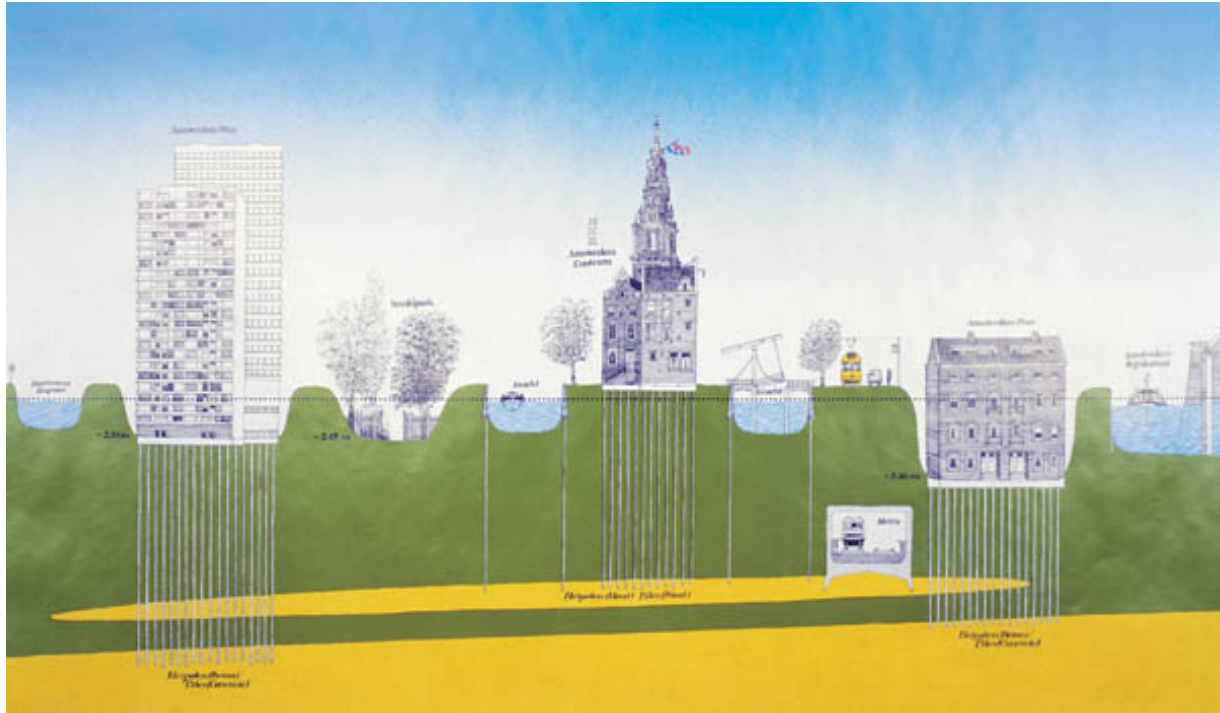


Vloeibaar mengsel houdt Amsterdam rechtop

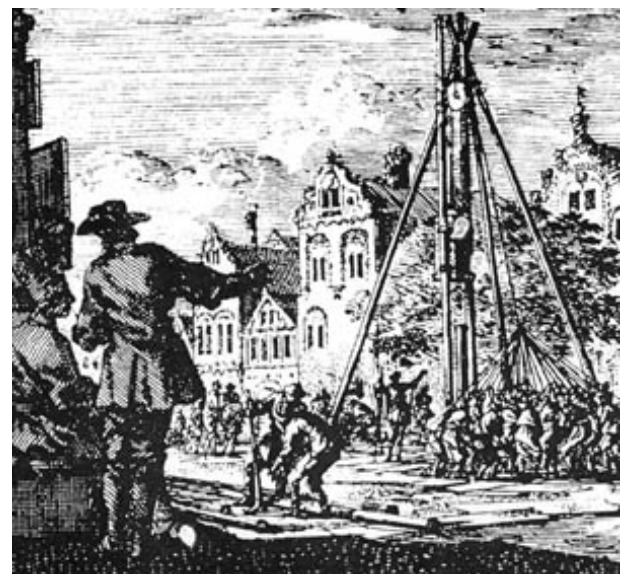
*Proef voor Noord/Zuidlijn:
Injecteren van grout
verhoogt de draagkracht van
heipalen*



DOOR JOOST VAN KASTEREN

Injectie van een dunne, vloeibare specie (een mengsel van zand, cement en water) verbetert het draagvermogen van de funderingspalen waarop Amsterdam is gebouwd. Daardoor kan het verder scheefzakken van huizen als gevolg van negatieve kleeft in het Venetië van het noorden worden tegengegaan. Dezelfde

De oude binnenstad van Amsterdam en een groot deel van de oude steden in de Randstad staan op palen, want de bovenste meters grond zijn te slap om op te bouwen.
Afbeelding N.A.P Amsterdam



*techniek
voorkomt ook
verzakkingen
die kunnen
ontstaan bij
het boren van
de tunnel
voor de Noord-
Zuidlijn, zo
blijkt uit
een
grootschalige
Praktijk
Injectie
Proef (PIP)
die werd
uitgevoerd
mede in het
kader van het
Delftse
promotie-
onderzoek van
civiel
ingenieur
Almer van der
Stoel.*

Van der Stoel is een bijzondere promovendus, in die zin dat hij zijn promotie-onderzoek doet naast en in het kader van zijn baan als adviseur Geotechniek bij Ingenieursbureau Amsterdam en het Adviesbureau Noord/Zuidlijn. Een tweede bijzonderheid is dat het gaat om een promotie bij zowel Bouwkunde als Civiele Techniek. In het onderzoek komen dan ook verschillende lijnen samen.

