

# CEMENTGEBONDEN FUNDERINGEN VOOR WEGEN

## Eigenschappen en toepassingen

Verhardingen, zoals wegen, voetpaden, openbare ruimtes, parkings, bedrijfsvloeren,... vergen over het algemeen een fundering, zeker als ze belast zullen worden door frequent of occasioneel passerende voertuigen. Die fundering moet de volgende functies vervullen :

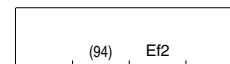
- de belasting die op het wegdek wordt uitgeoefend doorgeven aan en spreiden over de onderste laag ;
- de aanleg van de bovenste lagen vergemakkelijken door een opperolak te creëren dat effen is en onder alle omstandigheden makkelijk toegankelijk.

Na een kort overzicht van de principes waarmee rekening moet worden gehouden om een kwalitatief hoogstaande cementgebonden fundering te garanderen, beschrijft dit dossier **vijf types funderingen** :

- fundering van steenslag behandeld met cement;
- fundering van zand-cement;
- fundering van schraal beton;
- fundering van poreus schraal beton;
- fundering van walsbeton.

De keuze tussen deze verschillende types fundering wordt bepaald door overwegingen met betrekking tot dimensionering (verkeer, aard van de ondergrond), beschikbaarheid van de materialen en kostprijs.

Bij stabilisatie met cement kunnen daarenboven als fundering materialen hergebruikt worden die in het verleden als afval beschouwd werden en die over het algemeen veroordeeld waren om op een stortplaats te belanden. Er zijn ondertussen veelbelovende experimenten uitgevoerd met oude stukken beton die vermalen worden, met granulaten die het eindproduct zijn van het wegschrapen of afbreken van koolwaterstofhoudende wegdekken, met vliegglas, met verbrande steenkoolschist. In dit dossier wordt niet ingegaan op al die mogelijkheden. De lezer vindt hierover meer informatie in de praktijkrichtlijn voor "het recycleren van materialen bij werken aan gemeente- en provinciewegen" ("Le recyclage des matériaux dans les travaux de voiries communales et provinciales" [1]).



BB/S1B \_\_\_\_\_



## I. BASISPRINCIPE – KWALITEITSCRITERIA

De kwaliteit van een cementgebonden fundering is in grote mate afhankelijk van de aandacht die besteed wordt aan enerzijds het watergehalte en het verdichten van het mengsel, en anderzijds de manier waarop de materialen na verwerking tegen uitdroging beschermd worden. Een verkeerde nabehandeling en/of verdichting heeft immers nefaste gevolgen voor de mechanische weerstand van het materiaal. Bovendien verhoogt hierdoor de erosiegevoeligheid van de fundering. De kwaliteit van die twee factoren is bijgevolg een *conditio sine qua non* om een fundering te realiseren die goed tegen oppervlakte-erosie bestand is.

Om te vermijden dat in een soepel wegdek scheurvorming optreedt ("reflective cracking", reflectiescheuren), kan overwogen worden de fundering op een gecontroleerde manier te laten scheuren. Er zijn technieken ontwikkeld om scheuraanzetten aan te brengen in cementgebonden funderingen.

### 1. Optimaal watergehalte, efficiënt en snel verdichten

Bij laboratoriumonderzoek naar de compactheid van een mengsel in functie van zijn watergehalte wordt de proctorproef gebruikt. Tijdens die (volledig genormaliseerde) proef wordt een monster, dat op homogene wijze bevochtigd is met een bepaald watergehalte  $W_1$ , in een vorm met vastgelegde afmetingen geplatst en laag per laag verdicht. Dit gebeurt door middel van een stamper met een vastgelegd gewicht die vanop een gestandaardiseerde hoogte 25 of 55 keer per laag naar beneden valt. Vervolgens wordt de aldus bekomen schijnbare droge volumemassa gemeten en op een grafiek uitgezet in functie van het watergehalte  $w_1$ . Als diezelfde procedure vervolgens op een mengsel met een ander watergehalte  $w_2$  wordt toegepast, blijkt dat de gemeten schijnbare droge volumemassa groter wordt naarmate het watergehalte toeneemt.

Wanneer water wordt toegevoegd aan een droge bodem, d.w.z. aan een bodem zonder enige cohesie, is de opzuiging (de capillariteit) inderdaad zeer hoog. De bodem snakt naar water en tussen bepaalde korrels ontstaan bruggen. Zo begint de cohesie toe te nemen. Naarmate de grond meer en meer vocht opzuigt, ontwikkelt zijn cohesie zich verder omdat het aantal verbindingsbruggen aangroeit.

Die toename van de cohesie gaat verder tot op het ogenblik waarop de hoeveelheid water te groot wordt en het water teveel plaats in beslag neemt tussen de korrels. Hierdoor vermindert de opzuiging, wat op zijn beurt aanleiding geeft tot een daling van de cohesie en van de schijnbare droge volumemassa.

De curve die aldus bekomen wordt, staat als proctorcurve bekend. Het hoogste punt van de curve is het proctoroptimum (fig. 1). Het is op basis van die optimale toestand dat de specificaties voor het verdichten op een werf worden vastgelegd.

De vorm van de proctorcurve hangt af van korrelverdeling in het materiaal : een gespreide korrelverdeling levert een steile curve op en omgekeerd.

Hoe spitsers de curve verloopt, hoe belangrijker het is dat het watergehalte zeer dicht bij de optimale waarde ligt, om zo de gewenste densiteit te bekomen. Hoe platter de curve verloopt, hoe gemakkelijker het zal zijn om de gewenste densiteit te verkrijgen zonder zich zorgen te moeten maken over het watergehalte. Een hoog watergehalte is echter nefast voor de mechanische weerstand.

De kromme die beschrijft hoe de druksterkte zich in functie van het watergehalte ontwikkelt, verloopt altijd min of meer parallel met de proctorcurve, maar de optimale hoeveelheid water is lichtjes naar links verschoven, over het algemeen met 0,5 à 1 % (fig. 1).

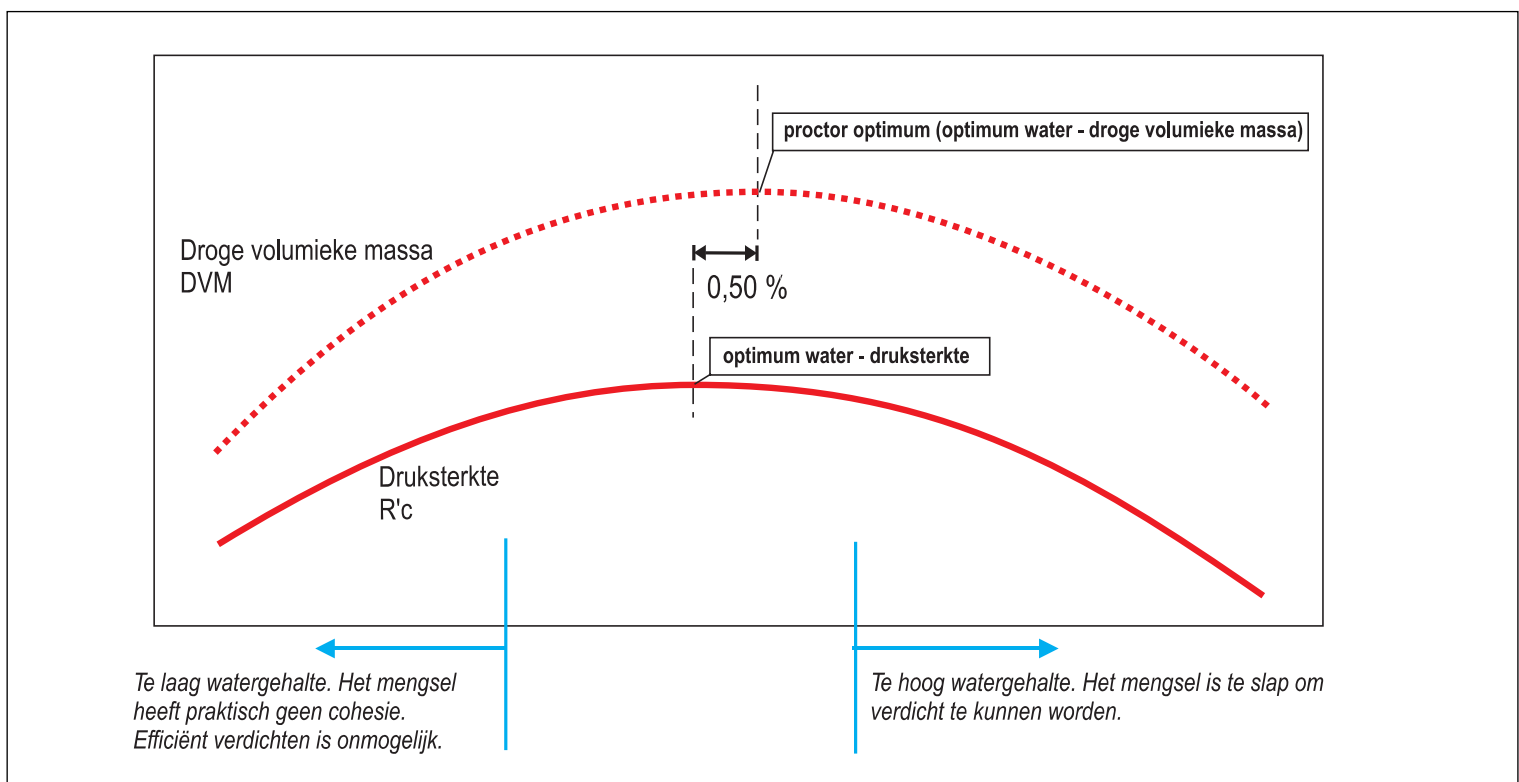
Een analyse van zo'n grafiek toont duidelijk aan dat het watergehalte in de met cement behandelde fundering zeer dicht bij de optimale waarde uit de proctorproef moet liggen. Idealiter mag deze niet meer dan 2 % onder en 1 % boven het proctoroptimum liggen.

De invloed van het watergehalte op het verdichten en op de druksterkte wordt geïllustreerd in fig. 2.

Het gaat hierbij om resultaten van laboratoriumproeven met een breekzand 0/4 verdicht bij verschillende watergehaltes volgens de standaard (\*) proctormethode. Het gehalte cement CEM III/A 32,5 N LA van het verwerkte (verdichte) mengsel bedraagt 135 kg/m<sup>2</sup>. De optimale volumemassa wordt verkregen bij een watergehalte van ongeveer 10 %. Een afwijking van 1 % van dit optimum watergehalte brengt al snel een aanzienlijke daling van de volumemassa teweeg. Een kleine schommeling in de volumemassa veroorzaakt bovendien grote variaties in de druksterkte.

(\*) Er bestaat een 'standaard' en een 'gewijzigde' proctorproef. De twee varianten onderscheiden zich door de vorm van de mal en de verdichtingsenergie.

Fig. 1 – Verband tussen de schijnbare droge volumemassa, de druksterkte en het watergehalte van een bodem



Bij het verdichten op de bouwplaats speelt niet alleen het hierboven beschreven watergehalte een rol. Ook andere parameters zijn van belang, in het bijzonder :

- het aantal gangen N dat de machine maakt : er is vastgesteld dat naarmate N toeneemt, de densiteit tot op een bepaald punt groter wordt en vervolgens constant blijft ;
- de contactdruk Ps van de machine : aangezien de invloed van Ps groter is dan die van N, is het beter Ps te vergroten dan N;
- de dikte van de te verdichten laag los materiaal: hoe dikker de laag, hoe groter de verdichtingsgradiënt. Anderzijds bestaat bij het aanbrengen van materiaal in opeenvolgende lagen het gevaar dat er min of meer gladde horizontale oppervlakken worden gevormd, wat een nadelige invloed heeft op het gedrag van de structuur ;
- de snelheid v waarmee het toestel voortbeweegt : wanneer de snelheid v groter wordt, moet het aantal gangen N toenemen.

Ook het verdichtingstijdstip van de met cement behandelde funderingen is van groot belang. In *standaardbestekken* is voorzien dat de met cement behandelde materialen binnen de twee, eventueel drie uur na het mengen verdicht moeten zijn. Het verdichten moet in elk geval zo snel mogelijk voltooid zijn. Nadere gegevens hierover staan in *tabel 1*. Het gaat om resultaten van laboratoriumproeven uitgevoerd met breeksand 0/7 dat volgens de normale proctormethode verdicht werd. Het gehalte aan cement CEM III/A 42,5 N LA bedraagt 120 kg per m<sup>3</sup> verwerkt (verdicht) mengsel. De proefmonsters werden ofwel onmiddellijk na het aanmaken van het mengsel (tijdstip  $t_0$ ) verdicht, ofwel twee uur nadien (tijdstip  $t_0 + 2$ ).

