

Ervaringen met nagels met zelfborende stangen voor hsl-werken

Na-injectie is van groot belang voor de treksterkte van nagels

ir. Wim Maekelberg, ir. J. Maertens, dienst Geotechniek, TUC Rail

DE hsl-werken in Berchem worden gefaseerd uitgevoerd. Als scheidingswand tussen twee uitvoeringsfasen gebruikt men vernagelde wanden. Deze wanden werden gestabiliseerd met nagels met zelfborende stangen. Uit de resultaten van trekproeven op proefnagels blijkt dat de na-injectie op deze nagels van groot belang is voor de uiteindelijke treksterkte van de nagel. Uit lastzakkingsdiagrammen kan afgeleid worden dat de trekkracht op de nagel vrij vlug doorgegeven wordt naar het uiteinde van de nagel. Bij het vrijgraven van de nagels werd vastgesteld dat de diameter van het groutlichaam relatief klein is t.o.v. de door de na-injectie aan de nagelpunt verkregen groutprop, wat de conclusie over het doorgeven van de trekkracht bevestigt. Deze nagels zijn dus vooral einddragende nagels en zouden dan ook best op deze manier berekend worden.

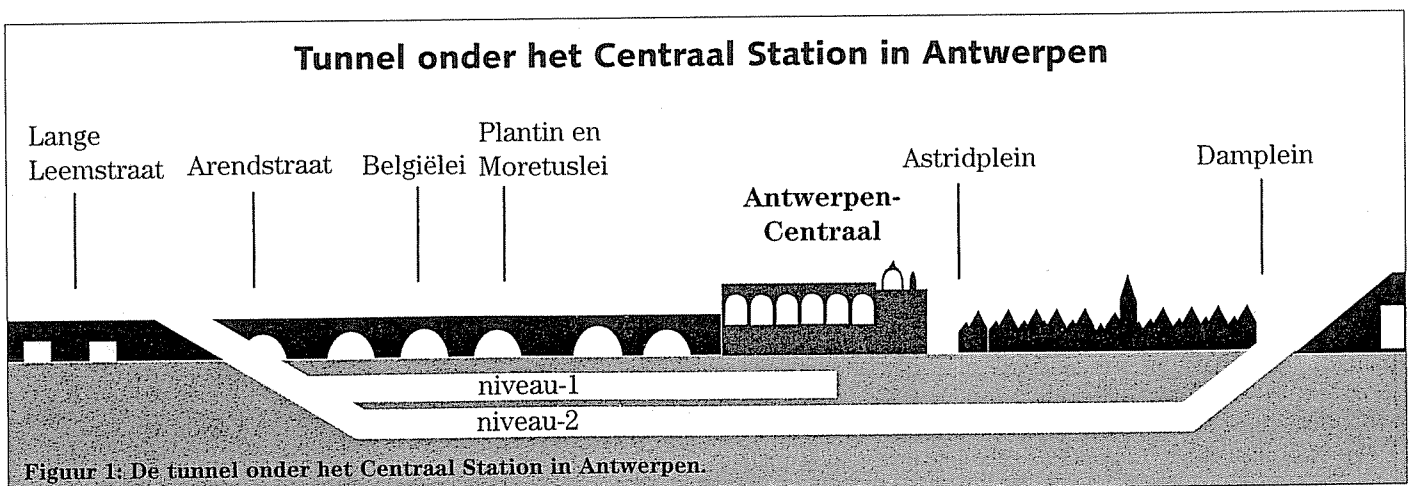
Om de hsl-verbinding tussen Brussel en Amsterdam, de zogenaamde Noord-Zuid verbinding, te realiseren en om de capaciteit van het Centraal station in Antwerpen in de toekomst te verhogen, wordt onder het station een tunnel gemaakt. De bouw van de toegangstunnel aan de kant Berchem is verdeeld over twee aanbestedingen. In een eerste aanbesteding worden de zijwanden en de dakplaat van de tunnel in het geklasseerde spoorwegviaduct gemaakt. Tevens worden de bestaande onderdoorgangen ondervangen. Als scheidende wand tussen twee uitvoeringsfasen werd over de volledige lengte van de werken een vernagelde wand gemaakt, met nagels met zelfborende stangen (type Ischebeck/Mai-Ibo)