Van der Stoel: 'Vanuit Bouwkunde bestaat de behoefte om de fundering van bestaande gebouwen te verbeteren. Een groot deel van de vooroorlogse panden in Amsterdam is gebouwd op houten palen, die met hun punt in de eerste zandlaag staan op een diepte van 12 à 13 meter. Huizen van na de oorlog zijn meestal gebouwd op betonnen palen die in de tweede zandlaag op 20 meter diepte staan. Vooral de vooroorlogse panden dreigen scheef te zakken. Vanuit Civiel is het onderzoek vooral gericht op de vraag in hoeverre externe invloeden, zoals de aanleg van een geboorde tunnel het draagvermogen van de fundering beïnvloeden.'

Negatieve kleef

Om met het bouwkundige verhaal te beginnen: Scheefzakken van de huizen in Amsterdam wordt vooral veroorzaakt door het inklinken van de bodem. Over de eerste twaalf meter bestaat die voornamelijk uit klein en veen, ook wel 'dik water' genoemd. Door wateronttrekking en door belasting, vanuit de wegen bijvoorbeeld, klinkt die bodem in met enkele millimeters per jaar. Om daarvoor te compenseren worden op gezette tijden de straten en wegen opgehoogd met als gevolg een grotere belasting en verdere inklinking. Een effect van het inklinken is dat de funderingspalen aan de straatkant iets dieper

In de 15e eeuw werd in Amsterdam begonnen met het aanbrengen van heipalen van dennenstammen. Ze werden zo diep geheid, dat de punten net in de draagkrachtige eerste zandlaag op zo'n dertien meter diepte rustten.

Noord-Zuidlijn

De Noord/Zuidlijn is een metroverbinding van negen kilometer lengte die loopt van het Buikslotermeerplein in Amsterdam-Noord tot het wtc-station op de grens van Buitenveldert. In het noorden zou de lijn aansluiting moeten bieden op nog aan te leggen verbindingen met Purmerend en Zaandam en in het zuiden met Schiphol en Hoofddorp. Met alle aansluitingen erbij zal de Noord-Zuidlijn, zo is de verwachting, 300.000 passagiers per dag vervoeren. Bij de aanleg van de lijn worden verschillende technieken toegepast. Vanaf het Buikslotermeerplein loopt het traject eerst twee kilometer bovengronds om vervolgens onder maaiveld te duiken. Om onder het IJ door te gaan, wordt gebruik gemaakt van afgezonken tunnelementen, een beproefde methode voor tunnelbouw in Nederland. Vanaf Amsterdam cs tot aan het Europaplein worden twee tunnels geboord over een lengte van vier kilometer. Of beter gezegd; de tunnel wordt in vier delen van elk een kilometer lengte geboord, omdat steeds vanuit de bouwput van het betreffende station wordt begonnen met het boren van het volgende tunneldeel. Voor de bouw van de stations wordt gebruik gemaakt van de wanden/dakmethode. Daarbij worden wanden aangelegd door een sleuf te frezen, wapening aan te brengen en vervolgens beton te storten. Na plaatsing van het dak wordt daaronder verder ontgraven.

wegzakken, omdat de grond als het ware aan de paal gaat hangen (in vaktermen 'negatieve kleeft'). Omdat de palen aan de tuinkant niet evenveel wegzakken gaat het pand wat voorover hellen met als gevolg scheuren in muren, vloeren en plafonds.

Van der Stoel: 'Een deel van de woningvoorraad in de Amsterdamse binnenstad voldoet niet aan de eisen, omdat het draagvermogen van de paalfundering te kort schiet. Een mogelijke remedie is het aanbrengen van een nieuwe fundering. Daar zijn wel technieken voor, bijvoorbeeld het inschroeven van gesegmenteerde stalen palen, waarop vervolgens een betonvloer wordt gelegd. Deze technieken zijn kostbaar en geven nogal wat overlast, omdat de palen vanuit de kelder of de begane grond moeten worden aangebracht. Vandaar dat mijn onderzoek zich richt op een mogelijk goedkoper alternatief om het draagvermogen van de paalpunt te vergroten, namelijk door het injecteren van een mengsel van silicagel, water en cement of een mengsel van water, zand en cement, ook wel «grout» genoemd. Voorwaarde is wel dat de bovenkant van de fundering in een goede staat verkeert en niet is aangetast door houtrot.'

Roterende schijf

Het onderzoek naar funderingspalen is ook om een andere reden actueel. Vorig jaar heeft de Amsterdamse gemeenteraad definitief besloten tot aanleg van de Noord/Zuidlijn, die over een lengte van vier van de in totaal negen kilometer zal worden geboord. De vraag is in hoeverre dat boren invloed heeft op de funderingspalen en hoe die invloed kan worden beperkt.

