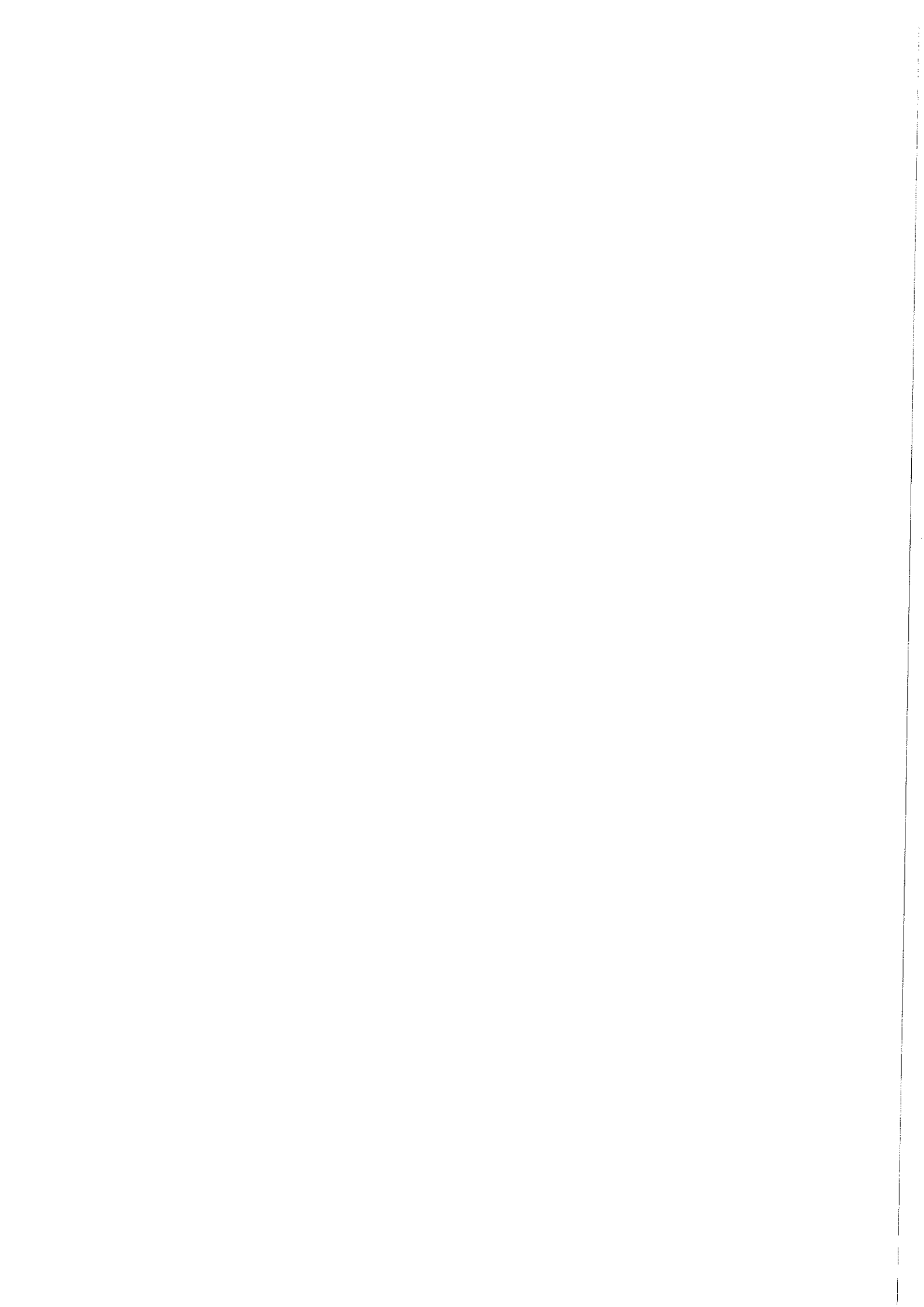


Bijlage 2



**Lekkage diepwanden startion
Vijzelgracht NoordZuidlijn
Analyse calamiteit van 10 september 2008**

Ons kenmerk
435691-0003

Versie
04 Definitief

Datum
november 2008

Opgesteld in opdracht van
Gemeente Amsterdam
Dienst Milieu en Bouwtoezicht
Postbus 922
1000 AX AMSTERDAM

Postbus 177
2600 MH
Stieltjesweg 2
2628 CK Delft

Telefoon (015) 26 93 500
Telefax (015) 26 10 821
www.deltares.nl

Rapportnummer
435691-0003 v04

Datum
november 2008

Samenvatting rapport

Versie
04 Definitief

Aantal pagina's
46

Titel / subtitel

Lekkage diepwanden startion Vijzelgracht
NoordZuidlijn / Analyse calamiteit van 10
september 2008

Projectleider(s)

ir. ing. V. Veenbergen

Projectbegeleider(s)

prof. ir. A.F. van Tol

Overige leden projectteam



ir. M. Korff

Opgesteld in opdracht van

Gemeente Amsterdam
Dienst Milieu en Bouwtoezicht
Postbus 922
1000 AX AMSTERDAM

Verspreiding

Gemeente Amsterdam 3x
Deltares 1x

Versie	Datum	Opgesteld door	Paraaf	Gecontroleerd door	Paraaf
01	september 2008	ir. ing. V. Veenbergen		prof. ir. A.F. van Tol	
02	september 2008	ir. ing. V. Veenbergen		prof. ir. A.F. van Tol	
03	oktober 2008	ir. M. Korff		prof. ir. A.F. van Tol	
04	november 2008	ir. M. Korff		prof. ir. A.F. van Tol	

Deltares

Erasing Delta Life



Rapportnummer
435691-0003 v04

Datum
november 2008

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doelstelling van de rapportage	3
1.3 Leeswijzer	4
1.4 Gebruikte documenten	4
2 Beschrijving plan van aanpak	5
2.1 Voorafgaand aan goedkeuring DMB	5
2.2 Overwegingen beoordeling plan van aanpak	6
2.3 Samenvatting plan van aanpak	7
3 Beschrijving gebeurtenis d.d. 10-09-2008	9
3.1 Chronologisch overzicht gebeurtenissen tot en met doorbraak	9
3.2 Doorbraak voeg 69 / 70	11
3.2.1 Geconstateerde situatie tijdens ontgraven	11
3.2.2 Van bentonietinsluiting tot grote lekkage	13
3.2.3 Oorzaak bentoniet insluiting	14
3.3 Conclusie	15
4 Evaluatie	17
4.1 Texplor metingen en interpretatie	17
4.2 Risico afweging	17
4.3 Wijze van ontgraven	18
4.3.1 Ontgraven	18
4.3.2 Beoordeling kwaliteit voeg 69/70	18
4.3.3 Herstelmethode	18
4.4 Optimalisatie monitoringsysteem	19
4.5 Conclusie evaluatie	19
5 Conclusies	21
Bijlage(n)	
Error! No table of contents entries found.	
Tabellen	
Tabel 3.1 Chronologische beschrijving doorbraak d.d. 10-09-2008	10
Figuren	
Figuur 3.1 Foto Max Bögl van insluiting bij voeg 69/70 (vooraanzicht diepwand).	11
Figuur 3.2 Schematische doorsnede van de mogelijke vorm van de insluiting bij voeg 69/70 (bovenaanzicht diepwand).	12
Figuur 3.3 Schematische weergave van ontgraving en insluiting ter plaatse van voeg 69/70.	13
Figuur 3.4 Ontstaan bentonietinsluiting tijdens het storten van de diepwand	15
Figuur 3.5 Schematische weergave van de lekkage als gevolg van de insluiting bij voeg 69/70 (dwarsdoorsnede over de bouwput, locatie lekkage bij benadering).	16

Samenvatting

Tijdens ontgravingswerkzaamheden bij de aanleg van station Vijzelgracht voor de NoordZuid-lijn te Amsterdam is in juni 2008 een lekkage ontstaan in de diepwand, waardoor water en grond in de bouwkuip zijn gestroomd. Dit heeft er toe geleid dat de panden Vijzelgracht 20, 22, 24 en 26 in ernstige mate verzakt zijn. Tijdens de door DMB bevolen onderbreking van de werkzaamheden is onderzoek gedaan naar de lekkages in de wand en is een gewijzigd plan van aanpak opgesteld door het Projectbureau NoordZuid-lijn om aan DMB aan te tonen dat de voegen voldoende waterdicht zijn.

Deltares heeft hierop een second opinion uitgevoerd met als conclusie dat het monitoringssysteem zoals bekend niet geschikt is als 'early warning system' voor plotselinge doorbraken, maar wel geoptimaliseerd dient te worden en dat lekdetectie (zoals door PBNZL voorgesteld bij verdachte plekken door middel van Texplormetingen) langs de gehele diepwand nodig was.

Na analyse en interpretatie van de Texplor metingen heeft het PBNZL aanbevolen om, indien lekkages optraden tijdens het ontgraven, van de binnenzijde te injecteren. In een overleg op 04-09-2008 tussen het projectbureau, aannemer, DMB en Deltares is het plan van aanpak besproken en de werkwijze aangepast met eerst inspectie van voegen en vervolgens een beperkte ontgraving langs de diepwand. Er zou ontgraven worden in lagen van 1,5 tot 2 meter zodat er elke keer gelegenheid was om eventuele lekkages te detecteren en wanneer nodig zo snel als mogelijk te injecteren. Tevens was de grond in het midden van het station aanwezig om wanneer dit nodig was tegen de diepwand te worden aangewerkt.

Op 09-09-2008 zijn met goedkeuring van DMB, na advies van Deltares, de ontgravingswerkzaamheden hervat. Op 10-09-2008 is echter opnieuw lekkage opgetreden bij station Vijzelgracht, waardoor de panden Vijzelgracht 4 t/m 10 ernstig verzakt zijn.

Naar aanleiding van deze calamiteit heeft DMB de werkzaamheden aan station Vijzelgracht en ook Rokin stilgelegd. DMB heeft Deltares gevraagd de calamiteit van 10-09-2008 te onderzoeken en te adviseren over een werkwijze waarmee op verantwoorde wijze de bouw van de stations kan worden hervat.

Dit rapport beantwoordt aan het eerste deel van het onderzoeksplan van Deltares:

- duidelijkheid brengen over de technische gang van zaken en de oorzaak van de opgetreden (vorige en deze) calamiteiten.

Deltares heeft in dit onderzoek het volgende geconstateerd:

Op 10-09-2008 is een ernstige lekkage ontstaan ter plaatse van voeg 69/70. De oorzaak hiervan is de aanwezigheid en het later doorbreken van een bentonietinsluiting in de wand.