De techniek van nagels met zelfborende stangen bestaat erin dat de nagels ge-

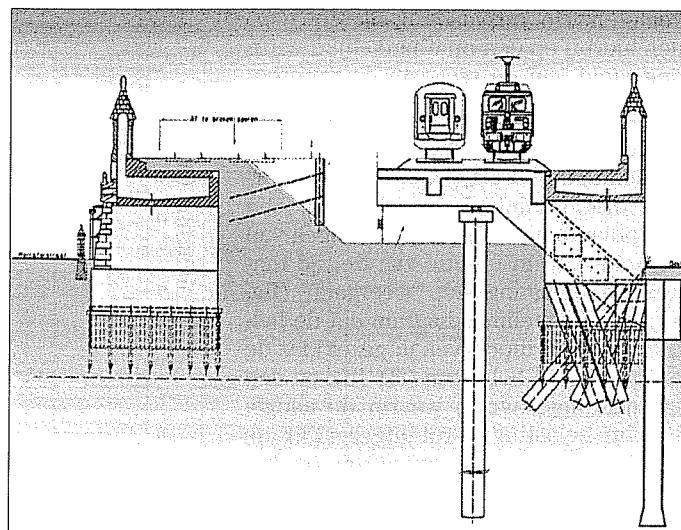
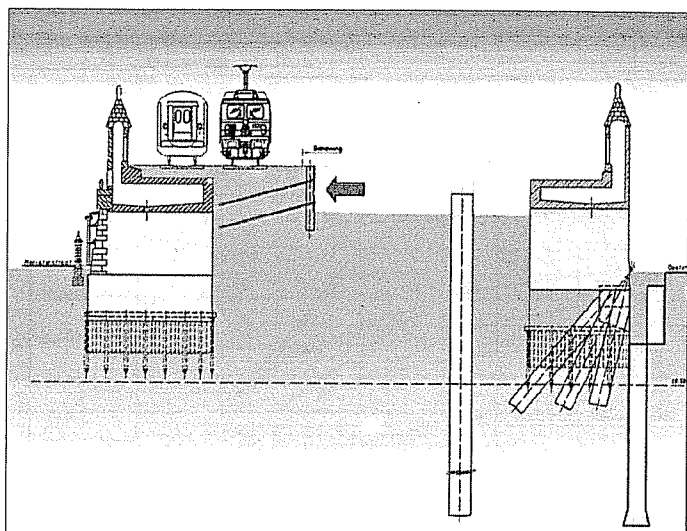
boord worden met de wapeningsstaaf van de nagel. Aan het uiteinde van de staaf wordt een niet recupereerbare boorkop geplaatst en de holle wapeningsstaaf wordt op diepte geboord met een spoelboring. De boorspecie die gebruikt wordt, is meestal een cementspecie. Bij deze werken werd een mengverhouding voor de cementspecie $w/c = 1$ gebruikt. Met een na-injectie via de onderkant van de nagel wordt een opspanning van het terrein beoogd en aldus ook een verhoging van de treksterkte van de nagel. Deze na-injectie wordt steeds uitgevoerd na een zekere verharding van de cementspecie rond de zelfborende stangen. Als injectiespecie wordt hier eveneens gebruik gemaakt van een mengsel van water en cement, al dan niet met een andere mengverhouding als deze van de boor-

specie. Voor deze werken werd steeds gebruik gemaakt van een mengverhouding $w/c = 1$ voor de injectiespecie.

In elk van de uitvoeringsfasen is aan de ene zijde van het viaduct het spoor in dienst, om de toegang voor het treinverkeer tot het centraal station te garanderen. Aan de andere zijde van de viaduct worden de werken uitgevoerd. De vernagelde wand, die in een eerste fase de scheiding vormt tussen de werken en het spoor in dienst (figuur 2a), is aangelegd over de volledige lengte van de viaduct en heeft over het algemeen een tekeren hoogte van 4 meter. Enkel ter hoogte van de onderdoorgangen in de spoorwegviaduct is een diepere beschoeiing gerealiseerd. De maximaal tekeren grondhoogte is daar ongeveer 10 meter. De vernagelde wand is verticaal uitgevoerd op een minimale afstand van



Figuur 1: De tunnel onder het Centraal Station in Antwerpen.



Figuur 2a: Eerste uitvoeringsfase.

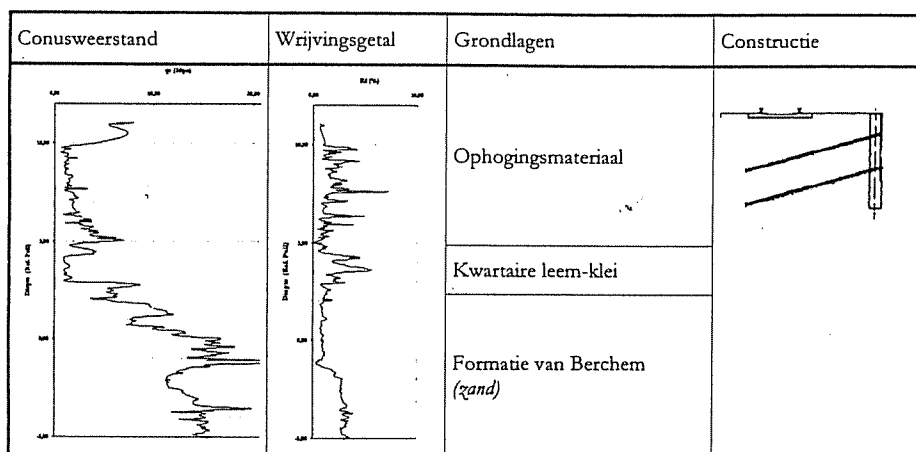
Figuur 2b: Tweede uitvoeringsfase.

het spoor in dienst. Om in de verschillende uitgravingfasen van de vernageling de stabiliteit van het spoor te garanderen, zijn voorafgaandelijk groutkolommen met een tussenafstand van 1 meter achter de wand geplaatst. De kolommen zijn uitgevoerd met een diameter van 0,5 meter.