Als het verdichten twee uur na de aanmaak gebeurt, kan in vergelijking met monsters die onmiddellijk verdicht worden, 25 % van de druksterkte verloren gaan. Opgelet : deze resultaten kunnen verbeterd worden door aan het mengsel een bindingsvertrager toe te voegen. Verder in dit bulletin staan onderzoeksresultaten voor steenslag behandeld met cement.

| Breeksand 0/7<br>120 kg/m <sup>3</sup> cement CEM III/A 42,5 N LA |                       |       |            |
|---|-----------------------|-------|------------|
| Verdichtingstijdstip  | $t_0$                 |       | $t_0 + 2h$ |
| Watergehalte (%)  | 8                     | 12    | 12         |
| Droge volumemassa (DVM) (kg/m <sup>3</sup> )                      | 2 135                 | 2 030 | 2 000      |
| Druksterkte (N/mm <sup>2</sup> )                                  | na 7 dagen (R'c 7d)   | 10,1  | 5,2        |
|   | na 56 dagen (R'c 56d) | 16,4  | 9,7        |

Tabel 1 – Invloed van het verdichtingstijdstip op de druksterkte [bron: OCCN]

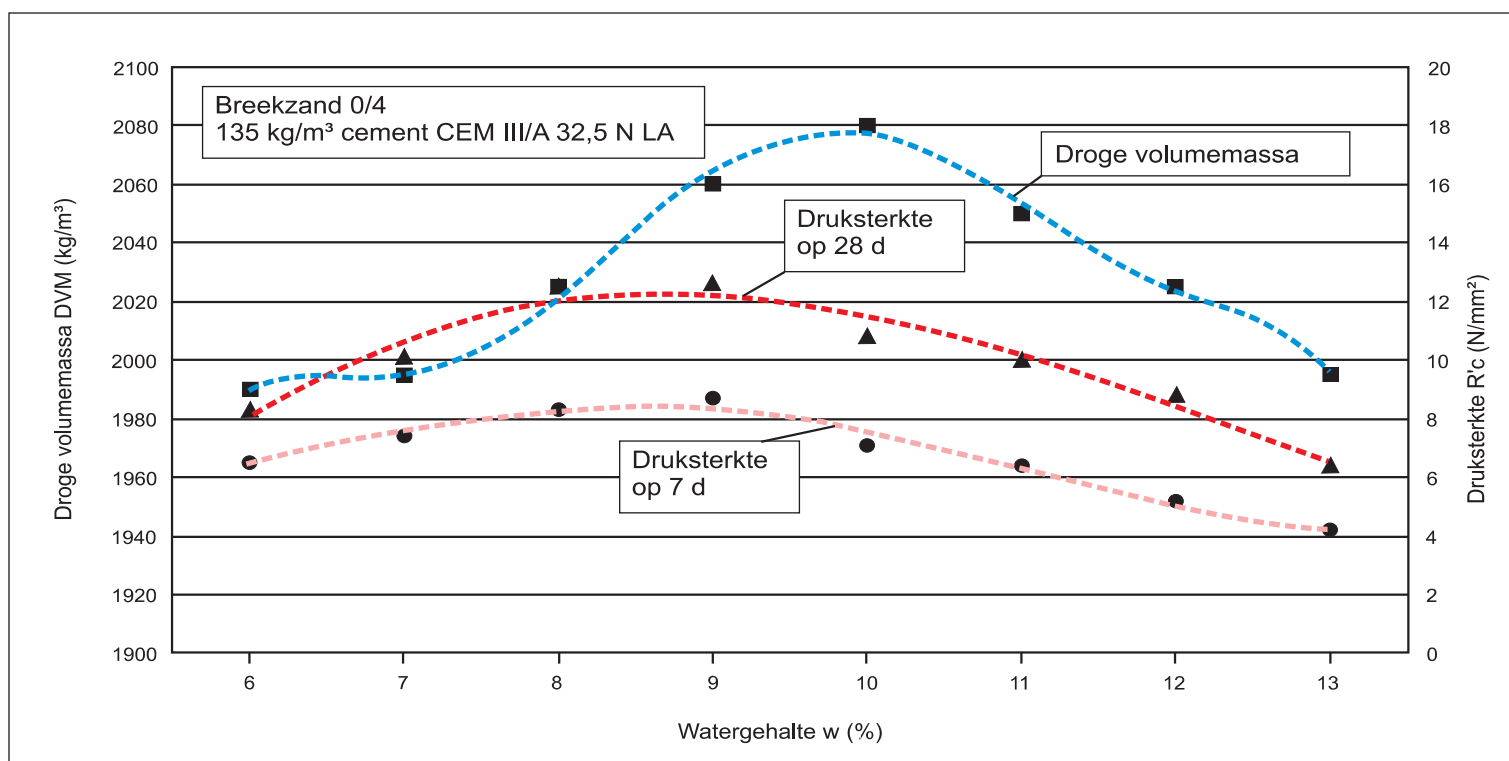


Fig. 2 – Evolutie van de droge volumemassa en van de druksterkte in functie van het watergehalte van zand dat met cement is gestabiliseerd [bron: INTER BETON]



## 2. Bescherming van de fundering tegen uitdroging

De kwaliteit en in het bijzonder de levensduur van verhard beton is sterk afhankelijk van de manier waarop het verse beton tegen uitdrogen wordt beschermd. Elk waterverlies heeft een negatieve invloed op de weerstand, de duurzaamheid en het krimpgedrag (gevaar voor scheurvorming). Wegenbeton is omwille van de grote blootgestelde oppervlakte zeer gevoelig voor verdamping. Cementgebonden funderingen moeten in ieder geval tegen uitdroging beschermd worden en wel zo snel mogelijk na hun aanleg. Over het algemeen gebeurt dit in twee fasen:

- In een eerste fase wordt een matige hoeveelheid water over het oppervlak van het behandelde materiaal gesproeid. Dit moet onmiddellijk na de laatste gang van de verdichtingsmachine gebeuren.
- De tweede fase vindt plaats op het einde van de werkdag en bestaat uit het aanbrengen van een bitumenemulsie, waarop vervolgens zand wordt gestrooid.

Voor steenslag, zand-cement en funderingen van voetpaden en lineaire elementen kan deze bescherming achterwege blijven, indien het oppervlak in kwestie 72 uur lang vochtig gehouden wordt.

Poreus schraal beton daarentegen moet na het verdichten zo snel mogelijk afgeschermd worden met een plasticfolie. Door zijn zeer open oppervlak is dit soort beton uiterst gevoelig voor verdamping. Er kan geen bitumenemulsie worden aangebracht, want die zou de holtes opvullen.

*Voorbeeld van fundering in walsbeton op de E25 in Houffalize. Om het beton tegen uitdrogen te beschermen werd het met een bitumenemulsie besproeid en vervolgens met zand bestrooid.*

*Krimpvoegen worden gezaagd tot op een diepte gelijk aan minstens één derde van de dikte van de funderingslaag.*



## 3. Beheersen van scheurvorming in een cementgebonden fundering

De vorming van thermische scheuren en krimp-scheuren die naar het oppervlak van soepele wegbedekkingen komen, wordt vaak als een nadeel van cementgebonden funderingen aangehaald. De Belgische ervaring heeft echter aangetoond dat dit fenomeen goed onder controle te houden is, als volgende regels nageleefd worden:

- funderingen aanleggen met een dikte van minstens 20 cm;
- de fundering zo snel mogelijk tegen uitdroging beschermen;
- een voldoende dik wegdek voorzien (minstens 10 cm asfalt).

Toch kan één enkele erg strenge winter volstaan om een scheur door de asfaltlaag naar boven te laten komen, ook al is die laag dik. Een bijkomende voorzorgsmaatregel bestaat er dan ook in de belasting waaraan het asfalt blootgesteld wordt te beperken. Dit veronderstelt dat scheurvorming in de fundering beheerst wordt. In de fundering worden daarom voegen aangebracht die als scheuraanzetten fungeren, zodat krimp-scheuren gelokaliseerd blijven. Verschillende technieken zijn mogelijk :

- kerven van groeven. Een eenvoudige trilplaat waarop aan de onderkant een mes is gemonteerd, snijdt een voeg tot op een diepte van minstens de helft van de laagdikte. Dergelijke voegen worden vóór de laatste verdichting aangebracht ;
- het systeem van de "actieve voeg". Dit procédé wordt toegepast tijdens de verwerking van de materialen en vóórleer deze te verdichten. In de laag worden dwarse onderbrekingen gecreëerd door het indrijven van sinusoïdale strips. De strips worden haaks op de as van de weg geplaatst. Hun hoogte bedraagt ongeveer twee derde van de dikte van de laag en de strips worden onderaan in die laag geplaatst. De maximale afstand tussen de actieve voegen bedraagt drie meter ;
- het *Viafrance*-procédé. Dit bestaat erin op regelmatige afstanden (om de twee tot drie meter) een dwarse scheuraanzet te creëren in het bovenste gedeelte van de behandelde en verdichte laag, en in die aanzet gelijktijdig een plasticfolie aan te brengen die het behoud van die onderbreking moet garanderen ;
- het *Craft*-systeem (*Création automatique de fissures transversales* : automatisch aanbrengen van transversale voegen). Met dit systeem wordt in de laag op regelmatige afstanden (om de twee tot drie meter) en vóór de laatste verdichting, een dwarse gleuf aangebracht waarin een kationische bitumenemulsie wordt geïnjecteerd. Bij de laatste verdichting wordt de gleuf weer dichtgedrukt.

Nog een andere mogelijkheid kan overwogen worden, namelijk binnende 24 uur voegen zagen tot op een diepte van één derde van de verdichte fundering. Deze techniek wordt doorgaans gebruikt om krimpvoegen aan te brengen in een wegverharding van rijk beton.

De maximale afstand tussen de voegen bedraagt 5 meter, bij walsbeton met een hoog cementgehalte is dat zelfs maar 4 meter.



## II. DE VIJF TYPES CEMENTGEBONDEN FUNDERINGEN

Cementgebonden materialen zijn veel stijver dan loskorrelige materialen (zand, steenslag). Die stijfheid staat overigens ook in verhouding tot hun mechanische weerstand.

Het nut van het stabiliseren van de fundering met cement bestaat erin de stijfheid, stabiliteit en duurzaamheid te vergroten om zo het gedrag van de structuur onder invloed van belasting, water en vorst te verbeteren. Door de stijfheid wordt een plaat effect gecreëerd, wat de spanningen veroorzaakt door de belasting sterk doet dalen in het wegdek en de ondergrond. Deze daling is des te groter naarmate de funderingslaag minder vervormbaar is. Het gebruik van funderingen die met cement gestabiliseerd zijn, doet de levensduur van de wegverharding aanzienlijk toenemen, in vergelijking met die van structuren waarvan de fundering uit ongebonden materialen bestaat.

Bij de keuze van een bepaalde fundering en bij het bepalen van de dikte van de laag is een dimensioneringsberekening nodig. Volgende factoren spelen hierbij onder andere mee :

- de draagkracht van de ondergrond ;
- de mechanische kenmerken van het funderingsmateriaal (buigtreksterkte, elasticiteitsmodulus) ;
- de mechanische kenmerken van de laag of lagen waaruit de verharding bestaat ;
- de geplande levensduur ;
- de belasting, het belastingspatroon en de frequentie waarmee ze optreedt.

De orde van grootte van de verschillende kenmerken waarmee rekening moet worden gehouden bij het dimensioneren (elasticiteitsmodulus, buigtreksterkte,...) staan vermeld in *tabel A*. Gelet op de grote capaciteit van een gebonden fundering om de belasting te spreiden over de ondergrond, staat volgens de *Portland Cement Association (PCA)*, in het geval van zwaar belaste verhardingen, 1 cm cementgebonden korrelig materiaal met een vrij hoge sterkte (walsbeton) gelijk met 1,65 cm niet-gebonden funderingsmateriaal. Correctie-factoren voor andere types funderingen worden opgegeven in *tabel B*.

