

# BETONNEN BEDRIJFSWEG MET AFVALVERBRANDINGS-SLAKKEN

Ing. J. A. Gels (IMAG)

In ons land wordt jaarlijks ca. 5 miljoen ton stedelijk afval geproduceerd. Van deze hoeveelheid wordt momenteel ca. 70% gecomposteerd of gestort en ca. 30% wordt in verbrandingsinstallaties verwerkt. De bij de verbranding vrijkomende slak is een produkt dat tot nog toe voor een deel wordt gebruikt voor ophoging van terreinen en als ongebonden fundering onder verhardingen en voor een ander deel afgevoerd wordt naar afvalstortplaatsen. Uit oriënterende onderzoeken van de Stichting Betononderzoek van de Nederlandse Cementindustrieën (BNC) te 's-Hertogenbosch is gebleken dat afvalverbrandingslakken kunnen worden toegepast als toeslagmateriaal (in plaats van zand en grind) voor beton. De slakken worden in dit geval door de cementsteen volledig ingekapseld. In 1979 is op de Waiboerhoeve een betonnen bedrijfsweg aangelegd om de bruikbaarheid van dit materiaal na te gaan.

## Vooronderzoek

Bij een voorafgaand laboratoriumonderzoek bij de Stichting BNC werd uitgegaan van slakken van de vuilverbrandingsinstallatie te Amsterdam-Noord. Dit materiaal bleek volgens een zeefanalyse een gunstige korrelverdeling te hebben voor het samenstellen van betonspecie.

Omdat bij de proeven op praktijkschaal de uitvoering zowel in handwerk als machinaal met een zogenaamde slijpform-paver zou plaatsvinden, werden twee samenstellingen beproefd. Voor de uitvoering in handwerk werd een vloeibare specie samengesteld, bestaande uit 360 kg hoogovencement klasse A, 1400 kg vochtige slakken en 210 l water per m<sup>3</sup>. Dit mengsel had na 14 dagen verharden een druksterkte van gemiddeld 14 N/mm<sup>2</sup> en een buigtreksterkte van gemiddeld 2,5 N/mm<sup>2</sup>.

Voor de machinale uitvoering werd „aardvochtige” specie gekozen die 360 kg hoogovencement klasse A, 1500 kg vochtige slakken en 160 l water per m<sup>3</sup> bevatte. Dit mengsel had na 14 dagen verharden een kubusdruksterkte van gemiddeld 15 N/mm<sup>2</sup> en een buigtreksterkte van gemiddeld 2,7 N/mm<sup>2</sup>.

Beide mengsels hebben vergeleken met normale grindbetonspecie een zeer

hoge watercementfactor (WCF). Deze bedraagt ca. 1 ten opzichte van maximaal ca. 0,5 bij normale grindbetonspecie. Mede hierdoor zou het oppervlak weinig slijtvast zijn en tevens vrij snel kunnen verweren. Met het oog hierop werd besloten tot het aanbrengen van een hoogwaardige, dunne, slijtvaste toplaag.

De samenstelling van de mortel voor de toplaag was per m<sup>3</sup>: 700 kg portlandcement klasse A, 1400 kg metselzand, 210 l water en 14 kg superplastificeerder BVF. De druksterkte van deze mortel bedraagt na 1 resp. 3 dagen verharden 21 resp. 43 N/mm<sup>2</sup> met buigtreksterkten van 5,0 resp. 7,8 N/mm<sup>2</sup>. Deze toplaagmortel kan direct op de „aardvochtige” betonspecie worden aangebracht. Bij de vloeibare specie kan dit pas na een dag verharden gebeuren omdat de mortel onder de verse specie wegzakt. Indien men de toplaag wil aanbrengen op volledig verhard beton, dient men het oppervlak eerst te bevochtigen.

In veel gevallen is de aanhechting tussen de lagen van een meerlagig systeem het zwakke punt. Om de hechting tussen toplaagmortel en het slakkenbeton te onderzoeken zijn zowel bij de „aardvochtige” als bij de vloeibare betonspecie slijtproeven uitgevoerd. Vastgesteld werd dat de slijtsterkte van het hechtvlak in beide gevallen ca. 30% groter is dan de slijtsterkte van het slakkenbeton zelf.

De invloed van vorst op beton met toplaag werd vergeleken met die van beton zonder toplaag met de vorstdooproef volgens ISO/TC/71. Met een dergelijke proef is de vorstbestendigheid van bouwmaterialen vast te stellen. Het slakkenbeton met toplaag ondervond geen vorstschade. Dit was wel het geval bij slakkenbeton zonder toplaag; hier kon enige oppervlakkige schade worden geconstateerd.

