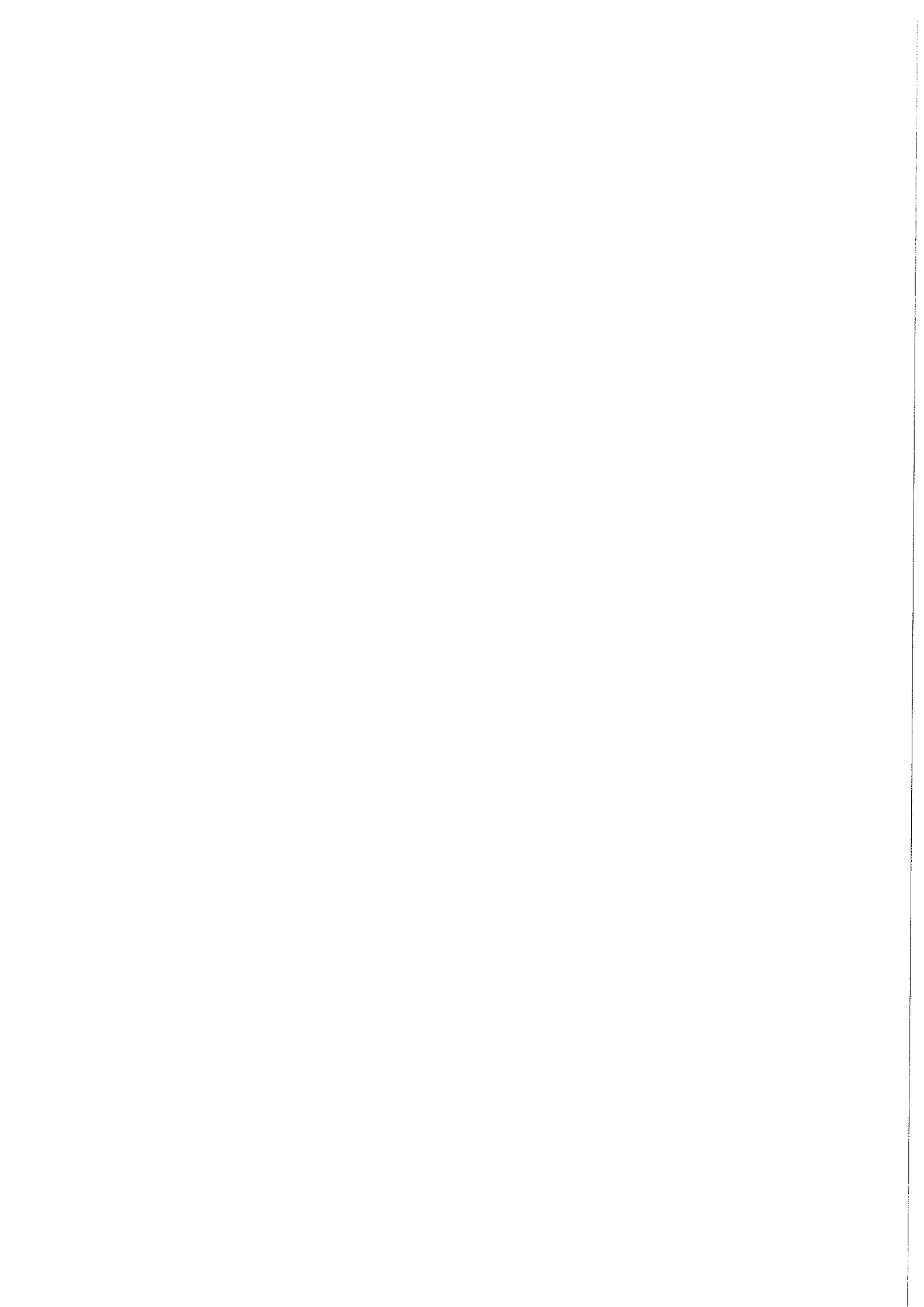


Bijlage 3



Lekkages diepwanden station Vijzelgracht NoordZuid-lijn Randvoorwaarden voor herstelplan

Ons kenmerk
435691-0016

Versie
03 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 435691-0016 v03 Datum november 2008

Versie 03 Definitief Aantal pagina's 46

Titel / subtitel
Lekkages diepwanden station Vijzelgracht
NoordZuid-lijn / Randvoorwaarden voor
herstelplan