Tabel A

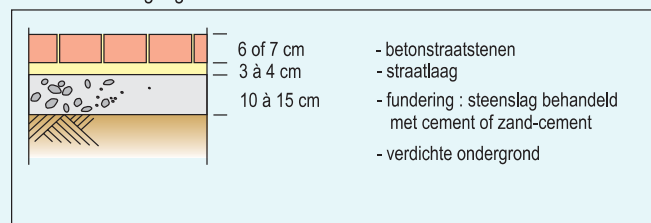
|                                | Cementgehalte |                      | Druksterkte na 90 dagen | Trekweerstand | Elasticiteitsmodulus |
|--------------------------------|---------------|----------------------|-------------------------|---------------|----------------------|
|                                | (%)           | (kg/m <sup>3</sup> ) |                         |               |                      |
| Niet-gebonden steenslag        | -             | -                    | -                       | -             | 500                  |
| Zand-cement                    | 6 à 10        | 100 à 180            | 4 à 6                   | 0,8           | 5 000                |
| Steenslag behandeld met cement | 3 à 4         | 50 à 80              | 5 à 10                  | 1             | 8 à 10 000           |
| Schraal beton                  | 4 à 6         | 90 à 130             | > 10                    | 1,5           | 15 à 25 000          |
| Walsbeton                      | 9 à 12        | 200 à 250            | > 20 of 30              | 2 à 3         | 30 à 35 000          |

Tabel B

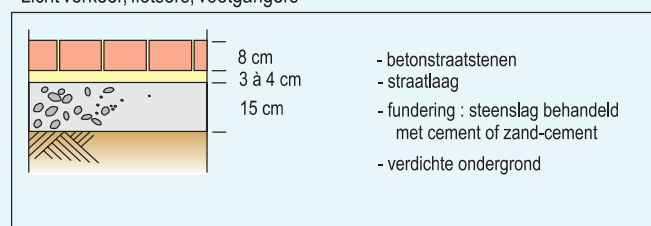
| Type fundering                 | Gemiddelde correctiefactor om de dikte te bepalen |
|--------------------------------|---|
| Walsbeton (200 kg cement)      | 1   |
| Schraal beton                  | 1,10  |
| Steenslag behandeld met cement | 1,20  |
| Zand-cement                    | 1,30  |
| Niet-gebondensteenslag         | 1,65  |

### VOORBEELDEN VAN AANBEVOLEN STRUCTUREN VOOR VERHARDINGEN IN BETONSTRAATSTENEN (opritten, inritten van garages, parkings, etc. in functie van het verkeer)

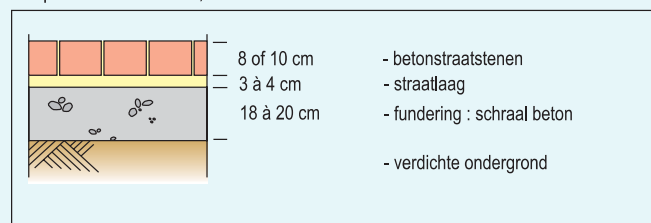
- Uitsluitend voetgangers



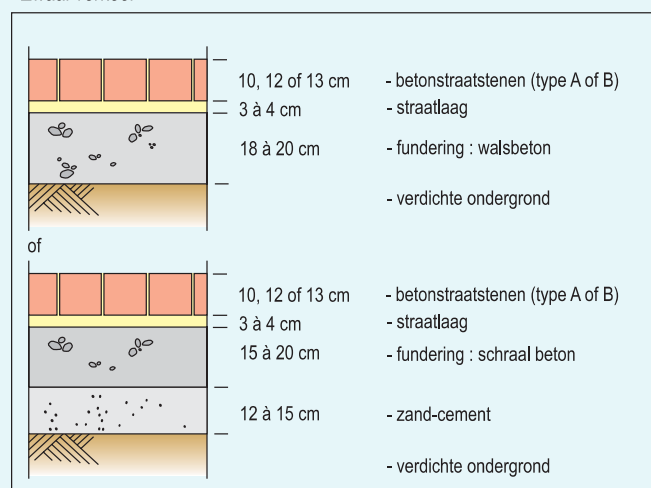
- Licht verkeer, fietsers, voetgangers



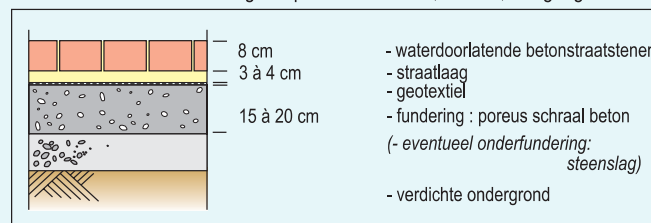
- Beperkt zwaar verkeer, licht verkeer



- Zwaar verkeer



- Waterdoorlatende verharding – Beperkt licht verkeer, fietsers, voetgangers



## 1. Fundering in steenslag behandeld met cement

Dit type funderingsmateriaal wordt in een mengcentrale geproduceerd door steenslag van uiteenlopende korrelmaat, zand, cement en water met elkaar te mengen. De graderingsgebieden voor de korrelverdeling zijn vastgelegd in de *standaardbestekken*. Ze worden hierna weergegeven in *tabel 2* en in *fig. 3* en *4*.

Steenslag-cementmengsels onderscheiden zich voor schraal beton door hun specifiek graderingsgebied en lager cementgehalte. Dat laatste bedraagt 2,5 tot 4 % van de droge massa van het inerte skelet, d.w.z. 50 tot 80 kg per m<sup>3</sup> verdichte steenslag. De lagere cementgehalten zijn voorbehouden voor steenslagmengsels van het type II (met een hogere D<sub>max</sub>). De totale hoeveelheid water in het mengsel, inclusief het vocht in het zand en in de steenslag, mag hoogstens 5 % van de massa van de bestanddelen bedragen, d.w.z. rond 100 liter/m<sup>3</sup>.

De eigenschappen van steenslag, nl. de totale afwezigheid van plasticiteit, een uitstekende korrelverdeling en een hoge interne wrijvingshoek die het gevolg is van het gebruik van gebroken stenen, staan borg voor de makkelijke verwerking en de onmiddellijke stabiliteit van de funderingslaag. De steenslag wordt verwerkt met behulp van een *finisher* of een *grader*. Aangezien het om een materiaal met een hoge interne wrijvingshoek gaat, gebeurt het verdichten hoofdzakelijk met een trilwals, maar het oppervlak kan afgewerkt worden met een bandenwals met een hoge belasting per band en met een hoge uitgeoefende druk.

Hoewel het bij steenslag-cementfunderingen (omwille van het relatief lage cementgehalte) niet altijd mogelijk is kernen te boren, bedraagt de druksterkte op boorkernen van 100 cm<sup>3</sup> en 10 cm hoogte 5 tot 10 N/mm<sup>2</sup> na 90 dagen. De elasticiteitsmodulus ligt dicht bij 10 000 N/mm<sup>2</sup>.

| Zeefopening (mm) | Zeefdoorval (%) |          |
|------------------|-----------------|----------|
|                  | Type I          | Type II  |
| 40               |                 | 100      |
| 31,5             | 100             | 80 à 100 |
| 20               | 80 à 100        | 60 à 90  |
| 6,3              | 40 à 70         | 40 à 70  |
| 2                | 20 à 45         | 20 à 45  |
| 0,5              | 5 à 25          | 5 à 25   |
| 0,063            | 0 à 8           | 0 à 8    |

Tabel 2 – Graderingsgebieden voor steenslag

Fig. 3 – Graderingsgebied voor steenslag type I

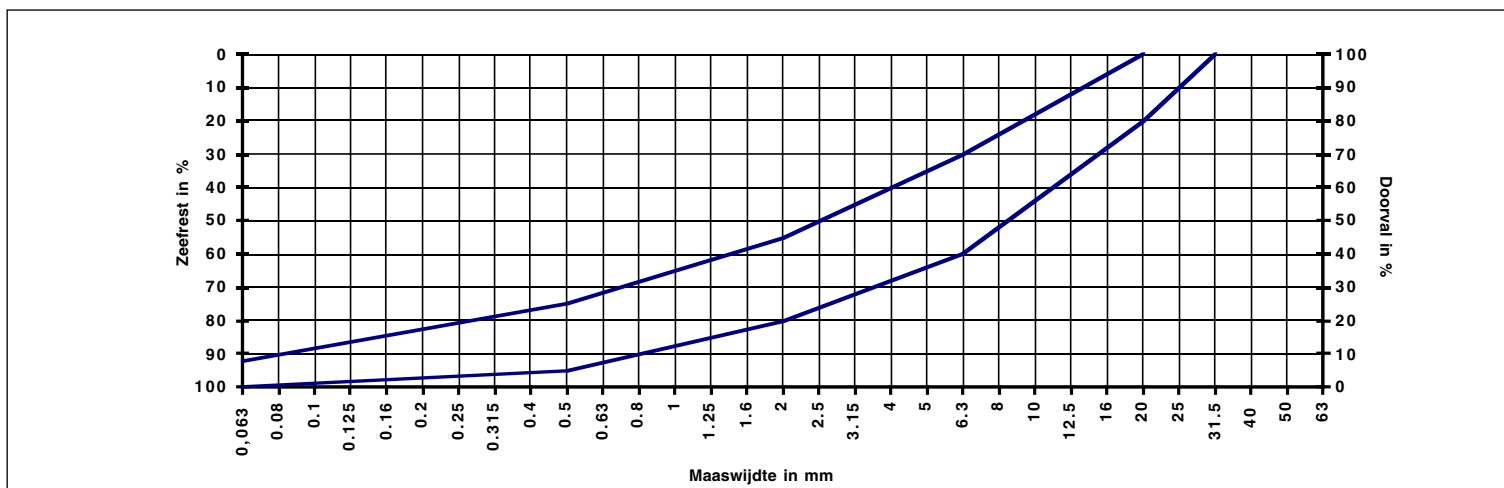
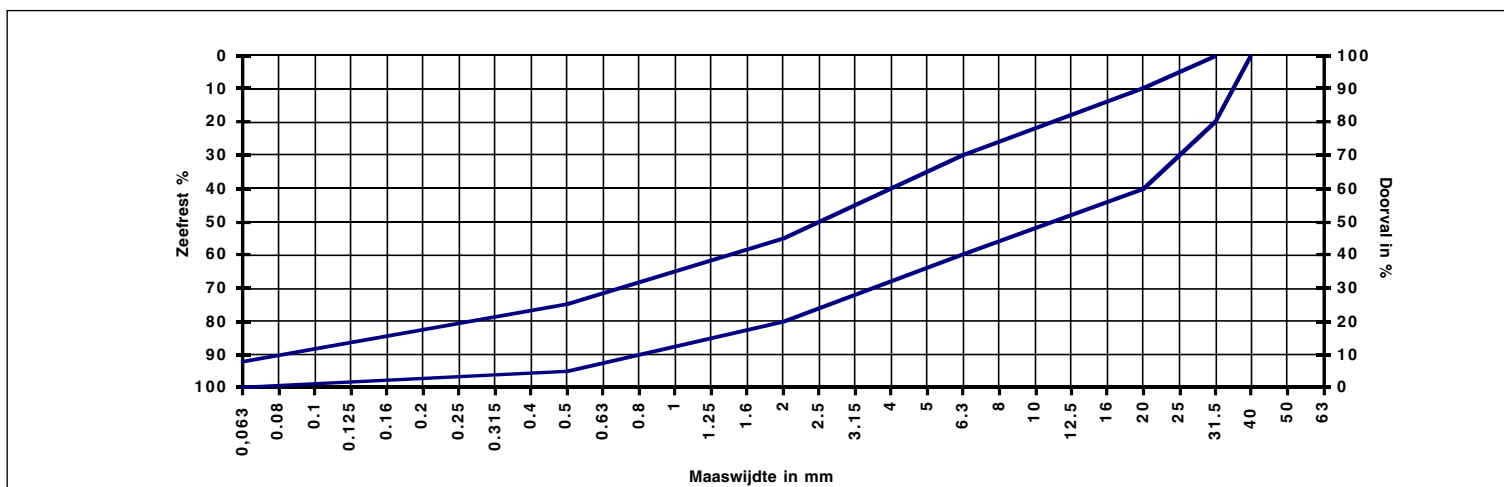


Fig. 4 – Graderingsgebied voor steenslag type II





*Steenslag behandeld met cement moet krachtig verdicht worden, en wel zo snel mogelijk na de fabricage van het mengsel.*

#### **Toepassingen van steenslag behandeld met cement :**

Het krachtig verdichten van steenslag gemengd met cement, de strikte korrelverdeling en de delicate controle hebben een zekere moeilijkheidsgraad, zodat het materiaal eerder aangewezen is voor tamelijk grote werven in de wegenbouw. Het is trouwens ook niet overal kant-en-klaar beschikbaar.

#### **Praktische wenken :**

- De korrelverdelingskromme van de steenslag moet een continu verloop hebben. Er moet zand gebruikt worden met een gespreide korrelverdeling; het gehalte fijne deeltjes is beperkt tot 15 %.
- De geringe hoeveelheid cement moet met het inerte materiaal vermengd worden in een discontinue menger.
- Het watergehalte moet beperkt blijven; het bedraagt over het algemeen maximaal 5 % van de droge massa van het mengsel.
- Het mengsel moet zeer krachtig verdicht worden, d.w.z. over de volledige dikte van de laag. Het verdichten moet zo snel mogelijk na het bereiden van het mengsel (binnen de twee uur) beëindigd zijn.
- Het is aan te bevelen om niet te werken bij koud weer ( $\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  om 8 uur 's morgens of  $\leq -3\text{ }^{\circ}\text{C}$  's nachts).
- Een fundering in steenslag behandeld met cement moet altijd beschermd worden tegen uitdrogen, en wel zo snel mogelijk na de verwerking.