### **Ontwerp van de bedrijfswegverharding**

Uitgaande van een maximum wielbelasting van 60 kN en een bodem met een matig tot geringe draagkracht (klei/veen), bedroeg de benodigde plaatdikte voor slakkenbeton 0,26 m. De sterkte en stijfheid van een dergelijke constructie komt overeen met die van de gebruikelijke grindbetonverharding van 0,18 m dikte.

De weg op de Waiboerhoeve van 300 meter lengte werd ingedeeld in twee wegvakken van elk 150 m lang. Eén wegvak werd machinaal aangelegd met de slipform-paver; het andere traject is in handwerk met vloeibare specie aangelegd. Van beide trajecten is 120 meter uitgevoerd in slakkenbeton van 0,26 m dik en 30 m in grindbeton van 0,18 m dik. Eenderde van het wegdek met slakkenbeton is afgewerkt met een toplaag van de eerder genoemde

hoogwaardige mortel van 0,01 m dik; tweederde van het oppervlak heeft alleen de gebruikelijke nabehandeling van verse beton met een zogenaamde curing compound gekregen.

## **Uitvoering**

Op respectievelijk 18 en 25 september 1979 heeft wegenbouwbedrijf Schagen-Zwolle BV de proefvakken met respectievelijk vloeibare betonspecie en „aardvochtige” betonspecie aangelegd. Het beton werd gemaakt in de betonmortelcentrale Flevoland BV te Dronten. De benodigde hoeveelheid slak was enige weken tevoren per schip aangevoerd.

Uitgegaan werd van de in het voorgaande vermelde betonsamenstellingen. In verband met mogelijke fluctuaties in de slak werd van elke lading het volumegewicht bepaald en het cementgehalte berekend. Zonodig werd de samenstelling aangepast om het cementgehalte constant te houden.

Vergeleken met de productie van normale grindbetonspecie traden bij slakkenbetonspecie de volgende afwijkingen op. De slakken bleken een temperatuur van ruim 50 °C te hebben, vermoedelijk door broei van niet verbrande resten. Hierdoor had de slakkenbetonspecie een temperatuur van ca. 30 °C. Een tweede verschil betreft de transporteerbaarheid van de slakken. Het vochtige materiaal geeft aanleiding tot brugvorming in de silo. Hierdoor moet „de brug” veelvuldig met trilmotoren losgetrild worden.

Het aanbrengen van de 1 cm dikke toplaag gebeurde bij de machinale productie in één arbeidsgang. Een tweede trilbalk werd hiertoe 1 cm hoger afgesteld dan normaal. De toplaagspecie werd met de hand voor deze balk aangebracht. De toplaag op het traject met vloeibare specie werd gedeeltelijk na 12 dagen verhard en aangebracht.

Het aanbrengen van de toplaag van een hoogwaardige mortel heeft geen wezenlijke problemen naar voren gebracht; wel zal worden gezocht naar een gemakkelijker wijze van aanbrengen.

## **Resultaten**

Het volumegewicht en de 28-daagse druksterkte van de slakkenbetonspecie werden bij de betonmortelcentrale getest volgens NEN 3861. Tevens werden tijdens de productie, gelijkmatig verdeeld over het wegtraject monsters genomen ter bepaling van de buigtrek- en druksterkte na 90 dagen verhard.

In tabel 1 is de betonkwaliteit vermeld, van de wegvakken uitgevoerd in handwerk met vloeibare slakkenbetonspecie.

**Tabel 1** Volumegewicht ( $\text{kg/m}^3$ ), druksterkte ( $\text{N/mm}^2$ ) na 28 dagen en buigtrek- en druksterkte ( $\text{N/mm}^2$ ) na 90 dagen, van het wegvak, in handwerk uitgevoerd met vloeibare afvalverbrandingslakkenbeton<sup>1)</sup>

Nummer monster	Volume gewicht	Druksterkte na 28 dagen	Buigtreksterkte na 90 dagen	Druksterkte na 90 dagen
1	1860	12,7	1,92	13,2
2	1870	15,2	2,30	16,4
3	1880	14,1	2,22	15,3
4	1880	14,8	1,69	15,4
5	1885	14,1	2,55	17,0
6	1870	14,6	2,43	16,6
7	1870	14,1	2,12	16,7
Gemiddeld/ average	1874	14,2	2,18	15,8

  

Sample	Density	Compression strength after 28 days	Flexeral strength after 90 days	Compression strength after 90 days
--------	---------	------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------

**Table 1** Density ( $\text{kg/m}^3$ ), compression strength ( $\text{N/mm}^2$ ) after 28 days and flexeral strength and compression strength ( $\text{N/mm}^2$ ) after 90 days of the road section made by hand with fluid cinder concrete from incineration of domestic<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> De samenstelling is 360 kg hoogovencement klasse A, 1325 kg slakken (14,4% vocht) en 190 l water.

