

# **Grondvernageling, mogelijkheden en beperkingen.**

Prof. ir Jan Maertens, Jan Maertens BVBA en KU Leuven.

## **1. Inleiding.**

De techniek van de grondvernageling bestaat erin om wapeningselementen of nagels aan te brengen, die de in de grond optredende trek- en of schuifspanningen kunnen opnemen. Dank zij het aanbrengen van deze wapeningen kunnen er veel hogere en steilere taluds gerealiseerd worden dan normaal gezien mogelijk is. De nagels zorgen er namelijk voor dat de actieve zone die in geval van afschuiving zou ontstaan, wordt verankerd in de achtergelegen passieve zone. Zodoende kan er geen glijvlak ontstaan en wordt er een stabiel geheel verkregen.

De techniek van de grondvernageling berust op hetzelfde principe als gewapende grond, zij het dat grondvernageling wordt toegepast voor uitgravingen en gewapende grond voor ophogingen, d.w.z. bij grondvernageling worden de wapeningen in-situ aangebracht en bij gewapende grond in een aanvulling.

Het principe van de grondvernageling is niet nieuw, reeds in de oudheid was bekend dat de stabiliteit van taluds kon worden verbeterd door er houten palen in te slaan of door het talud te laten begroeien zodat de wortels voor een soort wapening zorgden.

De techniek van de grondvernageling werd voor het eerst toegepast in Frankrijk in 1974 toen voor de aanleg van een steil talud in de omgeving van Fontainebleau stalen hoekprofielen met een lengte van 6 à 8 m werden in de grond geramd à ratio van 2 stuks per m<sup>2</sup>. Op deze wijze werd een talud met een hoogte van 7 à 11m gerealiseerd onder een helling van 60°. Het talud oppervlak werd afgedekt met een laag spuitbeton.

De techniek is daarna alsmaar geëvolueerd. Vooral voor het inbrengen van de wapeningselementen werden nieuwe technieken ontwikkeld, zoals:

- het vastzetten van wapeningselementen in een boorgat door middel van cementinjectie;
- het inbrengen van buisvormige nagels die ook als boorstang dienst doen;
- het vastzetten van de nagels door middel van jet-grouting.

Door aanwending van deze technieken was het mogelijk om het aantal nagels sterk te verminderen en/of om vernageling ook in minder dichtgepakte gronden toe te passen.

I.v.m. de uitvoering van grondvernageling wordt momenteel een Europese Norm opgesteld. De draft versie van pr. EN 14490 Execution of Special Geotechnical Works - Soil nailing, dd. Juni 2002, werd reeds voor commentaar rondgestuurd aan de Nationale Normalisatie Instituten.

## **2. Algemeenheden.**

Heden ten dage wordt grondvernageling onder veel verschillende vormen toegepast, alnaargelang:

- de helling van het te realiseren talud: steil of verticaal;
- de wijze waarop de bekleding wordt aangebracht: spuitbeton, palenwanden, prefabelementen;
- de levensduur van de constructie: tijdelijk of permanent
- de aard van de nagels en de wijze waarop ze worden aangebracht.

### **2.1. Dagvlak onder een zekere helling.**

Wanneer het dagvlak onder een steile helling wordt aangebracht (meestal ca 70°) bestaat de bekleding in het algemeen uit spuitbeton. Bij taluds onder een flauwere helling of in gronden met een grote cohesie kan ook een andere bekleding worden toegepast, bvb. draadnetten of geogrids, al of niet in combinatie met geotextielen of kunststofmatten. In sommige gevallen worden ook prefabelementen aangebracht voor de bekleding van het talud.

De hoogte waarover per fase kan worden uitgegraven wordt bepaald door de samenhang (cohesie) van de grond. Bij gronden welke geen enkele samenhang vertonen (bvb. aangevulde gronden, sommige kwartaire zanden en Brusseliaans zand) kan dat nogal eens problemen opleveren. In dergelijke gronden is het soms beter om eerst een verticale grondkering aan te brengen door middel van groutkolommen, secanspalen of palen op een beperkte onderlinge afstand. Het dagvlak van de wand is dan wel verticaal.