#### **VOORSCHRIJVEN VAN STEENSLAG BEHANDELD MET CEMENT :**

In overeenstemming met de *standaardbestekken* die in de gewesten van toepassing zijn (SB 250, CCT RW 99, TB 2000).

Bij gebrek hieraan moeten volgende eisen worden vermeld:

- de steenslag moet bestaan uit een mengsel van gebroken stenen en zand met een continue korrelverdelings-kromme gelegen binnen het graderingsgebied type I (zie fig. 3) ;
- het cementgehalte moet 80 kg/m<sup>3</sup> bedragen ;
- het watergehalte moet kleiner zijn dan of gelijk aan 5 % van de droge massa van het mengsel ;
- indien nodig moet een bindingsvertrager worden gebruikt.



## 2. Fundering van zand-cement

Funderingen in zand-cement zijn homogene mengsels van zand, cement en water. Om tot een homogeen mengsel te komen, is het aan te bevelen om 100 kg cement te gebruiken per m<sup>3</sup> verdicht zand-cement. Het Waalse standaardbestek (CCT RW99) beschrijft twee types fundering uit zand-cement :

- type I : inert skelet dat voor 100 % uit zand bestaat;
- type II : inert skelet dat voor minstens 65 % uit zand en voor hoogstens 35 % uit stenen bestaat.

Met zand-cement van type II kan een mengsel gerealiseerd worden dat minder gevoelig is voor schommelingen in het watergehalte terwijl de mechanische weerstand even hoog blijft. Dit blijkt uit resultaten die weergegeven worden in *tabel 3*. Het gaat om resultaten die op een werf bereikt zijn uitgaande van kalksteenbreekzand 0/4 met 20 % kleine korrels  $\leq 63 \mu\text{m}$  (zand-cement type I), of uitgaande van een mengsel 0/32 (zand-cement type II).

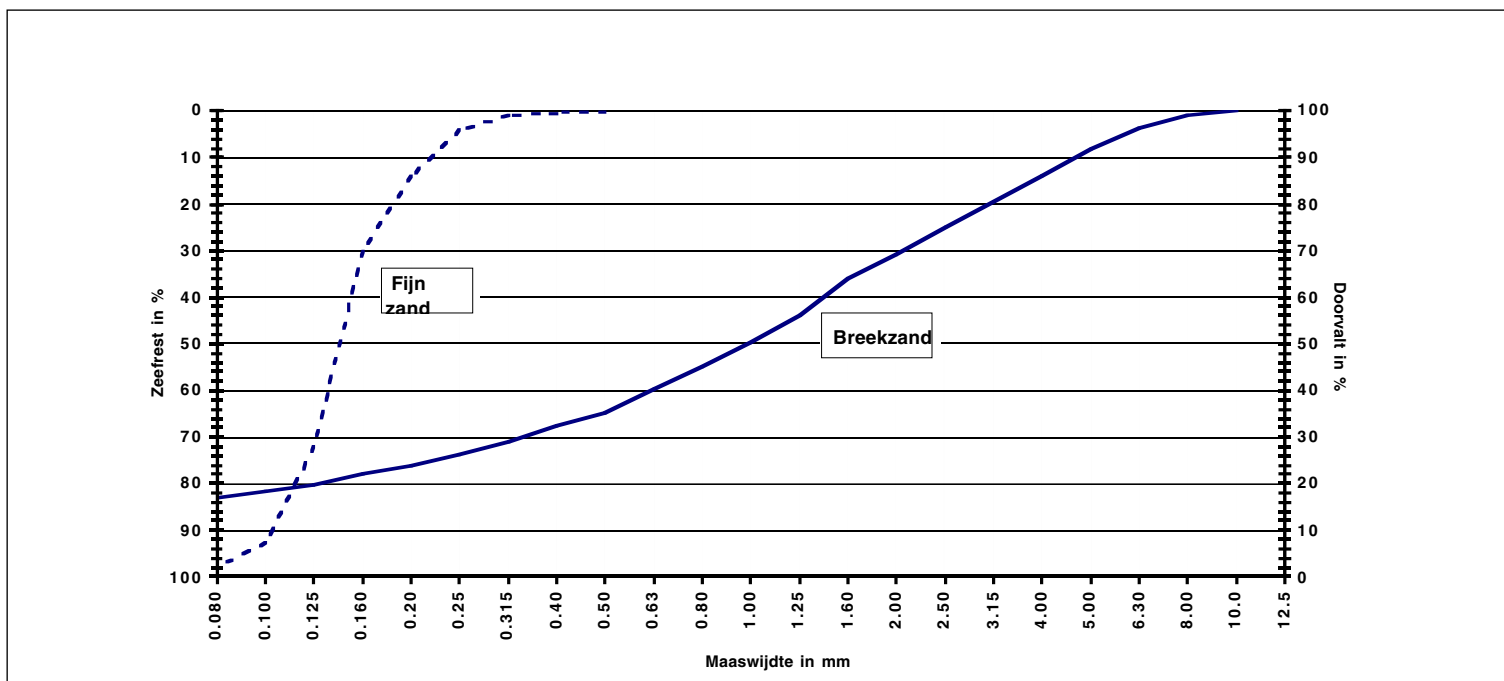
Een fundering in zand-cement wordt over het algemeen met een grader aangebracht en ze moet stevig verdicht worden met behulp van een trilwals of bandenwals. Het materiaal kan gemakkelijk voor kleine werken ingezet worden en manueel verwerkt.

De bereikte mechanische weerstand is sterk afhankelijk van de mate waarin rekening is gehouden met het proctoro optimum voor wat het watergehalte betreft, met de verdichtingsgraad, maar ook met de korrelverdeling van het gebruikte zand. Bij eenzelfde cementgehalte ontwikkelt fijn zand (b.v. uit een zandgroeve) een geringere druksterkte dan breekzand, dat een gespreide korrelverdeling en een hoog gehalte aan fijne deeltjes heeft. Hierna wordt een voorbeeld gegeven. *Tabel 4* bevat een vergelijking van de kenmerken van twee soorten zand qua korrelverdeling ; de korrelverdelingskrommes zijn afgebeeld in *fig. 5*.

*Tabel 5* toont de druksterktes van monsters verdicht via een standaard proctorproef en met een gehalte aan cement CEM III/A 42,5 N LA van 130 kg per m<sup>3</sup> verwerkt mengsel en een constant watergehalte van 8 % (uitgedrukt ten opzichte van de totale massa zand + cement).

Bij eenzelfde ongewassen breekzand speelt ook het gehalte aan fijne deeltjes ( $\leq 63 \mu\text{m}$ ) een rol. Het is aan te bevelen om geen zand met meer dan 20 % fijnen te gebruiken. Als het aandeel fijnen te hoog is, bestaat het risico dat verdichten onmogelijk wordt. Bij eenzelfde cementgehalte en een optimaal watergehalte wordt de beste weerstand bekomen als het gehalte fijne deeltjes tussen 14 en 16 % ligt. *Tabel 6* toont de resultaten uit de standaard proctorproef op monsters verdicht met een gehalte aan cement CEM III/A 42,5 N LA van 120 kg/m<sup>3</sup> en een watergehalte dat overeenstemt met de normale proctoro optimum. Dezelfde tabel geeft ook de verschillende gehalten fijne deeltjes ( $\leq 63 \mu\text{m}$ ) van het zand.

Fig. 5 – Korrelverdelingskromme van fijn zand en breekzand





| Materiaal  | Zand-cement type I<br>(100 % zand 0/4)                    |      | Zand-cement type II<br>(65 % zand 0/4 en<br>35 % gebroken granulaat 2/32) |
|--|---|------|---|
|  | Cementgehalte<br>CEM III/A 42,5 N LA (kg/m <sup>3</sup> ) | 120  | 150   |
| Watergehalte (%)   | 9,8   | 8,6  | 7,6   |
| Druksterkte op cilindervormige monsters van 100 cm <sup>2</sup> en 10 cm hoogte (N/mm <sup>2</sup> ) |   |      |   |
| Na 56 dagen (R'c 56d)  | 16,3  | 19,4 | 17,7  |

Tabel 3 – Voorbeelden van resultaten met zand-cement, type I en II  
[bron: OCCN]

|           | Gehalte fijne deeltjes ( $\leq 80 \mu\text{m}$ )<br>(%) | Korrelmaat 0/D |
|-----------|---|----------------|
| Fijn zand | 2   | 0/0,315        |
| Breekzand | 17  | 0/5            |

Tabel 4 – Kenmerken van het zand inzake korrelverdeling

| 130 kg/m <sup>3</sup> CEM III/A 42,5 N LA<br>8 % water |                          |                           |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Druksterkte<br>(N/mm <sup>2</sup> )                    | Fijn zand<br>0 / 0,315   | Breekzand<br>0/5          |
| na 7 d   | 3,1                      | 10,1                      |
| na 28 d  | 5,4                      | (extrapolatie) $\pm 14,5$ |
| na 56 d  | (extrapolatie) $\pm 6,0$ | 16,4                      |

Tabel 5 – Invloed van de korrelverdeling van het zand op de druksterkte  
[bron: OCCN]

| 120 kg/m <sup>3</sup> CEM III/A 42,5 N LA |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|
| Gehalte fijne deeltjes (%)                | 8,4  | 14,1 | 16,9 | 18,7 |
| Optimale watergehaltes (%)                | 5,8  | 8,0  | 8,5  | 8,2  |
| Druksterkte (N/mm <sup>2</sup> )          |      |      |      |      |
| na 7 d                                    | 7,2  | 10,4 | 9,8  | 10,0 |
| na 56 d                                   | 10,9 | 18,5 | 17,4 | 16,4 |
| Splijttreksterkte (N/mm <sup>2</sup> )    |      |      |      |      |
| na 56 d                                   | 1,45 | 2,55 | 2,35 | 2,25 |

Tabel 6 – Invloed van het gehalte fijne korrels in het breekzand op de mechanische weerstand [bron: OCCN]

### Toepassingen van zand-cement :

Met zand-cement uit een betoncentrale kunnen op eenvoudige wijze funderingslagen aangebracht worden voor verhardingen bestemd voor licht verkeer. Dit type materiaal is in elke betoncentrale verkrijgbaar en kan in kleine hoeveelheden geleverd worden op bouwplaatsen waar het werk in fasen verloopt. Zand-cement wordt ook gebruikt als onderlaag voor betonstraatstenen en -tegels, alsook als aanvulmateriaal voor sleuven.

### Praktische wenken :

- Met zand dat een gespreide korrelverdeling (0/2 tot 0/4) heeft en niet gewassen is (10 tot 20 % fijne deeltjes  $\leq 0,063 \text{ mm}$ ) kunnen betere resultaten behaald worden qua compactheid en sterkte.
- Het cementgehalte moet minstens 100 kg per m<sup>3</sup> verdicht mengsel bedragen.
- Het verdichten moet zo snel mogelijk voltooid zijn na het aanmaken van het mengsel.
- Het is aan te bevelen om niet te werken bij koud weer ( $\leq 1 \text{ }^\circ\text{C}$  om 8 uur 's morgens of  $\leq -3 \text{ }^\circ\text{C}$  's nachts).
- Zand-cement moet steeds tegen uitdrogen beschermd worden, en wel zo snel mogelijk na de verwerking.

### VOORSCHRIJVEN VAN ZAND-CEMENT:

In overeenstemming met de *standaardbestekken* die in de gewesten van toepassing zijn (SB 250, CCT RW 99, TB 2000).

Bij gebrek hieraan worden volgende eisen opgegeven :

- het zand-cement moet homogeen gemengd worden in een betoncentrale;
- het cementgehalte moet minstens 100 kg per m<sup>3</sup> verdicht mengsel bedragen ;
- de druksterkte, gemeten op standaard proctormonsters, bedraagt na 7 dagen minstens 3 N/mm<sup>2</sup>.

### 3. Fundering van schraal beton

Schraal beton bestaat uit een mengsel van cement, water, zand en granulaten. Het is vergelijkbaar met klassiek beton, maar dan met een lager cement- en watergehalte. Schraal beton is een heel stijf materiaal; zijn elasticiteitsmodulus schommelt over het algemeen rond de 25 000 N/mm<sup>2</sup>. De verhouding van zijn elasticiteitsmodulus tot die van de onderliggende laag is daardoor over het algemeen erg groot, zodat door het wegverkeer hoge trekspanningen ontstaan onderin de laag schraal beton. Om de trekspanningen lager te houden dan de treksterkte van het schraal beton, is het noodzakelijk het beton adequaat te dimensioneren. De verticale spanningen op de onderlaag zijn daarentegen veel geringer en goed gespreid; het gebruik van schraal beton is daarom gerechtvaardigd op ondergronden met weinig draagkracht en voor drukke verkeerswegen.

