

Eindrapport

Onderzoek grondkering

Afstudeerproject
Ongelijkvloerse kruising RW7 en Lemmerweg te Sneek

Definitief

Grontmij Nederland bv
Hogeschool Utrecht

Grontmij Nederland bv
De Bilt, 9 juni 2006

Verantwoording

Titel : Eindrapport
Onderzoek grondkering
Projectnummer : 172008
Referentienummer : I&M/20060609/AN/af
Revisie : 1
Datum : 9 juni 2006

Auteur(s) : Arwin Jibodh en Niels van der Voort
E-mail adres : arwin@jibodh.net en nielsvandervoort@planet.nl
Gecontroleerd door :
Paraaf gecontroleerd :
Goedgekeurd door :
Paraaf goedgekeurd :
Contact : De Holle Bilt 22
3732 HM De Bilt
Postbus 203
3730 AE De Bilt
T +31 30 220 75 56
F +31 30 220 50 84
E infraenmilieu@grontmij.nl

Samenvatting

Door de steeds toenemende verkeersintensiteit in dichtbevolkt gebied bestaat de wens al enige tijd om het traject Rijksweg 7 langs Sneek aan te passen. De aanpassingen moeten oplossingen bieden voor problemen als verkeersveiligheid, geluidhinder en filevorming. Het opheffen van de gelijkvloerse kruising Rijksweg 7 en Lemmerweg heeft een positieve werking op de verkeersveiligheid. Om een goede doorstroming van het verkeer op het ongelijkvloerse kruispunt te waarborgen is in het voorontwerp gekozen voor een rotonde boven de Rijksweg 7. Ook wordt de Rijksweg 7 opgewaardeerd naar een 2x2-strooks autoweg. De toe- en afritten naar de hooggelegen kruising, circa 6,3m boven de Rijksweg, lopen over grondlichamen die in het voorontwerp worden gekeerd door stalen damwanden. Een alternatievensessie met de opdrachtgever leverde de vraag op te kijken naar mogelijke alternatieven voor deze grondkerende constructie.

De opdrachtgever heeft een aantal eisen gesteld met betrekking tot de esthetica, uitvoering en kosten. De voorgenoemde eisen zijn uitgewerkt tot randvoorwaarden om op deze wijze het ontwerpproces af te bakenen. Allereerst is een literatuurstudie gedaan naar bestaande grondkerende constructies. Tevens is een materiaalonderzoek uitgevoerd waarin verschillende materialen zijn bekeken.

Aan de hand van de randvoorwaarden zijn een aantal ontwerpvarianten gemaakt. De bodemgesteldheid ter plaatse, in het bijzonder de weinig draagkrachtige veenlaag van 2 meter dik, heeft een doorslaggevende rol gespeeld in het ontwerpproces. Daarnaast is het beperken van schade aan de direct naastgelegen Rijksweg van groot belang geweest. Zonder maatregelen zakt het maaiveld aan de teen van de ophoging ongeveer 0,6 meter mee, waarbij de Rijksweg ernstig beschadigd wordt.

De ophoging krijgt een variërend niveau, van maaiveld (NAP +0,75m) tot ovatonde (NAP +6,5m). Hierdoor zullen ongelijke zettingen plaatsvinden, zonder maatregelen zal de constructie als het ware scheef zakken, en zodoende esthetisch in waarde verminderen.

Met een variantenstudie is gezocht naar een voorkeursvariant. Hierbij zijn de relevant geachte conventionele grondkerende constructies en de alternatieve grondkerende constructies uit brainstormsessies beschouwd. Als voorkeursvariant is een alternatieve constructie gekozen, alternatief C: L-palen als Berlinerwand. Door het innovatieve karakter en esthetische waarde is deze constructie als beste beoordeelt in de multicriteria-analyse. Een groot nadeel aan de constructie is het ontbreken van ervaring met het zwaar belasten van de geotextiel, waardoor een grote rek ontstaat. Er zijn momenteel geen geotextielen verkrijgbaar met een lagere rek die de constructie uitvoerbaar zouden maken. Deze textiel moet nog ontwikkeld worden.

Zodoende is gekozen voor het uitwerken van de tweede variant uit de multicriteria-analyse. De tweede als best beoordeelde constructie is de conventionele gewapende grondconstructie met geotextiel. Kostentechnisch en uitvoeringstechnisch gezien is er geen enkel ander type constructie die concurrerend genoeg is. Het ongelijk zetten van de kerende constructie is toegestaan, dit wordt esthetisch ondervangen door het plaatsen van een voorzetwand. Niet toegestaan is het meezetten van naastgelegen grondlagen. Dit probleem wordt ondervangen door het plaatsen van een ondiepe damwand die de grondlagen onder en naast de ophoging scheidt, en zorgt voor een sterk gereduceerde zetting onder de Rijksweg.

Voorwoord

In het kader van onze studie aan de Hogeschool Utrecht ronden wij, Arwin Jibodh en Niels van der Voort, de opleiding Civiele techniek af aan de hand van dit afstudeeronderzoek. Wij zijn begin februari 2006 begonnen met het afstuderen bij Grontmij in de Bilt. Grontmij is een advies- en ingenieursbureau voor bouw, infrastructuur en milieu. Dit afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij de afdeling Geotechniek van de cluster Waterbouw & Tunneltechniek.

Door ons afstudeeronderzoek intern uit te voeren bij Grontmij hebben wij gebruik kunnen maken van de kennis en faciliteiten van dit bedrijf. Daarom willen wij allereerst Ruud Steenbrink en Lotje Egmond bedanken voor begeleiding en adviezen voor het verbeteren van dit afstudeeronderzoek. Daarnaast willen wij Jaap Aalberts en Jacques Stuifbergen bedanken voor hun kritische blik. Verder bedanken wij al de mensen aan wie wij de afgelopen tijd advies hebben gevraagd voor hun assistentie en hulpvaardigheid.

Arwin Jibodh & Niels van der Voort

De Bilt, juni 2006

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
Voorwoord	4
1 Inleiding.....	7
2 Projectbeschrijving	8
2.1 Inleiding.....	8
2.2 Probleemstelling	9
2.3 Doelstelling.....	9
3 Randvoorwaarden	10
3.1 Inleiding.....	10
3.2 Programma van Eisen	10
3.3 Bodemopbouw	10
3.3.1 Grondopbouw en parameters.....	10
3.3.2 Grondwaterstanden	13
3.3.3 Grondmassief.....	13
3.3.4 Belastingen	13
3.4 Zettingen.....	14
4 Inventarisatie.....	15
4.1 Inleiding.....	15
4.2 Conventionele constructies	15
4.3 Relevantie	16
4.4 Beslismodel.....	17
4.5 Materiaalonderzoek	18
4.6 Tot slot.....	18
5 Ontwerp	19
5.1 Inleiding.....	19
5.2 Esthetische uitgangspunten.....	20
5.3 Alternatieve constructies	21
5.3.1 Alternatief A: Kistdam van Terre Armée	21
5.3.2 Alternatief B: Berlinerwand van aluminium en glas	22
5.3.3 Alternatief C: L-palen als Berlinerwandconstructie	23
5.3.4 Alternatief D: Stempelconstructie van hout.....	24
5.3.5 Alternatief E: Berlinerwand hout en glas	25
5.3.6 Alternatief F: L-wand met schanskorven	26
6 Variantenonderzoek	27
6.1 Inleiding.....	27
6.2 Elementenraming.....	27
6.3 Multicriteria-analyse.....	28
6.3.1 Variantenmatrix	28
6.3.2 Analyse varianten grondkerende constructies	29

6.3.3	Variantenmatrix	32
6.4	Tot slot.....	34
7	Uitwerking voorkeursvariant	35
7.1	Inleiding.....	35
7.2	Dimensies	35
7.3	Aandachtspunten.....	36
7.4	Overige onderdelen.....	36
8	Conclusie en aanbevelingen.....	37
	Referenties.....	38

Bijlage 1

Programma van Eisen

Bijlage 2

Materiaalonderzoek

Bijlage 3

Conventionele grondkerende constructies

Bijlage 4

Zettingen

Bijlage 5

Tabel kostenraming

Bijlage 6

Overzicht en bodemonderzoek

Bijlage 7

Langs- en dwarsdoorsneden

Bijlage 8

Ontwerp alternatieve constructies

1 Inleiding

De provincie Friesland in samenwerking met de gemeente Sneek en omliggende gemeenten heeft een masterplan ontwikkeld voor de problematiek met betrekking tot de ruimtelijke- en verkeersstructuur. De positie van de stad Sneek staat daarin centraal. Hierbij zijn de woon-, winkel-, werk- en recreatieve functies erg belangrijk. Het herinrichten van de binnenstad tot verblijfsgebied om deze functies volledig tot hun recht te laten komen heeft tot gevolg dat er geen plaats is voor een doorgaande verkeersader (Rijksweg 7). De in dit masterplan ontwikkelde visie voor dit probleem is het ongelijkvloers laten kruisen van alle lokale wegen. Om het verkeer beter te laten doorstromen wordt de bestaande Stadsrondweg opgewaardeerd tot een 2x2-strooks autoweg. Dit afstudeeronderzoek richt zich op de kruising Lemmerweg en de Rijksweg 7 in Sneek.

Door Grontmij is reeds een voorontwerp gemaakt voor bovengenoemde kruising. Het ontwerp voorziet in een ovatonde op circa 6,0 m boven de Rijksweg 7. De toe- en afritten naar deze hooggelegen kruising lopen parallel aan de huidige Rijksweg 7. Tussen de afrit en de Rijksweg 7 is een grondkerende constructie voorzien. In het huidige voorontwerp is uitgegaan van het gebruik van damwanden bij de realisatie van de toe- en afritten. Een alternatievensessie met de opdrachtgever heeft geleid tot het verzoek om nadere studie van geschikte alternatieven.

In het voorliggende rapport wordt getracht een alternatieve grondkerende constructie aan te dragen voor de situatie in Sneek.

Het rapport is als volgt opgebouwd:

- In hoofdstuk 2 wordt het project beschreven met een probleemschets en doelstelling;
- In hoofdstuk 3 worden de randvoorwaarden met betrekking tot het programma van eisen, bodemopbouw, waterstanden en andere uitgangspunten uiteengezet;
- In hoofdstuk 4 wordt een inventarisatie gemaakt van bestaande grondkerende constructies en materialen, en wordt een eerste scheiding gemaakt van huidige constructies op basis van relevantie;
- In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op het ontwerp van de alternatieve constructies;
- In hoofdstuk 6 wordt een variantenonderzoek gedaan waarin alle varianten worden beoordeeld middels een multicriteria-analyse;
- In hoofdstuk 7 wordt de voorkeursvariant uitgewerkt en toegelicht;
- In hoofdstuk 8 worden de bevindingen samengevat en zijn aanbevelingen opgenomen.

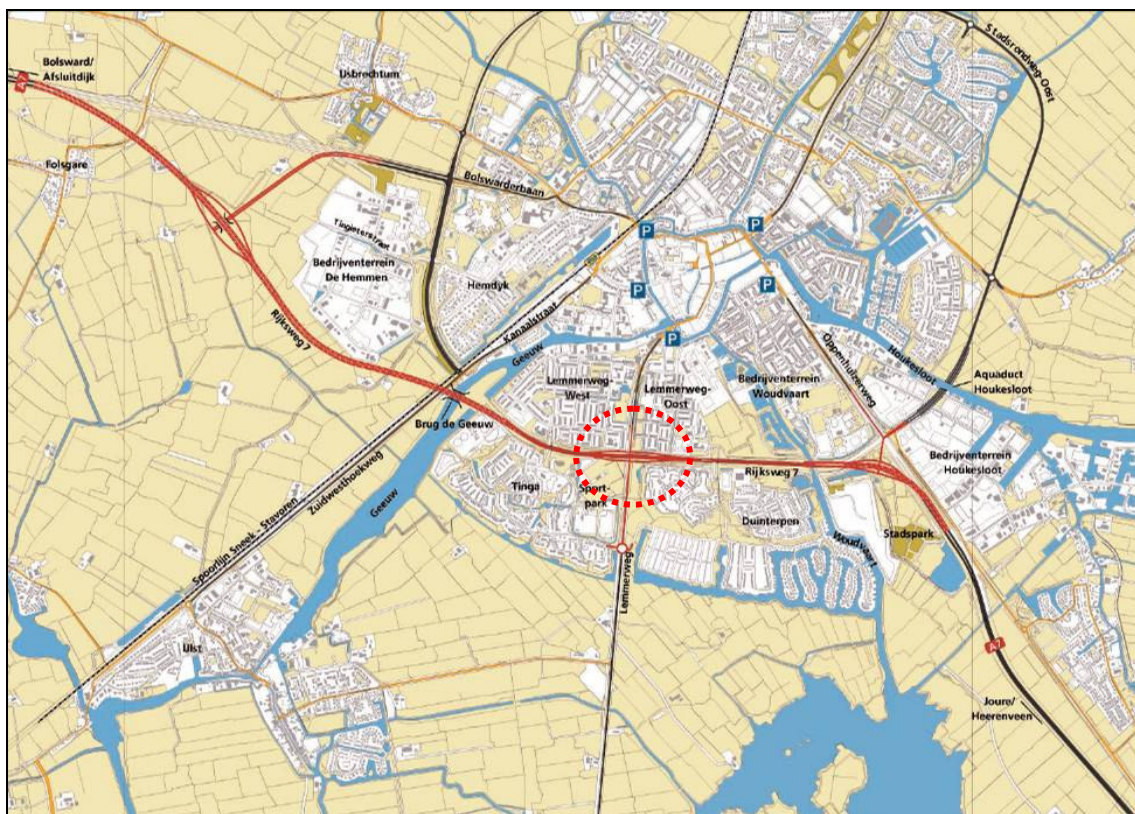
2 Projectbeschrijving

2.1 Inleiding

De Stadsrondweg om Sneek is al sinds de opstelling in 1974 een hinderpaal voor het verkeer op de autoweg A7. De Sneker rondweg zou aanvankelijk maar tijdelijk onderdeel zijn van de autoweg A7. De autoweg A7 loopt vanaf Zaandam (knooppunt met de A8) naar de Duitse grens bij Nieuweschan. De A7 gaat twee maal over in de N7, namelijk bij Sneek en bij Groningen.

Dit, omdat de Rijksweg dan deel uitmaakt van de rondweg om deze steden.

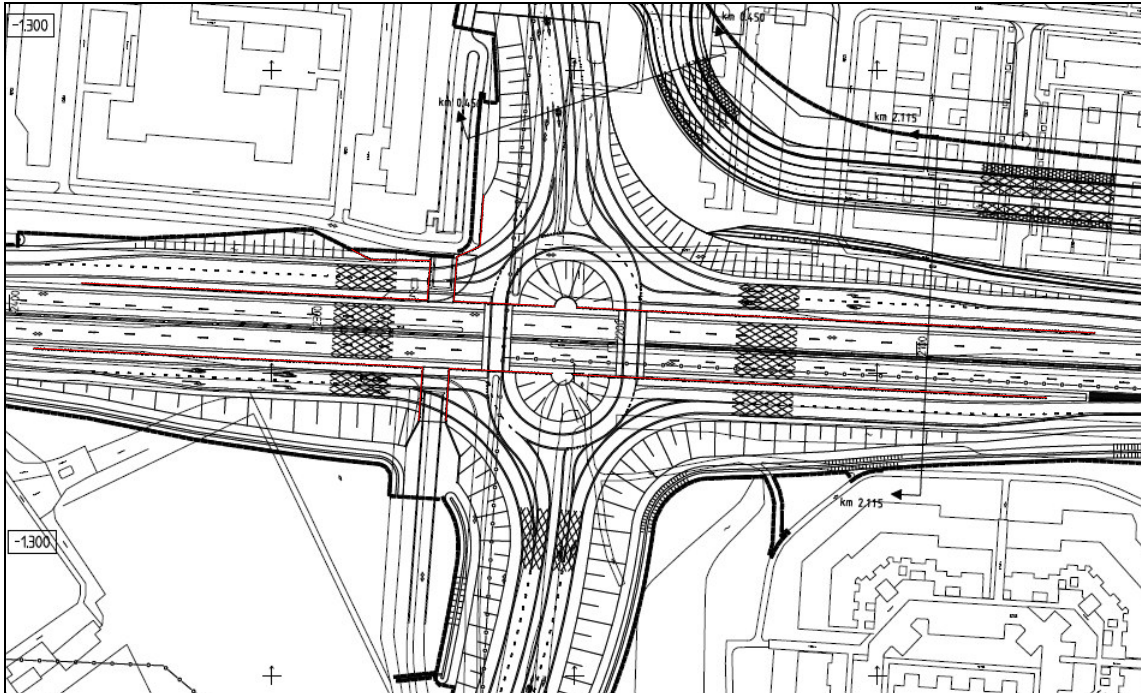
De stad Sneek heeft een centrumfunctie voor Zuidwest-Friesland. Een belangrijke verkeersader als de Rijksweg 7 door Sneek maakt dat de bereikbaarheid van de binnenstad en de bereikbaarheid van de A7-zone steeds meer onder druk komt te staan. Ook de prognoses voor de verkeerstoename geven reden tot zorg. Voor een integrale oplossing voor deze problematiek is door de provincie Friesland een masterplan ontwikkeld. In het masterplan is gekozen voor het zogenaamde COMBI-alternatief. Dit is een alternatief waarbij het huidige tracé wordt geoptimaliseerd door de huidige stadsweg om te bouwen tot een dubbelbaans autoweg. In het plan worden ook aan de oostkant van de Geeuw alle kruisingen ongelijkvloers gemaakt (Oppenhuizerweg/Joure, Duinterpen, Lemmerweg en Tinga). Het afstudeeronderzoek richt zich op de kruising Rijksweg 7 en de Lemmerweg.



Figuur 2.1.1: Tracé Rijksweg 7

2.2 Probleemstelling

Er moet een geschikt alternatief worden gezocht voor de constructie die het aan te brengen grondmassief verticaal moet keren. Hierbij dient het ontwerp zo compact mogelijk gehouden te worden.



Figuur 2.2.1: situatie voorontwerp

2.3 Doelstelling

Zoals in de probleemstelling omschreven, is de eis dat de grondkerende constructie het ontwerp compact houdt. Dat betekent dat tot een ontwerp moet worden gekomen waar de verticale beëindiging van het grondlichaam zo steil mogelijk is. Om dit te kunnen realiseren wordt een variantenonderzoek gedaan. Voorafgaand wordt eerst een vooronderzoek verricht naar mogelijke grondkerende constructies. Uit het variantenonderzoek volgt een voorkeursvariant die verder wordt uitgewerkt.

3 Randvoorwaarden

3.1 Inleiding

Het doel van dit onderzoek is het vinden van een geschikt alternatief voor de voorlopig geplande damwanden die als grondkering zullen dienen. Om tot een goed ontwerp te kunnen komen dienen de eisen, uitgangspunten en randvoorwaarden duidelijk en helder te zijn. Zodoende is dit hoofdstuk opgebouwd uit meerdere afzonderlijke paragrafen die allemaal bijdragen aan de grenzen waarbinnen een constructie moet worden ontworpen. Door het beperken van de bewegingsvrijheid in het ontwerpproces wordt gezorgd voor een passend alternatief zonder het hele scala aan mogelijkheden te hoeven overwegen. Hierdoor wordt meer aandacht besteed aan de financiële en technische eigenschappen, en zal de keuze voor een geschikt alternatief nauwkeuriger worden overwogen, en uiteindelijk worden gemaakt. De onderbouwing van de gestelde eisen, uitgangspunten en randvoorwaarden is te vinden in de bijlagen.

3.2 Programma van Eisen

Voor het ontwerp van een alternatieve grondkering is het noodzakelijk te weten wat de eisen en wensen zijn van belanghebbenden. Hiervoor is een Programma van Eisen (PvE) opgesteld. Het PvE zoals dat voor ons en ons onderzoek een leidraad is geweest is te vinden in bijlage 1. De belangrijkste eisen die wij vervolgens gefilterd hebben uit dit PvE worden hieronder opgesomd:

- Kans op congestie verkleinen;
- Kruising wordt ongelijkvloers;
- Standaard beperking t.a.v. geluid, milieu, enz;
- Binnen werkgrens, mogelijk nog compacter;
- Economisch meest aantrekkelijk;
- Bereikbaarheid gewaarborgd, verkeer niet stremmen;
- Eenduidigheid van ontwerp.

Bovenstaande eisen dienen als randvoorwaarden uit het programma van eisen voor het ontwerp en de keuze voor de meest geschikte variant voor de grondkering bij dit kruispunt.

3.3 Bodemopbouw

3.3.1 Grondopbouw en parameters

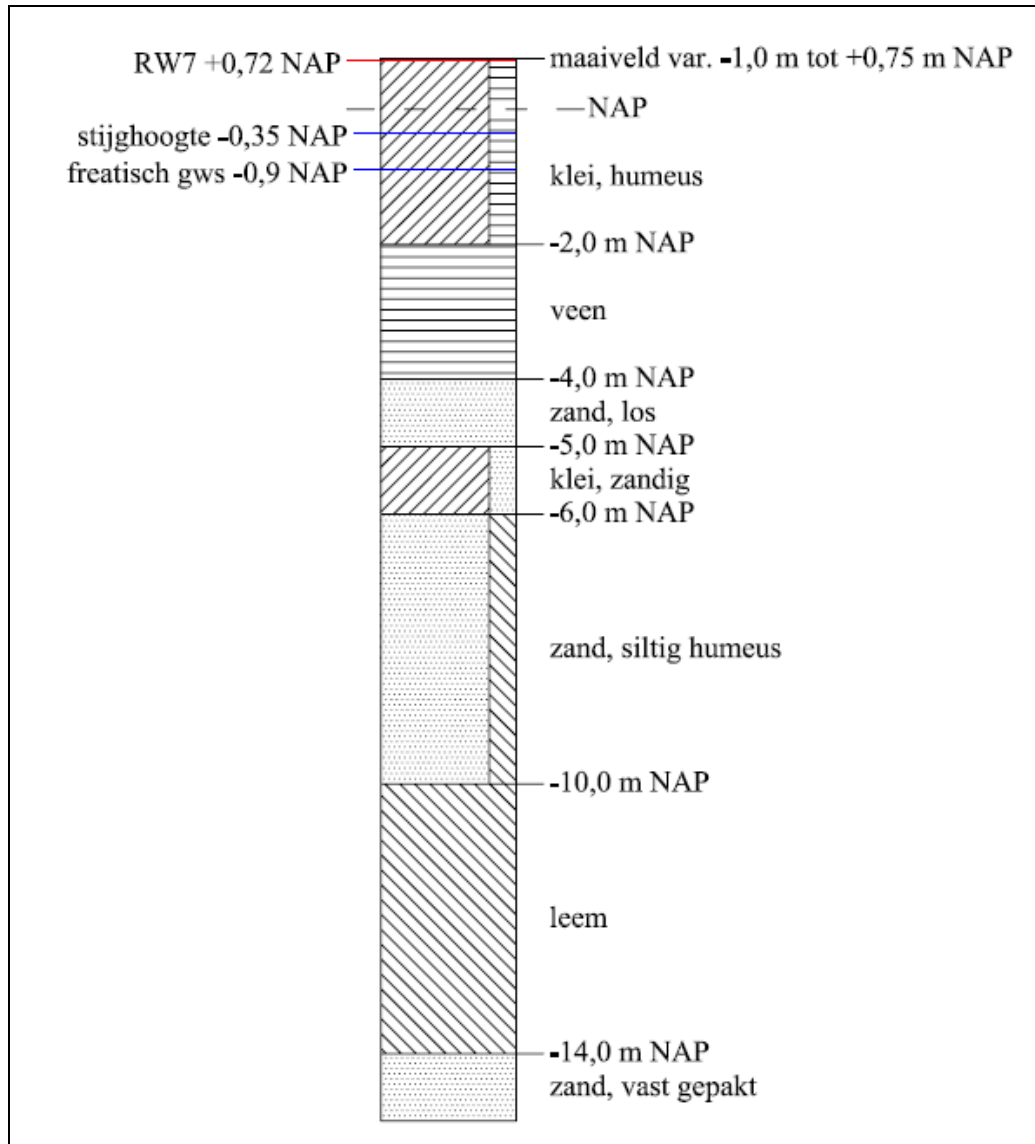
Ter plaatse van de kruising van de A7 met de Lemmerweg is door Grontmij geotechnisch onderzoek uitgevoerd. Het grondonderzoek bestaat uit:

- 22 sonderingen tot 15 à 20 meter minus maaiveld;
- 2 boringen tot 20 m minus maaiveld;
- 7 boringen tot 5 m minus maaiveld;
- 6 boringen tot 2 m minus maaiveld;
- Laboratoriumonderzoek.

Het maaiveld varieert tussen circa -1,0 m NAP à +0,25 m NAP ter plaatse van de berm tot circa +0,75 m NAP ter plaatse van de huidige rondweg. Onder de huidige rondweg is circa 2 m zand aanwezig.

De maatgevende bodemopbouw (ter plaatse van de berm van de huidige rondweg) kan op basis van het beschikbare grondonderzoek als volgt worden beschreven:

- van maaiveld tot -2,0 m NAP: klei, humeus;
- van -2,0 m NAP tot -4,0 m NAP: veen;
- van -4,0 m NAP tot -10,0 m NAP: een afwisseling van zand, zandige klei en kleiig zand;
- van -10,0 m NAP tot -14,0 m NAP: leem;
- van -14,0 m NAP tot verkende diepte: vast gepakt zand.



Figuur 3.3.1 Maatgevend bodemprofiel

Op basis van het laboratoriumonderzoek zijn de grondparameters opgesteld. In tabel 3.3.1 zijn de aangehouden parameters vermeld.

Laag	γ_{dr}/γ_{nat} [kN/m ³]	C_p [-]	C_s [-]	C'_p [-]	C'_s [-]	c' [kN/m ²]	ϕ' [°]	c_v^* [m ² /sec] oph. ≤ 1,5 m	c_v^{**} [m ² /sec] oph. > 1,5 m
Toplaag (zand)	18/20	1950	-	650	-	0	32,5	-	-
Klei siltig, korst	16/16	75	800	15	160	0	22,5	-	-
Klei humeus,	13/13	70	550	14	110	6	20	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Veen ondiep	10/10	36	122	5	30	5	15	$3 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$
Klei zandig	17/17	250	-	50	1000	2	22,5	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Veen midden diep	12/12	50	190	15	95	5	15	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Zand los	17/19	-	-	600	-	0	30	-	-
Zand siltig humeus	18/20	800	-	300	-	0	30	-	-
Leem	16/16	80	-	43	575	2	27,5	$5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Zand matig vast	18/20	-	-	-	-	0	32,5	-	-

γ_{droog}	volumiek gewicht van de grond bij natuurlijk vochtgehalte;
γ_{nat}	volumiek gewicht van de verzadigde grond;
C_p	primaire samendrukkingcoëfficiënt voor de grensspanning;
C_s	seculaire samendrukkingcoëfficiënt voor de grensspanning;
C'_p	primaire samendrukkingcoëfficiënt na de grensspanning;
C'_s	seculaire samendrukkingcoëfficiënt na de grensspanning;
ϕ'	hoek van inwendige wrijving van de grondlaag;
c'	cohesie van de grondlaag;
c_v^*	consolidatiecoëfficiënt van de grondsoort voor ophogingen kleiner of gelijk aan 1,5 m;
c_v^{**}	consolidatiecoëfficiënt van de grondsoort voor ophogingen groter dan 1,5 m.

Figuur 3.3.2 Tabel representatieve grondparameters Lemmerweg

3.3.2 Grondwaterstanden

Voor de berekeningen wordt uitgegaan van een freatische grondwaterstand op -0,9 m NAP en van een stijghoogte in het eerste watervoerend pakket van -0,35 m NAP.

3.3.3 Grondmassief

Ten behoeve van de toe- en afritten naar de hooggelegen kruising van de A7 met de Lemmerweg wordt een ophoging aangebracht. Het hoogste punt van de ophoging ligt op +6,5m NAP. Als ophoogmateriaal wordt zand toegepast. Deze wordt verondersteld een droog/nat volumiek gewicht (γ_d/γ_n) van 18 / 20 kN/m³ te hebben met een hoek van inwendige wrijving van ϕ' van 32,5° (geen cohesie). De dwars- en langsprofielen van het grondmassief zijn opgenomen in bijlage 7.

3.3.4 Belastingen

Voor de dimensionering van de totale constructie zijn de volgende twee belastingsoorten van belang: verkeersbelasting (veranderlijk) en het eigen gewicht van de constructie (permanent). Voor de verkeersbelasting in de eindsituatie mag op basis van CUR rapport 198 worden uitgegaan van 20 kN/m² ter plaatse van de verharding. Voor de bepaling van de permanente belasting is de afmeting van de verhardingsconstructie van belang. Op basis van de verkeersgegevens is voor de toe- en afritten de volgende verhardingconstructie berekend:

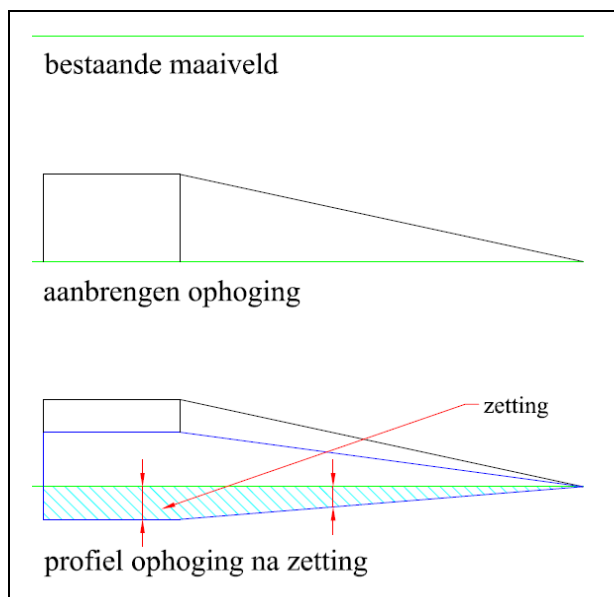
- Deklaag 5,0 cm SMA 0/11 type 2
- Tussenlaag 5,0 cm OAB 0/16 type 3
- Onderlaag 7,0 cm STAB 0/22
- Fundering 20,0 cm fosforslakken mengsel

Zie bijlage 7 voor de afmetingen van de verhardingsstroken.

3.4 Zettingen

De weinig draagkrachtige ondergrond nabij en onder de huidige kruising RW7 en Lemmerweg heeft een grote invloed op de uiteindelijke keuze van een kerende constructie. Ter plaatse van de aan te brengen ophoging bevindt zich een laag veen van circa 2m dikte, weergave van het maatgevende bodemprofiel is te vinden in paragraaf 3.3.1. De sterk samendrukbare lagen zullen inklinken onder de belasting, waarbij vooral de veenlaag voor de zettingen zorgt. Deze zettingen bij de maximale ophooghoogte bedragen uiteindelijk 1,0m (zettingen 0,9m, restzetting na 1jaar 0,1m).

Bij een ophoging c.q. belasting van de ondergrond treden er altijd zettingen op. Dit hoeft op zich geen probleem te zijn. Als gekeken wordt naar de vorm van de aan te brengen ophoging kan geconcludeerd worden dat er ongelijke zettingen zullen optreden, wat vaak wel voor een probleem zorgt. Door het variërende niveau van de ophoging zal de grondkerende constructie als het ware scheef zakken over de lengteas van de rijksweg en over de lengteas van de Lemmerweg, zie hieronder figuur 3.4.1. Deze ongelijke zettingen veroorzaken vervormingen in de constructie die de aanvankelijk aangenomen krachtswerking wijzigen, waardoor de constructie zich anders gedraagt dan tijdens het ontwerp werd aangenomen. Gevolg is dat de constructie esthetisch sterk in waarde verminderd. Bij het aanbrengen van een constructie die om esthetische reden zuiver horizontaal dient te blijven moet ook de garantie bestaan dat dit zo blijft na de uiteindelijke zetting. Er zal dus gekeken moeten worden naar een oplossing voor dit zettingsprobleem. Rekening houdend met dit aandachtspunt kan gesteld worden dat het aanbrengen van een zettingsreducerende constructie niet te voorkomen is. Door een dergelijke maatregel zal de grondkering niet verzakken, en dus esthetisch niet in waarde afnemen. De meest geschikte maatregel om de zetting te reducerende is het toepassen van een onderheide ophoging. De belasting van de ophoging en het verkeer zal door middel van een zogenaamde spijkerbedconstructie naar de draagkrachtige zandlaag worden afgedragen. De spijkerbedconstructie wordt behandeld in bijlage 4.



Figuur 3.4.1 Schematische weergave zetting door ophoging

4 Inventarisatie

4.1 Inleiding

Aangezien het ontwerp aan veel eisen en randvoorwaarden moet voldoen is het nuttig om te kijken naar huidig veel toegepaste grondkeringen en hun eigenschappen. Uit deze toepassingsgebieden en eigenschappen kan een afweging gemaakt worden welke conventionele constructies toepasbaar zijn in het beschouwde project, en welke eigenschappen bruikbaar zijn bij het ontwerp van alternatieve grondkerende constructies.

Tevens is vooronderzoek gedaan naar de gangbare materialen in grondkerende constructies, en zijn enkele nieuwe mogelijk te gebruiken materialen behandeld. Om te komen tot een goed ontwerp is het zaak goed bewust te zijn van de mogelijkheden en eigenschappen van materialen en typen grondkerende constructies. Zo is het van belang te weten waar een type constructie zijn sterkte, stijfheid en evenwicht aan ontleent. Zodoende kan de basis gevormd worden voor een functioneel ontwerp. Bestaande constructies worden niet opnieuw uitgevonden, maar door middel van het gecombineerde gebruik van eigenschappen en materialen wordt getracht tot een alternatieve grondkerende constructie te komen. Hierom wordt in dit hoofdstuk een inventarisatie van de conventionele grondkeringen en materialen gemaakt.

Om een goede basis voor het ontwerpproces te leggen wordt toegewerkt naar een selectie van relevante constructies voor dit project. Dit vindt plaats in het beslismodel. Hierna wordt ingegaan op het materiaalonderzoek.

4.2 Conventionele constructies

Er is een literatuuronderzoek gedaan naar de huidig toegepaste grondkerende constructies. In bijlage 3 zijn de verschillende typen grondkeringen beschreven, alsmede hun eigenschappen en toepassingsgebieden.

Globaal kan men de volgende kerende constructies onderscheiden:

- Gewichtconstructies:
 - Keermuren;
 - Gewapende grondconstructies
- Damwandconstructies:
 - Stalen damwanden;
 - Betonnen damwanden;
 - Houten damwanden;
 - Beschoeiingen;
 - Combiwanden;
 - Berlinerwanden;
 - Kistdammen;
 - Cellenwanden
- In de grond gevormde constructies:
 - Diepwanden;
 - Schroefboorpaalwanden

4.3 Relevantie

Om een goede afweging te kunnen maken bij het ontwerpen van een alternatief is het van belang om de eigenschappen en toepassingsgebieden van de huidige grondkeringen te kennen en herkennen. Met deze kennis in huis is het eenvoudiger om ideeën direct op haalbaarheid te toetsen.

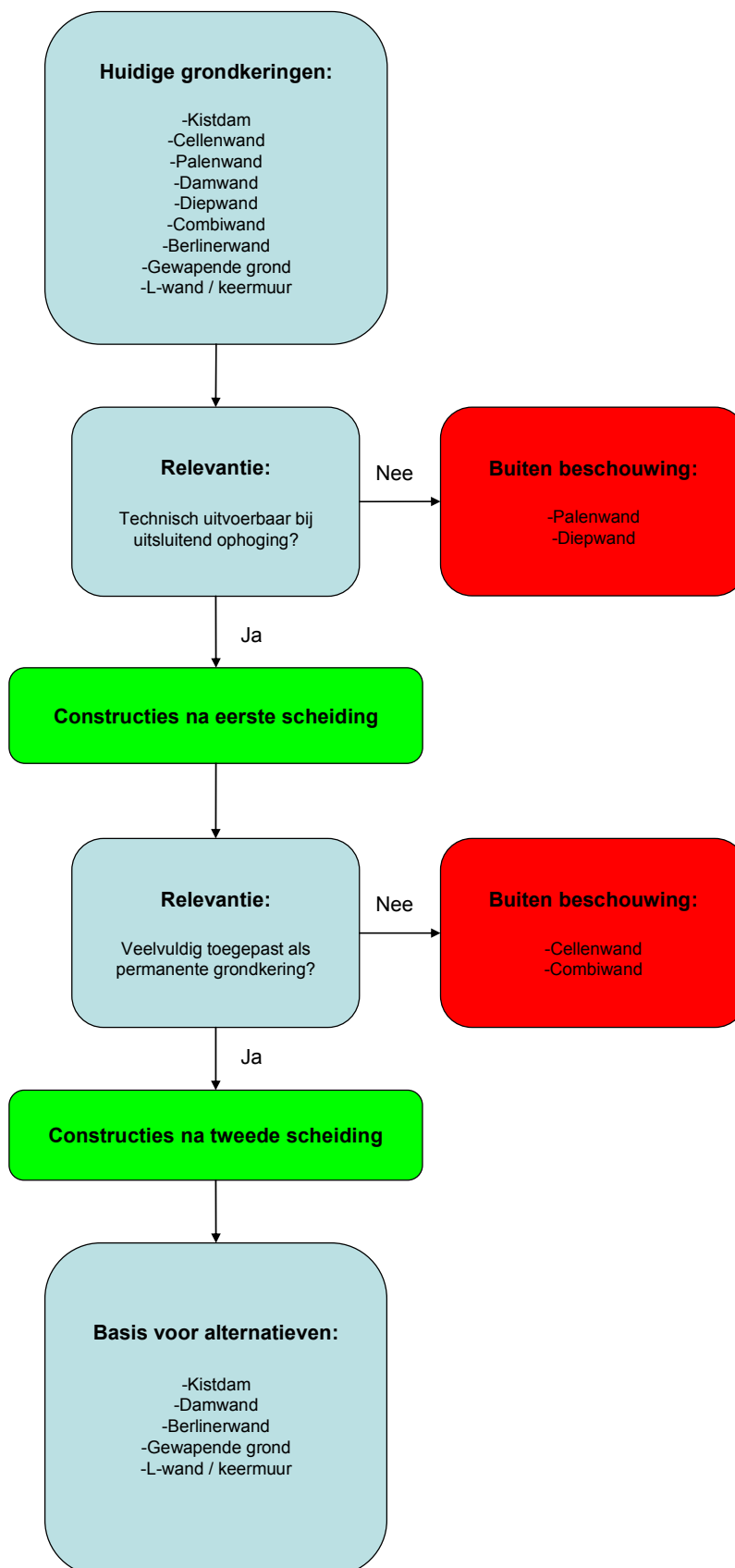
Zodoende wordt in deze paragraaf een eerste scheiding tussen relevante grondkerende constructies en voor deze situatie niet-relevante grondkeringen gemaakt. Dit gebeurt op basis van eigenschappen die voor de aan te leggen grondkering in Sneek van belang zijn, gehaald uit het hoofdstuk randvoorwaarden. Deze scheiding wordt gemaakt om uitgangspunten voor het ontwerp van de alternatieve grondkeringen te genereren. Op basis van deze uitgangspunten worden ontwerpen gemaakt die getoetst worden in de MCA.

Wat relevant is, en wat niet, is lastig in woorden uit te drukken. In dit onderzoek moet gekeken worden naar de situaties waarin typen grondkeringen normaal worden toegepast. Tevens is het zaak om te kijken naar de uitvoerbaarheid van een constructie bij dit project. Diepwanden en palenwanden worden in de grond gevormd, waarna de grond wordt ontgraven. De kruising RW7 en Lemmerweg wordt ongelijkvloers aangelegd, waarbij de toe- en afritten worden opgehoogd, niet ontgraven. Door dit grote verschil in toepassingsgebied van de constructie en ons ontwerp kunnen de in grond gevormde constructies verder buiten beschouwing worden gelaten.

Ook wordt er bij deze eerste scheiding gekeken naar de normale toepassing van de huidige constructies. Zo is te concluderen dat constructies als cellenwanden en combiwanden een zeer grote buigstijfheid bezitten. Hierom worden ze veelal toegepast als waterkeringen in zee (cellenwand) en bij diepe ontgravingen (combiwanden). Van beide toepassingen is bij dit project in Sneek geen sprake. De maximaal te keren hoogte ophoging bedraagt 5,75m. Om deze reden is gekozen om beide constructies niet verder mee te nemen in de beschouwing en te laten dienen als uitgangspunt voor onze constructiealternatieven.

Om een duidelijk beeld te geven van de hierboven genomen beslissingen is op de volgende pagina een beslismodel weergegeven.

4.4 Beslismodel



Figuur 4.4.1 Beslismodel 'Relevantie huidige constructies voor Sneek'

4.5 Materiaalonderzoek

Voor het ontwerpen van een grondkerende constructie moet een keuze worden gemaakt voor het te gebruiken materiaal. De keuze voor een materiaal in relatie tot de gehele constructie kan ingewikkeld zijn. Materiaaleigenschappen kunnen niet los worden gezien van de totale constructie en de productiemethode.

Materiaalkundige kennis en inzicht zijn onontbeerlijk om te komen tot de keuze voor een materiaal. Bepalend bij het maken van een keuze zijn onderstaande vier aspecten:

- Mechanische eigenschappen (sterkte, stijfheid);
- De bewerkbaarheid (omvormbaarheid, verbindbaarheid, verspaanbaarheid);
- Eigenschappen tijdens en na de gebruiksfase (corrosieweerstand, inspecteerbaar, repareerbaar, milieubelasting tijdens productie, recyclebaarheid, vernietigbaarheid/restwaarde);
- De verwerfbaarheid (aantal aanbieders/levertijd, kostprijs van het materiaal / halffabrikaat).

Het materiaalonderzoek is in dit verslag opgenomen als bijlage 2. Hierin zijn de eigenschappen per materiaal bekeken. Dit om tot een gefundeerde overweging te komen of een materiaal geschikt is om als onderdeel in een grondkering te worden toegepast, zowel constructief als esthetisch.

4.6 Tot slot

Het hoofdstuk Inventarisatie heeft als doel om de lezer te informeren naar het onderzoek en de afwegingen die gemaakt zijn om te komen tot een solide basis voor het ontwerpen van alternatieve grondkerende constructies. Alle huidig toegepaste grondkeringen zijn beschouwd en een materiaalonderzoek is gedaan. De huidig toegepaste grondkeringen zijn tevens behandeld in een beslismodel om de irrelevante grondkeringen voor dit project te scheiden van de relevante constructies. De conventionele constructies die uiteindelijk zijn overgebleven na het beslismodel dienen mede als basis voor het ontwerpen van alternatieven. Naast het vormen van een basis voor de ontwerpen worden de relevante conventionele constructies tevens meegewogen in de MCA. Dit om een duidelijke afweging te krijgen voor de beste grondkerende constructie voor dit project. De MCA wordt behandeld in hoofdstuk 6.

5 **Ontwerp**

5.1 Inleiding

Na het inventariseren van de randvoorwaarden, materialen en typen grondkeringen is begonnen met het ontwerpen van verschillende alternatieve grondkeringen. Naast de randvoorwaarden speelt de architectuur een grote rol in het ontwerpproces. Zo is er nadrukkelijk gekeken naar de zogenaamde ‘landmarks’ van de stad Sneek. Deze landmarks hebben een centrale rol gespeeld in de materiaal- en constructiekeuze van de alternatieven. Op de landmarks en hun relatie met de grondkering wordt dieper ingegaan in de volgende paragraaf.

In de vorm van meerdere brainstormsessies is nagedacht over mogelijke alternatieven. Zo is er tijd besteed aan totaal vernieuwende constructie- en evenwichtsmethoden. Hiernaast is er gekeken naar de mogelijkheden om oudere technieken te combineren, en zodoende samen te smelten tot een vernieuwend ontwerp.

Een scheiding van ideeën heeft plaatsgevonden na uitvoerig overleg met geotechnische adviseurs van Grontmij. Vervolgens zijn de meest haalbare ideeën uitgewerkt tot conceptontwerpen die worden beschouwd in dit hoofdstuk.

Per alternatief wordt beargumenteerd hoe tot het ontwerp is gekomen, wat de belangrijkste uitgangspunten zijn en waarom gekozen is om juist dat idee uit te werken tot een conceptontwerp.

5.2 Esthetische uitgangspunten

In de civiele techniek wordt aan de architectonische vormgeving lang niet zoveel aandacht besteed als in de utiliteitsbouw. Toch zie je steeds meer en meer dat de GWW-sector aandacht besteed aan het uiterlijk van haar bouwwerken.

Zodoende is voor het project in Sneek een prijsvraag uitgelooft voor het ontwerp van de vier bruggen die de zuidelijk gelegen wijken over de RW7 verbinden met de binnenstad van Sneek. Hier is door verschillende combinaties van architectenbureaus op gereageerd, en een commissie heeft de meest geschikte inzending gekozen voor twee van de vier bruggen. Deze bruggen worden geplaatst aan weerskanten van de kruising beschouwd in dit onderzoek. Een combinatie van architectenbureaus Onix en Achterbosch hebben de eerste prijs gewonnen met hun gedurfde ontwerp van hout. Zoals hieronder op de afbeeldingen te zien is, zijn de bruggen volledig vervaardigd uit Pinus Radiata, een naaldhoutsoort oorspronkelijk van de kust van Californië, VS. Ook de overspannende liggers worden vervaardigd uit gelamineerd naaldhout.



Figuur 5.2.1 Winnende inzending en impressie van toekomstige houten bruggen over RW7 bij Sneek

De bruggen zoals te zien op de bovenstaande figuur beloven een landmark te worden voor de toegang naar Sneek vanaf de RW7. De ongelijkvloerse kruising beschouwd in dit onderzoek ligt tussen de twee houten bruggen in, en zal dienst gaan doen als de hoofdingang van Sneek vanaf de Rijksweg. Zodoende hebben de bruggen een belangrijke rol gespeeld bij de brainstormsessies waar de alternatieven uit zijn voortgekomen. Vooral het gebruik van hout trekt de aandacht, en voor de uniformiteit tussen de verschillende kruisingen is dit een geschikt materiaal om in of bij de grondkering toe te passen. Zodoende wordt dit in de MCA sterk gewaardeerd.

Sneek is al sinds lange tijd een trekpleister voor watersportliefhebbers. De drukbezochte Friese meren zijn met elkaar verbonden door de Geeuw en de Houkesloot die samenkomen in het centrum van de stad Sneek. Het water is van groot belang voor Sneek. De gemeente is bezig om meer open water in en rond de stad te creëren, samengepakt in project 'Waterstad Sneek'. Zodoende wordt er rond de RW7 zoveel mogelijk open water gesitueerd. Dit idee, om de weg eigenlijk op te nemen in het water, heeft voor ons tot een tweede architectonisch uitgangspunt geleid. Naast hout is het gebruik, of de eigenschappen, van water van belang bij de brainstormsessies geweest.

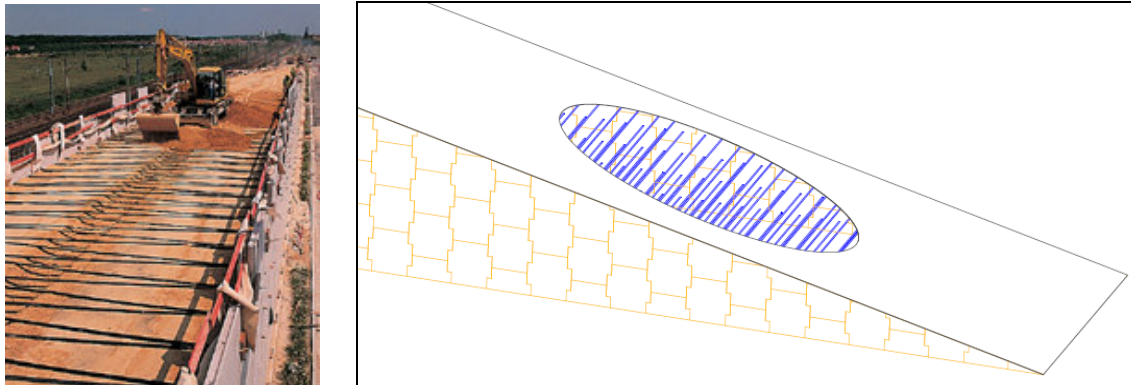
Ook de functies van het water in en rond Sneek heeft geleid tot een derde architectonisch uitgangspunt. De scheepvaart, en dan voornamelijk de bekendste der authentieke Sneker schepen, de Skûtsje. Met haar houten geraamte een sterk schip dat vroeger veel voor de binnenvaart werd gebruikt, door haar platte bodem geschikt voor de ondiepe Friese meren. Vooral het geraamte van de gelamineerde kromme houten ribben van deze boten heeft als derde uitgangspunt gediend bij de brainstormsessies.

Om een geschikt architectonisch alternatief voor de grondkering te verzinnen zijn wij uitgegaan van de volgende drie uitgangspunten: Hout, water en schepen. Bij het verzinnen van constructiealternatieven is gekeken naar de randvoorwaarden en toepassingen, maar tevens naar constructies die ruimtelijk goed in het beeld van Sneek en haar bewoners zouden passen. Zodoende is in de MCA veel aandacht besteed aan het esthetische karakter van de alternatieven.

5.3 Alternatieve constructies

5.3.1 Alternatief A: Kistdam van Terre Armée

De prefab elementen worden weerszijde opgesteld, waarna in lagen het opvulmateriaal wordt aangebracht en verdicht. Hierna weer twee nieuwe lagen elementen, de stalen strips die gebruikt worden voor het evenwicht door middel van schuifweerstand worden aan beide wanden gekoppeld. Hierdoor ontstaat een stijve constructie die grote hoogtes kan keren. Een ander voordeel is het gemak bij uitvoeren. De elementen worden prefab aangevoerd en kunnen met behulp van een kleine mobiele kraan en grondwerkers op elkaar geplaatst worden. Daarnaast moet het vulmateriaal goed verdicht worden. Enerzijds om de schuifweerstand van de grond op de wapeningstrips te mobiliseren, anderzijds om te zorgen dat de constructie niet in een later stadium zal vervormen.