In de voeg is tijdens het ontgraven een insluiting van bentoniet aangetroffen (een zacht, kleiachtig materiaal, dat onbedoeld is achtergebleven tijdens de bouw van de wand), die in aanvang niet watervoerend was. De lekkage is ontstaan nadat deze insluiting is verweekt als gevolg van de trillingen (veroorzaakt door de reparatiewerkzaamheden, waaronder het boren in de diepwand) en/of een geringe grondwaterstroming. Door de bentoniet insluiting was het rubber voegprofiel vermoedelijk lokaal niet goed in de beton van paneel 70 ingestort en heeft het door de verweking haar steun verloren. Door de hoge waterdruk aan de buitenzijde kan het rubber voegprofiel vervolgens zijn bezweken. Dit heeft geleid tot een doorbraak in de wand waardoor water en zand de bouwput is ingestroomd en de panden achter deze voeg (o.a. Vijzelgracht 4 t/m 10) in ernstige mate zijn verzakt. Meer zekerheid over de precieze toedracht

kan alleen door middel van destructief onderzoek ter plaatse worden verkregen. Dit is echter risicovol.

De bentonietinsluiting in de wand is het gevolg van bentoniet dat tijdens het storten van de wand niet is verdrongen door de beton en op dat moment in de wand is ingesloten. Eén duidelijke oorzaak van de bentoniet insluiting kan niet worden gegeven. De bentoniet insluiting is hoogstwaarschijnlijk ontstaan door een combinatie van een aantal suboptimale omstandigheden tijdens de uitvoering.

De diepwanden van station Vijzelgracht zijn significant slechter van kwaliteit dan de diepwanden van station Ceintuurbaan en ook slechter dan zou mogen worden verwacht op basis van de gangbare professionele standaard in Nederland. Deze uitzonderlijke slechte kwaliteit uit zich onder andere in het voorkomen van een dergelijke grote bentonietinsluiting. Diepwanden werden in dit project juist toegepast omdat de ervaring is dat dit soort wanden normaliter dicht zijn.

Plan van aanpak PBNZL

Het plan van aanpak van PBNZL ging uit van de tot dan toe gebruikte methode waarbij, indien nodig tijdens het ontgraven vanaf de binnenzijde in de diepwand wordt geïnjecteerd. Als onderdeel van de review heeft Deltares gesteld dat een aangepaste werkwijze nodig was. De uiteindelijk in het overleg van 04-09-08 gekozen werkwijze was gebaseerd op een risicoafweging waarbij het risico op grote lekkages was afgedekt door een ontgravingswijze, waarbij voegen eerst onder gecontroleerde omstandigheden werden geïnspecteerd. De risicoafweging of de verdachte locaties van binnenuit geïnspecteerd en behandeld konden worden, was gebaseerd op het beeld van de tot dan toe opgetreden lekkages, de Texplor-metingen en de ervaring met diepwanden en was ons inziens een verantwoorde aanpak. Dit is dan ook gemeld in onze brief van 05-09-08.

Uitvoeringswijze

De ontgraving bestond in eerste instantie uit het inspecteren van verdachte locaties uit de Texplor-meting zonder onnodig veel te ontgraven en is conform afspraak uitgevoerd. Er zijn op deze wijze 3 verdachte voegen geïnspecteerd, waarbij bij de eerste twee geen bijzonderheden werden geconstateerd. De derde voeg 69/70 is bloot gelegd en geïnspecteerd, waarbij een slechte plek, naar alle waarschijnlijkheid een bentoniet insluiting, werd geconstateerd.

Het Dagelijks Toezicht heeft enkele uren voordat de aannemer met herstelmaatregelen is begonnen al aan de aannemer doorgegeven dat maatregelen conform de geldende werkplannen moesten worden genomen gelet op de kwaliteit van de voeg. De aannemer bevestigt dit niet, maar achtte het in ieder geval noodzakelijk de slechte plek eerst verder te ontgraven voordat conform het werkplan stalen platen werden geplaatst.

Volgens het werkplan moet de aannemer een voeg beoordelen. In dit geval werd de voeg beoordeeld als 'herstelbaar van binnen uit' en vervolgens conform het herstelplan behandeld. De aannemer heeft de ernst van de bentoniet insluiting onderschat doordat de voeg droog was en koos daarom een herstelmethode die achteraf niet juist bleek door het labiele evenwicht waarin de bentoniet insluiting zich bevond.

Conclusie

De ernstige lekkage in de diepwand bij voeg 69/70 is het gevolg van een uitzonderlijk slechte plek in de diepwand, waarvan de kans op voorkomen klein werd ingeschat in de risicoafweging en welke was afgedekt met een aangepaste ontgravingswijze. De doorbraak van de slechte plek is niet voorkomen door onderschatting van de ernst van de geconstateerde bentoniet insluiting tijdens de uitvoering.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Tijdens ontgravingswerkzaamheden bij de aanleg van station Vijzelgracht voor de NoordZuid-lijn te Amsterdam is op 19-06-2008 een lekkage ontstaan in de diepwand bij voeg 89/90, waardoor water en zand in de bouwkuip zijn gestroomd. Dit heeft er toe geleid dat de panden Vijzelgracht 20, 22, 24 en 26 in ernstige mate verzakt zijn en bijgevolg ontruimd zijn (geweest). De ontgravingswerkzaamheden zijn vervolgens gestaakt. De gemeente (dienst Milieu en Bouwtoezicht DMB) heeft het projectbureau NoordZuid-lijn (PBNZL) verzocht eerst aan te geven hoe bij voortgaande ontgravingswerkzaamheden soortgelijke lekkageproblemen, kunnen worden voorkomen. Daarnaast heeft de DMB het projectbureau NoordZuid-lijn verzocht eveneens aan te geven hoe lekkage op de overige verdachte locaties voorkomen wordt.

DMB heeft Deltares om een second opinion gevraagd op het plan van het Projectbureau. Het resultaat van de second opinion is vastgelegd in brief 435690-0003 v02, d.d. 06-08-2008 en behelst het volgende advies voor station Vijzelgracht:

- optimaliseren monitoringsysteem (het monitoringsysteem is niet aan te passen om als 'early warning system' voor plotselinge doorbraken te dienen, maar kan geoptimaliseerd worden ten opzichte van het functioneren in juni);
- lekdetectie door middel van het uitvoeren van Texplormetingen bij de gehele diepwand.

Daarnaast is separaat aan het Stadsdeel Amsterdam-Centrum het advies uitgebracht de panden Vijzelgracht 24/26 te stabiliseren.

In augustus 2008 is vervolgens in opdracht van het projectbureau de gehele diepwand van station Vijzelgracht door Texplor onderzocht. Na analyse en interpretatie van de meetresultaten heeft het Projectbureau NoordZuid-lijn een werkwijze voorgesteld voor hervatting van de werkzaamheden. Op verzoek van DMB heeft Deltares dit plan van aanpak beoordeeld en met aanpassingen verantwoord verklaard, zie brief 'Voortgang bouwwerkzaamheden station Vijzelgracht', d.d. 05-09-2008.

Een en ander heeft er toe geleid dat op 09-09-2008 de ontgravingswerkzaamheden hervat zijn. Op 10-09-2008 is echter opnieuw lekkage opgetreden bij station Vijzelgracht, waardoor de panden Vijzelgracht 4 t/m 10 ernstig verzakt zijn en bijgevolg ook ontruimd zijn (geweest).

1.2 Doelstelling van de rapportage

Naar aanleiding van de calamiteit van 10-09-2008 heeft DMB de werkzaamheden aan station Vijzelgracht (en ook Rokin) stilgelegd. DMB heeft Deltares gevraagd de calamiteit van 10-09-2008 te onderzoeken en te adviseren over een werkwijze waarmee op verantwoorde wijze de bouw van de stations kan worden hervat. In brief 435691-0015/sr, 13-10-2008 is het onderzoeksplan vastgelegd.

In voorliggend rapport wordt ingegaan op het eerst deel van het onderzoeksplan:

- Duidelijkheid brengen over de technische gang van zaken en de oorzaak van de opgetreden (vorige en deze) calamiteiten?

De overige onderdelen van het plan van aanpak worden separaat gerapporteerd.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden de in het plan van aanpak van het PBNZL afgesproken werkwijze en de bijbehorende overwegingen nader omschreven. Een exacte beschrijving van de gebeurtenis op 10-09-2008 wordt vervolgens in Hoofdstuk 3 weergegeven. De beschrijving is opgesteld op basis van interviews met betrokken personen en het feiten relaas van het projectbureau NoordZuid-lijn. Uit Hoofdstuk 3 volgt tevens wat de achtergrond is geweest van de lekkage in de diepwand. In Hoofdstuk 4 wordt de gevolgde werkwijze geëvalueerd. In Hoofdstuk 5 worden tot slot de conclusies van dit onderzoek naar de technische gang van zaken rondom de calamiteit getrokken.

De concept versies van dit rapport zijn door DMB en PBNZL gecontroleerd op feitelijke onjuistheden. Het commentaar van PBNZL heeft op een aantal punten tot wijzigingen geleid.

In dit rapport wordt een technische beoordeling gegeven en worden geen conclusies getrokken over het functioneren van de organisatie, de juridische en/of andere verantwoordelijkheden. De uitspraken in dit rapport dienen vooral ter vaststelling van de benodigde maatregelen voor het vervolg van de werkzaamheden.

1.4 Gebruikte documenten

Naar de volgende documenten wordt in dit rapport verwezen:

1. Document 31-015 van Max Bögl, 'Werkplan Injectiewerkzaamheden diepwand Station Vijzelgracht.
2. Notulen 'Hervatting ontgravingswerkzaamheden Vijzelgracht na incident van 19 juni 2008', Gemeente Amsterdam; Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer, d.d. 04 september 2008.
3. Rapport 'Incident Vijzelgracht', doc.nr. 5.2-7.2/8023029, d.d. 08-07-2008, Gemeente Amsterdam; Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer.
4. Rapport 'Station Vijzelgracht - Resultaat Texplor metingen diepwanden', referentie L506-21-28, Projectbureau NoordZuid-lijn, d.d. 21 augustus 2008, ongecontroleerd.

Daarnaast is gebruik gemaakt van informatie die afgeleid is uit de verslagen van interviews met de volgende personen (zie bijlage 1 t/m 5):

- dagelijks Toezichthouder;
- uitvoerder aannemer;
- hoofdvoerder onderaannemer diepwanden;
- dagelijks Toezichthouder tijdens graven diepwanden;
- memo n.a.v. interview Toezichthouder en Uitvoerder aannemer.

2 Beschrijving plan van aanpak

2.1 Voorafgaand aan goedkeuring DMB

Na het incident van 19 juni jl. heeft het PBNZL een plan gemaakt voor het vervolg van de werkzaamheden (kenmerk 5.2-7.2/8023104, d.d. 9-7-2008). Dit plan diende om aan DMB aan te tonen dat zowel de 'probleem' voegen als alle andere voegen waterdicht zijn. DMB heeft Deltares om een second opinion gevraagd op dit plan. Het resultaat van de second opinion is vastgelegd in brief 435690-0003 v02, d.d. 06-08-2008 en behelst het volgende advies voor station Vijzelgracht:

- optimaliseren monitoringsysteem (het monitoringsysteem is niet aan te passen om als 'early warning system' voor plotselinge doorbraken te dienen, maar kan geoptimaliseerd worden ten opzichte van het functioneren in juni);
- uitvoeren van lekdefectie door middel van Texplormetingen bij de gehele diepwand.