*The composition is 360 kg blast furnace cement class A, 1325 kg cinders (14,4% moisture) and 190 l water.*

In tabel 2 worden de resultaten vermeld van het machinaal aangelegde wegvak.

Vergelijkt men de gemiddelde druksterkten van de vloeibare (tabel 1) en de „aardvochtige” slakkenbeton (tabel 2) dan blijkt dat bij de laatste de druksterkte groter is. Nagegaan zal worden in hoeverre de sterkte van de vloeibare slakkenbeton kan worden opgevoerd door bijvoorbeeld toepassing van hulpstoffen, zoals superplastificeerders.

**Tabel 2** Volumegewicht ( $\text{kg/m}^3$ ), druksterkte ( $\text{N/mm}^2$ ) na 28 dagen en buigtrek- en druksterkte ( $\text{N/mm}^2$ ) na 90 dagen, van het wegvak, machinaal aangelegd met „aardvochtige“ afvalverbrandingsslakkenbeton<sup>1)</sup>

Monster nummer	Volume gewicht	Druksterkte na 28 dagen	Buigtreksterkte na 90 dagen	Druksterkte na 90 dagen
	1950	19,6	3,03	21,0
2	1900	13,9	2,95	21,3
3	1970	20,8	2,95	17,8
4	1950	19,2	2,73	18,6
5	1940	18,2	2,68	18,0
6	1920	19,1	2,54	18,0
7	1980	18,5	2,79	17,2
Gemiddeld/ average	1940	18,5	2,81	18,8

Sample	Density	Compression strenght after 28 days	Flexeral strenght after 90 days	Compression strenght after 90 days
--------	---------	------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------

**Table 2** Density ( $\text{kg/m}^3$ ), compression strenght ( $\text{N/mm}^2$ ) after 28 days and flexeral strenght and compression strenght ( $\text{N/mm}^2$ ) after 90 days of the road section, mechanically made with dry cinder concrete from incineration of domestic<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> De samenstelling is 360 kg hoogovencement klasse A, 1450 kg slakken (14% vocht) en 115 l water.

*The composition is 360 kg blast furnace cement class A, 1450 kg cinders (14% moisture) and 115 l water.*

## Prsefbelasting

Op 25 oktober werd op de bedrijfsweg van slakkenbeton een proefbelasting uitgevoerd. Met een vrachtwagen, beladen met toenemende hoeveelheden zand werd herhaalde malen over de weg gereden.

Bij de eerste vier belastingsstappen werd tweemaal in het midden van de weg en tweemaal aan de ene zijkant gereden. Bij de overige belastingsstappen werd bovendien nog tweemaal over de andere zijkant gereden. Na elke belastingsstap werd gecontroleerd of zich scheurvorming of breuk had voorgedaan. In tabel 3 zijn de belastingen en het aantal passages vermeld. Na de belastingsproeven zijn geen scheuren of beschadigingen geconstateerd.

**Tabel 3** Aslasten en aantal passages bij de proefbelastingen

Gewichten in kg			Aantal passages
Achteras	vooras	totaal	
5990	3710	9700	4
7130	3530	11240	4
8200	3680	11910	4
9110	3460	12610	4
10090	3450	13600	6
11430	3440	14950	6
12160	3390	15640	6

  

<i>rear axle</i>	<i>front axle</i>	<i>total</i>	<i>Number of passages</i>
<i>Loads in kg</i>			

**Table 3** Axle loads and number of passages with the test loads

Vervolgens zijn nog een aantal remproeven uitgevoerd om de hechting van de toplaag met de onderlaag te testen. Hiertoe werd met een totaal gewicht van vrachtwagen en vracht van 15640 kg bij een snelheid van ruim 40 km/uur enige malen krachtig geremd. Deze remproeven leverden geen schade aan de toplaag op.



De druksterkte van het „aardvochtige” slakkenbeton voor machinale verwerking (op de achtergrond) was groter dan van het vloeibare slakkenbeton voor verwerking in handwerk.