Voor de bouw van de tunnel wordt waarschijnlijk gebruik gemaakt van de 'slurry shield'-methode, waarbij een roterende schijf zich langzaam door de bodem vreet. In een kamer achter de schijf wordt grond vermengd met bentoniet (een soort klei). De tegendruk die dat oplevert, voorkomt dat het boorfront instort. Meteen achter de drukkamer wordt de tunnelwand gebouwd met geprefabriceerde betonnen elementen. De schildmethode is toegepast bij de bouw van de Tweede Heinenoordtunnel en wordt op dit moment gebruikt voor de bouw van de Westerscheldetunnel.

Een van de redenen om voor deze tamelijk geavanceerde techniek te kiezen, is dat er geen panden hoeven te worden afgebroken. In de jaren zestig en zeventig leidde de aanleg van de Amsterdamse metro om die reden tot rellen, heftige discussies in de raad en aftredende gemeentebestuurders. 'Daar zit niemand op te wachten', aldus Van der Stoel, zelf Amsterdammer.

Staartspleet

Hoewel je er geen huizen voor hoeft af te breken, is de kans op schade als gevolg van de bouw van de tunnel niet alleen denkbeeldig.

Van der Stoel: 'De diameter van de tunnel die door het schild wordt uitgegraven is iets groter dan de



Door inklinking van de ondergrond ontstaat negatieve kleeft op de funderingspalen en zakken de palen en daarmee het pand. Door het ophogen van de wegen of werkzaamheden aan de kades zijn de palen onder de voorgevel meer gezakt dan de palen onder achterliggende delen, waardoor de panden naar voren hellen.



Een beproefde methode om de fundering te herstellen is het aanbrengen van gesegmenteerde palen in de kelder of op de begane grond van het huis. Deze methode veroorzaakt echter veel overlast voor de bewoners.



uiteindelijke tunnelwand. Dat scheelt een centimeter of twintig. Die staartspleet wordt meteen opgevuld met grout. Als dat perfect gebeurt is er niets aan de hand, maar als dat iets minder perfect gebeurt, dan krijg je zetting van de bovenliggende laag en van de palen die daarin staan. Pal boven de tunnel kan dat een verplaatsing opleveren in de orde van twee centimeter en dat is teveel.'

Zeker op het eerste stuk, van Amsterdam CS naar het Rokin, waar de tunnel zich een weg boort door de tweede zandlaag op circa 24 meter diepte, komt hij af en toe akelig dicht in de buurt van de onderkant van de paalfunderingen, ook al ligt de tunnel grotendeels onder de straten en niet onder de huizen. Alleen in de Ferdinand Bolstraat loopt het tracé recht onder de huizen door. Alles bij elkaar zijn er negen locaties waar de tunnelboor te dicht in de buurt van de paalpunten komt.

Van der Stoel: 'Naast mogelijke schade door inklinken van de bodem, is dus ook de aanleg van de Noord/Zuidlijn een belangrijke reden om onderzoek te doen naar het verstevigen van de paalfundering door injecteren van grout. Daarbij heb ik niet alleen gekeken naar grouting van de funderingspalen, maar ook naar het verstevigen van de bodem waar de tunnelboor doorheen gaat. Door injecteren van grout leg je als het ware een ondergrondse rotslaag aan. Als je daar binnen blijft met je tunnelboor dan heb je verder geen verstoring van de ondergrond en dus ook niet van de fundering.'

Sixhaven

De vraag is hoe je het beste de grout in de bodem kunt brengen. Grouting wordt vaak toegepast, maar de houten palen op vrij grote diepte maken Amsterdam toch wel uniek. Het principe van houten palen is dat ze het gewicht voornamelijk op hun punt opvangen. Ga je daar rommelen met de samenstelling van de bodem, dan kan dat het draagvermogen beïnvloeden.

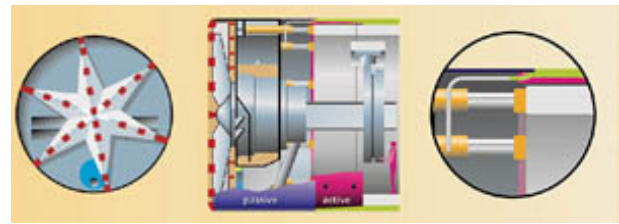
Van der Stoel: 'Om dat na te gaan ben ik uitgebreid in de literatuur gaan zoeken en heb ook allerlei deskundigen geraadpleegd, maar het slot van het liedje was dat we nog niet genoeg wisten. Daarom hebben we besloten tot het uitvoeren van een praktijkproef.'

Dat was niet de eerste overigens. Ten tijde van het boren van de Tweede Heinenoordtunnel heeft het Adviesbureau Noord/Zuidlijn bij wijze van experiment al houten en betonnen funderingspalen geplaatst inclusief met zand gevulde containers om de Amsterdamse grachtenpanden te simuleren. Daarbij is gekeken naar het effect van het boren van de tunnel op de palen. Dat heeft veel nuttige inzichten opgeleverd, aldus Van der Stoel, maar daar is géén grout geïnjecteerd. Daarom is een nieuwe praktijkinjectieproef (PIP) ingezet bij de Sixhaven in Amsterdam-Noord. De grondslag daar is vergelijkbaar met die van de Amsterdamse binnenstad.