In augustus 2008 is in opdracht van het projectbureau de gehele diepwand van station Vijzelgracht door Texplor onderzocht. Na analyse en interpretatie van de meetresultaten heeft het Projectbureau NoordZuid-lijn een werkwijze voorgesteld voor hervatting van de werkzaamheden (ref. 4). In dit plan is het volgende advies gegeven:

- 'bij de voeg tussen diepwand paneel 59 – 60 (..) wordt hier geadviseerd de voeg vanaf de buitenzijde, voorafgaand aan verdere ontgraving, te injecteren. Verder wordt geadviseerd om na de injectie de voeg opnieuw te meten op waterdichtheid'.
- 'Voor de overige voegen lijkt het niet noodzakelijk te zijn deze vanaf de buitenzijde van het station te injecteren. De huidige methode waarbij vanaf de binnenzijde van het station wordt geïnjecteerd kan toegepast worden'.
- 'Aanbevolen wordt om lekkende voegen (..) voorafgaand aan de ontgraving vanuit de binnenzijde te injecteren conform het werkplan van de aannemer'.

De door het projectbureau voorgestelde werkwijze is in een overleg op 04-09-2008 tussen het projectbureau, aannemer, DMB en Deltares besproken. Hierin is aan de orde geweest, zie notulen [2] dat de ontgravingsmethode diende te worden aangepast met een gefaseerde werkwijze. Een ontgraving met beperkte afmeting zal voor inspectie van de voegen worden gemaakt en er zal ontgraven worden in lagen van 1,5 tot 2 meter zodat er elke keer gelegenheid is om eventuele lekkage te detecteren en wanneer mogelijk zo snel als mogelijk te injecteren. Tevens is de grond in het midden van het station aanwezig om wanneer dit nodig is tegen de diepwand te worden aangewerkt. Daarnaast werd afgesproken te starten bij de noordelijke toegangsoening met het ontgraven en inspecteren van een aantal, volgens Texplor verdachte voegen. Tevens is afgesproken dat voeg 59/60 van binnenuit, dwars door de diepwand heen, aan de buitenzijde zou worden behandeld in verband met aanwezigheid van obstakels aan de buitenzijde.

Deltares heeft DMB tijdens het overleg mondeling geadviseerd de besproken werkwijze te accepteren en in de brief 'Voortgang bouwwerkzaamheden station Vijzelgracht', d.d. 05-09-2008 heeft Deltares haar overwegingen schriftelijk vastgelegd. In de genoemde brief wordt tevens verwezen naar de notulen van het overleg. In dit Hoofdstuk wordt de door DMB uiteindelijk goedgekeurde werkwijze conform de brief en de notulen samengevat inclusief de bijbehorende overwegingen.

2.2 Overwegingen beoordeling plan van aanpak

Deltares heeft bij de beoordeling van het voorstel van het projectbureau een risico afweging gemaakt, waarbij de volgende mogelijkheden zijn overwogen:

- alle verdachte locaties volgens de Texplormetingen preventief, voor hervatting van de ontgravingswerkzaamheden van de buitenzijde behandelen;
- eventuele lekkages tijdens het ontgraven van de binnenzijde herstellen en het risico (één van de 'hoogstwaarschijnlijke kleine lekken' blijkt groter dan verwacht) af te dekken door de verdachte locaties voorzichtig te inspecteren en in geval van een kleine lekkage deze van binnenuit te herstellen en in geval van een grote lekkage de lokale inspectie put direct dicht te gooien en van de buitenzijde te behandelen.

De keuze voor de werkwijze met het inspecteren van de locaties is ingegeven door drie overwegingen:

- 1a) Ten aanzien van het herstellen van eventuele lekkages van binnenuit is het volgende gesteld. Een diepwand is veruit de meest betrouwbare bouwputwand in het bijzonder voor diepe ontgravingen in watervoerende lagen, waar een dichte wand een absoluut vereiste is. Het is echter niet ongebruikelijk dat een diepwand een aantal lekken, variërend van zweetplekken tot kleine lekkages, vertoont. Grote lekken zijn normaliter hoogst zeldzaam. De resultaten van de Texplormetingen lieten tientallen onderling vergelijkbare anomalieën c.q. verdachte locaties zien. Op basis van het aantal en de algemene ervaringen van lekkages bij een diepwand zijn deze locaties beoordeeld als 'hoogstwaarschijnlijk kleine lekken', die van binnenuit (door middel van injecteren) konden worden gerepareerd. De ervaring bij de diepe stations van de NoordZuid-lijn tot dan toe was, dat er veel (enkele tientallen) kleine lekken ter plaatse van de (in totaal 114) voegen waren die inderdaad op deze wijze konden worden gerepareerd. Hierop uitgezonderd waren de locaties waar de voegplanken zijn achtergebleven (zie onder).
- 1b) Het risico op een lekkage kon naar het oordeel van Deltares worden gereduceerd door de Texplor meting te valideren of kalibreren. Het ijken van de meetresultaten zou kunnen gebeuren door visuele inspectie bij verdachte voegen, zodat bepaald kon worden wat de correlatie is tussen de meetwaarden en de ernst van de anomalie. Zo nodig kon op basis hiervan de werkmethode worden aangepast.
- 2) Het preventief behandelen van alle verdachte locaties van de buitenzijde, met welke techniek dan ook, zou zondermeer leiden tot hoge extra kosten en een langdurige vertraging.

Bovenstaande gold voor die locaties, waar op grond van de gegevens van het graven van de diepwandpanelen geen aanwijzingen waren dat er een lekkage zou kunnen optreden. Op enkele locaties gold andere overwegingen. Het lek bij voeg 89/90 (calamiteit op 19-06-2008) wijkt af van het beeld van veel kleine lekken. Deze lekkage was het gevolg van het achterblijven van een voegplank tijdens het maken van de diepwand in combinatie met het niet volledig kunnen uitvoeren van de herstelmaatregel. Bij voeg 89/90 is derhalve voor de lekkage een duidelijke oorzaak in de uitvoering aan te wijzen. Op grond van de ervaring bij deze voeg 89/90 is het risico van de anomalie bij voeg 59/60 groter ingeschat dan 'klein', omdat bij deze voeg de voegplank eveneens is blijven zitten en er bij het projectbureau twijfels bestonden over het effect van de destijds getroffen herstelmaatregel. Bij deze locatie is voor de werkwijze met preventief herstellen gekozen, door van binnenuit door de wand heen te boren en aan de buitenzijde aanvullend te injecteren.

Voorafgaande aan de calamiteit op 19 juni is bij voeg 24/25 sprake geweest van een aanzienlijk gat in de diepwand. Bij het vrijgraven van de voeg 24/25 op 17-06-2008 stroomde direct water de bouwput in en werd de grond weer tegen de voeg teruggeplaatst, werden stalen platen geplaatst en kon de instroming gestopt worden. Zoals uit latere injecties aan de buitenzijde bij deze voeg bleek ging het hier zeer waarschijnlijk om een doorgaande (doorlopend naar de buitenzijde van de wand) bentoniet insluiting. Omdat de Texplor meting na de gebeurtenis van

17-06-2008 is uitgevoerd (dus toen de stalen platen er al voor zaten en injecties uitgevoerd waren), kon niet worden bevestigd dat een dergelijke bentoniet insluiting in de Texplor metingen duidelijk afwijkt van de vele andere anomalieën. Wel was het mogelijk gebleken, door het snel opwerpen van een gronddam door de aannemer om een gat van deze omvang van binnenuit te beheersen. Voeg 24/25 gaf dus geen informatie over de interpretatie van de Texplor metingen maar droeg wel bij aan het feit dat een aangepaste werkwijze, met gefaseerde ontgraving, nodig was.

Deltares heeft in de risicoafweging gemeend dat het risico op ernstige lekkages voldoende was afgedekt met een aangepaste ontgravingswijze. Deze overweging was mede gebaseerd op het beeld van de tot dan toe opgetreden lekkages (met uitzondering van voeg 89/90 en 24/25), het grote aantal vergelijkbare verdachte locaties volgens de Texplor metingen en het feit dat het gebruikelijk is dat in een diepwand zwetende voegen c.q. kleine lekkages worden aangetroffen.

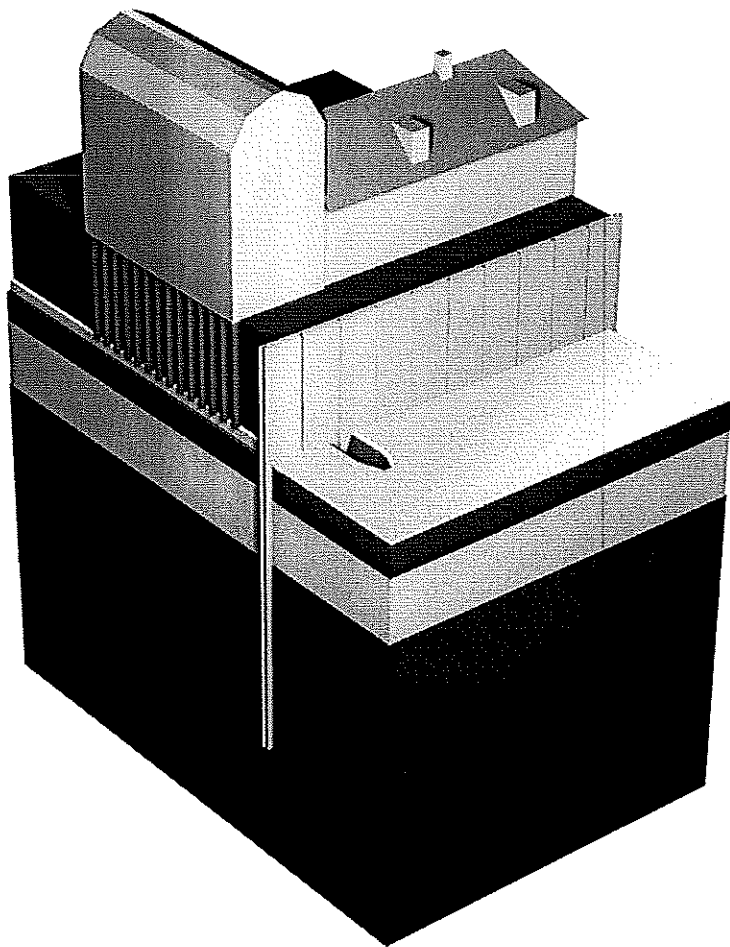
2.3 Samenvatting plan van aanpak

Om de verdachte locaties (anomalieën genoemd in het Texplor rapport) te inspecteren en te beoordelen ('ijking' resultaten Texplor), zou de hervatting van de ontgraving bij station Vijzelgracht in onderstaande volgorde worden uitgevoerd (zie ook de notulen van het overleg van d.d. 04-09-2008 [2]):

- inbraak bij de noordelijke bouwopening en als eerste aan de westzijde vanaf het midden van paneel 69 tot het midden van paneel 73 tot NAP -16,9 m ontgraven. Uitkomende grond moet binnen het station worden opgeslagen, zodat bij een eventuele lekkage de grond weer kan worden teruggebracht.
- Bij een succesvol verloop wordt doorgegraven naar de tegenoverliggende panelen 40 t/m 43 aan de oostzijde, waarbij grond kan worden afgevoerd.
- Vervolgens wordt de ontgraving in noordelijke richting met een dagelijkse cyclus voortgezet. De zijkanten van het station worden als eerste ontgraven, zodat eventuele lekkages vroeg op de dag worden waargenomen en in het midden grond voorhanden is om aan te brengen tegen de diepwand. Het ontgravingsfront is (niet) steil en er wordt in lagen van 1,5 tot 2 meter ontgraven. Zodoende is er gelegenheid om een eventuele lekkage te detecteren en indien nodig zo snel als mogelijk te injecteren. In de loop van de dag wordt vervolgens het middengedeelte weggegraven.
- Bij een succesvol verloop van de ontgraving aan de noordzijde van het station zal bij de zuidelijke bouwopening dezelfde procedure worden gevolgd. Als eerste wordt een inbraak gemaakt aan de westzijde bij het midden van de panelen 96 tot 100 om vervolgens over te steken naar de oostzijde. Daarna zal in zuidelijke richting worden verder gegraven analoog aan de werkwijze bij de noordelijke bouwopening.
- Tot slot kan op dezelfde manier het middengedeelte van het station worden ontgraven.