Bij de uitvoering van een tijdelijke vernagelde wand voor de aanleg van de HSL te Zaventem hebben er zich belangrijke problemen voorgedaan omdat in het ontkalkt Brusseliaan geen tijdelijk talud kon worden in stand gehouden. Het aanbrengen van de bekleding verliep dan ook zeer moeizaam, cfr. figuur 1.



Figuur 1: Problemen bij de uitvoering van een vernagelde wand in Brusseliaans zand

## 2.2. Verticaal dagvlak.

Wanneer een verticale wand gerealiseerd wordt is het in het algemeen noodzakelijk om eerst grondkerende elementen aan te brengen.

Wanneer de bekleding wordt uitgevoerd met spuitbeton moeten deze grondkerende elementen er dan voor zorgen dat het gewicht van het spuitbeton wordt overgedragen naar de onder het uitgravingpeil gelegen lagen.

In België bestaat een veel gebruikte oplossing erin om voorafgaandelijk aan het uitgraven groutkolommen met een diameter van 0,50 à 0,60m aan te brengen op een onderlinge tussenafstand van 1m en tot op een diepte van 1,0 à 1,50m onder het te realiseren uitgravingpeil. De nagels worden dan tussen de groutkolommen aangebracht en de blootgelegde grond wordt bekleed met een laag spuitbeton.

Het aanbrengen van groutkolommen volgens de jet-groutmethode heeft het voordeel dat deze in nagenoeg alle gronden kunnen worden aangebracht, ook wanneer er oude funderingen en/of stenen voorkomen in de ondergrond. De laatste tijd worden deze groutkolommen evenwel meer en meer vervangen door palen uitgevoerd met behulp van een avegaar met een grote centrale kern.

Doordat het aanbrengen van spuitbeton vrij arbeidsintensief is en als gevolg daarvan redelijk duur komt het meer en meer

voor dat de alleenstaande palen en de laag spuitbeton vervangen worden door een secanspalenwand. In gronden welke een zekere cohesie vertonen is een tangens palenwand ook mogelijk.

Bij de bouw van een tunnel voor de Noord-Zuid verbinding onder Antwerpen werd in de bestaande berm tussen Berchem en Antwerpen Centraal een lange vernagelde wand uitgevoerd langsheen nog in gebruik zijnde sporen. De te keren hoogte bedroeg 3 à 8m. Alle nagels werden aangebracht in de aanvullingen van de bestaande ophogingen die soms zeer losgepakt waren. De opgemeten horizontale verplaatsingen varieerden tussen 1 en 2mm, cfr. figuur 2.



Figuur 2: Vernagelde wand in aangevulde gronden, die plaatselijk losgepakt zijn, voor de Noord-Zuidlijn onder Antwerpen.

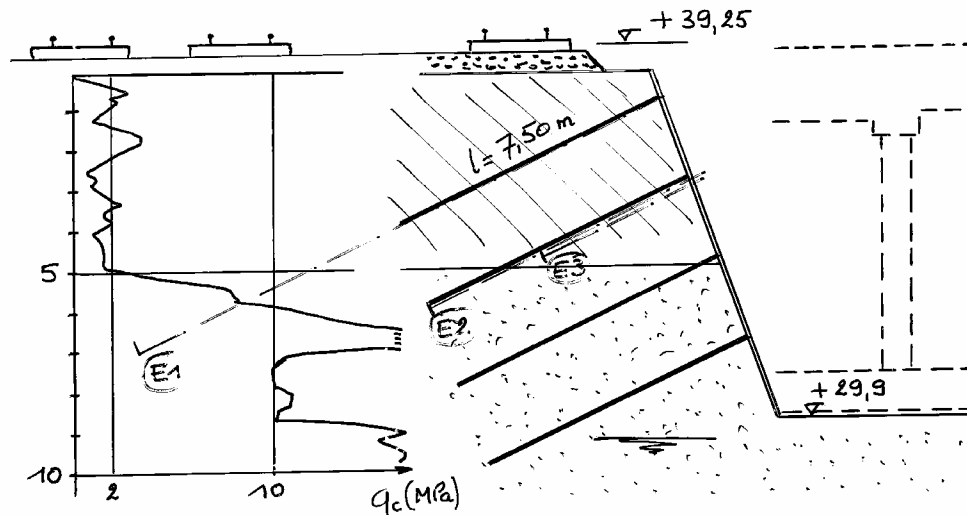
### **2.3. De levensduur van de constructie.**

