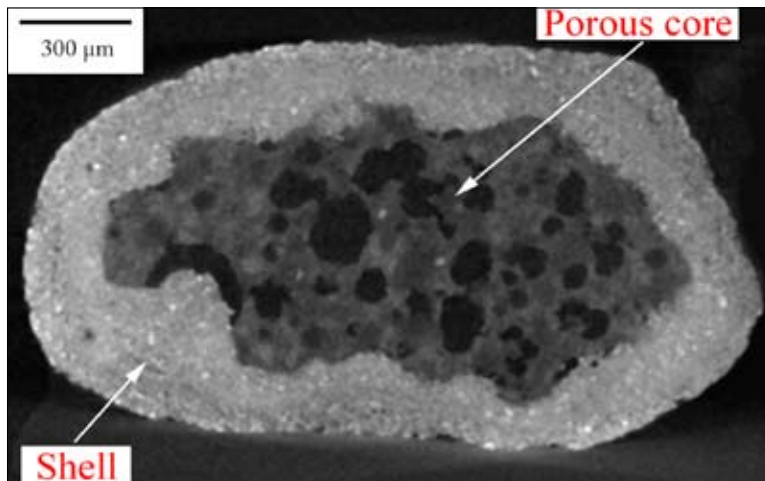
For an optimum self-healing effect - across the entire thickness of the asphalt wearing course - these capsules have to be homogeneously mixed with the bitumen of the PAC prior to laying the wearing course. There is one challenge in this process: the capsules have to survive the road construction process - including mixing bitumen and stones at 180°C - and must perform their healing actions only after the wearing course has solidified. Of course the capsules cannot be that strong that they never break. A promising system consists of maltenes incorporated into very porous sand and where the outside of each ‘grain of sand’ is covered with a composite of very fine sand and a thermally resistant resin. The next step in the research process is to test these capsules in asphalt concrete.



Microcapsules

Een manier om het bitumen beter te laten stromen is door er capsules in op te nemen met een geschikt verjongingsmiddel met lagere dichtheid. Als een zich ontwikkelende scheur in het asfalt zo'n capsule op z'n pad tegenkomt, dan scheurt de capsule open en stroomt het verjongingsmiddel naar buiten in de scheur. De vloeistof komt met het bitumen in aanraking en vermengt zich hiermee via diffusie tot een minder stroperige bitumen. Het ligt hierbij voor de hand dat het verjongingsmiddel uit maltenen bestaat – een 'natuurlijke' component van het bitumen.

Voor een optimaal zelfherstellend effect - over de gehele dikte van de deklaag - moeten deze capsules voorafgaand aan het aanleggen van het wegdek homogeen worden gemengd met het bitumen van het asfaltbeton. En daar zit ook meteen de uitdaging: de capsules moeten de aanleg van het wegdek overleven - inclusief de menging van bitumen en stenen bij 180°C - en mogen pas nadat het wegdek is uitgehard hun helende werking verrichten. Daarbij mogen ze uiteraard niet zo sterk zijn dat ze nooit breken. Hoge ogen gooit een systeem waarbij maltenen zijn opgenomen in zeer poreus zand en waarbij de buitenkant van elke 'zandkorrel' is bedekt met een composiet van zeer fijn zand en een thermisch bestendig hars. De eerstvolgende stap in het onderzoeksproces is om deze capsules in asfaltbeton te testen.



Poreuze capsule gevuld met viskeuze vloeistof / Porous capsule filled with viscous fluid

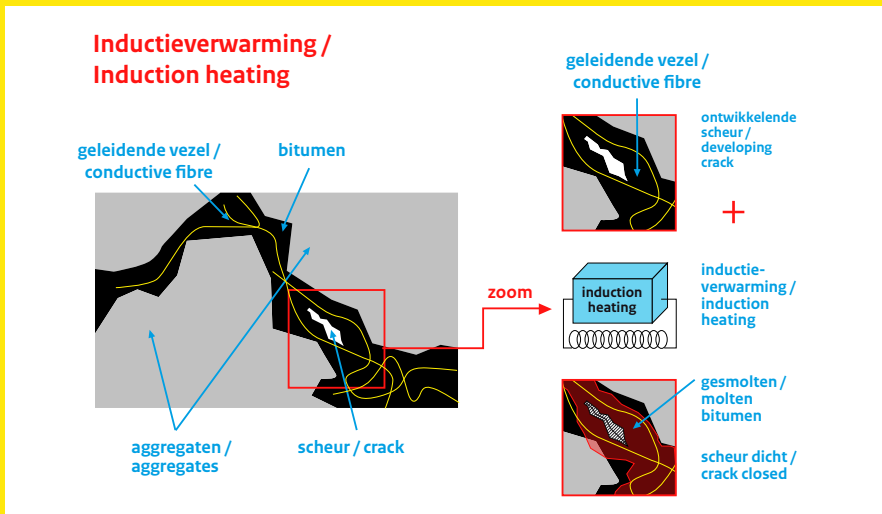
Induction heating

Another way to make bitumen flow better is by increasing its temperature. This can be accomplished by incorporating electrically conducting metal fibres, for example steel wool, in the asphalt. These fibres are heated via induction by a coil above the asphalt. The heated bitumen then melts and flows into the cracks inside the bitumen, or at the interface between the bitumen and the stones.

To make asphalt electrically conducting - a prerequisite for induction heating - the fibres have to be connected in closed-loop circuits. If a coil is placed, without direct contact, close to these magnetically susceptible and electrically conducting fibres, eddy currents are induced in the closed-loop circuits. Since the metal of the fibres has a certain electrical resistance, these currents generate

heat that is transferred to the surrounding bitumen. Together with other partners, Rijkswaterstaat will conduct practical tests in 2010 under real conditions, to determine whether or not the life span of asphalt is extended using this self-healing approach. At this moment an experiment has been planned at highway A58 near Middelburg.

This way of self-healing requires some kind of action outside the material: the movement of the coil above the asphalt. The principle of induction heating is a proven technology, with the induction cooker as its best-known example. To increase conductivity, electrical conducting fibres give better results than non-fibrous fillers. However, above a certain fibre content the conductivity hardly increases, indicating an optimum in electrical conductivity.



Inductieverwarming

Een andere manier om bitumen beter te laten stromen is door de temperatuur van het bitumen – tijdelijk - te verhogen.