Waar nodig zou de werkwijze worden aangepast aan de resultaten. Bij paneel 59/60 werd een andere methode gehanteerd, namelijk preventief van binnenuit dwars door de diepwand heen aan de buitenzijde injecteren.

De aannemer beoordeelt een ontgraven voeg. De (hoofd)uitvoerder bepaalt de risicoklasse en de te nemen maatregelen [1]. In [1] zijn de te nemen maatregelen voor lekkages met toenemende ernst beschreven. Daarnaast is beschreven dat bij een slechte betonkwaliteit rondom de voeg, voorafgaand aan de injectie eerst stalen platen worden geplaatst, waarbij de ruimte tussen diepwand en plaat wordt uitgevuld met krimparme mortel.



Figuur 2.1 Overzicht ontgraving ter plaatse van voeg 69/70

3 Beschrijving gebeurtenis d.d. 10-09-2008

Op grond van interviews met de direct betrokkenen bij de calamiteit, het feitenrelaas van toezicht en het feitenrelaas van de aannemer heeft Deltares een weergave gemaakt van hetgeen gebeurd is voorafgaand, tijdens en na de doorbraak bij voeg 69/70. Op basis hiervan is een analyse gemaakt van de technische achtergrond van de lekkage.

3.1 Chronologisch overzicht gebeurtenissen tot en met doorbraak

Deltares heeft een interview gevoerd met de toezichthouder van het projectbureau en met de uitvoerder van de aannemer. Voor de verslagen van beide interviews wordt verwezen naar bijlage 1 en 2. Het door Dagelijks Toezicht en de aannemer opgestelde feitenrelaas is in bijlage 3 en 4 weergegeven. Een door Deltares opgemaakte situatieschets is in bijlage 5 opgenomen. Een en ander heeft tot de volgende beschrijving geleid.

dinsdag 9 september	
vanaf begin werkdag	Voeg ter plaatse van paneel 72/73 en 40/41 ontgraven. Geen bijzonderheden waargenomen, waarbij het beeld van de Texplor metingen bij de voegen 72/73 en 40/41 nagenoeg vergelijkbaar is (ook met voeg 69/70).
13:30 tot ca. 16:00 à 16:30 uur	In het midden van het station is ter plaatse van voeg 69 / 70 een 0,5 meter diepe inbraak gemaakt. Ontgravingsniveau bedroeg NAP - 13,9 m.
woensdag 10 september	
7:00 uur	0,5 meter diepe ontgraving t.p.v. voeg 69 / 70 uitgebreid richting diepwand.
10:00 uur	Zicht op voeg 69 / 70 over ca. 1 meter hoogte (van NAP -13,9 m tot NAP -14,9 m). Voeg zag er normaal uit.
12:00 uur	Toezichthouder meldt bij aannemer dat voeg 69 / 70 openstaat, maar wel droog is. Toezichthouder heeft op ca. 1 meter boven het dan bereikte ontgravingsniveau (ca NAP -15,5 à -16 m) een duimstok tot 0,6 meter in de voeg kunnen steken.
16:00 à 16:30 uur	Voeg 69 / 70 tot NAP -16,9 m uitgegraven. Insteek ontgraving is ca. 3 x 3 meter en onder talud naar NAP -16,9 m. Over ca. 1,5 tot 2 meter hoogte staat de voeg duidelijk open (gerekend vanaf NAP -16,9 m), maar is wel droog. Slechte plek in voeg neemt naar onderen in breedte toe en is maximaal 2 vuisten breed. Nabij ontgravingsniveau neemt de breedte van de slechte plek in de voeg af, maar is nog wel aanwezig. De rechter rand van de voeg (paneel 69) is strak, maar loopt wel naar rechts toe weg. De rand van paneel 70 is rafelig. Ontgraving is langzaam verlopen, doordat de grond verhard was t.g.v. de retour spoil van het maken van het jetgroutstempel op ca. NAP -32 m
16:30 uur	Uitvoerder aannemer maakt voeg 69 / 70 schoon met schop (alleen oppervlakte, niet in de voeg). De voeg is gevuld met grijs, kleilig materiaal (door toezichthouder hierboven aangeduid als bentoniet/zandmengsel). Uitvoerder belt collega en geeft opdracht om stalen platen met krimparme mortel te gaan aanbrengen. Ook de aannemer stelt met behulp van een duimstok vast dat de diepte van de slechte plek ca. 0,6 meter is.
17:00 uur	Aannemer start met het voorbereiden van het plaatsen van stalen platen. Injectieploeg is bezig bij voeg 59, maar wordt naar voeg 69 / 70 gehaald.

18:00 uur	Eerste stalen plaat d.m.v. 4 chemische ankers in boorgaten Ø20 mm (diepte boorgat ca. 0,2 meter) geplaatst van NAP -16,9 m tot NAP -15,9 m. Achter stalen plaat aan weerszijden van de voeg isolatiemateriaal Ø50 mm van verwarmingsbuizen. Boren gebeurt met een klopboor.
18:15 uur	Injectieploeg staat gereed bij voeg 69 / 70
18:30 uur	Tweede stalen plaat is bevestigd; bovenzijde plaat ca. NAP -14,9 m. Voor de eerste plaat grond aangevuld om het aanbrengen van de derde stalen plaat mogelijk te maken.
18:45 uur	Derde stalen plaat is handvast aangedraaid, maar chemische ankers moeten nog verharden om ze goed vast te kunnen draaien. Op dit moment is het eerste water waargenomen.
18:50 uur	Omdat het uitharden van krimparme mortel 4 tot 5 uur duurt, heeft aannemer besloten direct over te gaan tot injecteren. Aan de linkerzijde, halverwege de tweede staalplaat is getracht een gat te boren t.b.v. injecteren van binnen uit. Dit is gestaakt, toen net onder het boorgat grijs water achter de stalen plaat vandaan spoot. Vervolgens begon ook aan de rechterzijde van de tweede stalen plaat grijs water te stromen. De foto's in bijlage 4 laten de grijze kleur duidelijk zien.
18:50 – 19:00 uur	Aan de rechterzijde van de voeg nabij overgang van staalplaat 2 en 3 is een nieuw boorgat gemaakt tot ca. 0,7 à 0,8 meter diep.
19:00 uur	Start met dichtgooien ontgraving met omliggende grond
19:15 uur	Start injectie CABOR PUR NR in het geboorde gat
19:50 uur	Ontgraving is weer aangevuld, maar het water blijft stromen. Besluit genomen om verder aan te vullen met kleikorrels.
21:30 uur	Aankomst injectieploeg B&W om aan de buitenzijde te gaan injecteren
22:00 uur	Kleikorrels bleken niet afdoende te helpen en waren bovendien op, zodat bigbags met zand zijn aangevoerd. Dit blijkt ook niet afdoende, zodat tegen 24.00 u werd besloten om grond van Rokin te gaan aanvoeren
23:05 uur	Machine B&W kapot gegaan; maximaal 3 meter diep gekomen met lans.
donderdag 11 september	
00:15 uur	Start retourbemaling via peilbuis PBV45.
00:30 uur	Start retourbemaling via peilbuis PBV43.
00:45 uur	Aanvoer eerste grond van Rokin
02:00 uur	Machine B&W gerepareerd en opnieuw gestart met inbrengen lans. Op MV -3 m op obstakel gestuit. Avegaarboorstelling opgeroepen.
02.30 uur	Injectie van binnenuit gestopt, omdat pomp druk begint op te bouwen (dit betekent ruimtes gevuld). In totaal 680 l injectievloeistof verpompt.
04:10 uur	Start voorboren met avegaar.
06:00 uur	Start injecteren van buitenaf met PUR op NAP -21 m.
06:30 uur	Aannemer, DMB en projectbureau spreken van een stabiele situatie
Vrijdag 12 september	
04:00 uur	Injectie van buitenaf op NAP -12 m beëindigd.
07:00 uur	Start aanbrengen van een vijftal manchettenbuizen aan de buitenzijde in een boog rondom de voeg. Manchettenbuizen op ca. 0,6 meter van de voeg.

Tabel 3.1 Chronologische beschrijving doorbraak d.d. 10-09-2008

Opmerkingen n.a.v. chronologie:

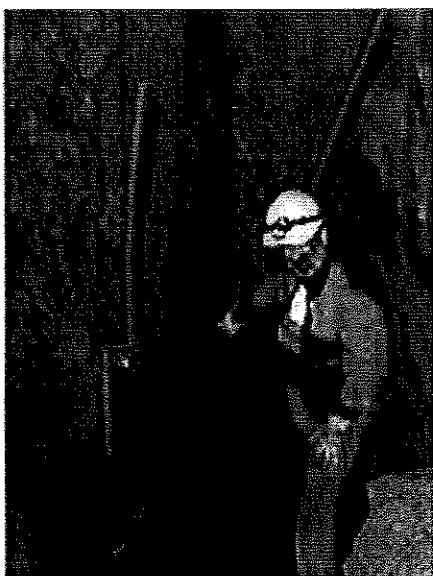
- 1 Voeg 69/70 wijkt in de Texplor meting niet af van het beeld bij de voegen 72/73 en 40/41.
- 2 Toezichthouder geeft in interview aan rond 12.00 u aannemer te hebben verzocht om de slechte voeg te behandelen conform werkplan.

- 3 Aannemer kan dit niet bevestigen; dit is echter niet van belang omdat aannemer stelt dat hij eerst de onderkant van de slechte plek wilde ontgraven om vanaf dat niveau de reparatie conform werkplan met stalen platen naar boven uit te voeren uit vrees dat anders het water mogelijk onder de stalen platen door in bouwput zou stromen, zoals eerder bij voeg 89/90.

