

Di: 771705

De betekenis en de mogelijkheden van de
continue verdichtingscontrole van zand.

IL-R-01.076

Afdeling Infrastructuur
Laboratorium Materialen

Juli 2001

Titel van het rapport:

De betekenis en de mogelijkheden van de continue verdichtingscontrole van zand.

Datum van uitgifte:

4 juli 2001

Rapportnummer:

IL-R-01.076

Naam en adres van de opdrachtgever:

LUT

Naam en adres van de opdrachtnemer:

Laboratorium Materialen (IL)
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044
2600 GA Delft

Naam van de schrijver:

ing. G.J. Laan

Naam en paraaf van de projectleider:

Dr. ir. R. Hofman

Naam en paraaf afdelingshoofd:

ir. J.R.K. Smit

Dossiernummer/naam:

CVC/2

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Het Rijk sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

1. Inleiding.

De continue verdichtingscontrole (CVC_methode) is een methode, die in het buitenland ingang gevonden heeft. De methode is in principe zeer aantrekkelijk voor de controle op de verdichting van zand, omdat tijdens het verdichtingsproces de respons van het zand en daarmee op indirecte wijze de staat van verdichting direct afgelezen kan worden. Bovendien wordt informatie verkregen over het gehele oppervlak van het werk in plaats van een klein aantal meetpunten aan het oppervlak van meetvakken. Met de continue verdichtingscontrole wordt ook informatie verkregen, die wellicht in verband gebracht kan worden met de ontwerp-kundig belangrijkste eigenschap van het zand: stijfheid.

In Nederland bestaat een toenemende aandacht voor deze methode. Met trilwalsen, uitgerust met de desbetreffende apparatuur, is al enige tijd ervaring opgedaan. Na literatuurstudie is nu ook in CROW-verband veldonderzoek verricht naar de bruikbaarheid van de methode.

In deze notitie wordt naar aanleiding van resultaten van dit onderzoek een factor beschouwd, die van bepalende invloed is op de bruikbaarheid van de methode. Dit betreft de gevoeligheid van de CVC-methode voor het vochtgehalte van het zand.

2. Waarom controle op dichtheid?

Verdichtingscontrole van zand bij de aanleg van wegconstructies wordt in Nederland gewoonlijk uitgevoerd door het meten van de dichtheid met behulp van een steekring en vergelijking van de gemeten dichtheid met de referentiewaarde, verkregen uit de proctorproef. Deze methode heeft een aantal aspecten, die vooral tegenwoordig als beperkend worden ervaren. Dit betreft de arbeidsintensiviteit, de indirecte en gebrekkige relatie met functioneel relevante eigenschappen van het zand en de beperktheid van de omvang van de monsters en de diepte, waarover zij genomen worden.

De voor zwaar belaste asfaltwegen geldende belangrijkste functioneel gerelateerde eigenschap van het zand is de dynamische stijfheid. Deze stijfheid is mede bepalend voor het vormveranderingsdraagvermogen van de wegconstructie, die daarop gedimensioneerd wordt. De hiervoor genoemde eigenschappen dichtheid, stijfheid en vormveranderingsdraagvermogen hebben een plaats in de zogenaamde structuur of piramide van eisen. Op het laagste niveau van de piramide vinden we de dichtheid als een van de eigenschappen betreffende de aard van het materiaal. Op het niveau erboven is de gedragseigenschap stijfheid van het zand te vinden. Het vormveranderingsdraagvermogen is een gedragseigenschap van de constructie of het beschouwde constructie-onderdeel op het derde niveau. Daarboven ligt het niveau van de functie-eisen van de constructie. De interacties tussen de niveaus zijn gewoonlijk complex en gebrekkig gemodelleerd (1).

Momenteel wordt gestreefd naar een verschuiving van verantwoordelijkheden bij uitvoering van werken van de opdrachtgever naar de opdrachtnemer. Mogelijkheden daartoe worden gezocht in het formuleren van besteksbepalingen op een hoger niveau in de piramide van eisen dan tot nu toe gewoonlijk wordt gedaan. Dit niveau betreft de onderste twee niveaus van de piramide: aard en gedrag van het materiaal. De hogere niveaus die nu bestudeerd worden op bruikbaarheid betreffen het constructieve gedragsniveau en het vierde niveau betreffende de functie-eisen.

Uit de hiervoor beschreven ontwikkeling volgt één van de momenteel ervaren bezwaren tegen de (afname)controle op dichtheid. Het bestuderen van de mogelijkheden van de continue verdichtingscontrole is mede aantrekkelijk, omdat deze methode in verband staat met stijfheid als de

voornaamste bepalende factor voor het vormveranderingsdraagvermogen.