Projectleider(s)
ir. ing. V. Veenbergen

Projectbegeleider(s)
prof. ir. A.F. van Tol

Overige leden projectteam
ir. M. Korff
ir. S. Azzouzi
ir. M. Hesami

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

Verspreiding
Gemeente Amsterdam 3x
Deltares 1x

| <u>Versie</u> | <u>Datum</u> | <u>Opgesteld door</u> | <u>Paraaf</u> | <u>Gecontroleerd door</u> | <u>Paraaf</u> |
|---------------|---------------|------------------------|---|---------------------------|---|
| 01 | Oktober 2008 | ir. ing. V. Veenbergen | | prof. ir. A.F. van Tol | |
| 02 | November 2008 | ir. ing. V. Veenbergen | | prof. ir. A.F. van Tol | |
| 03 | November 2008 | ir. ing. V. Veenbergen |  | prof. ir. A.F. van Tol |  |

Rapportnummer
435691-0016 v03 definitief

Datum
november 2008

Inhoudsopgave

| | |
|---|-----------|
| Samenvatting | 1 |
| 1 Inleiding | 3 |
| 1.1 Aanleiding | 3 |
| 1.2 Doelstelling van de rapportage | 3 |
| 1.3 Relatie tot andere rapportages | 4 |
| 2 Werkwijze risicoanalyse lekkages | 5 |
| 2.1 Algemeen | 5 |
| 2.1.1 Inleiding risico | 5 |
| 2.1.2 Stappenplan risicoanalyse | 6 |
| 2.2 Inventarisatie van risico's lekkage | 7 |
| 2.2.1 Oorzaken lekkages | 7 |
| 2.2.2 Locatie van de risico's | 7 |
| 2.3 Classificatie risico lekkage | 8 |
| 2.3.1 Specificatie kwalificatie risico | 8 |
| 2.3.2 Ernst van de mogelijke lekkages | 9 |
| 2.3.3 Monitoringstechnieken | 9 |
| 2.3.4 Analyse beschikbare gegevens | 10 |
| 2.4 Mogelijke maatregelen | 11 |
| 2.5 Overdracht naar PB NZL | 12 |
| 3 Advies hervatten werkzaamheden | 13 |
| 3.1 Uitwerking opties | 13 |
| 3.1.1 Optie 0: preventief herstel volledige wand | 13 |
| 3.1.2 Optie 1: alle voegen preventief | 13 |
| 3.1.3 Optie 2: alle verdachte voegen preventief | 14 |
| 3.1.4 Optie 3: alle ernstig verdachte voegen preventief | 14 |
| 3.1.5 Optie 4: alle lekkende voegen curatief | 15 |
| 3.1.6 Optie 5: preventief herstel vanuit het station | 15 |
| 3.1.7 Samenvattend overzicht | 15 |
| 3.2 Advies | 16 |
| 4 Overdracht PB NZL: randvoorwaarden hervatten werkzaamheden | 19 |
| 4.1 Betrouwbaarheid | 19 |
| 4.1.1 Uitvoeringsnauwkeurigheid | 19 |
| 4.1.2 Duurzaamheid | 19 |
| 4.1.3 Heterogene ondergrond | 19 |
| 4.1.4 Controle herstel maatregel | 19 |
| 4.2 Uitvoerbaarheid | 20 |
| 4.2.1 Obstakels | 20 |
| 4.2.2 Bereikbaarheid c.q. effect in omgeving | 20 |
| 4.2.3 Risico uitvoering maatregel | 20 |
| 4.3 Tijd en kosten | 20 |
| 4.4 Proces | 20 |
| 4.4.1 Aangepast herstelprotocol bij ontgraving | 20 |
| 4.4.2 Aanpassen monitoring | 21 |
| 4.4.3 Update prognose zakkingen | 21 |
| 4.4.4 Stabilisatie panden | 22 |
| 5 Conclusies en aanbevelingen | 23 |

Tabellen

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 2.1 | Gehanteerde kans kwalificaties en indicatie van de bijbehorende faalkans | 8 |
| Tabel 3.1 | Overzicht inzetbare opties bij hervatting van de werkzaamheden. | 16 |