Dit kan tot stand worden gebracht door elektrisch geleidende metalen vezels, bijvoorbeeld staalwol, in het asfalt te stoppen die via inductie door een spoel boven het asfalt worden verwarmd.

Het verwarmde bitumen kan ontstane scheuren binnen het bitumen, of op het grensvlak van het bitumen en de stenen, dan laten volstromen.

Om het asfalt stroom te laten geleiden – een voorwaarde voor verhitting via inductie – moeten de vezels in gesloten lussen met elkaar verbonden zijn. Wanneer je een spoel met daar doorheen een wisselstroom in de buurt van de magnetisch gevoelige en elektrisch geleidende vezels plaatst, dan worden – zonder direct contact - zogenaamde wervelstromen in deze vezels opgewekt. Omdat het metaal van de vezels een bepaalde elektrische weerstand bezit, veroorzaakt de stroom warmteontwikkeling, die overgaat op het omringde bitumen. Onder meer samen met Rijkswaterstaat wordt anno 2010 onderzocht of wegdekken met dit type zelfherstellend asfalt veel langer kunnen meegaan dan ‘normale’ wegen. Zo is inmiddels een experiment gepland op de A58 bij Middelburg.

Deze manier van herstellen vereist enig ingrijpen van buitenaf – al dan niet automatisch – om zo’n spoel contactloos boven het asfalt te laten bewegen.

Het principe van inductieverwarming is al bewezen technologie – de inductiekookplaat is daarvan het beste bewijs.

Om de geleidbaarheid te vergroten blijken elektrisch geleidende vezels een beter resultaat te geven dan vulstoffen die geen vezelachtige structuur hebben. Maar boven een bepaald gehalte aan vezels neemt de geleidbaarheid nog nauwelijks toe, wat aangeeft dat er een optimum is in elektrische geleidbaarheid.

Het laten stromen van bitumen via verwarming lijkt een eenvoudige oplossing maar is in werkelijkheid een delicaat proces. Boven de 100°C verdubbelt de oxidatiesnelheid van bitumen bij elke 10°C temperatuurstijging in de aanwezigheid van zuurstof. Verhitting leidt dus tot oxidatie van het bitumen dat daardoor extra bros wordt en dus gevoeliger voor rafeling. Bovendien kan teveel stroming van het bitumen in combinatie met de zwaartekracht het bitumen naar onderen laten zakken, waardoor de stenen bovenin zullen loslaten - net datgene wat je niet wilt. Wat dat betreft zal er een zoektocht moeten komen naar een optimale temperatuur: hoog genoeg voor enige stroming, maar niet te hoog. Overigens speelt oxidatie al een rol bij het aanleggen van het wegdek - als het bitumen tijdens het productieproces tot zo’n 180°C wordt verwarmd – maar deze rol is beperkt.

At first glance, flow of bitumen seems to be a simple solution. But too much heating can be problematic. At temperatures above 100°C in the presence of oxygen, the oxidation rate of bitumen doubles every 10°C temperature rise. Hence, heating leads to oxidation of bitumen, making the material more brittle and sensitive to ravelling. Furthermore, too much heating may result in a too liquid-like behaviour of the bitumen. This bitumen will - due to gravity - flow to the deeper parts of the road, facilitating the undesirable release of small stones in the wearing course.

So an optimum temperature has to be found: high enough for bitumen to flow, but not too high. Oxidation is of importance during road construction itself - when the bitumen is heated to about 180°C - but to a limited extent.

Controlled phase separation in bitumen

By nature, asphalt shows some self-healing behaviour. Microscopically small cracks that arise during daytime, close slowly at night when there is much less traffic. Finding an explanation for this phenomenon and understanding the underlying mechanism, allows for the development of a new generation of 'tailor-made' bitumen. If possible, in combination with the previously mentioned healing mechanisms. Controlled phase separation can play a role in this.

Suppose we are dealing with bitumen where two phases are separated, for example the asphaltenes from the maltenes, or specific constituting components. When asphalt is loaded, e.g. by traffic, small cracks will arise slowly. However, due to a difference in stiffness between the phases, these cracks will mainly appear at the interface between the phases.

After removing the load, the bitumen will look for an energetic optimum state. This may lead to a regrouping or merging to a more homogeneous material. This is the idea behind controlled phase separation as healing mechanism.

Gecontroleerde fasenscheiding in bitumen

Het is bekend dat asfalt van nature enige zelfhelende eigenschappen bezit. Scheurtjes in het asfalt die overdag ontstaan op een drukbereden wegdek hebben soms de neiging om in warme, verkeersluwe nachten weer dicht te trekken. Als je hiervoor een verklaring kunt vinden en het mechanisme hierachter begrijpt, kun je een nieuwe generatie 'tailor-made' bitumen maken. Eventueel in combinatie met andere (hiervoor genoemde) mechanismen. Mogelijk speelt gecontroleerde fasenscheiding hier een rol.

Stel je hebt te maken met bitumen waarbij twee fasen van elkaar gescheiden zijn. Bijvoorbeeld de asfaltenen van de maltenen, of specifieke componenten hierin. Bij belasting van het asfalt zullen ook hier langzaam microscheurtjes ontstaan. Echter, vanwege een verschil in stijfheid tussen de fasen zullen de scheurtjes vooral op het grensvlak tussen de fasen te voorschijn komen. Als je de belasting wegneemt en het asfalt dus met rust laat, zal het bitumen op zoek gaan naar een energetisch optimale toestand. Hierbij kan het zo zijn dat de fasen zich gaan hergroeperen of samensmelten tot een meer homogeen materiaal. Dit is het idee achter gecontroleerde fasenscheiding als herstelmechanisme.



Foto: Peter Hiltz / Hollandse Hoogte

Advanced controlled phase separation

Maltenes, the viscous components in bitumen, consist of waxy compounds (paraffines and cycloalkanes), aromates and benzene-derived resins. Research at Delft University of Technology reveals that bitumen with a higher natural wax content has larger healing capacities. Researchers have developed a model that can establish phase separation under certain conditions, based on parameters as solubility and mobility. The appearance and disappearance of these phases seems to affect the healing capacities of bitumen. However, a disadvantage of natural wax is the ability to form cracks in the bitumen via crystallization during prolonged periods at low temperatures. Research has to reveal whether or not it will be possible to optimise the healing capacities using different kinds of waxes. Atomic Force Microscopy and Neutron Scattering techniques are utilised to confirm the appearance of wax-induced phase separation.