Gelet op de aanleidingen en pogingen om te komen tot andere eisen en controle dan betreffende de dichtheid is het goed om te overwegen wat de betekenis is van de klassieke controle op dichtheid.

In Nederland wordt voor ophogingen voor wegconstructies gebruik gemaakt van zand. Zand wordt ook gebruikt voor de vorstongevoelige laag (Frostschuttschicht), die met zandbed wordt aangeduid. Het zandbed levert via stijfheid een belangrijke bijdrage aan het vormveranderingsdraagvermogen van een wegconstructie. Deze bijdrage varieert. De stijfheid is afhankelijk van de aard van het materiaal, die door de keuze van de winplaats en selectie bij aanleg bepaald wordt en door de dichtheid en het vochtgehalte. Ook na aanleg van de weg blijft de stijfheid variëren. Dit wordt veroorzaakt door omgevingscondities zoals het klimaat, de grondwaterstand, het wegontwerp, de verkeersbelasting en de onderhoudstoestand van de weg met het oog op waterdoorlatende scheuren. Als gevolg van een en ander variëren de dichtheid en het vochtgehalte van het zandbed en daarmee de stijfheid. Bekend is de geringere stijfheid na een vorstperiode.

Om economische redenen wordt het zand, dat direct in de omgeving van de aan te leggen weg beschikbaar is en aan enkele minimum-eisen voldoet, benut voor de wegaanleg. De minimum eisen betreffen de korrelgrootteverdeling om de vorstongevoeligheid in voldoende mate te verzekeren en het gehalte humeuze bestanddelen om stijfheid en volumevastheid een minimale begrenzing te geven. Het enige, dat bij de uitvoering dan nog gedaan kan worden om het zand in een optimale conditie voor een wegverharding te krijgen is verdichten tot een niveau, dat economisch nog aantrekkelijk is. Op dit niveau zijn de klassieke regels voor controle gericht.

De dimensioneringstechnisch relevante stijfheid is een min of meer onzeker resultaat van de voornoemde handelswijze. Hierop wordt geanticipeerd door in het ontwerp uit te gaan van een stijfheidsniveau, dat gewoonlijk na aanleg en tijdens de levensduur gewoonlijk aanwezig zal zijn. Omdat de werkelijke stijfheid meestal hoger is, geldt daarmee een extra veiligheid in het vormveranderingsdraagvermogen. Het is denkbaar, dat van te voren de bereikbare stijfheid van zand van een bepaalde herkomst bepaald wordt of direct na aanleg de aanwezige stijfheid om daarmee te (her)dimensioneren. Dit wordt om diverse redenen niet gedaan. Een van de redenen betreft de variabiliteit van de stijfheid na aanleg van het zandbed.

Anders dan in het buitenland gewoonlijk het geval is, wordt in Nederland geen eis gesteld aan de stijfheid bij de aanleg van de onderbouw van een wegconstructie. De reden dat dit in het buitenland anders is vloeit voort uit de grotere keuzemogelijkheden dan alleen zand biedt. Deze mogelijkheden betreffen niet alleen de herkomst van het materiaal, maar ook de mogelijkheden om de aard van dit materiaal door bewerkingen te beïnvloeden. De stijfheid is daarmee "maakbaar", terwijl in Nederland de stijfheid afhankelijk is van het ter plaatse beschikbare zand. De stijfheid van dit zand is slechts tot een voor desbetreffend zand bereikbare maximale waarde te beïnvloeden.

De optimale dichtheid van het zand wordt bij aanleg van ophoging en zandbed verzekerd door de eisen betreffende de verdichtingsgraad. Vanwege de afhankelijkheid van de verdichtbaarheid van het vochtgehalte is de aannemer gedwongen om zo nodig het vochtgehalte van het zand door sproeien aan te passen.

3. De continue verdichtingscontrole

De naam "continue verdichtingscontrole" is in zekere zin misleidend. De methode anticipeert immers op stijfheid als resultaat van verdichting. Stijfheid is een eigenschap op het tweede niveau van de piramide van eisen. Dit leidt tot extra aandacht voor deze methode gelet op de inspanningen

om de opdrachtnemer een grotere verantwoordelijkheid te geven voor de kwaliteit bij de uitvoering van werken.

De stijfheid zoals hier van belang is, is een getswaarde, die de relatie aangeeft tussen de vertikale verplaatsing en de belasting over een beperkt oppervlak. Het gaat hierbij dus niet alleen om de stijfheid van opgesloten materiaal, maar ook om de vervormbaarheid onder schuifspanningen. De wrijvingseigenschappen, met name de glijdingsmodulus, zijn hiermee van belang.

Uit het tot nu toe verrichte onderzoek naar de bruikbaarheid voor de controle op de dichtheid van zand is de vochtgevoeligheid van de methode gebleken. Dit is niet verwonderlijk omdat de stijfheid van zand van diverse aard-eigenschappen van zand afhankelijk is. Dit betreft naast de dichtheid de korrelgrootteverdeling en het vochtgehalte van het zand. Deze vochtgevoeligheid geldt niet of in veel mindere mate voor de gewoonlijk in het buitenland toegepaste materialen, die met de CVC-methode op verdichting gecontroleerd worden.

De gevoeligheid van de stijfheid voor het vochtgehalte van zand is gewoonlijk groot en verschilt sterk in afhankelijkheid van de zandsoort. De relatie tussen stijfheid en vochtgehalte is niet lineair en waarschijnlijk lastig in een numeriek model uit te drukken. In het algemeen varieert de stijfheid als volgt bij een toenemend vochtgehalte:

Droog zand heeft een relatief lage stijfheid. Door toename van het vochtgehalte neemt de stijfheid toe tengevolge van de daardoor veroorzaakte (schijnbare) cohesie, die het korrelskelet als het ware een voorspanning geeft. De stijfheid van zand is spanningsafhankelijk. De toename van de stijfheid met een toenemend vochtgehalte geldt tot even onder het optimumvochtgehalte. Bij toename van het vochtgehalte boven het optimum daalt de stijfheid sterk tot mogelijk zeer lage waarden. Naarmate het zand fijner is en met name een grotere fractie fijn materiaal bevat neemt de vochtgevoeligheid toe. Voor leem en klei geldt dat de afhankelijkheid van de stijfheid van het vochtgehalte zeer groot is. De stijfheid van dergelijk materiaal kan zo groot zijn, dat het als materiaal voor een wegfundering zou kunnen gelden wanneer het vochtgehalte beheerst zou kunnen worden. (In de praktijk is gebleken, dat dit in bepaalde condities een mogelijkheid is).

Het geschetste verloop van de stijfheid en dus de CVC-waarde blijkt bepaald niet helder uit de proefresultaten, die uit meetvakken zijn verkregen. Divers factoren kunnen dit veroorzaakt hebben: de lineaire regressie, waar van uitgegaan is bij de analyse van de meetresultaten, de spreiding in de meetresultaten en het niet bekende concrete verloop en niveau van de cohesie in afhankelijkheid van het vochtgehalte. Nader onderzoek van het laatstgenoemde en de relatie met de stijfheid en daarmee met de CVC-waarde is aan te bevelen.

De CVC-methode is met de vochtgevoeligheid van het te controleren materiaal een methode met een handicap. Indien deze handicap weggenomen zou kunnen worden, zou de methode waarschijnlijk zeer goede mogelijkheden bieden. In principe zijn er diverse mogelijkheden om de handicap te bestrijden:

- Vochtongevoelig materiaal gebruiken.
- Het zand in één standaard vochtconditie brengen.
- De meetresultaten corrigeren voor de invloed van het variërende vochtgehalte.

De eerstgenoemde oplossing biedt geen praktische oplossing. Er wordt wel mee aangegeven, dat waar dan ook vochtongevoelig materiaal gebruikt wordt, dit wellicht wel voor de CVC-methode een goede toepassingsmogelijkheid is.

Het zand in één standaard vochtconditie brengen roept vragen op met betrekking tot welk vochtgehalte en hoe dit bereikt wordt. Het ligt voor hand om het te kiezen vochtgehalte afhankelijk te stellen van het optimumvochtgehalte. Het bereiken van dit vochtgehalte is problematisch omdat het afhankelijk is van dosering van water door sproeien en van de weersomstandigheden. Bovendien

is het nagenoeg onmogelijk om een constant vochtgehalte te bereiken over de verticaal. De keuze van het vochtgehalte (nabij het optimumvochtgehalte) impliceert, dat het vochtgehalte ook nogal precies ingesteld zou moeten worden. Immers nabij desbetreffend vochtgehalte is juist een grote gevoeligheid van de stijfheid voor verandering van het vochtgehalte aanwezig. Een en ander maakt ook deze methode nogal twijfelachtig zo niet onhaalbaar.

Naast de genoemde twijfel geldt, dat in een proefvak de CVC-waarde vastgesteld zou moeten worden, die als toetsingscriterium voor de verdere werkuitvoering dient te gelden. Bij een verandering van de zandkwaliteit dient een en ander opnieuw vastgesteld te worden. Voor controle met de steekring geldt dit ook, maar dit betreft dan alleen de proctorproef.

Het corrigeren van de meetresultaten voor het vochtgehalte is vrijwel zeker een niet praktisch door te voeren oplossing. Het zou impliceren dat voor elke verandering van de zandkwaliteit een afzonderlijke relatie tussen vochtgehalte en CVC-waarde bepaald zou moeten worden. Dit zou een proefvak betekenen, waarin het vochtgehalte gevarieerd wordt en waarbij de CVC-waarde bij elke vochtinstelling gemeten wordt. Bovendien zou het vochtgehalte voortdurend gecontroleerd moeten worden. In Frankrijk is een elektrische meetmethode ontwikkeld, waarmee dit snel gedaan kan worden. Echter, de gevoeligheid van de stijfheid voor het vochtgehalte nabij het optimum vochtgehalte en vragen ten aanzien van de invloed van de verticale gradiënt van het vochtgehalte maken de kans op een realistische controlemethode nogal gering. Bovendien geldt, dat bij de noodzaak om het vochtgehalte te controleren de aantrekkelijkheid van de nucleaire methode voor verdichtingscontrole weer in beeld komt. Controle op het vochtgehalte is daarbij nodig omdat de natte dichtheid over een diepte gemeten wordt, die verschilt van de diepte, die bij de nucleaire meting van het vochtgehalte van invloed is. Bovendien is de nucleaire meting van het vochtgehalte gevoelig voor de verdere samenstelling van het zand, bijvoorbeeld voor organische bestanddelen.

4. Samenvatting

De gevoeligheid van de CVC-methode voor het vochtgehalte is theoretisch af te leiden en praktisch vastgesteld. De mogelijkheden om deze gevoeligheid het hoofd te bieden, zodanig dat de voordelen van de methode van doorslaggevend belang blijven zijn vrijwel zeker niet aanwezig.

Als conclusie geldt wel, dat de CVC-methode een hulpmiddel kan zijn bij de uitvoering van werken. Echter als middel om beslissende informatie te verkrijgen over de verdichtingstoestand van zand is de methode vrijwel zeker ongeschikt.

De optie om van de CVC-methode gebruik te maken om informatie over de stijfheid te krijgen is eveneens als gevolg van de vochtgevoeligheid beperkt. De vochtconditie van het zand bij verdichting wijkt gewoonlijk af van die van het zand in de definitieve wegconstructie.

Onderzoek naar het verloop van de schijnbare cohesie en daarmee met de stijfheid en de CVC-waarde is aan te bevelen om het in deze notitie gestelde te verifiëren en meer inzicht te verkrijgen in de werking van de CVC-methode.

Literatuur

1. Laan G.J. Grond uit baggerspecie. Analyse van eisen in relatie tot toepassingen. Rapport W-DWW-99002, januari 1999.

Verzendlijst

Projectgroep

dr. ir. R. Hofman (Projectleider, DWW/IL)
P.M. Kuijper (plv. Projectleider, DWW/IL)

Leden CVC werkgroep

P.M. Kuijper (Voorzitter, RWS/DWW, Postbus 5044, 2600 GA Delft)
ing H.C. Bakker (Projectbegeleider CROW/secretaris, Adviesbureau Bakker, Landauerlaan 18, 9351 PP Leek)
D.M. Dierx (Lid, van der Spek Vianen, mr. Aalberselaan 33, 1181 XJ Amstelveen)
W. Grit, (Lid, Ro-Ad Benelux B.V. Postbus 17, 3700 AA Barneveld)
H. Hanselaar (Lid, Gebr. Van Kessel B.V., Baseldijk 53 A, 4221 XX Hoogblokland)
dr. ir. R. Hofman, (Lid, Adviesbureau Bakker, Landauerlaan 18, 9351 PP Leek)
dr. ir. P. Hölscher, Geo Delft, Postbus 69, 2600 AB Delft)
F.H. Jeurissen, (Lid, Grontmij Verkeer&Infrastructuur, Postbus 203, 3730 AE De Bilt)
ing. K. Lettinga, (Lid, Dienst Landelijk Gebied, Prins Johan-Frisolaan 2, 8044 AD 't Harde)
C. Vervoorn, (Lid, Martens en van Oord B.V., Postbus 326, 4900 AH Oosterhout)
G. E. Westera (Lid, KOAC-WMD, Schumanpark 43, 7336 AS Apeldoorn)

Interne klankbordgroep

H. Grootveld (DWW/IR)
ir. A.E. van Dommelen (DWW/IR)