Figuur 5.3.1 Kistdam van Terre Armée, toegepast en schematisch weergegeven

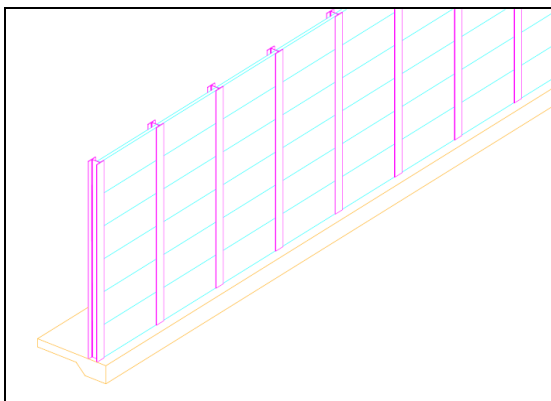
De constructie laat een gecombineerd gebruik van een toepassing zien. Het evenwicht van de betonnen panelen komt nu echter niet uitsluitend van de schuifweerstand van de stalen strips op de bodem, maar tevens uit het inwendige evenwicht tussen de tegenoverstaande panelen. Door een gelijke gronddruk aan beide zijden zal de constructie stabiel zijn.

Nadelig effect van dit inwendige evenwicht is de instabiliteit door ongelijkmatig verdeelde belastingen. Wanneer bijvoorbeeld een zwaar beladen vrachtwagen langs de kant van de afrit komt te staan, zorgt dit voor een ongelijke druk tegen twee overstaande panelen. Dit zou theoretisch tot gevolg kunnen hebben dat het ene paneel wil kantelen, en daarmee het tegenoverstaande wegtrekt. Het voorkomen van dit effect kan gedaan worden door de constructie zo te dimensioneren dat de zwaarst toelaatbare veranderlijke belasting geen noemenswaardige vervorming in de wand kan veroorzaken. Hierbij moet gerekend worden met de schuifweerstand van de gekoppelde stalen strips, deze kan dit effect sterk reduceren. Terre Armée is een populair product. Het is snel en eenvoudig te plaatsen, en op praktisch elke situatie inzetbaar. Daarbij is het een relatief goedkoop product en zijn de uitvoeringskosten laag. Bij het maken van ophogingen met variërend niveau moet rekening gehouden worden met ongelijke zettingen. Hierdoor zal deze constructie scheef zakken, en esthetisch in waarde verminderen. Esthetica is bij dit project van belang, dus wordt er gekozen voor een ontlastconstructie in de vorm van een spijkerbedconstructie met zandpalen.

5.3.2 Alternatief B: Berlinerwand van aluminium en glas

Een Berlinerwand gemaakt van aluminium kolommen en glazen panelen dient als grondkerende constructie. De aluminium staanders worden verticaal in de grond gedrukt en omstort met een betonnen voetplaat. Rekening houdend met de gevoeligheid van aluminium in combinatie met andere materialen wordt een rubbersok ter hoogte van de betonvloer om de kolom aangebracht. Deze sok wordt in het beton gestort en zorgt voor de inklemming van de kolom in de vloer, zonder dat het aluminium in aanraking komt met het beton of de wapening in de vloer. Een verdikking is in de voetplaat aangebracht ter plaatse van de kolom, dit om voor een inklemming te zorgen. Door de betonnen plaat ontwikkelt de constructie voldoende evenwicht om weerstand te bieden tegen kantelen en schuiven. In feite wordt hier gebruik gemaakt van een evenwichtsconstructie. Het glas tussen de profielen keert de grond en brengt de belasting direct over op de aluminium staanders. Er heerst een evenwicht tussen de aluminiumkolommen met glas en de betonnen voetplaat.

Achter het glas bevindt zich direct het ophoogmateriaal, het glas heeft dus een belangrijke constructieve functie. De glasplaat zal van gehard glas zijn, als deze door een ongeval beschadigd raakt of zelfs scheurt, dan zal de wapening in het glas de kracht van het grondmassief opnemen. Hierdoor zal de constructie niet direct bezwijken en haar grondkerende functie verliezen. Bij de uitvoering van deze constructie dient er met beleid te worden omgegaan met de glazen panelen omdat deze zeer gevoelig voor breuk- en scheurvorming zijn.



Figuur 5.3.2 Schema alternatief gkc



Figuur 5.3.3 Structuurglas

Het idee om glas in een van de alternatieven te verwerken was snel geboren door het uitgangspunt water. Met het glas wordt eenvoudigweg het omringende water bij de kruising naar de Rijksweg gehaald. In feite rijdt men door het water heen. Het glas zal, zoals de afbeelding, voorzien zijn van een druppelstructuur. Hierdoor wordt een regen-in-water-effect bereikt. Dit wordt esthetisch gewaardeerd, en het 'breekt' de lange afstand (circa 300m) waarover de constructie de ophoging zal keren.

In groeiend tempo wordt aluminium boven staal verkozen als metaal in de bouw van geluidwerende constructies. De voordelen van het materiaal aluminium boven staal zijn te vinden in bijlage 2. Tevens is aluminium een nieuw materiaal in de GWW-sector, en dus interessant om eens in een ontwerp te gebruiken.

Nadelen aan het ontwerp zijn de kosten en de veiligheid. Aluminium en glas zijn beide dure materialen. Vooral de benodigde dikte van het glas om de druk van het grondmassief onderaan de kering te kunnen weerstaan is groot, een grote hoeveelheid glas nodig dus. Ook bewerken van het glas is kostbaar. Hier staat tegenover dat glas erg fraai oogt.

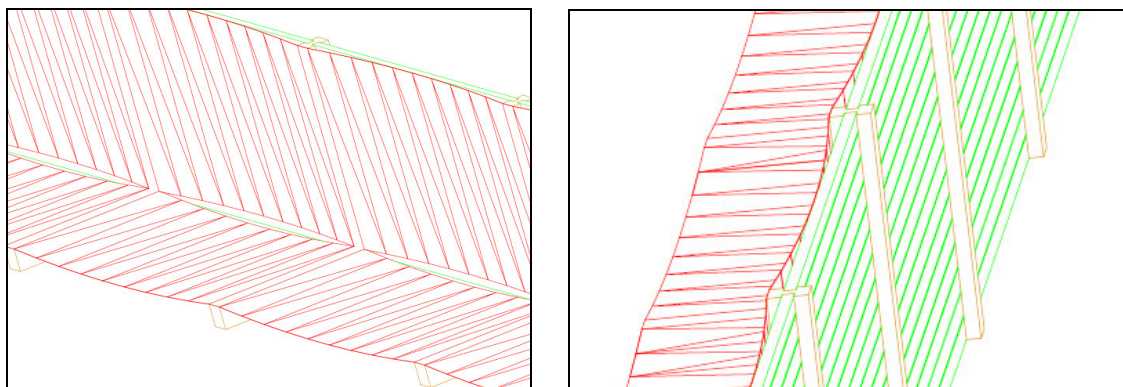
De veiligheid van een constructie met 'nieuwe' materialen is nooit zo hoog als de veiligheid van een conventionele constructie waar veel ervaring mee is. Daarnaast is glas een zeer kwetsbaar materiaal.

5.3.3 Alternatief C: L-palen als Berlinerwandconstructie

Om de grond te keren wordt een evenwichtsconstructie toegepast bestaande uit L-vormige staanders met daartussen houten balken. Deze houten balken hebben naast steunconstructie tijdens het plaatsen van de elementen geen constructieve functie meer. Het hout heeft dan een esthetisch karakter en zorgt voor uniformiteit van ontwerp in combinatie met de twee houten bruggen.

Tegen de L-vormige staanders wordt zowel horizontaal als verticaal tussen de betonnen hoekelementen geotextiel aangebracht. De geotextiel werkt dan op een soortgelijke manier als de betonnen voet- en wandpanelen bij een L-wand. De druk op het horizontaal- en de druk op het verticaal gespannen doek tussen de kolommen houdt de gehele constructie in evenwicht. De geotextiel in verticale richting tegen de houten balken heeft niet alleen een constructieve functie, het moet ook zorgen dat het ophoogmateriaal niet uitspoelt. Hiervoor wordt dus een slecht waterdoorlatend doek tegen het constructieve, zwaardere textiel aangebracht. Doordat het geotextiel zowel het hout in horizontale als het oude maaiveld in verticale richting niet raakt vindt de spanningsoverdracht uitsluitend plaats in de bevestiging van het doek op de liggers, de zogenaamde voetplaten bij een L-wand. De belasting van de gehele ophoging komt dus in feite op de textiel te rusten. Om een optimale krachtsoverdracht te bewerkstelligen mag de geotextiel de onderliggende bodem niet raken. Immers, dan zou de spanning in het doek afnemen, en wil de constructie door de horizontale grond-(en water)druk naar voren kantelen.

De liggers van de hoekprofielen zullen de gehele belasting van het ophoogmateriaal op de ondergrond afdragen. Om te zorgen dat de liggers niet in de grond worden weggedrukt onder de belasting van het ophoogmateriaal worden de liggers onderheid. Dit gebeurt met zware betonnen funderingspalen die de complete belasting van de ophoging en de grondkerende constructie naar de dragende laag (14m –NAP) afdragen.

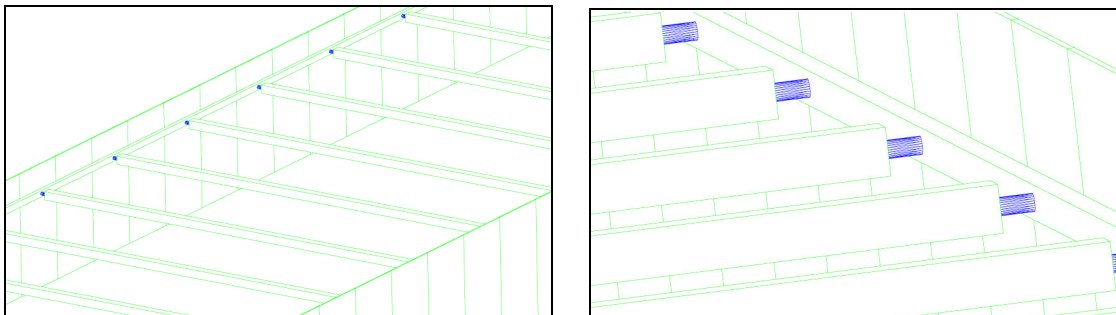


Figuur 5.3.4 Ontwerp grondkering "L-palen als Berlinerwandconstructie"

Het gebruik van verschillende materialen is erg vernieuwend voor grondkerende constructies. Vooral het toepassen van flexibele (geotextiel) en stijve (beton, hout) materialen zorgt voor het alternatieve karakter van dit ontwerp. Na bestuderen van de krachtswerking in een L-wand is gekozen om de geotextiel de functie van betonnen voet- en wandelementen te geven. Lastig hieraan is het flexibele karakter van de textiel, en daarmee het onvermogen om druk te verdelen zoals beton dat doet. Gekozen is dan ook om de textiel anders te belasten dan gangbaar is. Door een grote overspanning (5m) tussen de liggers zal de geotextiel aan een grote trekspanning worden blootgesteld. Gevolg hiervan is rek (12% bij max.belasting) in het materiaal. De bevestiging en spanning bij het aanbrengen van de constructie moet dus nauwkeurig gedimensioneerd worden, zodra het textiel de onderliggende grond raakt verliest de constructie aan stabiliteit. De haalbaarheid van deze constructie is gering, aangezien het vele nieuwe toepassingen van relatief onbekend materiaal met zich meebrengt. Bij het ontwerpen van dit alternatief is gekozen voor hout als zichtbare scheiding tussen de weg en het ophoogmateriaal. Door dit te doen ontstaat een relatie tussen de middelste, de ovatonde, en de twee buitenste kruisingen, de houten bruggen.

5.3.4 Alternatief D: Stempelconstructie van hout

Door het symmetrische ontwerp van de toe- en afritten is het mogelijk beide constructies zodanig te ontwerpen dat ze aan elkaar hun stabiliteit ontleenen. Aan de zijde van de weg wordt de ophoging verticaal begrensd door houten damplanken. Aan de bovenkant van de houten damwand wordt een gording aangebracht. Vanaf een hoogte van 4,5m worden houten balken over de weg aangebracht om de damwandconstructies aan weerszijden van de weg te stempelen. Door gebruik te maken van stempels hoeven de damplanken minder diep te worden ingeheid. Bij de uitvoering van deze variant is een hulpconstructie nodig totdat de damwanden gestempeld worden. Deze hulpconstructie mag echter geen verkeershinder veroorzaken.



Figuur 5.3.5 Ontwerp grondkering "Stempelconstructie van hout"

Hout is een materiaal dat in de brainstormsessies als een belangrijk esthetisch uitgangspunt naar voren is gekomen. Vooral het verwerken van een houten scheepsgeraamte in de constructie sprak aan om een schetsontwerp mee te maken. Zodoende is gekomen tot dit ontwerp waarbij de krachtswerking komt uit een stempelconstructie. Het verkeer verplaatst zich vanaf een te keren ophoging van meer dan 4,5m boven maaiveld onder de stempels tussen de houten wanden door. Hierdoor wordt het idee gewekt door een omgekeerde platbodem te rijden. Tevens wordt voor de stempels eenzelfde type hout als bij de bruggen aan weerskanten van de kruising gebruikt, waardoor herkenning met de twee andere kruisingen ontstaat. Het hout van de wanden zelf zal van een soortgelijk materiaal zijn, dit moet echter wel geïmpregneerd zijn tegen invloeden vanuit de bodem en de ophoging.

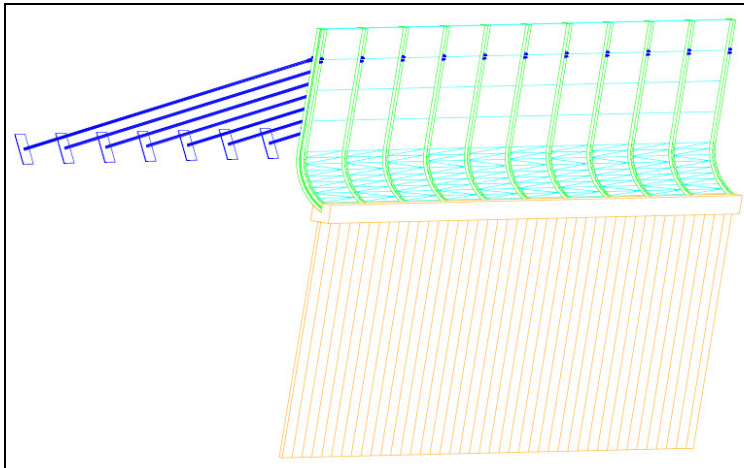
Naast het feit dat hout een esthetisch waardevol materiaal is, is het erg duur. De constructie behoeft veel hout, waardoor de prijs niet erg economisch aantrekkelijk zal zijn. Waar de kerende hoogte niet boven de 4,5m komt zullen de planken dieper geheid moeten worden, aangezien het evenwicht met de ophoging hier moet komen uit een inklemming van de damplank in de bodem.

De verkeersveiligheid zal tijdens de gebruiksduur van de constructie niet afnemen. Aangezien de vier bruggen alle vier een minimale doorrijhoogte van 4,5m (ROA) moeten hebben, zullen de stempels zo aangebracht worden dat aan deze eis voldaan wordt. Het aanbrengen van de stempels is wel een risicovolle klus, deze zullen een lengte hebben van 22m en met een kraan horizontaal boven de weg gehangen worden terwijl ze worden bevestigd. Hiervoor zal de weg afgesloten moeten worden, iets dat volgens het PvE in principe niet is toegestaan.

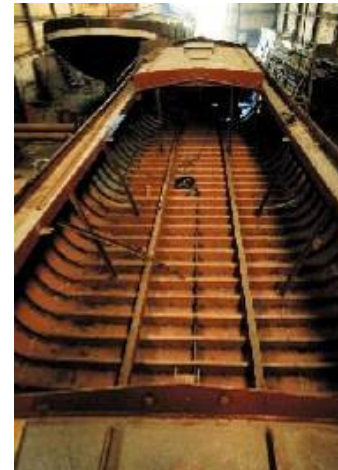
Tijdens de ontwerpfase is uitgegaan van houten damplanken met een lengte tot 15m en balken met een lengte van 22m. In de praktijk zullen deze onderdelen met afmetingen niet eenvoudig te verkrijgen zijn, waardoor ze speciaal besteld en gemaakt moeten worden. Dit zal de prijs sterk omhoog trekken.

5.3.5 Alternatief E: Berlinerwand hout en glas

Een grondkerende constructie geïnspireerd op het verleden van de omgeving is een constructie waarbij de kering de vorm heeft van de wanden van een houten schip. Rijdend over de Rijksweg moet men de indruk krijgen dat men zich bevindt in een schip. De constructie bestaat uit gekromde houten staanders die op een betonnen wand worden geplaatst. Met behulp van ankers met ankerschotten worden de houten staanders in evenwicht gehouden. Tussen de staanders worden glazen planken in de daarvoor gemaakte sponningen aangebracht die de grond keren. Het glas is voorzien van structuur in de vorm van waterdruppels en is blauw getint. Hiervoor is gekozen om de band met het water en pleziervaart aan te halen.



Figuur 5.3.6 Ontwerp grondkering "Berlinerwand hout en glas"



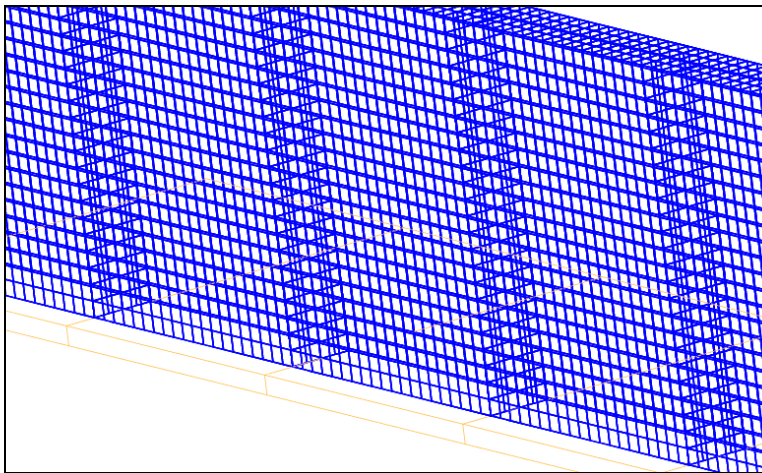
Figuur 5.3.7 Geraamte Skûtsje

Dit ontwerp is gebaseerd op esthetisch uitgangspunt 'schip'. Zoals te zien op de figuur hierboven is een zelfde constructieopbouw voor de grondkering gemaakt. Hierbij is verder niet gelet op de kosten of de uitvoering, puur en alleen het ontwerp op basis van esthetica is hier aan bod gekomen. Toen eenmaal het idee geboren was om de ribben uit het geraamte in de grondkering te verwerken is gekeken naar de krachtswerking en het evenwicht met de ophoging. Zodoende is gekozen voor een onzichtbare betonnen fundering annex damwandconstructie die zorgt voor evenwicht. Deze betonnen planken worden scharnierend aan de houten kolommen bevestigd. Er zal geen momentvaste verbinding zijn tussen het glas en het beton, glas reageert sterk op beton, geen enkele directe verbinding tussen deze materialen is toegestaan. Het glas draagt de druk van het grondmassief af op de kolommen. De kolommen worden een meter onder de top bevestigd aan een Leeuwanker. Dit om zodoende een steunpunt te creëren, en de dimensies van de constructieonderdelen te beperken.

Niet alleen het schip heeft als uitgangspunt gediend voor dit ontwerp, ook is het omringende water teruggebracht in de constructie door het toepassen van structuurglas. Net als bij alternatief B wordt een druppelmotief in het glas aangebracht, zie afbeelding 5.3.3. Tevens worden de onderste twee glaspanelen gekromd, zodat de ronding van het schip goed terugkomt. Nadeel hieraan is de hoge kosten dat dit met zich meebrengt. Het glas krijgt een constructieve functie, dus zal gewapend worden uitgevoerd.

5.3.6 Alternatief F: L-wand met schanskorven

Een eigentijdse grondkerende constructie is de schanskorf. Schanskorven worden vaak toegepast als architecturale elementen en erosiebescherming. Steeds vaker heeft het de functie van steunende constructie en grondstabilisatie. Een variant is de schanskorf met voetplaat, een combinatie van een keermuur en een L-wand. De schanskorf wordt op een voetplaat geplaatst, waarbij wapening uit de voetplaat aan de schanskorf wordt bevestigd zodat een momentstijve hoekverbinding kan worden gerealiseerd. Naargelang de hoogte van de korf toe of afneemt kan ook de lengte van de voetplaat langer of korter worden gemaakt. Doordat de korf een ruime breedte heeft om evenwicht te bewerkstelligen wordt deze gecompartmenteerd. Het voorgelegen compartiment kan worden opgevuld met kwaliteitsstenen voor een mooi uiterlijk terwijl het achtergelegen compartiment gevuld kan worden met materiaal van lagere kwaliteit. Dit bespaart zowel tijd als geld uit en toch wordt een decoratief uitzicht behouden. Aan de achterzijde van de korf wordt een niet geweven geotextiel membraan aangebracht om te voorkomen dat het achterliggende grond tussen de stenen uitspoelt.



Figuur 5.3.7 Ontwerp “L-wand met schanskorven” en toegepast als opslagscheiding

Aan de basis van dit ontwerp staat geen van de drie vooraf bepaalde esthetische uitgangspunten. Bij deze constructie is meer gekeken naar een huidig populaire constructie om bij grondkeringen als voorzetwand te gebruiken. Echter is het uitgangspunt voor dit ontwerp geweest om de schanskorf niet als voorzetwand, maar als constructieonderdeel toe te passen. Door het momentstijf verbinden van de wapening van de vloerplaat aan het staal van de korf wordt geprobeerd een betonnen L-wand te simuleren. Om de vervorming van de korf binnen de grenswaarde te houden zullen korven aan de grondzijde verankerd moeten worden. Dit kan door middel van een trekstaaf die met ankershot op het maaiveld wordt geplaatst, en vervolgens omhult met het ophoogmateriaal. Of door middel van enkele lagen geotextiel die wordt bevestigd aan de binnenkant van de korf. Zodoende wordt een steunpunt gecreëerd. Echter, de afweging kostentechnisch wordt dan deze: is een gewapend grondmassief met geotextiel en voorzetwand van schanskorven goedkoper dan L-wand met hoge schanskorven en verankerd aan geotextiel/trekanker? Zo ja, dan heeft verder uitwerken van deze variant bij groot economisch belang geen nut.

6 Variantenonderzoek

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 4 is een beslismodel opgenomen van verschillende, huidig toegepaste grondkeringen. Vanuit dit model zijn de relevante grondkeringen voor ons project in Sneek gefilterd. De geschikte huidige constructies hebben vervolgens als uitgangspunt gediend bij het ontwerpen van alternatieve grondkeringen. Zes alternatieve constructies zijn globaal uitgewerkt, zowel in kosten als in ontwerp. Van de relevante conventionele constructies zijn eveneens de kosten berekend. Hierdoor kunnen de constructies met elkaar vergeleken worden, en een voorkeursvariant gekozen. Dit gebeurt door middel van de multicriteria-analyse, verderop in dit hoofdstuk. De motivering, beoordeling en keuze voorkeursvariant worden in dit hoofdstuk uitvoerig toegelicht.

6.2 Elementenraming

Om een goede afweging te kunnen maken op basis van de kostprijs van de verschillende grondkeringen is een globale elementenraming opgesteld. Per constructie, zowel huidig toegepast als onze alternatieven, is een prijs opgesteld. Door deze prijzen naar een prijs per strekkende meter te keren grondmassief te vertalen ontstaat een duidelijk beeld van de verschillende kostprijzen. In bijlage 5 is de volledige kostenraming opgenomen.

Om de prijzen uit te rekenen is een profiel van de toe en afritten gemaakt. In dit profiel is steeds de te beschouwen constructie ingepast waarna een prijs is berekend. De prijzen zijn opgebouwd uit materiaal, materieel en uitvoeringskosten van de oprichting. Niet meegenomen zijn de kosten voor het zand van het grondmassief. Dit omdat de hoeveelheid zand voor elke type constructie hetzelfde is.

Bij de elementenraming is er tevens geen rekening gehouden met de kosten voor het instandhouden (o.a. onderhoud) van de constructie.

Hieronder volgt een overzicht van de prijs per strekkende meter voor de conventionele constructies.

Conventionele kerende constructies	Prijs per m ¹
L-wand	€1165,-
Gewapende grond	€610,-
Stalen damwand	€1350,-
Betonnen damwand	€1735,-
Berlinerwand	€1435,-
Kistdam	€1770,-

Tabel 9.3.1 Globale kosten per m¹ conventionele grondkerende constructie

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de prijs per strekkende meter voor de alternatieve constructies.

Alternatieve kerende constructies	Prijs per m ¹
Alt. A Kistdam Terre Armee	€1565,-
Alt. B Berlinerwand van aluminium en glas	€4365,-
Alt. C L-palen als Berlinerwand	€1100,-
Alt. D Stempelconstructie	€1315,-
Alt. E Berlinerwand schip	€5525,-
Alt. F L-wand schanskorf	€1685,-

Tabel 9.3.2 Globale kosten per m¹ alternatieve grondkerende constructie

6.3 Multicriteria-analyse

Er is een opzet gemaakt voor een variantenonderzoek om te komen tot een gefundeerde keuze van een voorkeursvariant. In het variantenonderzoek is een multicriteria-analyse gedaan. In de multicriteria-analyse worden meerdere oplossingen gewaardeerd door middel van het toekennen van scores voor verschillende hoofdcriteria en daarbij behorende subcriteria. De waarderingen worden vermenigvuldigd met weegfactoren. Deze vermenigvuldiging levert een score op voor elke subcriteria bij de varianten.

Binnen de multicriteria-analyse wordt een onderverdeling gemaakt in hoofd- en deelaspecten. Op deze manier wordt een beoordeling gemaakt die nauwkeurig en objectief is. Het belang van de subcriteria binnen ieder hoofdcriterium kunnen variëren. Dit leidt tot verschillende weegfactoren in de subcriteria. Onderling worden de hoofdcriteria voorzien van weegfactoren. Uit de matrix volgt dan een variant die redelijkerwijs als voorkeursvariant kan worden aangenomen.

6.3.1 Variantenmatrix

Voor een duidelijk en inzichtelijk variantenonderzoek worden aan de hand van een variantenmatrix varianten beoordeeld. Deze matrix is op pagina 33 weergegeven.

- Wegingsfactoren hoofdaspecten

Niet alle aspecten wegen even zwaar bij de keuze van een variant. Het gewicht dat wordt toegekend aan de betreffende hoofdaspecten is om deze reden vastgesteld. Voor het toekennen van de wegingsfactor wordt 100% verdeeld over verschillende hoofdaspecten.

- Wegingsfactoren deelaspecten

De deelaspecten wegen niet allen even zwaar bij de beoordeling van een hoofdaspect. Om deze reden is er voor ieder deelaspect een wegingsfactor opgesteld dat aangeeft in welke mate het deelaspect bijdraagt bij de beoordeling van het hoofdaspect. Deelaspecten met een groot gewicht krijgen een hoog percentage toegekend en deelaspecten met een klein gewicht een laag percentage.

Sommige deelaspecten kunnen even belangrijk zijn. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat bepaalde deelaspecten dezelfde positie op de schaal delen. Over de verschillende deelaspecten wordt 100% verdeeld voor het toekennen van de wegingsfactor, evenredig aan het cijfer dat is toegekend.

- Beoordeling criteria

Aan zowel de hoofdaspecten als de deelaspecten zijn weegfactoren toegekend. De deelaspecten worden nu, per variant, beoordeeld. De beoordeling geschiedt op de schaal van 1 tot 5 bij de grondkerende variant. Hierbij is de 5 de beste score en de 1 de slechtste score van de varianten. Het kan in sommige gevallen voorkomen dat er geen onderscheid wordt gemaakt, omdat de varianten als even goed of slecht worden beoordeeld.

6.3.2 Analyse varianten grondkerende constructies

De analyse van de grondkerende constructie bestaat uit de volgende hoofdaspecten:

- Esthetica;
- Uitvoering;
- Constructie;
- Kosten.

- Esthetica

Het hoofdaspect esthetica wordt ter beoordeling onderverdeeld in de volgende deelaspecten:

- Inpassing in de omgeving;
- Vormgeving.

- Inpassing in de omgeving

De kerende constructie dient een positieve uitwerking te hebben op de beleving van mensen die nabij de constructie verblijven en hierop een uitzicht hebben en mensen die gebruik maken van omliggende infrastructuur. De stad Sneek wil zich profileren als waterstad en heeft mede daarom in het huidige traject twee houten bruggen ontworpen geïnspireerd op de draagstructuur van een zeilschip. Het is de bedoeling dat het ontwerp strookt met de achterliggende gedachte als dat van de houten bruggen. De constructie moet voldoende onderscheidende karakter hebben doch integraal opgaan in het huidige tracé. Onder de inpassing in de omgeving valt dus de uitstraling die de constructie heeft op de mens en de omgeving.

- Vormgeving

Het deelaspect vormgeving duidt op de wijze van samenstelling van de variant. Hierbij wordt gekeken naar het gebruik van materialen met de nadruk op vernieuwende en onconventionele materialen. De architectonische uitgangspunten hout, water en schepen moeten zoveel mogelijk terug te vinden zijn. Functioneel ontwerpen maar toch oog hebben voor stijlvolle vorm conform de uitgangspunten gedefinieerd in het programma van eisen.

- Uitvoering

Het hoofdaspect uitvoering wordt ter beoordeling onderverdeeld in de volgende deelaspecten:

- Bouwtijd;
- Ruimtebeslag;
- Fasering;
- Veiligheid.

- Bouwtijd

Bij de uitvoering van werken is een snelle bouwtijd altijd gewenst. Het bouwwerk is dan eerder operationeel en de overlast voor de omgeving is ook beperkt. De snelheid waarmee een constructie kan worden uitgevoerd geeft een hoge waardering. Gezien de Lemmerweg een belangrijke functie vervult voor het stadsverkeer is een snelle realisatie van groot belang. Knelpunten die zich hierdoor dan elders langs het tracé voordoen blijven beperkt.

- Ruimtebeslag

Tijdens de uitvoering wordt voor plaatsing van materieel en materiaal beslag gelegd op de nabijgelegen ruimte. Gezien de beperkte ruimte op locatie dient dit bij de uitvoering zo gering mogelijk te worden gehouden. Per rijbaan moet minimaal 1 rijstrook per rijrichting open blijven voor verkeer. Wordt er niet voldaan aan deze eis dan krijgt de constructie hiervoor een lage waardering.

- Fasering

De fasering kan afhankelijk van de variant op verschillende manieren plaatsvinden. Het is van groot belang dat een variant gefaseerd kan worden uitgevoerd omdat het verkeer op de rijksweg geen hinder mag ondervinden gedurende de uitvoering. Er moet minimaal 1 rijstrook beschikbaar blijven voor het verkeer. Echter mag de afzetting niet over een grote afstand plaatshebben. Steeds mag er een wegvak van circa 25 m worden afgezet.

- Veiligheid

De veiligheid van het uitvoerende personeel en de weggebruiker dient te allen tijde te worden gewaarborgd. Constructies mogen geen onderdelen bevatten die op een manier moeten worden aangebracht waarbij concessies worden gedaan op het gebied van veiligheid. Hissen van materiaal en materieel over de weg is niet toegestaan. Het nemen van veiligheidsmaatregelen kan de bouwtijd verlengen en extra kosten met zich mee brengen. Constructies die om handelingen vragen waarbij extra veiligheidsmaatregelen vereist zijn voor de uitvoering worden lager gewaardeerd.

- Constructie

Het hoofdaspect constructie wordt ter beoordeling onderverdeeld in de volgende deelaspecten:

- Ruimtebeslag;
- Zettingen;
- Haalbaarheid;
- Duurzaamheid;
- Veiligheid;
- Fundering landhoofd;
- Innovatief.

- Ruimtebeslag

Voor de aanleg van de toe- en afritten wordt bestaande bebouwing verwijderd. Om de te verwijderen bebouwing tot een minimum te beperken is het zaak de gehele toe- en afritten zo compact mogelijk te dimensioneren. De rijstroken op de toe- en afritten hebben vaste breedtematen conform de ROA. Ruimte die overblijft voor een grondkerende constructie is dan minimaal.

Het ruimtebeslag van de uiteindelijke constructie moet zo klein mogelijk worden gehouden. Is de grondkerende constructie breed, maar biedt het wel ruimte voor de aanleg van een wegdek dan wordt dit positief gewaardeerd.

- Zettingen

De ondergrond ter plaatse is gevoelig voor zettingen mede door de aanwezigheid van een 2 m dikke veenlaag. Het eigengewicht van de kerende constructie dient zo laag mogelijk te zijn. Constructies die voor hun evenwicht de belasting van een deel van het grondmassief dragen waardoor ongelijke zetting optreedt worden lager gewaardeerd. Ook bij het noodzakelijke gebruik van zettingremmende constructies wordt de betreffende grondkerende constructie lager gewaardeerd. Hier wordt gekeken naar het aantal benodigde vierkante meters spijkerbedconstructie. Treden er zettingen op, maar heeft dit geen consequenties op esthetisch vlak voor de grondkerende constructie zelf dan wordt dit positief beoordeeld. Het zand van het grondmassief mag wel zetten. Deze wordt later weer aangevuld tot de vereiste hoogte. Bij het

criterium zettingen wordt puur gekeken naar de constructie zelf en niet de afwerking om het esthetisch te verfraaien.

- Haalbaarheid

Voor de haalbaarheid van het ontwerp wordt deze beoordeeld op het niveau van uitvoerbaarheid. Er wordt gekeken naar de complexiteit van de constructie om in te schatten of deze problemen kan opleveren bij het ontwerp en/of uitvoering. Is de constructie eenvoudig uit te voeren, bestaat het uit gemakkelijk aan te brengen onderdelen, dan krijgt de constructie een hoge waardering. Komt bij de uitvoering een hoop techniek en specialisme kijken wat de uitvoering duur en moeilijk maakt, dan wordt dit lager gewaardeerd. Dit is van belang voor het verder uitdetailleren van de constructie, en de aannemer die de constructie moet gaan uitvoeren. Ervaring en specialisme met de constructie in huis, of zó eenvoudig dat dit niet nodig is.

- Duurzaamheid

Bij het deelaspect duurzaamheid wordt gekeken of de constructie na oplevering in goede conditie kan worden gehouden en in hoeverre daarvoor maatregelen moeten worden getroffen. De kosten ten aanzien van de maatregelen gemoeid met het onderhoud vallen hiermee indirect samen. De gebruikte materialen worden in het kader van het onderhoud ook beoordeeld op duurzaamheid. Hebben de gebruikte materialen een lange levensduur en blijft de benodigde sterkte in tijd behouden dan wordt dit positief gewaardeerd. In hoeverre wordt het materiaal aangetast door grond, grondwater en vervuiling door verkeer. De mate waarin het materiaal bestand is tegen de invloeden levert een hoge of lage waardering op.

- Veiligheid

Een robuuste constructie moet ook veilig zijn in gebruik. De constructie moet als geheel maar ook de losse onderdelen waaruit het bestaat zondermeer veilig zijn. Gekeken wordt naar de invloed op de veiligheid wanneer een dragend onderdeel van de constructie bezwijkt en hoe groot de kans daarop is. Materialen die gevoelig zijn voor breuk of doorscheuren zorgen ervoor dat de constructie een lage waardering krijgt.

- Fundering landhoofd

In de ophoging moet een funderingsconstructie worden opgenomen voor twee kunstwerken. De grote belastingen vanuit de kunstwerken dienen goed afdragen te worden. Een apart landhoofd met bijbehorende fundering is niet economisch. Het zou beter zijn beide constructies te integreren. Bij de varianten wordt bekeken in hoeverre een dergelijke integratie mogelijk is. Is de grondkerende constructie zodanig aan te passen dat de bruggen van de ovatonde middels een constructie erop of eraan gefundeerd kunnen worden dan wordt dit hoog gewaardeerd.

- Innovatief

De constructie wordt ook nog beoordeeld op het innovatieve karakter ervan. Hierbij wordt gekeken naar de combinatie van materialen en technieken welke afwijken van de gangbare principes. Worden er materialen toegepast die niet veelvuldig worden toegepast voor grondkerende constructies maar waarvan wij verwachten dat deze steeds meer toegepast gaan worden in de GWW-sector, dan krijgt dit een hoge waardering. Ook het anders toepassen van materialen dan normaal wordt meegewogen.

- Kosten

Het hoofdaspect kosten wordt ter beoordeling onderverdeeld in de volgende deelaspecten:

- Aanleg;
- Onderhoud.

- Aanleg

De kosten voor het aanleggen van de constructies dienen laag te zijn. Gebruik makend van de elementenraming wordt een waardering toegekend. In de elementenraming zijn de kosten per strekkende meter opgebouwd uit het leveren en aanbrengen van de constructie. Hierbij wordt uitgegaan dat de constructie is gemaakt van materialen die voldoen aan de levensduureis van 80 voor de grondkerende constructie. De mogelijkheid tot vervangen van constructieonderdelen gedurende deze periode is uitgesloten. Wel mag er onderhoud worden verricht om de constructie te conserveren met een tijdsinterval van minimaal 5 jaren. Hoe duurder de stichtingskosten van de constructie hoe lager de waardering.

- Onderhoud

Bij de aanlegkosten is uitgegaan van een tijdsinterval van minimaal 5 jaren voor onderhoud aan de grondkerende constructie. De kosten die gemoeid zijn met het conserveren van de constructie dienen eveneens laag uit te vallen. Ook kosten voor het reinigen van de onderdelen die de esthetica in het wegbeeld ten goede komen dienen laag te zijn. De mate waarin de constructie zich snel laat conserveren door eenvoudig te bereiken onderdelen is bepalend voor de waardering van dit criterium. Ook de te gebruiken conserveringsmiddelen, de prijs, verkrijgbaarheid en milieuvriendelijkheid, spelen mee in de beoordeling.

6.3.3 Variantenmatrix

Hierna volgt een weergave van de variantenmatrix met daarin de waardering en eindscore voor elke variant.

Toelichting waardering

5	Zeer goed
4	goed
3	neutraal
2	slecht
1	zeer slecht

Hoofdcriterium	Weegfactor	Subcriterium	Weegfactor	Waardering										Score											
				Alternatief					Conventioneel					Alternatief					Conventioneel						
				A: Kistdam Terre Armée	B: Berlinwand aluminium en glas	C: L-palen als Berlinwand	D: Stempelconstructie hout	E: Berlinwand hout en glas	F: L-wand met schanskorf	Kistdam	Damwand	Berlinwand	Geotextiel	L-wand	A: Kistdam Terre Armée	B: Berlinwand aluminium en glas	C: L-palen als Berlinwand	D: Stempelconstructie hout	E: Berlinwand hout en glas	F: L-wand met schanskorf	Kistdam	Damwand	Berlinwand	Geotextiel	L-wand
Esthetica	25%	Inpassing Vormgeving	65%	2	3	4	4	4	3	1	1	3	2	3	0,33	0,49	0,65	0,65	0,65	0,49	0,16	0,16	0,49	0,33	0,49
			35%	3	4	4	3	5	4	1	1	3	2	2	0,26	0,35	0,35	0,26	0,44	0,35	0,09	0,09	0,26	0,18	0,18
			100%																						
Uitvoering	10%	Bouwtijd Ruimtebeslag Fasering Veiligheid	10%	5	1	2	2	1	3	4	4	3	5	5	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05
			30%	4	2	4	1	2	4	1	1	3	4	4	0,12	0,06	0,12	0,03	0,06	0,12	0,03	0,03	0,09	0,12	0,12
			15%	5	4	4	2	4	4	3	4	4	5	4	0,08	0,06	0,06	0,03	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,08	0,06
			45%	3	2	3	1	2	3	1	2	2	5	2	0,14	0,09	0,14	0,05	0,09	0,14	0,05	0,09	0,09	0,23	0,09
			100%																						
Constructie	35%	Ruimtebeslag Zettingen Haalbaarheid Duurzaamheid Veiligheid Fundering landhoofd Innovatief	5%	5	4	3	1	2	2	4	4	3	5	2	0,09	0,07	0,05	0,02	0,04	0,04	0,07	0,07	0,05	0,09	0,04
			15%	1	2	3	5	5	2	5	5	3	4	2	0,05	0,11	0,16	0,26	0,26	0,11	0,26	0,26	0,16	0,21	0,11
			10%	4	2	3	1	1	3	4	5	3	5	4	0,14	0,07	0,11	0,04	0,04	0,11	0,14	0,18	0,11	0,18	0,14
			15%	5	3	2	1	1	4	5	5	3	4	5	0,26	0,16	0,11	0,05	0,05	0,21	0,26	0,26	0,16	0,21	0,26
			20%	5	1	3	2	2	4	4	4	3	5	4	0,35	0,07	0,21	0,14	0,14	0,28	0,28	0,28	0,21	0,35	0,28
			10%	4	1	5	2	1	2	3	4	1	4	3	0,14	0,04	0,18	0,07	0,04	0,07	0,11	0,14	0,04	0,14	0,11
			25%	1	5	5	3	5	4	1	1	2	2	1	0,09	0,44	0,44	0,26	0,44	0,35	0,09	0,09	0,18	0,18	0,09
			100%																						
Kosten	30%	Aanleg Onderhoud	80%	4	2	5	4	1	4	4	4	5	5	0,96	0,48	1,2	0,96	0,24	0,96	0,96	0,96	0,96	1,2	1,2	
			20%	5	1	4	4	1	5	5	5	3	4	5	0,3	0,06	0,24	0,24	0,06	0,3	0,3	0,3	0,18	0,24	0,3
			100%																						
100%													3,3	2,5	4,0	3,1	2,6	3,6	2,9	3,0	3,1	3,8	3,5		

Figuur 9.3.3 Variantenmatrix met beoordeling en voorkeursvariant

6.4 Tot slot

Uit de multicriteria-analyse komt de constructie L-palen als Berlinerwand als beste naar voren voor het project bij Sneek. Op het gebied van esthetica scoort het goed. De constructie is goed in te passen in het huidige ontwerp voor de rondweg. Vergelijkingspunten zijn de houten bruggen van de prijsvraag, de wens van Sneek waterstad te worden en de integratie in de nabije omgeving. Bij de vormgeving is uitsluitend gekeken naar het architectonische karakter van de grondkering. Deze variant combineert meerdere materialen, die echter niet nieuw zijn in grondkerende constructies. De afwisseling hout en beton geeft een speels effect.

Voor de uitvoering is gekeken naar de moeilijkheidsgraad van het verticaal aanbrengen van de geotextiel. Dit is nog nooit op een dergelijke wijze toegepast, dus is het moeilijk een idee te vormen over tijdsduur van het aanbrengen. De L-palen dienen geschoord te worden tijdens de uitvoering. Het evenwicht komt uit de schoren en later uit de geotextiel met ophoging. De uitvoering neemt niet veel ruimte in beslag en kan gefaseerd gebeuren.

Het ruimtebeslag van de zichtbare constructie na aanleg is niet gering. De kolommen zijn van redelijk formaat, waardoor de constructie verder van de weg geplaatst moet worden. Tevens moet de constructie worden onderheid. De haalbaarheid van deze constructie is hoog.

Onzekerheden zitten in het schoren en het spanningsgedrag van de geotextiel. Om hier zekerheid over te krijgen wordt dit nader onderzocht. De veiligheid van de constructie zelf is ruim voldoende. Met enkele kleine aanpassingen kan de constructie worden gebruikt als fundering voor de landhoofden van de kunstenwerken voor de ovatonde. Een sectie tussen twee palen kan zo worden verstijfd waardoor een laaggefundeerd landhoofd ontstaat. Het relatief nieuwe materiaal geotextiel krijgt een nieuwe toepassing als dit gebruikt wordt in een evenwichtsconstructie. Ook de combinatie van de textiel met zowel beton als hout is op zijn minst apart te noemen. Hierom een hoge waardering voor het innovatieve karakter.

De kosten van de L-palen als Berlinerwand vallen hoger uit dan de gewapende grondconstructie. Toch zijn de kosten voor dit alternatief lager dan alle ander brainstormalternatieven. De aanlegkosten van de constructie zijn laag omdat de gebruikte materialen eenvoudig verwerfbaar en gangbaar zijn. Op het hout na zijn alle constructies onderdelen onderhoudsvrij gedurende de levensduur.

De L-palen als Berlinerwand wordt door ons onderzoek aangedragen als alternatieve grondkerende constructie. Voor nader onderzoek zal gekeken moeten worden naar het gedrag van de geotextiel in de constructie.

Wanneer de haalbaarheid een groter percentage zou krijgen zien we de resultaten van de MCA verschuiven. Dan wordt de geotextiel de voorkeursvariant. In het dagelijkse leven bepaalt de haalbaarheid een veel groter deel van een constructiekeuze dan in dit onderzoek is aangenomen. Wanneer alleen gekeken wordt naar op ruime schaal getoetste en toegepaste constructies, dan beperkt men zichzelf in het creatieve proces op zoek naar vernieuwingen. Met de toepassing van geotextiel in een zogenaamde omslagmethode is in Nederland ruime ervaring opgebouwd. Het relatief nieuwe materiaal wordt op steeds groter wordende schaal toegepast. Op het gebied van uitvoering, constructie en kosten is dit veruit de beste variant. Er is geen enkele constructie die in deze situatie met de geogrids kan concurreren. Ondanks het ongelijk zetten van deze grondkerende constructie is het uitermate geschikt voor de situatie in Sneek. Esthetisch is de waardering wel laag. Als niet gekozen wordt voor een voorzetwand blijven de geogrids in het zicht. Kortom: deze constructie is simpel maar wel functioneel en erg goedkoop.

Zodoende wordt in het volgende hoofdstuk de gewapende grondconstructie zoals die in Sneek zal worden toegepast toegelicht. Hierbij worden de dimensies zoals opgenomen in rapport 'Grondonderzoek en ontwerp gewapende grondconstructies' van Grontmij Nederland bv in opdracht van Provincie Fryslân (doc.nr. I&M/99372633/MP/lk, revisie 1) vermeldt. Ook de ontwerpberekeningen worden in dit hoofdstuk toegelicht.

7 Uitwerking voorkeursvariant

7.1 Inleiding

Na het verkiezen van de gewapende grondconstructie boven alternatief C, de L-palen als Berlinerwand, wordt in dit hoofdstuk een ontwerp aangedragen voor de grondkerende constructie bij de kruising. In het definitieve ontwerp van Grontmij voor de kruising is een gewapende grondconstructie opgenomen, en zodoende gedimensioneerd door een adviseur van de afdeling geotechniek. Een selectie van de uitkomsten van dit rapport hebben gediend bij de uitwerking van de gewapende grondconstructie voor ons onderzoek.

Volledigheidshalve wordt zodoende een passende en haalbare, maar geenszins innovatieve, grondkering toegepast.

7.2 Dimensies

Voor er besloten is een grondkerende constructie uit te werken, is er vanuit Grontmij eerst een haalbaarheidsstudie naar een gewapende grondconstructie uitgevoerd. Een dergelijke constructie bleek haalbaar, dus een gewapende grondconstructie werd gedimensioneerd. De basis voor deze dimensionering ligt bij de bezwijkmechanismen uit het inwendig en uitwendig evenwicht. De berekeningen zijn uitgevoerd voor vier verschillende dwarsprofielen met verschillend ophoogniveau.

Uit de berekeningsresultaten volgt de benodigde wapening. Voor de wapening van de beide zijden van de grondconstructies wordt een geogrid van het type Fortrac 80/30-20 toegepast. De rekenwaarde van de treksterkte van dit grid bedraagt 46kN/m¹

Voor de beschouwde dwarsprofielen worden de volgende dimensies voor het grid aangehouden:

dwars profiel	hoogte afrit noordzijde [m+NAP]	aanlegniveau onderste grid [m+NAP]	aantal lagen geogrids [-]	lengte geogrid [m]	dikte lagen [m]	treksterkte $F_{\text{trek;d}}$ [kN/m]
hm 2180	+6,2	-0,5	13	6,0	0,5	46
hm 2140	+5,4	-0,5	12	5,0	0,5	46
hm 2120	+4,5	-0,5	10	4,0	0,5	46
hm 2080	+2,5	-0,5	6	3,0	0,5	46

Figuur 7.2.1 Tabel dimensies geogrid per dwarsprofiel

7.3 Aandachtspunten

- Gewapende grondconstructie wordt laagsgewijs opgebouwd op basis van de “omslagmethode”, laagdikte 0,5m, extra omslaglengte 2,0m, inbeddingsdiepte 1,0m;
- Een glijconstructie wordt toegepast, dit om de zettingsinvloed van de ophoging op de RW7 te scheiden en zodoende te reduceren. Dit kan door middel van het plaatsen van damwand, ingeheid tot een diepte van 7,0m –NAP om zodoende voldoende ingeklemd te worden in het pleistoceen of een zogenaamde bentonietsleuf tot 5,0m –NAP;
- Tijdens de bouwfase wordt het onderste gedeelte van het massief opgebouwd met de omslagmethode. De bovenste twee lagen worden zonder geogrid onder talud aangebracht. Wanneer er voldoende zetting is opgetreden wordt deze bruto overhoogte verwijderd en wordt het massief afgebouwd;
- In verband met de vormvastheid worden de voorste 0,75m van iedere laag aangevuld met puingranulaat 0/40;
- In verband met zettingsversnelling wordt een tijdelijke extra overhoogte toegepast (boven op de bruto ophoging) ter plaatse van de toe- en afritten. Deze voorbelasting varieert van 0,5m tot 2,0m;
- Met betrekking tot de stabiliteit wordt bij de ontgraving van de sloot langs de noordoostelijke gewapende grondconstructie het geogrid doorgetrokken over de volledige breedte van de grondconstructie.

7.4 Overige onderdelen

In deze paragraaf zijn de dimensies en uitgangspunten voor de gewapende grondconstructie opgenomen. Hiernaast dienen nog een aantal onderdelen nader te worden uitgewerkt. Deze onderdelen zijn:

- Het ontwerp van de landhoofden;
- Het ontwerp van de fietstunnels;
- De glijconstructie tussen de teen van de ophoging en de verhardingsconstructie van de RW7 ter reductie van de zettingsinvloed aan de bestaande weg;
- De invloed van de werkzaamheden op de gasleiding aan de zuidzijde van de rondweg.