Optimising bitumen using polymers?

It is possible to add polymers to the 'natural product' bitumen to improve the asphalt properties. Poly(styrene-butadiene-styrene) or SBS is mainly used for this type of asphalt modification. SBS is a thermoplastic elastomer that can be added in amounts of three to five percent to the bitumen. An SBS polymer consists of three parts: a polystyrene chain and polybutadiene chain, and again a polystyrene chain. Polystyrene is a hard plastic and gives strength to SBS. Polybutadiene is more rubber-like and gives elastic, flexible properties to the polymer.

This combination of strength and flexibility is a remedy against crack formation - especially brittleness at low temperatures - and against rutting - less viscous behaviour at higher temperatures. Furthermore, SBS modification suppresses aging, since the modified bitumen is 'softer' than normal bitumen. In fact, addition of polymer results in re-shaping the asphalt after extreme (high or low) temperatures and after loading.

Addition of polymers increases the price of asphalt in the road construction phase. SBS is a polymer with a relatively favourable price/quality ratio. An alternative would be to replace bitumen entirely by epoxy resin. This has the advantage that the life span of the (PAC) asphalt is much longer, at the expense of a 10 times higher cost price.

Gecontroleerde fasescheiding voor gevorderden

Maltene, de viskeuze componenten in bitumen, bestaan uit wasachtige substanties (paraffinen en cycloalkanen), aromaten en harsen die van benzeen zijn afgeleid.

Uit onderzoek aan de TU Delft blijkt dat bitumen met een hoger gehalte aan natuurlijke was een grotere herstelcapaciteit bezitten. Onderzoekers hebben een model ontwikkeld dat op basis van parameters als oplosbaarheid en beweeglijkheid onder bepaalde omstandigheden een fasescheiding tot stand brengt. Het ontstaan en verdwijnen van deze fasen lijkt direct invloed te hebben op het herstelvermogen van bitumen.

Natuurlijke was heeft echter als nadeel dat het bij langdurige periodes met lage temperaturen door kristallisatie scheuren kan vormen in het bitumen. Uit onderzoek moet blijken of je met andere soorten was het herstelvermogen kunt optimaliseren. Hierbij worden technieken als atomic force microscopy (AFM) en neutronenverstrooiing gebruikt om de belangrijkste parameters van de door was veroorzaakte fasescheiding te meten.

Bitumen optimaliseren met polymeren?

Aan het 'natuurproduct' bitumen kun je polymeren toevoegen om de eigenschappen van asfalt te verbeteren. Het meest gebruikte polymeer hiervoor – in ruim driekwart van de gevallen bij asfaltmodificatie – is poly(styreen-butadien-styreen) oftewel SBS. Dit is een thermoplastisch elastomeer dat je in gehaltes van drie tot vijf procent aan het bitumen kunt toevoegen. Een SBS-polymeer bestaat uit drie delen: een polystyreenketen, een polybutadienketen en wederom een polystyreenketen. Polystyreen is een hard plastic en geeft het SBS stevigheid. Polybutadien is rubberachtig en geeft elastische, flexibele eigenschappen aan het polymeer.

Door de combinatie van 'stevigheid' en 'rubberachtigheid' helpt modificatie van asfalt met SBS tegen scheurvorming – specifiek tegen brosheid bij lagere temperaturen – en tegen spoorvorming – minder viskeus gedrag bij hogere temperaturen. Daarnaast gaat SBS-modificatie ook veroudering tegen, doordat het gemodificeerde bitumen 'zachter' is dan gewoon bitumen. Eigenlijk zorgt de toevoeging van polymeer dat het asfalt weer in z'n originele vorm terugkeert na extreme (hoge of lage) temperaturen en na belasting.

Toevoeging van polymeren maakt asfalt bij de aanleg duurder. SBS is dan nog een polymeer met een relatief gunstige prijs/kwaliteit-verhouding. Je zou het bitumen ook in z'n geheel kunnen vervangen door epoxyhars. Voordeel is een flink langere levensduur van het (ZOAB) asfalt, maar daar staat een 10 maal hogere kostprijs tegenover.

Organisational solutions

On 24 February 2010, delegates of research institutes, the Central Government, industrial suppliers and road contractors gathered in Delft to chart the possibilities of self-healing asphalt. Besides the technical aspects, the main purpose was to explore how the players in the field would have to optimally work together to turn self-healing asphalt into a success. Apart from a few known facts, several new ideas were generated as well.

The central question of this gathering was *what could each of the parties involved do to speed up the development of self-healing asphalt within road construction*. And the 'central answer' to this was - little surprising - to cooperate, to find a common interest for roads which will last for decades to safely transport road users. This requires a good association between the players - Central Government, industry, road contractors and science - to share dreams (as well as knowledge) and openly discuss problems and to trust each other to solve these problems together.

An important question which arose was: who will carry the financial risk for the development of self-healing asphalt in road construction? Since the investments for this development will have to be made at this moment - think of the more expensive materials compared to 'traditional' asphalt - while it will last at least 12 years - the current average life span of PAC - before it becomes clear whether this is a successful choice. Return of this investment will only materialise after this term in the form of an extended life span of the asphalt and consequently less maintenance costs. Although no absolute answer to the risk question was given during the meeting, in reality the financial risk will only be taken by the road manager (the Central Government) or by road contractors with a combined construction and maintenance contract. To evaluate this risk it is important to understand the capacity of self-healing asphalt at an early stage, for example through pilot projects with a sufficiently long evaluation time.

Organisatorische oplossingen

Op 24 februari 2010 kwamen in Delft afgevaardigden van onderzoeksinstellingen, de Rijksoverheid, industriële toeleveranciers en wegenbouwers bijeen om de mogelijkheden van zelfherstellend asfalt in kaart te brengen. Naast de technisch-inhoudelijke mogelijkheden ging het hier met name om af te tasten hoe de spelers in het veld optimaal met elkaar zouden moeten samenwerken om zelfherstellend asfalt tot een succes te maken. Naast een aantal 'open deuren' kwamen ook nieuwe ideeën naar voren.