Van der Stoel: 'Voor de praktijkinjectieproef hebben we zowel houten als betonnen palen in de grond geheid tot respectievelijk de eerste en de tweede

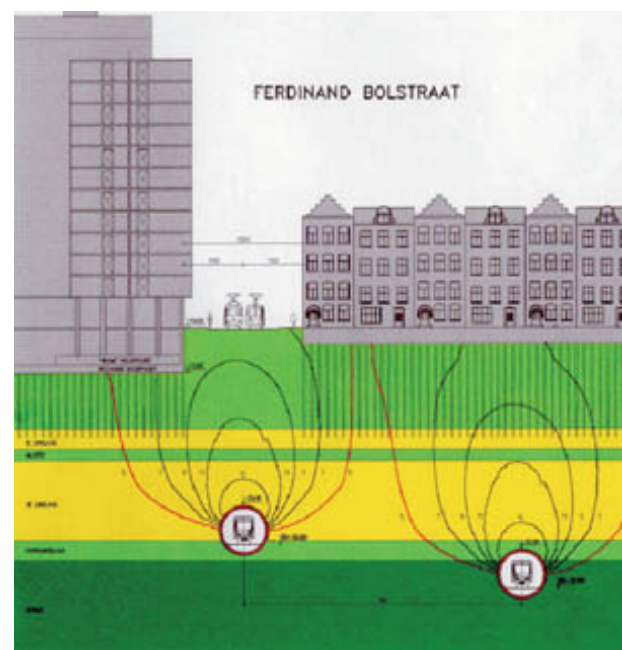
Een tunnelboormachine (TBM) van de Duitse fa. Herrenknecht, zoals gebruikt voor het boren van tunnels in slappe grond.

(Foto Herrenknecht, Schwanau, Duitsland)



Vooranzicht, dwarsdoorsnede en staartspleet van de tbm. Bij de staartspleet wordt de ruimte tussen het schild van de tbm en de tunnelwand direct opgevuld met grout (in dit geval een mengsel van zand, cement en water). Deze laag, van ongeveer 20 cm, zorgt ervoor dat de grond zo veel mogelijk op de plaats blijft.

(Foto Herrenknecht, Schwanau, Duitsland)



Dwarsdoorsnede van de Ferdinand Bolstraat met de geprojecteerde tunnelbuizen voor de Noord/Zuidlijn. De contourlijnen geven de mogelijke verzakkingen (in mm) in de ondergrond aan. Deze zijn afhankelijk van de prestaties van de tbm.

zandlaag. Tussen de palen en de vloer van de opbouw is een speciale vijzel- en meetconstructie gemaakt, zodat we respectievelijk van iedere paal afzonderlijk de belasting kunnen reguleren en kunnen registreren of en zo ja hoeveel hij zakt.'

Grondradar

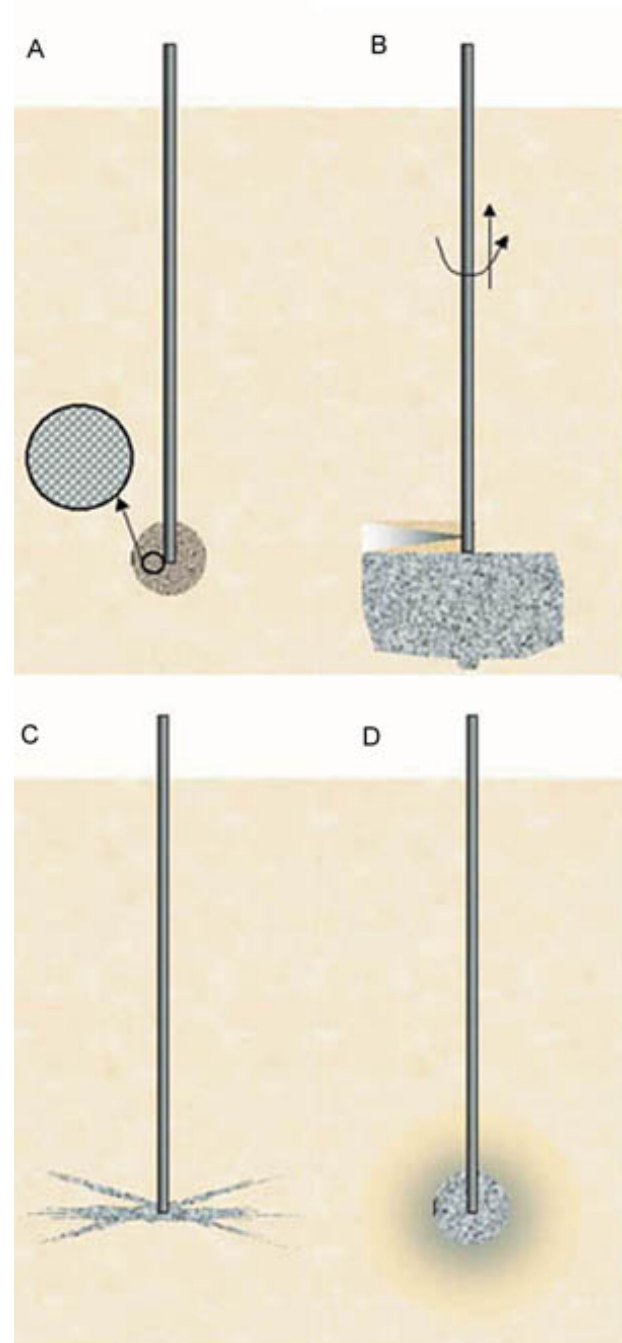
Op de palen is een scala aan groutingtechnieken losgelaten, om te kijken wat het effect daarvan was, met name hoe de grout zich hield en waar deze terecht was gekomen. Dat laatste was nog niet zo eenvoudig, aldus Van der Stoel.