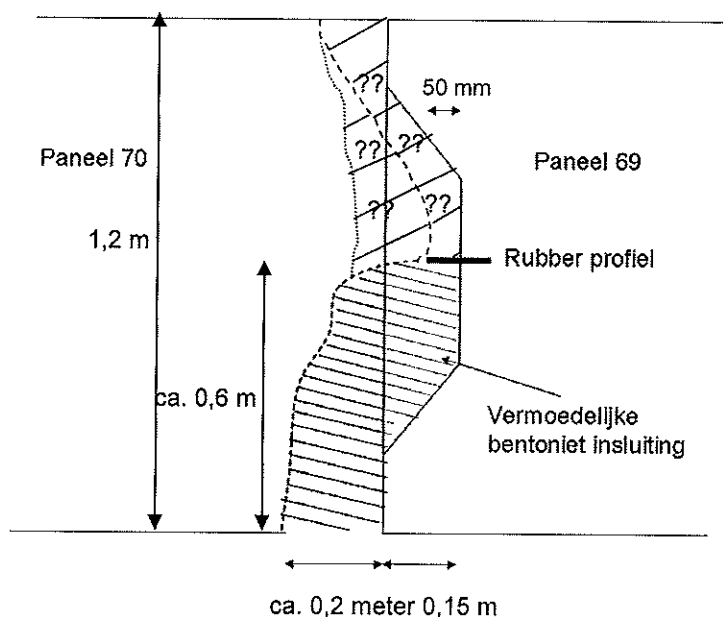
3.2 Doorbraak voeg 69/70

3.2.1 Geconstateerde situatie tijdens ontgraven

Uit het overzicht in Tabel 3.1 volgt dat in de voeg een zachte plek is aangetroffen van tenminste 1,5 tot 2 meter hoog en maximaal twee vuisten breed. De diepte van de insluiting bedroeg tenminste ca 0,6 cm. De duimstok van de toezichthouder en van de uitvoerder zijn toen op iets hards gestoten (beton of mogelijk het rubber afdichtingsprofiel).



Figuur 3.1 Foto Max Bögl van insluiting bij voeg 69/70 (vooraanzicht diepwand).



Figuur 3.2 Schematische doorsnede van de mogelijke vorm van de insluiting bij voeg 69/70 (bovenaanzicht diepwand).

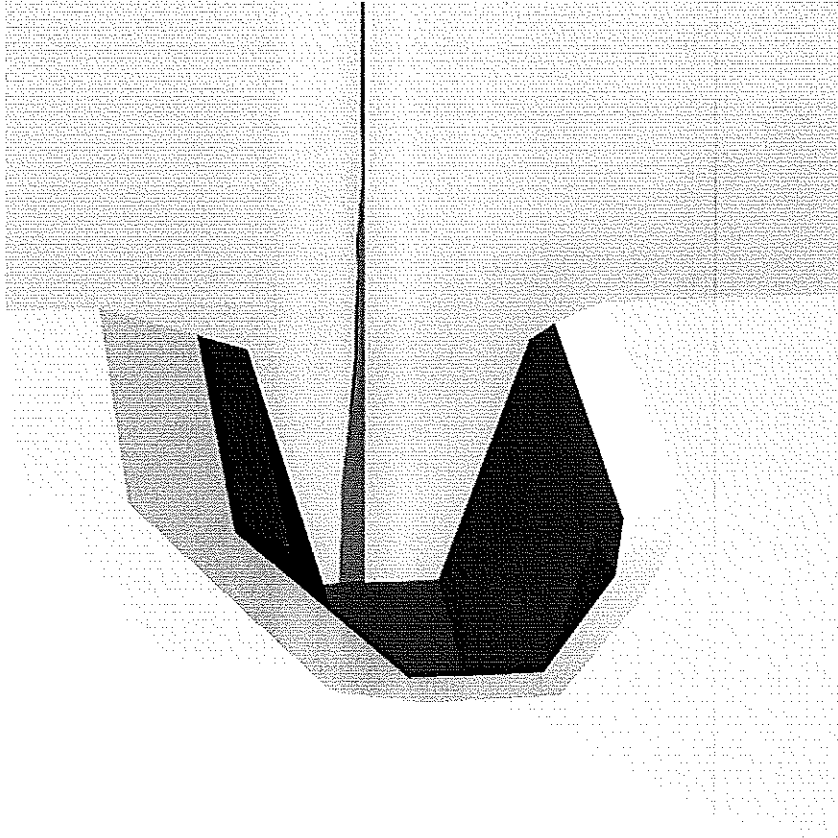
De voeg was gevuld met grijs, kleilig materiaal met zand; waarschijnlijk betreft het hier een insluiting van bentoniet met zand. De insluiting was in eerste instantie droog, hetgeen door de slechte doorlatendheid van (opgestijfde) bentoniet, mogelijk in combinatie met een nog functionerend rubberprofiel, verklaarbaar is.

Normaliter bevindt zich in de voeg een rubberprofiel, die in beide panelen ingestort is. Volgens opgave van het projectbureau is het rubberprofiel 100¹ mm breed. Uit de geboortegegevens volgt dat paneel 69 als eerste gestort is, hetgeen betekent dat het rubberprofiel ca. 50 mm in paneel 69 ingestort was op het moment dat paneel 70 werd ontgraven. Dat betekent dat het rubberprofiel aan de zijde van paneel 70 vermoedelijk niet goed in het beton zit.

Het is echter ook mogelijk dat de bentoniet insluiting langs het rubberprofiel doorloopt, zelfs tot de buitenzijde van de wand. Dit zou verklaren waarom de doorbraak zo ernstig was. De omvang van de insluiting is echter onbekend en zonder destructief onderzoek is het niet mogelijk om hier duidelijkheid over te krijgen.

Na de doorbraak is grijs water de bouwput ingestroomd, vermoedelijk een combinatie van zand en water, eventueel vermengd met resten van de bentonietinsluiting.

¹ Volgens opgave van het PBNZL was voor fase 1 het profiel 130 of 150 mm breed, voor fase 2 (waar paneel 69 en 70 gemaakt zijn) is volgens het werkplan van die fase 100 mm toegepast.



Figuur 3.3 Schematische weergave van ontgraving en insluiting ter plaatse van voeg 69/70.

3.2.2 Van bentonietinsluiting tot grote lekkage

De aanwezigheid van het bentoniet/zandmengsel (verder bentoniet insluiting genoemd) op zich leidt niet direct tot een verklaring waarom de aanvankelijk niet watervoerende insluiting plotseling sterk watervoerend werd. Hiervoor is het nodig naar zowel het rubber profiel als de bentoniet te kijken.

Bentonietinsluiting

De bentoniet insluiting heeft tot aan het moment van ontgraven steun gehad van de grond aan de binnenzijde van de wand. Na het ontgraven is deze steun niet meer aanwezig. Het was daardoor gevoelig voor verlies aan stabiliteit (verweking) die reeds kan intreden door een kleine verandering. Deze kleine verandering is waarschijnlijk gekomen door één of een combinatie van de volgende oorzaken:

1. Geringe lekkage van buitenaf.
2. Trillingen ten gevolge van het boren.

Het gevolg is dat de insluiting in de voeg plastisch wordt en geen steun meer geeft aan het rubber profiel en onvoldoende tegendruk kan bieden aan de hoge waterdruk aan de buitenzijde van de diepwand. Het is niet te achterhalen welke van beide mechanismen doorslaggevend is geweest.

Toelichting bij het verweken van de bentonietinsluiting:

1. Op het moment dat de grond (incl. verharde retour spoil) wordt weggegraven, neemt de stromingsweerstand af (en ook de fysieke steun) waardoor er makkelijker een grondwaterstroming kan ontstaan. Hierdoor kan verweking (het plastisch of zelfs vloeibaar worden) van de insluiting optreden, waardoor de insluiting uit de wand gedrukt kan zijn door de hoge waterdruk aan de buitenzijde van de diepwand of een preferent kanaal is ontstaan. Door de slechte doorlatendheid van bentoniet treedt de stroming langzaam op; de voeg heeft meerdere uren open gestaan, waardoor bovenstaand mechanisme niet uit te sluiten is.
2. De andere mogelijkheid is dat het verweken het gevolg is van trillingen door het boren van gaten nabij de voeg. Het gevolg is wederom dat de insluiting uit de voeg gedrukt wordt of een preferent kanaal ontstaat.

Rubber profiel

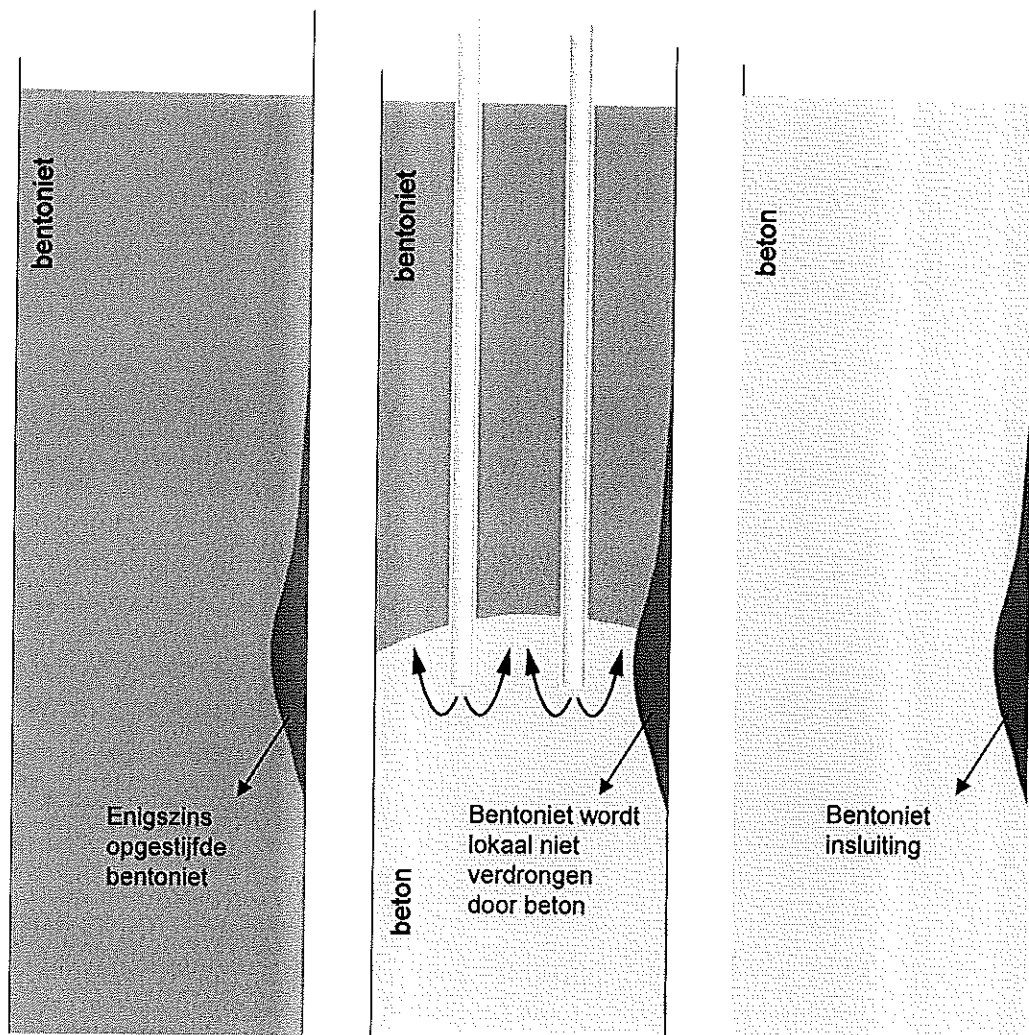
Ook alleen het verweken van de bentonietinsluiting had niet tot problemen hoeven te leiden, indien het voegprofiel voldoende ingestort is in beide zijden van de diepwand. Ondanks dat de vorm van de insluiting in de voeg niet bekend is, lijkt het er sterk op dat het rubberprofiel ter plaatse van de insluiting niet in het beton van paneel 70 gestort is, maar was ingebed (in ieder geval deels) in de bentoniet insluiting. Daarmee heeft het voegprofiel niet als waterdichting kunnen functioneren. Door het verweken van het bentoniet/zand mengsel is de ondersteuning van het rubber profiel vervolgens aan één zijde afgenomen, waardoor het rubber profiel mogelijk is omgebogen door de waterdruk. Op dat moment heeft het totaal geen waterremmende functie meer vervuld.