Centrale vraag bij deze bijeenkomst was *wat elk van de partijen zou kunnen doen om de ontwikkeling van zichzelf herstellende verhardingen in de wegenbouw te versnellen*. En het 'centrale antwoord' hierop was - weinig verrassend - om gezamenlijk op te treden, om een collectief belang zien te krijgen voor wegen die enkele tientallen jaren meegaan om op een veilige manier de weggebruikers te vervoeren. Dit vraagt een goede relatie tussen de spelers - Rijksoverheid, industrie, wegenbouwers en wetenschap - om dromen (en ook kennis) te delen en problemen open op tafel te leggen en vertrouwen in elkaar te hebben om deze problemen samen op te lossen.

Een andere belangrijke vraag die naar voren kwam was: wie draagt het financiële risico voor de ontwikkeling van zichzelf herstellend asfalt in de wegenbouw?

De investeringen voor deze ontwikkeling moeten nu al gedaan worden - denk aan duurder materialen in vergelijking met het 'traditionele' asfalt. Terwijl pas aan het einde van de huidige gemiddelde levensduur van ZOAB (minimaal 12 jaar) duidelijk is of dit een succesvolle route is.

Het terugverdienen van deze investering zal pas na deze termijn gebeuren in de vorm van een verlengde levensduur van het asfalt met minder onderhoudskosten.

Hoewel tijdens de bijeenkomst geen concreet antwoord gekomen is op de risicovraag, zal het financiële risico in de praktijk alleen genomen kunnen worden door de wegbeheerder (de Rijksoverheid) of door wegenbouwers met een gecombineerd aanleg- en onderhoudscontract.

Om dit risico in te schatten is het van belang om in een zo vroeg mogelijk stadium de werkzaamheid van zelfherstellend asfalt te kennen, bijvoorbeeld met testvakken met een voldoende lange meettijd.

Short term actions

All good and well, these ideas to speed up the development of self-healing hardening constructions within the road construction, but which actions would have to take place on short notice to realise this?

A list of options:

- The scientific world has voiced the wish to cooperate with Rijkswaterstaat as road manager to install a pilot plot to demonstrate the feasibility of self-healing asphalt by induction heating. Sometimes things go fast. An experiment has been planned at highway A58 near Middelburg.
- Road contractors would like to cooperate more intensely with knowledge institutes to find common interests and would like to cooperate with the NL Agency to bring together numerous parties. The road contractors can contribute knowledge, time and money - whether or not supported by Rijkswaterstaat. The NL Agency subsidises a broad Dutch research program for self-healing materials.¹⁾
- Rijkswaterstaat is interested in other methods which can indicate the cause for damage to the (PAC) wearing course and thinks the current vision document - as well as the feedback of possible 'solution finders' - can contribute to this.
- Suppliers are interested in taking part in 'self-healing' research projects and together with Rijkswaterstaat would like to find a method (possibly by means of a pilot project) to demonstrate the feasibility of self-healing materials in road construction.

'Bumps in the road'

But we're not there yet, because there are still some bumps in the road to overcome which can nip the development of self-healing asphalt in the bud, for example:

- Technical points of attention, like a non-optimal interaction between stone and bitumen, the unfamiliarity of the material characteristics of self-healing asphalt (in the long term as well) and also the influence of this type of asphalt on the rest of the road. Furthermore it is not clear whether self-healing asphalt has a solution for the deterioration which takes place on cooler spots in the PAC instead of somewhere else.
- Daily concerns – frost damage, etc. – which can cause the long term policy to be overlooked.

These 'bumps' are investigated in current research.

¹⁾ <http://www.agentschapnl.nl/iopselfhealingmaterials>

Acties op de korte termijn

Mooi allemaal, deze ideeën om de ontwikkeling van zichzelf herstellende verhardingen in de wegenbouw te versnellen, maar welke concrete acties zouden daarvoor op de korte termijn gedaan moeten worden? Een lijst met opties:

- Vanuit de wetenschappelijke wereld ligt er de wens om samen met Rijkswaterstaat als wegbeheerder een proefvak op te zetten om de haalbaarheid van zichzelf herstellend asfalt via inductieverwarming te demonstreren. Soms gaat dat heel snel. Inmiddels is er een experiment gepland op de A58 bij Middelburg.
- Wegenbouwers willen hiervoor graag meer met kennisinstellingen samenwerken om gezamenlijke doelen te vinden en willen graag met Agentschap NL optrekken om meerdere partijen bij elkaar te brengen.
- De wegenbouwers kunnen hierbij kennis, tijd en geld - al dan niet ondersteund door Rijkswaterstaat - inbrengen. Agentschap NL subsidieert een breed Nederlands onderzoeksprogramma op het gebied van zelfherstellende materialen.¹
- Rijkswaterstaat is zeer geïnteresseerd in andere manieren om oorzaken én oplossingen van schade aan ZOAB te vinden. Rijkswaterstaat draagt hier onder meer aan bij door het uitbrengen van voorliggend boekje, met de hoop op waardevolle feedback.

- Toeleveranciers zijn geïnteresseerd om deel te nemen aan ‘zelfherstellende’ onderzoeksprojecten en willen graag met Rijkswaterstaat een manier bedenken (wellicht met een proefvak) om de haalbaarheid van zichzelf herstellende materialen in de wegenbouw te demonstreren.

‘Hobbels op de weg’

Maar we zijn er nog niet, want er zijn nog enkele hobbels te nemen die de ontwikkeling van zichzelf herstellend asfalt in de kiem kunnen smoren, waaronder:

- Technische punten van aandacht, zoals een niet-optimale interactie tussen steen en bitumen, de onbekendheid van de materiaaleigenschappen van zichzelf herstellend asfalt (ook op de lange termijn) en ook de invloed van dit type asfalt op de rest van de weg. Bovendien is nog niet duidelijk of zichzelf herstellend asfalt een oplossing geeft voor schade die ontstaat op meer afgekoelde plekken van het ZOAB (begin, einde, rand) dan elders.
- De waan van de dag – vorstschade, winterse gladheid etc. – waardoor het langetermijnbeleid ondergesneeuwd kan raken.

Deze hobbels zijn nadrukkelijk onderdeel van het materialenonderzoek zoals dat op dit moment wordt uitgevoerd.