Vernagelde wanden worden in het algemeen uitgevoerd voor tijdelijke constructies. Het is evenwel ook goed mogelijk om het principe van de grondvernageling toe te passen voor definitieve grondkerende constructies. Er moeten dan wel voorzorgen worden getroffen met betrekking tot de bekleding.

In geval van spuitbeton moet dan een laag met een voldoende dikte en een dubbel wapeningsnet worden aangebracht.

Bij het ontwerp van de permanente vernagelde wand moet er wel worden nagegaan wat de mogelijke gevolgen kunnen zijn wanneer de achter de bekleding gelegen grond bevriest.

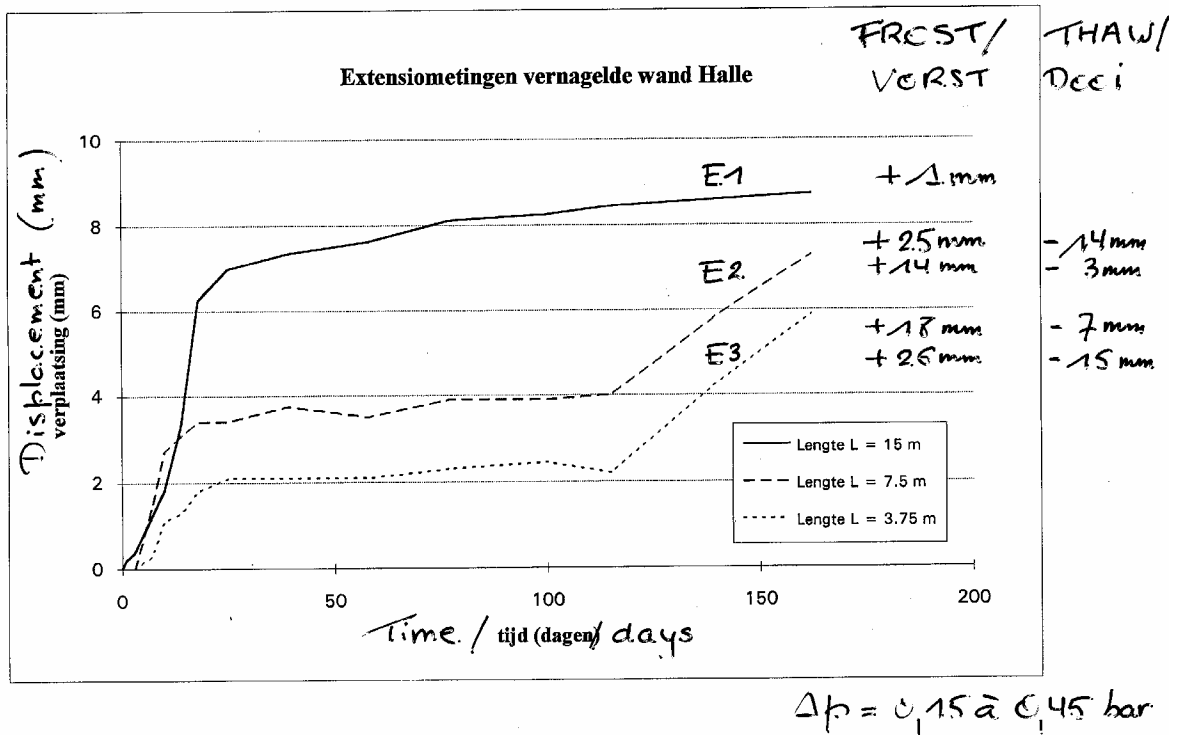
Bij de uitvoering van een vernagelde wand met een helling van ca 70° langsheen bestaande sporen te Halle werden de verplaatsingen opgemeten door middel van extensometers en werd de gronddruk in het contactvlak bekleding - grond gemeten door middel van gronddrukcellen, cfr. figuur 3.



Figuur 3: Doorsnede vernagelde wand Halle met ligging extensometers

De opgemeten verplaatsingen waren beperkt en de gemeten gronddrukken zeer klein (= niet afleesbaar). Toen na een lange vorstperiode tijdens de Nieuwjaarsperiode scheuren werden vastgesteld in de bekleding van spuitbeton werden de extensometers opnieuw opgemeten. Daarbij werden belangrijke bijkomende verplaatsingen tot 26mm vastgesteld. Ook werden plots belangrijke drukken gemeten in het contactvlak bekleding - grond (15 à 45 kN/m<sup>2</sup>).

Bij de dooi werden een duidelijke afname van de verplaatsingen opgemeten. Ook de drukken in het contactvlak bekleding - grond werden opnieuw zeer klein, figuur 4. De opgemeten verplaatsingen waren evenwel van die aard dat ze wellicht een blijvende plastische vervorming van de wapeningselementen hebben teweeggebracht.



Figuur 4: Verplaatsingen opgemeten bij een vernagelde wand te Halle.

De te Halle gedane vaststellingen geven duidelijk aan dat er bij het ontwerp van definitieve vernagelde wanden zeer omzichtig moet worden tewerk gegaan en dat terdege aandacht moet besteed worden aan de vorstgevoeligheid van de achter de bekleding gelegen gronden.

#### 2.4. De wijze waarop de nagels worden aangebracht.

Bij grondvernageling ten behoeve van het aanleggen van taluds worden nagenoeg uitsluitend metalen nagels verwerkt.

Kunststofnagels hebben nog geen ingang gevonden omdat er nog altijd geen degelijke oplossing werd gevonden voor het realiseren van de verbinding tussen de nagels en de bekleding. Voor de vernageling van het uitgravingsfront van tunnels wordt wel zeer regelmatig gebruik gemaakt van kunststofnagels. Deze kunststofnagels bieden dan het grote voordeel dat ze veel gemakkelijker kunnen weggegraven worden.

Voor het aanbrengen van de nagels worden veel verschillende technieken toegepast:

- het inrammen of intrillen van de nagels;
- plaatsing in boorgaten uitgevoerd met een holle avegaar en gravitaire opvulling met cementspecie;
- plaatsing in boorgaten uitgevoerd met dubbele boorstangen en injectie van cementspecie onder druk;
- inbrengen van nagels met zelfborende stangen;
- groutkolommen door middel van jet-grouting.

Een beschrijving van de verschillende uitvoeringsmethodes is opgenomen als bijlage.

Elke uitvoeringsmethode van de nagels heeft zijn vóór- en nadelen. De kracht die door de nagels aan de grond kan worden overgedragen wordt in een belangrijke mate bepaald door de wijze waarop de nagels worden uitgevoerd.

Verder kan men er best rekening mee houden dat:

- het inrammen of intrillen van wapeningsstaven sterk kan bemoeilijkt worden wanneer er stenen in de grond voorkomen (bvb. aanvullingsmateriaal, Brusseliaans zand ... ;
- het inbrengen van een wapeningsstaaf in een vooraf met behulp van een avegaar gemaakt boorgat alleen mogelijk is wanneer de grond een zekere cohesie heeft en het boorgat als gevolg daarvan gedurende een voldoende lange tijd blijft open staan.

Omdat de uitvoeringswijze van de nagels een zeer belangrijke invloed heeft op de wrijving die in het contactvlak grond kan gemobiliseerd worden, is het absoluut noodzakelijk om voor elk project belastingsproeven op nagels te voorzien.

### **3. Ontwerp van een vernagelde wand.**

Bij het ontwerpen van een vernagelde wand moeten volgende nazichten worden uitgevoerd:

- globale stabiliteit uitwendig;
- inwendige stabiliteit;
- bekleding;
- nagels, sterkte en verankeringlengte.

a) Uitwendige stabiliteit:

Bij het nazicht van de uitwendige stabiliteit wordt het evenwicht gecontroleerd van het grondmassief dat begrensd wordt door de achterkant van de nagels en door een horizontaal

glijvlak of een glijvlak gaande door het uiteinde van de onderste nagel.

Voor dit grondmassief worden de volgende controles uitgevoerd:

- glijdingsevenwicht;
- omkantelingsevenwicht;
- grondbreuk;
- globaal evenwicht t.a.v. een cirkelvormig glijvlak.

b) Inwendige stabiliteit - trekkracht in de nagels:

Bij het nazicht van de uitwendige stabiliteit worden een aantal glijvlakken beschouwd welke door alle of een aantal nagels heen lopen. De stabiliserende werking van de nagels wordt dan in rekening gebracht via:

- een axiale kracht waarvan de waarde wordt afgeleid uit de sterkte van het staal en de verankering van de nagel in de achtergelegen grond;
- in sommige gevallen wordt ook een dwarskracht in rekening gebracht, cfr. Recommandations Clouterre.

Aldus wordt de uiteindelijk door de nagels op te nemen trekkracht verkregen, en in sommige gevallen ook de nodige lengte van de nagels.

c) Bekleding:

In België wordt voor het berekenen van de bekleding algemeen gebruik gemaakt van de methode beschreven in Recommandations Clouterre, 1991.

Daarbij wordt uitgegaan van de gelijkmatig verdeelde gronddruk die wordt verkregen door de kracht in de nagels ter hoogte van de bekleding ( $T_0$ ) te delen door de oppervlakte van de bekleding per nagel.

De waarde van de kracht wordt afgeleid uit de max. kracht in de nagels met de formule:

$$\frac{T_0}{T_{\max.}} = 0,5 + \frac{S-0,5}{5}$$

met:

$$1 \leq S \leq 3\text{m}$$

S = de maximum tussenafstand tussen de nagels (horizontaal of verticaal).



Men heeft dan:

$$T_o/T_{\max.} = 0,6 \text{ voor } S \leq 1\text{m}$$

$$T_o/T_{\max.} = 1,0 \text{ voor } S \leq 3\text{m}$$

De eigenlijke dimensionering van de bekleding gebeurt dan volgens de klassieke berekeningsmethodes.

d) Nagels:

De in rekening te brengen schuifweerstand in het contactvlak nagel - grond vormt een zeer belangrijk element bij het dimensioneren van vernagelde wanden. In België wordt daarvoor meestal gesteund op de methode beschreven in Recommendations Clouterre, 1991.

Bij de aanvang van elk project worden proeven uitgevoerd om de gemaakte aannames te controleren.

#### **4. Vernagelde wand versus verankerde wand.**

Doordat vernageling alsmaar meer wordt toegepast in combinatie met een vooraf aangebrachte verticale beschoeiing ontstaat er een zekere vervaging. Het verschil is nochtans duidelijk:

- Bij grondvernageling wordt ervan uitgegaan dat de horizontale kracht afkomstig van de gronddruk volledig door de nagels wordt opgenomen;
- Bij grondvernageling wordt ingevolge de aanwezigheid van de nagels een verminderde gronddruk op de verticale bekleding in rekening gebracht;
- Bij grondvernageling wordt de passieve gronddruk die op de eventueel aanwezige steek aangrijpt niet in rekening gebracht;
- Bij een verankerde wand wordt de volledige gronddruk in rekening gebracht;
- Bij een verankerde wand wordt de stijfheid van de wand en de passieve gronddruk op de steek van de wand in rekening gebracht voor het berekenen van de kracht in de ankers;
- Bij een verankerde wand kunnen de verplaatsingen van de wand beïnvloed worden door de ankers meer of minder voor te spannen. Bij vernagelde wanden is zoiets niet mogelijk.

Bij vernagelde wanden zal de sectie van de nodige wapeningen in het algemeen groter zijn en de momenten in de bekleding kleiner.

Bij vernagelde wanden zijn de te verwachten horizontale verplaatsingen in het algemeen iets groter dan bij verankerde wanden.

Bij verankerde wanden wordt de noodzaak i.v.m. het voorspannen van de grondankers regelmatig in vraag gesteld. Dit heeft vooral te maken met het feit dat er meer en meer gebruik gemaakt wordt van verankerings-elementen van zacht staal i.p.v. voorspanstaal. Bij verankerings-elementen van voorspanstaal is het absoluut noodzakelijk om deze voor te spannen omdat er zich anders te grote verplaatsingen kunnen voordoen. Bij verankerings-elementen van zacht staal is dat evenwel minder evident. In het algemeen zijn te verwachten verplaatsingen klein (10 à 20mm) en is het niet echt noodzakelijk om de ankers voor te spannen bij wanden die langsheen straten of onbebouwde gronden gelegen zijn.

Bij wanden die langsheen bestaande constructies worden aangebracht, wordt dikwijls volgende afweging gemaakt:

- Door het voorspannen van de ankers kunnen de horizontale verplaatsingen inderdaad beperkt worden.
- Bij het creëren van een vrije lengte kunnen er evenwel zekere holle ruimten in de grond achterblijven waardoor dan zettingen kunnen ontstaan.

Deze vraag kan niet éénduidig beantwoord worden. Het uitvoeren van veralgemeende controlemetingen zou hier zeker uitsluitel kunnen brengen.

## **5. Mogelijk te voorziene controles.**

Bij de uitvoering van grondvernageling kunnen volgende controles worden toegepast:

- Belastingsproeven op nagels;
- opmeten van de verplaatsingen door middel van extensometers en/of inclinometers;
- opmeten van de gronddrukken in het contactvlak bekleding grond.

Bij het uitvoeren van belastingsproeven op nagels moet er altijd een vrije lengte gecreëerd worden die reikt tot op het punt waar de maximale kracht in de nagel te verwachten is.

Voor het uitvoeren van de belastingsproef wordt in België meestal de procedure gevolgd die is aangegeven in Recommendations Clouterre, 1991.

De belasting wordt aangebracht in 6 of 8 stappen tot 90% van de breuklast van het wapenings-element van de nagel. De

verplaatsing wordt opgemeten t.o.v. een vast referentiepunt en elke belastingsstap wordt 30 min aangehouden.

Uit de toename van de verplaatsing bij iedere belastingsstap wordt de kruiplast bepaald.

## **6. Besluit.**

De vernagelingstechniek biedt een aantal specifieke voordelen t.a.v. klassieke grondkerende wanden, o.a. doordat taluds met een steile helling kunnen gerealiseerd worden.

Vernageling wordt ook regelmatig toegepast voor de horizontale ondersteuning van verticale beschoeiingen.

Doordat meer en meer wapeningselementen van zacht staal worden aangewend voor de uitvoering van grondankers dreigt het onderscheid tussen vernagelde en verankerde wanden te vervagen. Iedere techniek heeft nochtans zijn voor- en nadelen en specifieke berekeningsmethodes.

Een verdere ontwikkeling van de vernagelingstechniek moet bestaan in het aanwenden van wapeningselementen van kunststof en geprefabriceerde bekledingselementen.