3.2.3 Oorzaak bentoniet insluiting

De diepwanden van station Vijzelgracht zijn op basis van visuele beoordeling significant slechter van kwaliteit dan de diepwanden van station Ceintuurbaan. De kwaliteit van de wanden is ook slechter dan zou mogen worden verwacht op basis van de gangbare professionele standaard in Nederland. Het uitzonderlijke voorkomen van een grote bentonietinsluiting is hiervan een gevolg. De achtergrond van deze kwaliteit is in rapport 435691-0016 v03 nader onderzocht en hieronder is beschreven in hoeverre dit de aanwezigheid van de bentonietinsluiting bij voeg 69/70 kan verklaren.

Op basis van een nadere analyse van de uitvoeringsgegevens en de dagboeken (zie rapport 435691-0016 v03, november 2008) is gezocht naar de achterliggende oorzaak van de bentoniet insluiting bij voeg 69/70.

Zoals uit de conclusies van rapport 435691-0016 v03 volgt, is er geen eenduidige oorzaak voor de slechte kwaliteit van voeg 69/70 aan te wijzen. Wat in ieder geval duidelijk is dat zo'n insluiting niet aanwezig mag zijn en hoogstwaarschijnlijk is ontstaan door een combinatie van een aantal suboptimale omstandigheden tijdens de uitvoering zoals lange wachttijd na verwijderen voegplank, scheefstand van de voegplank en een dicht wapeningsnet met een relatief grote maximale grindkorrel (waardoor beton de bentoniet slecht verdringt en poreus beton ontstaat, waaraan bentoniet beter hecht) en mogelijk het opschonen van bentoniet vanuit één pompositie en het niet gelijkmatig storten met de twee storkokers.



Figuur 3.4 Ontstaan bentonietinsluiting tijdens het storten van de diepwand

3.3 Conclusie

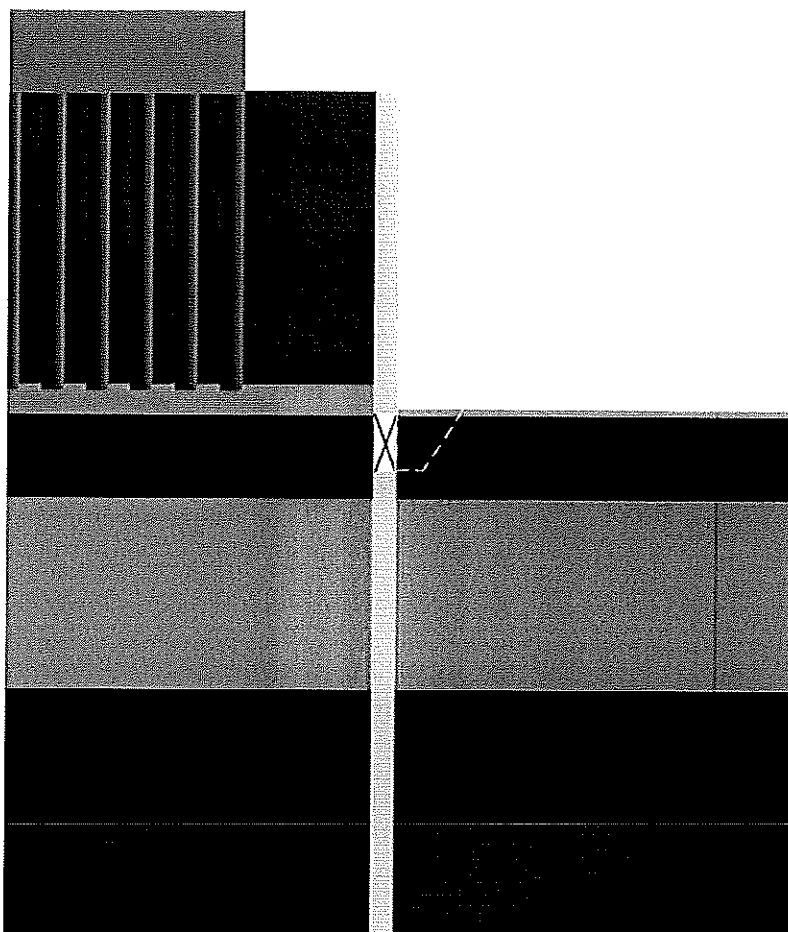
Op 10-09-2008 is een ernstige lekkage ontstaan ter plaatse van voeg 69/70. In deze voeg is tijdens het ontgraven een insluiting van bentoniet aangetroffen (een zacht, kleiachtig materiaal, dat onbedoeld is achtergebleven tijdens de bouw van de wand), die in aanvang niet watervoerend was. Op grond van het vermelde in Hoofdstuk 3 kan worden geconcludeerd dat de lekkage is ontstaan nadat deze insluiting is verweekt als gevolg van de trillingen (veroorzaakt door de reparatiewerkzaamheden, waaronder het boren in de diepwand) en/of een geringe grondwaterstroming. Door de bentoniet insluiting was het rubber voegprofiel vermoedelijk lokaal niet goed in de beton van paneel 70 ingestort en heeft het door de verweking haar steun verloren. Door de hoge waterdruk aan de buitenzijde kan het rubber voegprofiel vervolgens zijn bezweken, waardoor het lokaal niet meer functioneerde als waterkering. Dit heeft geleid tot een doorbraak in de wand waardoor water en zand de bouwput is ingestroomd en de panden achter deze voeg (o.a. Vijzelgracht 4 t/m 10) in ernstige mate zijn verzakt.

De bentonietinsluiting in de wand is het gevolg van bentoniet dat tijdens het storten van de betonnen wand niet is verdrongen en dus in de wand is achtergebleven. De bentoniet insluiting

is hoogstwaarschijnlijk ontstaan door een combinatie van een aantal suboptimale omstandigheden in de uitvoering.

Bij een normale kwaliteit van de diepwanden is een dergelijke insluiting zeer uitzonderlijk. De diepwanden van station Vijzelgracht zijn significant slechter van kwaliteit dan de diepwanden van station Ceintuurbaan en ook slechter dan zou mogen worden verwacht op basis van de gangbare professionele standaard in Nederland. Deze uitzonderlijke slechte kwaliteit uit zich onder andere in het voorkomen van een dergelijke grote bentonietinsluiting. Diepwanden werden in dit project juist toegepast omdat de ervaring is dat dit soort wanden normaliter dicht zijn.

Meer zekerheid over de precieze toedracht kan alleen door middel van destructief onderzoek ter plaatse worden verkregen, hetgeen echter risicovol is omdat aan de buitenzijde een gegarandeerde waterdichte kering aangebracht moet zijn.



Figuur 3.5 Schematische weergave van de lekkage als gevolg van de insluiting bij voeg 69/70 (dwarsdoorsnede over de bouwput, locatie lekkage bij benadering).

4 Evaluatie

Ondanks dat na de calamiteit in juni 2008 aanvullende metingen zijn uitgevoerd en een aangepast ontgravingsplan is opgesteld, is er tegen de verwachtingen in toch weer een grote lekkage ontstaan. In voorgaande hoofdstukken is de feitelijke beschrijving en analyse van de gebeurtenissen van 10 september 2008 weergegeven. In dit hoofdstuk wordt de afgesproken werkwijze geanalyseerd.

4.1 Texplor metingen en interpretatie

De door Texplor gehanteerde meetmethode is gebaseerd op relatieve verschillen in (water)dichtheid van de diepwand ten opzichte van een gemiddelde achtergrondwaarde. Er wordt een anomalie (= mogelijke lekkage) aangegeven als de meetwaarde meer dan een bepaalde grenswaarde afwijkt van de gemiddelde achtergrondwaarde is. Deze grenswaarde is een door de firma Texplor op ervaring gebaseerde grens, die op zich arbitrair is. Met behulp van Texplor kunnen in een gemiddeld goed stuk wand de slechte plekken (plekken waar de kans op een lek groter is) worden opgespoord. Als er veel vergelijkbare, kleine afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde achtergrondwaarde worden waargenomen, dan zijn dat hoogwaarschijnlijk onbeduidende lekken.

Op grond van de Texplormetingen is geen uitspraak te doen over de absolute grootte van een lekkage, omdat alles ten opzichte van een gemiddelde achtergrondwaarde wordt vergeleken. Normaliter is bij meerdere anomalieën in dezelfde meting wel onderscheid te maken in de grootte van de kans op een lekkage. Zandinsluitingen zullen ten opzichte van de betonwand wel duidelijk zichtbaar zijn. De mate waarin onderscheid gemaakt kan worden tussen een doorgaande bentonietinsluiting (van zichzelf redelijk waterdicht) en beton is beperkt. Omdat tientallen vergelijkbare anomalieën zijn waargenomen, zijn de verdachte plekken als 'hoogst waarschijnlijk kleine lekkages' geïnterpreteerd. Hieruit is afgeleid dat validatie van de metingen met behulp van het ontgraven en inspecteren nodig was voor beoordeling van de gehele wand.

Voeg 60/70 behoorde tot de voegen die als eerste geïnspecteerd werden en die door Texplor aangeduid waren als verdachte locaties. De slechte plek bij voeg 69/70 was in eerste instantie droog, maar verkeerde in een labiel evenwicht (rubber profiel gesteund door bentoniet insluiting) en kon zodoende bij het ontgraven en repareren uitmonden in een groot lek. Ook met de huidige kennis had op basis van alleen de Texplormetingen niet geconcludeerd kunnen worden dat het een potentieel groot lek betrof. Dat neemt overigens niet weg dat de Texplormetingen wel degelijk nuttig zijn gebleken, omdat de locatie van voeg 69/70 vóór uitvoering van Texplor niet als 'verdacht' was bestempeld [3].