Het cementgehalte bedraagt minstens 100 kg per m<sup>3</sup> verwerkt mengsel en het watergehalte mag 8 % van de massa van het droge mengsel niet overschrijden. Bij lagere cementgehalten is schraal beton erodeerbaar en zeer vorstgevoelig.

Aangezien de criteria voor het samenstellen van schraal beton tamelijk ruim zijn, kan in de praktijk gebruik gemaakt worden van bijna alle types steenachtige materialen die op de markt verkrijgbaar zijn, ongeacht of ze nu gemalen of gerold zijn, voor zover het gehalte aan fijne elementen ( $\leq 63 \mu\text{m}$ ) van het mengsel de 5 % niet overschrijdt (cement niet inbegrepen). Het verdient dan ook aanbeveling zeker geen zand te gebruiken waarvan het gehalte aan fijne deeltjes groter is dan 10 %. Als het gehalte aan fijne elementen

hooger is, is immers veel meer water vereist voor het bevochtigen. De mechanische prestaties en duurzaamheid van het schraal beton dalen hierdoor aanzienlijk.

De beste mechanische prestaties worden verkregen bij schraal beton met een continue korrelverdeling en waarvan de korrelverdelingskromme binnen de graderingsgebieden valt die op het 13e Belgische Wegencongres in Brugge zijn vastgelegd. Zie hiervoor tabel 7 en fig. 6 en 7.

| Zeefopening (mm) | Zeefdoorval (%)    |                       |
|------------------|--------------------|-----------------------|
|                  | Schraal beton 0/20 | Schraal beton BM 0/32 |
| 40               | —                  | 100                   |
| 31,5             | —                  | 92 à 100              |
| 20               | 93 à 100           | 64 à 87               |
| 16               | 84 à 95            | 56 à 81               |
| 8                | 55 à 77            | 38 à 64               |
| 4                | 35 à 61            | 27 à 53               |
| 2                | 24 à 50            | 0 à 43                |
| 1                | 16 à 39            | 14 à 34               |
| 0,5              | 10 à 28            | 8 à 25                |
| 0,25             | 6 à 21             | 5 à 18                |
| 0,125            | 3 à 13             | 2 à 12                |
| 0,063            | 0 à 5              | 0 à 5                 |

Tabel 7 – Aanbevolen graderingsgebieden voor schraal beton van het type 0/20 en 0/32 (13e Belgisch Wegencongres)

Fig. 6 – Aanbevolen graderingsgebied voor schraal beton van het type 0/20 (13e Belgisch Wegencongres)

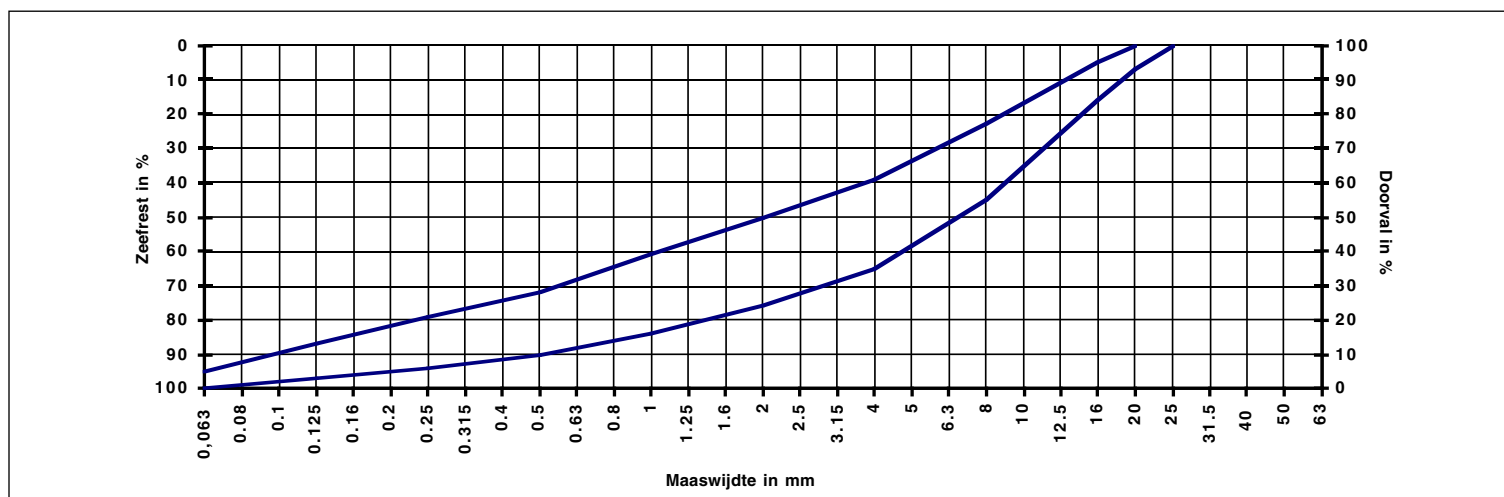
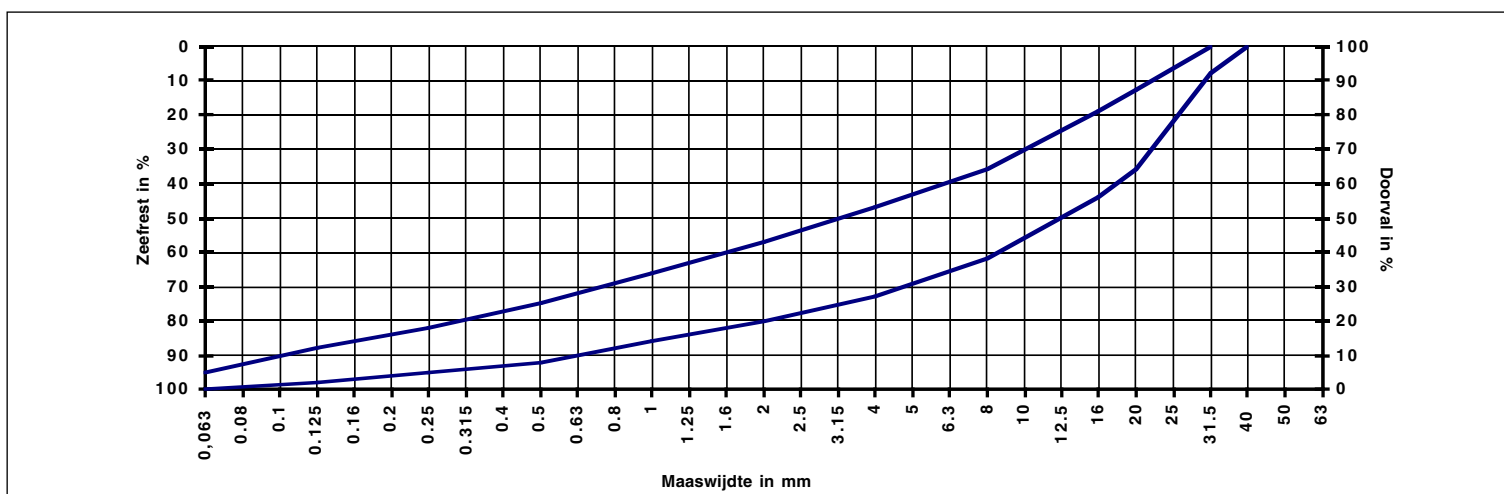


Fig. 7 – Aanbevolen graderingsgebied voor schraal beton van het type 0/32 (13e Belgisch Wegencongres)



Schraal beton wordt over het algemeen verwerkt met een *finisher* of met een *grader* en walsen. Als de korrelverdelingskromme dicht bij de bovengrens van het graderingsgebied ligt, is het schraal beton verwerkbaar genoeg om met een *finisher* verwerkt te worden. In geval van intense verdichting met een trilwals of bandenwals moet de voorkeur uitgaan naar een samenstelling waarvan de korrelverdelingskromme dichter bij de ondergrens van het graderingsgebied ligt. Schraal beton kan net zoals beton voor wegverhardingen ook verwerkt worden met behulp van een glijbekistingsmachine uitgerust met trilnaalden (inwendig trillen). In dat geval moet het gehalte aan deeltjes kleiner dan 0,063 mm (inclusief cement) minstens 220 tot 250 kg/m<sup>3</sup> bedragen, teneinde een voldoende werkbaar beton te verkrijgen. Dit kan gebeuren door het toevoegen van vliegas of van fijne elementen afkomstig van het vergruizen van steenachtige materialen.

Ter vergelijking geeft tabel 8 de samenstelling en de mechanische kenmerken van drie verschillende soorten schraal beton: "klassiek" schraal beton, d.w.z. met de consistentie van vochtige aarde, dat met een *grader* en een wals verwerkt moet worden ; en twee soorten beton met een toevoegmateriaal (repectievelijk vliegas en filler), die met een *slipform* worden verwerkt. Als cementgehalte is gekozen voor 100 kg/m<sup>3</sup>. De korrelverdelingskromme van het inerte skelet van die betonsamenstellingen valt binnen de graderingsgebieden die zijn afgebeeld in fig. 6 en 7. De druksterkte is na 56 dagen groter dan 10 N/mm<sup>2</sup>. Zij wordt evenwel negatief beïnvloed wanneer fijne deeltjes zijn toegevoegd afkomstig uit een breekinstallatie. Er is dan immers extra water nodig om het beton voldoende plastisch te maken en het met een glijbekistingsmachine te kunnen verwerken.

Tabel 8 – Samenstelling en mechanische prestaties van drie soorten schraal beton [bron: OCCN]

| Verwerking   | met scraper en wals | met slipform |            |
|--|---------------------|--------------|------------|
|  |                     | met vliegas  | met filler |
| Gebroken granulaat 20/32 (kg/m <sup>3</sup> )        | 500                 | 315          |            |
| Gebroken granulaat 7/20 (kg/m <sup>3</sup> )         | 500                 | 475          |            |
| Gebroken granulaat 2/7 (kg/m <sup>3</sup> )          | 400                 | 395          |            |
| Gewassen breekzand 0/2 (kg/m <sup>3</sup> )          | 600                 | 795          |            |
| Vliegas (kg/m <sup>3</sup> )                         | –                   | 140          | –          |
| Kalksteen filler (kg/m <sup>3</sup> )                | –                   | –            | 140        |
| Cement CEM III/A 42,5 N LA (kg/m <sup>3</sup> )      | 100                 | 100          | 100        |
| Water (l/m <sup>3</sup> )                            | 105                 | 170          | 185        |
| Totaal (kg/m <sup>3</sup> )                          | 2 205               | 2 390        | 2 405      |
| Consistentie : slump (mm)                            | –                   | 15           | 20         |
| Vébé (sec)   | –                   | 5            | 7          |
| Druksterkte (N/mm <sup>2</sup> )                     |                     |              |            |
| op kubus van 20 cm, na 7 d                           | 8,2                 | 5,7          | 3,9        |
| op kubus van 20 cm, na 56 d                          | 15,0                | 15,0         | 9,8        |
| op kernen van 100 cm <sup>2</sup> , h=10 cm, na 56 d | 13,6                | 18,9         | 10,5       |
| Statische elasticiteitsmodulus (N/mm <sup>2</sup> )  | 33 500              | 30 500       | 28 000     |

### Toepassingen van schraal beton :

Schraal beton wordt als funderingslaag gebruikt onder alle types wegbedekkingen, omdat het weinig last heeft van variaties in de draagkracht van de ondergrond. Het plaat-effect maakt het erg geschikt voor het overbruggen van zones met geringe draagkracht. Schraal beton is het funderingsmateriaal bij uitstek voor wegverhardingen bestemd voor matig tot zwaar verkeer. Omdat het eenvoudig verwerkbaar is, en bovendien overal en in elke hoeveelheid beschikbaar, kunnen privé-inritten en oppervlakken met de meest uiteenlopende vormen er gemakkelijk mee aangelegd worden. Schraal beton is het enige materiaal dat gebruikt wordt voor het funderen en vastzetten van elk type wegenaccessoire (kantopsluitingen, afvoergoten, stoepanden,...). Het is immers in staat de intense belastingen op te vangen waaraan die elementen worden blootgesteld.

### Praktische wenken :

- De korrelverdelingskromme van het beton moet continu verlopen. Daarom moet kwalitatief hoogstaand zand gebruikt worden met een gespreide korrelverdeling en waarvan het gehalte fijne korrels 10 % niet overschrijdt.
- Het cementgehalte moet minstens 100 kg/m<sup>3</sup> bedragen.
- Het verdichten moet zo snel mogelijk na het bereiden van het mengsel beëindigd zijn (binnen de twee uur).
- Het is aan te bevelen om niet te werken bij koud weer ( $\leq 1$  °C om 8 uur 's morgens of  $\leq -3$  °C 's nachts).
- Vers verdicht schraal beton moet altijd worden beschermd tegen uitdroging, en wel zo snel mogelijk na de verwerking.