²⁾ <http://www.agentschapnl.nl/opselphhealingmaterials>

Self-healing materials have done more than just change the way we look at materials development - from *improving materials* to *healing materials*. They also stimulate to take a closer look at other organisational aspects surrounding building and managing constructions. At this moment road contractors are primarily responsible for road construction, while the owner takes care of the management and maintenance.

This manner of organising, however, does not stimulate a road contractor to opt for sustainable solutions. In that regard self-healing materials fit well within the trend of road managers (like the Central government) entering in a construction contract in which the road contractor takes care of the maintenance and exploitation.



Zelfherstellende materialen hebben meer gedaan dan alleen het veranderen van onze kijk op materiaalontwikkeling - *van betere materialen maken naar materialen beter maken*. Ze stimuleren ook om andere organisatorische aspecten rondom het bouwen en beheren van constructies onder de loep te nemen. Op dit moment zijn wegebouwers vooral verantwoordelijk voor het aanleggen van een weg, terwijl de eigenaar voor het beheer en het onderhoud zorgt.

Deze manier van organiseren stimuleert een wegebouwer niet echt om voor duurzame oplossingen te kiezen. Wat dat betreft passen zelfherstellende materialen goed binnen de trend dat wegbeheerders (zoals de Rijksoverheid) steeds meer met wegebouwers een bouwovereenkomst aangaan waarbij de wegebouwer na aanleg ook zorgdraagt voor onderhoud en exploitatie.





Intermezzo: How has Glare been able to be developed in The Netherlands?

Glare is a material which has been applied to the topside of the fuselage of the Airbus A380 as of the current decade. Yet the initiative for developing this material at the Delft University of Technology was already taken in the seventies of the last century, about forty years ago. This shows that patience is needed when successfully turning a technical development into a commercial application. What knowledge can be obtained from Glare's development to successfully apply to self-healing pavement in road construction?

Glare (GLASS REinforced aluminium) is a laminated composite material in which aluminium layers are bonded together with a glass fibre reinforced glue.

Glare is 20 percent lighter than aluminium, as well as very stress resistant because the tension of fatigue cracks in the aluminium is absorbed by the intermediate fibre reinforced glue layers. This significantly retards crack formation and is expected to result in a considerable reduction of the number of expensive inspections. Furthermore the strong fibre layers in a Glare enhanced airplane result in less impact from hailstones and these strong intermediate layers also result in an improved corrosion resistance compared with 'pure' aluminium.

Glare was specifically developed in The Netherlands just because 'everything came together'. There was the recognition of fatigue in air plane constructions as being a social problem, as well as the correct infrastructure which led to an



Intermezzo: Hoe heeft Glare zich in Nederland kunnen ontwikkelen?

Glare is een materiaal dat vanaf het huidige decennium aan de bovenzijde van de romp van de Airbus A380 superjumbo wordt toegepast. Toch is de aanzet voor de ontwikkeling aan de TU Delft van dit materiaal al in de jaren zeventig van de vorige eeuw gemaakt, zo'n veertig jaar geleden. Dit geeft aan dat er een lange adem nodig is om een technische ontwikkeling succesvol commercieel toe te passen. Wat valt er uit de ontwikkeling van Glare te leren voor een succesvolle toepassing van zichzelf herstellende verhardingen in de wegebouw?

Glare (glass reinforced aluminum) is een gelaagd composietmateriaal waarin laagjes aluminium aan elkaar verbonden zijn met

een glasvezelversterkte lijm. Glare is 20 procent lichter dan aluminium en ook zeer vermoeiingsbestendig omdat de spanning van vermoeiingsscheurtjes in het aluminium door de tussengelegen vezelversterkte lijmlagen opgenomen wordt. Hierdoor wordt scheurvorming sterk vertraagd en is naar verwachting een aanzienlijk lager aantal dure inspecties nodig. Bovendien heeft een vliegtuig met Glare door de sterke glasvezellagen minder last van de inslag van hagelstenen en zorgen deze tussenlagen ook voor een grotere corrosiebestendigheid ten opzichte van 'puur' aluminium. Glare is juist in Nederland ontwikkeld omdat 'alle dingen bij elkaar kwamen'. Zo werd de vermoeiing van vliegtuigconstructies als een maatschappelijk probleem erkend en was de goede infrastructuur in Delft aanwezig wat

'academic work floor', in which professor Baud Vogelesand was a driving force. Furthermore The Netherlands had an excellent knowledge position as the birthplace of glued air plane constructions - for example the Fokker F27 - and there were good contacts with the government and possible exploiters like Airbus and Boeing. Tenacity - forty years of perseverance! - and having an 'open mind' also led to today's success. This 'open mind' was very well illustrated with Glare's excellent insulating properties which actually cause problems with de-icing - combating ice-up on the air plane. If we look at this 'problem' as a 'challenge' we can actually see the disadvantage of a good insulation

as an advantage: install electrical heating wires, so we only have to heat the outer thin Glare layer to prevent ice-up, which requires a minimum of electrical power!

If we translate these aspects of Glare into self-healing pavement in road construction, then it is especially important not to be 'narrow minded' but engage the help of other specialisms which can help solve problems. In a one-on-one translation from Glare to self-healing pavement we can think about a layered construction of the asphalt, in which a thin self-healing asphalt layer with electrical heating elements rests on an insulated foundation layer. And use solar cells or geothermal energy. Plenty of ideas!



leidde tot een 'academic workflow', waarbij professor Baud Vogelesand een stuwende kracht was. Daarnaast had Nederland een uitstekende kennispositie als bakermat van gelijkijnde vliegtuigconstructies – denk aan de Fokker F27 – en waren er goede relaties met de overheid en mogelijke gebruikers als Airbus en Boeing. Ook heeft doorzettingsvermogen – veertig jaar doorzetten! - en het hebben van een 'open mind' geleid tot het hedendaagse succes. Deze 'open mind' kwam heel illustratief naar voren bij de goede isolerende eigenschappen van Glare die juist problemen geven bij de-icing – het bestrijden van ijsvorming op het vliegtuig. Als je dit 'probleem' als een 'uitdaging' ziet, dan kun je het nadeel van de goede isolatie juist zien als een voordeel: plaats elektrische verwarmingsdraden, zodat je alleen de buitenste dunne

plaat van het Glare hoeft te verwarmen om ijsvorming tegen te gaan, waarbij je weinig elektrische energie nodig hebt!

Als je deze aspecten van Glare vertaalt naar zichzelf herstellende verhardingen in de wegenbouw, dan is het vooral van belang om niet te 'narrow minded' te zijn, maar de hulp in te roepen van andere vakgebieden die kunnen helpen om problemen op te lossen. En bij een één-op-één vertaling van Glare naar zichzelf herstellend asfalt kun je denken aan een gelaagde opbouw voor het asfalt, waarbij een dunne zichzelf herstellende asfaltlaag met elektrische verwarmings-elementen op een isolerende onderlaag rust. En maak gebruik van zonnecellen of bodemwarmte voor energieopwekking. Ideeën genoeg!



4 Financial aspects of self-healing asphalt

Road laying and major repairs

When Rijkswaterstaat replaces an existing road surface by another type – for instance two-layer PAC instead of standard PAC – the costs consist of milling and disposal of the current road surface and the application of the new layer(s). But there is more to it than the construction costs as the road also has to be maintained. Here, only ‘major repairs’ are taken into account and this involves the (partly) replacement of the road surface. Compared to this, the costs for ‘minor repairs’ are normally negligible.

Based on experiences Rijkswaterstaat uses the following maintenance model for major repairs:

- The right lane, which has been used most intensively, is replaced at the end of the life span of the road surface, after 10 years for PAC;
- Four years after the previous step both lanes are replaced, so 14 years after initial construction for PAC;
- Again 10 years after the previous step the right lane is replaced at the end of the life span of the road surface, so 24 years after initial construction for PAC.



Foto: Joost van den Broek / Hollandse Hoogte

- Four years after replacement of the right lane in the previous step both lanes are replaced and the supporting layer is reinforced, so 28 years after initial construction for PAC.

4 Zelfherstellend asfalt - de financiële kant

Aanleg en groot onderhoud

Als Rijkswaterstaat een bestaand type wegdek laat vervangen door een ander type – bijvoorbeeld van dicht asfaltbeton naar ZOAB, of van ZOAB naar dubbellaags ZOAB – dan bestaan de eenmalige aanlegkosten uit het wegfreen en afvoeren van de bestaande deklaag en het aanbrengen van de nieuwe laag of lagen. Maar met alleen de aanleg zijn we er nog niet, want deze weg moet ook onderhouden worden. Ten opzichte van *groot* onderhoud - het regelmatig (deels) vervangen van de deklaag – zijn de kosten voor *klein* onderhoud - zoals reinigen en winteronderhoud - doorgaans te verwaarlozen.

Op basis van gemiddelde waarnemingen hanteert Rijkswaterstaat grofweg het volgende onderhoudsmodel voor groot onderhoud:

- De meest bereden rechter rijstrook wordt vervangen aan het einde van de levensduur van de deklaag en dat is na 10 jaar voor ZOAB;
- Vier jaar na de vorige stap worden baanbreed beide stroken vervangen, dus 14 jaar na aanleg voor ZOAB;
- Wederom 10 jaar na de vorige stap wordt de rechter rijstrook vervangen aan het einde van de levensduur van de deklaag, dus 24 jaar na aanleg voor ZOAB;
- Vier jaar na de vervanging van de rechter rijstrook uit de vorige stap worden baanbreed weer beide lagen vervangen en wordt de onderlaag versterkt, dus 28 jaar na aanleg voor ZOAB.



Modelmatige weergave van de gemiddelde onderhoudscyclus

Financial benefits of self-healing asphalt

To make a quantitative prediction of the financial benefits that can be obtained when using self-healing materials, it would be best to compare the change (increase) in materials costs with the change (decrease) in maintenance costs. Depending on the application, other costs such as operating costs, disposal costs and environmental costs can be taken into account. It is expected that periods between road maintenance will extend when self-healing asphalt will be used, resulting in a decrease in traffic jam costs - and traffic hindrance, of course.

According to Rijkswaterstaat, the average annual costs for major repairs of 74 km² of standard PAC in the Netherlands are amounted to 180 million euros. By extending the life span of standard PAC with 25 percent - so from 12 years on average to 15 years - the annual costs for major repairs can be reduced by 35-50 million euros. At an extension of the life span from 12 years on average to 18 years - so by 50 percent - the annual savings on major repairs will be as much as 60-80 million euro. In these amounts, the additional cost for applying self-healing asphalt are not taken into account.

Besides these 'direct' savings, self-healing asphalt yields indirect advantages, for instance less traffic jams due to road maintenance and hence less social traffic jam costs. Traffic jam costs, expressed as capitalised hours of time loss of waiting people and their alternative routes, amounted in 2008 in the Netherlands to 2.8 billion euros, of which 'only' 4 percent or about 110 million euros were caused by road maintenance. It would be reasonable to assume that the number of traffic jams decreases proportionally with the length of the maintenance period. Therefore, a life span extension for self-healing asphalt with 25 percent from 12 years on average to 15 years would render 22 million euros less traffic jam costs. At a life span extension of 50 percent - from 12 years on average to 18 years - the social traffic jam costs would be 37 million euros less. Again, here the additional cost for applying self-healing asphalt are not taken into account.



Foto: Maarten Hartman / Hollandse Hoogte

Financiële voordelen met zelfherstellend asfalt

Om een kwantitatieve voorspelling te doen van het financiële voordeel dat je met zelfherstellende materialen kunt behalen, kun je het beste de verandering (doorgaans: verhoging) in materiaalkosten vergelijken met de verandering (lees: verlaging) in de onderhoudskosten. Afhankelijk van de concrete toepassing kun je nog andere kosten meenemen, zoals gebruiks-, afvoer- en milieukosten. Het gebruik van zelfherstellend asfalt zal de periodes tussen wegonderhoud verlengen, met als gevolg dat kosten van files als gevolg van onderhoud zullen dalen - en uiteraard de fileoverlast.