4.2 Risico afweging

Bij de risicoafweging die naar aanleiding van de interpretatie van de Texplor metingen is gemaakt, werd het risico dat toch een grote lekkage op zou treden klein ingeschat. Dat een uitzonderlijk slechte locatie aanwezig was zoals beschreven in Paragraaf 3.2.1 werd op dat moment niet voorzien en kon met behulp van de Texplormetingen ook niet worden onderscheiden van een lekkage bij een voeg van normale betonkwaliteit. Het klein geachte risico op een grote lekkage heeft zich echter toch voorgedaan. De gekozen maatregel om dit risico af te dekken is de in Paragraaf 2.2 omschreven en in Paragraaf 4.3 geëvalueerde aangepaste ontgravingswijze.

4.3 Wijze van ontgraven

Het risico op grotere lekkages werd in het plan van aanpak afgedekt door in kleine ontgravingen de eerste verdachte plekken rond de noordelijke bouwopening te inspecteren en naar bevind van zaken een klein lek van binnen uit te repareren of in geval van een groot lek de ontgraving onmiddellijk dicht te gooien. Achtereenvolgens moeten dus de volgende stappen worden doorlopen:

- minimaal ontgraven;
- kwaliteit van de voeg beoordelen;
- indien nodig ontgraving dicht gooien;
- indien nodig herstelmaatregel doorvoeren;
- verder graven.

4.3.1 Ontgraven

De afmeting van de gerealiseerde ontgravingen bij de voegen 40/41, 72/73 en 69/70 ten behoeve van het inspecteren van de voeg was ongeveer 3 x 3 m² en nam met toenemende ontgravingsdiepte af. Kleiner was niet mogelijk in verband met het te gebruiken materieel. Naar het oordeel van Deltares is de ontgraving daarmee conform het plan uitgevoerd.

4.3.2 Beoordeling kwaliteit voeg 69/70

Volgens het werkplan moet de aannemer een voeg beoordelen. Nadat de voeg 69/70 in het zicht kwam, werd deze beoordeeld door de aannemer. Omdat de voeg geen water lekte, heeft de aannemer de slechte plek niet als risicoklasse 'ernstig' beoordeeld.

In het onderhavige geval werd de voeg echter ook door het projectbureau (Dagelijks Toezicht) beoordeeld. De dagelijks toezichthouder heeft ook de diepte van de slechte plek bepaald en heeft mede op basis daarvan aan de aannemer doorgegeven om maatregelen te treffen conform de geldende werkplannen.

Uit het onderzoek blijkt dat de inschatting van de ernst van de voeg een zeer belangrijke rol heeft gespeeld bij de gekozen werkwijze. Doordat er geen water stroomde en de slechte plek ook niet op andere gronden als ernstig werd beoordeeld (men kon niet zien dat de bentoniet insluiting in een labiel evenwicht verkeerde), is er niet overgegaan tot het sluiten van de ontgraving, zoals die bij ernstige lekkages was voorgeschreven. De constatering dat de insluiting tenminste 0,6 meter diep was, had tot de beoordeling van voeg 69/70 als een ernstige 'lekkage' moeten leiden. Een diepte van 0,6 meter betekent dat de slechte plek doorloopt tot het rubberprofiel en dus tot de waterkering, hetgeen uiteraard ernstig is.

Tevens speelt de tijdsduur tussen constatering en reparatie een mogelijke rol. Uit het chronologische overzicht in Paragraaf 3.1 volgt dat de aannemer ervoor gekozen heeft om de slechte plek in de voeg eerst helemaal te ontgraven en daarna, volgens het werkplan de platen aan te brengen, zodat het tot 16.30 uur heeft geduurd voordat hiermee is begonnen.

Hierbij is het overigens de vraag of het sneller uitvoeren van dezelfde maatregelen de calamiteit had kunnen voorkomen. Essentieel is de beoordeling van de aannemer dat herstel van binnen uit mogelijk was.

4.3.3 Herstelmethode

Gesteld kan worden dat de beschrijving van herstelwerkzaamheden van de aannemer [document 31-015 van Max Bögl, 'Werkplan Injectiewerkzaamheden diepwand Station Vijzelgracht] voorziet in 'hoe te handelen bij lekkages' en 'bij slechte plekken in het beton bij de voeg'. Deze beschrijving van potentiële lekkages en bijbehorende herstelmaatregelen beschrijft

hoe te handelen bij, op basis van ervaring, te verwachten afwijkingen. Een dergelijke beschrijving van potentiële lekkages moet zo volledig mogelijk zijn, maar kan redelijkerwijs nooit voorzien in alle mogelijke afwijkingen. De beschreven herstelmethode zijn bij alle diepe stations van de NoordZuid-lijn veelvuldig met succes toegepast.

De beschrijving voorziet echter niet in het onderhavige geval van een 'ernstige bentoniet insluiting die geen water voert, maar in labiel evenwicht verkeert'. Omdat rondom de voeg de betonkwaliteit slecht was (over een aanmerkelijk gebied is geen beton rondom de voeg aanwezig) heeft de aannemer conform het herstelplan [1] besloten eerst stalen platen aan te brengen om vervolgens van binnen uit te gaan injecteren. De aannemer heeft dus wel volgens het herstelplan [1] gewerkt, maar dat voorzag niet in de aanwezige situatie. In zo'n geval moet worden teruggevallen op een deskundige beoordeling ter plaatse. De aannemer heeft de voeg beoordeeld als 'herstelbaar van binnen uit' en vervolgens conform zijn herstelplan gehandeld.

Indien de aannemer de voeg als risicoklasse 'ernstig' had beoordeeld (zie paragraaf 4.2) dan had volgens het ontgravingplan meteen aangevuld moeten worden om vervolgens vanaf de buitenzijde te gaan injecteren. Het is niet met absolute zekerheid te zeggen dat bij een dergelijke herstelmethode geen lekkage was opgetreden, maar de kans op een lekkage van vergelijkbare omvang was in ieder geval veel kleiner.

4.4 Optimalisatie monitoringsysteem

Omdat het monitoringsysteem niet als 'early warning system' voor dergelijke plotseling optredende lekkages kan functioneren, wordt het bij de evaluatie in dit rapport buiten beschouwing gelaten.

4.5 Conclusie evaluatie

Uit de evaluatie van het doorlopen proces naar aanleiding van de calamiteit van d.d. 19-06-2008 tot en met de doorbraak van d.d. 10-09-2008 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- de Texplor-metingen zijn voor zover nu bekend is, juist geïnterpreteerd. Omdat door de bentoniet insluiting in eerste instantie geen water stroomde, is de verdachte voeg evenals andere anomalieën als een 'hoogst waarschijnlijk klein lek' beoordeeld. Een ernstige bentoniet insluiting die geen water voert, maar in labiel evenwicht verkeert, zal op basis van Texplormetingen niet als potentieel groot lek kunnen worden beoordeeld.
- Het uitvoeren van Texplor-metingen is nuttig gebleken, omdat de voeg 69 / 70 vóór uitvoering van de metingen niet als verdacht was bestempeld.
- De risicoafweging of de verdachte locaties van binnenuit geïnspecteerd en behandeld konden worden, was gebaseerd op het beeld van de tot dan toe opgetreden lekkages, de metingen en de ervaring met diepwanden was ons inziens verantwoord. Bij de gekozen werkwijze werd het risico op een grote lekkage afgedekt door een aangepaste ontgravingswijze.
- De aannemer heeft conform het afgesproken werkplan voorzichtig en niet meer dan noodzakelijk ontgraven. De aannemer heeft de voeg beoordeeld als 'herstelbaar van binnen uit' en vervolgens conform zijn herstelplan gehandeld.
- Doordat de voeg 69 / 70 in eerste instantie droog was, heeft de aannemer de ernst van de bentoniet insluiting onderschat.
- Dagelijks Toezicht heeft om 12:00 uur aan de aannemer doorgegeven om bij voeg 69/70 maatregelen te nemen conform de geldende werkplannen. De aannemer achtte het noodzakelijk om de slechte plek eerst verder te ontgraven en dan volgens werkplan stalen platen te plaatsen om te voorkomen dat een eventuele lekweg onder de platen door zou kunnen ontstaan. Om 16:30 uur heeft de aannemer instructies gegeven om tot dat herstel over te gaan.

- Indien de voeg als 'ernstig' was geclassificeerd, had de ontgraving ongedaan gemaakt moeten worden om aan de buitenzijde te gaan injecteren. De kans op een vergelijkbare lekkage was dan veel kleiner geweest.

5 Conclusies

In juni 2008 is een ernstige lekkage ontstaan ter plaatse van voeg 89/90. Deze lekkage vond plaats ter plaatse van een voeg waar een voegprofiel was achtergebleven. De reparatiemethode (het maken van een jetgroutkolom achter de diepwand) was niet succesvol. Tijdens het ontgraven zijn water en grond in de bouwkuip gestroomd. Dit heeft er toe geleid dat de panden Vijzelgracht 20, 22, 24 en 26 in ernstige mate verzakt zijn

Op 10-09-2008 is een ernstige lekkage ontstaan ter plaatse van voeg 69/70. De oorzaak hiervan is de aanwezigheid en het later doorbreken van een bentonietinsluiting in de wand. In de voeg is tijdens het ontgraven een insluiting van bentoniet aangetroffen (een zacht, kleiachtig materiaal, dat onbedoeld is achtergebleven tijdens de bouw van de wand), die in aanvang niet watervoerend was. De lekkage is ontstaan nadat deze insluiting is verweekt als gevolg van de trillingen (veroorzaakt door de reparatiewerkzaamheden, waaronder het boren in de diepwand) en/of een geringe grondwaterstroming. Door de bentonietinsluiting is het rubber voegprofiel vermoedelijk lokaal niet goed in de beton van paneel 70 ingestort, en heeft het door de verweking haar steun verloren. Door de hoge waterdruk aan de buitenzijde kan het rubber voegprofiel vervolgens zijn bezweken, waardoor het lokaal niet meer functioneerde als waterkering. Dit heeft geleid tot een doorbraak in de wand waardoor water en zand de bouwput is ingestroomd en de panden achter deze voeg (o.a. Vijzelgracht 4 t/m 10) in ernstige mate zijn verzakt. Meer zekerheid over de precieze toedracht kan alleen door middel van destructief onderzoek ter plaatse worden verkregen. Dit is echter risicovol.

De bentonietinsluiting in de wand is het gevolg van bentoniet dat tijdens het storten van de betonnen wand niet is verdrongen en dus in de wand is achtergebleven. Bij een normale kwaliteit van de diepwanden is een dergelijke insluiting zeer uitzonderlijk. De diepwanden van station Vijzelgracht zijn significant slechter van kwaliteit dan de diepwanden van station Ceintuurbaan en ook slechter dan zou mogen worden verwacht op basis van de gangbare professionele standaard in Nederland. Deze uitzonderlijke slechte kwaliteit uit zich onder andere in het voorkomen van een dergelijke grote bentonietinsluiting. Eén duidelijke oorzaak van de bentoniet insluiting kan niet worden gegeven. De bentoniet insluiting is hoogstwaarschijnlijk ontstaan door een combinatie van een aantal suboptimale omstandigheden in de uitvoering.