### VOORSCHRIJVEN VAN SCHRAAL BETON :

In overeenstemming met de vereisten uit de *standaardbestekken* die in de verschillende gewesten van kracht zijn (SB 250, CCT RW 99, TB 2000).

Of in overeenstemming met de richtlijnen uit de norm NBN B15-001 : het beton moet minstens tot sterkteklasse C12/15 en consistentieklasse S1 behoren, terwijl de maximale korreldiameter beperkt is tot 20 mm.

Bij gebrek hieraan, volgende eisen opgeven :

- schraal beton bestaat uit een homogeen mengsel van granulaten, zand, cement en water ; het mengen gebeurt in een centrale ;
- het cementgehalte bedraagt minstens 100 kg per m<sup>3</sup> verdicht beton ;
- het watergehalte mag 8 % van de droge massa van het mengsel niet overschrijden ;
- de druksterkte gemeten op kubussen met een zijde van 15 cm moet na 28 dagen minstens 15 N/mm<sup>2</sup> bedragen ;
- indien nodig moet een bindingsvertrager gebruikt worden.

#### 4. Fundering van poreus schraal beton

Poreus schraal beton is beton dat zeer sterk waterdoorlatend is en dat gemaakt wordt op basis van een skelet met een discontinue korrelverdeling. Het wordt hoofdzakelijk gebruikt om te vermijden dat water ingesloten raakt tussen een betonverharding of een bestrating en de fundering. Door de grote porositeit is er geen gevaar dat de drainerende laag na verloop van tijd verstopt raakt. Dooizouten worden door de neerslag opgelost. Dankzij de grote porositeit van het materiaal en de zeer hechte samenhang is het gevaar dat het materiaal bevriest onbestaand. De holtes, waarvan de omvang varieert van 0,5 tot 2 cm<sup>3</sup>, zijn inderdaad met elkaar verbonden door kanalen met een ruime doorsnede, d.w.z. van 0,1 tot 0,5 cm<sup>2</sup>. Wel moet vermeden worden dat de massa verzadigd is met water op het ogenblik dat strenge vorst intreedt. Het standaardbestek suggereert een samenstelling voor poreus beton, of verplicht ze, naargelang de toepassing. Die gegevens zijn te vinden in tabel 9.

|                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| granulaten 6/20 ..... | 1130 kg/m <sup>3</sup>        |
| granulaten 2/6 .....  | 565 kg/m <sup>3</sup>         |
| cement .....          | 200 kg/m <sup>3</sup> minimum |
| water .....           | ca. 100 l/m <sup>3</sup>      |

Tabel 9 – Samenstelling van poreus schraal beton

De materialen voor dit mengsel zijn identiek aan die voor conventioneel schraal beton, maar de korreldiameter wordt tot 20 mm beperkt en de zandfractie ontbreekt. Bovendien zijn materialen afkomstig van recyclage of afbraak van een oud asfaltwegdek, af te raden of zelfs verboden.

Het cementgehalte moet minstens 200 kg/m<sup>3</sup> bedragen, zodat de mechanische weerstand van het beton vergelijkbaar is met die van klassiek schraal beton. Tegelijk moet een optimale doorlatendheid worden gerespecteerd om het water snel te laten wegstromen. Ter zake schrijven de standaardbestekken als criterium ofwel de effectieve porositeit, ofwel de waterdoorlatendheidscoëfficiënt voor

(zie kader). De waterdoorlatendheid kan op de bouwplaats gecontroleerd worden door tien liter water op het betonoppervlak uit te gieten. Het water moet onmiddellijk in het beton dringen en mag niet buiten een kring met een straal van één meter lopen. Die controle kan twee dagen na de aanleg van de fundering uitgevoerd worden.

Ter informatie zijn in tabel 10 de resultaten samengebracht van laboratoriumproeven met verschillende samenstellingen van poreus schraal beton.

|  |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gebroken kalksteen 7/20 (kg/m <sup>3</sup> )   | 1 130 | 1 130 | 1 130 | 1 130 | —     |
| Gebroken kalksteen 2/7 (kg/m <sup>3</sup> )  | 565   | 565   | 565   | 565   | —     |
| Gerold grind 4/28 (kg/m <sup>3</sup> )   | —     | —     | —     | —     | 1 695 |
| Cement CEM III/A 42,5 N LA (kg/m <sup>3</sup> )  | 200   | 200   | 200   | 250   | 200   |
| Water (l/m <sup>3</sup> )  | 85    | 95    | 105   | 85    | 95    |
| Totaal (kg/m <sup>3</sup> )  | 1 980 | 1 990 | 2 000 | 2 030 | 1 990 |
| Vochtige volumemassa van het verse verdichte beton (kg/m <sup>3</sup> )  | 1 955 | 1 965 | 1 960 | 1 985 | 1 950 |
| Effectieve porositeit (%)  | 12    | 10    | 9     | 9     | 5     |
| Doorlatendheid (x 10 <sup>-4</sup> m/s)  | 38    | 33    | 18    | 12    | 5     |
| Druksterkte op cilindrische monsters van 100 cm <sup>2</sup> , h = 10 cm, na 28 d (R'c 28d) (N/mm <sup>2</sup> ) | 11,9  | 14,8  | 15,3  | 14,2  | 19,1  |

Tabel 10 – Samenstelling en mechanische prestaties van poreus schraal beton [bron: UCL]

#### EFFECTIEVE POROSITEIT VAN POREUS SCHRAAL BETON

De effectieve porositeit is het percentage toegankelijke holle ruimtes waarin het water kan doordringen wanneer een betonmonster volledig ondergedompeld wordt.

Die meting gebeurt op cilindervormige monsters die uit de fundering genomen worden (over het algemeen boorkernen bestemd voor drukproeven). In eerste instantie worden de proefstukken minstens 72 uur lang onder water bewaard. Vervolgens wordt het absolute volume van het monster berekend met een hydrostatische weging, alsook het schijnbaar volume door meting van zijn geometrie.

De effectieve porositeit wordt berekend met de formule :

$$\eta = 100 \left( \frac{V_s - V_a}{V_s} \right)$$

waarbij :  $\eta$  = effectieve porositeit in %

$V_a$  = absoluut volume van het proefmonster

$V_s$  = schijnbaar volume van het proefmonster

Het Waalse standaardbestek CCT RW 99 : 2004 voorziet als criterium voor de gemiddelde effectieve porositeit minimaal 8,0 %, en voor de individuele effectieve porositeit minimaal 6,5 %.

#### DOORLATENDHEIDSCOËFFICIËNT VAN POREUS SCHRAAL BETON

Het insijpelingsvermogen van een ondergrond wordt door de doorlatendheidscoëfficiënt  $k$  uitgedrukt. Een ondergrond is zeer doorlatend als  $k$  minstens gelijk is aan 10<sup>-4</sup> m/s. Bij een ondergrond met een goede doorlatendheid (permeabiliteit) ligt  $k$  tussen 10<sup>-4</sup> en 10<sup>-6</sup> m/s. Een ondergrond met een matige tot slechte doorlatendheid heeft een coëfficiënt  $k$  van minder dan 10<sup>-6</sup> m/s, terwijl een ondergrond met een coëfficiënt  $k$  lager dan 10<sup>-8</sup> m/s als het ware ondoordringbaar is.

Net zoals bij het meten van de effectieve porositeit wordt ook deze proef uitgevoerd op de boorkernen die in drukproeven worden aangewend. Bij de proef wordt de boorkern aan een hydraulische gradiënt blootgesteld. Er wordt gemeten hoeveel tijd er nodig is om een bepaalde hoeveelheid water op te vangen, hetzij door de hydraulische gradiënt constant te houden (meting bij constant niveau) indien de doorlatendheid groot is, hetzij door een variabele hydraulische gradiënt (meting bij variabel niveau) indien de doorlatendheid gering is.

Die testmethode is op punt gesteld door het Laboratorium voor Burgerlijke Bouwkunde van de UCL – *Université Catholique de Louvain*. Meer details over deze methode vindt de lezer in de respectieve *Standaardbestekken* van de gewesten.

Volgens het *Standaardbestek 250* en het CCT RW 99 : 2004 moet de doorlatendheidscoëfficiënt groter zijn dan 4.10<sup>-4</sup> m/s.



Wat de verwerking betreft, kan het niveau met een grader geregeld worden, waarna het beton intensief moet verdicht worden, bijvoorbeeld eerst door middel van een bandenwals (die ervoor zorgt dat de laag ook in de diepte verdicht wordt) en tenslotte met een niet trillende gladde wals (die de vlakheid van het oppervlak van de fundering waarborgt).

Poreus schraal beton moet met een plasticfolie tegen uitdrogen beschermd worden.

Onder een verharding in straatstenen of tegels zal het poreus schraal beton afgedekt worden met een geweven membraan alvorens de straatlaag aan te brengen.

*Uitzicht van poreus schraal beton. De grote porositeit wordt verkregen door een inert skelet te realiseren dat geen zand bevat.*



### **Toepassingen van poreus schraal beton :**

Poreus schraal beton wordt hoofdzakelijk gebruikt omwille van zijn drainerende eigenschappen. Het zorgt voor een continu drainerende structuur.

Bovendien kan bij betonnen wegverhardingen het oppervlakte-water worden afgevoerd afkomstig van slecht gedichte dwarsvoegen of van de langsvoeg. Zo wordt vermeden dat water onder het wegdek opgesloten raakt, wat op termijn erosie van de fundering kan teweegbrengen.

Het zeer krachtige verdichten, de strikte korrelverdeling en de delicate controle maken van poreus schraal beton een veeleisend materiaal; fabricage, verwerking en toezicht moeten dan ook met zorg gebeuren.

### **Praktische wenken :**

- Een betonsamenstelling zonder zand levert een materiaal op met een groter drainerend vermogen. Bovendien moeten de granulaten proper zijn: het gehalte aan deeltjes  $\leq 0,063$  mm mag niet groter zijn dan 2 %.
- Het cementgehalte moet minstens  $200 \text{ kg/m}^3$  bedragen.
- Het beton moet zeer sterk verdicht worden, d.w.z. dat de verdichtingsenergie over de volledige laagdikte reikt. Het verdichten moet na het bereiden van het mengsel zo snel mogelijk (binnen de twee uur) afgewerkt worden.
- Het is aan te bevelen niet te werken bij koud weer ( $\leq 1 \text{ }^\circ\text{C}$  om 8 uur 's morgens of  $\leq -3 \text{ }^\circ\text{C}$  's nachts).
- Poreus schraal beton moet na het verdichten onmiddellijk tegen uitdrogen beschermd worden.

### **VOORSCHRIJVEN VAN POREUS SCHRAAL BETON :**

In overeenstemming met de *standaardbestekken* die in de gewesten van toepassing zijn (SB 250, CCT RW 99, TB 2000).

Bij gebrek hieraan worden volgende elementen opgegeven :

- poreus schraal beton moet bestaan uit granulaten, cement en water; die bestanddelen moeten homogeen gemengd zijn in een betoncentrale;
- het beton mag geen zand bevatten ;
- het cementgehalte moet minstens  $200 \text{ kg/m}^3$  bedragen ;
- het watergehalte moet rond  $100 \text{ l/m}^3$  liggen ;
- na het verdichten wordt op het betonoppervlak een emmer water uitgegoten : dat water moet onmiddellijk in het beton dringen en mag niet buiten een cirkel met een straal van één meter stromen.

## 5. Fundering van walsbeton

Walsbeton wordt op bijna dezelfde manier verwerkt als schraal beton, maar het heeft een hoger cementgehalte (min. 200 kg/m<sup>3</sup>) en de korreldiameter is tot 20 mm beperkt. Dergelijk beton heeft het grote voordeel dat het door de stabiliteit van het korreلسkelet bijna onmiddellijk na het verdichten in gebruik kan worden genomen. Behalve als funderingslaag (meestal type 20) kan walsbeton ook gebruikt worden als wegverharding (type 30), b.v. voor landbouwwegen.

De algemene trend bestaat erin om de maximale korrelgrootte te beperken tot 20 mm, en soms zelfs minder. Dit heeft drie doelstellingen: segregatie vermijden ; het mengen, verwerken en verdichten gemakkelijker laten verlopen ; en tenslotte, een effener oppervlak realiseren.

Tabel 11 en fig. 8 en 9 duiden de aanbevolen grenzen aan voor de graderingsgebieden en dit voor een inert skelet met twee verschillende maximale afmetingen: 0/16 mm en 0/20 mm.