Na gunteren van een eerste uitgravingfase worden de nagels met zelfborende stangen uitgevoerd. De nagels zijn uitgevoerd onder een helling van 20° en verankerd in de aanvulling tussen de steunmuren van de spoorwegberm. De lengte van de nagels werd beperkt door de afstand tot steunmuur. In de tweede uitvoeringsfase is het spoor in dienst verplaatst op de reeds gerealiseerde dakplaat uit de eerste uitvoeringsfase. Tijdens de werken in de tweede fase wordt de vernagelde wand afgebroken zoals aangegeven in figuur 2b.

Treksterkte

Voor de controle van de treksterkte van de nagels zijn in het totaal 8 proefnagels gemaakt, die getest werden met trekproeven. De proefnagels zijn, net als de nagels van de vernagelde wand, verankerd in de aanvulling tussen de steunmuren van de spoorwegberm. De aan-



Figuur 3: Grondkarakteristieken.

vulling tussen de spoorwegberm bestaat hoofdzakelijk uit heterogene aanvulgronden en zand met een gemiddelde conusweerstand in de aanvulling van ongeveer 2MPa (figuur 3).

De proefnagels werden uitgevoerd met een vrije lengte die verwezenlijkt werd door het plaatsen van een pvc-buis over de eerste twee meter van de wapeningsstaaf. Voor elke proefnagel werd een verankeringslengte van 3 meter gebruikt. De boorkop heeft een diameter van 75 mm.

De proeven werden uitgevoerd volgens de procedure van het LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées). Hierbij werd de maximale trekkracht aangebracht in 8 of 10 belastingsstappen met elk een duur van 1/2 uur. Als maximale trekkracht werd steeds 2 maal de vooropgestelde dienstlast van het anker gebruikt of de theoretische breuklast van het anker. Bij de proeven worden, binnen de verschillende belastingsstappen en op vastgelegde tijdstippen, de verplaatsingen van de paalkop

Tabel 1: Vloeiwaarden van de proefnagels

	Dienstlast							
	V17-1	V19-1	V22-1	V22-2	V23-1	V23-2	V23-3	V26-1
Last (kN)	64,00	80,80	94,40	123,20	128,40	56,00	134,40	103,20
Kracht per meter (kN/m)	21,33	26,94	31,47	41,06	42,80	18,67	44,80	34,40
Eenheidswrijvingsweerstand (kN/m ²)	45,30	57,20	66,80	87,12	90,80	39,60	95,10	73,00
Verplaatsing (mm)	3,30	4,60	6,70	9,30	6,80	0,72	7,50	4,70

gemeten. De verplaatsingsmeters worden hierbij op een onafhankelijke wijze opgesteld van de rest van de proefopstelling.

Uit de gemeten verplaatsingen in de verschillende belastingsstappen worden drie grafieken gedestilleerd: een kruipdiagram dat de verplaatsingen van de ankerkop in functie van de tijd binnen de belastingsstap weergeeft (fig. 4a); een lasthellingsdiagram dat de helling van de kruipcurven uitgezet i.f.v. de aangebrachte belasting (fig. 4b); en een lastzakningsdiagram waarin de aangebrachte belasting wordt uitgezet i.f.v. de verplaatsing van de ankerkop op het einde van iedere belastingsstap (fig. 4c).

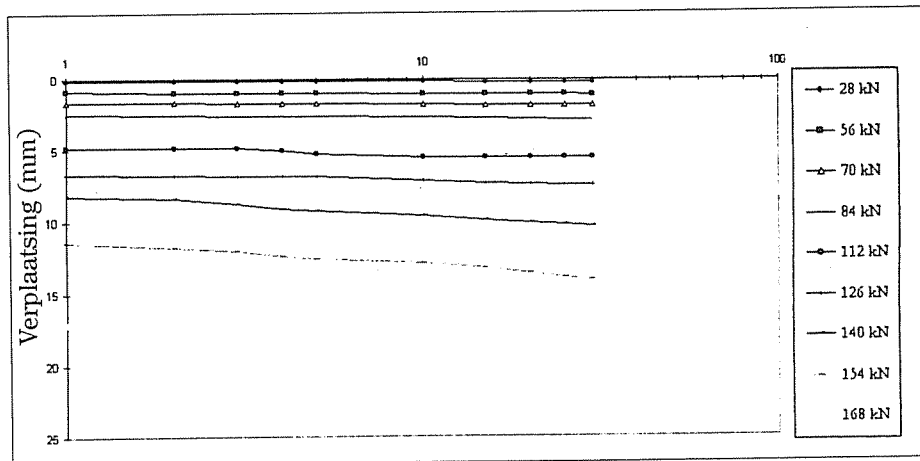
Wanneer de meetresultaten op deze manier voorgesteld worden, kan een vloeivalue van het anker bepaald worden. Deze vloeivalue stemt overeen met het knikpunt in het lasthellingsdiagram (figuur 4b). Uit de vloeivalue wordt de dienstlast van het anker bepaald met een veiligheidscoëfficiënt van 1,25. Uit het lastzakningsdiagram kan de bijbehorende verplaatsing bepaald worden.

Interpretatie

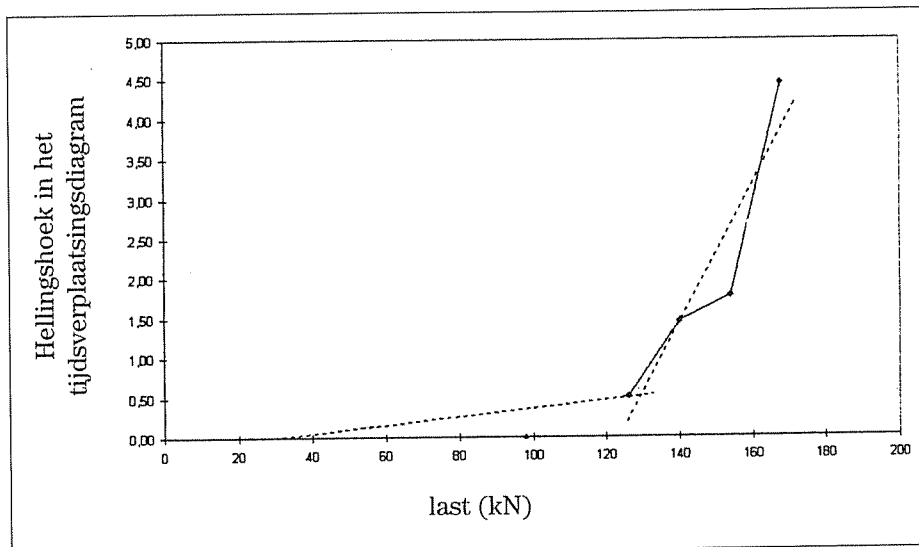
In tabel 1 worden de dienstlasten van de 8 proefnagels met hun bijbehorende verplaatsing samengevat. De aangegeven eenheidwrijvingsweerstand werd bepaald in de veronderstelling dat de volledige trekkracht gelijkmatig verdeeld wordt over de verankeringslengte van de nagel (3 m) en het groutlichaam van de nagel een diameter van 0,15 meter heeft, zoals dit door de fabrikant van de nagel vooropgesteld wordt. De resultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 5.

Bij de proeven zijn de proefnagels V17-1 en V23-2 voortijdig bezweken. Bij nazicht van de injectiefiches werd vastgesteld dat de injectiedruk van nagel V17-1 slechts 5 bar bedroeg. De na-injectie van nagel V23-2 werd onmiddellijk na het boren van deze nagel uitgevoerd, waardoor geen drukopbouw aan het uiteinde van de nagel mogelijk was en geen verdringing van de omliggende grond kon worden verwezenlijkt. Dit verklaart ook de lage waarde voor de dienstlast van deze nagels. Beide nagels hebben in vergelijking tot de andere nagels een minder stijf gedrag (figuur 5).

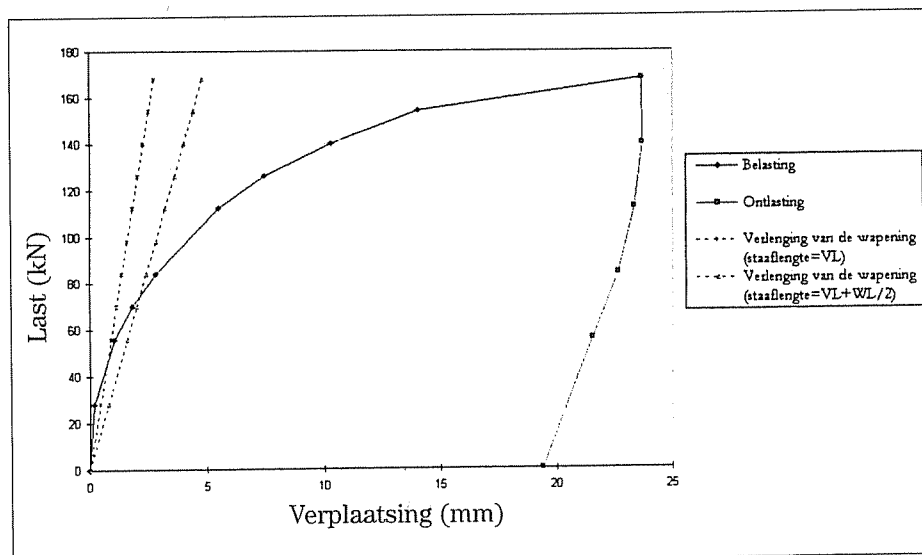
Uitgaande van de last-verplaatsingsdiagrammen van de overige nagels (figuur 5) kan gezegd worden dat het gedrag van de nagels vrij goed reproduceerbaar is voor belastingen lager dan de



Figuur 4a: Tijd-verplaatsingsdiagram.



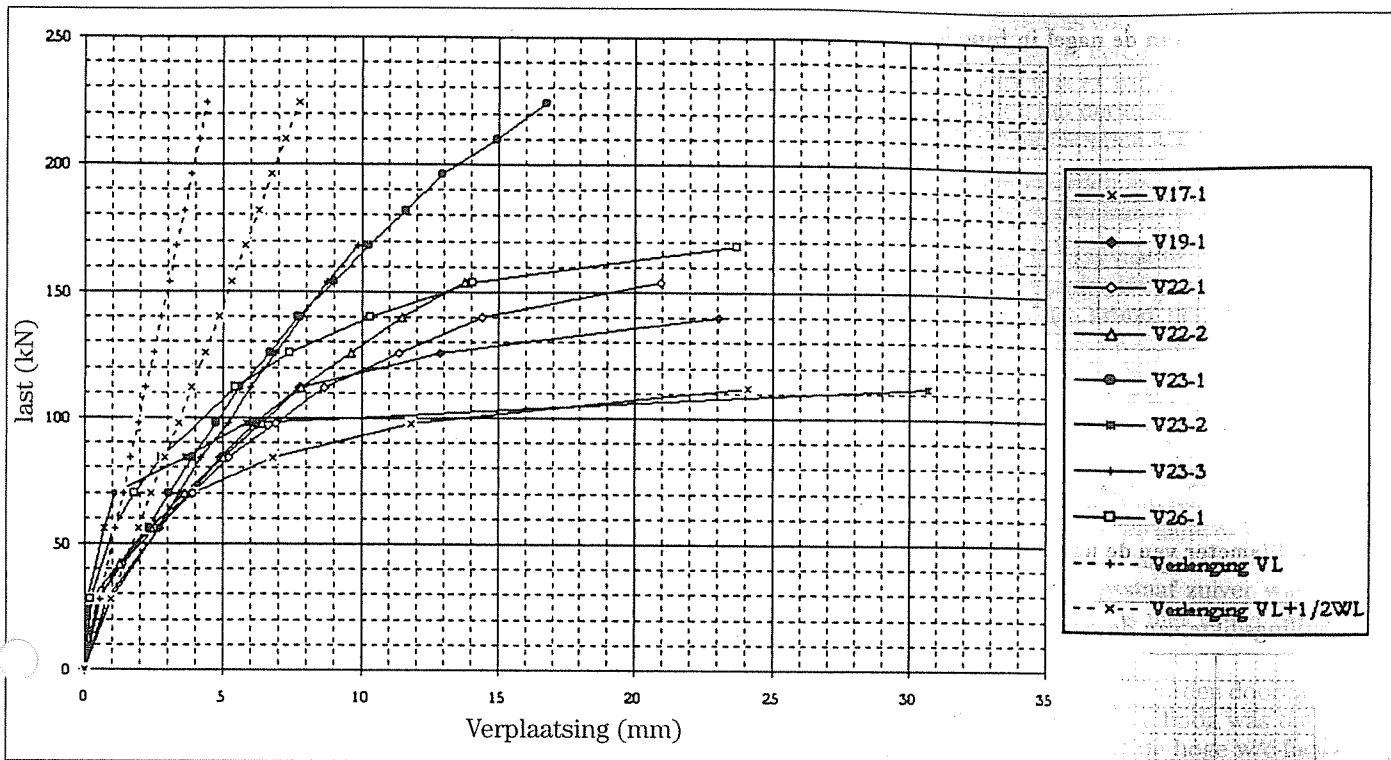
Figuur 4b: Last-hellingsdiagram.



Figuur 4c: Last-verplaatsingsdiagram.

dienstlast van de nagel. Enkel wanneer de nagel nabij zijn breukwaarde belast wordt, is er een zekere diversiteit in het gedrag. Verder kan opgemerkt worden dat de verlenging van de nagel vrij vlug

de verlenging van de vrije lengte plus de helft van de verankeringslengte overtreft. De kracht in de nagel wordt dus vrij vlug doorgegeven naar het uiteinde van de nagel.



Figuur 5: Vergelijking tussen last-verplaatsingsdiagrammen van de proefnagels.

Beide vaststellingen en het bezwijken van twee proefnagels geven aan dat de na-injectie van groot belang is voor de treksterkte. Omdat de last van de nagel vrij vlug naar het einde van de nagel doorgegeven wordt, is het berekenen van een eenheidwrijvingsweerstand over de schacht van de nagel weinig zinvol. Het anker zou dus eerder als een plaatanker moeten berekend worden.

Uitgraven

Na de uitvoeringsfase is het spoor dienst verplaatst op het reeds uitgevoerde deel van de dakplaat van de toekomstige tunnel. In de tweede uit-

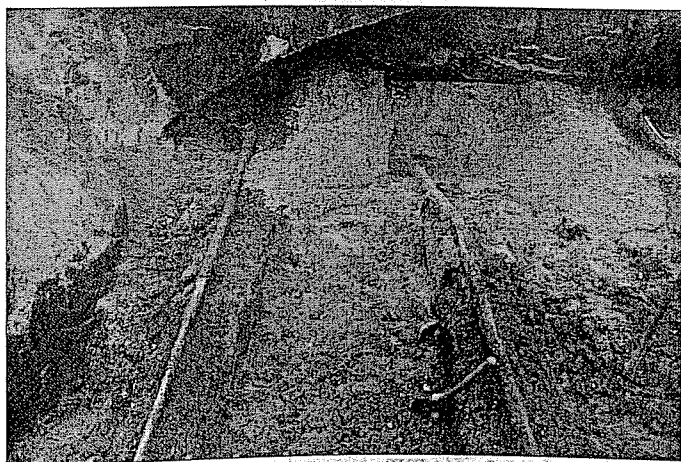
voeringsfase wordt de dakplaat en de ondervanging van de onderdoorgangen verder gerealiseerd en wordt de vernagelde wand die in deze fase geen nut meer heeft, afgebroken (figuur 2b). Bij de uitgraving werd van de gelegenheid gebruik gemaakt om een aantal nagels uit te graven.

Hiervoor werd een zone aangeduid van vier naast elkaar liggende nagels (figuur 6). De nagels werden deels met klein graafmateriaal en deels met de hand uitgegraven om beschadiging van de nagel tot een minimum te beperken. De vrijgegraven nagels hebben alle een totale lengte van 6 meter. De zelfborende

stang heeft een buitendiameter van 30 mm en een binnendiameter van 16 mm.

Bij de uitgraving kon vastgesteld worden dat het bovenste deel van de nagels uitgevoerd is door harde heterogene aanvulgrond. Het onderste deel van de nagels, dat zich deels onder de gewelven van de muur bevond, was ingebed in matig gepakte homogene zanden. Na het blootleggen van de nagels werd de omtrek van de nagel op verschillende afstanden van de onderzijde van de nagel opgemeten.

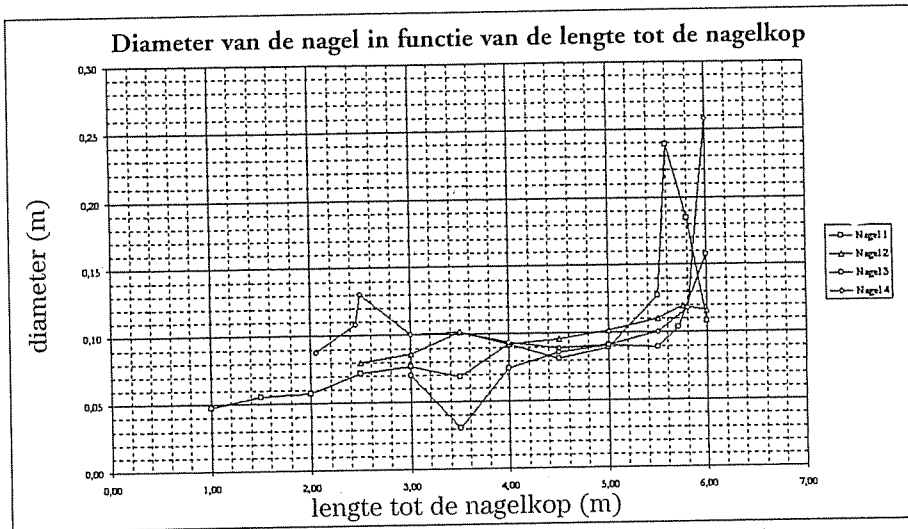
Uit de metingen werd de gemiddelde diameter van de nagel berekend. Uitgaande van de buitendiameter van de



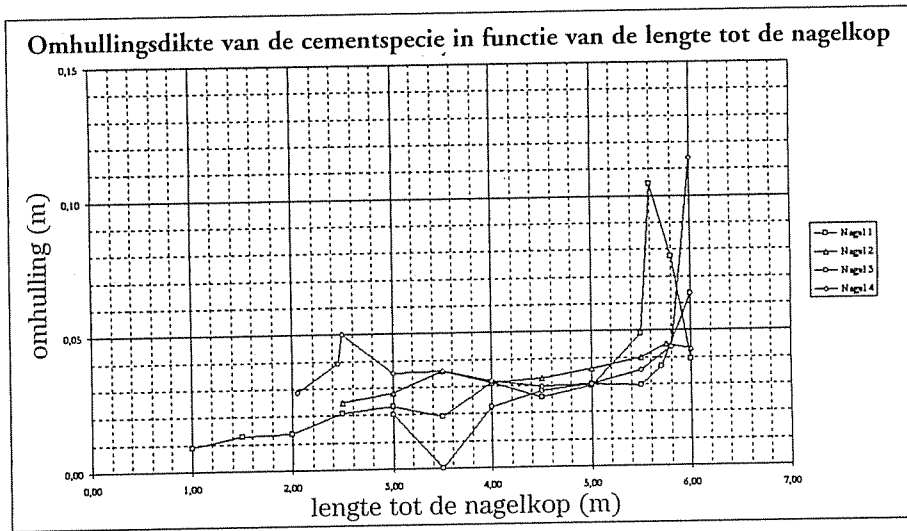
Figuur 6: Vrijgegraven nagels.



Figuur 8a: Nageldiameter in deel 1.



Figuur 7a: Diameter van de nagel volgens de lengte tot de nagelkop.



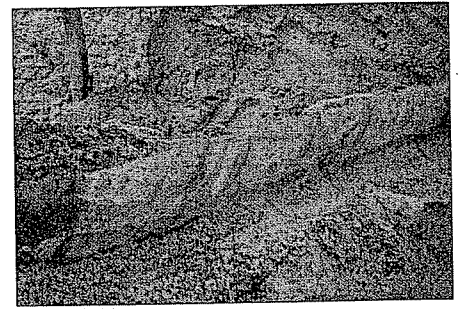
Figuur 7b: Omhullingsdikte van de cementspecie rond de nagel volgens de lengte tot de nagelkop.

wapeningsstaaf (30 mm) werd de omhullingsdikte van de cementspecie bepaald.

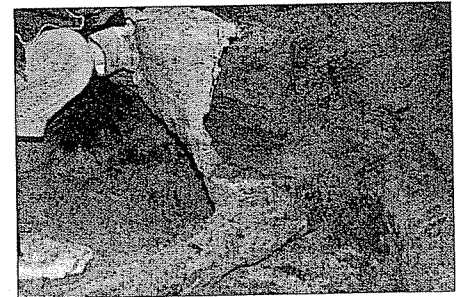
De diameter van de nagels evenals de omhullingsdikte van de cementspecie zijn in figuren 7a en 7b weergegeven in functie van de afstand tot de nagelkop (= bovenuiteinde).

Meetresultaten

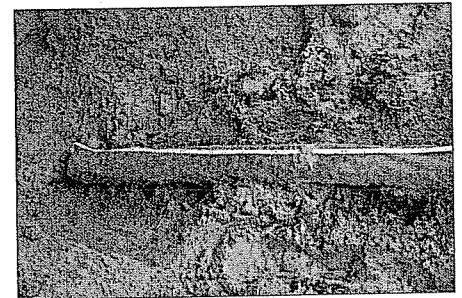
Uitgaande van de vaststellingen tijdens de uitgravingen en de meetresultaten van de diameter van de nagel kan de nagellengte in drie delen verdeeld worden. In het eerste deel van de nagel was de nagel vrij moeilijk vrij te maken zonder beschadiging van de verharde ce-



Figuur 8b: Nageldiameter in deel 2.



Figuur 8c: Cementprop bij nagel 1.



Figuur 8d: Cementprop bij nagel 4.

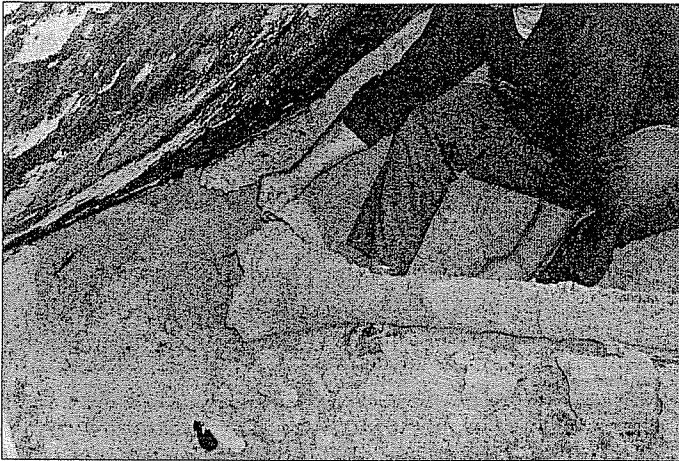
mentomhulling te veroorzaken. Het opmeten van de nageldiameter was niet mogelijk. Bij het uitgraven van de nagel is evenwel vastgesteld dat de diameter van de nagel over dit deel gevoelig kleiner is dan bij de rest van de nagel (figuur 8a)

In een tweede deel van de nagel is de diameter vrij gelijkmatig (figuur 8b).