*The compression strength of the dry cinder concrete for mechanical/ handling (in the background) was greater than of the liquid slag concrete for handling by hand.*

## **Voortzetting onderzoek en perspectieven**

Het gedrag van de wegconstructie zal worden gevolgd waarbij de aandacht vooral zal worden gericht op:

- De duurzaamheid van de verschillende toplagen en constructies.
- De hechting van de toplaag aan het slakkenbeton.
- Het gedrag van de constructie onder zware belasting.
- Het sterkteverloop van het slakkenbeton op de lange duur.

De materiaalkosten per m<sup>3</sup> zijn van slakkenbeton ca. 20% lager dan van grindbeton. Per m<sup>2</sup> verharding zijn ze ongeveer 25% hoger, omdat een dikkere laag nodig is en door de extra toplaag. Verder zullen de kosten van verwerking wat hoger zijn vanwege het grotere aantal m<sup>3</sup> dat getransporteerd en verwerkt moet worden.

De economische haalbaarheid van de toepassing van slakkenbeton in de toekomst hangt enerzijds af van de marktontwikkeling en de daarmee samenhangende factoren en anderzijds van een mogelijke kwaliteitsverbetering van het slakkenbeton.

De markt op dit gebied zal worden beïnvloed door het voorhanden zijn van stortplaatsen voor afval en de hoogte van de kosten van storten ten opzichte van de beschikbaarheid en de kosten van zand en grind voor het conventionele beton.

De kwaliteit van de slakken kan wellicht nog sterk worden verbeterd door ervoor te zorgen dat er nagenoeg geen brandbare resten meer in voorkomen. Verder dienen de homogeniteit en de verwerkbaarheid te worden opgevoerd. De toe te passen constructiedikte kan dan geringer zijn.

De economische haalbaarheid zal in de toekomst wellicht toenemen vanwege de hogere eisen die zullen worden gesteld aan het landschap en het milieu. Hierdoor zal enerzijds minder afval mogen worden gestort en anderzijds de winning van grondstoffen als zand en grind afnemen.

## **Samenvatting**

Bij de verbranding van stedelijk afval blijven slakken over. Deze kunnen gebruikt worden als toeslagmiddel in beton (in plaats van zand en grind). In 1979 is op de Waiboerhoeve een bedrijfsweg aangelegd om de bruikbaarheid van dit materiaal te testen. De belangrijkste conclusies zijn als volgt.

- Van slakkenbeton is een laag van 0,26 m nodig om dezelfde sterkte te krijgen als van de gebruikelijke grindbetonverharding van 0,18 m dikte.
- De druksterkte van het „aardvochtige” slakkenbeton voor machinale ver-

werking was groter dan van het vloeibare slakkenbeton voor verwerking in handwerk.

- Bij vergelijkende proeven op laboratoriumschaal werd bij slakkenbeton met toplaag geen vorstschade ondervonden en zonder toplaag wel.
- Bij belastings- en remproeven traden geen scheuren of beschadigingen op.
- De toekomstige economische aantrekkelijkheid hangt af van de marktontwikkelingen.
- De kwaliteit van de slakken kan wellicht sterk worden verbeterd door ervoor te zorgen dat er geen brandbare resten meer in voorkomen. Verder dienen de homogeniteit en verwerkbaarheid te worden opgevoerd. De betonlaag zal dan minder dik hoeven te zijn.

Het onderzoek wordt voortgezet, waarbij de aandacht vooral op de duurzaamheid wordt gericht.

## Summary

Cinders from incineration of domestic might be used in concrete instead of sand and gravel. To test the utility of this material a farm road was made on the Waiboerhoeve in 1979. The most important conclusions are as follows.

- A layer of 0,26 m of cinder concrete is necessary to obtain the same strength as of the normal concrete surfacing of 0,18 m thickness.
- The compression strength of the dry cinder concrete for mechanical handling was greater than of the fluid cinder concrete for handling by hand.
- Comparative experiments under laboratory conditions did not show any damage to cinder concrete with top layer. Frost damage did occur without top layer.
- Load and braking experiments did not show any cracks or damage.
- The economic attractivity in the future is depending on the market developments.
- The quality of the cinders may be strongly improved in preventing the occurrence of combustible rests. Furthermore the homogeneity and handling have to be improved. The concrete layer needs than to be less thick.

The investigations will be continued. Special attention will be given to the durability.





Van slakkenbeton is een laag van 0,26 m nodig om dezelfde sterkte te krijgen als van de gebruikelijke grindbetonverharding van 0,18 m dikte.

*A layer of 0,26 m of cinder concrete is necessary to obtain the same strength as of the normal gravel concrete surfacing of 0,18 m thickness.*