8 Conclusie en aanbevelingen

Gesteld kan worden dat een gewapende grondconstructie de beste grondkerende constructie is voor de situatie in Sneek. Kostentechnisch en uitvoeringstechnisch gezien is er geen enkel ander type constructie dat concurrerend genoeg is. Voordeel van deze constructie is dat ongelijke zettingen als gevolg van het variërende niveau van de ophoging niet schadelijk zijn. Door het aanbrengen van een overhoogte kan de vereiste hoogteligging worden gerealiseerd. Wat wel een nadeel is, is dat de optredende zettingen naastgelegen grondlagen laten meezetten. Dit heeft tot gevolg dat zonder maatregelen de verhardingsconstructie van de Rijksweg meezet, en ernstig beschadigd raakt. Scheiden van de grondlagen lost het probleem van meezetten op. Hiervoor kan een ondiepe (NAP -5,5m) damwand worden toegepast die de grondspanningen scheidt. Esthetisch gezien voldoet een gewapende grondconstructie alleen niet doordat de geogrids zichtbaar zijn. Ter verfraaiing kan een voorzetwand worden geplaatst.

Van de brainstormvarianten kwam de constructie van betonnen L-palen met geogrids als beste uit de multicriteria-analyse. Bij nadere uitwerking stuitte wij op het probleem dat het geogrid bij belasting een hoge rek (12%) heeft, waardoor de hele krachtwerking in de constructie anders zou worden dan aanvankelijk was aangenomen. Om toch aan de bruikbaarheids eis te voldoen is besloten stalen strips te gebruiken om de rek van het geogrid binnen de perken te houden. Het zettingsprobleem van de grondkerende constructie is opgelost door het toepassen van betonnen funderingspalen onder de dwarsliggers. Anders dan bij de gewapende grondconstructie wordt meezetten van naastgelegen grondlagen toegestaan. Tussen de verticale grondscheidingen wordt een gedeelte van de ophoging direct op het oude maaiveld geplaatst. Onder de belasting zal zetting optreden van de onderliggende lagen optreden. Deze zetting wordt versneld door het toepassen van een extra ophoging (overhoogte). Door de grens van het te laten zetten massief verder van de weg te dimensioneren zal de zetting aan de teen van de grondkerende constructie sterk gereduceerd worden. Gevolg: Geen schade aan de Rijksweg.

Een geschikt alternatief voor de kering met damwanden zoals gedimensioneerd in het voorontwerp kan gevonden worden in een gewapende grondconstructie. Om aan esthetische wensen te voldoen wordt een voorzetwand geplaatst.

Een voorzetwand kan ook voor een stalen damwandconstructie geplaatst worden. De kosten van een verloren damwand met voorzetwand liggen echter wel hoger dan een kortere damwand en geogrids.

Een economisch voordeligere constructie dan de gewapende grondconstructie is voor deze situatie niet vindbaar.

De L-palen als Berlinerwandconstructie, de voorkeursvariant, is economisch onaantrekkelijker dan de gewapende grondconstructie. Het huidige toegepaste geotextiel bezit een rek van 12%. Om deze rek te reduceren zijn er stalen strips in het doek geweven. Wanneer de geotextiel een rek bezit van minder dan 9% kan dit worden toegepast als evenwichtsconstructie in de L-palen. Een textiel met ingeweven stalen strips zou in een laboratorium moeten worden gedimensioneerd en getoetst tot een textiel ontstaat met minder dan 9% rek.

De L-palen zouden geschikt zijn geweest door integratie van de voorzetwand in de constructie en het niet te hoeven toepassen van een spijkerbedconstructie. Geen spijkerbedconstructie door een fundering op palen en gecontroleerde zettingen buiten het invloedsgebied van de Rijksweg.

Referenties

Literatuur

Grontmij Verkeer & Infrastructuur; Handboek Geotechniek deel 4: Verticale vervorming van de grond; De Bilt, 2004

Grontmij Verkeer & Infrastructuur; Handboek Geotechniek deel 8: Kerende constructies; De Bilt, 2004

Grontmij Verkeer & Infrastructuur; Handboek Geotechniek deel 9: Grondverbeteringstechnieken; De Bilt, 2004

Hogeschool Utrecht; Geotechniek I dictaat nr. 281; Utrecht, 2001

Hogeschool Utrecht; Geotechniek II dictaat nr. 282; Utrecht, 2001

Hogeschool Utrecht; Geotechniek II werkboek dictaat nr. 273; Utrecht, 2001

Hogeschool Utrecht; Grondmechanica Funderingstechniek I dictaat nr. 235; Utrecht, 2005

Hogeschool Utrecht; Geotechniek Bijzondere ontwerpen dictaat nr. 236; Utrecht, 2005

Lange A. de; Gewapende granulaatmatras op palen; Presentatiesheets Voorbij Funderingstechniek; 2005

Ministerie van Verkeer en Waterstaat; Tracébesluit Rijksweg 7 Sneek; 2004

Nederhoed P.; Helder rapporteren; Eelderwolde 2000

Provincie Friesland; Planvoorstel A7 Sneek 'met de A van Alstubliet'; Leeuwarden, 2002

Reed Business Information Bouw & Infra; GWW kosten editie 2003; Doetinchem, 2003

Stichting CUR; CUR Publicatie 162 'Construeren met grond'; Gouda, 1993

Stichting CUR; CUR Publicatie 166 'Damwandconstructies'; Gouda, 1997

Stichting CUR; CUR Publicatie 175 'Geokunststoffen in de wegenbouw en als grondwapening'; Gouda, 1995

Stichting CUR; CUR Publicatie 198 'Kerende constructies in gewapende grond'; Gouda, 2000

Stichting CUR; CUR Publicatie 213 'Hout in de GWW-sector'; Gouda, 2003

Verruijt A.; Grondmechanica; Technische Universiteit Delft; Delft, 2003

Vreugdenhil J.J.; Programma van eisen t.b.v. voorontwerp Rijksweg 7 Sneek; Grontmij Infrastructuur & Milieu; De Bilt, 2002

Internet

www.a7sneek.nl; Website project Rijksweg 7 Sneek

www.achterboscharchitectuur.nl; Architectenbureau kunstwerken Sneek

www.bouwkostenonline.nl; Prijzen bouwproducten

www.drupsteen.com; Visualisatie ruimtelijke ontwikkelingsprojecten

www.geodelft.nl; Software voor de berekening van zettingen

www.jacbo.nl; Aannemer Boorpalen

www.keystonewalls.com; Leverancier gewapende grond constructies

www.moebiusbau.com; Aannemer gewapende grond constructies

www.ngo.nl; Nederlandse Geotextielorganisatie

www.onix.nl; Architectenbureau kunstwerken Sneek

www.spanbeton.nl; Leverancier betonproducten

www.spijkerbed.nl; Spijkerbedmethode

www.tensar.nl; Producent geotextiel

www.tudelft.nl; Bibliotheek onderzoeksrapporten

www.voorbij-groep.nl; Leverancier / Aannemer betonwerk en betonproducten

www.deblauwegrift.nl; Informatie woongebouw Utrecht

Personen

H.K. (Harald) Bosch; Grontmij Infrastructuur & Milieu afdeling: Wegen

Drs. C. (Lotje) Egmond; Grontmij Infrastructuur & Milieu afdeling: Waterbouw & Tunneltechniek, Geotechniek

Ing. M. A. (Martijn) Hage Grontmij Infrastructuur & Milieu afdeling: Wegen

A. (Ad) Honkoop; Infrastructuur & Milieu afdeling: Rail Kunstwerken

ir. J.A. (Arnold) Kleinjan; Grontmij Infrastructuur & Milieu afdeling: Waterbouw & Tunneltechniek, Geotechniek

ir. M.G.J.M. (Marco) Peters; Grontmij Infrastructuur & Milieu afdeling: Waterbouw & Tunneltechniek, Geotechniek

ing R. (Ruud) Steenbrink; Grontmij Infrastructuur & Milieu afdeling: Waterbouw & Tunneltechniek, Geotechniek

dr. U. (Ursula) Valkenier; Hogeschool Utrecht

ir. L.B. (Luit) Verbeek; Grontmij Infrastructuur & Milieu afdeling: Waterbouw & Tunneltechniek, Geotechniek

ing. J.J. (Johan) Vreugdenhil; Grontmij Infrastructuur & Milieu afdeling: Wegen

Bijlage 1

Programma van Eisen

Bijlage 1

Programma van Eisen

Inleiding

De provincie Friesland en de gemeente Sneek hebben een masterplan ontwikkeld met daarin een integrale aanpak van de verkeersproblematiek met betrekking tot de woon-, winkel- en werkfunctie en recreatieve functie van de (binnen)stad.

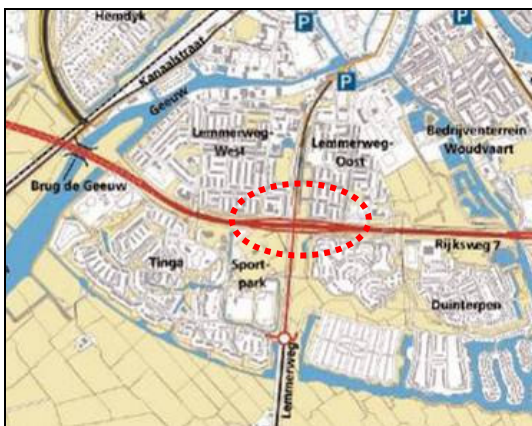
Een deelplan van bovengenoemd masterplan is het ongelijkvloers uitvoeren van de kruising van de rijksweg 7 met de Lemmerweg. Dit idee voorziet in het aanbrengen van een grondlichaam op de Lemmerweg aan weerszijden van de rijksweg 7 waarover een kunstwerk wordt gerealiseerd. Voor de verticale begrenzing van dit grondmassief dient een grondkerende constructie te worden aangebracht. In het voorontwerp van Grontmij is hiervoor een stalen damwand voorgesteld. Echter uit esthetisch en economisch oogpunt heeft de opdrachtgever het verzoek neergelegd uit te kijken naar een alternatief voor de stalen damwanden.

Voor het ontwerp van een alternatieve grondkering is het noodzakelijk te weten wat de eisen en wensen zijn van belanghebbenden. Hiervoor is een Programma van Eisen (PvE) opgesteld.

Huidige situatie

De rijksweg 7 richting Joure aan de oostzijde van Sneek en richting Bolsward aan de westzijde van Sneek wordt verbonden door de Stadsrondweg Zuid (SRZ). Deze ten zuiden van de stad gelegen verbinding heeft een belangrijke stroomfunctie voor het doorgaande verkeer op de rijksweg 7. Ook het ontsluiten van het verkeer van en naar Sneek heeft de SRZ als functie. Ingericht als autoweg met een ontwerpsnelheid van 80 km/h bestaat de weg uit twee, fysiek gescheiden, rijbanen met op elke rijbaan twee rijstroken. Kruisingen met de lokale infrastructuur zijn gelijkvloers uitgevoerd. Ten noorden van de SRZ tussen de Oppenhuizerweg en de Zuidwesthoekweg is een belangrijke fietsroute gesitueerd die onder andere de Lemmerweg kruist (Lemmerweg-noord en Lemmerweg-zuid).

In figuur 1.1 is in het rood aangegeven de betreffende kruising aangegeven.



Figuur 1.1

Locatie kruising RW7 en Lemmerweg



Figuur 1.2

Huidige situatie kruising

Doelstelling

Het project (masterplan) heeft als doel het ombouwen van de huidige SRZ tot een 2x2 autoweg met een ontwerpsnelheid van 80 km/h en ongelijkvloerse kruisingen en aansluitingen met lokale infrastructuur. Voor ons afstudeerproject wordt alleen de kruising met de Lemmerweg en de hieraan gerelateerde infrastructuur beschouwd. Onderzocht moet worden of een alternatieve grondkerende constructie bij de kruising mogelijk is. Het voorliggende PvE is bedoeld om een duidelijk en overzichtelijk beeld te geven van alle eisen en randvoorwaarden waaraan het ontwerp van de grondkerende constructie moet voldoen.

Bijlage 1 (Vervolg 1)

Eisen en uitgangspunten

Om te komen tot een goed ontwerp wordt uitgegaan van een aantal eisen en uitgangspunten. De eisen en uitgangspunten komen uit verschillende locatie en niet-locatie gebonden documentatie zoals de MER, het tracébesluit, de verschillende normen van het NNI en de voorstudie. Ten aanzien van de grondkering gelden onderstaande eisen en uitgangspunten.

- Functionele eisen

De weg op de door de keerconstructie te keren grondlichaam wordt gedimensioneerd voor verkeersklasse 60 (ROA). Restzettingen dienen zoveel mogelijk beperkt te worden (maximaal 0,10m in 10000 dagen). De lengte van de keerconstructie is mede afhankelijk van de ontwerpsnelheid en hoogteverschillen. Voor de lengte van de invoegstroken is uitgegaan van een ontwerpsnelheid van 90km/u. De doorrijhoogte bij kruisingen met de Stadsrondweg Zuid bedraagt 4,60m. Bij fietskruisingen bedraagt het 2,50m.

- Realiseerbaarheidseisen

De uitvoering dient gefaseerd te kunnen geschieden. Het verminderen van het aantal rijstroken tijdens de aanleg is mogelijk in overleg met de wegbeheerder in de door hem aangegeven periode. Tijdens de aanleg mogen niet meer dan twee rijstroken, van de vier, worden afgesloten. De bereikbaarheid van de werkvakken en kunstwerken moeten worden gewaarborgd. Doorstroming en veiligheid moeten te allen tijde worden gegarandeerd. Het ontwerp dient te worden afgestemd op mogelijkheden van werkruimte, opslagruimte en bereikbaarheid voor het verkeer. Ook moet rekening worden gehouden met aanwezige verkeersstromen. De mogelijkheden voor plaatsing van groot materieel moet ook worden overwogen.

- Bedrijfszekerheidseisen

De ontwerp levensduur van de constructie is 80 jaar (VBB 4.1.3). Het ontwerp dient eenduidig te zijn. Vergelijkbare situaties op eenzelfde wijze ontwerpen en uitvoeren.

- Milieu/landschapseisen

In het kader van Duurzaam Bouwen (DUBO) huidige materialen hergebruiken en ruimtegebruik minimaliseren.

- Onderhoudbaarheidseisen

Het moet mogelijk zijn de constructie te inspecteren zonder dat er sprake is van verkeersstremmingen. Te denken valt aan een voetpad tussen de constructie en geleiderail. Bij integratie van de keerconstructie en landhoofd voor de aanwezige kunstwerken gelden t.a.v. de opleggingen de volgende eisen:

- Te allen tijde inspecteerbaar
- Altijd vervangbaar
- Vrij van lekwater
- Stalen opleggingen voorzien van stofkap

- Eisen t.a.v. lokale kruisende infrastructuur

De bestaande fietsroute blijft gehandhaafd en wordt ter plaatse van de kruising aangepast aan de nieuwe situatie. De fietsroute kruist de Lemmerweg ongelijkvloers, waarna deze weer aansluit op het bestaande fietswegennet.

- Technische detaileisen

De aansluitingen van de elementen van de grondkering moeten lekwaterdicht zijn. Ter plaatse van het kunstwerk dient rekening te worden gehouden met een overgangsconstructie, stootplaten.

Bijlage 1 (Vervolg 2)

- Eisen/randvoorwaarden omgeving

Polderpeilen dienen zoveel mogelijk te worden gehandhaafd. De toe te passen taludhellingen moeten goed in te passen zijn in het ontwerp.

- Ruimtelijke eisen

Het ruimtebeslag van de aansluitingen dient zo beperkt mogelijk worden gehouden. Aanwezige dwars- en langsverbindingen in onderliggend wegennet, inclusief fiets- en wandelroutes dienen met voldoende ruimte te worden gehandhaafd.

- Esthetische eisen

De vormgeving van de constructie dient conform de standaard van de RWS sober te zijn. Het ontwerp moet wel passen tussen de ontworpen houten bruggen bij de wijken Tinga en Molenkrite.

- Eisen derden

Ten behoeve van onderhoud en beheer moet rekening worden gehouden met specifieke eisen van instanties zoals gemeenten, waterschappen, gemeentelijke energiebedrijven en provinciale waterstaat.

Tot slot

Het pakket programma van eisen zal als leidraad dienen bij het ontwerpen van een geschikte grondkerende constructie. Aan de gestelde eisen moet worden voldaan. De eisen vloeien voort uit standaard bepalingen, die veelal als uitgangspunten in het tracébesluit zijn opgenomen. De uitgangspunten mogen enigszins worden aangepast daar waar het niet anders kan.

Bijlage 2

Materiaalonderzoek

Bijlage 2

Materiaalonderzoek

Inleiding

Over het algemeen is het geen eenvoudige proces om uit een ruim aanbod van materialen een keuze te maken. In dit hoofdstuk Materiaalonderzoek wordt gekeken naar eigenschappen en toepassingsmogelijkheden van hout, staal, aluminium, glas en beton.

Allereerst een opsomming van de in het verleden gebruikte materialen voor soortgelijke constructies, en de eigenschappen daarvan.

Vervolgens worden materialen die voornamelijk voor andere doeleinden worden gebruikt bekeken. Hiermee wordt kennis vergaard over het toepassingsgebied en de eigenschappen van deze materialen. Mogelijk kunnen deze materialen na modificatie gebruikt worden als onderdeel in een grondkerende constructie.

Huidige materialen in grondkeringen

Materialen die sinds het bestaan van grondkeringen worden gebruikt zijn hout, staal en beton. Een nieuwer fenomeen is het toepassen van geotextiel als grondkering. De toepassing van geotextiel als grondkering valt onder de noemer gewapende grond. Ook worden gewapende grond constructies gebouwd met prefab betonelementen. Hierbij worden als ankers stalen strippen of geogrids gebruikt.

Deze paragraaf beschrijft de huidige materialen en hun eigenschappen. Ook worden toepassingen van de materialen in de praktijk belicht, en gebruikservaringen beschreven. Dit heeft als doel een goed beeld te geven van de mogelijkheden de materialen te gebruiken en om het gedrag van dergelijke keringen tijdens de gehele duur van de gebruiksfase in te schatten.

• Hout

Vanouds wordt het water in Nederland gekeerd met houten constructies. Veelal in de vorm van damwanden. Tegenwoordig worden damwanden vaak in beton of staal uitgevoerd. Voordelen van hout ten opzichte van beton en staal zijn het gewicht, hout is erg licht, de prijs, en de schok- en stootvastheid, hierdoor laat hout zich gemakkelijk bewerken.

Hout wordt vaak toegepast voor minder zware constructies. Gedacht moet worden aan diktes variërend van 4 tot 15cm. Voor damwanden van hout worden verschillende soorten hout gebruikt. Enkele soorten zijn:

- Loofhout zoals azobé, bankirai, karra, jarrah, basralocus en Europees eiken
- Naaldhout zoals Europees grenen, vuren, douglas, lariks en radiata-pine

Hout is een anisotroop materiaal. Dit betekent dat de sterkte en stijfheid afhankelijk zijn van de richting van de belasting ten opzichte van de vezelrichting. De treksterkte in de vezelrichting is vele malen groter dan de treksterkte loodrecht op de vezelrichting. Verschillende soorten hout bezitten verschillende sterktes. Dit geldt voor zowel haaks op de vezels als evenwijdig aan de vezels. De sterkte van hout dient bepaald te worden conform NEN 6760 'Houtconstructies'.

Daarin worden verschillende sterkteklassen voor hout opgegeven, deze dienen aangehouden en vermeldt te worden bij de berekeningen.

Voor houten damwanden wordt in het algemeen uitgegaan van belastingduurklasse I. Dit houdt in dat gerekend dient te worden met alle permanente belastingen en de momentane waarde van de veranderlijke belastingen langer dan 15 jaar. Bij houten damwanden in contact met water wordt meestal uitgegaan van klimaatklasse III.

Om de duurzaamheid van houten damwanden te verhogen wordt het hout vaak behandeld met creosootolie. Hierdoor wordt het hout goed beschermd tegen aantasting en uitdroging en wordt de duurzaamheid vergroot. Creosootolie werkt niet corrosief op metalen.

Hout wordt ingedeeld in duurzaamheidsklassen. Deze klassen variëren van I, meer dan 25 jaar in contact met water, tot duurzaamheidsklasse V.

Het meest gebruikte hout voor damwandprofielen is azobé. Dit is een tropische hardhoutsoort.

Als milieuvriendelijk alternatief wordt vaak bankirai of karri toegepast.

Hieronder is in het kort een opsomming met de voordelen van hout:

Bijlage 2 (Vervolg 1)

- Eenvoudige verwerkbaarheid
- Relatief lage kosten
- Eenvoudig uitvoerbaar
- Relatief weinig onderhoud
- Esthetisch waardevol
- Natuurlijk bouw materiaal
- Geen corrosie



Figuur 2.1 Houten Balk



Figuur 2.2 Hout toegepast als kering

- Staal

Staal behoort al langer dan honderd jaar tot de meest gebruikte en belangrijkste constructieonderdelen ter wereld. Staal is het belangrijkste constructiemateriaal bij de constructie van investeringsgoederen. Hierbij kan gedacht worden aan schepen, pijpleidingen, gebouwen, bruggen en andere grote en kleien constructies. De positie als belangrijk constructiemiddel dankt staal aan de volgende eigenschappen:

- Hoge treksterkte
- Hoge buigstijfheid
- Goede vervormbaarheid
- Goede lasbaarheid
- Geschiktheid voor massaproductie
- Milieuvriendelijk door hoge recyclinggraad
- Grote mate van beschikbaarheid
- Korte bouw tijd

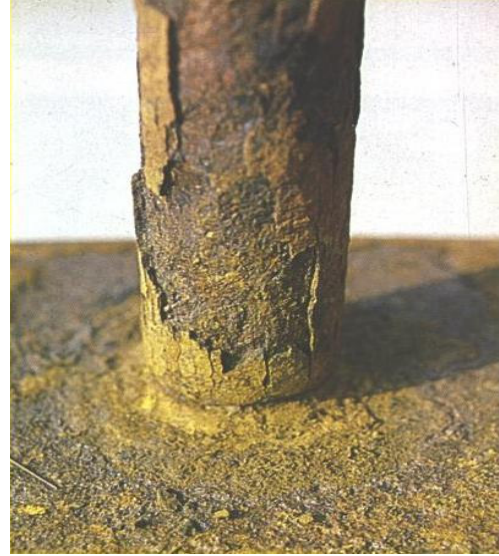
Een belangrijke eigenschap van constructiestaal is de capaciteit verschillende belastingen bij uiteenlopende temperaturen op te nemen. Dit is goed te zien bij bruggen, die veelal verschillend hoge belastingen te verduren krijgen.

Nadelig aan staal is de eigenschap te corroderen. Corrosie kan de constructie verzwakken, en uiteindelijk zelfs leiden tot bezwijken. De meeste metalen bezitten deze eigenschap.

Bijlage 2 (Vervolg 2)



Figuur 2.3 Ijzererts



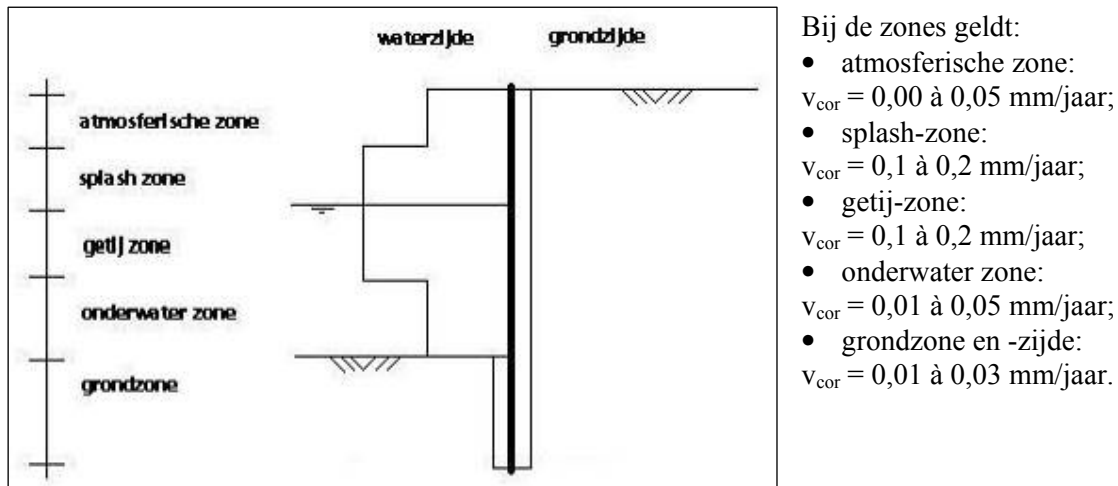
Figuur 2.4 Corrosie aan staal

IJzer (Fe) reageert met zuurstof tot ijzeroxide, ook wel roest. Sommige metalen sluiten zichzelf af met een oxydehuid. Hierdoor stopt het oxidatieproces. Deze materialen hebben dus de eigenschap het oxidatieproces te passiveren. Bij beschadigingen kan de huid zich ook herstellen, ook wel het self-healing effect genoemd. Bij ijzer heeft de gevormde oxidatiehuid een groter volume dan het moedermateriaal, en scheurt dus. Het huis is dan poreus, en de corrosie kan dieper in het staal doordringen. Dit kan verhinderd worden door aan het ijzer chroom toe te voegen. Al bij een percentage van 12% chroom ontstaat ook bij staal het self-healing effect. Dit staal wordt dan RVS, roestvast staal genoemd. Onder bepaalde omstandigheden kan RVS echter ook corroderen. Een groot nadeel aan RVS is de zeer hoge economische waarde van het materiaal. Hierom wordt verder niet specifiek op dit materiaal ingegaan.

Van groot belang voor de corrosie van damwanden is de omgeving waarin de damwand geplaatst wordt. Naast de kwaliteit van het water blijkt ook de grondsoort en de aanwezigheid van verschillende grondsoorten van belang voor de corrosiesnelheid. Door verschil in grondsoorten ontstaat een differentiële beluchting, dit bevordert het oxidatieproces. Staalconstructies hebben normaliter een lange levensduur. Echter, het onderhoud van staal kan hoge kosten met zich meebrengen. Dit kan verhinderd worden door het staal te voorzien van een beschermingslaag. Dit kan zijn een verflaag, gespoten, geschilderd of gedompeld, een bitumenlaag, een deklaag van kunststof, of een bekleding met rubber. Bij damwanden kan ook gekozen worden voor een kathodische bescherming of voor permanente waterstandverlaging om de corrosiesnelheid te verlagen.

Bijlage 2 (Vervolg 3)

Hieronder is een figuur weergegeven waarin de globale corrosiesnelheden in verschillende invloedszones zijn aangegeven.



Figuur 2.5 Damwandzones ten behoeve van de corrosiesnelheid (CUR 166)

- Beton

Regelmatig worden betonnen damwanden toegepast. Dit zijn geprefabriceerde damplanken met een dikte variërend van 120 tot 300mm. Spanbeton, een grote Nederlandse leverancier, is er recentelijk in geslaagd een damplank van 50mm dik te produceren. Betonnen damplanken zijn erg goed geschikt om hoge verticale belastingen op te nemen. Hierdoor kunnen betonnen damplanken goed toegepast worden als fundering voor bijvoorbeeld landhoofden.

Als betonnen damplanken wordt vaak gebruik gemaakt van voorgespannen betonwanden. Door het voorspannen kan een grotere stijfheid worden bereikt, evenals een grotere weerstand tegen horizontale krachten. Ook wordt de scheurvorming beperkt of tot nul gereduceerd.

Het inbrengen van betonwanden wordt meestal gedaan met een hydraulisch valblok. De heiveerstand kan hierbij worden gereduceerd door voor te spuiten of fluïderen. In bijzondere gevallen kan tevens gekozen worden voor trillend inbrengen. In vergelijking tot staal is de nauwkeurigheid van inbrengen bij betonwanden een stuk groter. De wanden kunnen waterdicht gemaakt worden door het toepassen van een voegprofiel, bijvoorbeeld van rubber.

De betonkwaliteit wordt bepaald op basis van de kubusdruksterkte. De sterktekwaliiteit van de betonwanden ligt tussen B65 en B85. De nieuw ontwikkelde damplank van 50mm dik is opgebouwd uit een hogesterkte vezelversterkte zelfverdichtend beton. Door het toepassen van voorspanning zijn grote lengtes damplanken beschikbaar. De lengtes variëren van 15 tot 21m. Andere lengtematen zijn op bestelling leverbaar.

Beton is een duurzaam materiaal, en biedt bescherming tegen corrosie. Daarom zijn betonnen damplanken goed toepasbaar in agressievere milieus. Het materiaal behoeft verder geen verduurzamingsbehandeling. Wel kunnen de wanden worden geschilderd om esthetische redenen, of behandeld met middelen om graffiti eenvoudig te kunnen verwijderen.

Bijlage 2 (Vervolg 4)

Kort een opsomming van redenen te kiezen voor betonwanden:

- Grondkerend vermogen;
- Groot verticaal draagvermogen;
- Grote buigstijfheid;
- Grond- en vloeistofdicht;
- Onderhoudsarm;
- Technisch en ecologisch duurzaam;
- Geen geleiding van zwerfstromen;
- Geen conservering nodig;
- Esthetische waarde;
- Economisch alternatief voor permanente stalen damwandconstructies

- Geotextiel

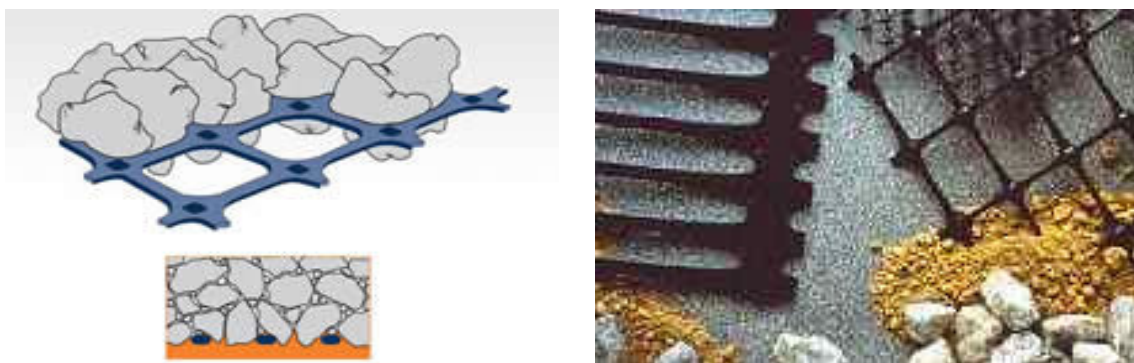
Geokunststoffen zijn flexibele materialen die in de weg-, water-, en funderingsbouw worden toegepast. Er zijn veel soorten polymeren die voor geokunststoffen gebruikt worden. Voor grondwapening zijn polymeren nodig met een gering kruipgedrag. De meest geschikte materialen die momenteel aanwezig zijn op de markt, zijn PET (polyester) en HDPE (hoge dichtheid polyethyleen). De treksterkte van deze materialen ligt tussen de 30 en 200kN/m¹. In het algemeen zijn de polymeren praktisch inert, dus niet milieubelastend. Milieuvervuiling kan hierdoor alleen optreden tijdens de uitvoering, het vermist raken van stukken geotextiel, en bij de sloop van een geotextielconstructie.

Na het verwijderen van een geotextiel is dit praktisch niet meer bruikbaar voor hetzelfde doeleinde. Dit komt doordat het tijdens het verwijderen de geotextiel niet onbeschadigd kan worden opgenomen. Wel kan de textiel in veel gevallen worden verwerkt tot andere kunststofproducten.

De matten geotextiel worden mechanisch, chemisch of thermisch samenhangend gemaakt. Hierdoor ontstaan vaste rasters van draden, garens en bandjes die worden onderverdeeld in verschillende sterkteklassen. Geokunststoffen dienen afhankelijk van de toepassing weerstand te kunnen geven aan mechanische belasting. Treksterkte, scheursterkte, ponsweerstand, lassterkte, wrijvingsweerstand en slijtvastheid kunnen nodig zijn.

Als gekeken wordt naar de duurzaamheid, laat geotextiel nog te wensen over. Door de invloed van ultraviolette straling kan het materiaal oxideren. Dit kan bros worden tot gevolg hebben, hierdoor verliest de textiel aan sterkte. Dit kan voorkomen worden door het toevoegen van anti-oxidanten.

Ten gevolge van permanente mechanische belasting vertonen de meeste geokunststoffen kruip. Dit betekent dat het materiaal verlengt, en de optredende spanning in het materiaal minder wordt. Tevens toont polyester zich in een vochtrijke omgeving gevoelig voor hydrolyse. Hierdoor verliest de textiel aan treksterkte, ongeveer 5%.



Figuur 2.6 Geotextielen: Spanningsoverdracht korrel op textiel, proefmonsters

Bijlage 2 (Vervolg 5)

Alternatieve materialen in grondkeringen

De materialen aluminium en glas worden niet zo vaak toegepast voor grondkerende constructies. Reden hiervoor is dat het gebruik hiervan om een andere benadering vraagt. Doordat staal en beton zich in het verleden hebben bewezen, is men gewend geraakt te denken in termen van beton en staal. De huidige productietechnieken zijn zo ver ontwikkeld dat de mechanische eigenschappen zo verbeterd zijn waardoor aluminium en glas in overweging kunnen worden genomen voor dergelijke constructies. Daarom volgt hieronder een beschrijving van de eigenschappen van aluminium en glas.

- Glas

Als bouw materiaal neemt glas een paradoxale positie in door “er te zijn en er niet te zijn”. Als enige materiaal kan glas door zijn aanwezigheid afwezigheid suggereren: een gat in een muur of een leegte tussen constructieve elementen. Glas is in de twintigste eeuw het meest beeldbepalende materiaal in de architectuur geworden. Vooral het vlakglas is een belangrijke toepassing. Tegenwoordig wordt dit veelal in bewerkte uitvoeringen toegepast. De jongste ontwikkeling is dat glas een dragende functie vervult. Deze functie vervult glas altijd in combinatie met andere materialen.

De toepassingsgebieden voor glas zijn erg talrijk, bijvoorbeeld:

- Isolerend vlakglas voor het wind- en waterdicht maken van een bouwwerk;
- Gevelbekleding;
- Bouwstenen;
- Versteving in verschillende materialen: glasweefsel en glasvlies
- Glasconstructies

Glas wordt verkregen door het samensmelten van metaaloxiden en kwartszand. Het vlakglas dat als basis dient, kan op veel manieren worden aangepast aan de te leveren prestaties. Er bestaan vele soorten meervoudig glas. Het vlakglas kan worden bewerkt tot bijvoorbeeld gehard glas, gelaagd glas en glasprofiel. Verder kan glas tot bouwstenen worden geperst of worden verschuimd of versponnen tot glaswolisolatie of glasvezel. Vlakglas heeft in het algemeen de volgende eigenschappen:

- Doorzichtig;
- Lichtdoorlatend;
- Weerbestendig;
- Vlak;
- Kan in gebogen vorm worden aangebracht;
- Vormvast;
- Onbeperkt beschikbaar;
- Isolatie waarde welke dat van een steenachtige spouwmuur overtreft;
- Milieuvriendelijk;
- Gemakkelijk bewerkbaar;
- Beperkte afmeting.

Het glas wordt dus toegepast vanwege de doorzichtigheid en de lichtdoorlating. Hoe groot de lichtdoorlating is, hangt af van de soort en type glas. Glas is een vormvast materiaal. Tijdens de levensduur verandert het glas weinig of niets. De weersinvloeden, zoals temperatuurwijzigingen en regen hebben geen invloed op het glas. Het enige onderhoud is af en toe een wasbeurt. Het glasoppervlak is echter zeer gevoelig voor beton, metselwerk en kalk- en cementwater, maar ook voor zuren vrijkomend bij corrosie van lood. Deze aantastingen zijn moeilijk te verwijderen. Glas is een duurzaam materiaal, kan niet rotten, roesten en dergelijke. Glas heeft een lage uitzettingscoëfficiënt, hetgeen betekent dat het weinig uitzet of krimpt. Vlakglas is een relatief sterk materiaal. De sterkte van vlakglas is afhankelijk van de afmetingen. De dikte moet worden aangepast aan het oppervlak.

Bijlage 2 (Vervolg 6)



Figuur 2.7 Glas toegepast als geluidsscherm en als overkapping

Glasbreuk treedt meestal op door verkeerde plaatsing en toepassing. Glas wordt steeds vaker dragend toegepast, bijvoorbeeld als (deel van) een verdiepingsvloer of dak. Glazen liggers behoren ook al tot de mogelijkheden. Het glas kan een grotere druksterkte dan staal opnemen. Doordat het materiaal – in tegenstelling tot staal – zonder waarschuwing bezwijkt, worden voorlopig nog ruime veiligheidcoëfficiënten gehanteerd. De kosten voor het fabriceren van glasconstructies op maat zijn vrij kostbaar. Door de te fabriceren onderdelen zodanig te maken, kunnen de montage kosten worden gereduceerd waardoor de hoge productie kosten wel opwegen. Glas is een goed recyclebaar materiaal door hersmelten. Voor de glasbereiding is zelfs toevoeging van glasscherven noodzakelijk om het glasmengsel goed te laten vloeien. De levensduur van het vlakglas legt zelf geen beperking op de levensduur van de overige materialen.

- Aluminium

Aluminium wordt toegepast als materiaal voor een ontelbaar aantal constructies. Soms vormt het een essentieel deel van de constructie en soms wordt het slechts gebruikt voor een enkel onderdeel of vanwege esthetische kenmerken. Tegenwoordig is aluminium naast staal het meest gebruikte metaal. Terwijl in 1900 de wereldproductie slechts 6700 ton bedroeg, liep deze in sneltreinvaart op naar ruim 21.000.000 ton in het jaar 2000. Door de behoefte aan duurzame en recyclebare materialen verwerft aluminium zich een steeds nadrukkelijker plaats in het aantal materialen waaruit een ontwerper kan kiezen. Aluminium onderscheidt zich op een aantal interessante punten van andere materialen:

- De materiaaleigenschappen
- De beschikbare oppervlakte behandelingen
- De beschikbare productietechnieken

Bijlage 2 (Vervolg 7)



Figuur 2.8 Aluminium toegepast als leuning op brug

Hieronder volgt een beschrijving van de positieve eigenschappen die aluminium bezit:

- Lichtgewicht: Aluminium is een zeer licht metaal. De soortelijke massa bedraagt $2,7 \cdot 10^3$ kg/m³, ongeveer een derde van het gewicht van staal;
- Sterkte: De verhouding tussen sterkte en soortelijke massa is bij aluminium erg gunstig. Dit maakt dat het vaak mogelijk is om met 50% van de massa dezelfde sterkte eigenschappen te verkrijgen als met staal. Per legering kan de sterkte variëren waardoor vele toepassingen mogelijk zijn;
- Corrosiebestendigheid: Aluminium is zeer corrosiebestendig, omdat het van nature een beschermende oxidelaag vormt. Met extra oppervlaktebehandelingen kan deze corrosiebestendigheid verbeterd worden. Dit kan het een decoratieve waarde hebben;
- Uitstekende geleider van licht en warmte: Aluminium is zeer geschikt voor de geleiding van elektriciteit en warmte. Voor dezelfde stroomdoorgang heeft men bij aluminium slechts de helft van het gewicht van koper nodig;
- Goede reflectie: Aluminium heeft een hoge reflectiegraad voor licht en warmte. Samen met het geringe gewicht is aluminium uitstekend geschikt voor reflectoren in lichtarmaturen en beschermingsdekens tegen afkoeling;
- Goede bewerkbaarheid: Afhankelijk van het legeringstype is aluminium zowel verspanend als vervormend uitstekend te bewerken. Door de goede vormbaarheid is het mogelijk om al vanaf het basisontwerp dicht bij de vorm van het eindproduct te komen;
- Decoratief: Aluminium heeft een zilverachtig uiterlijk waardoor het onbehandeld ook decoratief is. Door het materiaal te anodiseren of anderszins te finishen kan het product elke kleur en oppervlaktestructuur worden gegeven;
- Ondoordringbaar, smaakloos en niet giftig: Aluminium, ook al is het slechts 0.007mm dik, laat geen enkele geur of smaak door. Bovendien is het materiaal niet giftig;
- In overvloed aanwezig: 8% van de aardkorst bestaat uit aluminium. Na zuurstof en silicium is aluminium het meest voorkomende element in de aarde;

Bijlage 2 (Vervolg 8)

- Duurzaam: Aan het einde van de gebruiksduur is aluminium met zeer weinig energie te recycleren met behoud van kwaliteit. Het omsmelten vergt slechts 5 procent van de energie die oorspronkelijk benut is om primair aluminium te produceren. De restwaarde van aluminium wordt in de afdankfase bepaald door de markt. Doordat aluminium volledig recyclebaar is, en er een grote behoefte bestaat aan aluminium, is de restwaarde van een aluminium product over het algemeen hoger dan van andere materialen;
- Zeer geschikt voor cryogene toepassingen: De kerfslagwaarde van aluminium en aluminiumlegeringen kent bij temperatuurdalingen geen plotseling optredende vermindering zoals bij staal het geval is. Bij temperatuurdaling stijgt de kerfslagwaarde zelfs enigszins.

Bovenstaande eigenschappen maken het aantrekkelijk om aluminium als constructiemateriaal te kiezen.

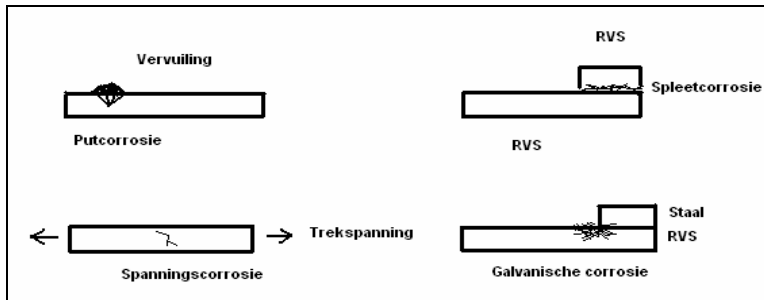
Zoals de meeste materialen kent aluminium ook minder gunstige eigenschappen. Hieronder worden de nadelen beschreven.

- Kostprijs: Aluminium is ten opzichte van staal een relatief duur materiaal. Daar staat tegenover dat door de gunstige eigenschappen en de vele toepasbare bewerkingsprocessen het mogelijk is functies te integreren. Hierdoor worden bijvoorbeeld montagekosten verminderd of wordt tijdens de gebruiksfase minder energie gebruikt. Tevens heeft aluminium bij afdanking van het product een hogere restwaarde;
- Galvanische corrosie: Aluminium kan niet zonder meer in combinatie met andere materialen worden verwerkt. Er kan galvanische corrosie optreden. Deze kan worden voorkomen door enkele maatregelen te nemen;
- Relatief lage E-modulus: De elasticiteitsmodulus die ongeveer 1/3 van staal bedraagt, is een niet structuurgevoelige eigenschap die bij legeren weinig of niet verandert;
- Afnemende sterkte bij verhoogde temperatuur: De sterkte van aluminium neemt af naarmate de temperatuur stijgt. Wanneer mechanische eigenschappen van belang zijn, is aluminium minder geschikt voor toepassingen op hogere temperaturen
- Vermoeiing vaak maatgevend: Daar waar in het diagram van Wöhler bij staal de lijn van de teruglopende sterkte na 10^6 wisselende belastingen enigszins horizontaal loopt is deze verandering bij aluminium pas zichtbaar bij 10^8 wisselingen. Dit houdt in dat aluminium onder wisselende belastingen sneller bezwijkt dan staal. Bij een wisselend belaste constructie zal in het ontwerp rekening moeten worden gehouden met dit verschijnsel.

Zowel bij de gunstige en minder gunstige eigenschappen speelt corrosie een belangrijke rol. Er zijn verschillende vormen van corrosie die bij aluminium kunnen optreden, deze zijn samen te vatten in enkele vormen van corrosie.

- Algemene corrosie; de oxidehuid wordt door het milieu opgelost, waardoor over het totale metaaloppervlak een gelijkmatige aantasting optreedt.
- Putcorrosie; deze vorm kan optreden door plaatselijke potentiaalverschillen en kan vlak op of naast de las ontstaan.
- Galvanische corrosie; komt voor als verschillende materialen contact met elkaar hebben.
- Spleetcorrosie; als spleten onvoldoende worden belucht, kan aantasting plaatsvinden.

Bijlage 2 (Vervolg 9)



Figuur 2.9 *Verskillende soorten corrosie*

Uit alle vormen van corrosie verdient de corrosie bij gelaste verbinding iets meer aandacht. Maatregelen om achteruitgang van de corrosievastheid van een gelaste verbinding zoveel mogelijk tegen te gaan, zijn:

- Juiste materiaalkeuze, zowel voor het werkstuk als het lastoevoegmateriaal;
- Het realiseren van spleetvrije constructies;
- De spanningen in het werkstuk zo laag mogelijk houden door het kiezen van een goede lasvolgorde en het lassen met een zo min mogelijke warmte-inbreng uit te voeren;
- Het oppervlak voorzien van een afdeklaag, indien er kans bestaat op het optreden van spanningscorrosie.

Met deze beknopte weergave zijn de kernpunten van aluminium beschreven. Aluminium is een mogelijkheid als materiaal voor de grondkerende constructie. Qua esthetica heeft dit materiaal mooie eigenschappen. Wel zullen de kosten bij gebruik van dit materiaal hoger uitvallen en is de kans op schade van corrosie zeker aanwezig.

Bijlage 3

Conventionele grondkerende constructies

Bijlage 3

Conventionele grondkerende constructies

Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een inventarisatie gemaakt van de grondkerende constructies waarmee steile grondlichamen worden gekeerd. Hierin is een onderscheid gemaakt tussen de huidige toegepaste keringen en een aantal alternatieve keringen.

Allereerst wordt een opsomming gemaakt van de diverse constructies waarna een globale omschrijving per constructie volgt. Het inventariseren van verschillende grondkeringen heeft uiteindelijk tot doel, inzicht te krijgen in de eigenschappen van de grondkerende constructies.

Daar waar een sprong in de hoogteligging van het oppervlak van de bodem in stand wordt gehouden door middel van een constructie is er sprake van een kerende constructie.

Om een sprong in het maaiveld te kunnen creëren is de meest voor de hand liggende manier dit uit te voeren door middel van een talud. Een groot bezwaar is echter dat taluds veel ruimte vragen, dat niet altijd mogelijk of wenselijk is.

Indien de constructie bestaat uit verticaal naast elkaar in de grond geplaatste slanke constructie-elementen van staal, hout, beton kunststof of een ander vast bouw materiaal, is sprake van een damwandconstructie. Indien de constructie bestaat uit een muur, die zijn kerende functie ontleent aan zijn eigen gewicht, is sprake van een keermuur.

Globaal kan men de volgende kerende constructies onderscheiden:

- Gewichtconstructies:
 - Keermuren;
 - Gewapende grondconstructies
- Damwandconstructies:
 - Stalen damwanden;
 - Betonnen damwanden;
 - Houten damwanden;
 - Beschoeiingen;
 - Combiwanden;
 - Berlinerwanden;
 - Kistdammen;
 - Cellenwanden
- In de grond gevormde constructies:
 - Diepwanden;
 - Schroefboorpaalwanden

Bijlage 3 (Vervolg 1)

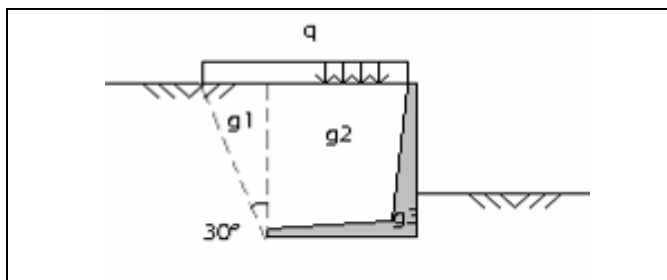
Gewichtsconstructies

Gewichtsconstructies zijn kerende constructies die hun stabiliteit ontleen aan het gewicht. De belangrijke grenstoestanden daarbij zijn kantelen en schuiven. De constructies op zich zijn meestal star, maar vervormen wel als geheel zodat de gronddrukken door middel van een interactiemodel moeten worden bepaald.

- Keermuren

Een keermuur is een gewichtsmuur die de horizontale belasting op de muur kan afdragen door zijn eigen gewicht te laten tegenwerken. Door een voetplaat toe te passen, kan het tegenwerkende gewicht nog worden vergroot.

De grond achter een L-vormige keermuur levert een resulterende horizontale en een resulterende verticale kracht op. Beide krachten veroorzaken tegengestelde momenten. In gebieden met een weinig draagkrachtige bodem worden keermuren vaak op palen gefundeerd. Vroeger werden de gewichtsmuren veelal van metselwerk gemaakt, tegenwoordig gebeurt dit bijna niet meer, beton is het meest gebruikte materiaal voor keermuren geworden. Voor grote havenwerken worden ook wel geprefabriceerde caissons als keermuur gebruikt. Deze worden dan drijvend naar de plaats van bestemming gevaren en afgezonken. Ze worden gevuld met grond om voldoende massa te verkrijgen. Caissons zijn dus te beschouwen als een bijzondere vorm van keermuren.



Figuur 3.1 Keerwand (L-wand) schematisch en bij het plaatsen

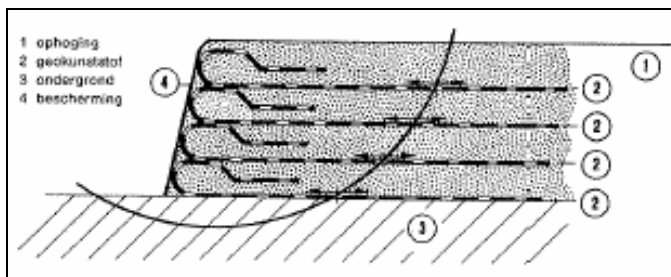
Bijlage 3 (Vervolg 2)

- Gewapende grondconstructies

Gewapende grond kan worden beschreven als grond waaraan een ander materiaal zoals kunststof of staal is toegepast. Het toegevoegde materiaal geeft de grond een grotere stijfheid en/of een grotere sterkte. Gewapende grond kan worden gerealiseerd in de vorm van een constructie van:

- grond met geokunststoffen;
- grond gemengd met kunststofvezels;
- grond met stalen wapeningsstrippen en een bekleding van betonnen panelen of staalplaten;
- grond met wapeningstrippen en een bekleding van schanskorven met stortsteenmateriaal.