Het derde deel van de nagel komt overeen met de groutprop die gevormd

Tabel 2: De gemiddelde diameter van de nagels

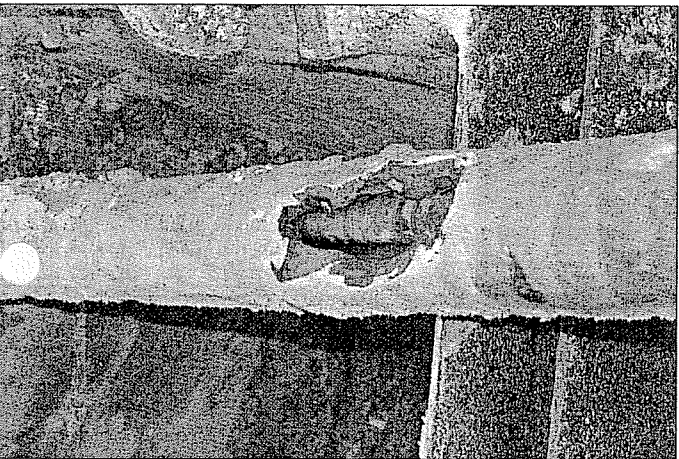
	Deel 1	Deel 2	Deel 3
Afstand tot de nagelkop	0 - 2,00 m	2,00 - 5,50 m	5,50 - 6,00 m
Grondsoort	heterogene grond	zand	zand
Pakkingsdichtheid	dicht	matig	matig
Diameter	30 - 40 mm	70 - 130 mm	110 - 260 mm
Gemiddelde diameter	—	85 mm	—
Gemiddelde omhullingsdikte cementspecie	—	27 mm	—



Figuur 8e: Cementprop bij nagel 3.



Figuur 8f: Holte in cementomhulling.



Figuur 8g: Holte in cementomhulling.

werd bij de na-injectie. Deze was voor drie uitgegraven nagels zeer grillig van vorm, waarbij de cementspecie zeer verre uitlopers had. Voor één nagel was er weinig verschil tussen het tweede deel van de nagel en het derde deel. In figuur 8c tot 8e worden de verschillende nagelkoppen afgebeeld.

In tabel 2 worden de meetwaarden en grondsoort in de drie verschillende delen van de nagels samengevat.

Uit tabel 2 en grafieken 7a en 7b is vast te stellen dat de vooropgestelde diameter van de nagels (150 mm voor een boorkop met diameter 75 mm) in deze grond nergens gerealiseerd werd. Op het uiteinde van de nagel werd bij het uitvoeren van de na-injectie in drie van de vier gevallen een duidelijke groutprop gevormd. De diameter van deze proppen varieerde tussen de 160 mm en 260 mm.

Bij het uitgraven werd eveneens vastgesteld dat in het nageldeel van de tweede zone tussen de buitenste omhulling en de wapeningsstaaf systematisch een holte aanwezig was (figuren 8f en 8g). Bij het doorslijpen van de nagel bevond zich in de centrale opening van de wapeningsstaaf zuiver water onder druk, niettegenstaande dat de nagels niet in het grondwater geboord werden.

Deze vaststellingen kunnen verklaard worden doordat de w/c-factor van de cementspecie (w/c=1) te hoog was om een robuust groutlichaam te vormen. Door de hoge w/c-factor was het mengsel instabiel en heeft er zich tijdens het verhardingsproces een ontmenging voorgedaan van de groutspecie met een uitzakking van de cementdeeltjes naar het onderste deel van de nagel.

Het water dat in eerste instantie de holte vulde, is vervolgens door de buitenste cementomhulling weggesijpeld. In het inwendige van de wapeningstaaf deed zich een soortgelijke ontmenging voor en was het water bij uitgraving nog aanwezig. De cementomhulling die de buitenste mantel van de nagel vormt, is afkomstig van de cementcake die zich tijdens het boren aan de omtrek van het boorgat heeft afgezet. Om dergelijke holtes te voorkomen, is een mengverhouding w/c < 0,7 aan te raden, zoals vermeld in [2].

Voor onsamenhangende grond is een w/c-factor voor de boorspecie en de injectiespecie aan te raden van w/c = 0,5.

Referenties

[1] *Projet National Clouterre; Recommandations CLOUTERRE, Pour la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des soutènements réalisés par clouage des sols, Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 1991.*

[2] *Wichter, L en Meiniger, W.; Verankerungen und vernagelungen im grundbau; Bauingenieur-Praxis; Ernst & Sohn 2000.*

bouwkroniek brengt in de loop van het jaar **2002** volgende speciale nummers uit:

Voor info en speciale
advertentievoorwaarden :
tel.: 02/513.82.95
e-mail:
bouwkroniek@bouwkroniek.be
of surf naar
www.bouwkroniek.be

Materieelgids
www.materieelgids.be
6 september

Beton

15 oktober

Bouwkalender

20 december