'Je kunt niet even een putje graven om een camera te laten zakken naar een diepte van 15 en 20 meter. Het boren van een kern lukte ook niet altijd, omdat het bodemmateriaal te slap was en uit elkaar viel. Voor sonderen, het meten van de stijfheid van de ondergrond, was de bodem echter weer te stevig. Uiteindelijk zijn we uit gekomen op een combinatie van geofysische methoden: de grondradar en de elektrische weerstandsmeting. De grondradar wordt via de injectiebuis in gebracht en stelt je in staat om de omvang en de locatie van de grout in kaart te brengen. Met de elektrische weerstandsmeting kun je de diameter van de geïnjecteerde grout vaststellen.'

Bij de proeven ging het zowel om het gebruik van grouting om de draagkracht van de paal in stand te houden en eventueel te verbeteren, als om het verstevigen van de grond ten behoeve van de tunnelboor. Begonnen werd met 'permeation grouting', een subtiele vorm van injecteren, waarbij het poriewater wordt verdrongen (vervangen) door de grout. Het korrelskelet blijft dus in stand. Om dat te kunnen doen, wordt een injectielans in de buurt van de paalpunt geprikt. Voor de proef is dat op verschillende plaatsen gedaan om te kunnen bepalen wat de invloed van de afstand is op het draagvermogen van de paal.

Van der Stoel: 'Het aanbrengen van de injectielans geeft een kleine verstoring, doordat een deel van het korrelskelet wordt aangetast; de paal zakt hooguit één à twee millimeter onder gelijkblijvende belasting en dat kan geen kwaad. Ook bij het injecteren gebeurt er niets, omdat je het korrelskelet van de bodem intact laat. We hebben ook bezwijkproeven gedaan, zowel voor als na grouting om na te gaan of het draagvermogen van de palen verbetert als je de bodem bij de punt verstevigt. Dat bleek inderdaad zo te zijn. Als de grout is uitgehard dan is het draagvermogen 30 tot 35 procent groter geworden dan voorheen.'

'Het aardige van het proces is dat je het ook redelijk goed kunt sturen; de grout komt over het algemeen daar terecht waar je hem wil hebben. Dat maakt het tot een interessant alternatief voor de scheefzakkende huizen in Amsterdam. Het is vermoedelijk een stuk goedkoper dan het inbrengen van nieuwe funderingspalen en het geeft een stuk minder overlast, omdat je de grout vanaf de straat kunt inbrengen.'



Momenteel worden vier categorieën groutingtechnieken toegepast:

A Permeation-grouting. Deze techniek, waarbij het poriewater wordt vervangen door een zeer vloeibaar grout, wordt zowel gebruikt voor waterafdichtende lagen als voor lokale versteviging van de ondergrond.

B Jet-grouting. Met een lans met een krachtige straal wordt de ondergrond losgewoeld en vermengd met een water/cementmengsel. Met deze methode worden palen, wanden of massieven gemaakt.

C Fracturing. Door middel van zeer vloeibare grout worden onder hoge druk horizontale scheuren aangebracht over een groot oppervlak in de ondergrond. Deze methode wordt veelal gebruikt om zettingen, bijv. veroorzaakt door een tbm, te compenseren.

D Compaction-grouting. Door middel van zeer stijve grout wordt onder druk een soort betonnen ballon opgeblazen in de ondergrond. Deze methode wordt gebruikt om zettingen te compenseren en/of de grond op te spannen.

Tunnelbuis

De tweede injectietechniek die is beproefd, is 'jet-grouting'. Daarbij wordt de water/cement grout via een boorbuis en een spuitmond met kracht de bodem ingespoten. Het korrelskelet wordt daardoor verbroken, met als resultaat een mengsel van grond, zand en cement. Door de spuitmond langzaam omhoog te halen kun je respectievelijk een schijf maken om de funderingspaal te ondersteunen of een ondergronds blok maken waar je een tunnelbuis doorheen kunt boren. Tijdens de proef zijn zowel schijven onder de palen gemaakt als kolommen naast de palen. Daaruit bleek dat het maken van een groutkolom naast de funderingspaal weinig effect had, hooguit enkele millimeters verticale verplaatsing, soms omhoog, meestal omlaag.