Grondvernageling berust op hetzelfde principe als gewapende grond. Het systeem bestaat uit het in de grond aanbrengen van een aantal wapeningselementen of nagels, die in de grond optredende trekspanningen kunnen opnemen. Bij grondvernageling wordt de keerwand van boven naar beneden gebouwd, waarbij het bestaande talud gefaseerd in horizontale stroken met een hoogte van circa 1,4 m wordt ontgraven en vernageld met behulp van akerstangen. Nadat de strook is vernageld worden de wapeningsnetten en het spuitbeton of betonplaten aangebracht. Vervolgens wordt gestart met het ontgraven van een volgende strook.



Figuur 3.2 Steile tot verticaal talud met geogrid

Damwandconstructies

Damwanden zijn op zichzelf staande verticale elementen die onderling zijn verbonden door middel van een slotconstructie of een messing- en groefverbinding. De grond- en waterdruk wordt door de ligterwerking van de damwandprofielen en eventueel een verankering naar de ondergrond afgedragen. De damwand gedraagt zich als een ingeklemde ligger, al dan niet met steunpunt door anker, of als een ligger op twee steunpunten.

De verankering aan de bovenzijde bestaat uit een staaf met een ankerschot aan het einde, groutankers of trekpalen. De ankerkracht wordt overgebracht op de grond liggend achter de damwand. De grond achter de damwand wordt praktisch niet beïnvloed door de damwand zelf. Door het toepassen van stempels naar de tegenoverliggende damwand wordt bij bouwkuipen vaak een verankering toegepast.

Een verankering of stempeling wordt toegepast om verplaatsingen te beperken en een economisch voordelige grond- of waterkering te realiseren.

De verticale damwandplanken worden door een gording of een kopbalk of deksloof onderling gekoppeld om de ankerkracht gelijkmatig over de planken te verdelen. Ook wordt hierdoor de scheve buiging beperkt.

Damwandplanken worden afzonderlijk of met meerdere tegelijk vanaf het maaiveld ingebracht. Dit gebeurt door middel van heien, trillen of drukken. Dit kan in combinatie met fluideren of spuiten. Damwandplanken worden van zowel hout, beton als staal gemaakt. Alle drie de materialen zijn breed toepasbaar. Alleen het hout kan niet gebruikt worden als isolering bij milieutoepassingen. Voor tijdelijke damwandconstructies wordt meestal hout of staal toegepast. De planken zijn meestal goed uit de grond te trekken en her te gebruiken.

Bijlage 3 (Vervolg 3)

Bij hoge verticale belastingen op de damwand kunnen betonnen planken worden toegepast. Deze planken hebben een groter verticaal draagvermogen dan de varianten van staal of hout. Bij zeer grote kerende hoogten wordt beton weer vervangen door staal, dit gebeurt bij kerende hoogtes van meer dan 15 meter.

Damwandplanken worden geleverd als volgt:

- Hout: Als loofhout zoals azobé, bankirai, karra, jarrah en Europees eiken. Als naaldhout zoals Europees grenen, vuren, Douglas en lariks. Naaldhoutsoorten zijn van nature minder duurzaam. Deze soorten dienen voor langdurig gebruik in de grond of water verduurzaamd te worden. Houten damplanken dienen te voldoen aan de eisen conform NEN 6760.
- Staal: Warm gewalste en koud gevormde Z-, U-, H-vormige profielen. De staaldikte varieert van 6mm tot circa 31mm. Lengten tot 31m zijn normaal leverbaar. Stalen damwanden dienen te voldoen aan de eisen conform NEN 6770.
- Beton: Geprefabriceerde planken met dikten variërend van 120mm tot 300mm. Betonnen damplanken dienen te voldoen aan de eisen conform NEN 6720.



Figuur 3.3 Toepassing van verschillende damwandmaterialen. V.l.n.r. beton, staal en hout

- Combiwanden

Combiwanden zijn te beschouwen als een bijzondere vorm van een damwand. Ze bestaan uit stalen buispalen, de zogenaamde primaire elementen waartussen damwandprofielen worden aangebracht. Op de buispalen zijn damwandsloten gelast. De buizen zijn in elke gewenste lengte en diameter verkrijgbaar. Het is tevens mogelijk buizen te bestellen met variërende wanddikte en diameter. De dikte wordt dan aangepast op de verdeling van momenten. Variërende wanddikte wordt vanuit economisch oogpunt toegepast.

Over het algemeen worden combiwanden toegepast in grondkerende constructies waarbij de kerende hoogte groot is en waarop grote belastingen kunnen aangrijpen. De buisprofielen bezitten een grote stijfheid tegen wringing. Ze geven bij zwaar heilwerk bijna geen problemen. Door middel van het aanbrengen van een betonprop in de buispaal kan een goede bevestiging voor een ankerstaaf worden gemaakt. Gordingen zijn dan niet nodig, echter wel iedere buispaal dient dan op dezelfde wijze te worden verankerd.

Bij berekening van het horizontale evenwicht wordt gerekend met een samengestelde doorsnede van buis en plank, indien de planken even diep als de palen reiken. Bij berekening van het verticale evenwicht worden alleen de buispalen beschouwd.

Bijlage 3 (Vervolg 4)

Variaties op combiwanden zijn de zogenaamde boxpilewand en HZ-wand. Bij de boxpilewand wordt in plaats van een buispaal een dubbele U-profiel toegepast. Hiermee wordt in feite ook een buispaal gecreëerd. Bij een HZ-wand worden enkele of dubbele H-profielen tussen de damplanken gebruikt.



Figuur 3.4 Toepassing van combiwanden als grondkering

- Berlinerwanden

Een Berlinerwand bestaat uit diep in grond aangebrachte stalen I-profielen, de zogenaamde primaire staanders op afstanden van 1 tot 3m. Hiertussen worden horizontale planken geplaatst. De onderste plank komt maar weinig dieper dan de bodem van de uiteindelijke ontgraving. De planken worden achter de voorste flenzen in het I-profiel geschoven.

Berlinerwanden worden voornamelijk toegepast voor tijdelijke, niet al te diepe bouwputten.

Voorwaarde is dat het grondwater zich onder het niveau van de onderste plank bevindt. Daarbij moet de afstand tot de aanwezige bebouwing groter zijn dan bij bijvoorbeeld damwanden omdat de vervormingen van het gekeerde grondmassief redelijk groot kunnen worden.

De planken kunnen in meerdere materialen uitgevoerd worden. Meestal zijn de planken uitgevoerd in hout. Er zijn ook gevallen waar de planken in beton worden uitgevoerd, of stalen platen tussen de I-profielen worden geschoven.



Figuur 3.5 Toepassingen van Berlinerwanden, met planken van hout en beton

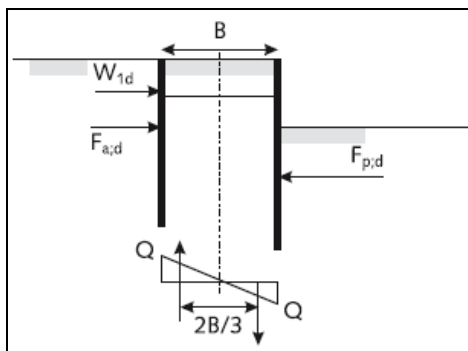
Bijlage 3 (Vervolg 5)

- Kistdammen

Een kistdam is een constructie bestaande uit twee door ankerstangen gekoppelde damwanden waartussen zich grond of een andere vulmassa bevindt. Een kistdam ontleent zijn grondkerende functie aan de schuifweerstand en het gewicht van de grond in de kistdam. Daarmee is de kistdam als het ware een kruising tussen een gewichtsmuur en een damwand.

Kistdammen worden toegepast als strekdam, bij dijkversterking, bij de aanleg van verhoogde wegen en als afdamming voor het maken van een bouwput in het water. Kistdammen zijn robuuste grondkerende constructies. Omdat de sterkte moet worden ontleend aan de mobilisatie van de schuifweerstand in het vulmateriaal, kunnen vrij grote vervormingen optreden.

Meestal worden voor een kistdam stalen damwandprofielen toegepast die door middel van heien of trillen in de grond worden gebracht. Daarna worden beide wanden gekoppeld door middel van staven, die aan een gording worden bevestigd. Hierna wordt de ruimte tussen de damwanden gevuld met het vulmateriaal.



Figuur 3.6 *Kistdammen, schematische krachtwerving en toegepast als kering*

Bijlage 3 (Vervolg 6)

- Cellenwanden

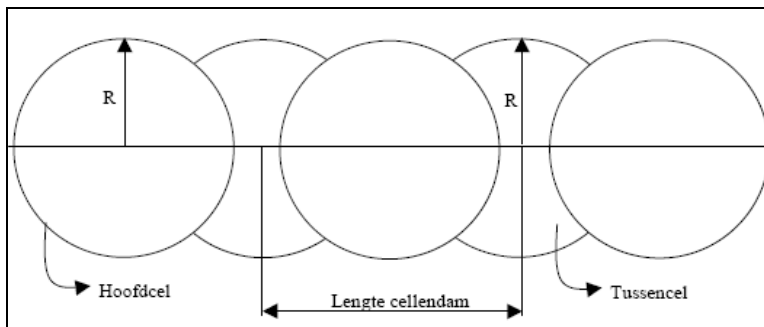
Een cellenwand is een bijzondere kistdam, bestaande uit (gedeeltelijk) ronde cellen van platte damwanden. Doordat de damwanden in hun vlak op trek belast worden, dienen deze sterke sloten te hebben. Door de vorm van een cellenwand is een verankering niet nodig.

In beginsel verschilt de uitvoering van een cellenwand niet van die voor een kistdam. De planken voor een cellenwand bezitten echter maar een geringe buigstijfheid en dienen dus bij het inbrengen goed te worden geleid. Meestal worden daarvoor speciale frames gebruikt. Deze frames hebben de vorm van een cel. Hierin worden vooraf de profielen naast elkaar geplaatst. Vervolgens worden de profielen gestaffeld ingebracht door middel van heien of trillen.

Cellenwanden worden voornamelijk toegepast voor strekdammen en voor kadeconstructies in zeehavens. Het zijn flexibele constructies, die groundbewegingen tijdens bijvoorbeeld aardbevingen goed weerstaan.

Doordat de damwandprofielen slap zijn treedt er tijdens het inheien relatief veel energieverlies op. Dit gebeurt zeker als de geleiding onvoldoende is en de planken diep in de vaste grond worden ingebracht.

Evenals bij kistdammen kunnen grote niveauverschillen worden gekeerd. Ook bij cellenwanden is mobilisatie van de schuifweerstand in het vulmateriaal nodig, dit brengt vervormingen met zich mee.



Figuur 3.7 Schematische weergave cellenwand



Figuur 3.8 Cellenwand na in de grond te zijn aangebracht (haven Algerije)

Bijlage 3 (Vervolg 7)

In de grond gevormde constructies

In de grond gevormde constructies zijn meestal betonnen constructies die zijn uitgehard in de grond. Eerst wordt een ruimte in de bodem vrijgemaakt door middel van ontgraven of boren. Hierna wordt het vrijgekomen volume opgevuld met een vulmateriaal, meestal beton. Vaak wordt eerst wapening aangebracht, om zodoende een grotere weerstand tegen buiging en trek te realiseren. Wanneer het uitharden voldoende heeft plaatsgevonden kan gestart worden met het ontgraven binnen de kuip van de diepwand of palenwand.

- Diepwanden

Een diepwand is een door ontgraving in de grond vervaardigde, al dan niet gedeeltelijk geprefabriceerde, betonnen wand. Diepwanden zijn vrijwel altijd gewapend. Ze hebben een breedte van 0,4 tot 1,2 m.

Bij de uitvoering van diepwanden worden eerst stalen geleidebalken aangebracht op het maaiveld, vervolgens wordt over de lengte van de wand sectiegewijs ontgraven door middel van een grijper, boren of frezen. De sleufwand wordt tijdens het ontgraven door een bentoniet suspensie ondersteund.

De stabiliteit van de te ontgraven sleuf wordt bewerkstelligd door hydrostatische druk van de bentoniet suspensie in samenwerking met de gewelfwerking in de grond. In verband met het behoud van de stabiliteit tijdens het graven en het aanbrengen van het beton in de secties dient de potentiaal van de bentonietvloei stof ten minste 1,0 m hoger te zijn dan de potentiaal van het grondwater in de door de diepwand doorsneden lagen.



Figuur 3.9 Toepassing van een diepwand

Bijlage 3 (Vervolg 8)

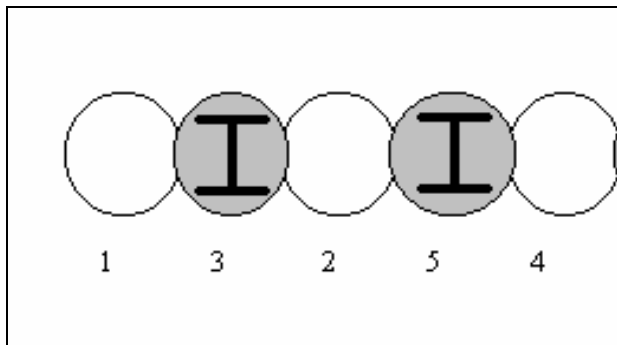
- Palenwanden

Schroefpalen zijn palen die trillingsvrij en geluidsarm in de grond worden gevormd. Verbuisde schroefpalen worden toegepast om de ontspanning van de grond te voorkomen, zodat palen langs belendingen kunnen worden geplaatst. Zij kunnen ook worden gebruikt ten behoeve van het formeren van paalwanden, waarbij de palen overlappend worden aangebracht, die dicht langs belendingen worden geïnstalleerd, ook wanneer deze belendingen zijn gefundeerd op staal. De wanden die worden aangebracht zijn grond dicht en praktisch waterdicht.

De avegaar wordt op het maaiveld geplaatst. De onderzijde is voorzien van een deksel. Rondom de avegaar is een stalen buis aangebracht. De avegaar wordt rechtsom draaiend op diepte geschroefd, terwijl gelijktijdig de stalen buis, voorzien van snijtanden, linksom roterend in de grond wordt gedraaid.

De buis volgt hierbij de avegaar op een zo klein mogelijke afstand, in de regel circa 0,10 á 0,15 m. Door de holle kern van de avegaar wordt de paal vol gepompt met betonspecie. De deksel gaat open en de avegaar wordt met buis zonder te roteren uit de grond getrokken, waarbij de paalschacht wordt gevormd. Vervolgens wordt de wapening / H-profiel in de holle avegaar geplaatst.

De paalwand wordt gemaakt door de eerste palen met tussenruimtes van 290 mm te plaatsen en vervolgens tussen deze nog niet geheel verharde palen een andere paal te boren.



Figuur 3.10

Palenwanden, volgorde van aanbrengen en toegepast als grondkering

Bijlage 4

Zettingen

Bijlage 4

Zettingen

‘Zetting: Een geleidelijke en min of meer gelijkmatig afnemen van de hoogteligging van het maaiveld of de cunetbodem waarop de grondconstructie is aangelegd.’ – CUR 162

Een zeer belangrijk gevolg van een ophoging is de veranderende spanning in de onderliggende grond. Als gevolg van deze spanningsverandering kunnen de korrels van de onderliggende lagen zich gaan herverdelen, en zullen andere cohesieve materialen samengedrukt worden. Hierdoor verandert het niveau van het oude maaiveld en de grensniveaus tussen de verschillende grondlagen.

Sommige zettingen vinden plaats direct na het aanbrengen van de verhoging of andere belasting, andere zettingen vinden pas na verloop van tijd plaats. Constructies zijn vaak gevoelig voor zettingen van de ondergrond. Zo ook grondkerende constructies.

Om deze reden wordt in deze paragraaf ingegaan op het fenomeen zetting. Er wordt gekeken naar verschillende soorten zettingen, de mate waarin dit gebeurt, en de gevolgen voor de reeds besproken huidige grondkerende constructies. Zettingen zijn van groot belang bij de keuze van de meest geschikte variant voor de grondkering bij Sneek.

Wanneer de te verwachten zettingen ter plaatse van de aan te brengen grondkering in kaart zijn gebracht kan gekeken worden naar een oplossing voor dit probleem. Eventuele nader te onderzoeken oplossingen kunnen zijn een lichter ophoogmateriaal of een ontlastconstructie die de belasting van het ophoogmateriaal overdraagt naar een voldoende draagkrachtige laag.

Verticale vervormingen of zettingen zijn spannings-vervormingsverschijnselen die zich afspelen in de fase voordat het materiaal bezwijkt. Zettingen zijn praktisch altijd het gevolg van het samendrukkingsproces.

Er wordt onderscheidt gemaakt in de fases waarin bepaalde soorten zettingen voorkomen. Dit onderscheid ziet er als volgt uit:

- Primaire zetting, proces bestaande uit instantane zetting (elastische samendrukking) en consolidatiezetting;
- Secundaire zetting, zetting die het kruipgedrag beschrijft en in principe een oneindig doorgaand proces is, ook wel seculaire zetting genoemd;
- Restzetting, zetting die zich voordoet na oplevering van het werk;
- Eindzetting, zetting na vastgestelde periode van 10.000dagen of 27jaar.

Er wordt tevens onderscheid gemaakt tussen zettingen van cohesieve en niet-cohesieve materialen. Bij het berekenen van zettingen van deze twee types materialen worden verschillende rekenmethodes gebruikt.

Cohesieve materialen zijn over het algemeen materialen die matig tot sterk samendrukbaar zijn. Klei en veen zijn materialen die behoren tot de groep cohesieve materialen. De berekening van zettingen van cohesieve materialen gebeurt veelal met behulp van de rekenmethode Terzaghi / Koppejan.

Bij belasting van niet-cohesieve materialen vindt in feite een herrangschikking van de korrels plaats. Dit vindt plaats vrijwel direct na het aanbrengen van de belasting. Voorbeelden van niet-cohesieve materialen zijn zand en grind.

Bij niet-cohesieve materialen wordt gerekend met behulp van de rekenmethode van Schmertmann.

Om tot een berekening van de totale zetting te komen dienen de zettingen van afzonderlijke lagen bij elkaar opgeteld te worden.

Bijlage 4 (Vervolg 1)

Zwelling

Een bijzondere vorm van zetting is swelling. Dit kan voorkomen als gevolg van ontgraving. Een sterk samendrukbaar materiaal gaat uitzetten wanneer de belasting wordt weggenomen. Dit komt door toename van het watergehalte in het materiaal. Er ontstaat meer ruimte tussen de minerale deeltjes, en de contactkracht onderling verzwakt. De hoeveelheid swelling is afhankelijk van materiaaleigenschappen als de plasticiteitsindex en het lutumgehalte. In de grondmechanica wordt de relatie tussen belastingvermindering en de hoeveelheid zwel uitgedrukt met de zwelindex.

Voor dit project kan de swelling van belang zijn, al zal dit praktisch verwaarloosbaar zijn. Bij het verkrijgen van snellere zetting, zodat de restzetting sneller bereikt wordt kan gekozen worden voor een tijdelijke overhoogte. Bij het verwijderen van deze overhoogte wordt een deel van de belasting op het oude maaiveld weggenomen, en zou er theoretisch swelling kunnen optreden.

Maatregelen

Zettingen zijn op meerdere manieren te beïnvloeden. Zoals hierboven te lezen valt, wordt er gebruik gemaakt van een overhoogte om zo een snellere zetting te verkrijgen. Voordeel van een snellere zetting is het feit dat er minder rekening gehouden hoeft te worden met zettingen gedurende de levensduur van een infrastructureel bouwwerk. Naast het toepassen van overhoogte zijn er nog meer manieren om zettingen te versnellen, hierover meer in de volgende paragraaf.

Er kunnen ook juist zettingsreducerende maatregelen getroffen worden om zo min mogelijk zetting te verkrijgen. Reden hiervoor kan zijn de vraag naar zettingsvrij of zettingsarm ontwerpen.

- Zettingsversnellende maatregelen

Daar waar de bodem een slechte waterdoorlatendheid bezit wordt de uitstroming van water na belasting van het grondpakket vertraagd. Hierdoor kunnen langdurige zettingen het gevolg zijn, iets dat niet wenselijk is. Door langdurige zettingen ontstaan grote ongemakken als gedeeltelijk verzakte wegen, beschoeiingen en rioleringen. Ook kunnen kabels en leidingen beschadigd raken, en kan het riool onbruikbaar worden. Om deze problemen in een vroegtijdig stadium te ondervangen wordt tegenwoordig van de volgende technieken gebruik gemaakt:

- Toepassen tijdelijke overhoogte;
- Toepassen verticale drainage;
- Toepassen horizontale drainage;
- Vacuümconsolidatie in combinatie met bovenstaande methoden.

Hieronder volgt summier een toelichting op de hierboven vermeldde zettingsversnellende maatregelen:

- Toepassen tijdelijke overhoogte

De zetting van de ondergrond kan versneld worden door het toepassen van een tijdelijke overhoogte. Zoals het woord al zegt wordt er een groter grondmassief aangebracht dan nodig is voor realisatie van het werk zelf. Door het gewicht van dit extra zand zal de ondergrond sneller inklinken en zich zetten. De overhoogte dient hierbij zodanig te worden bepaald, dat de zetting op het tijdstip van verwijderen van de tijdelijke belasting samen met de benodigde restzetting vanuit de opdrachtgever gelijk is aan de gewenste eindzetting.

Bijlage 4 (Vervolg 2)

° Toepassen verticale drainage

Verticale drainage wordt veelal in twee vormen toegepast, te weten:

Zand- of grinddrains, verticale perforaties door de samendrukbare lagen, die opgevuld worden met goed doorlatend zand, diameter circa 250 à 300mm in een driehoekig stramien, h.o.h. 3,0 à 3,5m.

Kunststofdrains, hierbij zijn allerlei typen op de markt, de drains worden vaak op diepte gebracht m.b.v. een stijve koker, die daarna weer wordt getrokken, in de regel zijn de h.o.h. afstanden kleiner dan bij zanddrains omdat de omtrek van het invloedsgebied van de kunststofdrains kleiner is.

Met een systeem van kunststofdrains wordt het overspannen water in de ondergrond beter afgevoerd. Hierdoor wordt sneller een stabiele situatie bereikt en kan de ophooftijd worden verkort. Hierdoor kan de grondkerende constructie sneller worden afgewerkt, wat scheelt in de bouwtijd.

Verticale drains kunnen goed in combinatie met andere zettingsversnellende maatregelen als vacuümconsolidatie of overhoogte worden toegepast.

° Toepassen horizontale drainage

Door het aanbrengen van een goede (diep-)drainage kunnen wateroverspanningen sneller worden verminderd. Horizontale drainage kan zowel van toepassing zijn tijdens de uitvoeringsfase als tijdens de gebruiksfase.

Een toepassing van horizontale drainage om het zettingsproces te versnellen is het zogenaamde Press-To-Drain (PTD) systeem. Dit is eigenlijk een combinatie van verticale en horizontale drainage. In een smalle sleuf die is gegraven met behulp van een frees worden horizontale drains gelegd. Deze drains bevinden zich dan onderin de zogenaamde zandwanden. In de drains wordt het PTD systeem geschoven, waarna een zuiginstallatie op het PTD systeem wordt aangesloten. Door de combinatie van afzuigen en oppersen van het grondwater kunnen drainagediepten groter dan 10m beneden maaiveld worden gerealiseerd.



Figuur 4.1 De frees die de zandwanden in de te consolideren grond aanbrengt

Bijlage 4 (Vervolg 3)

- Zettingsreducerende maatregelen

Naast de zettingsversnellende maatregelen zijn er ook zettingsreducerende maatregelen. Zoals het woord het al zegt worden deze maatregelen toegepast om te zorgen dat er praktisch geen zetting plaats vindt, en er dus geen rekening mee hoeft te worden gehouden bij het ontwerp van en het onderhoud aan de constructie. De volgende zettingsreducerende maatregelen zijn in Nederland bekend en toegepast:

- Grondverbetering;
- Toepassing lichte ophoogmaterialen;
- Onderheien ophoging.

Hieronder volgt summier een toelichting op de hierboven vermeldde zettingsreducerende maatregelen.

- Grondverbetering

Het te verbeteren grondpakket wordt ontgraven en indien gewenst afgevoerd of gedumpt. Indien nodig wordt een bemaling aangelegd, de grondverbetering mag tijdens het aanbrengen en verdichten niet in aanraking komen met grondwater. Na het verdichten mag de bemalingintensiteit aan de volgende laag aangepast worden. Vervolgens wordt een schoon en gegradeerd zandpakket in lagen aangebracht en verdicht. Hierna wordt het aangebrachte en verdichte zandpakket gecontroleerd door middel van een sondering.

- Toepassing lichte ophoogmaterialen

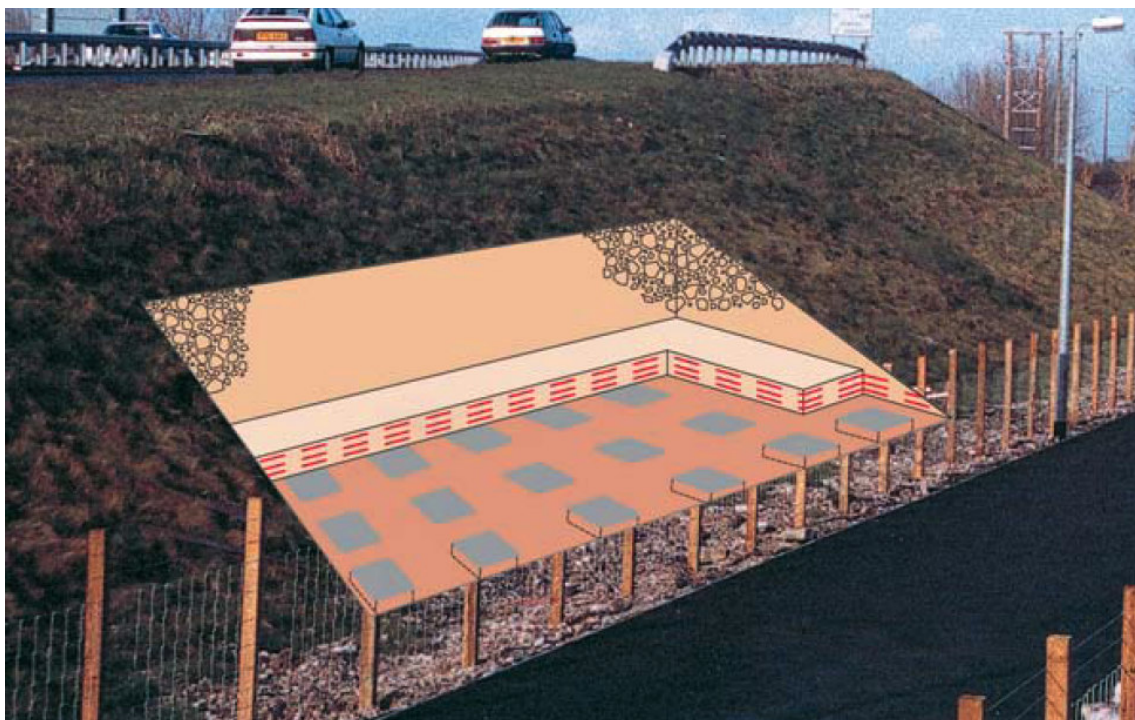
In bepaalde situaties is het zinnig om de toepassing van licht ophoogmateriaal te overwegen. Voor het toepassingsgebied van lichte ophoogmaterialen in bepaalde situaties bestaat geen standaard. Er zal dus van situatie tot situatie overwogen moeten worden of de toepassing van een licht ophoogmateriaal geschikt is, en of dit economisch voordeliger is. De keuze een licht ophoogmateriaal toe te passen is sterk afhankelijk van de te verwachten zetting bij een normaal ophoogmateriaal, en de reductie hiervan door het toepassen van een licht ophoogmateriaal. Bij toepassing van lichte ophoogmaterialen kunnen de zettingen ten opzichte van de te verwachten zettingen bij een ophoging met zand of klei aanzienlijk worden gereduceerd. Hierbij kan worden gedacht aan zettingsvrije- en zettingsarme ontwerpen. Ook is het van belang te kijken naar de kosten van het lichte ophoogmateriaal, de kosten van het aanleggen hiervan, de extra voorzieningen die getroffen moeten worden, de beschikbare ruimte, de steilheid van het talud en de waterondoorlatendheid van sommige lichte ophoogmaterialen.

Bijlage 4 (Vervolg 4)

° Onderheien ophoging

Het principe van deze constructie is dat de belasting van de ophoging niet op de samendrukbare ondergrond werkt, maar door de palen naar een draagkrachtige laag wordt afgevoerd. Deze palen of kolommen kunnen met beton gevuld worden, maar ook met zand, grind of kalk. Via verschillende technieken worden samendrukbare lagen in een vast stramien doorboord en versterkt met draagkrachtige kolommen. Ook kunnen zogenaamde ontlastconstructies toegepast worden om zettingen te reduceren. Het idee hierachter is een soort vloer over de paalkoppen heen, waar het ophoogmateriaal op wordt aangebracht. De belasting van de ophoging wordt dan via de vloer naar de palen naar de draagkrachtige laag getransporteerd. Vroeger werden deze vloeren vaak in hout uitgevoerd, voornamelijk om de horizontale belasting op de landhoofden te verminderen. Tegenwoordig worden vooral voorgespannen beton, staal en geotextiel als materialen voor ontlastvloeren gebruikt.

De onderheide ophoging is praktisch ongevoelig voor zettingen. Tevens is de constructie veel stijver, en dus beter bestand tegen horizontale belastingen.



Figuur 4.2 Schematische weergave toepassing spijkerbedconstructie

Bijlage 5

Tabel kostenraming

Globale kostenraming grondkerende constructies

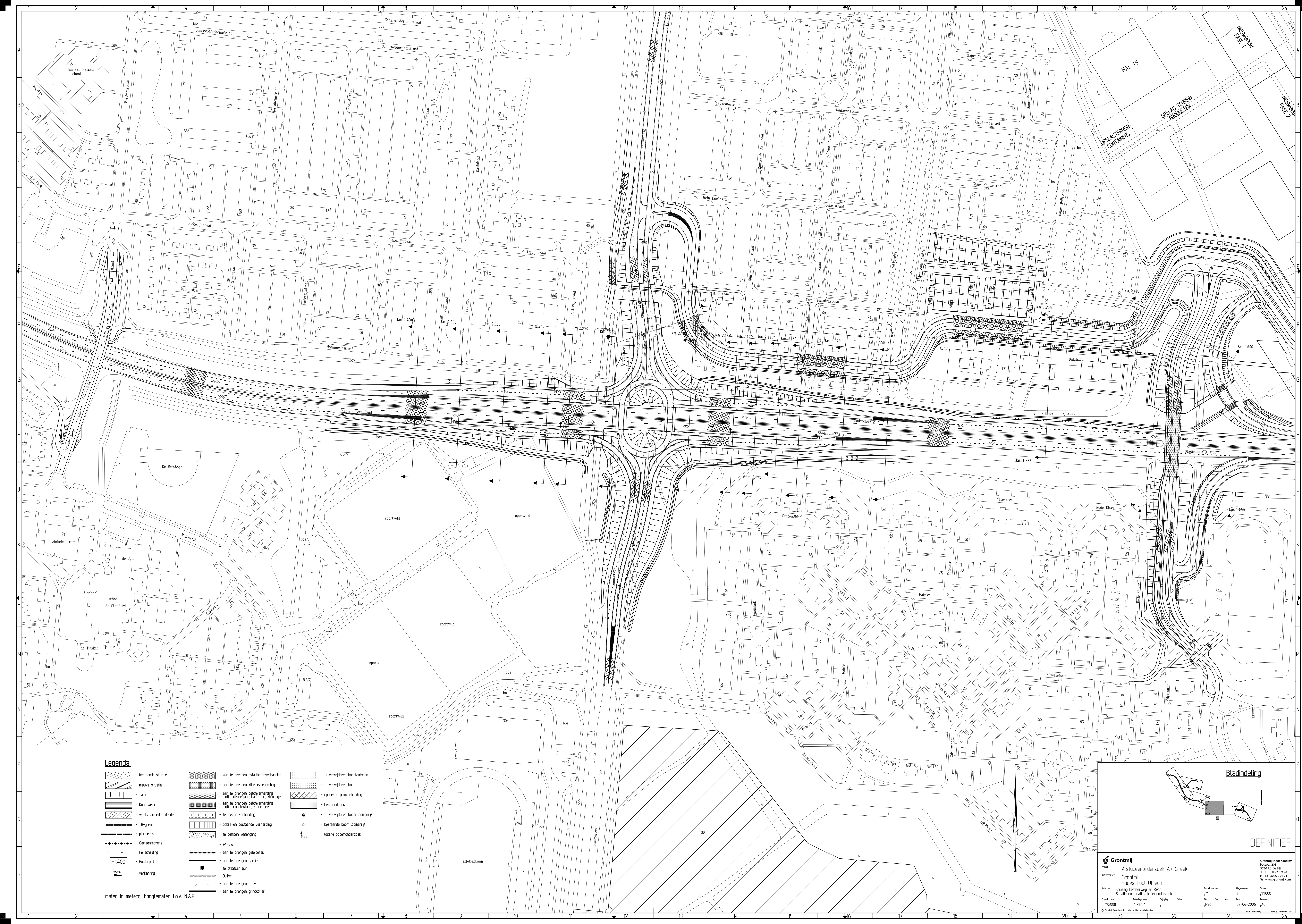
Onderdeel	Specificatie	Afmetingen grondkering				Prijs per	Prijs	Prijs per m'	Totaal prijs	Prijs per m'	Totaal prijs
		l [m]	b/h [m]	d [m]	h.o.h. [m]	eenheid		per onderdeel	per onderdeel		
L-wand											
<u>Vlak</u>											
Vloer		25,00	4,80	0,30		€ 100,00 m2	€ 12.000,00				
Wand		25,00	6,00	0,30		€ 200,00 m2	€ 30.000,00	€ 2.030,00	€ 50.750,00		
Spijkerbed	7 m rond 400	25,00	5,00			€ 70,00 m2	€ 8.750,00				
										€ 1.164,26	€ 197.925,00
<u>Helling</u>											
Vloer		145,00	4,80	0,30		€ 50,00 m2	€ 34.800,00				
Wand		145,00	6,00	0,30		€ 200,00 m2	€ 87.000,00	€ 1.015,00	€ 147.175,00		
Spijkerbed	7 m rond 400	145,00	5,00			€ 70,00 m2	€ 25.375,00				
Gewapende grond											
Opstarten						€ 500,00	€ 500,00				
<u>Vlak</u>											
Geotextiel	8 lagen, 8 meter/laag	25,00	6,00	6,00		€ 5,00 m2	€ 8.000,00				
Aanbrengen	geotextiel	25,00	6,00	6,00		€ 7,00 m2	€ 1.400,00				
Puin	0/40, laagdikte 0,50m	25,00	4,00	0,75		€ 10,00 m3	€ 750,00	€ 835,00	€ 20.875,00		
Toeslag zand	laagopbouw 6m breed	25,00	6,00	6,00		€ 2,00 m3	€ 2.100,00				
Damwand	hout, scheiding zetting	25,00	5,50			€ 325,00 m1	€ 8.125,00				
										€ 608,97	€ 103.525,00
<u>Helling</u>											
Geotextiel	8 lagen, 8 meter/laag	145,00	6,00	6,00		€ 5,00 m2	€ 23.200,00				
Aanbrengen	geotextiel	145,00	6,00	6,00		€ 7,00 m2	€ 4.060,00				
Puin	0/40, laagdikte 0,50m	145,00	4,00	0,75		€ 10,00 m3	€ 2.175,00	€ 573,45	€ 83.150,00		
Toeslag zand	laagopbouw 6m breed	145,00	6,00	6,00		€ 2,00 m3	€ 6.090,00				
Damwand	hout, scheiding zetting	145,00	5,50			€ 325,00 m1	€ 47.125,00				
Stalen damwand											
Opstarten						€ 5.500,00	€ 5.500,00				
<u>Vlak</u>											
Wand	AZ26	25,00	6,00			€ 2.000,00 m1	€ 50.000,00				
Ankerstangen	staal	10,00		0,06	2,00	€ 860,00 m1	€ 10.750,00	€ 3.000,00	€ 75.000,00		
Ankerschotten	beton	1,00	1,00	0,10	2,00	€ 200,00 m2	€ 2.500,00				
Gording	UNP-180 dubbel	25,00				€ 250,00 m1	€ 6.250,00				
										€ 1.349,56	€ 229.425,00
<u>Helling</u>											
Wand	AZ26	145,00	6,00			€ 1.100,00 m1	€ 79.750,00				
Ankerstangen	staal	10,00		0,06	4,00	€ 860,00 m1	€ 31.175,00	€ 1.102,93	€ 159.925,00		
Ankerschotten	beton	1,00	1,00	0,10	4,00	€ 200,00 m2	€ 7.250,00				
Gording	UNP-180 dubbel	145,00				€ 250,00 m1	€ 36.250,00				
Betonnen damwand											
Opstarten						€ 5.500,00	€ 5.500,00				
<u>Vlak</u>											
Wand	SPW300	25,00	6,00			€ 2.300,00 m1	€ 57.500,00				
Ankerstangen	staal	10,00		0,06	1,00	€ 1.000,00 m1	€ 25.000,00	€ 3.970,00	€ 99.250,00		
Ankerschotten	beton	1,00	1,00	0,10	1,00	€ 200,00 m2	€ 5.000,00				
Gording	UNP-180 dubbel	25,00				€ 250,00 m1	€ 6.250,00				
										€ 1.735,29	€ 295.000,00
<u>Helling</u>											
Wand	SPW300	145,00	6,00			€ 1.200,00 m1	€ 87.000,00				
Ankerstangen	staal	10,00		0,06	2,40	€ 1.000,00 m1	€ 60.416,67	€ 1.387,93	€ 201.250,00		
Ankerschotten	beton	1,00	1,00	0,10	2,40	€ 200,00 m2	€ 12.083,33				
Gording	UNP-180 dubbel	145,00				€ 250,00 m1	€ 36.250,00				
Combiwand											
Opstarten						€ 5.500,00	€ 5.500,00				
<u>Vlak</u>											
Wand	Buis 1m + AZ26	25,00	6,00			€ 3.000,00 m1	€ 75.000,00				
Ankerstangen	staal	10,00		0,06	1,00	€ 1.000,00 m1	€ 25.000,00	€ 4.670,00	€ 116.750,00		
Ankerschotten	beton	1,00	1,00	0,10	1,00	€ 200,00 m2	€ 5.000,00				
Gording	UNP-180 dubbel	25,00				€ 250,00 m1	€ 6.250,00				
										€ 2.048,69	€ 348.277,17
<u>Helling</u>											
Wand	Buis 1m + AZ26	145,00	6,00			€ 1.650,00 m1	€ 119.625,00				
Ankerstangen	staal	10,00		0,06	2,30	€ 1.000,00 m1	€ 63.043,48	€ 1.634,67	€ 237.027,17		
Ankerschotten	beton	1,00	1,00	0,10	2,30	€ 200,00 m2	€ 12.608,70				
Gording	UNP-180 dubbel	145,00				€ 250,00 m1	€ 36.250,00				

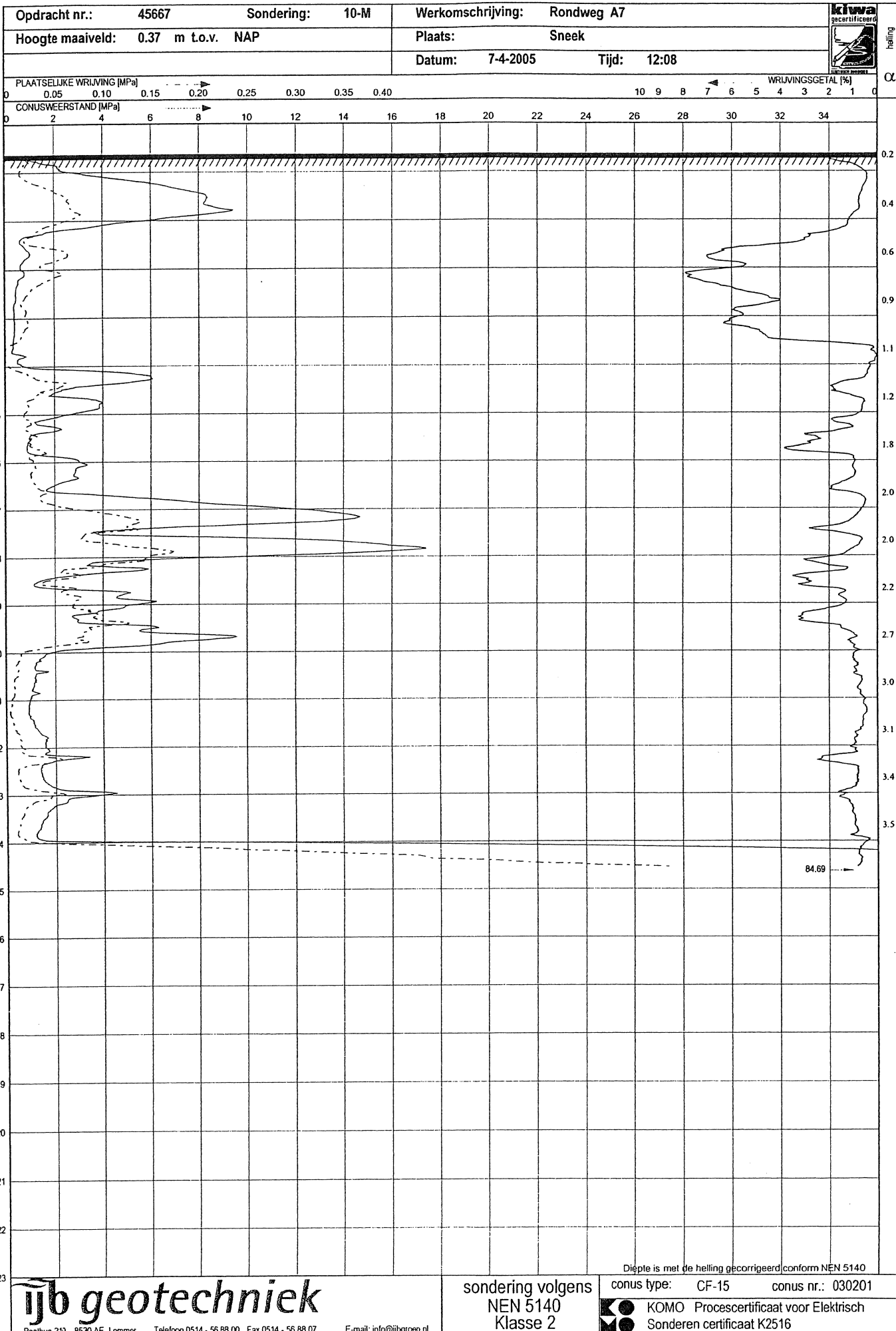
Onderdeel	Specificatie	Afmetingen grondkering				Prijs per	Prijs	Prijs per m'	Totaal prijs	Prijs per m'	Totaal prijs
		l [m]	b/h [m]	d [m]	h.o.h. [m]	eenheid		per onderdeel	per onderdeel		
Berlinerwand											
Opstarten						€ 2.000,00	€ 2.000,00				
<u>Vlak</u>											
Wand staander	HE260B, 14 m	25,00	6,00	0,26	5,00	€ 1.555,00	st	€ 7.775,00			
Wand liggers	Azobé, (0,2x0,4x5,0)	25,00	6,00	0,20		€ 1.590,00	m1	€ 39.750,00	€ 2.313,00	€ 57.825,00	
Ankerstangen	staal	10,00		0,06	5,00	€ 860,00	m1	€ 4.300,00			
Ankerschotten	beton	2,00	2,00	0,10	5,00	€ 200,00	m2	€ 4.000,00			
										€ 1.432,17	€ 243.468,50
<u>Helling</u>											
Wand staander	HE260B, 14 m	145,00	6,00	0,26	5,00	€ 1.533,00	st	€ 22.228,50			
Wand liggers	Azobé, (0,2x0,4x5,0)	145,00	var	0,20		€ 1.590,00	m1	€ 115.275,00	€ 1.294,09	€ 187.643,50	
Ankerstangen	staal	10,00		0,06	5,00	€ 860,00	m1	€ 24.940,00			
Ankerschotten	beton	2,00	2,00	0,10	5,00	€ 200,00	m2	€ 23.200,00			
Kistdam											
Opstarten						€ 2.500,00	€ 2.500,00				
<u>Vlak</u>											
Wand	AZ26	25,00	6,00			€ 2.000,00	m1	€ 50.000,00			
Ankerstangen	staal (boven)	10,00		0,06	2,00	€ 860,00	m1	€ 10.750,00	€ 3.460,00	€ 86.500,00	
Ankerstangen	staal (onder)	10,00		0,06	2,00	€ 860,00	m1	€ 10.750,00			
Gording	2 x UNP-180 dubbel	50,00				€ 250,00	m1	€ 12.500,00			
										€ 1.771,18	€ 301.100,00
<u>Helling</u>											
Wand	AZ26	145,00	6,00			€ 1.100,00	m1	€ 79.750,00			
Ankerstangen	staal (boven)	10,00		0,06	4,00	€ 860,00	m1	€ 31.175,00	€ 1.497,24	€ 217.100,00	
Ankerstangen	staal (onder)	10,00		0,06	4,00	€ 860,00	m1	€ 31.175,00			
Gording	2 x UNP-180 dubbel	290,00				€ 250,00	m1	€ 72.500,00			
Cellenwand											
Opstarten						€ 2.000,00	€ 2.000,00				
<u>Vlak</u>											
Wand Langsri.	AZ26	25,00	6,00			€ 2.000,00	m1	€ 50.000,00	€ 4.380,00	€ 109.500,00	
Wand Haaks	AZ18	11,50	6,00		5,00	€ 1.000,00	m1	€ 57.500,00			
										€ 2.094,12	€ 356.000,00
<u>Helling</u>											
Wand	AZ26	145,00	6,00			€ 1.100,00	m1	€ 79.750,00	€ 1.713,79	€ 248.500,00	
Wand Haaks	AZ18	11,50	var		5,00	€ 1.000,00	m1	€ 166.750,00			
Diepwand											
Opstarten	plaatsing installatie					€ 75.350,00	€ 75.350,00				
<u>Vlak</u>											
Bentoniet	2-fasensysteem	25,00	18,00	0,50		€ 150,00	m2	€ 67.500,00			
Beton	gewapend	25,00	18,00	0,50		€ 100,00	m2	€ 45.000,00	€ 7.649,00	€ 191.225,00	
Grondafvoer	ontgraving	25,00	18,00	0,50		€ 15,00	m3	€ 3.375,00			
										€ 5.078,24	€ 863.300,00
<u>Helling</u>											
Bentoniet	2-fasensysteem	145,00	18,00	0,50		€ 150,00	m2	€ 391.500,00			
Beton	gewapend	145,00	18,00	0,50		€ 100,00	m2	€ 261.000,00	€ 5.154,66	€ 747.425,00	
Grondafvoer	ontgraving	145,00	18,00	0,50		€ 15,00	m3	€ 19.575,00			
Palenwand											
Opstarten						€ 5.500,00	€ 5.500,00				
<u>Vlak</u>											
Wand	rond	25,00	6,00	0,40		€ 87,00	m1	€ 2.175,00			
Ankerstangen	staal (boven)	10,00		0,06	5,00	€ 860,00	m1	€ 4.300,00			
Ankerstangen	staal (onder)	10,00		0,06	5,00	€ 860,00	m1	€ 4.300,00	€ 1.731,00	€ 43.275,00	
Ankerschotten	beton (boven)	1,00	1,00	0,10	5,00	€ 200,00	m2	€ 1.000,00			
Ankerschotten	beton (onder)	1,00	1,00	0,10	5,00	€ 200,00	m2	€ 1.000,00			
Gording	2 x UNP-180 dubbel	100,00				€ 250,00	m1	€ 25.000,00			
										€ 912,60	€ 155.142,50
<u>Helling</u>											
Wand	rond	145,00	6,00			€ 119,00	m1	€ 8.627,50			
Ankerstangen	staal (boven)	10,00		0,06	10,00	€ 860,00	m1	€ 12.470,00			
Ankerstangen	staal (onder)	10,00		0,06	10,00	€ 860,00	m1	€ 12.470,00	€ 809,43	€ 117.367,50	
Ankerschotten	beton (boven)	1,00	1,00	0,10	10,00	€ 200,00	m2	€ 2.900,00			
Ankerschotten	beton (onder)	1,00	1,00	0,10	10,00	€ 200,00	m2	€ 2.900,00			
Gording	2 x UNP-180 dubbel	290,00				€ 250,00	m1	€ 72.500,00			
Alt. 1A Kistdam Terre Armée											
Opstarten						€ 500,00	€ 500,00				
<u>Vlak</u>											
Wand	Terre Armée panelen	25,00	6,00	0,14		€ 1.800,00		€ 45.000,00	€ 2.345,00	€ 58.625,00	
spijkerbed	7 m rond 400	25,00	7,50			€ 70,00		€ 13.125,00			
										€ 1.566,18	€ 266.250,00
<u>Helling</u>											
Wand	Terre Armée panelen	145,00	6,00	0,14		€ 900,00		€ 130.500,00	€ 1.428,45	€ 207.125,00	
Spijkerbed	7 m rond 400	145,00	7,50			€ 70,00		€ 76.125,00			