Samenvatting

Naar aanleiding van de lekkage van september 2008 heeft Dienst Milieu en Bouwtoezicht van de Gemeente Amsterdam aan Deltares gevraagd de randvoorwaarden vast te stellen voor de resterende ontgraving van de stations Vijzelgracht en Rokin. De conclusies van dit rapport geven de randvoorwaarden voor het verantwoord hervatten van de ontgravingswerkzaamheden bij station Vijzelgracht. Hoe omgegaan moet worden met de reeds ontgraven voegen evenals de analyse voor station Rokin wordt apart gerapporteerd. Het ProjectBureau Noord/Zuid-lijn (PBNZL) stelt op basis van de randvoorwaarden het feitelijke herstelplan op.

Ten behoeve van het vaststellen van de randvoorwaarden is een risicoanalyse opgezet, bestaande uit de volgende stappen:

- verzamelen en inventariseren gegevens;
- identificeren van risico's bij lekkage;
- classificeren naar ernst van de risico's per voeg;
- vaststellen mogelijke herstelmaatregelen;
- evalueren resulterend risicoprofiel;
- overdracht randvoorwaarden naar het PBNZL.

Verzamelen en inventariseren gegevens

Deltares heeft een zeer omvangrijke verzameling gegevens over de uitvoering van de diepwanden, de ervaringen met het ontgraven en de Texplor metingen ontvangen. In de uitvoeringsgegevens, de zogenaamde geboortegegevens zijn per paneel uitvoeringsparameters zoals graafsnelheden, scheefstanden, stortsnelheden vastgelegd. In de dagboeken van zowel de aannemer als Dagelijks Toezicht is per werkdag vastgelegd wat de voortgang was, alsmede afwijkingen in het proces van het vervaardigen van een paneel.

Identificeren risico's bij lekkage

Lekkages in een diepwand kunnen ontstaan door insluitingen van grond of van bentoniet, door een niet functionerend rubber profiel in de voeg of problemen door het achterblijven van een voegplank. De achterliggende oorzaak hiervan is (een combinatie van) afwijkingen tijdens het graven, problemen bij het trekken van de voegplank, het niet goed opschonen van de bentoniet, stagnaties en afwijkingen tijdens het betoneren van het paneel.

De lekkages treden op in de wapeningsvrije zone rondom een voeg tussen twee panelen.

Lekkages in het (midden van een) paneel zijn tot nu toe niet aangetroffen en de kans hierop wordt een orde kleiner ingeschat.

Classificeren naar ernst van de risico's per voeg

Om de juiste maatregel te nemen moet per voeg de kans op een ernstige lekkage bepaald worden (d.i. classificeren van risico's). Het soort maatregel hangt immers nauw samen met de grootte van de kans op ernstige lekkages en het geaccepteerde resulterende risicoprofiel. Met een ernstige lekkage wordt een insluiting in de wand bedoeld die onmiddellijk na het ontgraven doorbreekt, waardoor er geen tijd is om correctieve maatregelen te nemen om de ernstige gevolgen te voorkomen. Voor het classificeren van risico's zijn alle mogelijke monitoringstechnieken beschouwd en is een analyse gemaakt van de beschikbare gegevens. Het doel was om te bepalen of het mogelijk is een relatie te leggen tussen de kwaliteit van een voeg en de beschikbare gegevens per voeg:

- monitoringstechnieken bieden voorafgaand aan de ontgraving geen uitsluitsel over de kans en de grootte van een lekkage. Texplor-metingen zeggen alleen iets over de relatieve kans op een lekkage bij een voeg, maar er kunnen geen harde conclusies over de grootte aan verbonden worden. Daarnaast wordt op basis van aanvullend onderzoek van de TU Delft betwijfeld of conclusies getrokken kunnen worden over de veiligheid van door Texplor als onverdacht bestempelde locaties. Ook andere monitoringstechnieken zoals radar, ultrasone metingen of dichtheidsmetingen zijn niet geschikt om voorafgaand aan de ontgraving

uitsluitel te geven omdat de te controleren voeg visueel zichtbaar moet zijn.

Op het moment dat een paneel echter ontgraven is, lijkt radar wel geschikt te zijn om te controleren op onregelmatigheden in de diepwand.