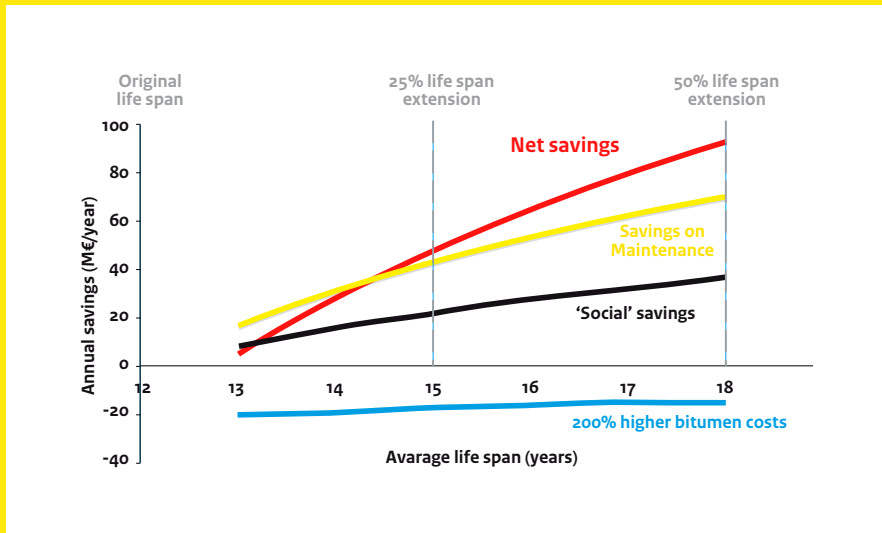
Volgens Rijkswaterstaat bedragen de gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten van de 74 km² standaard ZOAB in Nederland 180 miljoen euro. Als je de levensduur van de standaard ZOAB kunt verlengen met 25 procent - van gemiddeld 12 jaar naar 15 jaar - dan zullen de jaarlijkse kosten aan groot onderhoud van 180 miljoen euro reduceren met 35 tot 50 miljoen euro.

Bij een levensduurverlenging van gemiddeld 12 naar 18 jaar - dus met 50 procent - zal het jaarlijkse groot onderhoud maar liefst 60 tot 80 miljoen euro lager uitvallen. Hierbij is vooraan nog geen rekening gehouden met de meerkosten van zelfherstellend asfalt.

Naast deze 'directe' besparingen levert zelfherstellend asfalt ook indirecte voordelen op, zoals minder files door wegwerkzaamheden en daardoor -



naast minder overlast voor de weggebruiker - ook minder maatschappelijke filekosten. Filekosten, uitgedrukt als gekapitaliseerde uren tijdverlies van wachtende mensen en hun uitwijkgedrag, bedroegen in 2008 in Nederland zo'n 2,8 miljard euro, waarvan 'slechts' 4 procent of ruim 110 miljoen euro door werkzaamheden aan de weg werden veroorzaakt. Je kunt in enige redelijkheid bedenken dat het aantal files evenredig afneemt met de duur van het onderhoud, waardoor een levensduurverlenging van zelfherstellend asfalt met 25 procent van 12 jaar naar 15 jaar kan zorgdragen voor jaarlijks 22 miljoen euro minder maatschappelijke filekosten. Als de levensduur met 50 procent toeneemt - van gemiddeld 12 jaar naar 18 jaar - bedragen de maatschappelijke filekosten 37 miljoen euro per jaar minder. Ook hier is nog geen rekening gehouden met de meerkosten van zelfherstellend asfalt.

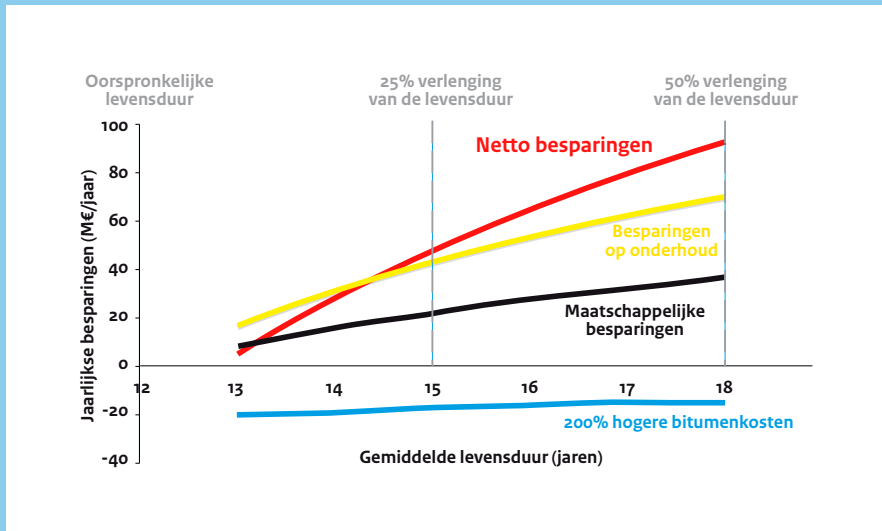


Annual savings that can be achieved using asphalt with extended life span. The net savings are the sum of savings related to maintenance and social costs and higher bitumen costs.

The combined annual savings related to major repairs and social traffic jam costs are approximately 65 million euros at a life span extension of 25 percent and over 100 million euros at a life span extension of 50 percent, for the entire PAC area in The Netherlands. To determine the net savings, the additional costs for self-healing asphalt have to be subtracted. A 100 percent (or 200 percent) higher bitumen price results in approximately 8 million (or 16 million) euros additional annual costs.

So even if the price of self-healing bitumen will be twice as high as for standard bitumen, The Netherlands can save approximately 90 million euros annually by investing in self-healing asphalt with a 50 percent extended life span compared to traditional PAC. Only when the cost price of self-healing bitumen will be more than 13 times the price of standard bitumen, self-healing asphalt will be less attractive from a financial point of view.

Not only 'society' would prefer to have this new type of asphalt. Also the road maintenance authority – Rijkswaterstaat and road contractors with maintenance agreements – will be able to plan much better using this new material.



Jaarlijkse besparingen die te bereiken zijn met asfalt met een langere levensduur. De netto besparingen zijn hier de som van de besparingen op onderhoud, maatschappelijke besparingen en hogere bitumenkosten.

Bij elkaar opgeteld bedragen de gecombineerde jaarlijkse besparingen op groot onderhoud en maatschappelijke filekosten dus ruim 65 miljoen euro bij een levensduurverlenging van 25 procent en meer dan 100 miljoen euro bij een levensduurverlenging van 50 procent voor het gehele ZOAB-areaal in Nederland. Om de netto besparingen te bepalen, moeten hiervan wel de meerkosten van zelfherstellend asfalt worden afgetrokken. Een 100 procent respectievelijk 200 procent hogere bitumenprijs leidt tot ca. 8 respectievelijk 16 miljoen aan extra jaarlijkse kosten.

Dus zelfs als de prijs van het zelfherstellende bitumen tweemaal zo hoog wordt als standaard bitumen, kan Nederland jaarlijks nog ruim 90 miljoen euro besparen door te investeren in zelfherstellend asfalt dat 50 procent langer meegaat dan traditioneel ZOAB. Pas als het zelfherstellende bitumen meer dan 13 keer zo duur wordt als standaard bitumen, is zelfherstellend asfalt financieel gezien minder aantrekkelijk.

Overigens profiteert niet alleen de maatschappij van dit nieuwe type asfalt. Ook de wegbeheerder – Rijkswaterstaat en in de toekomst vooral de wegenbouwers die naast de aanlegcontracten de bijbehorende onderhoudscontracten afgesloten hebben – kan de planning van het onderhoud veel beter sturen met dit nieuwe materiaal.

5 Vision of the future – in brief

Self-healing materials offer a complete shift of paradigma: from *improving* materials towards *healing* materials. Under demanding conditions, such as on the road, these materials will find their application with the purpose to heal small cracks in asphalt materials. By making bitumen in asphalt behave more liquid-like, for example by increasing its temperature it can flow into the cracks and close them.

The induction heating approach is a promising first step to realise a new generation of self-healing asphalt in road construction. Pilot tests using this type of asphalt can start anytime with the wish to start an experiment at highway A58 near Middelburg. Within the academic world this approach has been investigated extensively and road contractors have experience with induction heating.

Self-healing materials promote to reconsider organizational aspects on the construction and management of constructions. In this respect, these materials fit very well in the trend that road managers (such as Rijkswaterstaat) make a construction agreement with construction companies, in which the latter also take care of maintenance and exploitation.

The combined annual savings related to major repairs and social traffic jam costs are approximately 65 million euros at an asphalt life span extension of 25 percent and over 100 million euros at a life span extension of 50 percent, for the entire porous asphalt concrete area in The Netherlands. Even if the price of self-healing bitumen will be twice as high as for standard bitumen, The Netherlands can save approximately 90 million euros annually by investing in self-healing asphalt with a 50 percent extended life span compared to traditional porous asphalt concrete.

5 Toekomstvisie in het kort

Zelfherstellende materialen bieden een hele nieuwe manier van denken. Onze kijk op materiaalontwikkeling is er door veranderd: van *betere materialen maken* naar *materialen beter maken*. En om kleine scheurtjes in asfalt beter te maken - en daardoor het rafelingproces in ZOAB-asfalt zoveel mogelijk te voorkomen - kun je het asfalt zo modificeren dat de scheurtjes eenvoudig dichtstromen. En dit kun je doen door het bitumen in het asfalt zich meer als een vloeistof te laten gedragen, onder meer door de temperatuur van het bitumen te verhogen.

Om zo effectief mogelijk tot een nieuwe generatie van zichzelf herstellende verhardingen in de wegenbouw te komen, is de manier met inductieverwarming een veelbelovende eerste stap. Testen met proefvakken met dit type asfalt kunnen in principe elk moment van start gaan - de wenselijkheid voor een experiment op de A58 is al uitgesproken.

Binnen de universitaire wereld is er al veel onderzoek verricht aan zelfherstel van asfalt met inductieverwarming. Daarnaast is er bij wegenbouwers ook de nodige ervaring met inductieverwarming.

Zelfherstellende materialen stimuleren om organisatorische aspecten rondom het bouwen en beheren van constructies onder de loep te nemen. Wat dat betreft passen zelfherstellende materialen goed binnen de trend dat wegbeheerders

(zoals de Rijksoverheid) steeds meer met wegenbouwers een bouwovereenkomst aangaan waarbij de wegenbouwer na aanleg ook zorgdraagt voor onderhoud en exploitatie.

Naar schatting zullen de gecombineerde jaarlijkse besparingen op groot onderhoud en maatschappelijke filekosten voor het hele Nederlandse ZOAB-areaal ruim 65 miljoen euro bedragen bij een levensduurverlenging van 25 procent en meer dan 100 miljoen euro bij een levensduurverlenging van 50 procent. En zelfs als de prijs van het zelfherstellende bitumen tweemaal zo hoog wordt als standaard bitumen, kan Nederland jaarlijks nog ruim 90 miljoen euro besparen door te investeren in zelfherstellend asfalt dat 50 procent langer meegaat dan traditioneel ZOAB.

Investments for the development of self-healing asphalt in road construction will have to be made at this moment, while it will last at least 12 years before it becomes clear whether this is a successful investment. Return of this investment will only materialise after this term in the form of an extended life span of the asphalt and consequently less maintenance costs.

In practice, the financial risk can only be taken by the road manager or by road contractors with a combined construction and maintenance contract. To evaluate this risk it is important to understand the capacity of self-healing asphalt at an early stage, for example through pilot projects with a sufficiently long evaluation time.





Bij zelfherstellende materialen – en dus ook zelfherstellend asfalt – zullen de kosten voor de baten uitlopen. Immers, zelfherstellend asfalt zal bij het aanleggen van de weg duurder zijn dan zijn traditionele tegenhanger en de verwachting is dat deze kosten op termijn terugverdiend worden door een langere levensduur van het materiaal en door minder onderhoudskosten.

Dit financiële risico kan in de praktijk alleen genomen worden door de wegbeheerder of door wegbouwers met een gecombineerd aanleg- en onderhoudscontract. Om dit risico in te schatten is het van belang om in een zo vroeg mogelijk stadium de werkzaamheid van zelfherstellend asfalt te kennen, bijvoorbeeld met testvakken met een voldoende lange meettijd.



Samenstelling

Eddy Brinkman,
Betase B.V, www.betase.nl
Joris van Ruijven (Deltares) en
Ton Maagdenberg (Rijkswaterstaat)
Bert Elbersen (Rijkswaterstaat)



Dit is een uitgave van

Rijkswaterstaat

Kijk voor meer informatie op
www.rijkswaterstaat.nl
of bel 0800 - 8002
(ma t/m zo 06.00 - 22.30 uur, gratis)

november 2010 | DVS1110 | CATOR