Onderdeel	Specificatie	Afmetingen grondkering				Prijs per	Prijs	Prijs per m' per onderdeel	Totaal prijs per onderdeel	Prijs per m'	Totaal prijs
		l [m]	b/h [m]	d [m]	h.o.h. [m]	eenheid					
Alt. B Berlinerwand aluminium en glas											
Opstarten						€	2.000,00	€	2.000,00		
<u>Vlak</u>											
Kolom	Aluminium HE300B	25,00	6,00		2,60	€	2.514,00 m1	€	62.850,00		
Panelen	Gehard glas	25,00	6,00	0,10		€	4.840,00 m1	€	121.000,00	€	7.664,00
Fundering	Voetplaat beton	25,00	2,30	0,30		€	230,00 m1	€	5.750,00		€ 191.600,00
										€ 4.361,41	€ 741.440,00
<u>Helling</u>											
Kolom	Aluminium HE300B	145,00	6,00		2,60	€	1.257,00 m1	€	182.265,00		
Panelen	Gehard glas	145,00	6,00	0,10		€	2.420,00 m1	€	350.900,00	€	3.805,79
Fundering	Voetplaat beton	145,00	2,30	0,30		€	115,00 m1	€	16.675,00		€ 551.840,00
Alt. 1C L-palen als berlinerwand											
Opstarten						€	500,00	€	500,00		
<u>Vlak</u>											
Kolommen	Beton L-paal 500*500	25,00	6,00	0,50	5,00	€	420,00 m1	€	10.500,00		
Fundering	Beton L-paal 500*500	25,00	4,00	0,50	5,00	€	160,00 m1	€	4.000,00		
Evenwicht	Geotextiel	25,00	10,00	0,15		€	200,00 m1	€	5.000,00	€	1.850,00
Panelen	Hout balk 150*300	25,00	10,00	0,15		€	850,00 m1	€	21.250,00		€ 46.250,00
Paalfundering	2 st. 400x400	25,00	14,00		5,00	€	200,00 m1	€	5.000,00		
										€ 1.095,15	€ 186.175,00
<u>Helling</u>											
Kolommen	Beton L-paal 500*500	145,00	6,00	0,50	5,00	€	240,00 m1	€	34.800,00		
Fundering	Beton L-paal 500*500	145,00	4,00	0,50	5,00	€	100,00 m1	€	14.500,00		
Evenwicht	Geotextiel	145,00	10,00	0,15		€	100,00 m1	€	14.500,00	€	968,45
Panelen	Hout balk 150*300	145,00	10,00	0,15		€	425,00 m1	€	61.625,00		€ 140.425,00
Paalfundering	2 st. 400x400	145,00	14,00		5,00	€	100,00 m1	€	14.500,00		
Alt. D Stempelconstructie											
Opstarten						€	2.000,00	€	2.000,00		
<u>Vlak</u>											
Wand	Damplanken Azobé	25,00	6,00	0,10		€	1.417,50 m1	€	35.437,50		
Gording	Azobé 200*300mm	25,00				€	66,90 m1	€	1.672,50	€	2.177,90
Stempels	Azobé incl. voetplaat	25,00	0,40	0,40	6,00	€	613,50 m1	€	15.337,50		€ 54.447,50
										€ 1.314,19	€ 223.412,38
<u>Helling</u>											
Damplanken Azobé		145,00	6,00	0,10		€	945,00 m1	€	137.025,00		
Azobé 200*300mm		145,00				€	66,90	€	9.700,50	€	1.179,07
Azobé incl. voetplaat		36,25	0,40	0,40	6,00	€	613,50	€	22.239,38		€ 170.964,88
Alt. 1E Berlinerwand schip											
Opstarten						€	5.500,00	€	5.500,00		
<u>Vlak</u>											
Kolommen	Hout gekromd 250*250	25,00	6,00	0,25	4,00	€	172,85 m1	€	4.321,25		
Panelen	Glas gehard gekromd	25,00	6,00	0,10		€	5.700,00 m1	€	142.500,00		
Ankers	Staal met ankerschot	25,00	15,00	0,06	4,00	€	300,00 m1	€	7.500,00	€	7.842,85
Sloof	Beton 600*600	25,00	1,00	0,60		€	220,00 m1	€	5.500,00		€ 196.071,25
Damwanden	Beton 1000*100	25,00	8,00	0,10		€	1.230,00 m1	€	30.750,00		
										€ 5.524,68	€ 939.196,25
<u>Helling</u>											
Kolommen	Hout gekromd 250*250	145,00	6,00	0,25	4,00	€	115,00 m1	€	16.675,00		
Panelen	Glas gehard gekromd	145,00	6,00	0,10		€	3.900,00 m1	€	565.500,00		
Ankers	Staal met ankerschot	145,00	15,00	0,06	4,00	€	220,00 m1	€	31.900,00	€	5.162,93
Sloof	Beton 600*600	145,00	1,00	0,60		€	220,00 m1	€	31.900,00		€ 748.625,00
Damwanden	Beton 1000*100	145,00	8,00	0,10		€	670,00 m1	€	97.150,00		
Alt. F L-wand schanskorf											
Opstarten						€	500,00	€	500,00		
<u>Vlak</u>											
Wand	Schanskorf	25,00	6,00	1,00		€	1.600,00 m1	€	40.000,00		
Fundering	Voetplaat	25,00	6,00	0,30		€	600,00 m1	€	15.000,00	€	2.640,00
Spijkerbed	7 m rond 400	25,00	6,00			€	70,00 m2	€	10.500,00		€ 66.000,00
										€ 1.684,71	€ 286.400,00
<u>Helling</u>											
Wand	Schanskorf	145,00	6,00	1,00		€	800,00 m1	€	116.000,00		
Fundering	Voetplaat	145,00	6,00	0,30		€	300,00 m1	€	43.500,00	€	1.523,45
Spijkerbed	7 m rond 400	145,00	6,00			€	70,00 m2	€	60.900,00		€ 220.900,00

Bijlage 6

Overzicht en bodemonderzoek



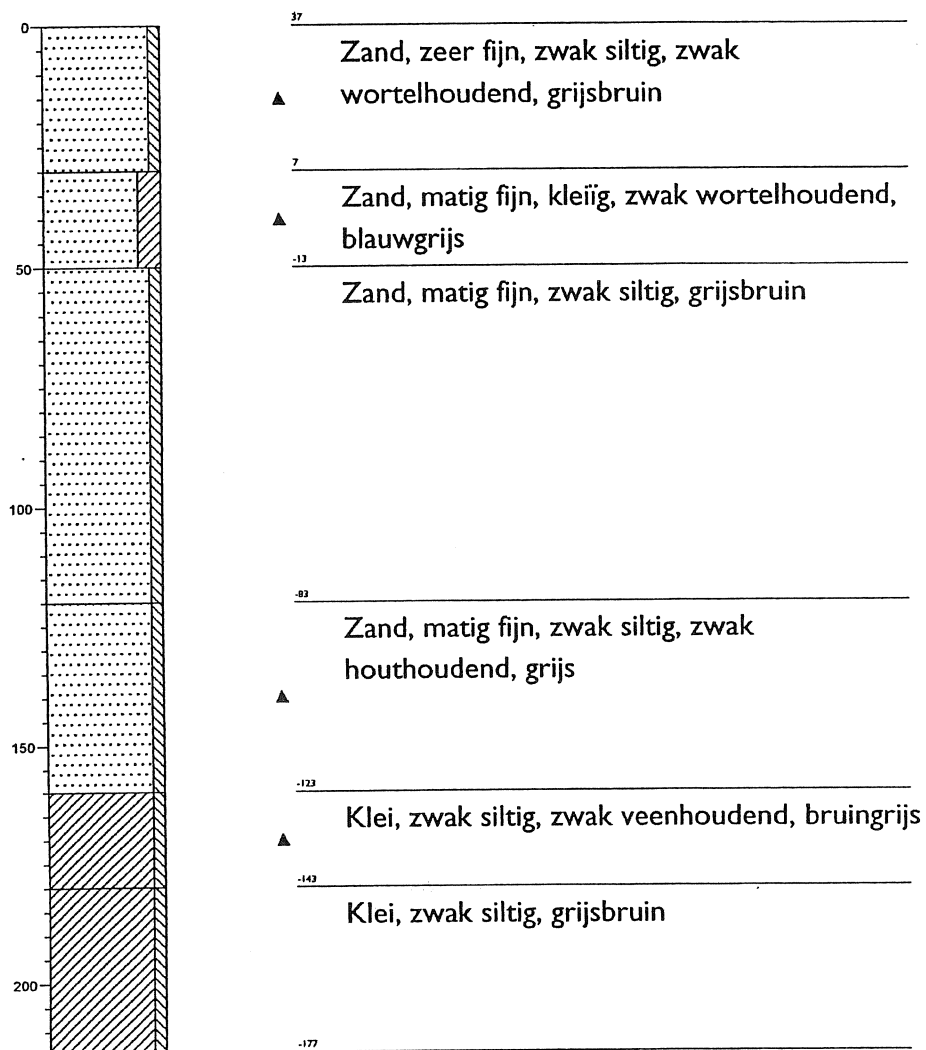


Boring: 10-M - I

Datum : 07-04-2005

Hoogte Maaiveld : 0,37 mtr t.o.v. N.A.P.

Opmerking : Grondwater in boorgat stijgt langzaam



Projectcode : 45667

Opdrachtgever : Provincie Friesland

Plaats : Sneek

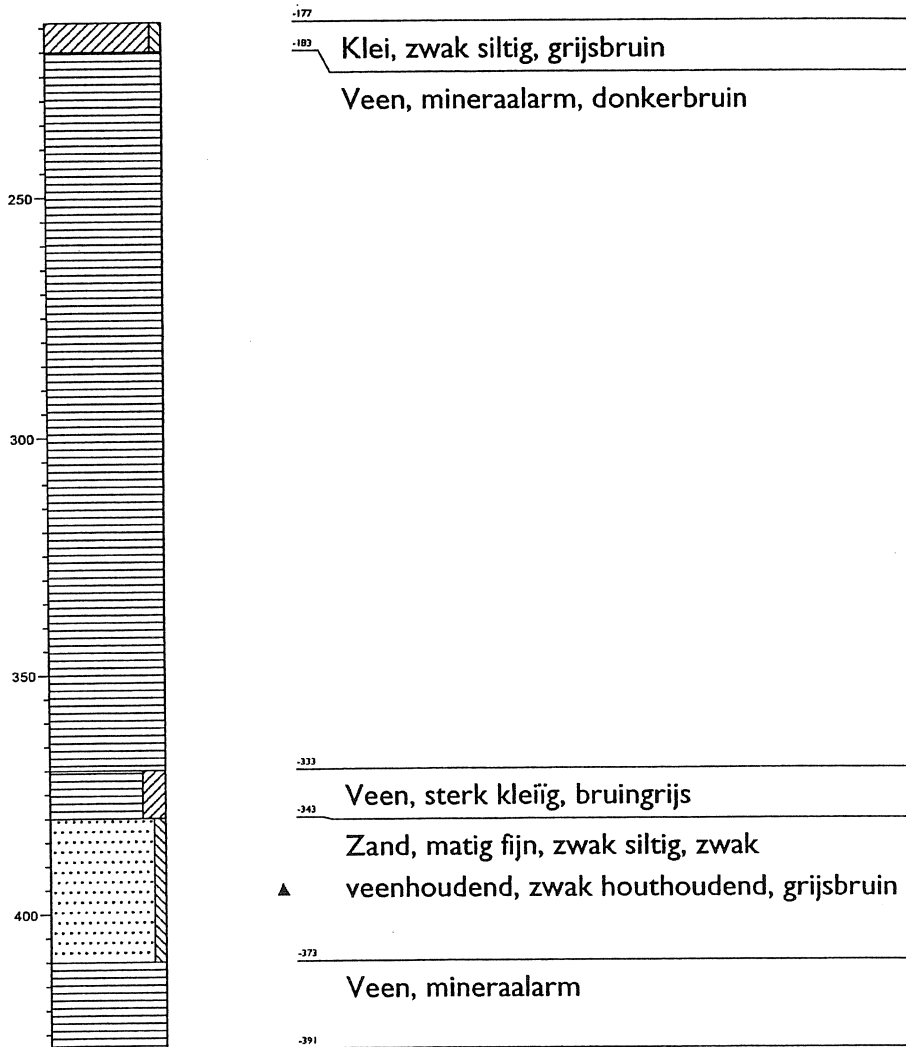
getekend volgens NEN 5104

Boring: 10-M - 2

Datum : 07-04-2005

Hoogte Maaiveld : 0,37 mtr t.o.v. N.A.P.

Opmerking : Grondwater in boorgat stijgt langzaam



Projectcode : 45667

Opdrachtgever : Provincie Friesland

Plaats : Sneek

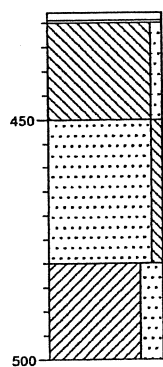
getekend volgens NEN 5104

Boring: 10-M - 3

Datum : 07-04-2005

Hoogte Maaiveld : 0,37 mtr t.o.v. N.A.P.

Opmerking : Grondwater in boorgat stijgt langzaam



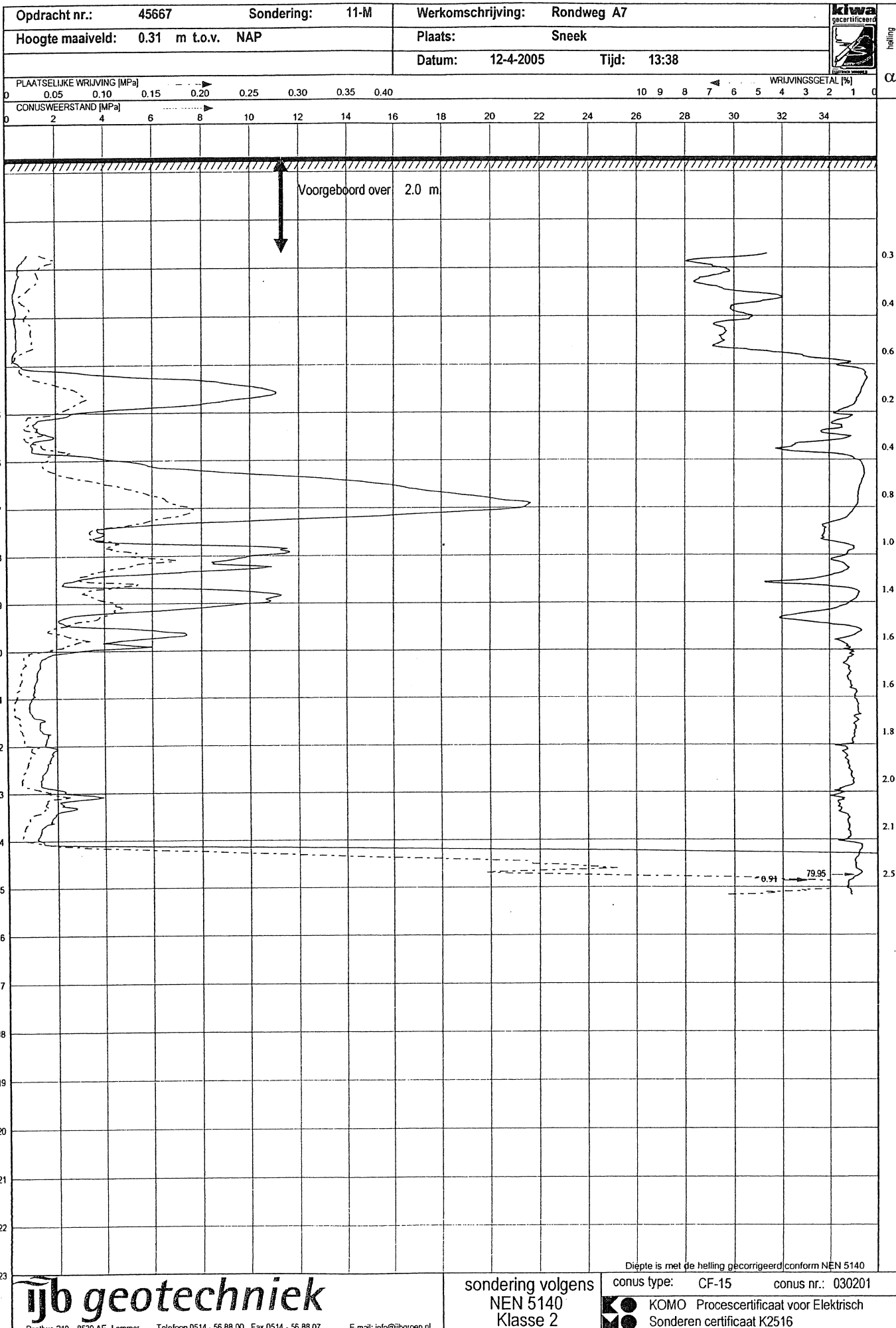
-391 -392	Veen, mineraalarm
-412	Leem, zwak zandig
▲	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak houthoudend, grijsbruin
-443	Klei, sterk zandig, grijs, matig vast, matig siltig, vochtig
-463	

Projectcode : 45667

Opdrachtgever : Provincie Friesland

Plaats : Sneek

getekend volgens NEN 5104

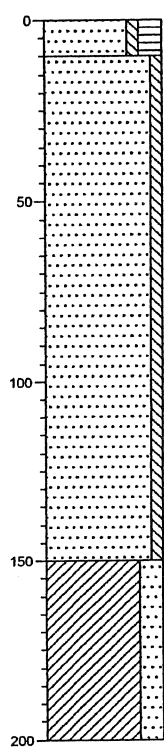


Boring: 11-M

Datum : 15-4-2005

Hoogte Maaiveld : 0,31 mtr t.o.v. N.A.P.

Opmerking : Grondwater in boorgat stijgt langzaam



21
21 Zand, matig fijn, zwak siltig, sterk humeus,
bruin, droog

Zand, matig fijn, zwak siltig, geel,
droog/vochtig

-119
Klei, sterk zandig, grijs, matig vast, matig
siltig, vochtig

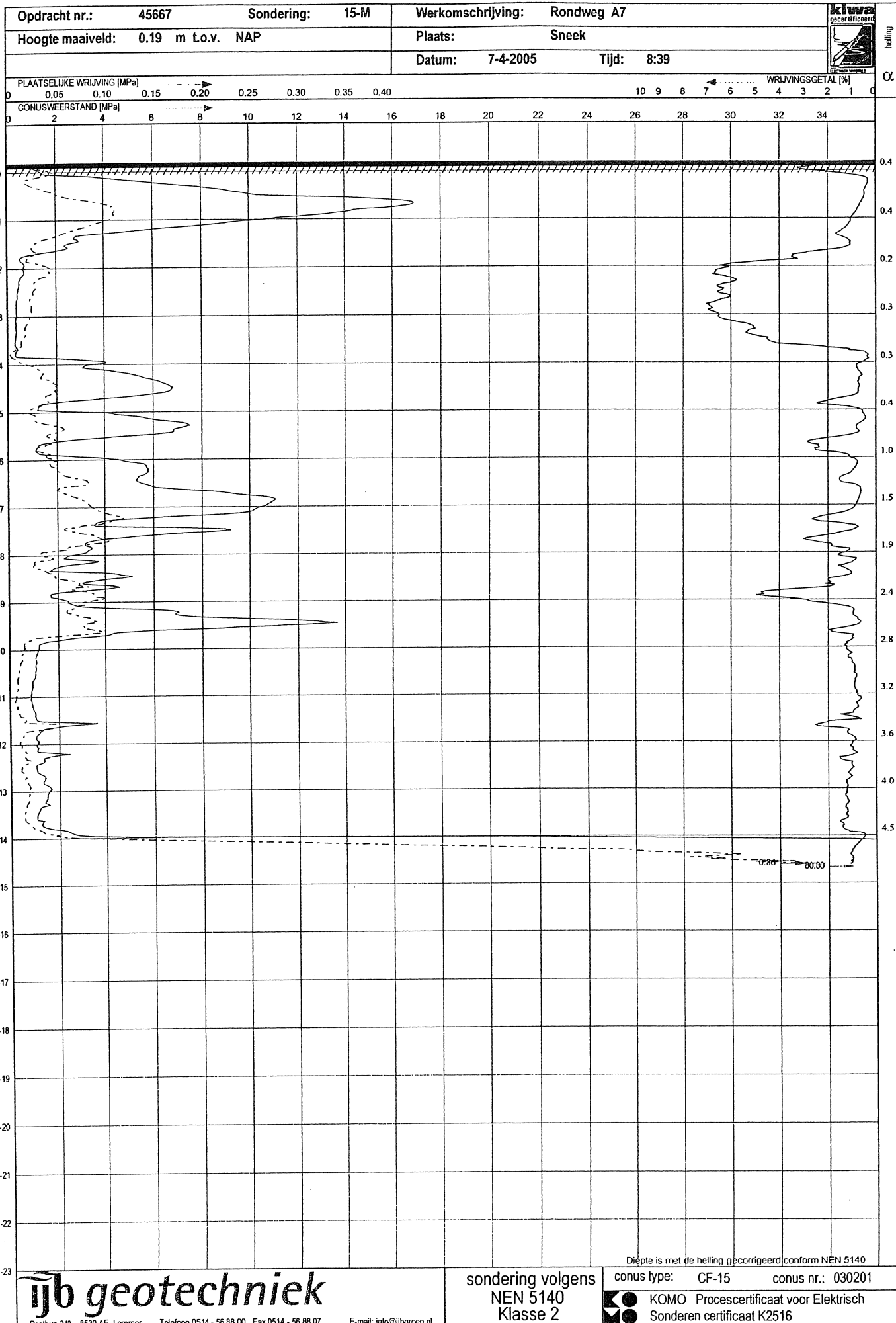
-169

Projectcode : 45667

Opdrachtgever : Provincie Friesland

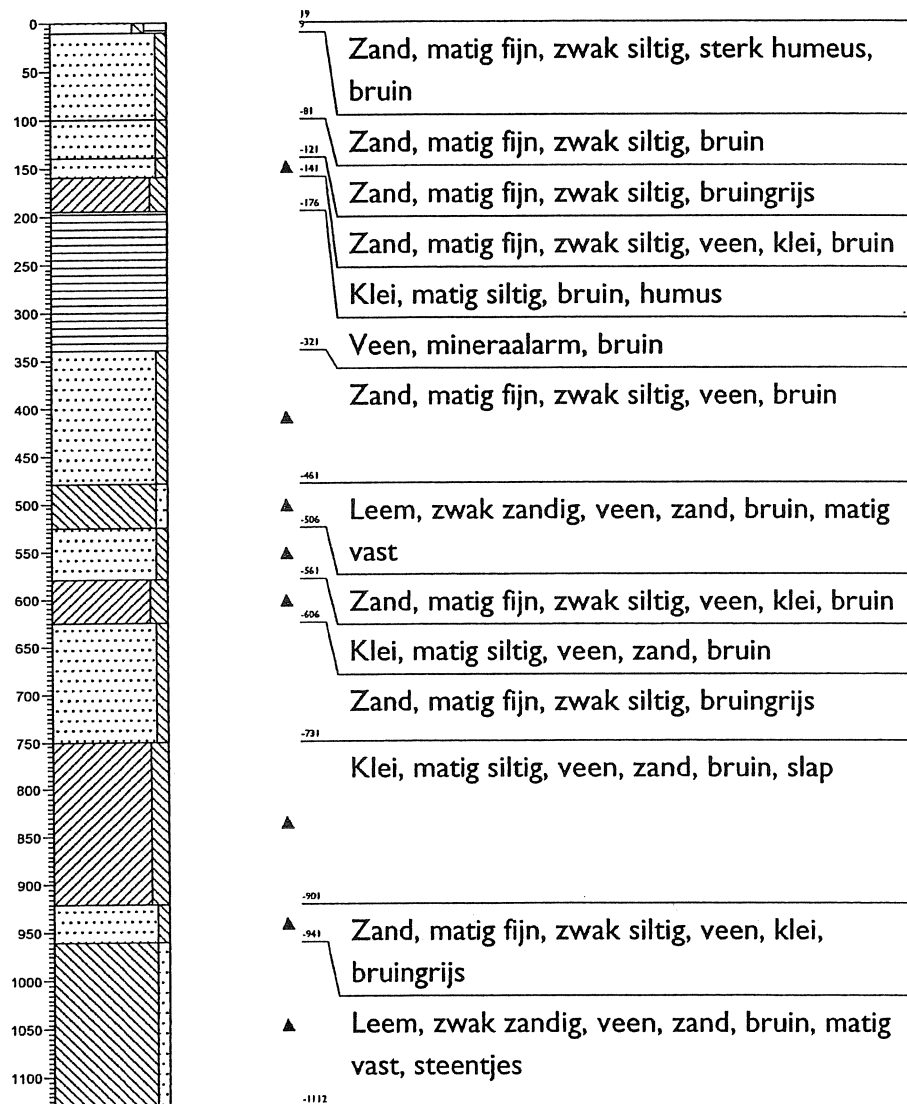
Plaats : Sneek

getekend volgens NEN 5104



Boring: 15-M - I

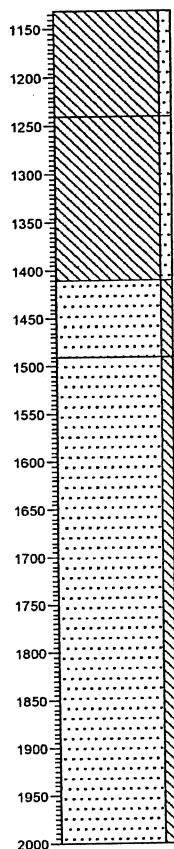
Datum : 15-4-2005
Hoogte Maaiveld : 0,19 mtr t.o.v. N.A.P.
Opmerking :



Projectcode : 45667
Opdrachtgever : Provincie Friesland
Plaats : Sneek
getekend volgens NEN 5104

Boring: 15-M - 2

Datum : 15-4-2005
Hoogte Maaiveld : 0,19 mtr t.o.v. N.A.P.
Opmerking :



-1,11E3
▲ Leem, zwak zandig, veen, zand, bruin, matig vast, steentjes

-1,221
▲ Leem, zwak zandig, zand, bruin, zeer vast, steentjes

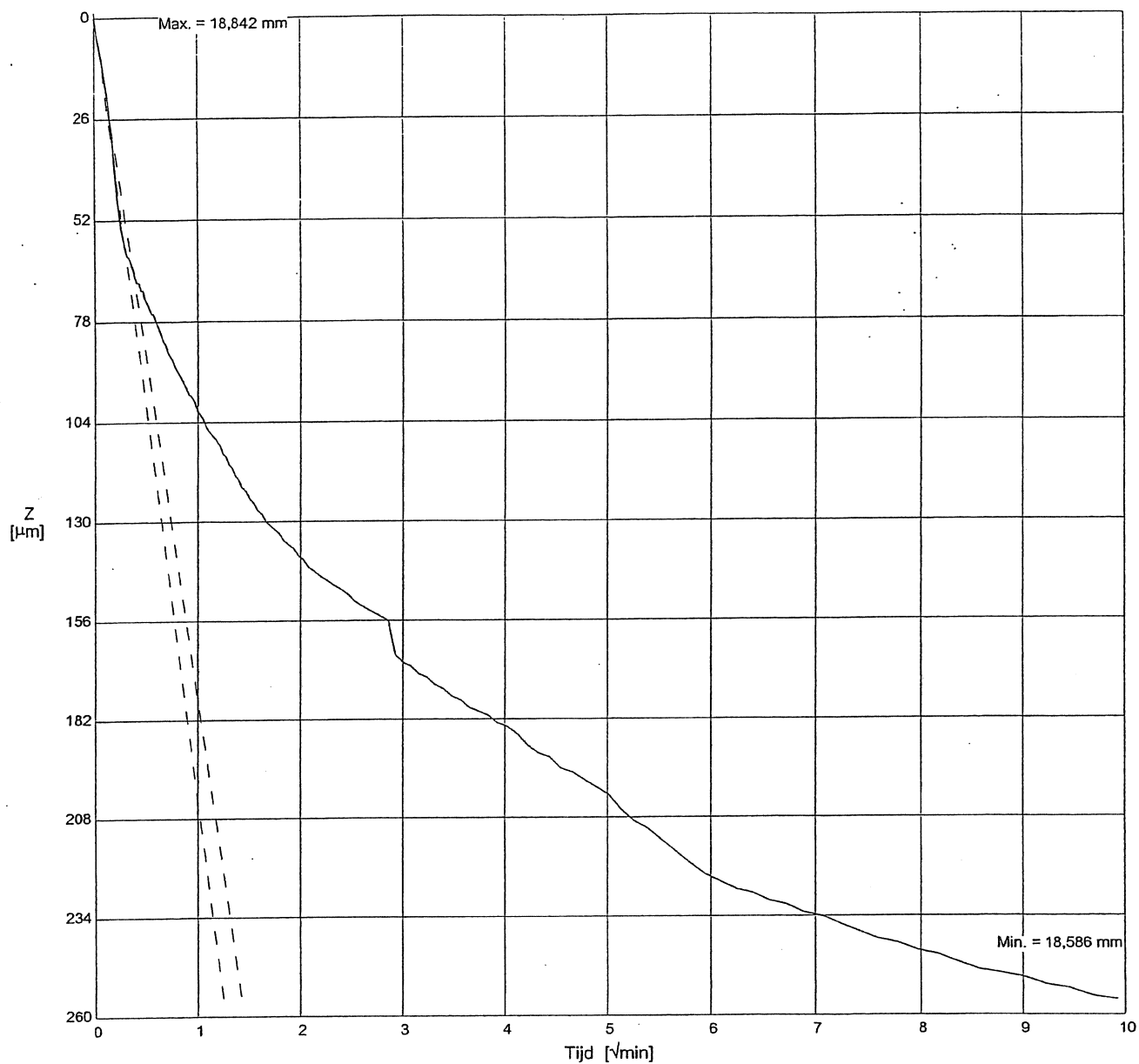
-1,391
▲ Zand, matig fijn, zwak siltig, veen, bruin, grijs

-1,471
Zand, matig fijn, zwak siltig, veen, bruin

▲

-1,981

Projectcode : 45667
Opdrachtgever : Provincie Friesland
Plaats : Sneek
getekend volgens NEN 5104

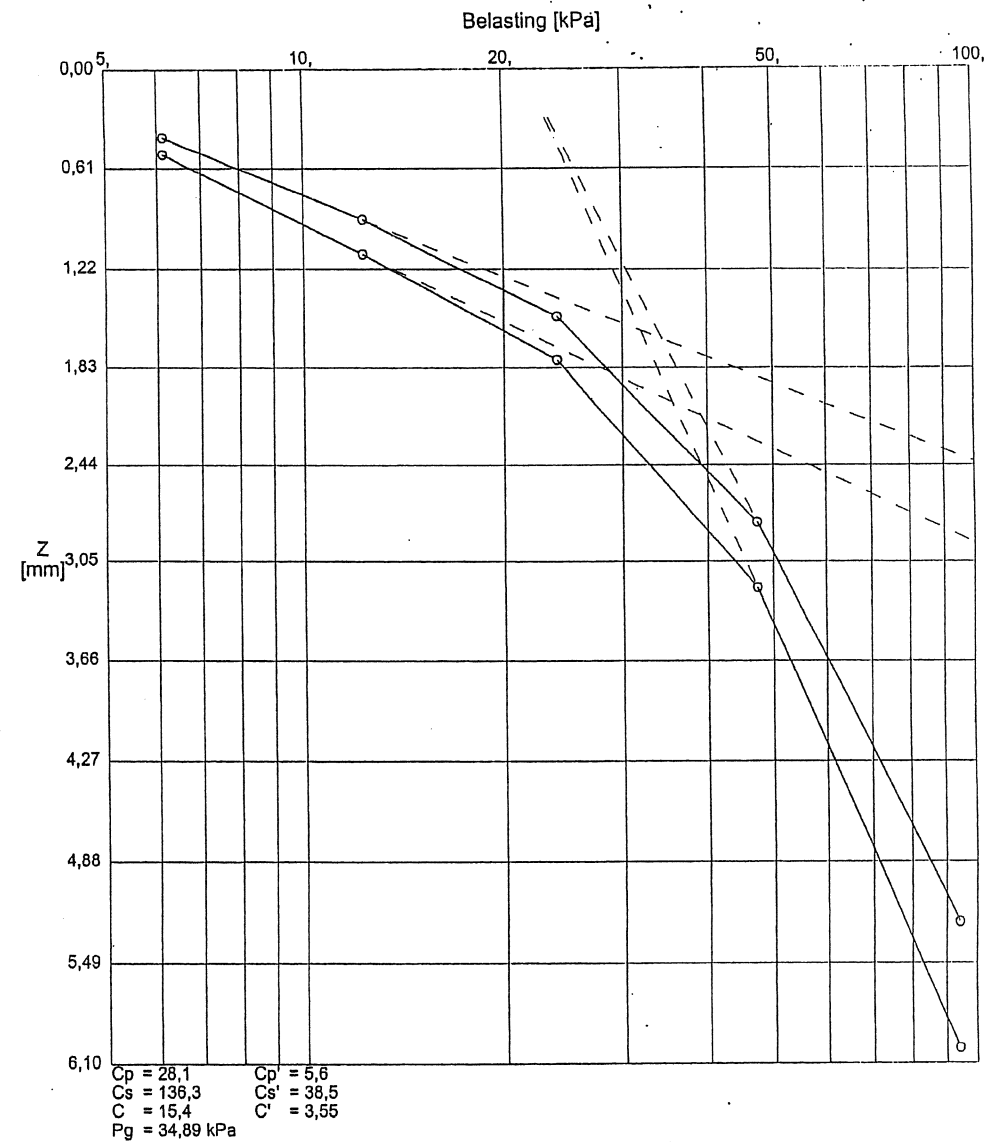
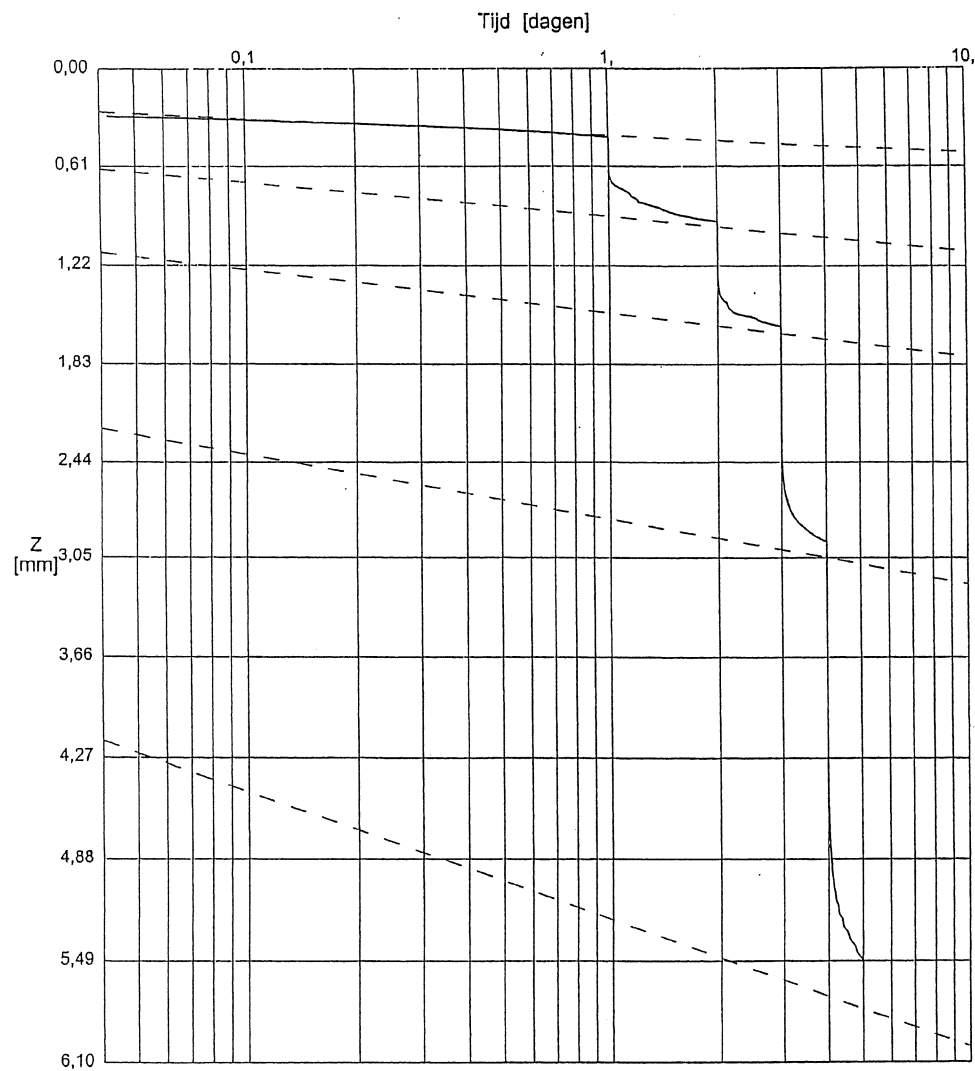


Trap 3
Belasting van 12,29 kPa naar 23,98 kPa

$C_{v,10} = 6,295E-06 \text{ [m}^2/\text{s]}$
 $m_v = 3,411E-01 \text{ [1/MPa]}$
 $k_{10} = 2,106E-08 \text{ [m/s]}$

Boring : M15
 Busnummer : I
 Monsterdiepte : MV - 2.50 m
 Grondsoort : Veen, donkerbruin
 Beproeversperiode : 05-04-26 tot 05-05-02
 Staat monster : ongeroerd
 Preparatiemethode : overgeschoven
 Beproeversomgeving : nat
 Temperatuur : 22°C
 Proefstukdiameter : 64,94 mm
 Bijzonderheden : geen

2005-05-17	Ombouw Stadsrondweg Zuid te Sneek	
	Consolidatie (NEN 5118), $\sqrt{t}$ - methode; Bus: I; Boring: M15	Pr.nr. VN-35704
Hfd. GTL./JvdK	GEOTECHNISCH LABORATORIUM	Bijl. Pg. 1 van 3



Boring	: M15	Preparatiemethode	: overgeschoven
Busnummer	: I	Beproevoingsomgeving	: nat
Monsterdiepte	: MV - 2.50 m	Temperatuur	: 22°C
Staat monster	: ongeroerd	Proefstukdiameter	: 64,94 mm
Beproevoingsperiode	: 05-04-26 tot 05-05-02	Grondsoort	: Veen, donkerbruin
Bijzonderheden	: geen		

2005-05-17

Ombouw Stadsrondweg Zuid te Sneek

Samendrukkingsconstanten vlg. Koppejan; Bus: I; Boring: M15

Pr.nr. VN-35704

Hfd. GTL./JvdK

GEOTECHNISCH LABORATORIUM

Bijl. Pg. 2 van 3

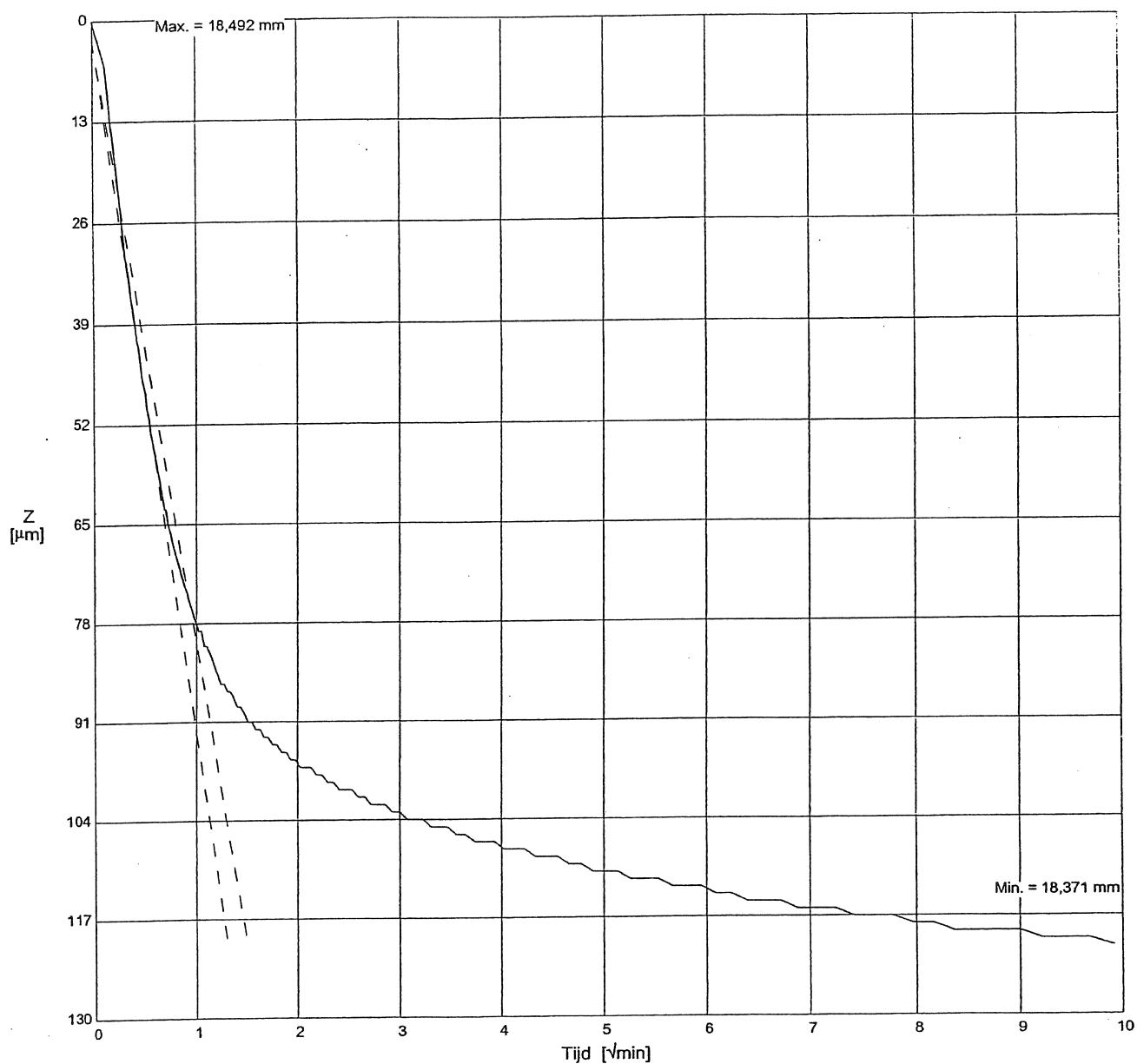
Opdrachtnummer : VN-35704
 Boring : M15
 Bus : I
 Diepte monster : MV - 2.50 m
 Grondsoort : Veen, donkerbruin
 Diameter monster: 64,94 mm ; Initiële hoogte: 20,02 mm

Trap	Cv;10 [m2/s]	k10 [m/s]	Mv [1/MPa]	wortel(tijd) methode
3	6,29E-06	2,11E-08	3,41E-01	

Procentuele zakking dH/H [%]				
dP [kPa]	10-dagen	100-dagen	1000-dagen	10000-dagen
6,124	2,640	3,163	3,686	4,210
12,291	5,631	6,666	7,701	8,735
23,976	8,891	10,222	11,552	12,884
47,347	16,040	18,090	20,141	22,191
94,088	30,019	33,855	37,690	41,525

	Cp = 28,1	Cs = 136,3	C = 15,4	
Trap 2 - 3	Cp' = 22,6	Cs' = 231,5	C' = 16,23	
Trap 3 - 4	Cp' = 10,6	Cs' = 95,5	C' = 7,33	
Trap 4 - 5	Cp' = 5,6	Cs' = 38,5	C' = 3,55	

Pg = 34,89 kPa

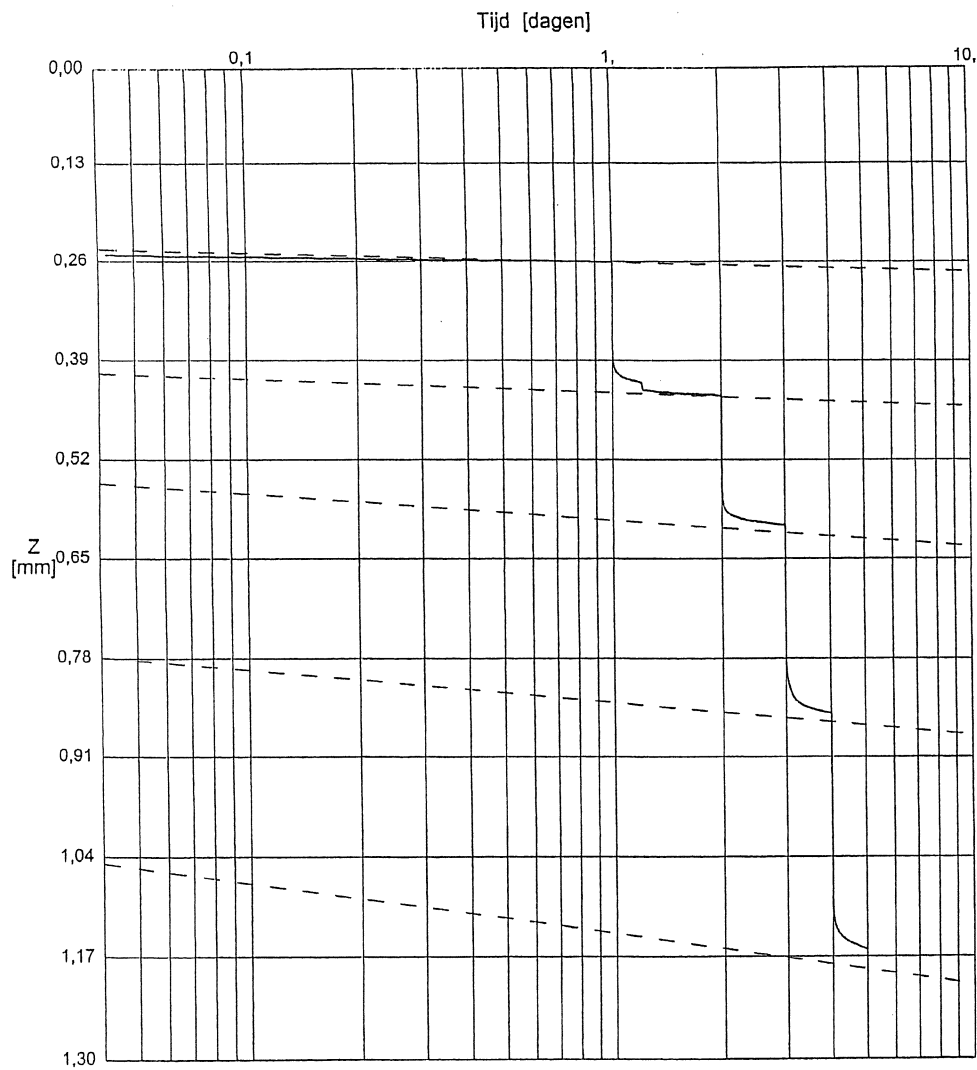


Trap 3
Belasting van 38,70 kPa naar 76,75 kPa

$C_{v,10} = 9,909E-07$ [m²/s]
 $m_v = 1,165E-01$ [1/MPa]
 $k_{10} = 1,132E-09$ [m/s]

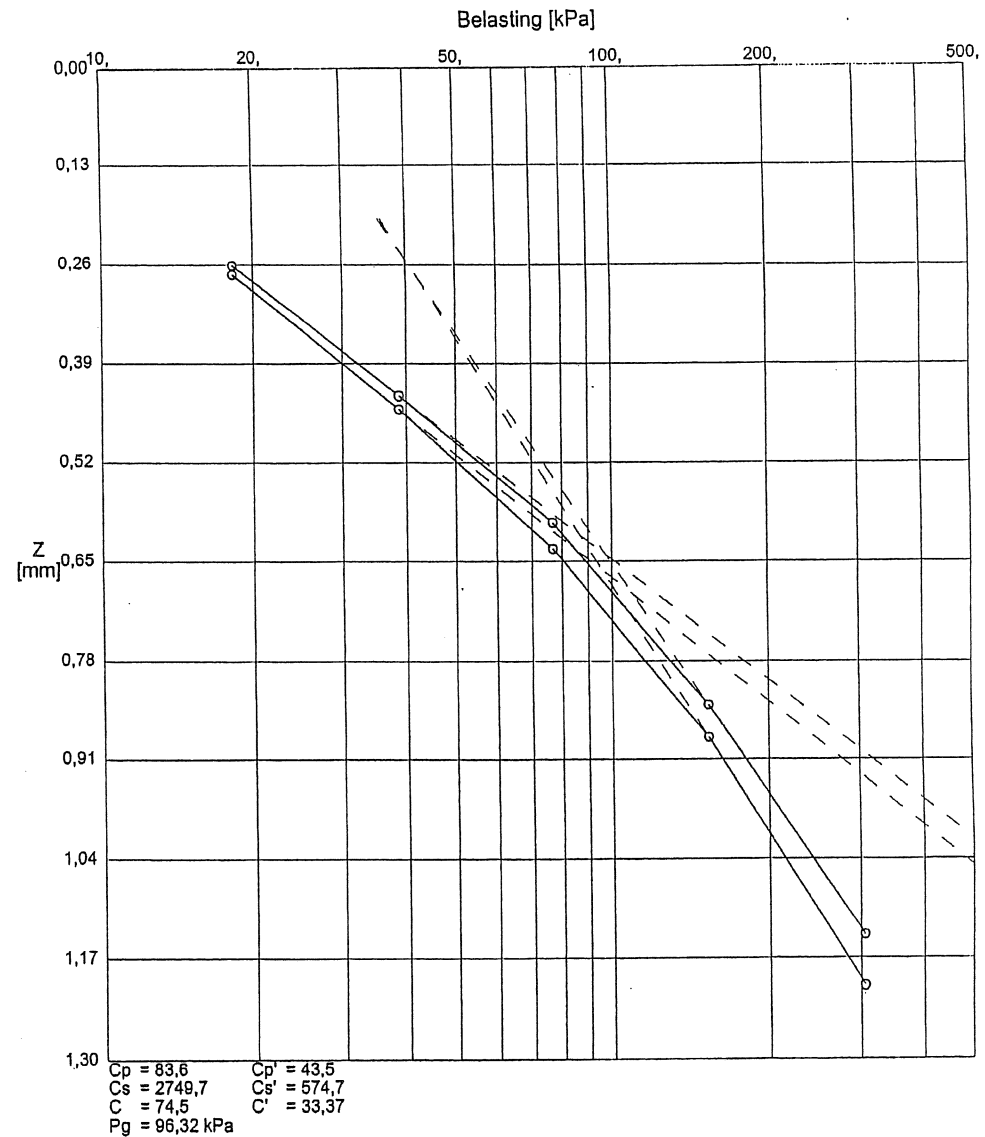
Boring : M15
 Busnummer : XVII
 Monsterdiepte : MV - 11.00 m
 Grondsoort : Leem, grindsteentjes, grijs
 Beproeversperiode : 05-04-26 tot 05-05-02
 Staat monster : ongeroerd
 Preparatiemethode : overgeschoven
 Beproeversomgeving : nat
 Temperatuur : 22°C
 Proefstukdiameter : 65,04 mm
 Bijzonderheden : geen