De gekozen werkwijze was gebaseerd op een risicoafweging waarbij het risico op grote lekkages (ondanks Texplor-metingen) was afgedekt door een ontgravingwijze, waarbij voegen eerst onder gecontroleerde omstandigheden werden geïnspecteerd. De risicoafweging of de verdachte locaties van binnenuit geïnspecteerd en behandeld konden worden, was gebaseerd op het beeld van de tot dan toe opgetreden lekkages, de Texplor-metingen en de ervaring met diepwanden was ons inziens een verantwoorde aanpak.

De ontgraving bestond uit het inspecteren van verdachte locaties uit de Texplor-meting zonder onnodig veel te ontgraven en is conform afspraak uitgevoerd. De betreffende voeg is bloot gelegd en geïnspecteerd, waarbij een slechte plek, naar alle waarschijnlijkheid een bentoniet insluiting, werd geconstateerd.

Het Dagelijks Toezicht heeft enkele uren voordat de aannemer met herstelmaatregelen is begonnen al aan de aannemer doorgegeven dat maatregelen conform de geldende werkplannen moesten worden genomen gelet op de kwaliteit van de voeg 69/70. De aannemer bevestigt dit niet, maar achtte het in ieder geval noodzakelijk de slechte lek eerst verder te ontgraven voordat conform het werkplan stalen platen werden geplaatst.

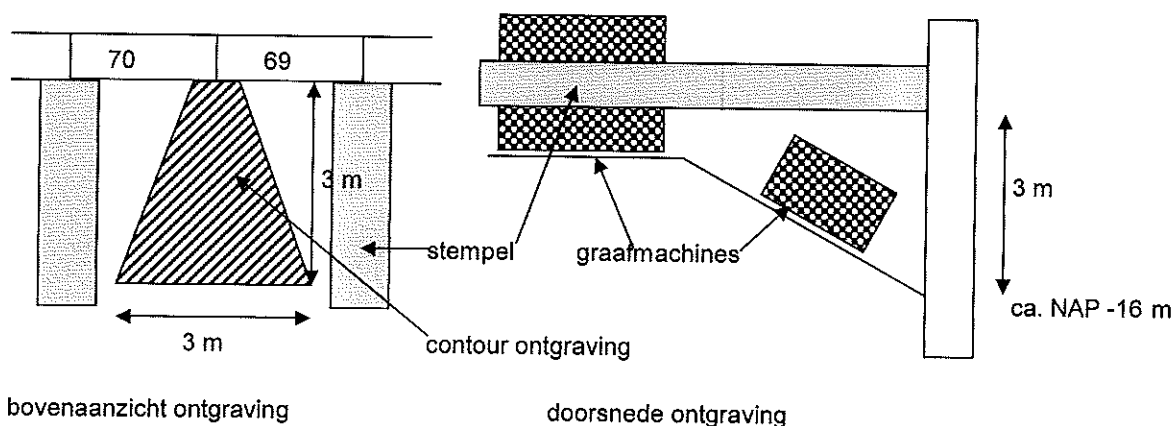
Volgens het werkplan moet de aannemer een voeg beoordelen. De aannemer heeft voeg 69/70 beoordeeld als 'herstelbaar van binnen uit' en vervolgens conform zijn herstelplan gehandeld. De beschrijving in het herstelplan richt zich voornamelijk op lekkage en hoeveelheden water die naar binnen stromen en voorziet niet expliciet in het onderhavige geval van een ernstige

bentoniet insluiting die geen water voert. In zo'n geval moet worden teruggevallen op een deskundige beoordeling ter plaatse. De aannemer heeft de ernst van de 0,6 meter diepe bentoniet insluiting onderschat doordat de voeg droog was en koos daarom een herstelmethode die achteraf niet juist bleek door het labiele evenwicht van de bentoniet insluiting.

De ernstige lekkage in de diepwand bij voeg 69/70 is het gevolg van een uitzonderlijk slechte plek in de diepwand waarvan de kans op voorkomen zeer gering werd ingeschat in de risicoafweging. De doorbraak van de slechte plek is, niet voorkomen door onderschatting van de ernst van de geconstateerde bentoniet insluiting tijdens de uitvoering.

Bijlage 1 Verslag interview Dagelijks Toezich

Dinsdag 9 september is ter plaatse van voeg 72/73 en 40/41 ontgraven met behulp van een kleine hydraulische grijper. Een grotere hydraulische kraan stond bovenaan de ontgraving om de grond verder weg te draaien. De afmetingen van de ontgraving waren ca. 3 x 3 x 3 meter, waarbij de ontgraving nabij de voeg veel minder breed was dan 3 meter.



Op dinsdag zijn tevens voorbereidingen getroffen om bij voeg 69/70 te ontgraven. Het betrof een ontgraving voor het plaatsen van het kleine kraantje.

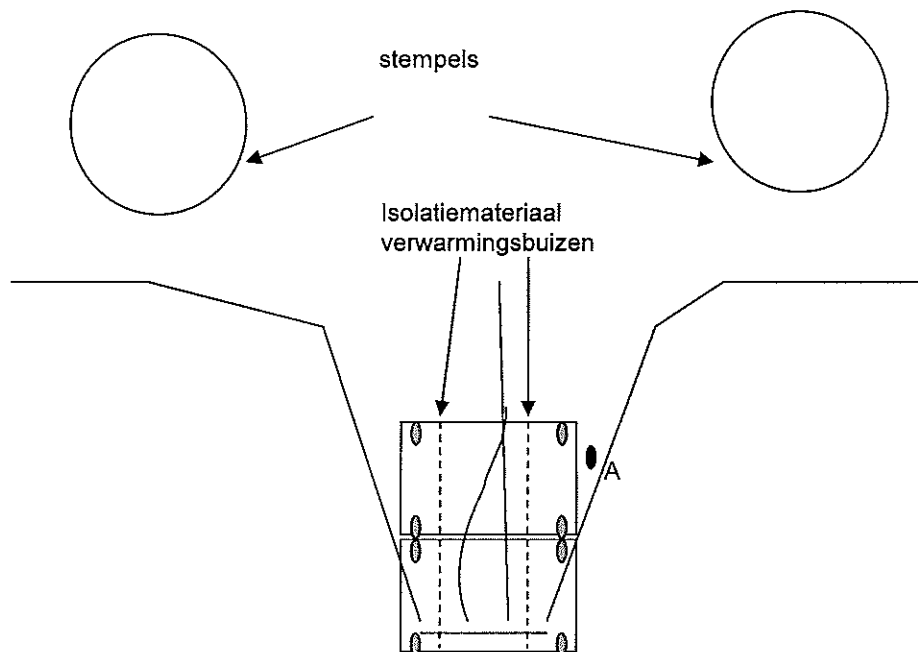
Woensdag 10 september is de ontgraving ter plaatse van voeg 72/73 weer aangevuld en is conform protocol de verdachte voeg 69/70 open gegraven. Aannemer doet voorstel om ook bij zuidelijke bouwopening te gaan graven, maar Dagelijks Toezicht wil eerst meer testen doen (= verdachte voegen vrijgraven).

Tussen 10 en 11 uur was voeg 69/70 ontgraven. De voeg stond open van NAP - 13 m tot NAP - 16 m. De voegen bij paneel 72/73 en 40/41 waren anders dan voeg 69/70. Op ca. NAP - 15 m is de slechte plek in de voeg twee vuisten breed en gevuld met bentoniet met zand vermengd. Om 12 uur heeft toezichthouder zijn duimstok ca. 0,6 meter in de voeg gestoken (door het zachte materiaal heen). De voeg stond weliswaar open, maar was wel droog. De voeg is niet leeg gegraven. Toezichthouder heeft bij aannemer gemeld om 12 uur dat aannemer zijn maatregelen moest nemen bij de voeg.

Om 17 uur start de aannemer met de herstelmaatregelen. Tussen 12 uur en 17 uur is de aannemer bezig geweest met voorbereidingen. Tevens is de injectieploeg overgezet van voeg 59 naar voeg 69/70.

De rand van de voeg aan de zijde van paneel 69 was strak, maar liep wel weg in de richting van het midden van paneel 69. De rand van paneel 70 was rafelig.

De aannemer heeft vanaf 17 uur gaten $\varnothing 16$ mm geboord met een Hilti-boormachine voor het aanbrengen van de eerste stalen plaat (met behulp van chemische ankers). De tweede plaat boven de eerste plaat was om 18:50 uur handvast gemonteerd, toen links naast de eerste plaat (halverwege de hoogte van de plaat) het water ging stromen. De aannemer heeft vervolgens nog geprobeerd om rechts naast de tweede plaat schuin naar de voeg te boren (A) en te injecteren, maar het is de toezichthouder niet bekend of dat ook gelukt is. Dat zou nagevraagd moeten worden bij DMI.



Opmerking Deltares:

Tijdens het interview met de uitvoerder van Max Bögl bleek dat de opzichter een stalen plaat over het hoofd had gezien die na het aanbrengen aangevuld was met grond. Er waren dus 3 stalen platen aangebracht, waarbij de derde dus handvast was aangedraaid.

Om 18:55 uur is besloten tot het aanbrengen van grond, waar om 19:00 uur mee gestart is. Tussen 19:15 uur en 19:45 uur was de stijghoogte in de eerste zandlaag 0,6 m verlaagd in een peilbuis op ca. 10 m afstand tot de voeg.

Tussen 19:15 uur en 20:15 uur is verder aangevuld met kleikorrels. Vanaf 22:00 uur is aangevuld met bigbags. Rond middernacht zijn vrachtwagens met grond vanaf Rokin aangevoerd.

Om 21:30 uur is gestart met het inbrengen van de injectielans aan de buitenzijde van de diepwand. Om 23:00 uur was de machine echter defect, maar om 02:00 uur (donderdag 11 september) kon de injectiemachine weer verder. Toen werd op MV - 3 m op een obstakel gestuit. Om 04:00 uur is gestart met boren om het obstakel weg te halen. Donderdagochtend om 05:15 uur is vervolgens daadwerkelijk gestart met injecteren vanaf NAP - 21,5 m naar boven toe met PUR.

Bij de installatie van de diepwanden is destijds voorgeboord tot NAP - 13 m met een appelboor. Vanaf NAP - 13 m en dieper wordt beton, zand en grout afkomstig van de installatie van het groutstempel aangetroffen. Grout plakt niet aan de diepwand; bentoniet en softmix wel.

Geboortegegevens paneel 69 en 70 in onderstaande tabel.

	paneel 69	paneel 70
Lengte [m]	51	51
Dikte [m]	1,2	1,2
Start graven	08-11-2006	15-11-2006
Inhijzen wapening	09-11-2006	
Start betonneren	10-11-2006	22-11-2006