Om te voldoen aan de eisen inzake druksterkte, moet de hoeveelheid cement minstens 200 of 250 kg/m<sup>3</sup>, bedragen voor walsbeton met een gemiddelde druksterkte van respectievelijk 20 N/mm<sup>2</sup> (type 20) en 30 N/mm<sup>2</sup> (type 30), gemeten op boorkernen van 100 cm<sup>2</sup> na 90 dagen. Het toevoegen van vliegias is toegestaan om de verwerkbaarheid van het beton te verbeteren en het risico op scheurvorming te beperken. De hoeveelheid vliegias is beperkt tot hoogstens 5 % van de massa van de droge granulaten.

Het ideale watergehalte wordt bepaald met een gewijzigde proctorproef en bedraagt over het algemeen 4 tot 7 % van de massa van de droge materialen.

| Maasopening (mm) | Zeefdoorval (%) |          |
|------------------|-----------------|----------|
|                  | 0/16            | 0/20     |
| 25               | –               | 100      |
| 20               | 100             | 84 à 100 |
| 16               | 87 à 100        | 73 à 100 |
| 10               | 67 à 86         | 56 à 81  |
| 5                | 45 à 67         | 36 à 59  |
| 2                | 29 à 45         | 23 à 42  |
| 0,400            | 10 à 23         | 8 à 20   |
| 0,080            | 1 à 12          | 0 à 11   |

Tabel 11 – Graderingsgebieden voor walsbeton type 0/16 en type 0/20

Walsbeton wordt in één enkele laag aangebracht met een *grader of finisher*. Het is raadzaam materieel in te zetten waarmee het mengsel voorverdicht kan worden. Zo worden er *finishers* gebruikt met een dubbel aanstampstelsel of – in Spanje – glijbekstingsmachines die met krachtige trilplaten zijn uitgerust.

Het verdichten moet zo intensief gebeuren dat de droge volumemassa groter is dan 97 % van het optimum uit de gewijzigde proctorproef. Het is aan te bevelen om gebruik te maken van een gladde trilwals van minstens 10 ton in combinatie met een bandenwals met een massa van minstens 17 ton.

Fig. 8 – Graderingsgebied voor walsbeton type 0/16

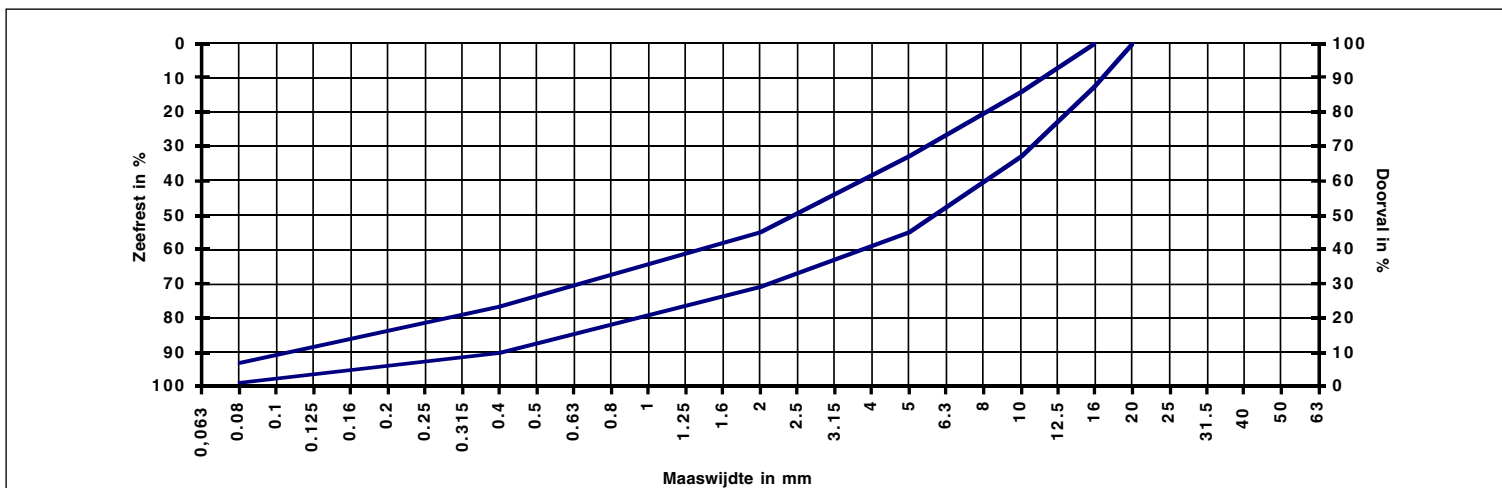
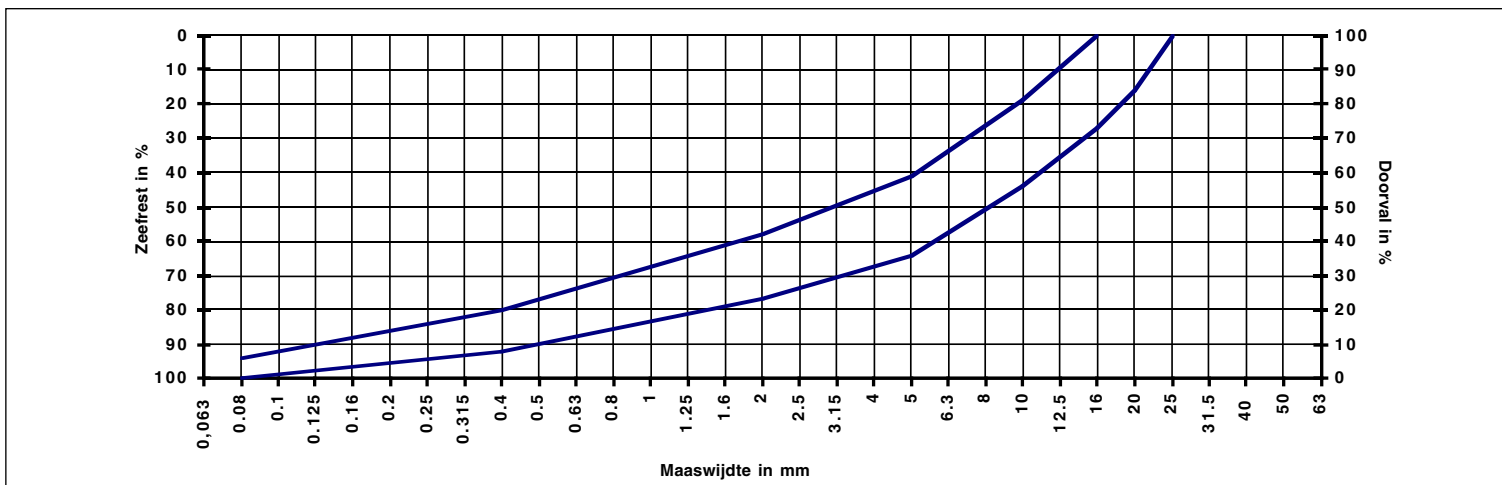


Fig. 9 - Graderingsgebied voor walsbeton type 0/20



Om onregelmatige scheurvorming te vermijden, moeten in elk geval voegen ingekerfd of gezaagd worden. De afstand tussen die voegen mag maximaal vijf of zelfs maar vier meter bedragen. Die voegen reiken tot op een diepte van minimaal één derde van de laagdikte, en ze worden – voor zover mogelijk – op dezelfde plaatsen aangebracht als de voegen in het beton van het wegdek.

Met dit type fundering kan de weg onmiddellijk na het verdichten en het beschermen tegen uitdrogen opengesteld worden voor verkeer tot 3,5 ton. Het is echter noodzakelijk dat het verdichte materiaal voldoende stabiliteit heeft, wat gemakkelijk haalbaar is als gebroken steenslag is aangewend.

In tabel 12 zijn als voorbeeld de proefresultaten opgenomen van de gewijzigde proctorproef. Het gaat om beton op basis van kalksteengranulaten waarvan het inert skelet binnen het eerder voorgestelde graderingsgebied 0/20 ligt. Het watergehalte is erg laag, waardoor de volumemassa en de druksterkte zeer hoog oplopen (proctoroptimum bij ongeveer 5 % water). De resultaten tonen duidelijk dat het erg belangrijk is het watergehalte onder controle te houden om een hoge weerstand te garanderen.

| Betonsamenstellingen (kg/m <sup>3</sup> )   |       |                      |                               |       |                      |                               |
|---|-------|----------------------|-------------------------------|-------|----------------------|-------------------------------|
| – Gebroken kalksteen 7/20   | 835   |                      |                               | 815   |                      |                               |
| – Gebroken kalksteen 2/7  | 520   |                      |                               | 510   |                      |                               |
| – Gewassen kalksteen breekzand 0/2  | 730   |                      |                               | 710   |                      |                               |
| – Cement CEM III/A 42,5 N LA  | 200   |                      |                               | 240   |                      |                               |
| Droge volumemassa   | 2 285 |                      |                               | 2 275 |                      |                               |
| Gewijzigde proctorproef, verdichting bij verschillende watergehaltes (W)<br>Bepaling van de droge volumemassa (DVM) en de druksterkte (R'c) | W     | DVM                  | R'c                           | W     | DVM                  | R'c                           |
|   | (%)   | (kg/m <sup>3</sup> ) | na 7d<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | (%)   | (kg/m <sup>3</sup> ) | na 7d<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|   | 1,8   | 2 190                | 5,1                           | 1,6   | 2 170                | 5,1                           |
|   | 3,6   | 2 200                | 12,1                          | 3,2   | 2 195                | 12,2                          |
|   | 4,2   | 2 235                | 22,2                          | 4,1   | 2 235                | 24,5                          |
|   | 5,2   | 2 285                | 24,6                          | 4,7   | 2 270                | 34,1                          |
|   | 7,1   | 2 255                | 21,6                          | 7,1   | 2 225                | 29,6                          |

Tabel 12 – Samenstelling en mechanische prestaties van walsbeton [bron: UCL]

Toepassing van walsbeton type 30 als verharding voor een landbouwweg te Diepenbeek.



### Toepassingen van walsbeton :

Walsbeton kan beschouwd worden als een hybride materiaal, tussen funderingsmengsels behandeld met cement, en sommige types rijk beton die met een glijbekistingsmachine (*slipform paver*) worden verwerkt. Om walsbeton te verwerken worden dezelfde machines en technieken ingezet als voor funderingsmengsels behandeld met cement : het gaat immers om een zeer droog materiaal, waardoor het met een wals kan verdicht worden. Zijn cementgehalte en de bereikte sterkte zijn daarentegen vrij hoog, zodat het oppervlak zelf van het walsbeton berijdbaar is, wat bij andere types cementgebonden funderingen niet het geval is. Het is zeer geschikt voor stedelijke omgevingen waar funderingen en wegverhardingen in korte opeenvolgende stukken worden aangelegd. Onmiddellijk na de aanleg heeft walsbeton reeds een goed draagvermogen, zodat het geduld van de buurtbewoners tijdens de werken niet al te veel op de proef moet worden gesteld.

### Praktische wenken :

- De korrelverdelingskromme van het beton moet continu verlopen ; het zand moet van goede kwaliteit zijn en een gespreide korrelverdeling hebben.
- De Dmax van de granulaten is beperkt tot 20 mm. Op die manier wordt eventuele segregatie vermeden, is het beton gemakkelijker verwerkbaar en kan een effen oppervlak gerealiseerd worden.
- Het cementgehalte moet minstens 200 kg/m<sup>3</sup> bedragen.
- Het watergehalte moet beperkt zijn, over het algemeen bedraagt dit zo'n 5 % van de droge massa van het beton.
- Dit beton moet zeer sterk, d.w.z. over de volledige dikte van de laag, verdicht worden. Het verdichten moet na het bereiden van het mengsel zo snel mogelijk (binnen de twee uur) voltooid zijn.
- Het is aan te bevelen om niet te werken bij koud weer ( $\leq 1$  °C om 8 uur 's morgens of  $\leq -3$  °C 's nachts).
- Vers verdicht walsbeton moet steeds tegen uitdrogen beschermd worden, en wel zo snel mogelijk na de verwerking.

### VOORSCHRIJVEN VAN WALSBETON :

In overeenstemming met de *standaardbestekken* die in de gewesten van toepassing zijn (SB 250, CCT RW 99, TB 2000).

Bij gebrek hieraan worden volgende eisen opgegeven :

- walsbeton bestaat uit granulaten, zand, cement en water. Die bestanddelen moeten in de betoncentrale tot een homogeen mengsel verwerkt worden ;
- het cementgehalte bedraagt minstens 200 kg per m<sup>3</sup> walsbeton (type 20) of zelfs 250 kg/m<sup>3</sup> (type 30) ;
- het watergehalte mag 7 % van de droge massa van het mengsel niet overschrijden ;
- de druksterkte moet bij kubussen met zijde 15 cm na 28 dagen minstens 20 N/mm<sup>2</sup> (type 20) of zelfs 30 N/mm<sup>2</sup> (type 30) bedragen.