2005-12-05	Ombouw Stadsrondweg Zuid te Sneek	
	Consolidatie (NEN 5118), $\sqrt{t}$ - methode; Bus: XVII; Boring: M15	Pr.nr. VN-35704
Hfd. GTL./JvdK	GEOTECHNISCH LABORATORIUM	Bijl. Pg. 1 van 3



Boring : M15
 Busnummer : XVII
 Monsterdiepte : MV - 11.00 m
 Staat monster : ongeroerd
 Beproeversperiode : 05-04-26 tot 05-05-02
 Bijzonderheden : geen

Preparatiemethode : overgeschoven
 Beproeversomgeving : nat
 Temperatuur : 22°C
 Proefstukdiameter : 65,04 mm
 Grondsoort : Leem, grindsteentjes, grijs



2005-12-05

Ombouw Stadsrondweg Zuid te Sneek

Samendrukkingsconstanten vlg. Koppejan; Bus: XVII; Boring: M15

Pr.nr. VN-35704

Hfd. GTL./JvdK

GEOTECHNISCH LABORATORIUM

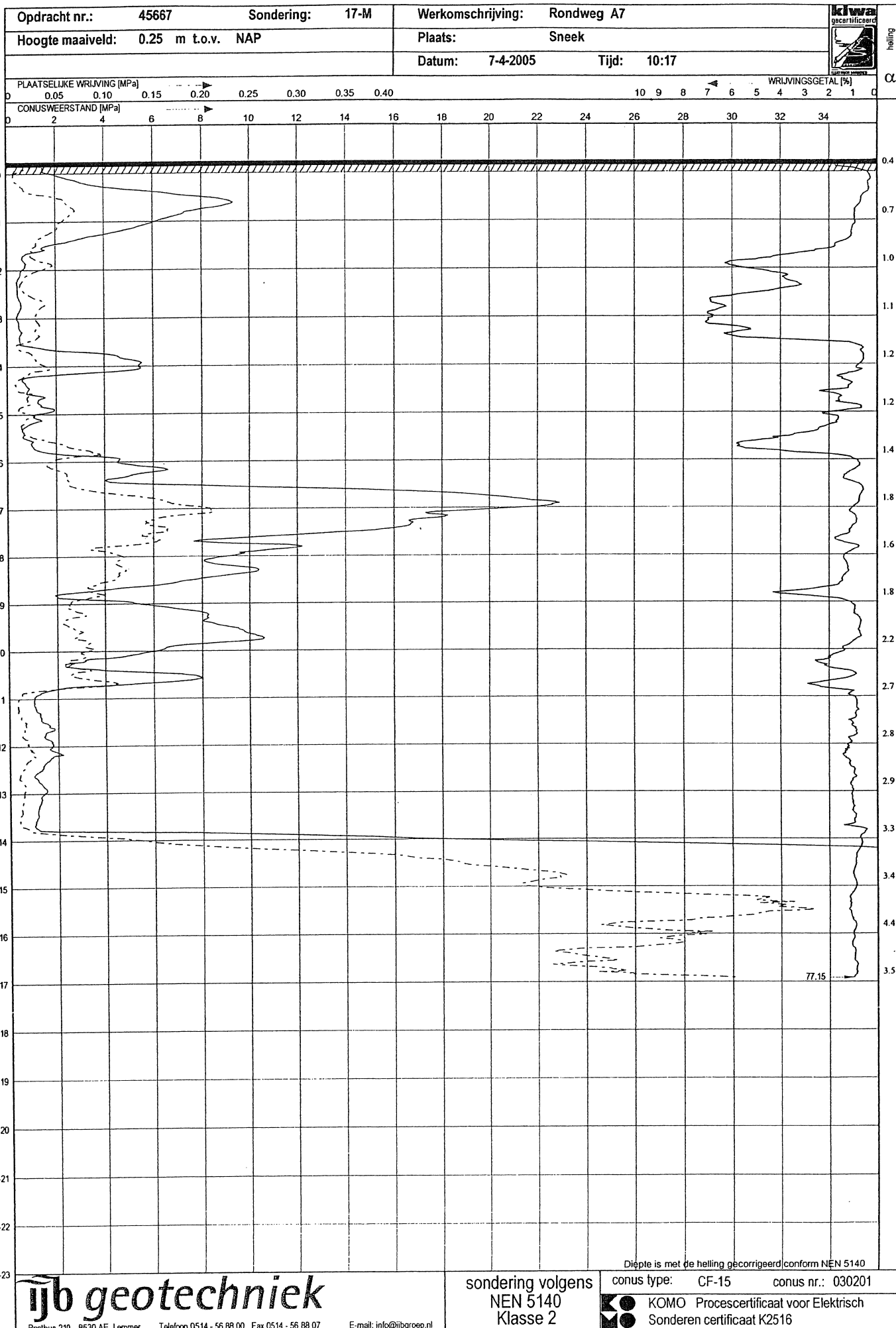
Bijl. Pg. 2 van 3

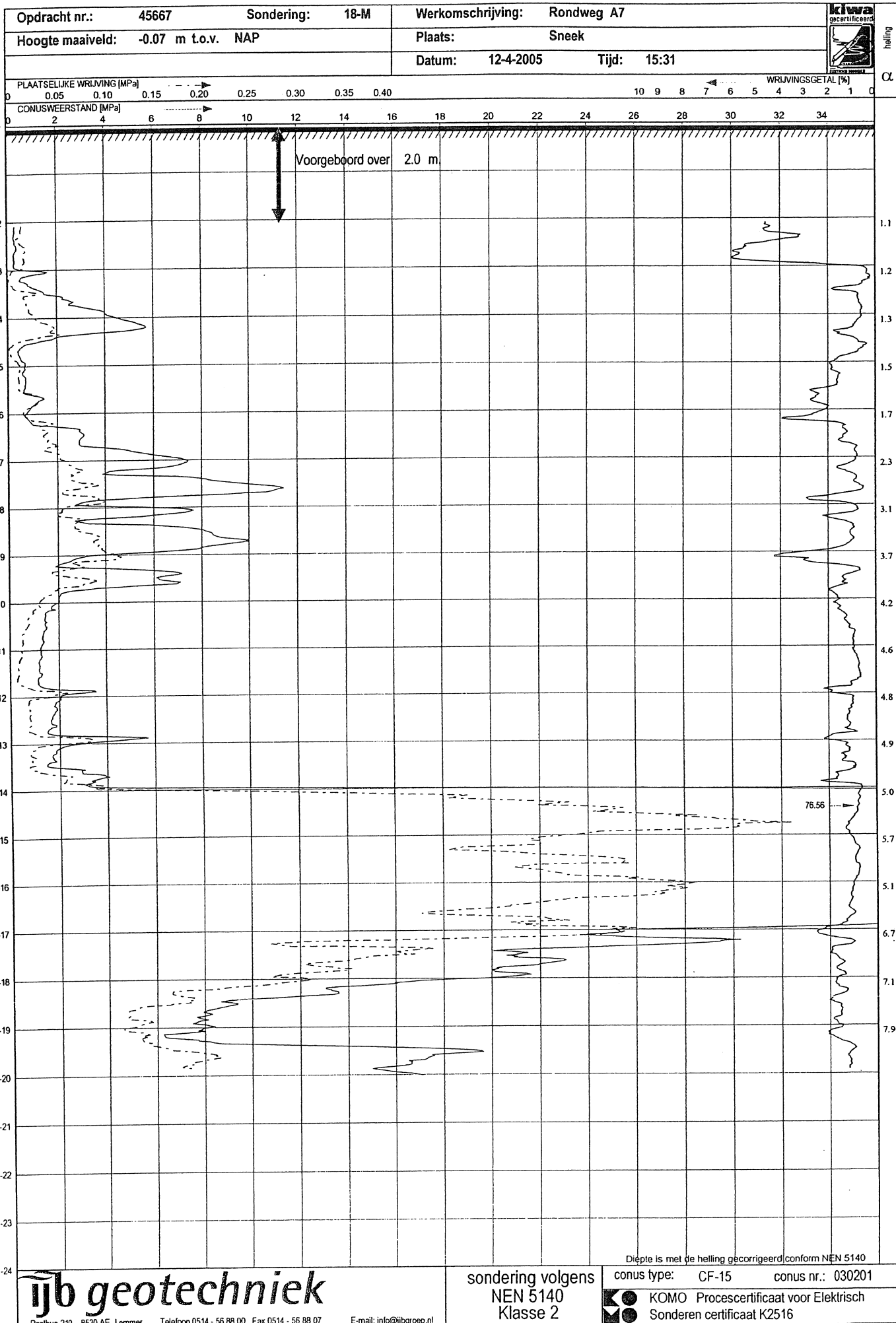
Opdrachtnummer : VN-35704
 Boring : M15
 Bus : XVII
 Diepte monster : MV - 11.00 m
 Grondsoort : Leem, grindsteentjes, grijs
 Diameter monster: 65,04 mm ; Initiële hoogte: 18,96 mm

Trap	Cv;10 [m ² /s]	k10 [m/s]	Mv [1/MPa]	wortel(tijd) methode
3	9,91E-07	1,13E-09	1,17E-01	

Procentuele zakking dH/H [%]		100-dagen	1000-dagen	10000-dagen
dP [kPa]	10-dagen			
18,203	1,443	1,508	1,574	1,639
38,695	2,373	2,466	2,559	2,652
76,750	3,339	3,519	3,699	3,879
152,862	4,650	4,877	5,103	5,330
305,085	6,360	6,706	7,053	7,399

	Cp = 83,6	Cs = 2749,7	C = 74,5	Pg = 96,32 kPa
Trap 2 - 3	Cp' = 77,8	Cs' = 798,9	C' = 56,01	
Trap 3 - 4	Cp' = 54,5	Cs' = 1488,9	C' = 47,52	
Trap 4 - 5	Cp' = 43,5	Cs' = 574,7	C' = 33,37	



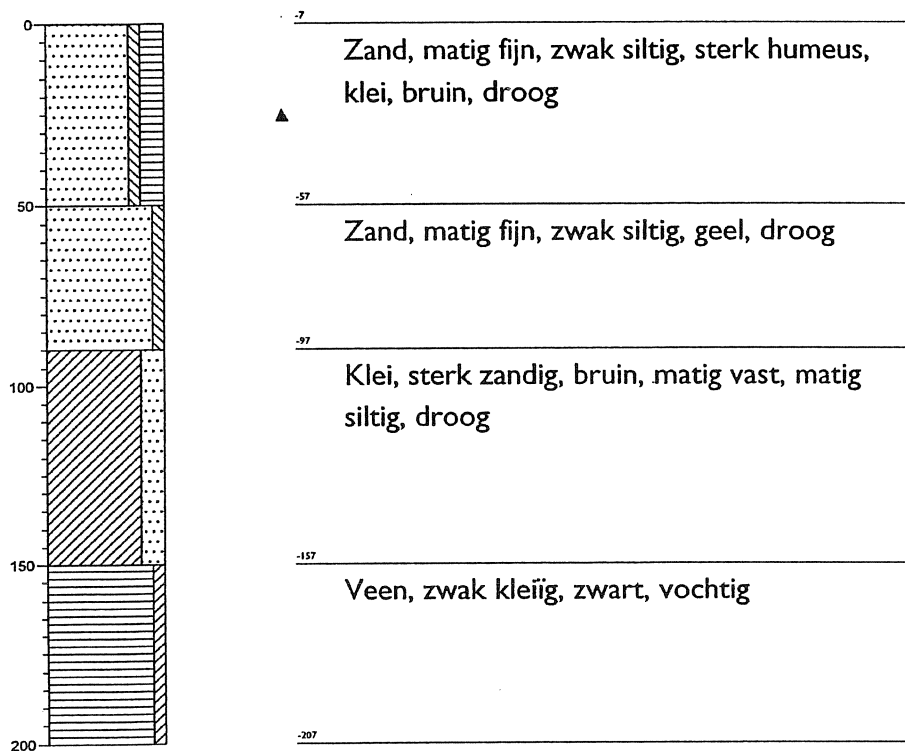


Boring: 18-M

Datum : 15-4-2005

Hoogte Maaiveld : -0,07 mtr t.o.v. N.A.P.

Opmerking : Grondwater in boorgat stijgt langzaam

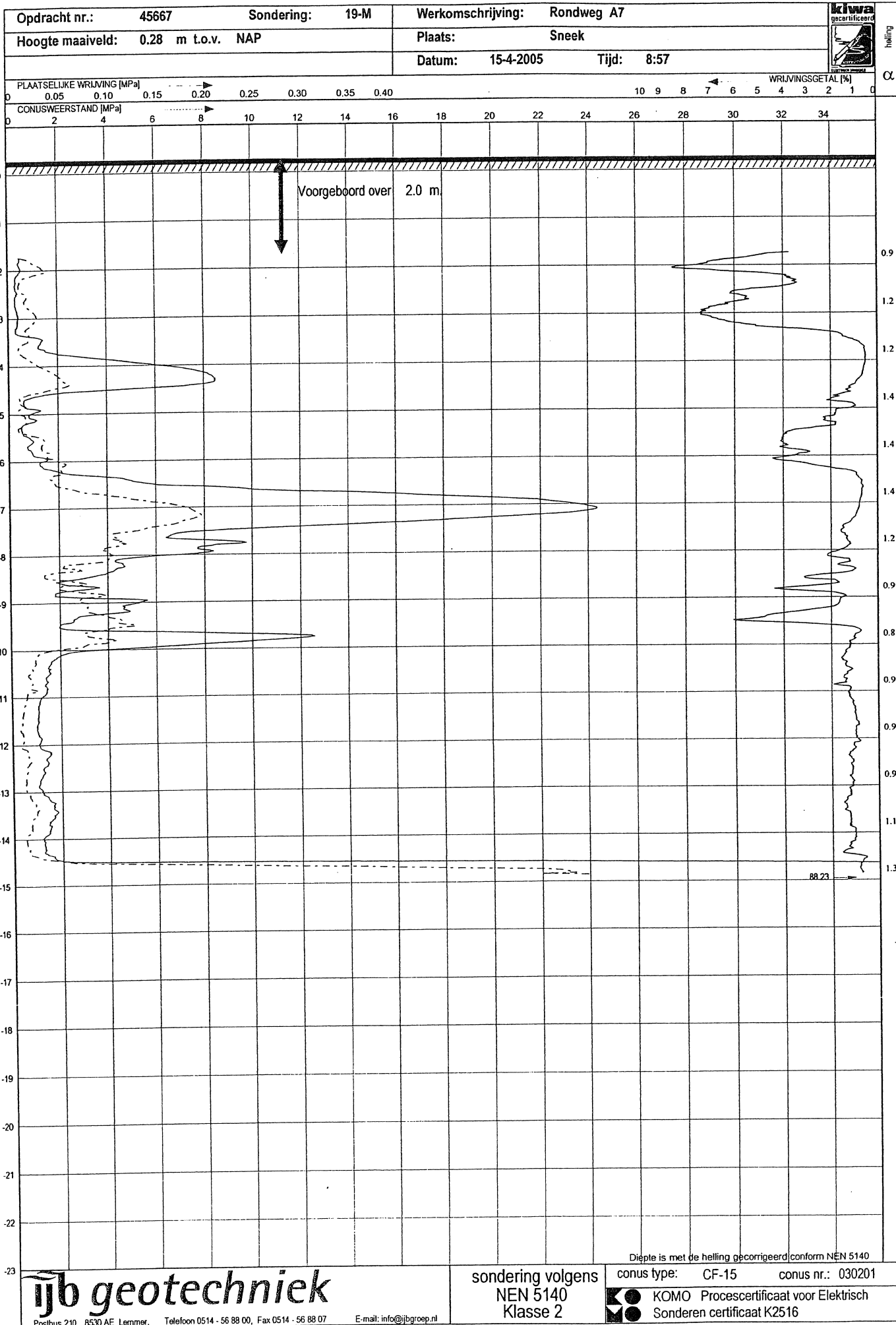


Projectcode : 45667

Opdrachtgever : Provincie Friesland

Plaats : Sneek

getekend volgens NEN 5104

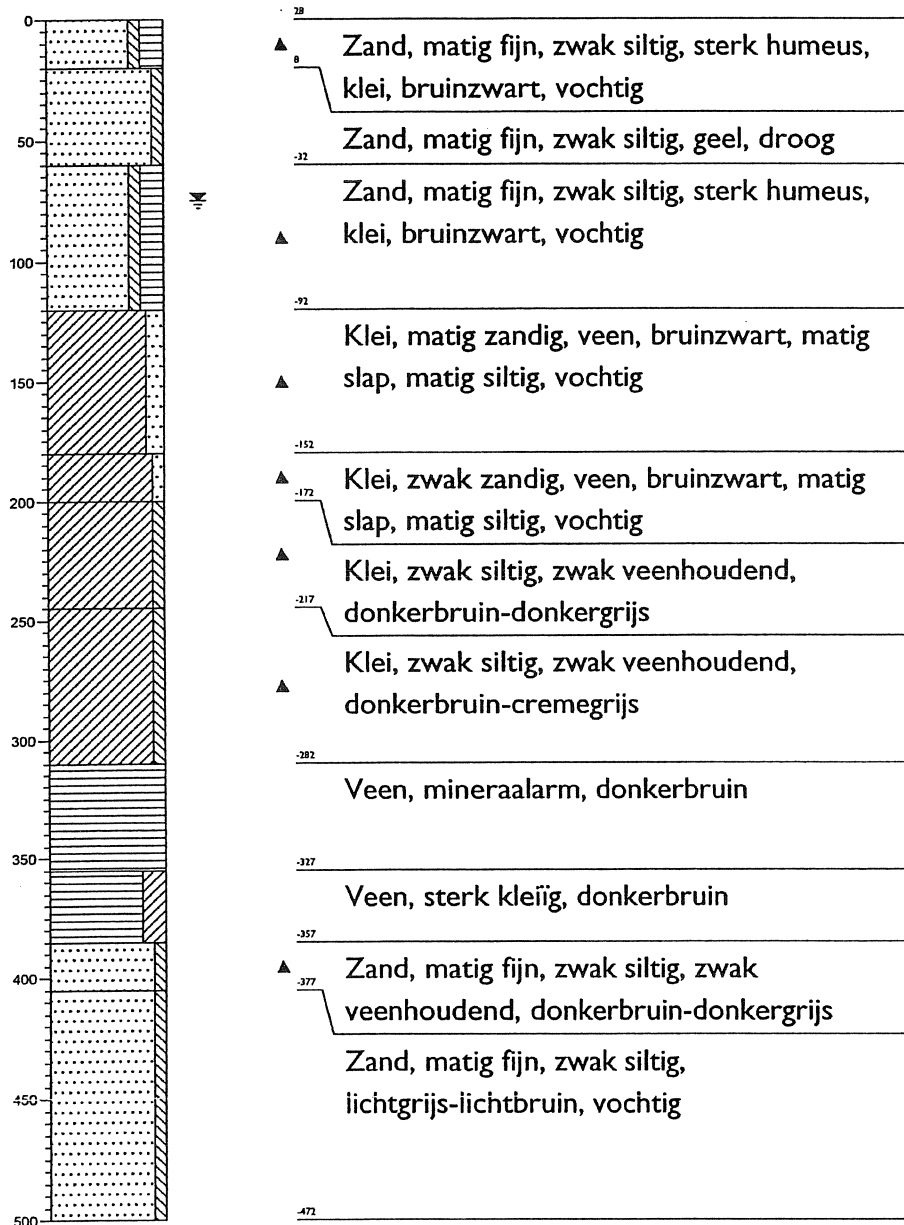


Boring: 19-M

Datum : 12-4-2005

Hoogte Maaiveld : 0,28 mtr t.o.v. N.A.P.

Opmerking : Grondwaterstand is 0.75 m - M.V., stijgt langzaam

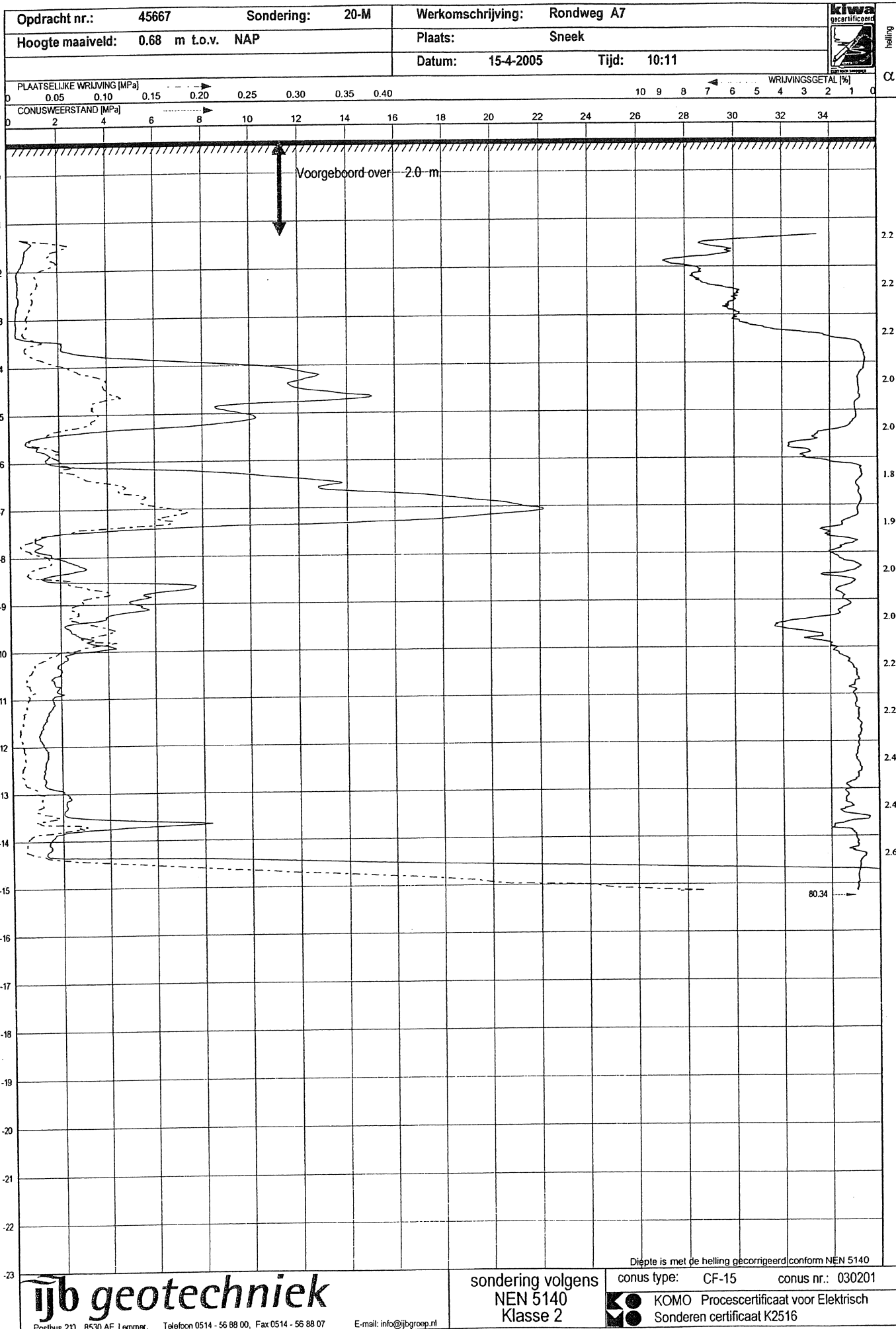


Projectcode : 45667

Opdrachtgever : Provincie Friesland

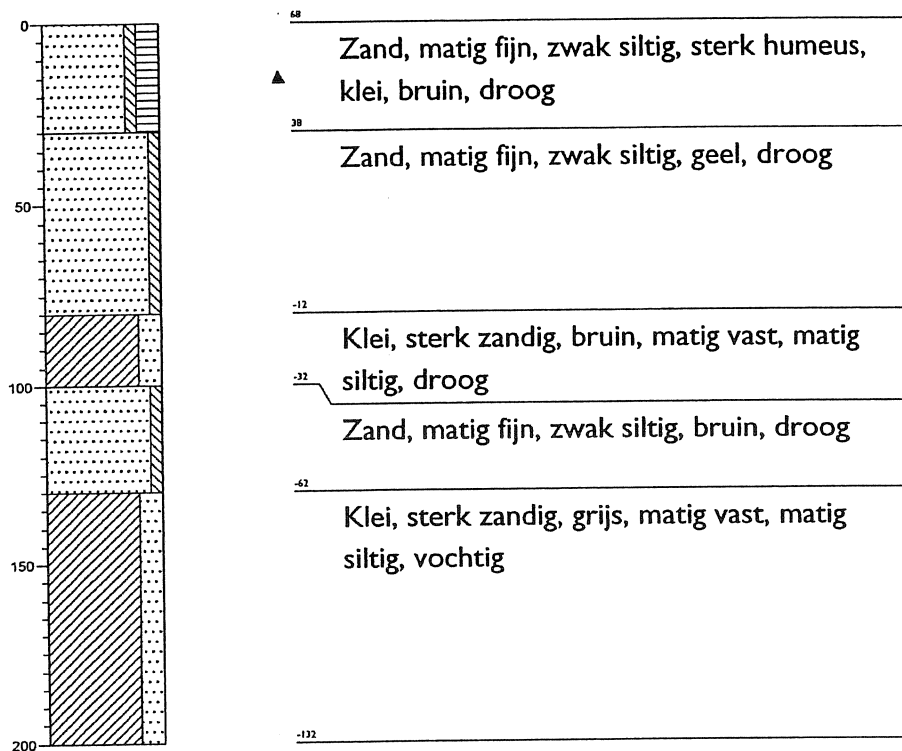
Plaats : Sneek

getekend volgens NEN 5104

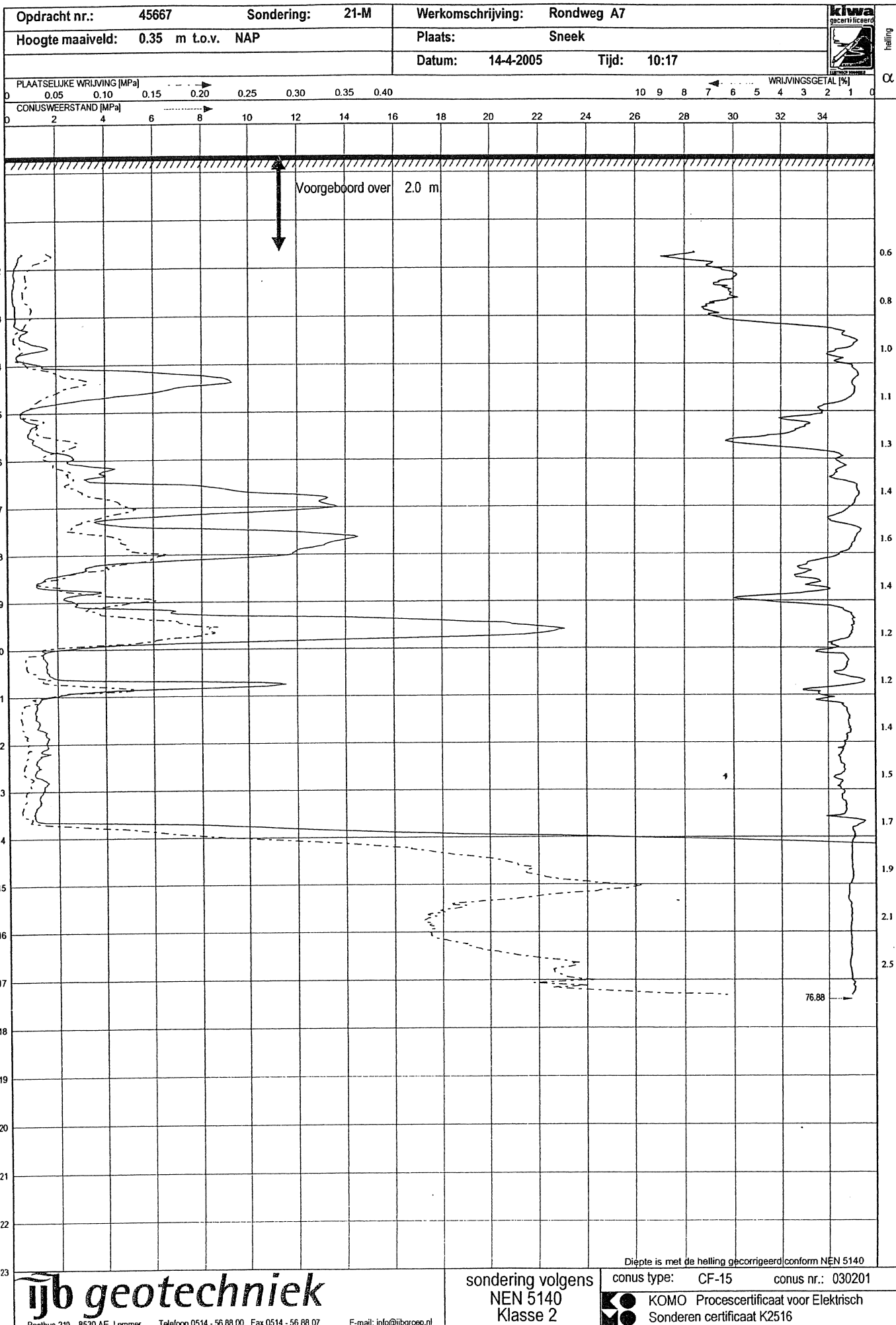


Boring: 20-M

Datum : 15-4-2005
Hoogte Maaiveld : 0,68 mtr t.o.v. N.A.P.
Opmerking : Grondwater in boorgat stijgt langzaam

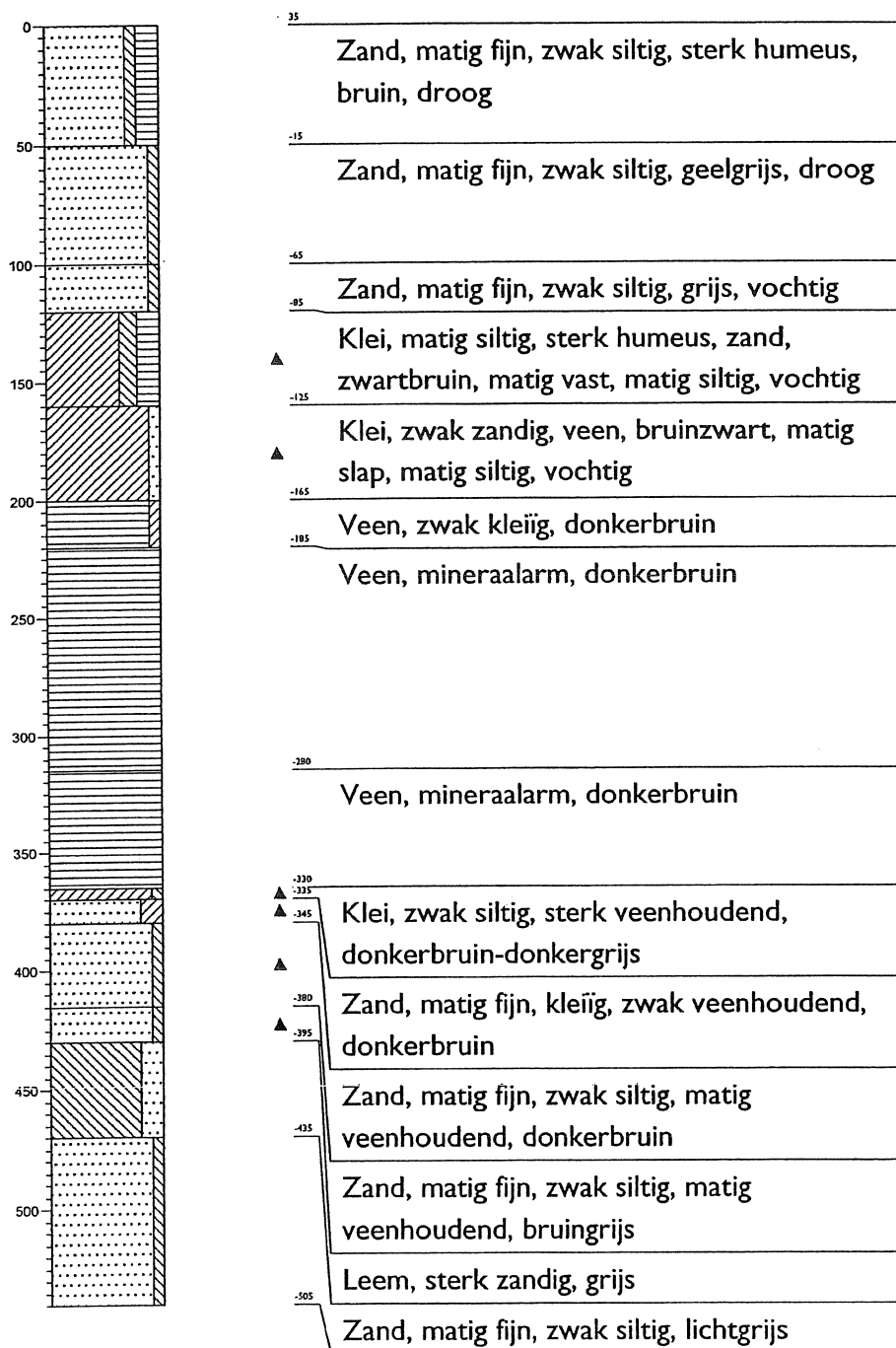


Projectcode : 45667
Opdrachtgever : Provincie Friesland
Plaats : Sneek
getekend volgens NEN 5104

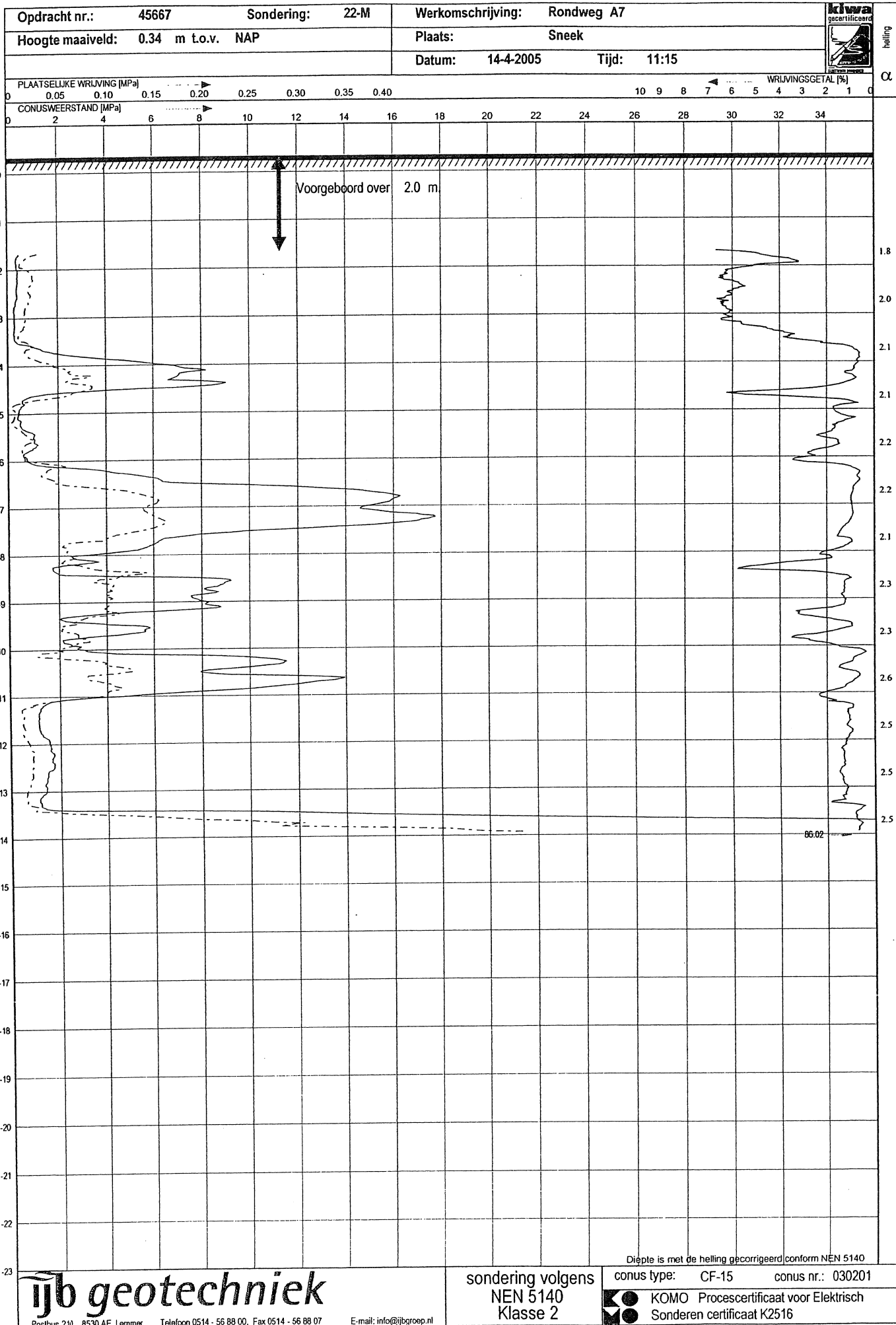


Boring: 21-M

Datum : 14-4-2005
Hoogte Maaiveld : 0,35 mtr t.o.v. N.A.P.
Opmerking : Grondwater in boorgat stijgt langzaam

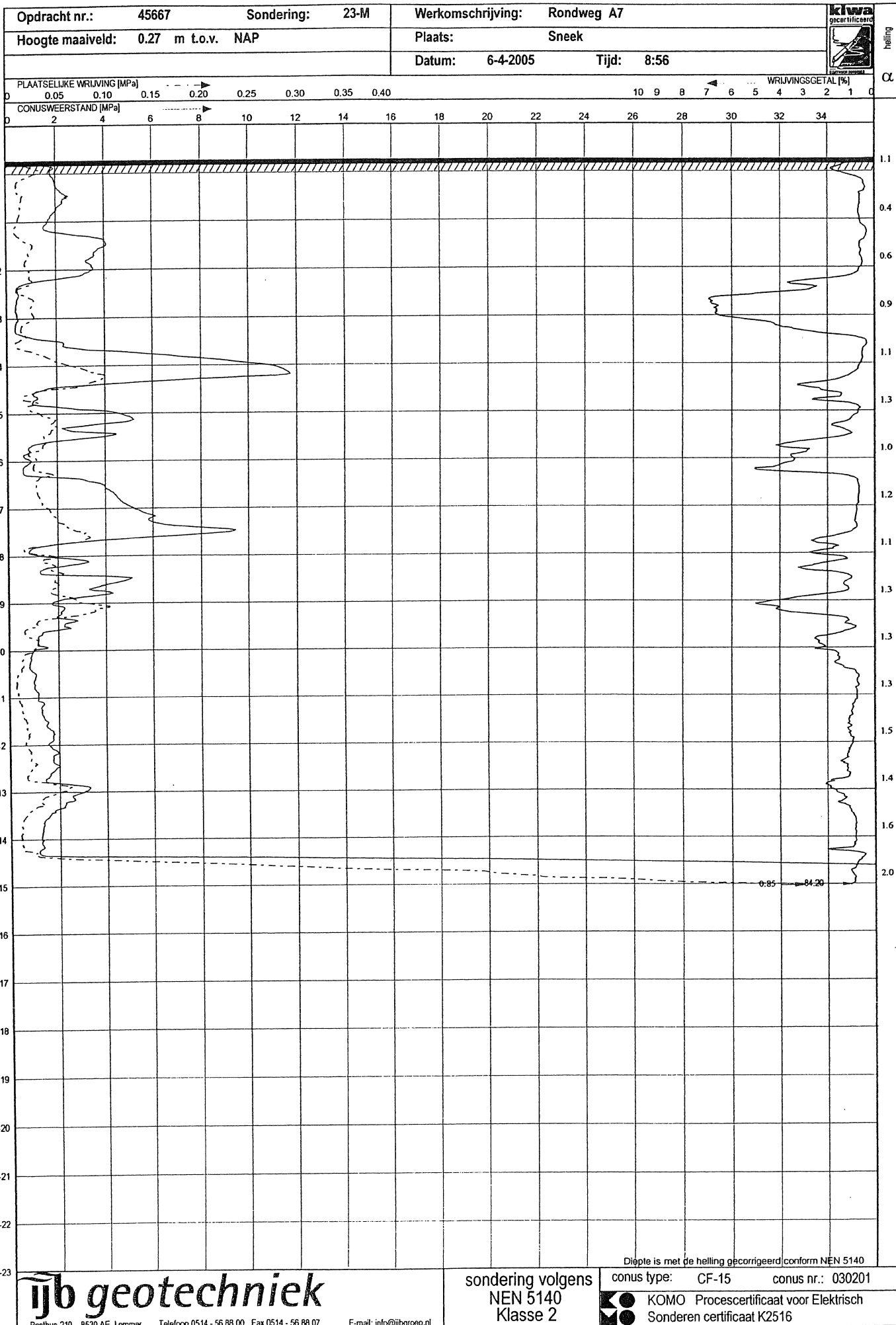


Projectcode : 45667
Opdrachtgever : Provincie Friesland
Plaats : Sneek
getekend volgens NEN 5104



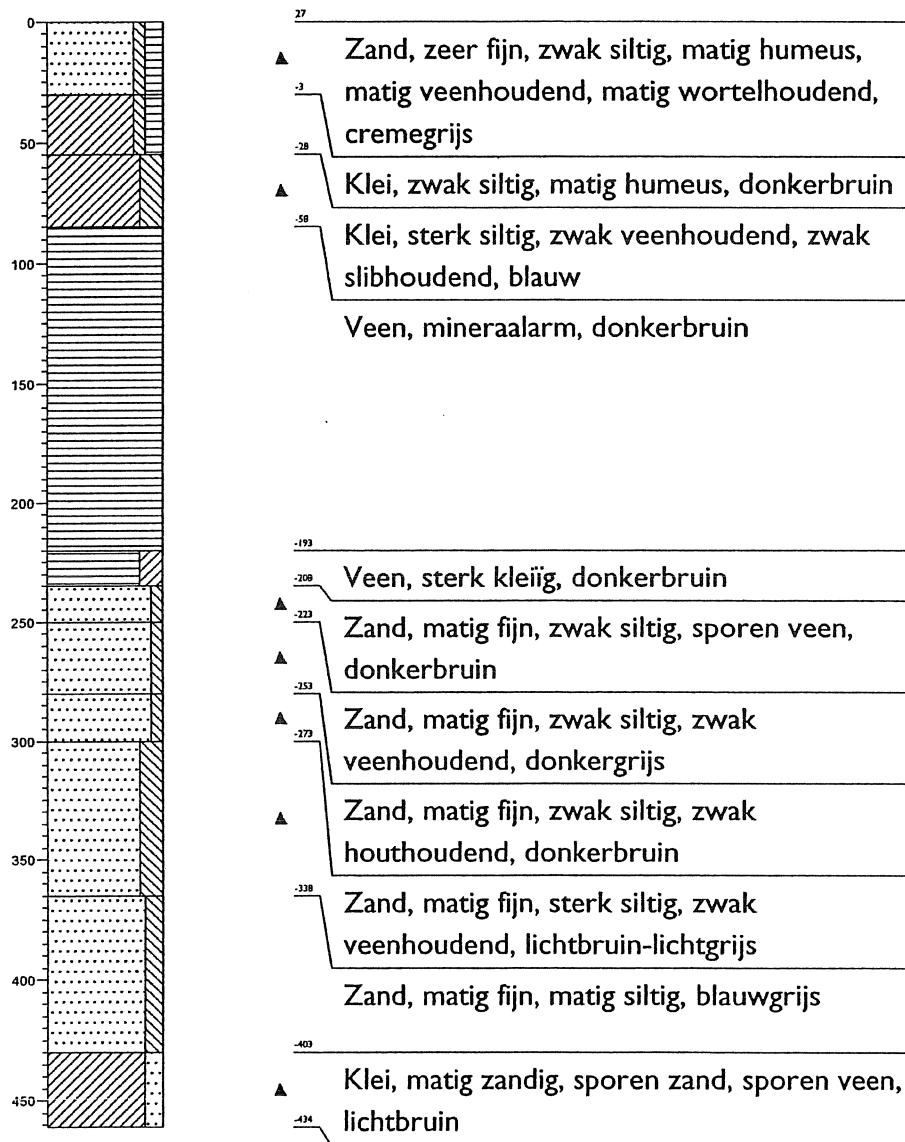
Opmerking : Geen

Projectcode : 45667
Opdrachtgever : Provincie Friesland
Plaats : Sneek
getekend volgens NEN 5104



Boring: 23-M - I

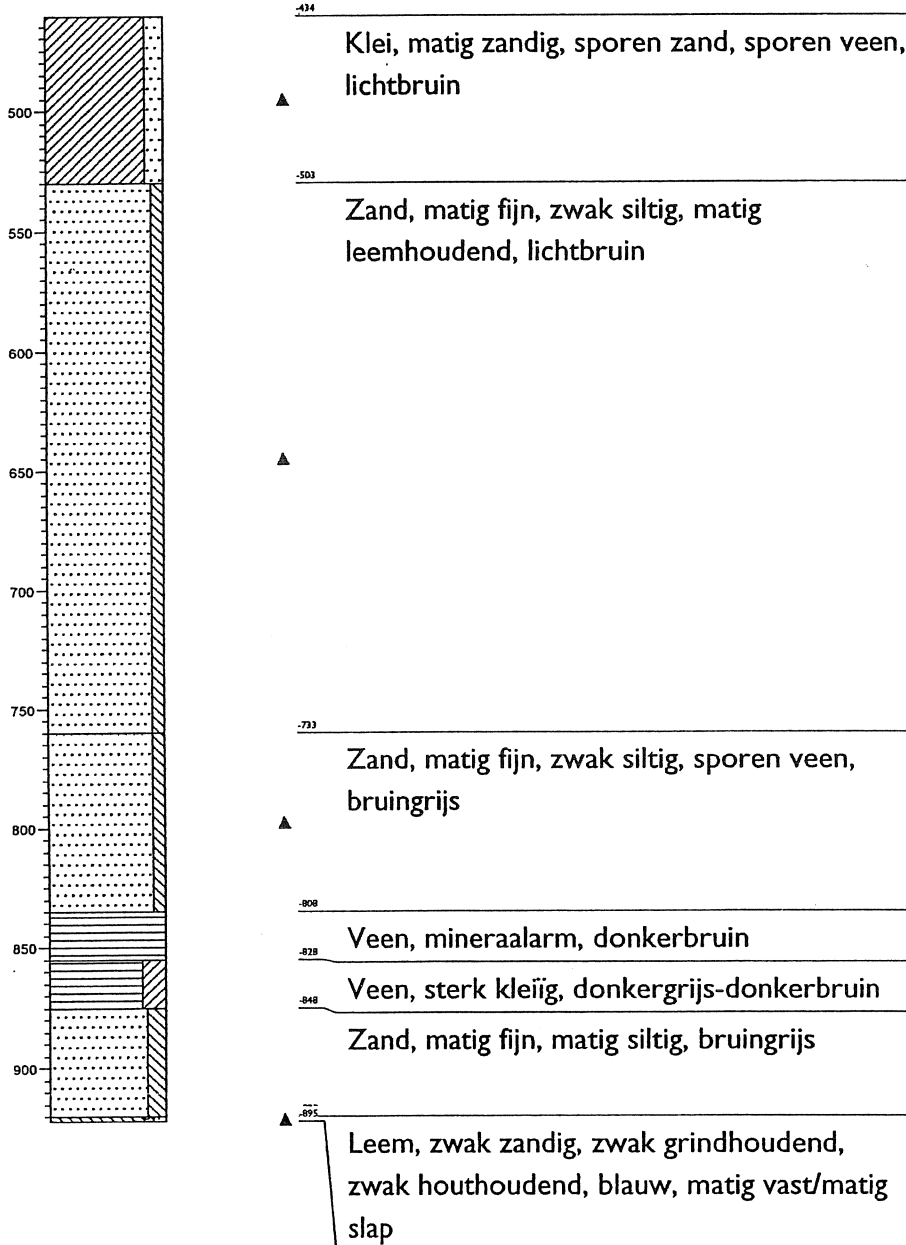
Datum : 6-4-2005
Hoogte Maaiveld : 0,27 mtr t.o.v. N.A.P.
Opmerking : grondwater stijgt langzaam



Projectcode : 45667
Opdrachtgever : Provincie Friesland
Plaats : Sneek
getekend volgens NEN 5104