- Uit analyse van de uitvoeringsgegevens en dagboeken blijkt dat er geen eenduidige relatie is te leggen tussen de kwaliteit van een voeg en de beschikbare gegevens. Wel zijn er kwalitatieve relaties te leggen tussen de kwaliteit van de voegen enerzijds en de Texplor metingen, uitvoeringsgegevens en dagboeken anderzijds. De analyse was er vooral op gericht om met behulp van gedefinieerde beoordelingscriteria van te voren te kunnen vaststellen welke voegen een grote kans hebben dat ze bij ontgraven direct doorbreken. Uit de analyse blijkt dat de gegevens daartoe onvoldoende grond bieden.

Omdat de kans op een ernstige lekkage bij een voeg niet eenduidig bepaald kan worden, moet elke voeg als een ernstig potentieel lek worden beschouwd.

Vaststellen mogelijke herstelmaatregel

Er zijn 6 opties om de werkzaamheden te hervatten:

0. Reparatie preventief langs de gehele diepwand aan de buitenzijde.
1. Alle voegen preventief aan de buitenzijde dichten (jetgrout, vriezen, hardgel enz.).
2. Alle verdachte voegen preventief aan de buitenzijde dichten.
3. Alleen ernstig verdachte voegen aan de buitenzijde dichten.
4. Geen enkele voeg preventief dichten.
5. Als 1, 2 en 3 maar dan preventieve maatregelen van binnen uit.

Evalueren resulterend risicoprofiel

Geadviseerd wordt om bij het hervatten van de werkzaamheden bij station Vijzelgracht te kiezen voor optie 1. Omdat de kwaliteit van de voegen niet bepaald kan worden, schat Deltares de kans op lekkages als te groot bij die opties waarbij de voegen onderverdeeld worden in verdacht en niet-verdacht of ernstig en niet-ernstig (optie 2 respectievelijk 3). De extra reductie van de kans op lekkage indien optie 0 wordt uitgevoerd, is gering ten opzichte van optie 1 omdat de kans op een doorgaande bentoniet- of zandinsluiting in het paneel buiten de wapeningsvrije zone bij de voegen, die onmiddellijk doorbreekt bij het ontgraven zeer klein is.

Indien aan de gestelde randvoorwaarden (zie volgende alinea) wordt voldaan in combinatie met een aangescherpt ontgravings- en herstelplan, is Deltares van mening dat het resulterende risicoprofiel behorende bij optie 1, preventief herstellen van alle voegen en overige verdachte plekken, zeer klein tot klein is.

Overdracht randvoorwaarden naar PBNZL

Bij het uitwerken van de randvoorwaarde om conform optie 1 elke voeg te herstellen, moet door het PBNZL een hersteltechniek (vriezen, jetgrouten, injecteren) worden gekozen die betrouwbaar en uitvoerbaar is binnen de context van tijd en kosten. Bij iedere hersteltechniek spelen zaken als onnauwkeurigheid in de uitvoering, duurzaamheid, heterogeniteit van de ondergrond, bereikbaarheid en effecten van de uitvoering op de omgeving een rol. Daarnaast moet de wand met een (ten opzichte van september) aangescherpt ontgravings- en herstelplan ontgraven worden, omdat de uitgevoerde herstelmaatregel ook nog kan falen. Tot slot moet voor een goed verloop van de uitvoering het monitoringssysteem weer volledig operationeel zijn en moet de prognose van de zakkingen in de omgeving van station Vijzelgracht geüpdatet worden, zodat de door de lekkages ontstane zakkingen verwerkt zijn en een uitspraak kan worden gedaan of de omgeving de resterende vervormingen zondermeer op kan nemen of dat aanpassingen nodig zijn van hetzij het ontwerp hetzij de panden. De panden Vijzelgracht 2 t/m 10 vragen in dit verband bijzondere aandacht, omdat nog geen stabiliserende maatregelen, zoals bij Vijzelgracht 24 en 26, zijn uitgevoerd.

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 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 en bijgevolg ontruimd zijn (geweest). De ontgravingswerkzaamheden zijn vervolgens gestaakt. De gemeente (dienst Milieu en Bouwtoezicht DMB) heeft het projectbureau Noord-Zuidlijn (PBNZL) verzocht eerst aan te geven hoe bij voortgaande ontgravingswerkzaamheden soortgelijke lekkageproblemen, kunnen worden voorkomen. