

Verdichten van zand voor boortunnels RandstadRail

ir. Diederik van Zanten
Ingenieursbureau
Gemeentewerken
Rotterdam



ir. Edwin Smits
Ingenieursbureau
Gemeentewerken
Rotterdam



ir. Rodriaan Spruit
Ingenieursbureau
Gemeentewerken
Rotterdam



Figuur 1a – Tracé RandstadRail in Rotterdam. **1b** Locatie grondvervangning.

Inleiding

RandstadRail is een light-rail verbinding tussen Rotterdam, Den Haag en Zoetermeer. Om RandstadRail in Rotterdam mogelijk te maken is een 3 kilometer lange tunnel gerealiseerd tussen het metrostation Centraal Station en de voormalige Hofpleinlijn (figuur 1a). Voor de realisering van de tunnel is over een lengte van 80% gebruik gemaakt van de boortechniek. Het projectmanagement, ontwerp en de directievoering van het project is gerealiseerd door het Ingenieursbureau van Gemeentewerken Rotterdam. De uitvoering van het werk is verricht door de aannemerscombinatie Saturn v.o.f. bestaande uit Dura Vermeer Beton en Waterbouw BV en Züblin AG.

In Rotterdam wordt de grondopbouw gekenschetst door antropogene en holocene lagen tot een niveau van ca. NAP -16m met daaronder het pleistocene zand. Bij de bepaling van het verticaal alignement is er voor gekozen om de geboorde tunnels zo veel mogelijk in het pleistocene zand

aan te leggen (Van Zanten, 2004). Aansluitend op de conventionele tunneldelen aan de noord- en zuidzijde van de boortunnel is er vanuit kosten-technisch oogpunt voor gekozen de boortunnel in de holocene kleilagen te positioneren. De betonnen tunnelling wordt echter onvoldoende gesteund door de omringende grond als de tunnel voor meer dan de helft in de klei is gelegen. Om het beoogde verticaal alignement voor de boortunnels mogelijk te maken, zijn twee maatregelen toegepast, namelijk:

- toepassing van een stalen lining over 5% van het boortunneltracé en
 - toepassing van grondverbeteringen.
- Binnen het project zijn verschillende grondverbeteringstechnieken gehanteerd:
- jetgrouten
 - mixed in place en
 - grondvervangning waarbij de holocene lagen worden vervangen door verdicht zand. In dit artikel wordt ingegaan op de verdichting van het zand van deze grondvervangning.

Zandbak

Direct ten zuiden van de startschacht (figuur 1b) moet de boortunnel in de holocene klei- en veenlagen worden aangebracht. Om voldoende inbedding voor de tunnel te realiseren is ervoor gekozen de grondslag te verbeteren. Hierbij is gebruik gemaakt van:

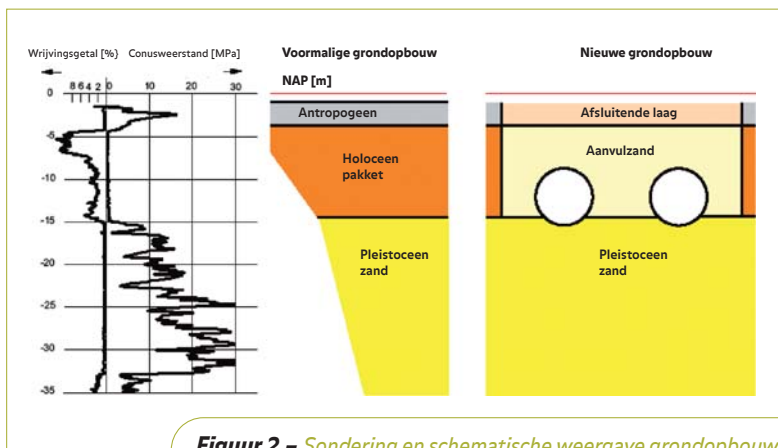
- mixed in place en
- uitwisseling van holocene lagen voor verdicht zand.

Er is naast mixed-in-place ook gekozen voor grondvervangning door zand omdat de boortunnel nabij de startschacht voor een deel in het veen ligt en het resultaat van de mixed-in-place toegepast in veen onvoldoende zeker was. Het toepassen van deze grondvervangning tot aan de spoorlijn Rotterdam-Utrecht was niet wenselijk. De pakingsdichtheid van het antropogene zandpakket onder de spoorbaan is relatief laag (Dr: ca. 20%), waardoor een risico voor verweking aanwezig is (Pachen 2005). Om negatieve invloed van de verdichtingswerkzaamheden van het aanvulzand

Samenvatting

Direct naast de startschacht van het boortunnel tracé van RandstadRail Rotterdam is een grondvervangingsuitgevoerd. Binnen een enkelvoudig verankerde damwandkuip zijn in den natte de holocene grondlagen ontgraven waarna met zand is aangevuld. Dit zand heeft een lage pakkingsdichtheid die onvoldoende in-bedding voor de tunnel oplevert. Daarom is het zand in de 'zandbak' verdicht

met vibroflotatie. Dit artikel gaat in op de ervaringen met het verdichten en de kwaliteitscontrole van het verdichten in dit project. Hierbij wordt ingegaan op het gemeten energieverbruik en de gemeten trillingen tijdens het verdichten en de relatie daarvan met het behaalde resultaat, vastgesteld met behulp van sonderingen.



Figuur 2 – Sondering en schematische weergave grondopbouw.



Figuur 3a – Ontgraven bouwkuip in den natte. 3b Vibrator.

op de spoorlijn te voorkomen is ervoor gekozen nabij de spoorlijn de trillingsvrije mixed in place methode toe te passen. In *figuur 2* wordt de grondopbouw en de tunnellinging weergegeven.

WERKWIJZE GRONDVERVANGING

Het verwijderen van de oorspronkelijke holocene lagen is uitgevoerd binnen een enkelvoudig verankerde bouwkuip (*figuur 3a*). Nadat de bouwkuip in den natte is ontgraven tot op het pleistocene zand, is de bouwkuip in den natte met zand aangevuld. Het zand heeft daardoor een lage pakkingsdichtheid. Het zand heeft dan onvoldoende stijfheid om de boortunnels in te realiseren. Om de pakkingsdichtheid te verbeteren is het zand verdicht. Deze verdichting is uitgevoerd met een vibrator (rütteln of vibroflotation, *figuur 3b*). Na het verdichten zijn sonderingen uitgevoerd om te controleren of de besteksmatig voorziene verdichtingsgraad is behaald.

Om horizontale deformaties in de omgeving te beperken zijn de damwanden van de bouwkuip pas na het verdichten van het zand verwijderd. Voorzien was dat hierdoor ontspanning van het zandpakket zou optreden. Hiermee is rekening gehouden in de gestelde verdichtingseisen. Middels sonderingen is na afloop van het trekken van de damwanden nogmaals de verdichtingsgraad gecontroleerd. Aangezien de grondopbouw naast het verdichte zand bestaat uit holocene lagen ontspant de zandaanvulling in de tijd naar verwachting verder. De holocene lagen consolideren ten gevolge van de hogere horizontale grond-

drukken in het zandpakket. In het aanvulzand ontstaat hierdoor uiteindelijk een relatief lage horizontale gronddruk, welke naar verwachting in de loop der tijd de actieve gronddruk benadert. Bij de berekening van de boortunnel is daarom als uitgangspunt de actieve gronddruk als initiële horizontale steundruk gehanteerd, in plaats van de neutrale gronddruk.

EISEN M.B.T. VERDICHTING, CONSTRUCTIEVE EIS

Sonderingen is de meest praktische methode om de behaalde verdichting van zand in-situ te controleren. De beddingseisen uit het ontwerp van de lining zijn daarom vertaald naar sondeerwaarden die in het bestek zijn opgenomen.

- Conuswaarde (qc) aanvulzand na verdichten: minimaal 15 MPa op NAP - 10,0 m, lineair toenemend tot 18 MPa op NAP - 17,0 m;
- Conuswaarde (qc) aanvulzand na trekken damwand: minimaal 10 MPa op NAP - 10,0 m, lineair toenemend tot 14 MPa op NAP - 17,0 m

EISEN M.B.T. HET ZAND VOOR DE AANVULLING

Nabij de grondvervangings is een onderstation van de Nederlandse Spoorwegen gelegen. Dit onderstation voedde een deel van de spoorlijn Rotterdam-Gouda. Voor het onderstation mogen de trillingen niet hoger zijn dan $0,75 \text{ m/s}^2$. Hierdoor was een kans aanwezig dat niet de hele zandaanvulling met verdichten kon worden verbeterd. Om toch een afdoende grondverbetering te realiseren zou het zandpakket dan worden geïn-

jecteerd binnen de invloedzone van het onderstation. Het zand moest daarom naast verdichtbaar ook injecteerbaar zijn. Er zijn i.v.m. verdichtbaarheid en injecteerbaarheid, de volgende eisen gesteld:

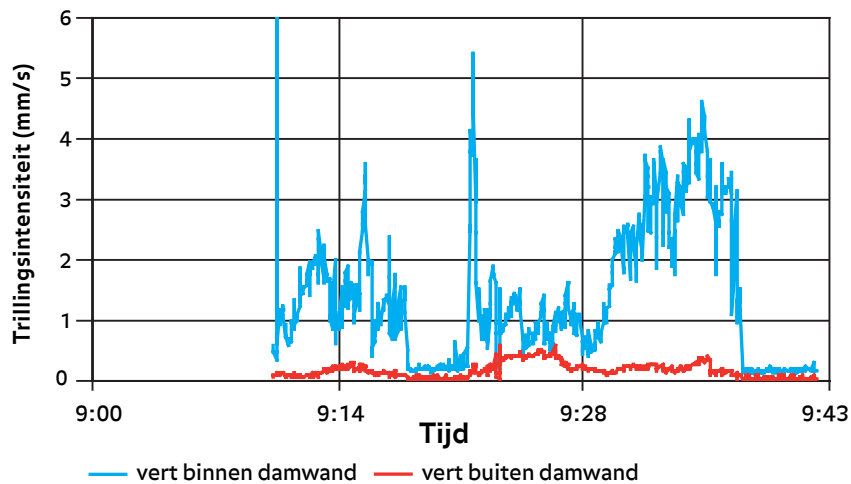
- $D_5 > 0,063 \text{ mm}$: weinig fijn materiaal, i.v.m. verdichtbaarheid;
- $D_{60}/D_{10} > 4,0$: goed gegradeerd, i.v.m. verdichtbaarheid
- $D_{10} > 0,15 \text{ mm}$: i.v.m. injecteerbaarheid.

TOETSING

Ter toetsing van de behaalde verdichting zijn sonderingen uitgevoerd. Zowel voor als na de verdichting was besteksmatig per 75 m^2 een controlesondering voorzien (25 stuks). Hiernaast is in het bestek vastgelegd dat 18 sonderingen worden uitgevoerd om de invloed van het trekken van de damwand te beschouwen (h.o.h. afstand 10 m). De korrelgrootteverdeling van het aanvulzand is getoetst met behulp van zeefanalyses die door de aannemer op de zandpartijen zijn uitgevoerd. Tevens zijn steekproefsgewijs zeefanalyses uitgevoerd op aanwijzing van de directie.

Trillingsmetingen

De trillingsenergie van de vibrator wordt benut voor het herschikken van de zandkorrels waardoor de dichtheid toeneemt. Naarmate de maximaal haalbare verdichting wordt benaderd, straalt een toenemend deel van de trillingsenergie af naar de omgeving. Vooruitlopend op het verdichten van de gehele zandbak werd door de onderaannemer Keller binnen het eigenlijke werk, op een afstand



Figuur 4 – Damping bouwkuipwand.

van ca. 6 m van de bouwkuipwand, een proefverdichting uitgevoerd om het optimale verdichtingsraster te bepalen. Hierbij zijn achtereenvolgens h.o.h. afstanden tussen de verdichtingspunten gehanteerd van 2,5 m, 3,0 m en 3,5 m in een driehoeks raster.

OVERDRACHT TRILLINGEN NAAR ONDERSTATION

Bij de proefverdichting is de mate van overdracht van trillingen over de bouwkuipwand, bestaande uit damwanden en diepwandpanelen, vastgesteld d.m.v. het meten van de trillingen aan maaiveld, zowel binnen als buiten de bouwkuip, direct naast de bouwkuipwand. Uit de metingen blijkt dat zowel de diepwand als de damwand ongeveer een reductie van trillingsintensiteit oplevert van een factor 10. De trillingen buiten de bouwkuip zijn als gevolg daarvan vrijwel te verwaarlozen.

Op de fundering van het onderstation zijn de trillingen tijdens het verdichten gemeten. Deze trillingen bleven beperkt tot 0,4 mm/s bij een frequentie van 30 Hz wat overeenkomt met een versnelling van 0,075 m/s², slechts 10% van de toegestane versnelling. Op basis van de resultaten van de proef is geconcludeerd dat de gehele grondverbetering door middel van verdichten zou kunnen worden uitgevoerd en dat injecteren van het zand niet nodig zou zijn. Dit is ook gebleven tijdens de uitvoering van het werk.

AKOESTISCHE DICHTHEIDSMETING

Bij de proefverdichting werden op maaiveld de verticale trillingen gemeten op 5, 10 en 15 m van het verdichtingspunt. De trillingssensoren aan maaiveld werden gelijktijdig gemeten. Met deze metingen werd het mogelijk om de hypothese te

toetsen dat er een relatie zou moeten zijn tussen de trillingsintensiteit in de omgeving van de vibrator en de mate van verdichting zoals gerealiseerd door de vibrator. Bij toename van de verdichtingsgraad werd dan ook een toename van de trillingsintensiteit verwacht. Om deze hypothese te toetsen zijn de aan maaiveld gemeten trillingen gerelateerd aan de conusweerstand na het verdichten.

De intensiteit van de trillingsbron is bepaald onder veronderstelling dat trillingen als functie van de afstand tot het verdichtingspunt variëren volgens onderstaande formule.

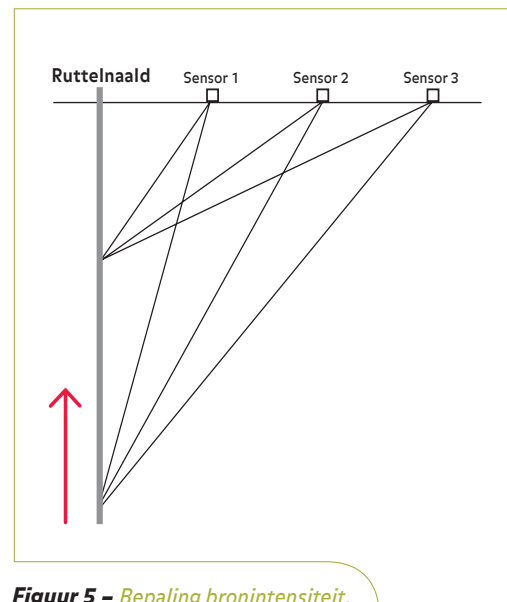
$$t = T \cdot \frac{1}{(l/l_0)^x}$$

Waarin:

- t gemeten trillingsintensiteit op afstand l van de trillingsbron [mm/s];
- T trillingsintensiteit ter plaatse van referentieafstand l_0 [mm/s];
- l_0 referentieafstand [m] (een l_0 van 1 m is aangehouden);
- l afstand trillingsbron tot het meetpunt [m];
- x dempingsfactor [-].

Normaal wordt voor verzadigde grondsoorten een dempingsfactor x gevonden tussen 1 en 2.

De zogenaamde padlengte van de trillingsbron (de punt van de vibrator) naar de verschillende sensoren op maaiveld is voor elke sensor verschillend en variërend tijdens het geleidelijk naar boven trekken van de vibrator. Door voor elke padlengte op basis van de gemeten trillingsintensiteit de 'brontrilling' terug te rekenen, kan de dempingsfactor worden bepaald. Voor elke simultane meting (sensoren 1 t/m 3) moet namelijk idealiter



Figuur 5 – Bepaling bronintensiteit.

een gelijke brontrilling worden gevonden. Bij de aanname van een homogeen en isotroop grondlichaam zijn er dan drie vergelijkingen (voor elke sensor een meetreeks) met 2 onbekenden: de brontrilling en de dempingsfactor.

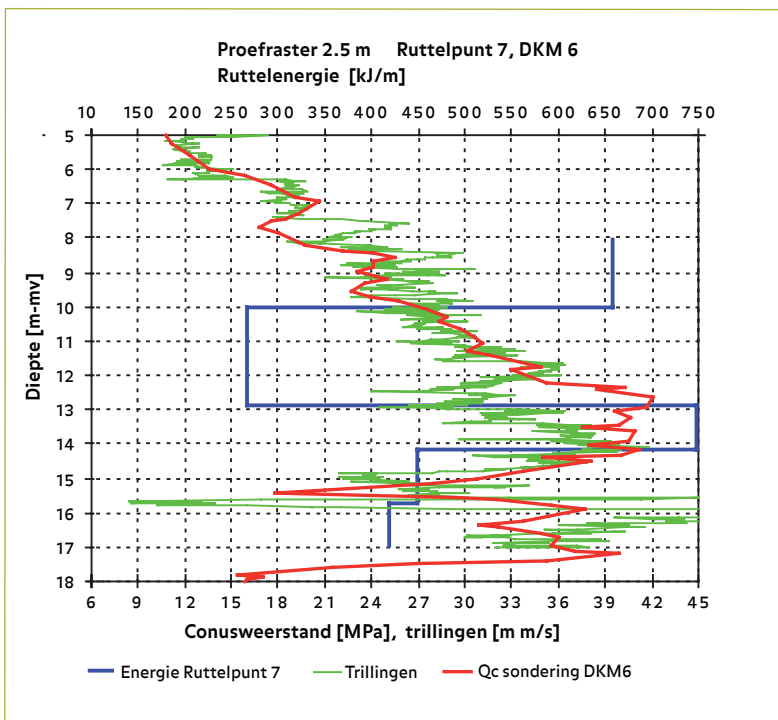
Er wordt een goede fit voor de dempingsfactor gevonden bij een waarde van 1,2.

Het gemiddelde van de teruggerekende brontrilling van de drie sensoren wordt als functie van de diepte voor een representatief verdichtingspunt in afbeelding 6 weergegeven. Dit type grafiek kan worden gebruikt als een 'akoestische sondering', aangezien zij, net als een reguliere sondering, inzicht geeft in de pakkingsdichtheid en weerstand van de grond. De intensiteit van de brontrilling is namelijk evenredig met de stijfheid van de grond en dus ook met de sondeerwaarde. Op dieptes waar een lage gemiddelde waarde voor de brontrilling wordt berekend kan mogelijk niet goed zijn verdicht of is afwijkend materiaal (geen zand) aanwezig.

Indien de dichtstbijzijnde sondering (op minder dan 2 m afstand) in dezelfde grafiek wordt weergegeven, wordt een vrijwel rechtevenredige correlatie aangetroffen tussen het verdichtingsresultaat enerzijds en de trillingsmetingen anderzijds. Trillingsmetingen kunnen daarom worden gebruikt om tijdens de uitvoering van de werkzaamheden reeds informatie over het verdichtingsresultaat te verkrijgen of om tijdens de uitvoering de werkwijze te optimaliseren.

Resultaat verdichting grondvervanging

Het uitgangspunt bij de verdichtingswerkzaamheden was dat de vibrator maximaal 30 seconden



Figuur 6 – Relatie tussen teruggerekende trillingsbron en sondering.

trilt of zolang trilt tot een stroomverbruik van 200 A wordt behaald. Vervolgens wordt steeds 0,5 meter getrokken om wederom maximaal 30 seconden te trillen etc. Dit komt overeen met een gemiddelde treksnelheid van 0,017 m/sec. Als uitgangspunt bij de uitvoering is op basis van de resultaten van het proefvak gestart met een h.o.h. afstand van de verdichtingspunten op maaiveld van 3 m.

Als nulmeting is een serie sonderingen gemaakt direct na aanvullen van het nog onverdichte zand. Tevens zijn sonderingen gemaakt na verdichten en na het trekken van de damwand. Bij de uitvoering van de eerste serie controlesonderingen (3 m verdichtingsgrid) bleek de behaalde verdichting niet overal te voldoen aan de bestekseisen. Op die locaties is daarom nogmaals verdicht en ter ontrole gesondeerd. Daarom is de gridafstand voor het resterende deel van de zandbak, waar nog niet was verdicht, verkleind tot 2,5 m. Dit leverde betere resultaten op, waardoor in het 2,5 m grid de benodigde verdichtingsgraad in 1 verdichtingsgang werd bereikt.

TRILLINGSENERGIE VIBRATOR

Voorafgaande aan het werk werd verwacht dat er een relatie was tussen de trillingsenergie en de mate van verdichting. Voor tien verdichtingslocaties is daarom nagegaan wat de in de grond gebrachte energie is en wat het behaalde verdichtingsresultaat is. De trillingsenergie per m³ grond is berekend volgens:

$$E_{tril} : P / (v * A)$$

Waarin:

- E_{tril} hoeveelheid energie [kJ/m³]
- P gemiddeld vermogen [kW, kJ/s]
- v treksnelheid vibrator [m/s]
- A oppervlakte grid [m²], met $A = 0,87 * S^2$, met $S =$ h.o.h. verdichtingspunten in driehoeks raster

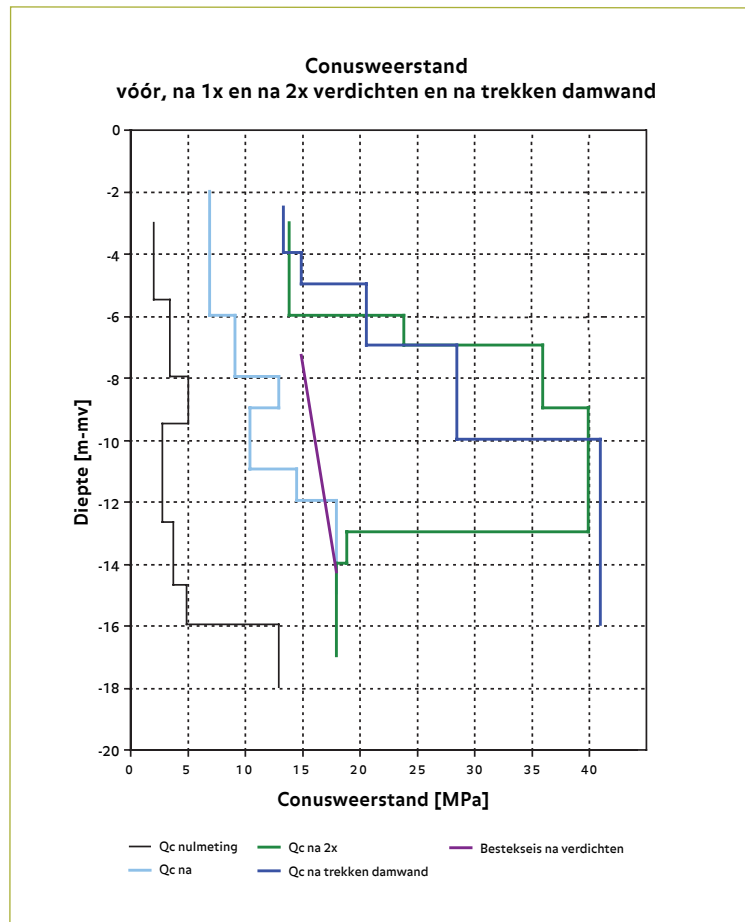
Het gemiddelde vermogen van de vibrator is berekend volgens Puchstein (1954).

$$P = I * E * p_f * eff$$

Waarin:

- P gemiddeld vermogen [W, J/s]
- I gemiddeld stroomverbruik [A]
- E door de vibrator benodigd voltage [V] = 440 V voor een vibrator V23
- p_f gemiddeld vermogen factor $\approx 0,8$
- eff efficiëntie van de elektrische motor $\approx 0,9$

Uitgaande van voornoemde treksnelheid van 0,017 m/s en een driehoeks raster van 2,5 m, wordt gemiddeld ca. 700 kJ/m³ aan energie in de grond

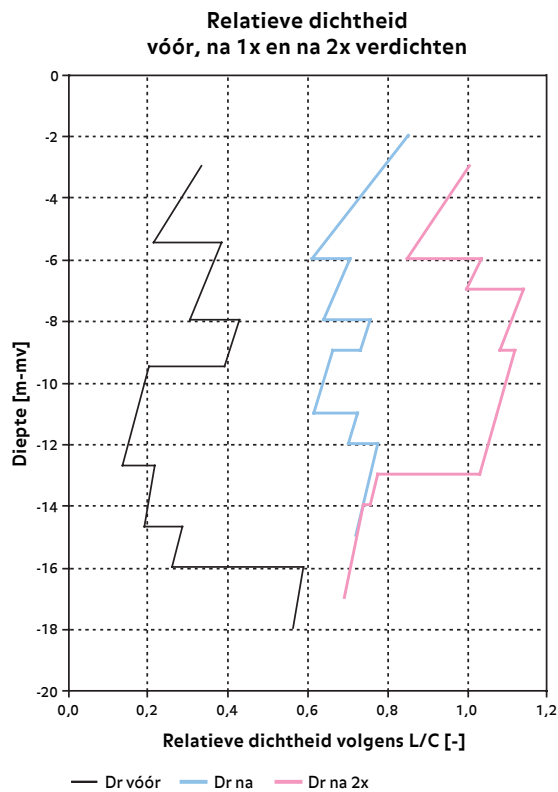


Figuur 7 – Controlesonderingen t.p.v. hart zandbak.

gebracht. Volgens Green en Mitchell (2004) is een waarde van 1300 tot 1700 kJ/m³ benodigd om grond te verdichten. In vergelijking met het criterium van Green en Mitchell bleek in dit project dan ook relatief weinig energie in de grond gebracht te worden (200-1300 kJ/m³, in enkele gevallen hoger). Over de correlatie tussen de energiehoeveelheid en de conusweerstand (figuur 6) kan grofweg worden gesteld dat als er meer dan 1000 kJ/m³ werd toegevoerd er meestal werd voldaan aan de verdichtingseis. Bij lagere energiehoeveelheden werd soms wel, soms niet voldaan aan de verdichtingseis. Omdat de correlatie tussen conusweerstand en energietoevoer gering is kan de toegepaste kwaliteitscontrole tijdens de uitvoering (30 seconden trillen of stroomverbruik 200 A) niet garant staan voor een goed verdichtingsresultaat.

De controlesonderingen zijn in het zwaartepunt van een drietal verdichtingspunten uitgevoerd. In figuur 7 is voor één verdichtingspunt een volledige controleserie sonderingen schematisch weergegeven.

Voorafgaande aan het verdichten zijn de conuswaarden in het aanvulzand laag, 3 à 5 MPa. De



Figuur 8 – Relatieve dichtheid hart zandbak.

relatieve dichtheid van het aanvulzand is daarmee ongeveer 20 à 30%.

Tijdens de eerste verdichtingsgang werd geconstateerd dat niet aan de bestekseis werd voldaan en is op de reeds behandelde locaties een tweede maal verdicht. Na de tweede verdichtingsgang zijn hoge conusweerstand (40 MPa) gemeten (figuur 7). Geconcludeerd kan worden dat de tweede verdichtingsgang de conusweerstand doorgaans sterk heeft verhoogd. Bij de tweede verdichtingsgang zijn soms conusweerstand tot 55 MPa gemeten. Nadat het zand is verdicht, zijn de damwanden getrokken. De instantane afname van de conusweerstand als gevolg van het trekken van de damwand is relatief gering.

RELATIEVE DICHTHEID

Voor de bepaling van de relatieve dichtheid van zand is door Lunne (1983) de volgende formulering opgesteld.

$$q_c = 61 * \sigma_v^{0,71} * e^{2,91 * D_r}$$

Waarin:

q_c conusweerstand [MPa]

σ_v verticale korrelspanning [MPa]
 D_r relatieve dichtheid [-]

Voor de bepaling van de relatieve dichtheid van zand is door Jamiolkowski (1988) de volgende formule opgesteld.

$$Q_c = 492 * \sigma_{00}^{0,46} * e^{(2,23 * D_r)}$$

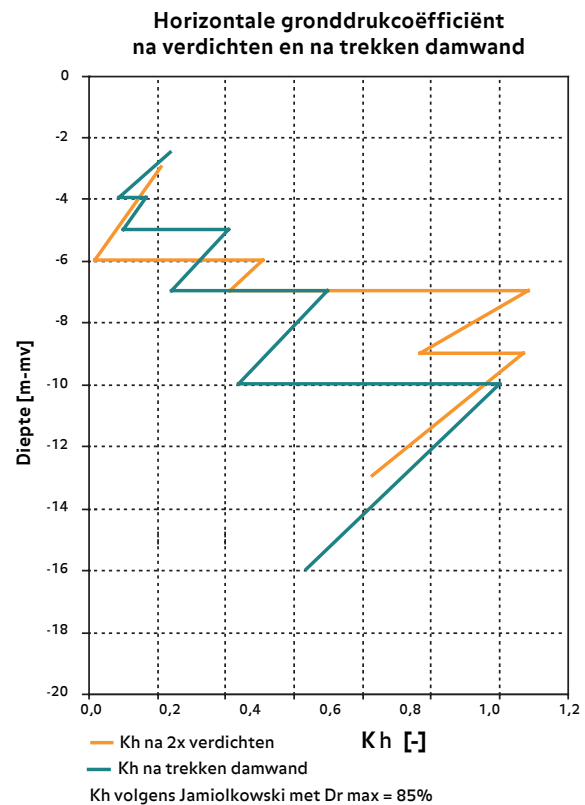
Waarin:

Q_c conusweerstand [MPa]

σ_{00} gemiddelde effectieve spanning
 $= 0,33 * (\sigma_{v0} + 2 * \sigma_{h0})$ [MPa]

D_r relatieve dichtheid [-]

De horizontale gronddruk die Jamiolkowski (1988) wel in de relatie betreft, komt in de formule van Lunne niet voor. Een berekening van de relatieve dichtheid met Jamiolkowski op basis van een neutrale gronddrukcoëfficiënt (K_0) geeft echter wel vergelijkbare waarden als Lunne. In afbeelding 8 is de relatieve dichtheid na verdichten, op basis van de formulering van Lunne, voor een willekeurige locatie weergegeven. De relatieve dichtheid na één rüttelgang loopt uiteen van 70% tot circa



Figuur 9 – Horizontale gronddrukcoëfficiënt hart zandbak.

85%. Na twee keer verdichten worden met Lunne uit de gemeten conusweerstand dichtheden van meer dan 100% berekend. Fysisch is een dergelijke dichtheid niet mogelijk. Uitgaande van een relatieve dichtheid van 85% moet de horizontale gronddruk dus zijn toegenomen om dezelfde conusweerstand te bereiken. Deze horizontale gronddruk kan op basis van de formulering van Jamiolkowski worden berekend.

HORIZONTALE GRONDDRUK

Uitgaande van een maximale relatieve dichtheid van 85% is met Jamiolkowski de horizontale gronddrukcoëfficiënt K_h berekend. Het blijkt dat in de zones waar met Lunne een onrealistisch hoge relatieve dichtheid wordt berekend, met Jamiolkowski een horizontale gronddrukcoëfficiënt (K_h) van 2 à 3 wordt berekend. Na het trekken van de damwand treedt ontspanning op. Deze ontspanning is zichtbaar door lagere conuswaarden, ca. 15% in het midden van de zandbak tot 30% nabij de damwanden. Door de ontspanning halveert de horizontale gronddrukcoëfficiënt, er van uitgaande dat de relatieve dichtheid niet verandert (figuur 9).

Conclusies

Voor de geboorde tunnels van RandstadRail zijn, nabij de startschacht, de holocene lagen vervangen door zand. Vervolgens is dit zand succesvol verdicht. Op basis van de uitgevoerde werkzaamheden worden de volgende conclusies getrokken:

1. De relatie tussen de energietoevoer naar de ondergrond en het verdichtingsresultaat beperkt zich tot 'hoe meer energie, des te beter het resultaat'. Een lineaire relatie tussen energie en conusweerstand ontbreekt echter. Zeer globaal kan worden gesteld dat een energiehoeveelheid van 1000 kJ/m³ of meer leidt tot bevredigende resultaten, voor de bij dit project gestelde verdichtingseisen.
2. Er bestaat een vrijwel rechtevenredige correlatie tussen de intensiteit van de trillingen en de behaalde sondeerresultaten. De trillingsmeting is daarmee dan ook een goede predictor voor de mate van verdichting. Voor toekomstige werken kan het dus interessant zijn om trillingsmetingen uit te voeren. De treksnelheid van de vibrator kan dan worden aangepast op basis van de real-time resultaten van de trillingsmetingen.

3. Met rütteln/vibroflotation blijkt het mogelijk om, zelfs na één keer trillen, hoge conusweerstand (40 MPa) te bereiken. Na twee keer trillen zijn conusweerstand tot 55 MPa gemeten.
4. De hoge conusweerstand worden mede bereikt door een horizontale opspanning van het zandpakket en een toename van de horizontale gronddrukcoëfficiënt tot 2 à 3. Na het trekken van de damwand neemt de horizontale gronddrukcoëfficiënt aanmerkelijk af.

Literatuur

- ASCE Task force 27, *Verification of geotechnical grouting*, geotechnical special publication 57, ASCE convention San Diego, 1995.
- Duddeck, H. (1980) *Empfehlungen zur berechnung von Tunneln in Lockergestein*. Deutsche Gesellschaft Erd- und Grundbau Essen, Die Bautechnik 1980.
- Jamiolkowski, M., Ghionna, V., Lancellotta, R. & Pasqualini, E. 1988. *New Correlations of Penetration Tests for Design Practice*. Proc. ISOPT-1, Orlando, FL, Vol. 1: 263-296. March.
- Green, R.A. and J.K. Mitchell (2004).

Energy-Based Evaluation and Remediation of Liquefiable Soils.

- *Geotechnical Engineering for Transportation Projects* (M. Yegian and E. Kavazanjian, ed.), ASCE Geotechnical Special Publication No. 126, Vol. 2, 1961-1970.
- Lunne, T. & Christoffersen, H.P. 1983. *Interpretation of Cone Penetrometer Data for Offshore Sands*. Proc. 15th Annual Offshore Technology Conf., Houston, Texas, Vol. 1: 181-192. May.
- Pachen, H.M.A., De Groot, M.B., Meijers P., (2005) *Crossing a railway embankment of loose packed sand with a shield tunnel*, Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Amsterdam 5th International symposium TC 28, Amsterdam, 2005.
- Puchstein, A.F., Llyod, T.C., and Conrad, A.G. (1954). *Alternating-Current Machines*, 3rd ed., Asia Publishing House, Bombay India.
- The vibroflotation group: www.vibroflotation.com
- Zanten, D.C. van; Vries, M. de; Pachen. *Door de Rotterdamse ondergrond met twee boortunnels* Geotechniek, 8e jaargang, nummer 2, 2004. ●

WAARDE CREËREN – WAARDE BEHOUDEN

HUESKER – Ingenieursoplossingen met geokunststoffen

Geotechniek en funderingstechnieken

Het gebruik van HUESKER geokunststoffen in geotechniek en funderingstechnieken maakt bouwen van steile wanden met hoge belasting op moeilijk terrein of op een slappe ondergrond mogelijk – milieuvriendelijk, voordelig en veilig.

Wegenbouw

Waterbouw

Milieutechniek



www.huesker.com

De ingenieurs en technici van HUESKER bieden support bij het werken met andere materialen in uw bouwprojecten. Vertrouw op de producten en oplossingen van HUESKER.



Agent voor Nederland · CECO B.V. · Tel.: 043 - 352 76 09 · info@cecobv.nl

HUESKER Nederland · Tel.: 073 - 503 06 53 · c.brok@huesker.nl

150
YEARS

HUESKER