Van der Stoel: 'Probeer je echter onder de paalpunt een versteviging aan te brengen, dan heb je bij houten palen een probleem. Bij het inspuiten verstoort je namelijk de bodemstructuur. Zolang het mengsel nog niet is uitgehard, neemt het draagvermogen ter plekke flink af. Omdat een houten paal ca. 90% van zijn draagvermogen uit zijn punt haalt, zakt hij een behoorlijk stuk de bodem in. Bij een betonnen paal, die een flink deel van zijn draagvermogen ontleent aan de wrijving met de schacht is dat een stuk minder. We hebben aangetoond dat bij een belasting met 80 procent van de gebruiksbelasting, de betonnen paal op zijn plaats blijft. Is het mengsel van grout en bodemdeeltjes eenmaal uitgehard, dan is er geen beweging meer in de paal te krijgen.'

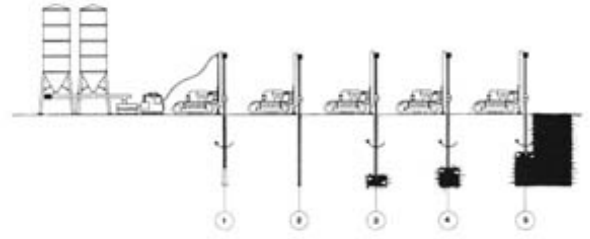
Uitspraken

De derde techniek, of beter gezegd groep technieken, waarmee op het terrein bij de Six-haven is geëxperimenteerd, staat bekend onder de naam 'compensation-grouting'. Bij de ene techniek, compacting grouting genoemd, wordt een tamelijk stevige grout ingebracht die grond als het ware verdringt (compactie). Bij de andere techniek 'fracturing', worden scheuren in de bodem gecreëerd en vergroot (opgepompt) met een veel vloeibaarder grout.

Uit de praktijkproef blijkt dat bij 'compaction grouting' de houten palen in eerste instantie 5 tot 10 millimeter omhoog komen om vervolgens verder terug te zakken dan ze eerst zaten. Het draagvermogen van de palen is echter wel toegenomen. Toch doet het verplaatsen van de palen vermoeden dat de compactietechniek minder geschikt is dan de twee eerdergenoemde technieken om de bodem te verstevigen.

Erg harde uitspraken kan Van der Stoel daar echter niet over doen, ten eerste omdat het hier maar om drie palen gaat en ten tweede omdat zich bij het uitvoeren van de proef technische problemen voordeden als gevolg van het feit dat te grote hoeveelheden grout ineens werden ingebracht.

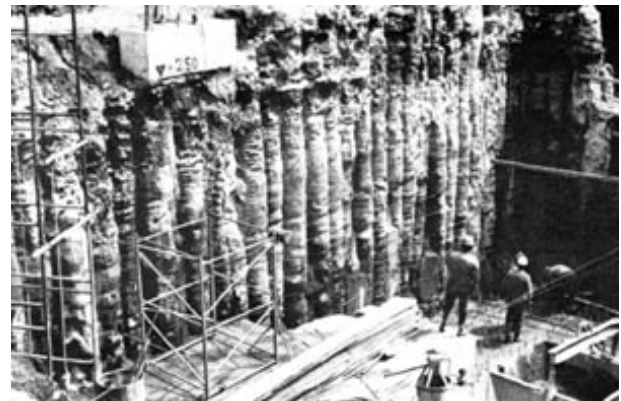
Van der Stoel: 'Op zijn best kan je concluderen dat we het proces beter zouden moeten sturen, door kleinere hoeveelheden in te brengen. Eventueel zouden we ook gebruik kunnen maken van een snelhardende grout,



Schematische weergave van het creëren van groutkolommen middels jet-grouting.



Het aanbrengen van een jetgroutpaal onder een op staal gefundeerd gebouw.



Door het verbinden van kolommen kan een wand (of blok) tot op een diepte van wel 50 meter worden gevormd.

waarbij silica wordt toegevoegd aan het zandcementmengsel vlak na het inbrengen.' De praktijkproef met fracturing, tenslotte, leverde zoveel problemen op met betrekking tot de analyse, dat daar geen conclusies aan kunnen worden verbonden. Inmiddels wordt wel een proef uitgevoerd met een meer gestructureerde variant van fracturing. Daarbij wordt de grout in de bodem gebracht met gesegmenteerde horizontale stalen pijpen. Deze lopen als een waaier horizontaal vanuit een verticaal afgezonken schacht en vormen als het ware een rooster onder de funderingspalen van een proefconstructie. Het experiment wordt in de buurt van Hendrik Ido Ambacht uitgevoerd waar men bezig is met het boren van de Sophiatunnel, een onderdeel van de verbinding tussen de Rotterdamse Maasvlakte en het rangeerterrein Kijfhoek.

Van der Stoel: 'Onder de funderingspalen hebben we een raster van groutpijpen aangebracht om de bodem in eerste instantie te verstevigen. Wanneer de tunnelboormachine voorbijkomt, kunnen zettingen die optreden worden gecompenseerd door het inpompen van de grout. Zo kunnen we nagaan of en zo ja hoeveel de funderingspalen verplaatsen. Dit experiment hoort overigens niet bij mijn promotie-onderzoek; daarvoor zijn de resultaten niet op tijd beschikbaar.'

Schacht

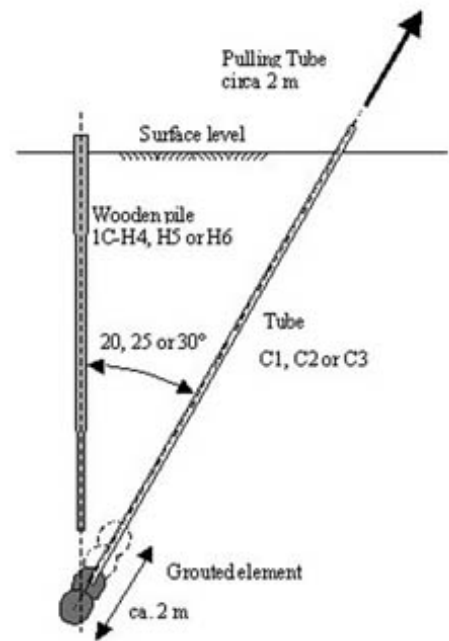
Inmiddels is de Noord/Zuidlijn al in de fase van (Europese) aanbesteding. Eigenlijk zou dus nu al duidelijk moeten zijn welke techniek gebruikt moet worden om de funderingspalen te ontzien.

Van der Stoel: 'In het referentie-ontwerp voor de aanbestedingsprocedure zijn we uitgegaan van het verstevigen van de bodem op kritieke plaatsen in het tracé dat de tunnelboor aflegt. Via «permeation grouting» of «jet grouting» wordt van de zandbodem een rotsbodem gemaakt, zodat de invloed van de boor op de omgeving verwaarloosbaar wordt. De aannemers die in willen schrijven, krijgen daarnaast de resultaten van de proef bij de Sophiatunnel met «fracturate grouting». Die techniek is goedkoper en minder ingrijpend, omdat je vanuit een schacht een heel gebied kunt bestrijken. Met die informatie kunnen ze dan alsnog dit alternatief gebruiken.'

En de techniek om de funderingspalen te ondersteunen met gerichte injectie van grout?

Van der Stoel: 'Die is vooral interessant voor renovatie van panden om te voorkomen dat ze verder wegzakken door inklinking van de bodem. Bij de aanleg van de Noord/Zuidlijn zullen we er naar alle waarschijnlijkheid niet of slechts incidenteel gebruik van maken.'

Voor nadere informatie over dit onderwerp kunt u contact opnemen met



Om de grond bij de paalpunt op te spannen (verdichten) en zo de draagkracht van de paal te vergroten, wordt naast de punt als het ware een groutworst uitgeperst met compaction-groutingtechniek.



Om de invloed van het boren van een tunnel op een «Amsterdamse» fundering te simuleren, is in 1998 bij de Tweede Heinenoordtunnel bij Rotterdam een Proefpalenproject uitgevoerd. De Amsterdamse bodemopbouw is gesimuleerd door het aanbrengen van «kleischachten» rond de bovenste meters van de betonnen en houten funderingspalen. Op de voorgrond zijn de zettingsmeters te zien.

*ir. Almer van
der Stoel,
tel. (020)
569 4166,
fax (020)
569 4100,
e-mail*

[almer.](mailto:almer.van.der.stoel@nznijl.nl)

*[van.der.
stoel@nznijl.
nl](mailto:almer.van.der.stoel@nznijl.nl)*

*of met
ir. Leo
Verhoef,
tel. (015)
278 4179,
e-mail*

[l.g.w.](mailto:l.g.w.verhoef@bk.tudelft.nl)

*[verhoef@bk.
tudelft.nl](mailto:l.g.w.verhoef@bk.tudelft.nl)*

*of met
prof. ir.
Frits van
Tol,
tel (015)
278 5478,
e-mail*

[a.f.](mailto:a.f.vantol@ct.tudelft.nl)

*[vantol@ct.
tudelft.nl](mailto:a.f.vantol@ct.tudelft.nl)*



Overzicht van de praktijkinjectieproef bij de Sixhaven in Amsterdam-Noord. De mobiele groutinstallatie is bezig een jet-grout kolom naast de betonnen en houten funderingspalen te maken.



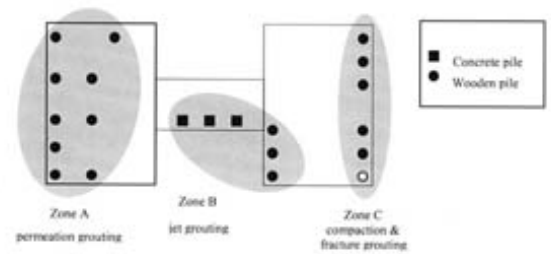
Detail van de grout-installatie, waarop de lans en de retourspoeling (spoil) zichtbaar zijn.



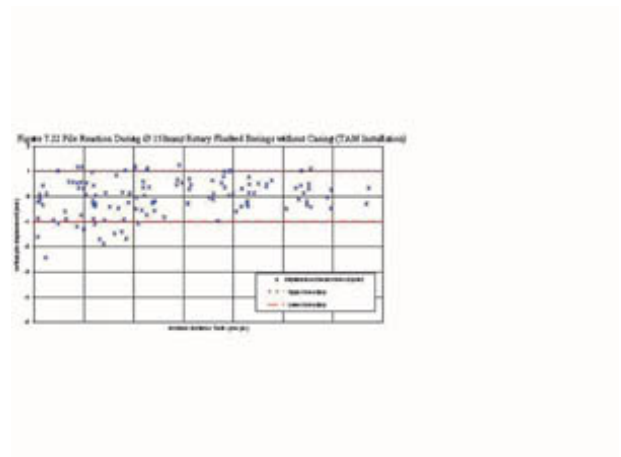
De boorkop van groutlans met op de buis de spuitmond.



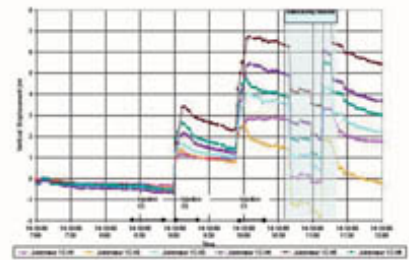
Bekken met daarin de retourspoeling (spoil) van het jet-grouten.



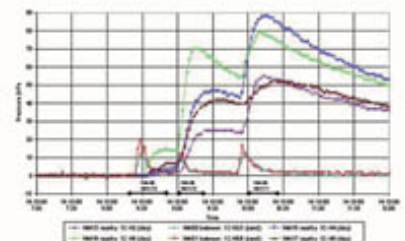
Plattegrond van de proefopstelling.



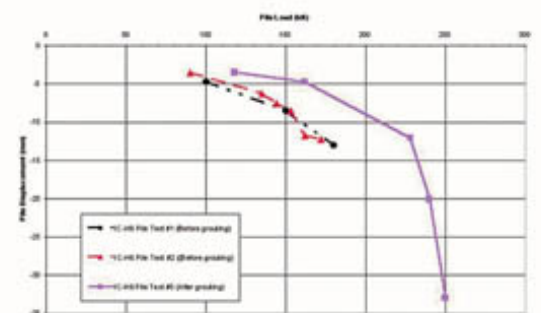
Om vast te stellen of het aanbrengen van de groutlans zelf al niet meer schade aanricht dan met het grouten zou kunnen worden voorkomen, zijn de verplaatsingen van de palen voor, tijdens en na het boren geregistreerd. Ze blijken binnen de gebruikelijke toleranties te vallen.



Verticale verplaatsing van de heipalen ten gevolge van compaction-grouting. Wanneer alleen de grond moet worden opgespannen, is verticale verplaatsing ongewenst.



Verandering van de spanningen in het grondwater tijdens compaction-grouting. De piëzo-spanningsopnemers waren op verschillende afstanden van de lans geplaatst (0,5 – 10 meter). Te hoge waterspanning kan leiden tot ongewenste inklinking.



Er zijn bezwijkproeven uitgevoerd voor en na het groten. De grafiek toont drie toestanden: twee proeven voorafgaande aan het groten en een proef na compaction-grouting. Uit de proef blijkt dat het draagvermogen van de houten heipaal aanzienlijk is toegenomen.



Meetopstelling van de zes houten palen. Zowel verplaatsing van de palen als de belasting werd over een periode van enkele maanden automatisch geregistreerd voor, tijdens en na het gROUTEN.



Een grondradarsonde van het Amsterdamse bedrijf T&A Radar, werd aan de jet-groutlans bevestigd om een beeld te vormen van de jet-gROUTEKOLOM.

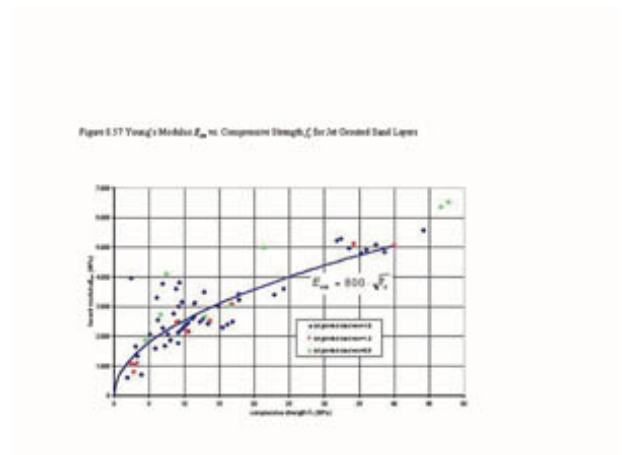


Ter inspectie en om de radarmetingen te verifiëren zijn de groutkolommen over de bovenste circa 3,5 meter ontgraven. Op de achtergrond zijn de drie betonnen funderingspalen te zien. De achterste kolom bleek na ontgraving toevallig vlak bij de resten van een oude houten funderingspaal te zijn gemaakt.



Om in het laboratorium de samenstelling, sterkte en stijfheid van de gegroute grond te kunnen bepalen, worden uit de groutkolommen kernen geboord. Op deze opname is gegroot in veen, waardoor een materiaal van vrij matige kwaliteit ontstaat.

foto marcel willems fotografie, 's-hertogenbosch



De laboratoriumresultaten geven onder meer het verband aan tussen de druksterkte en de stijfheid van gegroot zand. Hieruit heeft Van der Stoep voor een water/cementverhouding 1:1 de formule $E_{cm}=800 \cdot f_c$ afgeleid.