VOORBEELD VAN REALISATIE VAN FUNDERING  
IN ZAND-CEMENT (Autoweg A8)



*Fabricage van een homogeen zand-cementmengsel in een centrale.*



*Verwerking van het zand-cement met scraper en trilwals.*

*Het regelen van dwars- en lengteprofiel gebeurt met een laser. De vlakheid van het oppervlak wordt gecontroleerd met een rij van 3 m.*







VOORBEELD VAN REALISATIE VAN FUNDERING IN POREUS MAGER BETON (Hertogsstraat, Brussel)

*Om te vermijden dat de structuur heterogeen is, moet het poreus schraal beton gelijkmatig uitgespreid worden vooraleer het te verdichten.*



*Krachtige verdichting met een gladde wals (en niet trillen tijdens de laatste gang).*

*Een plastic folie beschermt de fundering tegen uitdrogen*

## DE VERWERKBAARHEIDSTERMIJN EN HET GEBRUIK VAN BINDINGSVERTRAGERS

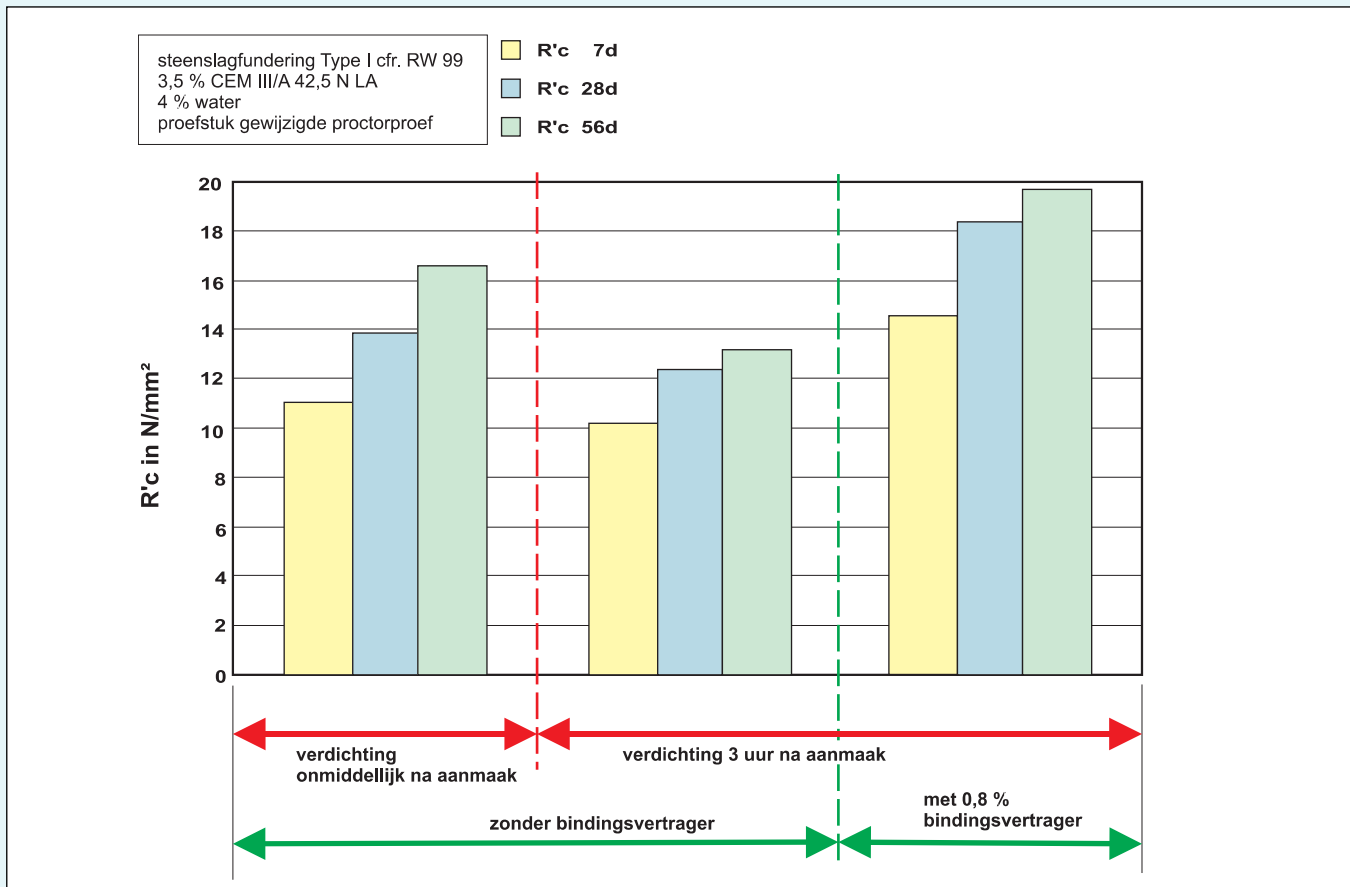
Bij het mengen wordt een bindingsvertrager toegevoegd aan het materiaal dat met cement is behandeld om de beschikbare termijn te verlengen waarbinnen het beton moet verwerkt worden. Dit is een gemakkelijke ingreep die weinig kost. Daarnaast hebben bindingsvertragers nog een bijkomende werking als plastificeerder, wat het verdichten vergemakelijkt. Hierdoor kan, ofwel een grotere compactheid bereikt worden, ofwel het gehalte aan water dat nodig is voor het verdichten gereduceerd worden. Beide factoren hebben een gunstige invloed op de toename van de weerstand, terwijl alle andere factoren onveranderd blijven.

Door het gebruik van een bindingsvertrager kan de tijd die beschikbaar is voor het vervoeren, storten, verdichten en op niveau brengen van het materiaal, met meerdere uren verlengd worden. Zo kan het materiaal zeer intensief verdicht worden en is de realisatie van een perfect effen oppervlak mogelijk. In Frankrijk wordt het belang van het gebruik van bindingsvertragers in materialen behandeld met cement, ondertussen algemeen erkend.

Onderstaande afbeelding toont de resultaten van laboratoriumonderzoek. Steenslag waarvan het inerte skelet perfect in een graderingsgebied "type I" past, werd behandeld met

3,5 % cement CEM III/A 42,5 N LA. Het watergehalte van het mengsel bedroeg altijd 4 % (ten opzichte van de droge massa van het mengsel). Materiaalmonsters werden verdicht volgens de gewijzigde proctorproef, ofwel onmiddellijk na het aanmaken van het mengsel, ofwel drie uur nadien. In dat laatste geval werden de mengsels, waarvan sommige wel en andere geen bindingsvertrager bevatten, eerst bewaard in een hermetisch afgesloten zak. Na het verdichten werden de monsters perfect beschermd tegen uitdroging. Vóór de drukproeven werden de zijden van de proctormonsters bepleisterd met mortel. De grafiek toont de druksterktes na 7, 28 en 56 dagen.

Voorbeeld van testresultaten : steenslag "type I" met cement behandeld, met en zonder bindingsvertrager  
[bron: OCCN]



## CONTROLE TIJDENS EN/OF NA DE AANLEG

*Tijdens de aanleg* van een fundering behandeld met cement, zijn volgende controles mogelijk :

- de conformiteit van het aangewende materieel ;
- de zuiverheid van de baankoffer ;
- de waarschijnlijke dikte van de fundering vanaf het niveau van de baankoffer ;
- het in acht nemen van de weersomstandigheden ;
- de samenstelling van het mengsel , door nazicht van de gegevens die op de leveringsbon van de betoncentrale vermeld staan ;
- de homogeniteit van het mengsel bij het storten (geen segregatie);
- het watergehalte van het mengsel. Die controle kan gebeuren door een bepaalde hoeveelheid materiaal op een gasstel of in een microgolfoven te drogen tot de massa constant blijft. Het totale watergehalte  $w$  van het nog verse mengsel, dat in een percentage van de droge massa wordt uitgedrukt, wordt berekend met volgende formule

$$w = \frac{\text{vochtige massa} - \text{droge massa}}{\text{droge massa} - \text{tarra}} \times 100$$

Om het resultaat in een hoeveelheid water in  $\text{kg}/\text{m}^3$  te kunnen omrekenen, moet de vochtige volumemassa (VVM) van het materiaal, in  $\text{kg}/\text{m}^3$ , bepaald worden, zoals die na optimaal verdichten verkregen wordt. Dit verdichten kan volgens de proctormethode gebeuren in een mal met een bekend volume of door het materiaal met een elektrische hamer zo sterk mogelijk te verdichten in een kubus waarvan het volume eveneens bekend is. Het verdichten van een kubusvormig monster met een elektrische hamer moet bij voorkeur gebeuren in twee lagen met dezelfde dikte. De droge volumemassa (DVM) van het mengsel in  $\text{kg}/\text{m}^3$  wordt hieruit afgeleid met de formule:

$$DVM = \frac{VVM}{1 + \frac{w}{100}}$$

Het verschil tussen VVM en DVM is de hoeveelheid water van het mengsel in  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Merk op dat de proctorstalen of de kubussen die met een elektrische hamer verdicht zijn, nadien gebruikt kunnen worden om de druksterkte van het materiaal te testen ;

- de efficiëntie van het verdichten: het aantal gangen van de machines die voor het verdichten gebruikt worden, is reeds een aanduiding ;
- het niveau van het oppervlak : lengte- en dwarsprofielen moeten gerespecteerd worden met een plaatselijke tolerantie van 1 cm ;
- de vlakheid van het oppervlak. Onregelmatigheden in het oppervlak mogen 1 cm niet overschrijden (met een lat van 3 m te controleren) ;
- de bescherming tegen uitdroging door bevochtigen, eventueel gevolgd door het aanbrengen van een emulsie of door het plaatsen van een ondoorlatend membraan.
- het uitvoeren van eventuele scheuraanzetten (situering en diepte van de voegen).

*Na de aanleg* van een fundering behandeld met cement kunnen volgende controles gebeuren :

- de druksterkte : te bepalen op boorkernen van  $100 \text{ cm}^2$  die uit het bouwwerk zijn weggenomen, of op materiaalstalen die tijdens de uitvoering van de werken zijn verdicht ;
- de dikte van de fundering : de hoogte meten van de boorkernen bestemd voor de drukproef.



*Fabricage van monsters voor de kwaliteitscontrole van het schraal beton. Verdichten gebeurt in twee lagen met behulp van een elektrische hamer.*

(Cover: ) Aanleg van een fundering in zand-cement voor de snelweg A8.

(Laatste pagina:) Waterdoorlatende betonstraatstenen: om de structuur integraal drainerend te maken is een fundering van poreus schraal beton aangewezen.



## BIBLIOGRAFIE



dit bulletin is een publicatie van :  
FEBELCEM – Federatie van de  
Belgische Cementnijverheid  
Voltastraat 8 - 1050 Brussel  
tel. 02 645 52 11  
fax 02 640 06 70  
http://www.febelcem.be  
e-mail: info@felbelcem.be

auteur :  
Ir. Cl. Ployaert

foto's :  
P. Van Audenhove  
tenzij anders vermeld

verantw. uitgever :  
J.P. Jacobs

wettelijk depot :  
D/2004/0280/07

- [1] *Le recyclage des matériaux dans les travaux de voiries communales et provinciales - Code de bonne pratique*  
Ministerie van het Waalse Gewest (DGPL) ; Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux et Institut Scientifique de Service Public  
maart 2002
- [2] *Funderingslagen met cement – Klassificatie, Aanmaak, Toepassing*  
Bulletin nr. 11  
Brussel : Verbond der Cementnijverheid, 1983
- [3] ARQUIE G.  
*Théorie générale de l'influence de la teneur en eau sur les résultats de compactage*  
Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées  
nr. 64, maart - april 1973, ref. 1297, p. 145-158  
Parijs
- [4] *La maîtrise de la fissuration des graves-ciment*  
Supplément Routes nr. 57  
Parijs : CIMbéton, september 1996
- [5] *Cahier des Charges-type RW 99 : 2004*  
Ministerie van het Waalse Gewest – MET
- [6] *Standaardbestek SB250*  
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap – LIN
- [7] *Typebestek TB 2000*  
Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest – BUW
- [8] DEBROUX R. ; JASIENSKI A. ; PLOYAERT CL.  
*Foundation Materials - Cement - Stabilised Quarry Sand*  
8<sup>e</sup> internationaal symposium over wegen in beton - thema II  
Lissabon, september 1998
- [9] PETIT J.  
*Les fondations routières en béton maigre - Spécifications, nouvelles méthodes de mise en oeuvre, dimensionnement*  
RR CRIC 50-f-1980
- [10] PETIT J.  
*Nouvelles perspectives pour les fondations routières en béton maigre.*  
La technique routière, vol. XXIV nr. 1/1979
- [11] JOFRE C.  
*Emploi du béton compacté dans les chaussées*  
Association internationale permanente des Congrès de la Route  
Comité Technique AIPCR des Routes en Béton 07.05B  
1993