Boring: 23-M - 2

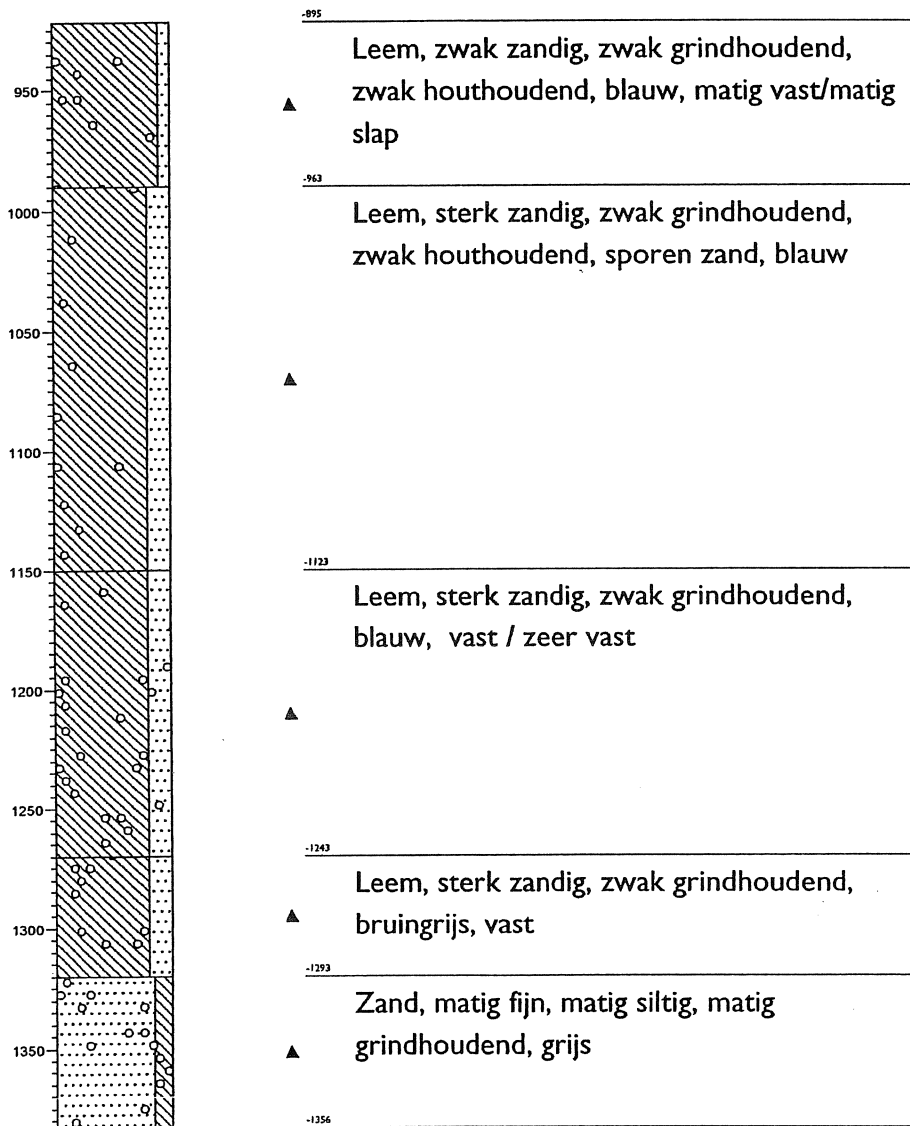
Datum : 6-4-2005
Hoogte Maaiveld : 0,27 mtr t.o.v. N.A.P.
Opmerking : grondwater stijgt langzaam



Projectcode : 45667
Opdrachtgever : Provincie Friesland
Plaats : Sneek
getekend volgens NEN 5104

Boring: 23-M - 3

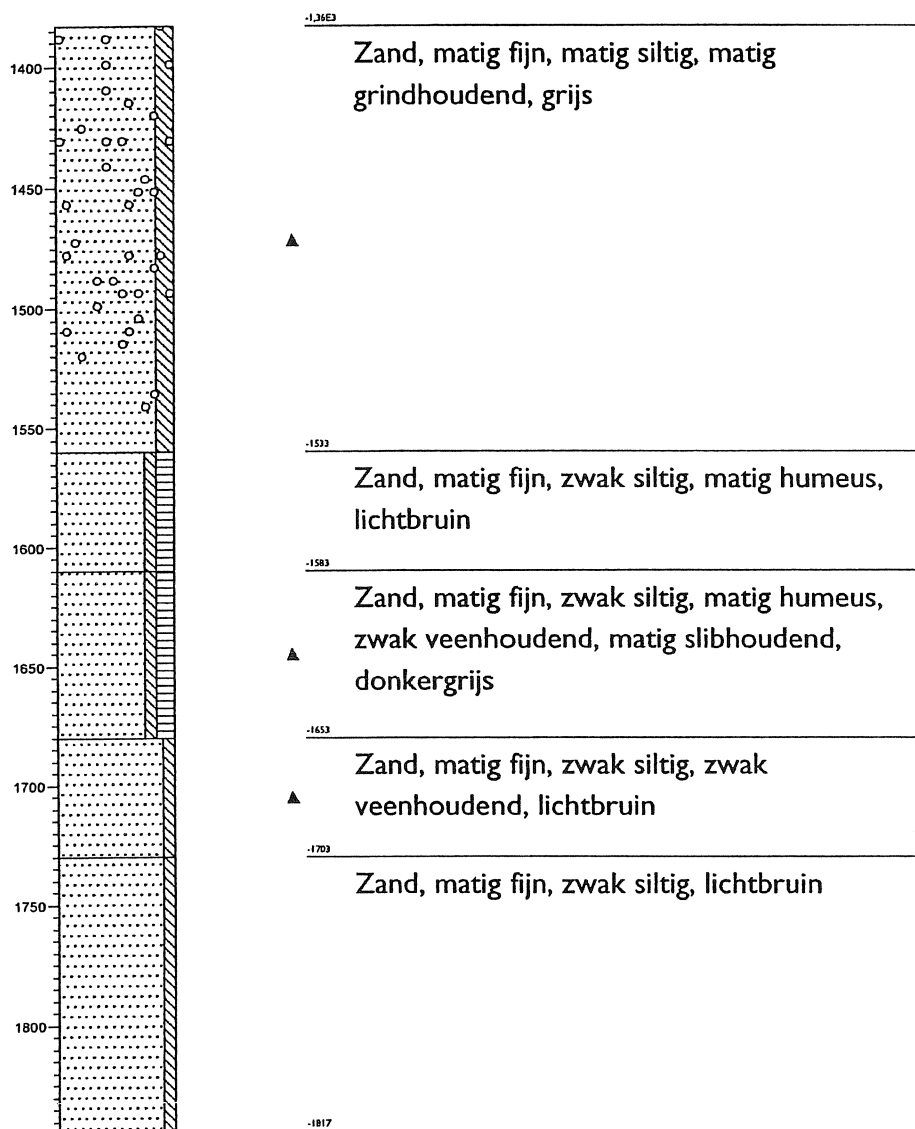
Datum : 6-4-2005
Hoogte Maaiveld : 0,27 mtr t.o.v. N.A.P.
Opmerking : grondwater stijgt langzaam



Projectcode : 45667
Opdrachtgever : Provincie Friesland
Plaats : Sneek
getekend volgens NEN 5104

Boring: 23-M - 4

Datum : 6-4-2005
Hoogte Maaiveld : 0,27 mtr t.o.v. N.A.P.
Opmerking : grondwater stijgt langzaam



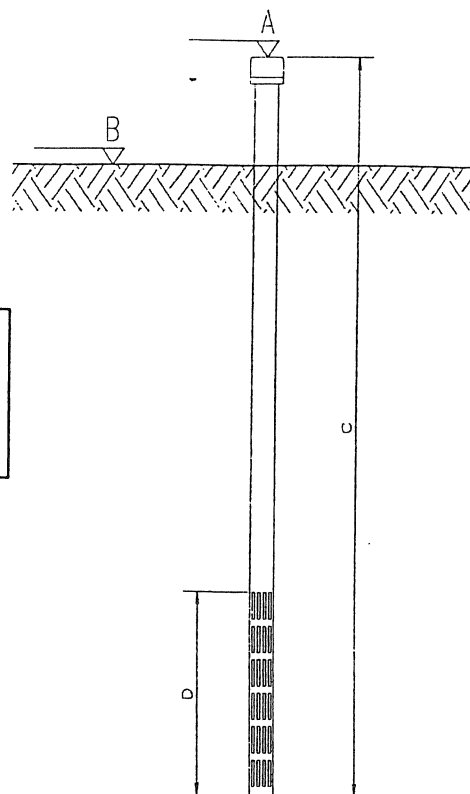
Projectcode : 45667
Opdrachtgever : Provincie Friesland
Plaats : Sneek
getekend volgens NEN 5104

PEILBUISGEGEVENS

Werk A7
 Opdrachtgever Provincie Fryslân
 Opdrachtnummer 45667
 Datum 18-05-05
 Peilbuisnummer M23 ondiep
 Opmerkingen

Peilbuisgegevens

A = Bovenkant peilbuis	0,58	meter t.o.v. N.A.P.
B = Hoogte maaiveld	0,27	meter t.o.v. N.A.P.
C = Lengte peilbuis	2,20	meter
D = Lengte filter	1,00	meter



Grondwaterstand

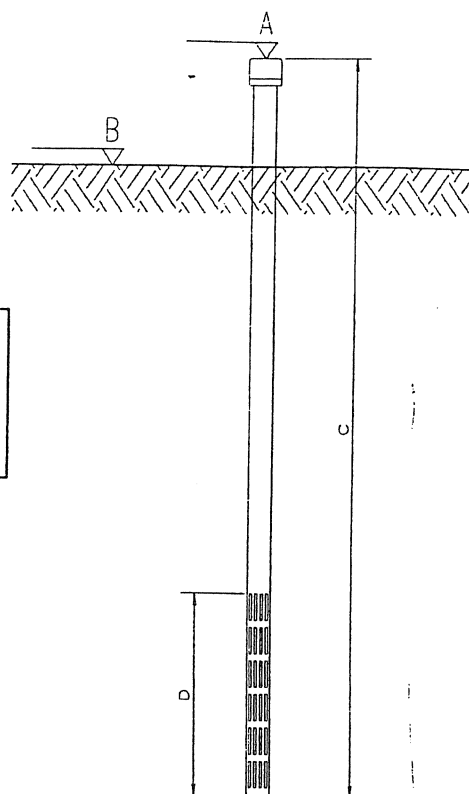
Meting	Datum	Grondwaterstand		
		m-maaiveld	m tov N.A.P.	m-bovenkant peilbuis
1	18-05-05	0,39	-0,12	0,70
2	01-06-05	1,09	-0,82	1,40
3	21-06-05	1,19	-0,92	1,50
4	07-07-05	1,15	-0,88	1,46
5	21-07-05	1,15	-0,88	1,42
6	03-08-05	1,15	-0,88	1,31
7	22-08-05	1,15	-0,88	1,42

PEILBUISGEGEVENS

Werk A7
 Opdrachtgever Provincie Fryslân
 Opdrachtnummer 45667
 Datum 18-05-05
 Peilbuisnummer M23 Diep
 Opmerkingen

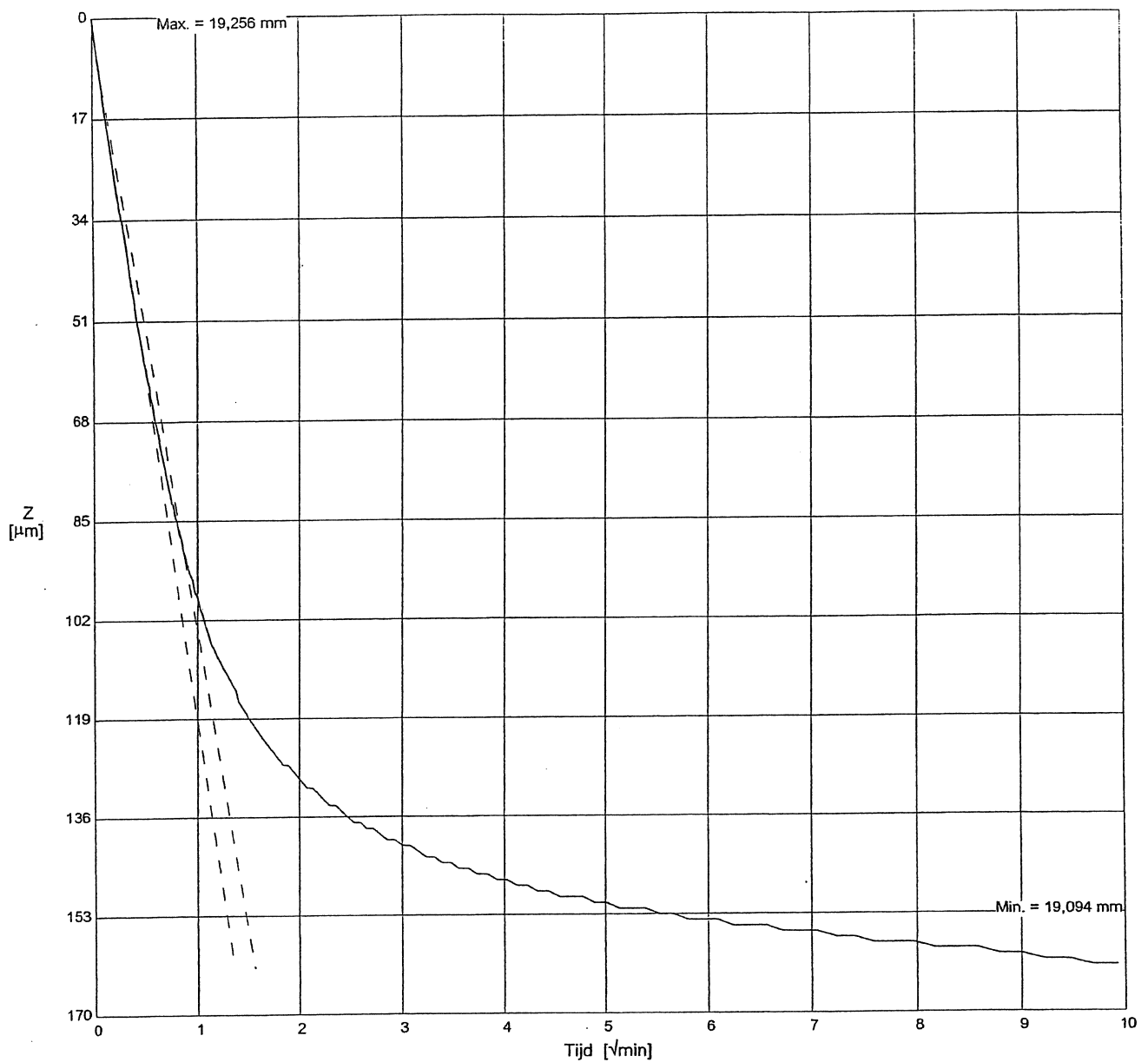
Peilbuisgegevens

A = Bovenkant peilbuis	0,58	meter t.o.v. N.A.P.
B = Hoogte maaiveld	0,27	meter t.o.v. N.A.P.
C = Lengte peilbuis	18,50	meter
D = Lengte filter	1,00	meter



Grondwaterstand

Meting	Datum	Grondwaterstand		
		m-maaiveld	m tov N.A.P.	m-bovenkant peilbuis
1	18-05-05	0,36	-0,09	0,67
2	01-06-05	0,61	-0,34	0,92
3	21-06-05	0,63	-0,36	0,94
4	07-07-05	0,64	-0,37	0,95
5	21-07-05	0,67	-0,40	0,98
6	03-08-05	0,67	-0,40	0,98
7	22-08-05	0,61	-0,34	0,92

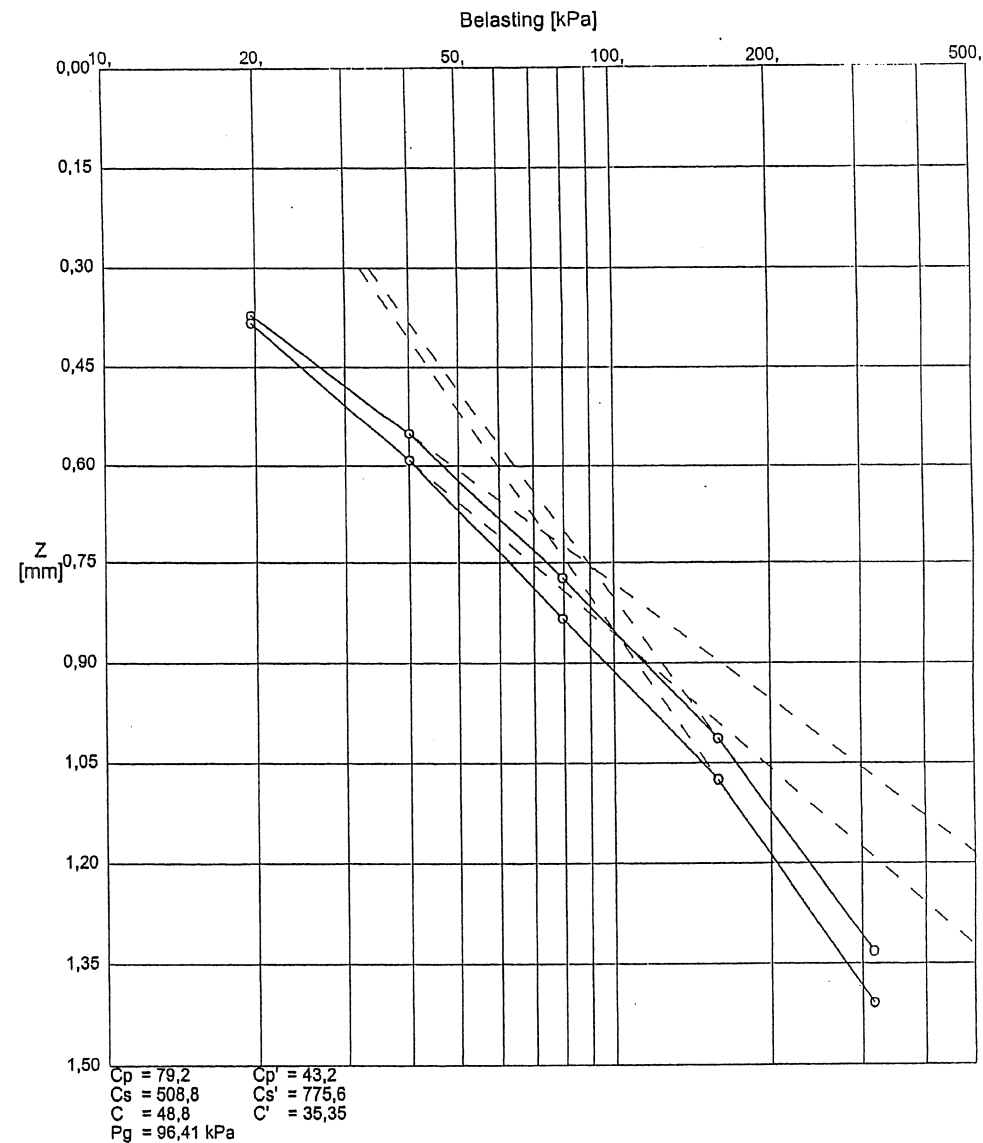
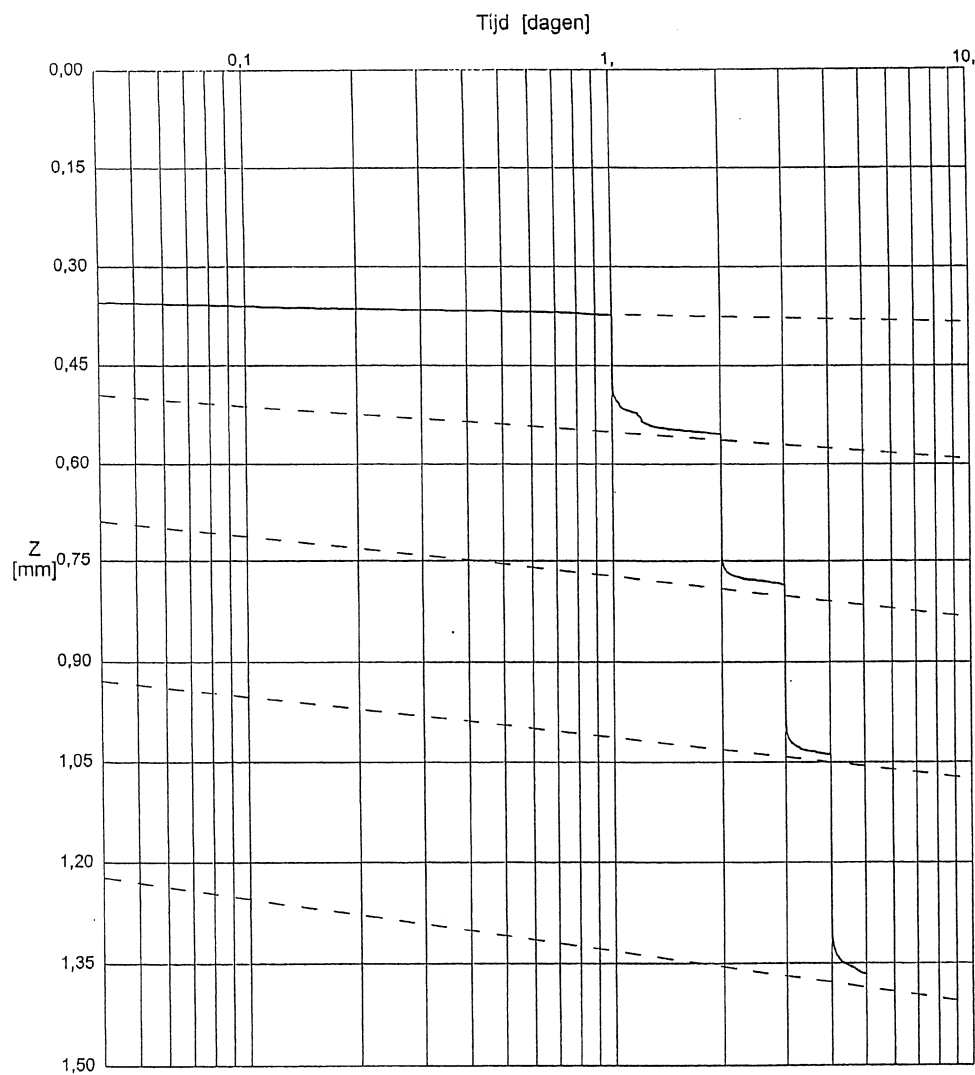


Trap 3
Belasting van 40,03 kPa naar 79,46 kPa

$C_{v,10} = 1,256E-06$ [m²/s]
 $m_v = 1,308E-01$ [1/MPa]
 $k_{10} = 1,611E-09$ [m/s]

Boring : M23
 Busnummer : XVIII
 Monsterdiepte : MV - 10,55 m
 Grondsoort : Leem, iets rietresten, grijs
 Beproeversperiode : 05-04-26 tot 05-05-02
 Staat monster : ongeroerd
 Preparatiemethode : overgeschoven
 Beproeversomgeving : nat
 Temperatuur : 22°C
 Proefstukdiameter : 65,03 mm
 Bijzonderheden : geen

2005-12-05	Ombouw Stadsrondweg Zuid te Sneek	
	Consolidatie (NEN 5118), $\sqrt{t}$ - methode; Bus: XVIII; Boring: M23	Pr.nr. VN-35704
Hfd. GTL./JvdK	GEOTECHNISCH LABORATORIUM	Bijl. Pg. 1 van 3



Boring	: M23	Preparatiemethode	: overgeschoven
Busnummer	: XVIII	Beproevingomgeving	: nat
Monsterdiepte	: MV - 10,55 m	Temperatuur	: 22°C
Staat monster	: ongeroerd	Proefstukdiameter	: 65,03 mm
Beproevingperiode	: 05-04-26 tot 05-05-02	Grondsoort	: Leem, iets rietresten, grijs
Bijzonderheden	: geen		

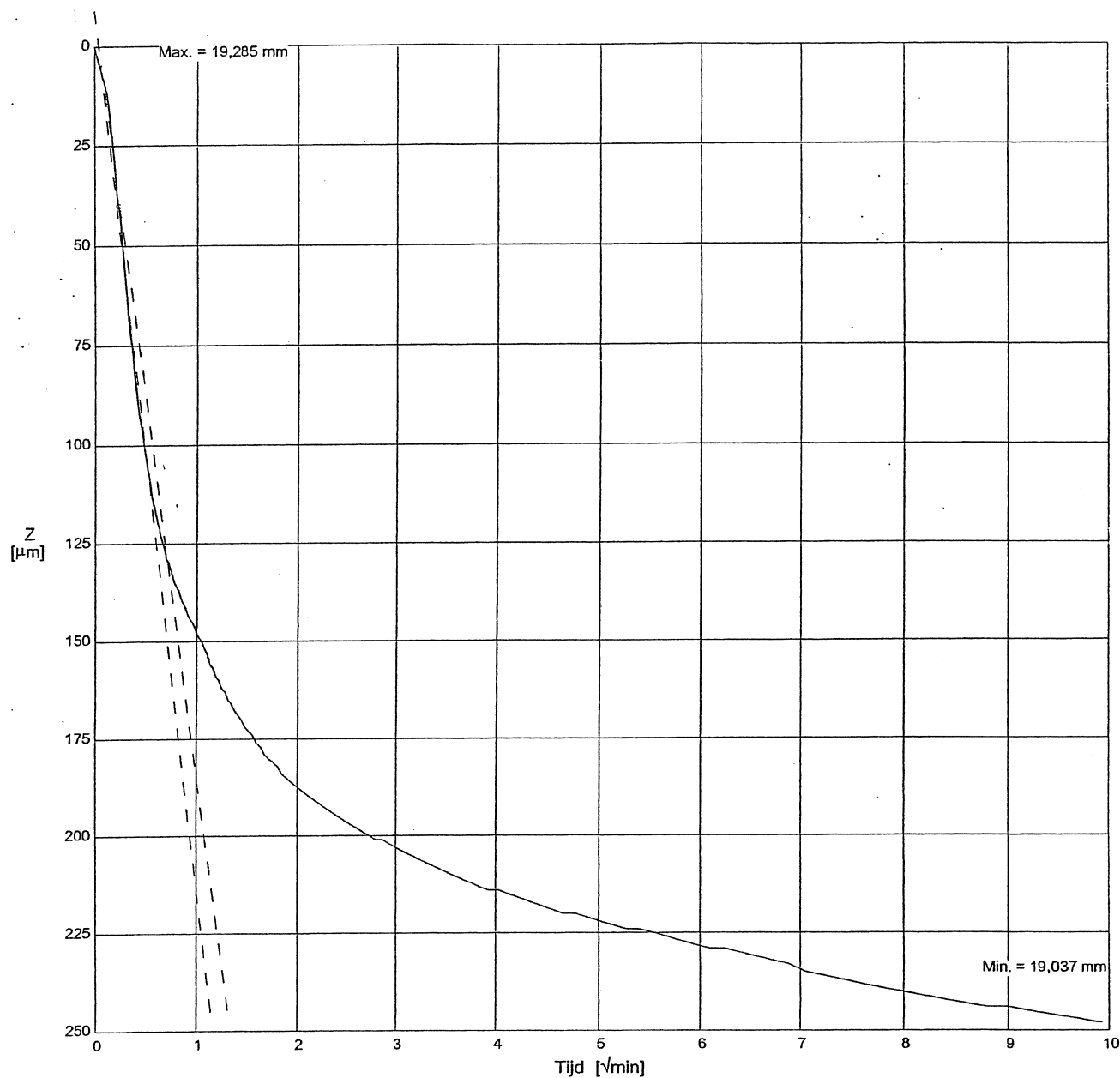
2005-12-05	Ombouw Stadsrondweg Zuid te Sneek	
	Samendrukkingsconstanten vlg. Koppejan; Bus: XVIII; Boring: M23	Pr.nr. VN-35704
Hfd. GTL./JvdK	GEOTECHNISCH LABORATORIUM	Bijl. Pg. 2 van 3

Opdrachtnummer : VN-35704
 Boring : M23
 Bus : XVIII
 Diepte monster : MV - 10.55 m
 Grondsoort : Leem, iets rietresten, grijs
 Diameter monster: 65,03 mm ; Initiële hoogte: 19,86 mm

Trap	Cv;10 [m2/s]	k10 [m/s]	Mv [1/MPa]	wortel(tijd) methode
3	1,26E-06	1,61E-09	1,31E-01	

Procentuele zakking dH/H [%]				
dP [kPa]	10-dagen	100-dagen	1000-dagen	10000-dagen
19,589	1,936	1,998	2,061	2,123
40,033	2,979	3,182	3,386	3,590
79,462	4,197	4,502	4,808	5,113
158,318	5,409	5,715	6,020	6,325
316,032	7,097	7,491	7,886	8,280

	Cp = 79,2	Cs = 508,8	C' = 48,8	Pg = 96,41 kPa
Trap 2 - 3	Cp' = 61,4	Cs' = 679,6	C' = 45,11	
Trap 3 - 4	Cp' = 56,9	Cs' = 679,6	C' = 56,85	
Trap 4 - 5	Cp' = 43,2	Cs' = 775,6	C' = 35,35	



Trap 3
Belasting van 15,34 kPa naar 30,07 kPa

$C_{v,10} = 1,843E-06$ [m²/s]
 $m_v = 5,447E-01$ [1/MPa]
 $k_{10} = 9,842E-09$ [m/s]

Boring : M23
 Busnummer : VII
 Monsterdiepte : MV - 4.30 m
 Grondsoort : Klei, weinig rietresten, grijs
 Beproeversperiode : 05-04-26 tot 05-05-02
 Staat monster : ongeroerd
 Preparatiemethode : overgeschoven
 Beproeversomgeving : nat
 Temperatuur : 22°C
 Proefstukdiameter : 64,92 mm
 Bijzonderheden : geen

2005-05-17

Ombouw Stadsrondweg Zuid te Sneek

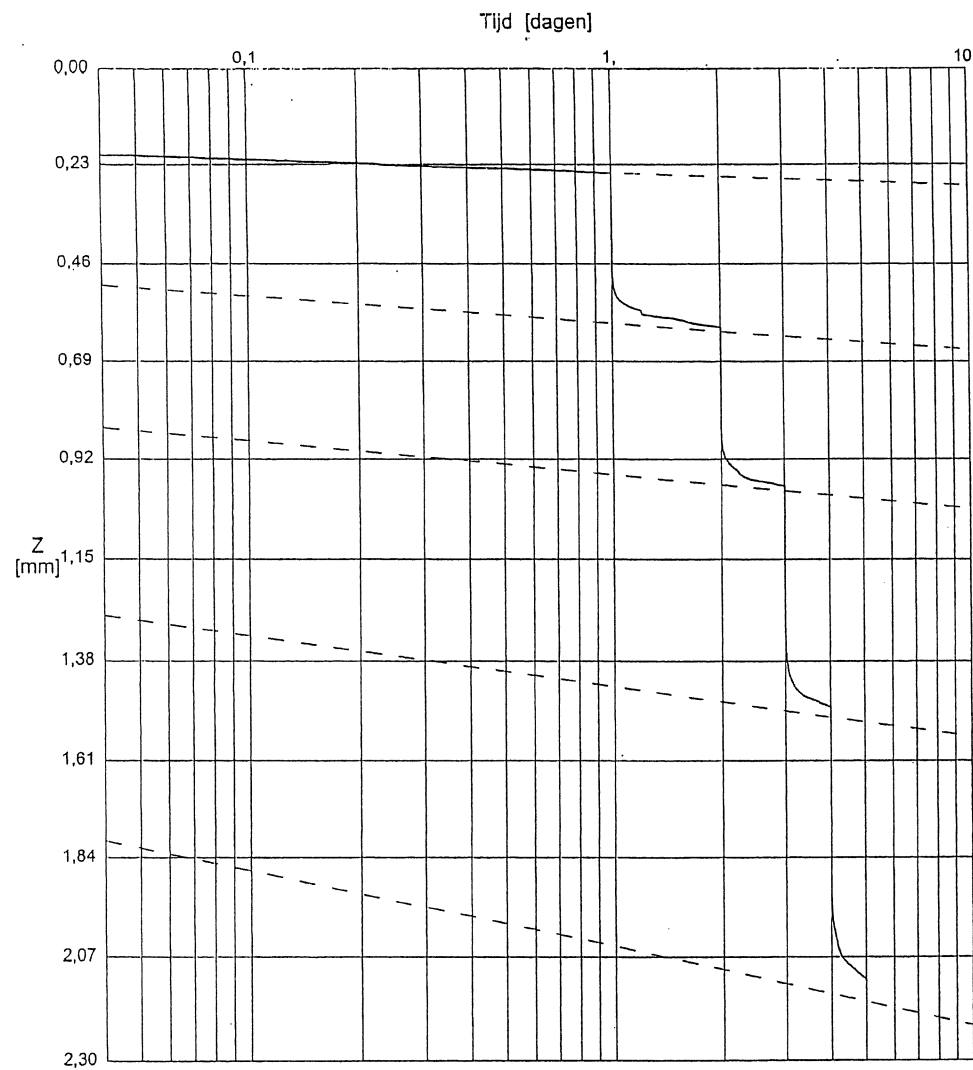
Consolidatie (NEN 5118), √t - methode; Bus: VII; Boring: M23

Pr.nr. VN-35704

Hfd. GTL./JvdK

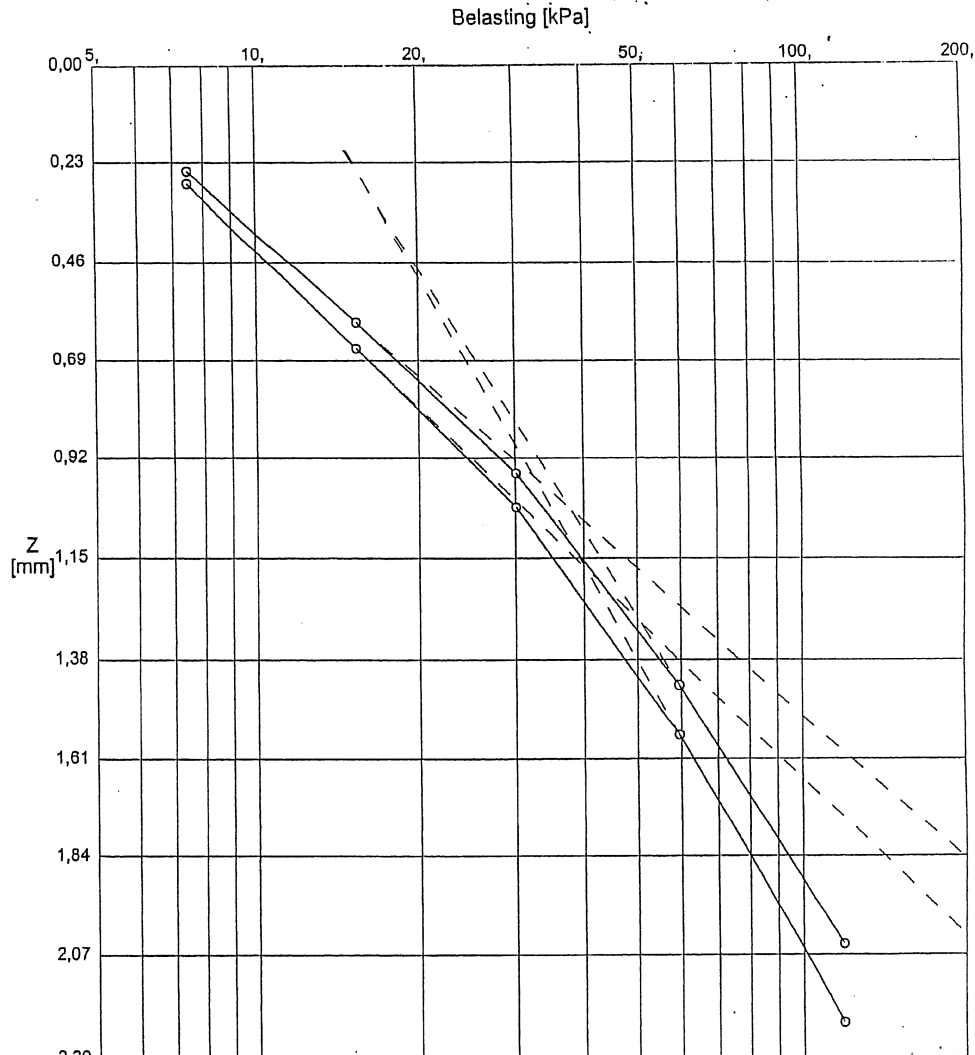
GEOTECHNISCH LABORATORIUM

Bijl. Pg. 1 van 3



Boring : M23
 Busnummer : VII
 Monsterdiepte : MV - 4,30 m
 Staat monster : ongeroerd
 Beproeversperiode : 05-04-26 tot 05-05-02
 Bijzonderheden : geen

Preparatiemethode : overgeschoven
 Beproeversomgeving : nat
 Temperatuur : 22°C
 Proefstukdiameter : 64,92 mm
 Grondsoort : Klei, weinig rietresten, grijs



$C_p = 41,1$ $C_p' = 22,6$
 $C_s = 436,7$ $C_s' = 226,6$
 $C = 29,8$ $C' = 16,16$
 $P_g = 39,06 \text{ kPa}$

2005-05-17

Ombouw Stadsrondweg Zuid te Sneek

Samendrukkingsconstanten vlg. Koppejan; Bus: VII; Boring: M23

Pr.nr. VN-35704

Hfd. GTL./JvdK

GEOTECHNISCH LABORATORIUM

Bijl. Pg. 2 van 3

Opdrachtnummer : VN-35704
 Boring : M23
 Bus : VII
 Diepte monster : MV - 4.30 m
 Grondsoort : Klei, weinig rietresten, grijs
 Diameter monster: 64,92 mm ; Initiële hoogte: 19,96 mm

Trap	Cv;10 [m2/s]	k10 [m/s]	Mv [1/MPa]	wortel(tijd) methode
3	1,84E-06	9,84E-09	5,45E-01	

Procentuele zakking dH/H [%]

dP [kPa]	10-dagen	100-dagen	1000-dagen	10000-dagen
7,469	1,395	1,541	1,686	1,831
15,341	3,312	3,622	3,932	4,242
30,069	5,179	5,572	5,964	6,356
59,525	7,782	8,358	8,933	9,509
118,437	11,129	12,009	12,888	13,768

	Cp = 41,1	Cs = 436,7	C = 29,8	Pg = 39,06 kPa
Trap 2 - 3	Cp' = 37,7	Cs' = 837,3	C' = 31,95	
Trap 3 - 4	Cp' = 28,2	Cs' = 375,2	C' = 21,70	
Trap 4 - 5	Cp' = 22,6	Cs' = 226,6	C' = 16,16	

2005-05-17

Ombouw Stadsrondweg Zuid te Sneek

Samendrukkingsproef; Bus: VII; Boring: M23

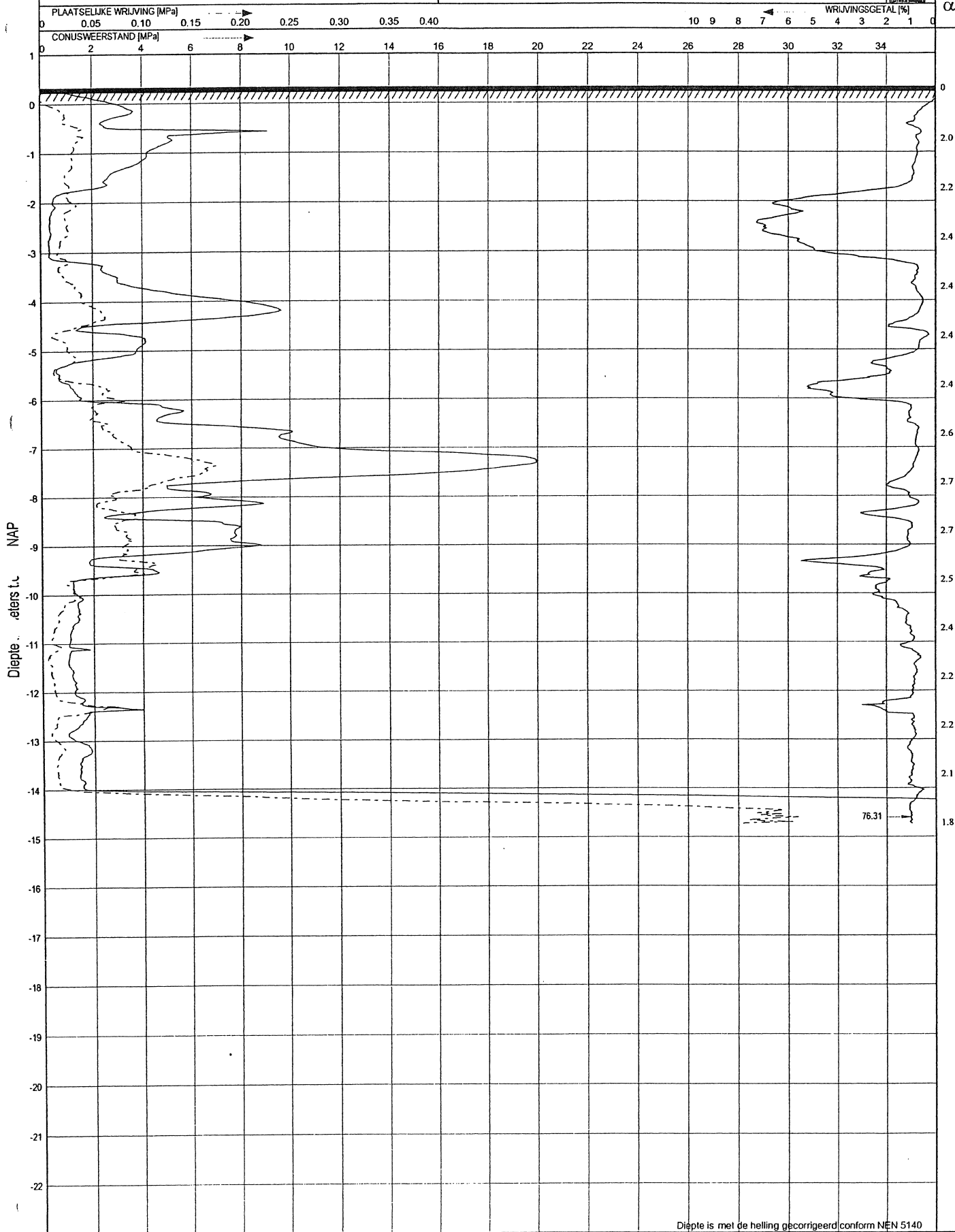
Pr.nr. VN-35704

Hfd. GTL./JvdK

GEOTECHNISCH LABORATORIUM

Bijl. Pg. 3 van 3

Opdracht nr.: 45667	Sondering: 24-M	Werkomschrijving: Rondweg A7	
Hoogte maaiveld: 0.33 m t.o.v. NAP		Plaats: Sneek	
		Datum: 11-4-2005 Tijd: 12:09	

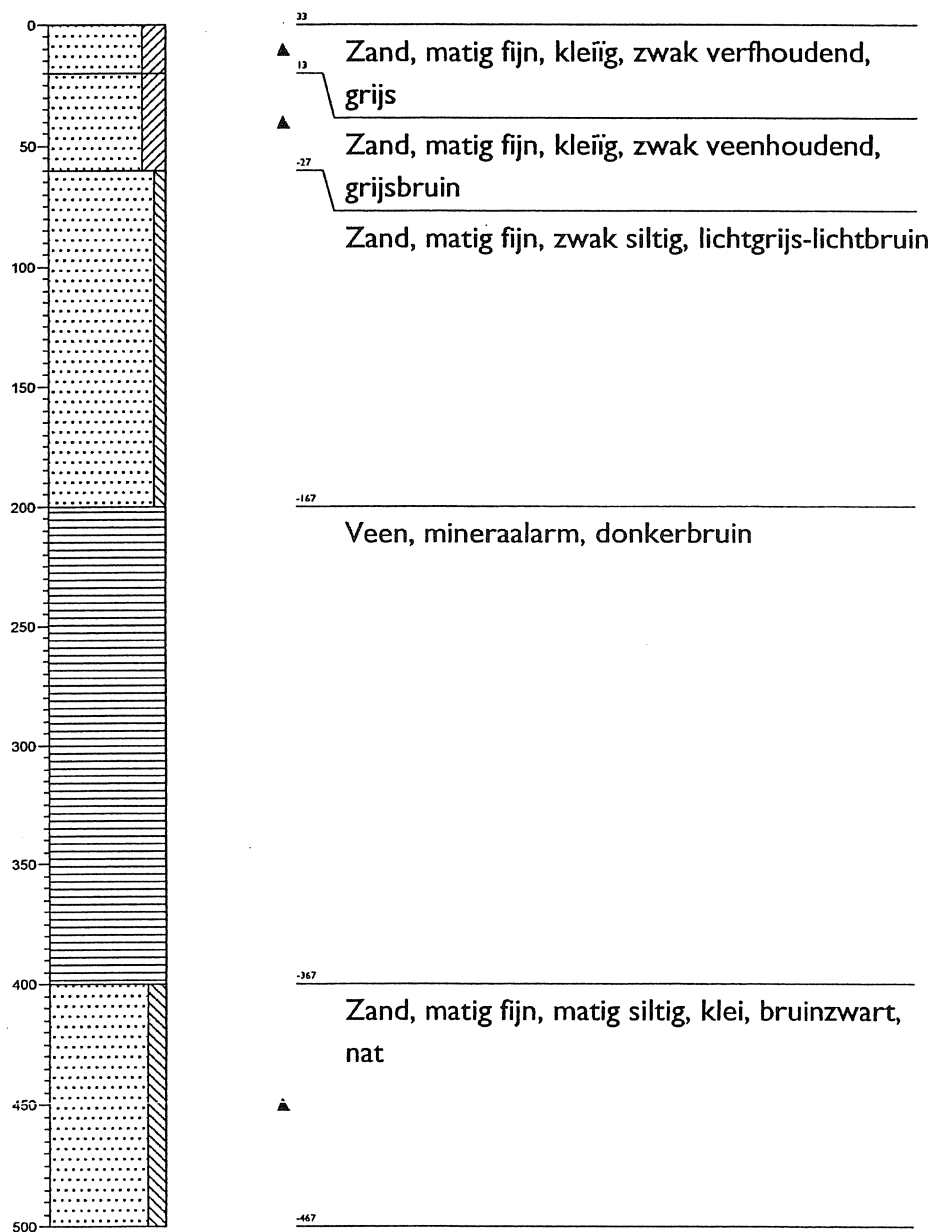


Boring: 24-M

Datum : 11-4-2005

Hoogte Maaiveld : 0,33 mtr t.o.v. N.A.P.