## **Bijlage: Uitvoeringswijze van de nagels.**

- Inrammen of intrillen van de nagels:

In Frankrijk worden nog altijd regelmatig hoekprofielen of U-profielen aangewend als nagel. Deze profielen worden dan door middel van een pneumatische hamer of een snelslaghamer in de grond geramd of getrild. Bij deze nagels wordt geen cementinjectie toegepast. De wrijving staal - grond is dan bepalend voor de krachten die door de gelijke nagels kunnen worden opgenomen. Deze krachten zijn eerder gering en de nagels worden dan ook volgens een vrij dicht stramien aangebracht.

- Plaatsing in boorgaten uitgevoerd met een holle avegaar:

Een zeer snelle methode voor het aanbrengen van nagels bestaat erin om boringen uit te voeren met behulp van een avegaarboor en daarna in de aldus gemaakte boorgaten een wapeningselement aan te brengen en de ringruimte omheen het wapeningselement gravitair op te vullen met cementspecie. In het algemeen worden eerst een aantal boorgaten uitgevoerd en worden daarna de wapeningselementen geplaatst.

Dergelijke uitvoeringswijze is alleen mogelijk wanneer men er zeker van is dat het boorgat gedurende een voldoende lange tijd volledig blijft open staan. Dat is nodig om er zeker van te zijn dat de omhulling met cementspecie over de volledige lengte van de nagel kan worden aangebracht.

Wanneer men er niet zeker van is dat het boorgat een voldoende lange tijd blijft openstaan of bij het inbrengen van de wapeningsstaaf kan dichtvallen, moet aan de wapeningsstaaf een injectieslang worden vastgemaakt via dewelke de injectiespecie dan van onder in het boorgat kan worden aangebracht.

- Plaatsing in boorgaten uitgevoerd met dubbele boorstangen:

De uitvoeringswijze van de nagels verloopt dan op dezelfde wijze als het wortelgedeelte van grondankers, d.w.z.:

- voor het uitvoeren van de boring wordt gebruik gemaakt van dubbele boorstangen ten einde de grond omheen het boorgat zo weinig mogelijk te verstoren. De boring wordt dan uitgevoerd als spoelboring waarbij de boorvloeistof via de centrale opening van de binnenstang naar de boorpunt wordt gebracht en daarna samen met de losgemaakte grond naar het werkvlak terugstroomt via de ringruimte tussen de buiten- en binnenstang;

- na het bereiken van de vooropgestelde diepte worden de binnenstangen getrokken en wordt het boorgat vastgezet met cementspecie. Vervolgens wordt in de cementspecie de wapening aangebracht;
- tenslotte wordt de buitenbuis getrokken in stappen van één of twee meter. Na iedere stap wordt de cementspecie onder druk gebracht ten einde de spanning in het contactvlak cementspecie grond te verhogen en aldus een zo groot mogelijke schuifweerstand te kunnen mobiliseren.

- Inbrengen van nagels met zelfborende stangen:

Bij dit type nagel wordt het wapeningselement gebruikt als boorstang. Tijdens het inboren wordt cementspecie gebruikt als boorvloeistof. Op deze wijze wordt omheen de wapening een omhulling van cementspecie aangebracht.

- Groutkolommen door middel van jet-grouting:

Met behulp van de jet-grouttechniek wordt dan een groutkolom met een diameter van 30 à 40 cm gerealiseerd, waarin nadien een wapeningselement wordt aangebracht. In tegenstelling met de klassieke uitvoeringsmethode van de jet-grouttechniek wordt bij de uitvoering van nagels de injectie meestal uitgevoerd van boven naar onder i.p.v. van onder naar boven, dit vooral om er zeker van te zijn dat er altijd een retourstroming zal plaatsvinden.

Het is ook mogelijk om de jet-grouting uit te voeren met behulp van verloren stangen. Dat is vooral interessant wanneer er niet kan gewerkt worden met omvangrijke boormachines, bvb. in geval van moeilijke toegankelijkheid of beperkte werkruimtes.