Opmerking : Grondwater in boorgat stijgt langzaam

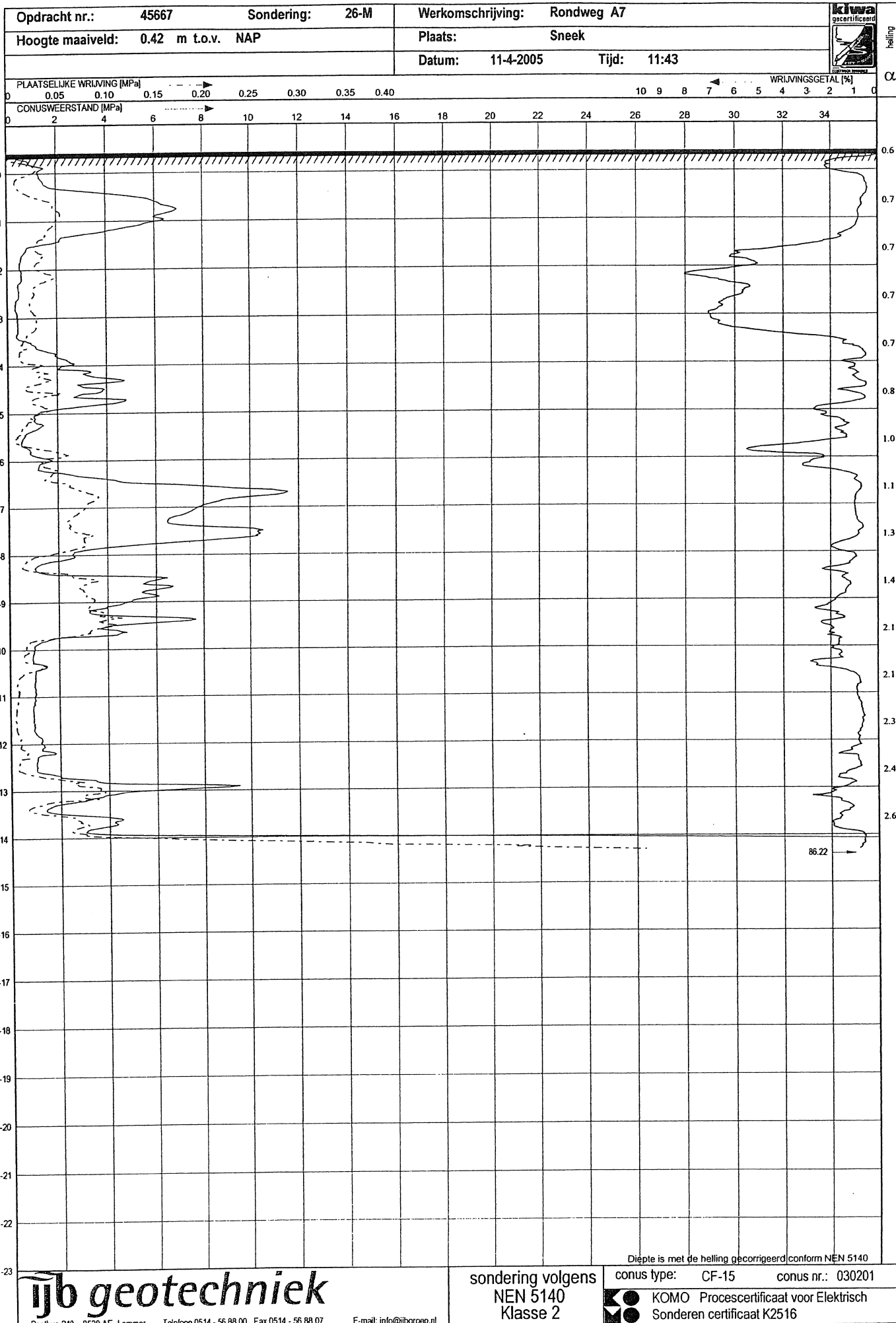


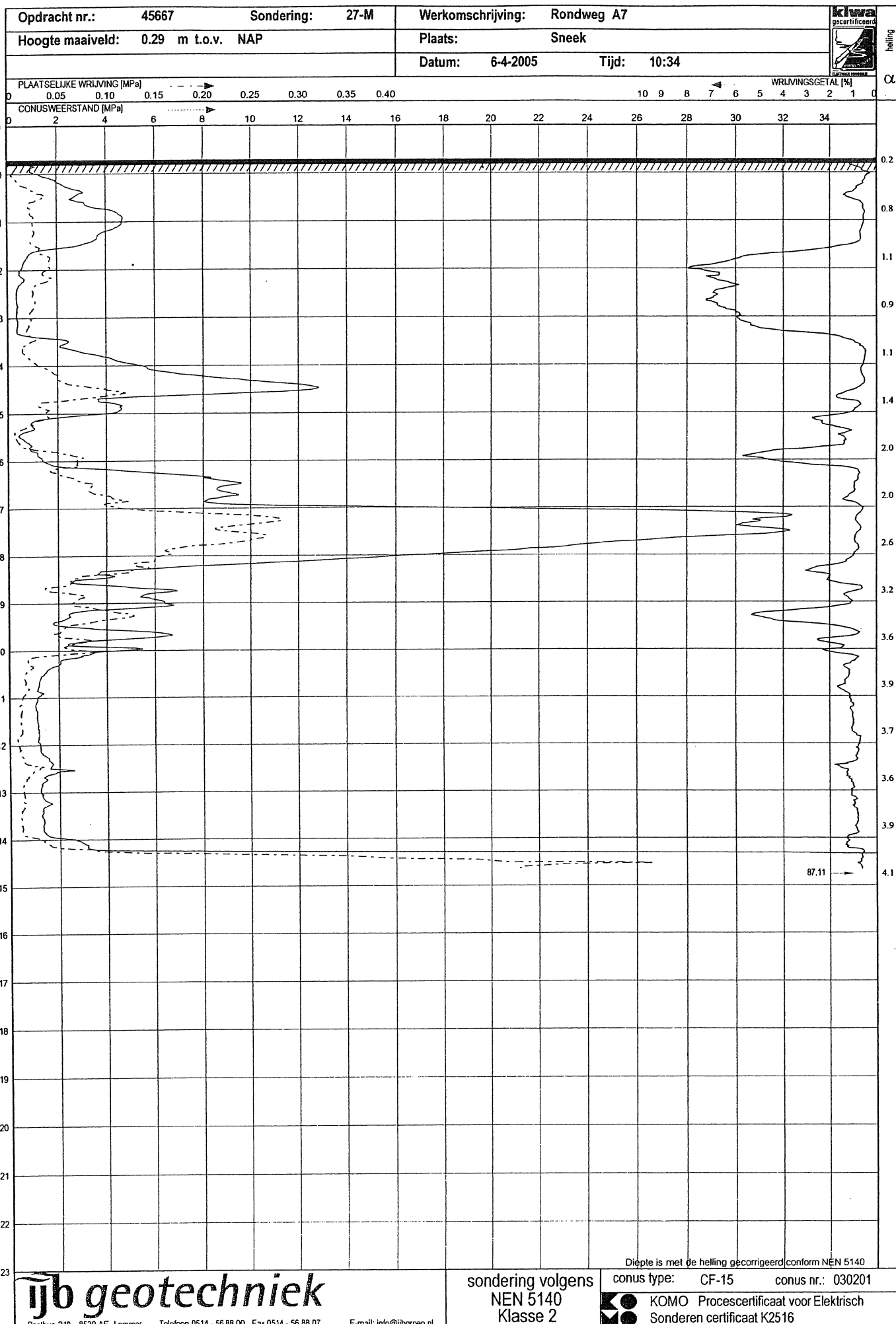
Projectcode : 45667

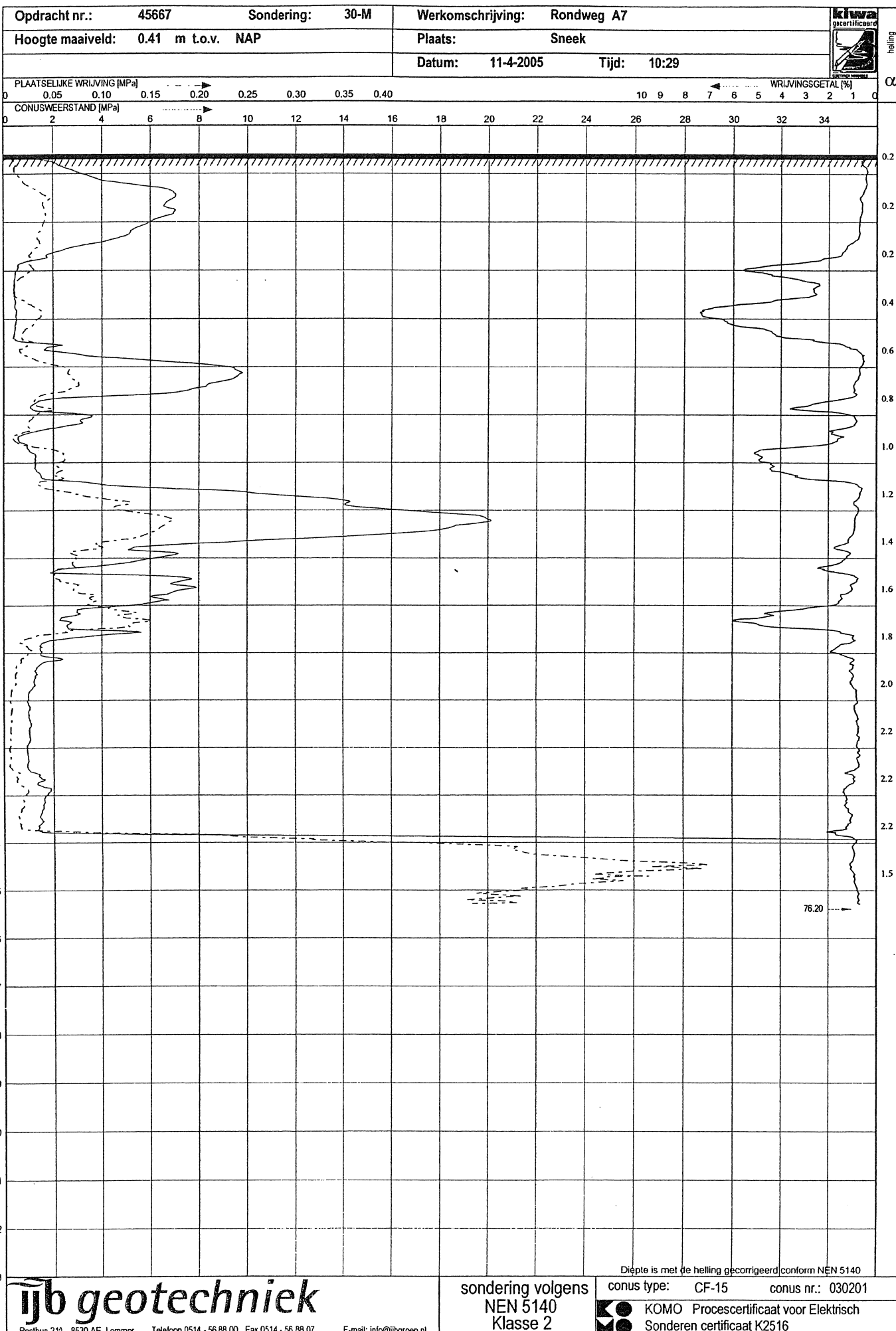
Opdrachtgever : Provincie Friesland

Plaats : Sneek

getekend volgens NEN 5104







ijb geotechniek

Postbus 210, 8530 AE Lelimer, Telefoon 0514 - 56 88 00, Fax 0514 - 56 88 07

E-mail: info@ijbgroep.nl

sondering volgens
NEN 5140
Klasse 2

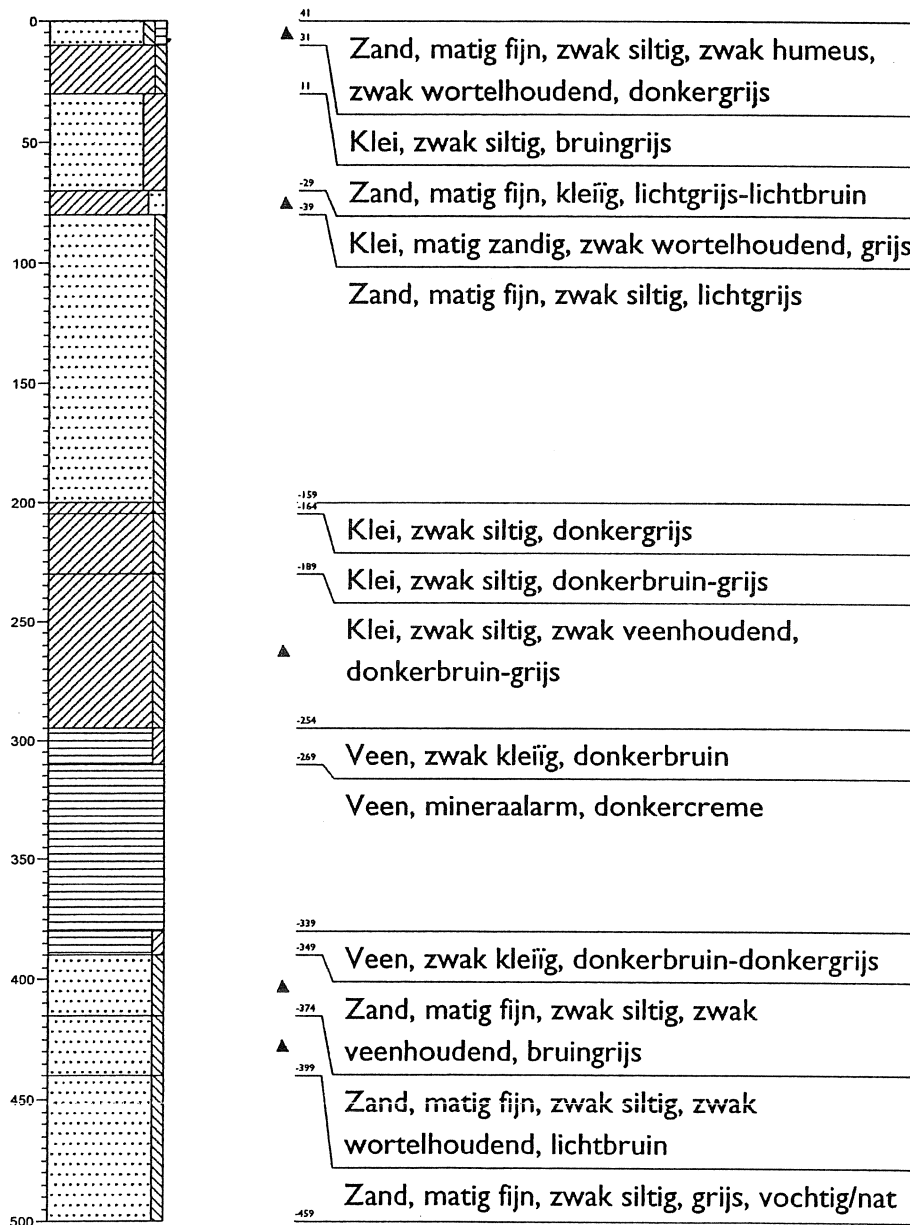
conus type: CF-15 conus nr.: 030201



KOMO Procescertificaat voor Elektrisch
Sonderen certificaat K2516

Boring: 30-M

Datum : 11-4-2005
Hoogte Maaiveld : 0,41 mtr t.o.v. N.A.P.
Opmerking : Grondwater in boorgat stijgt langzaam

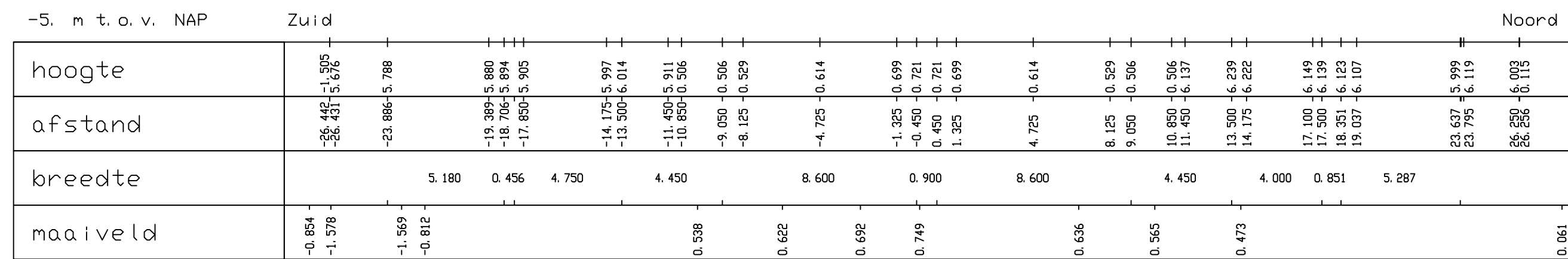


Projectcode : 45667
Opdrachtgever : Provincie Friesland
Plaats : Sneek
getekend volgens NEN 5104

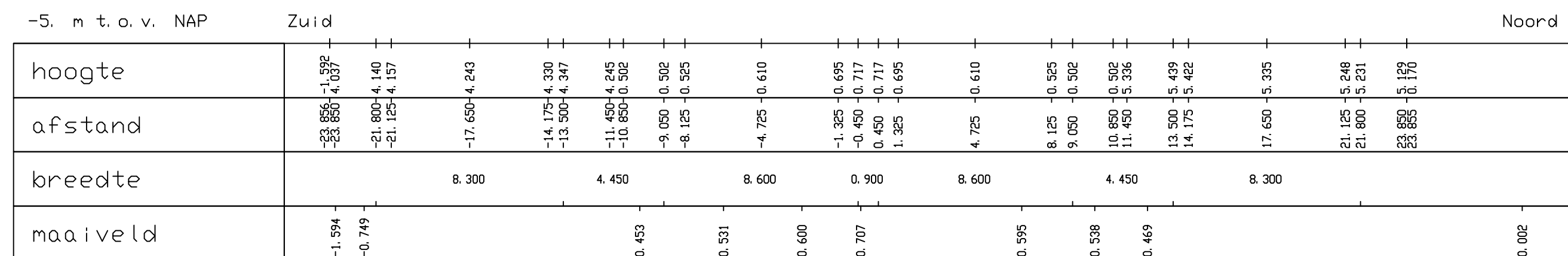
Bijlage 7

Langs- en dwarsdoorsneden

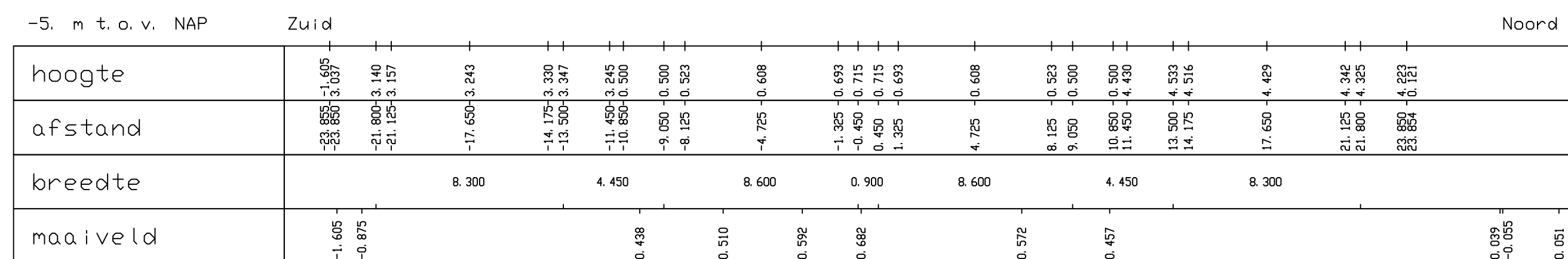
metr. /pntnr. 2180.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



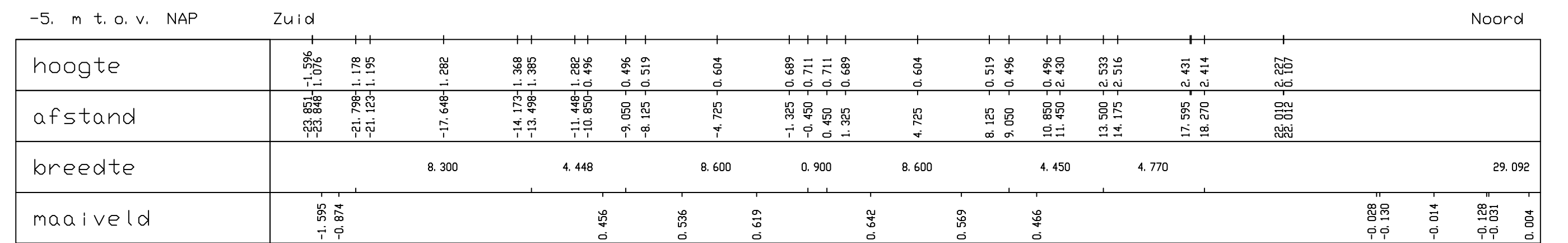
metr. /pntnr. 2140.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



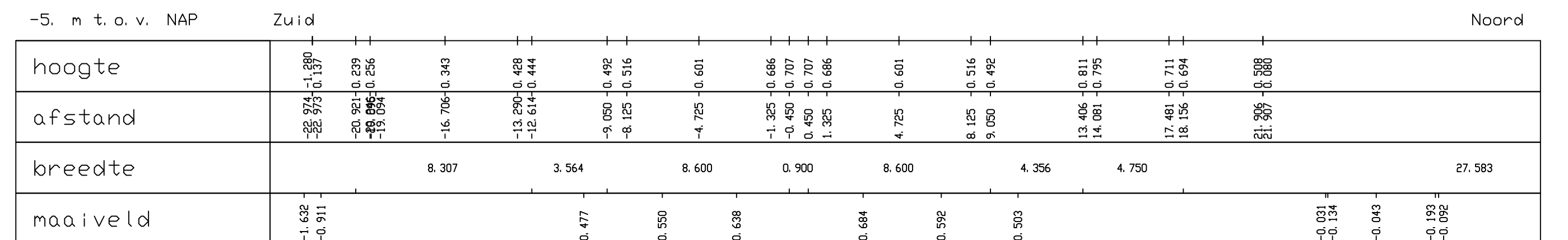
metr. /pntnr. 2120.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



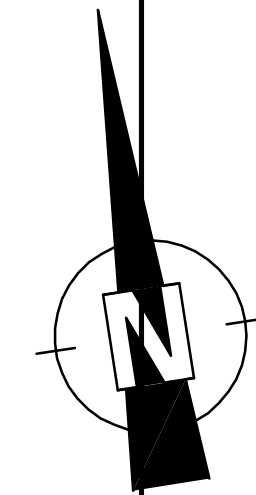
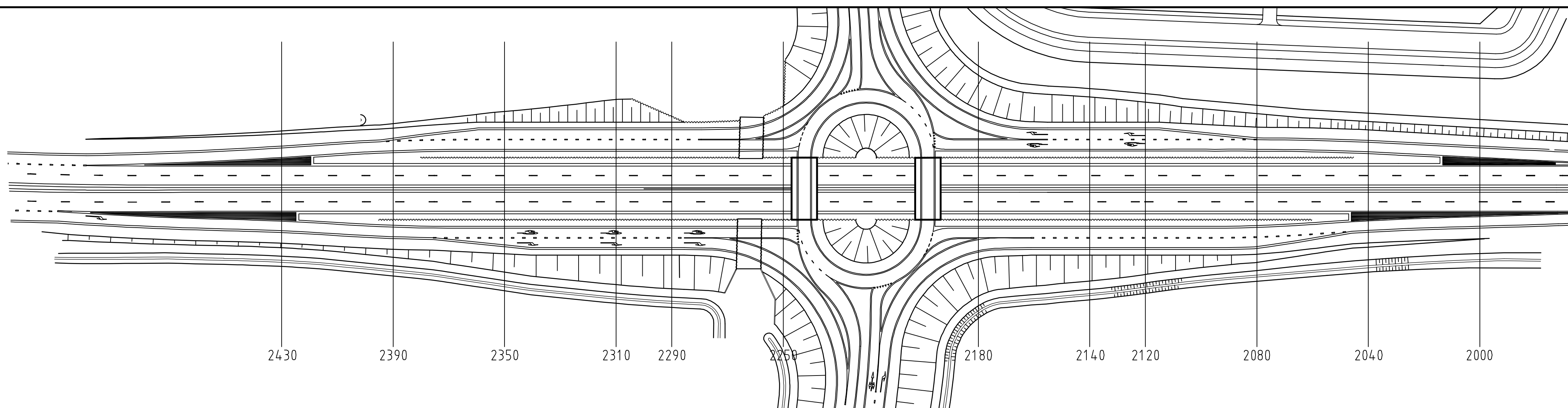
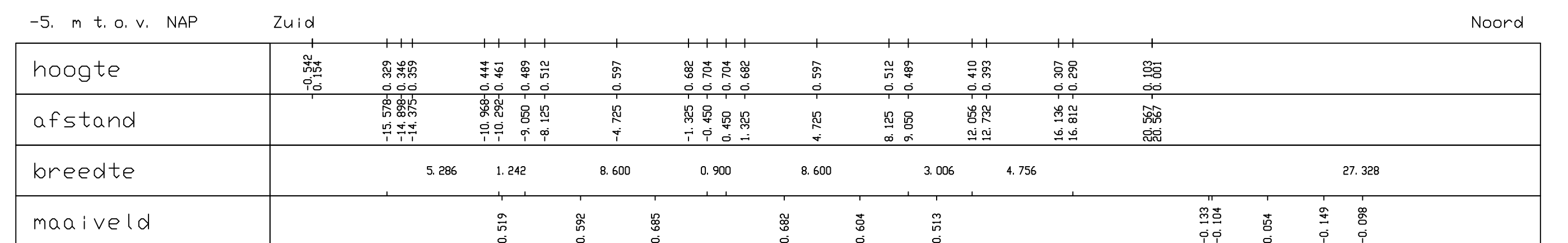
metr. /pntnr. 2080.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



metr. /pntnr. 2040.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



metr. /pntnr. 2000.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



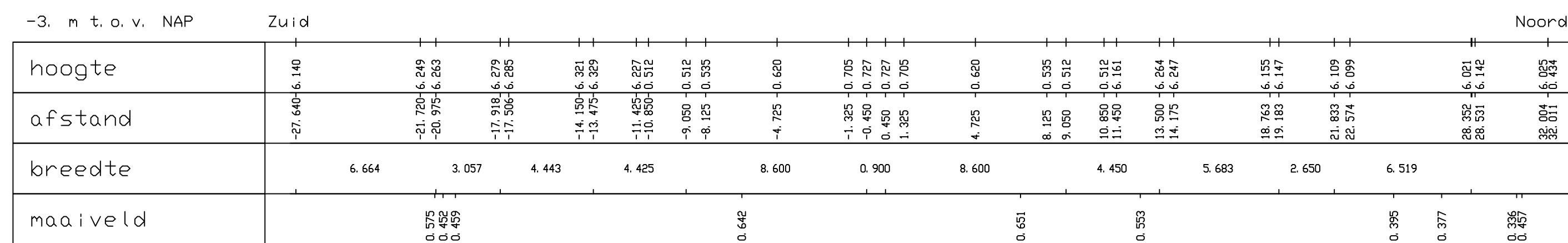
DEFINITIEF

Versie nr. 01 15-03-2006

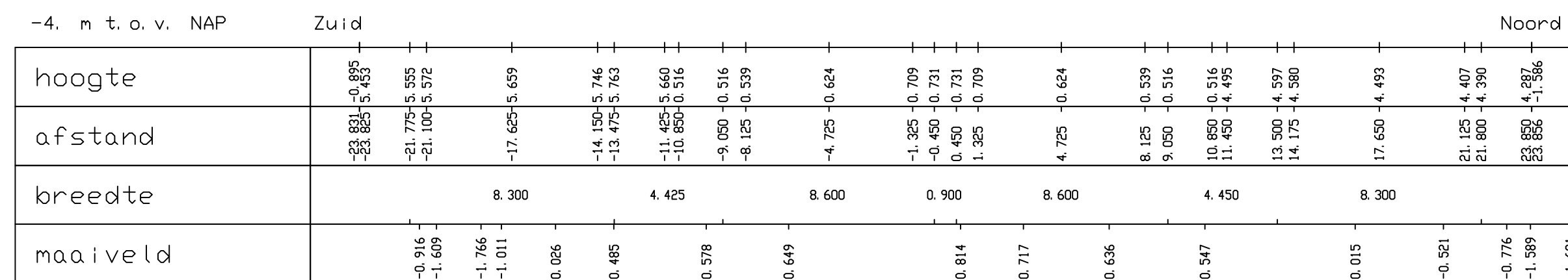
Plotdatum : 09-06-2006

	project: Afstudeeronderzoek A7 Sneek								
	opdrachtgever:					onderdeel:			
	Grontmij Hogeschool Utrecht					Kruising Lemmerweg en RW7 Dwarsprofielen westzijde kruising			
	wijzigingen: code: d.d.: omschrijving: get.: acc.:					schaat: 1:200 bestek: ** datum: 09-06-2006 NvO get.: acc.: formaat: A1 order nr.: 172008 tekening nr.: 1 van 3			
 Grontmij	ad./prov. kantoor: Verkeer & Infrastructuur					bijlage nr.: 7 in bladen bladnr.:			

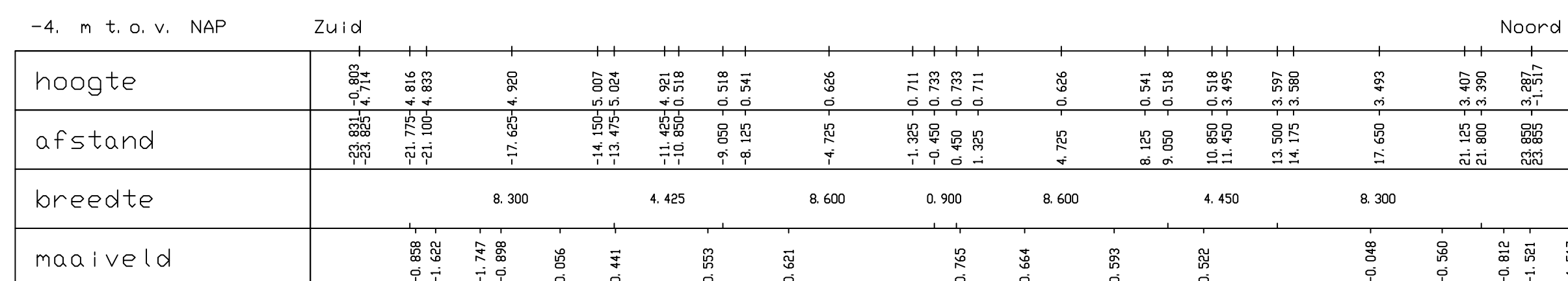
metr. /pntnr. 2250.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



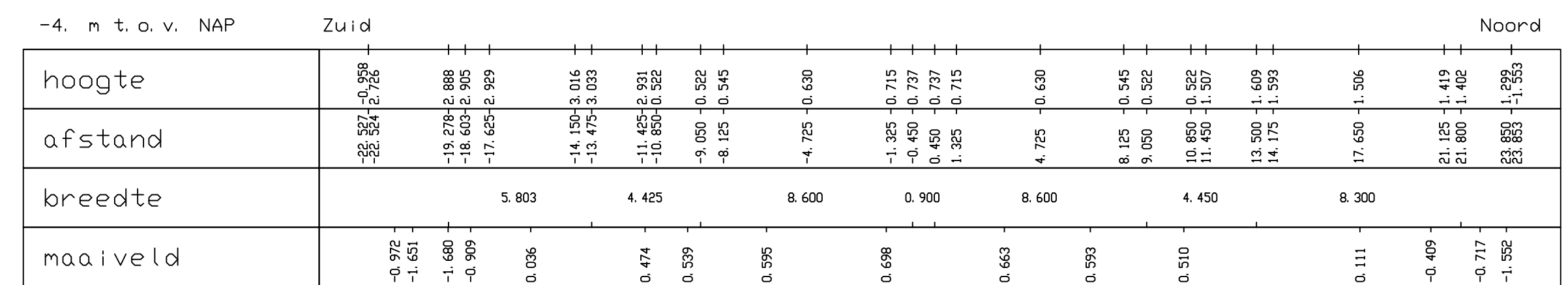
metr. /pntnr. 2290.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



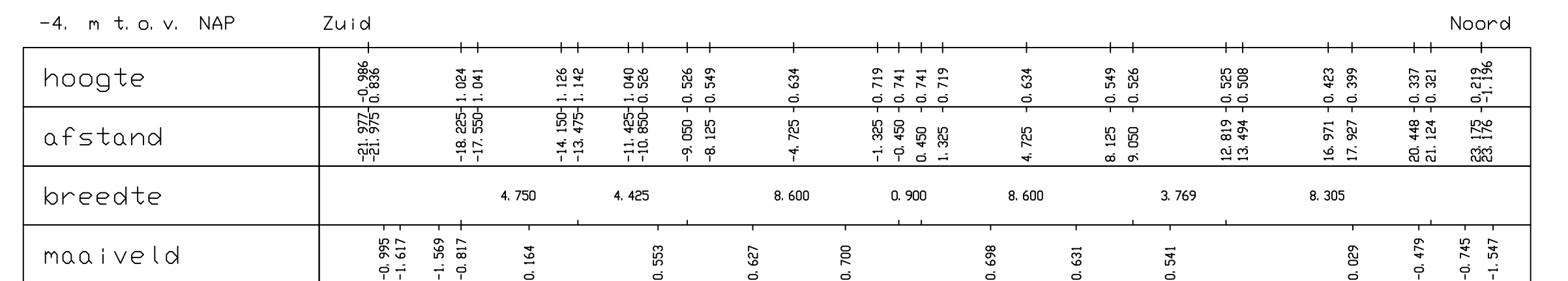
metr. /pntnr. 2310.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



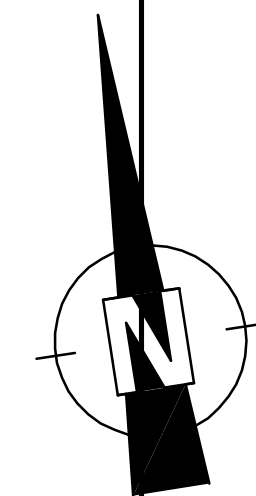
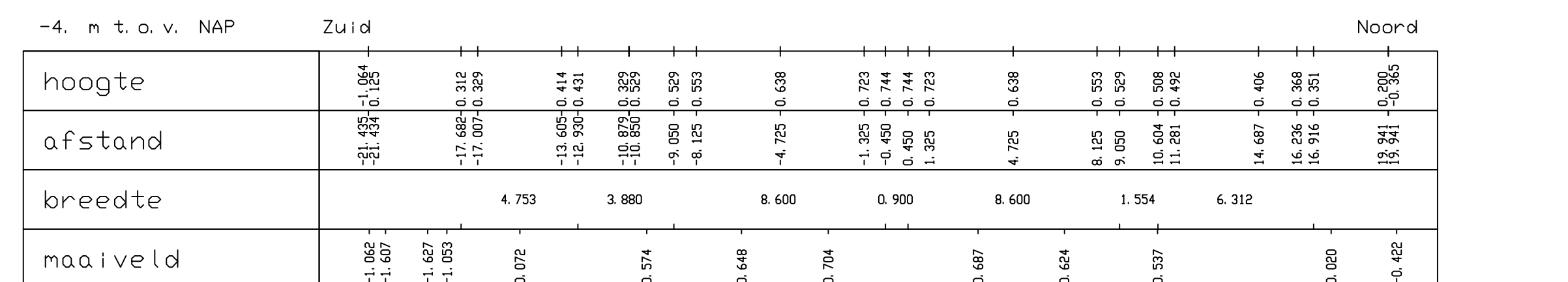
metr. /pntnr. 2350.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



metr. /pntnr. 2390.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



metr. /pntnr. 2430.
hor. schaal 1: 200
vert. schaal 1: 200



Plotdatum : 09-06-2006

	project: Afstudeeronderzoek A7 Sneek			
	opdrachtgever: Grontmij Hogeschool Utrecht		onderdeel: Kruising Lemmerweg en RW7 Hwarsprofielen oostzijde kruising	
wijzigingen: code: d.d.: omschrijving: get.: acc.:		schaal: 1:200 bestek: .. datum: 01-06-2006 NVO get.: acc.: formaat: A1 order nr.: 172008 tekening nr.: 2 van 3		
© Grontmij tel.: ..	afd./prov. kantoor: Verkeer & Infrastructuur		bijlage nr.: 7 in .. bladen bladnr.: ..	

Lengteprofiel t.p.v. MWA7, Hoofdassrondweg zuid

Lengteprofiel t.p.v. MWA7, Hoofdas stadsrondweg zuid

Lengteprofiel noordelijke toerit aansluiting Lemmerweg (MW10)

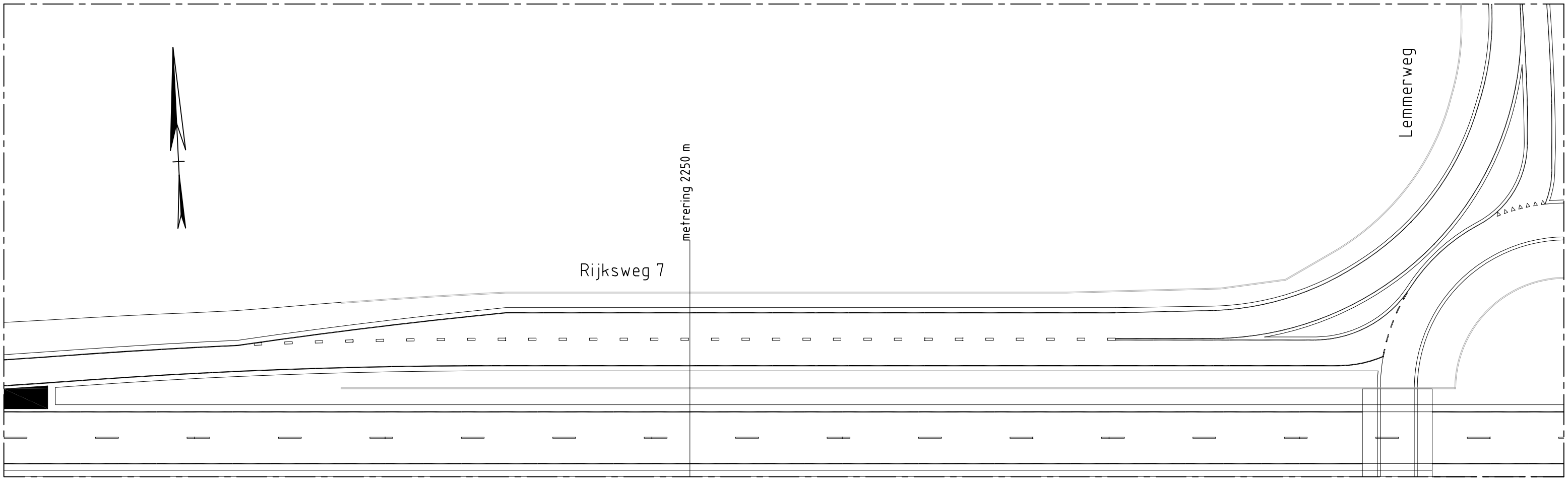
Lengteprofiel zuidelijke toerit aansluiting Lemmerweg (MW20)

Lengteprofiel zuidelijke afrit aansluiting Lemmerweg (MW30)
 hor. schaal 1:1000
 vert. schaal 1:100

Lengteprofiel noordelijke afrit aansluiting Lemmerweg (MW40)

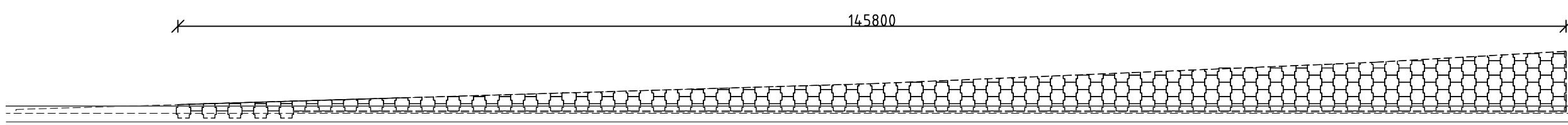
Bijlage 8

Ontwerp alternatieve constructies

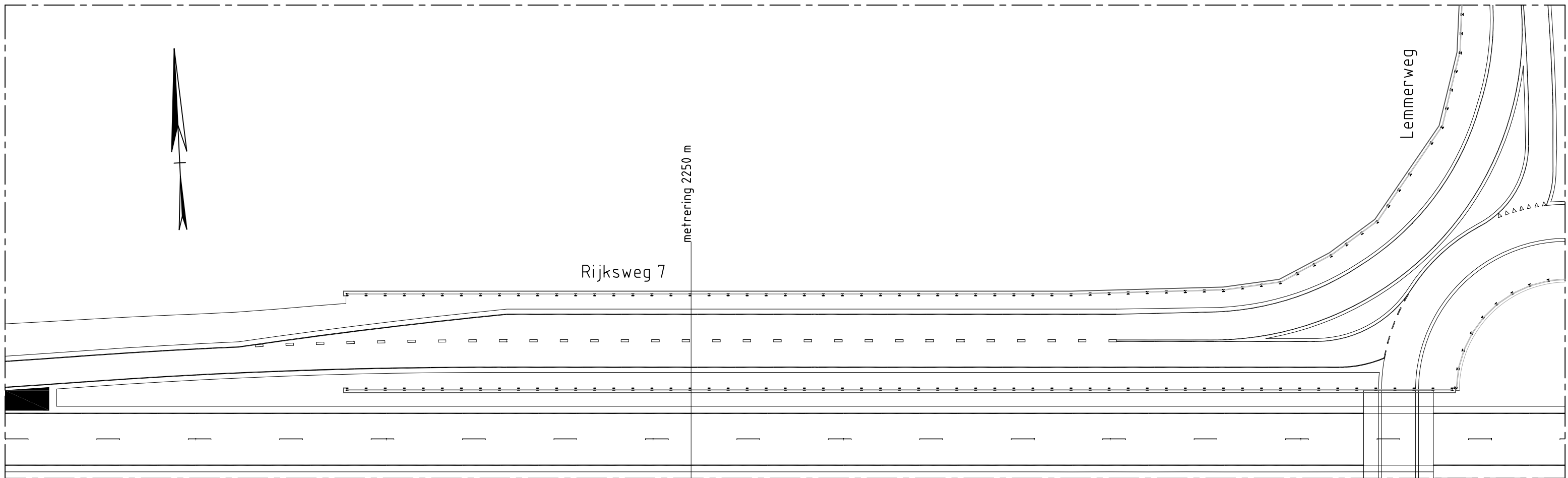


Bovenaanzicht situatie toerit Rijksweg 7 (Alt. A)

schaal 1:500

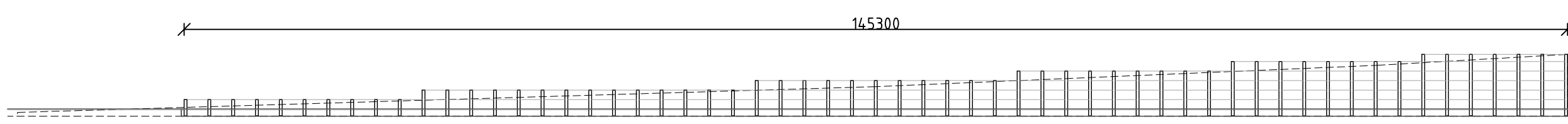


Zijaanzicht (Alt. A)



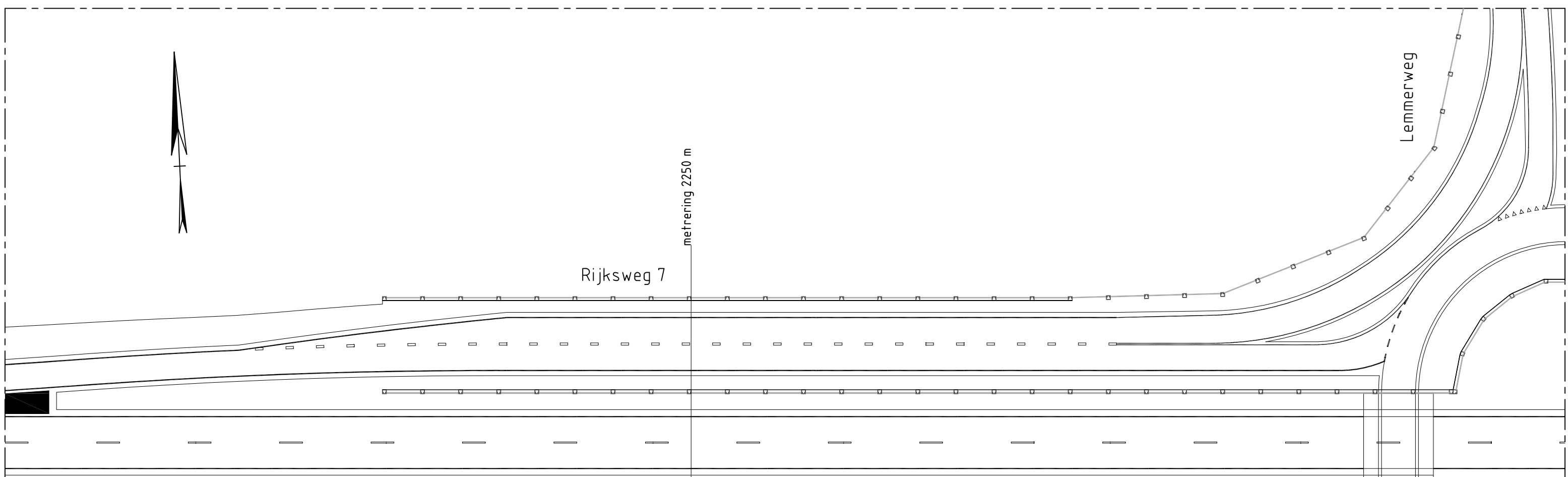
Bovenaanzicht situatie toerit Rijksweg 7 (Alt. B)

schaal 1:500



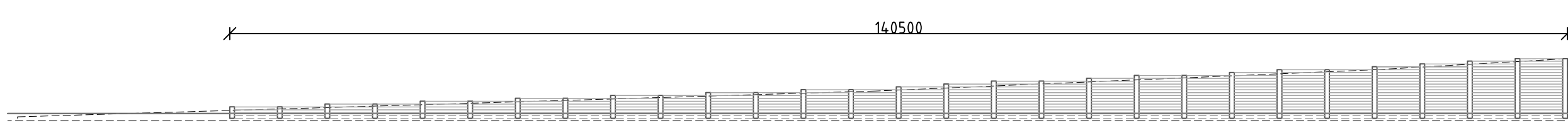
Zijaanzicht (Alt. B)

schaal 1:500



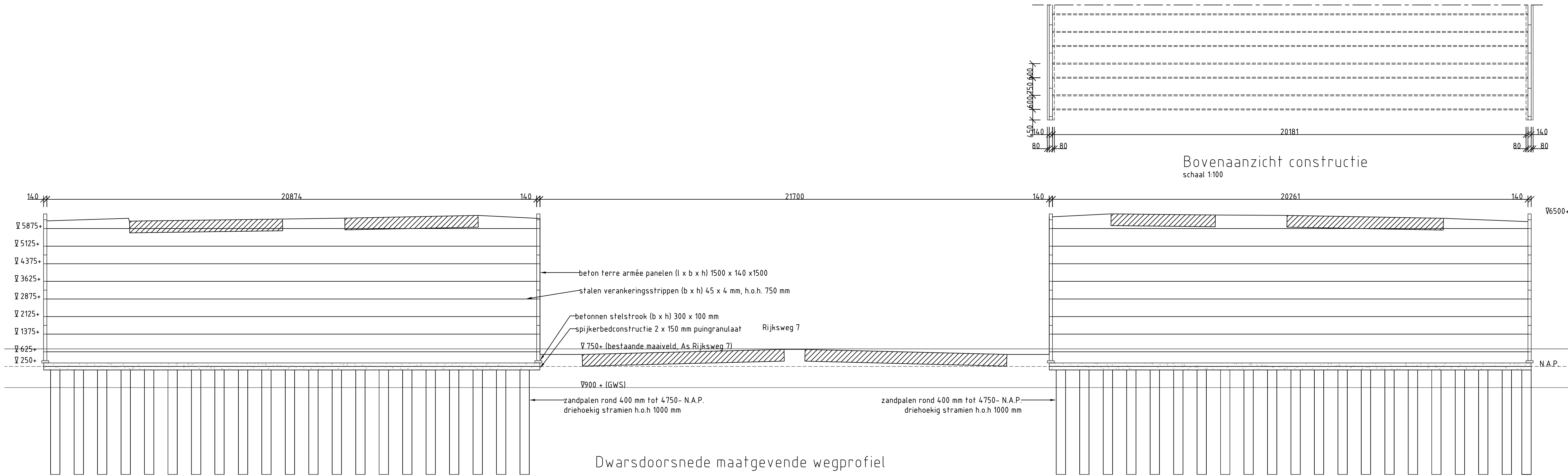
Bovenaanzicht situatie toerit Rijksweg 7 (Alt. C)

schaal 1:500



Zijaanzicht (Alt. C)

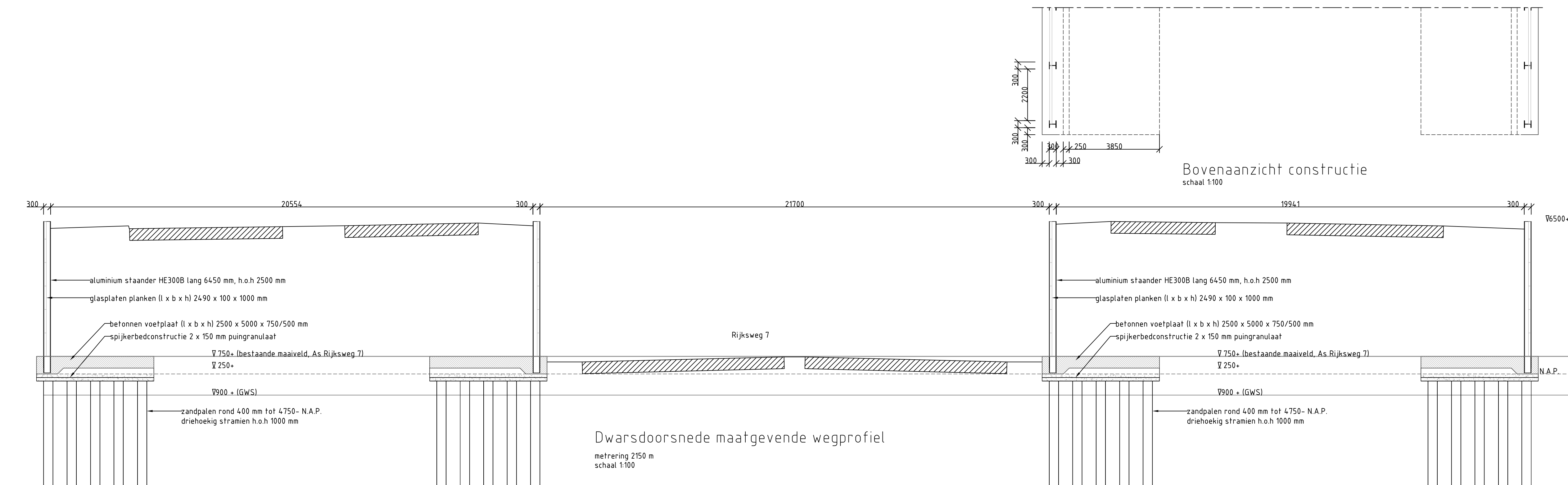
schaal 1:500



Dwarsdoorsnede maatgevende wegprofiel

metreling 2150 m

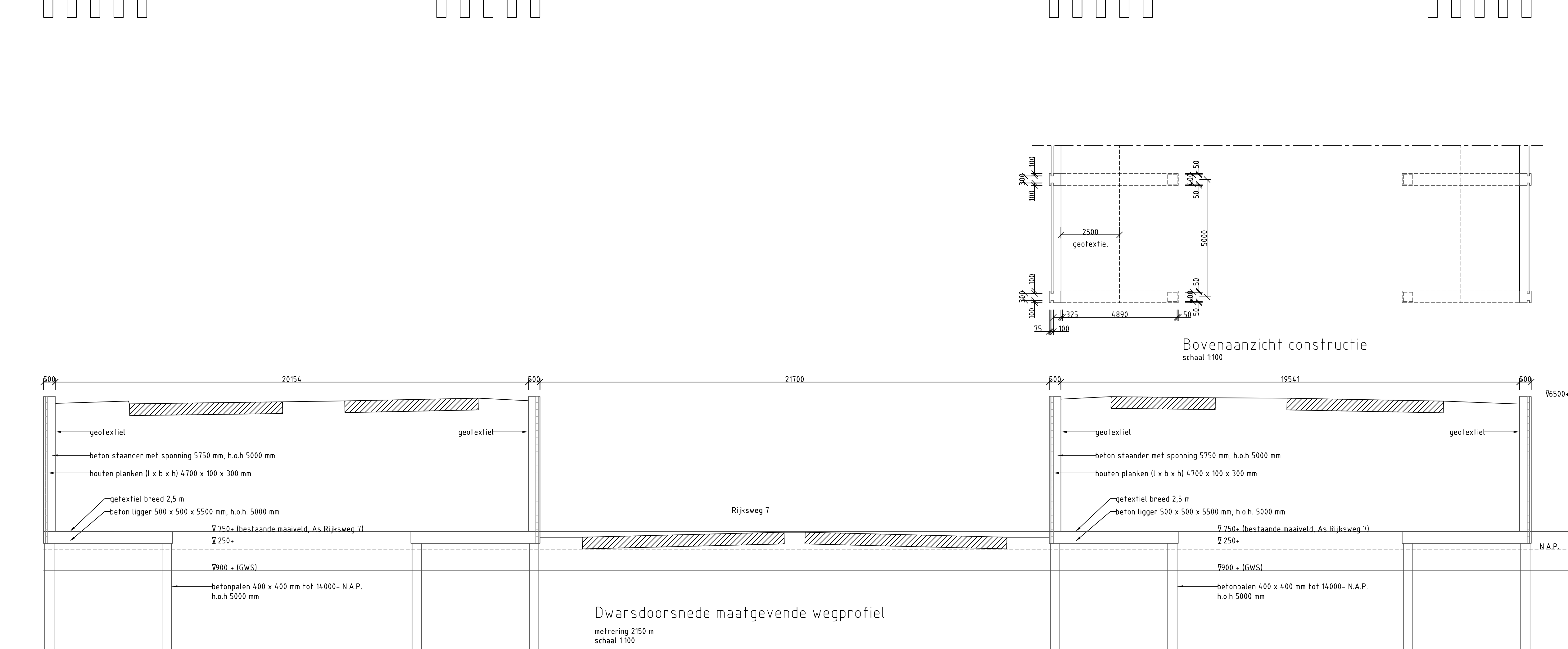
schaal 1:100



Dwarsdoorsnede maatgevende wegprofiel

metreling 2150 m

schaal 1:100



Dwarsdoorsnede maatgevende wegprofiel

metreling 2150 m

schaal 1:100

- beton
 - puingranulaat
 - verharding wegconstructie
- maten in mm, hoogtematen in mm t.o.v. N.A.P.

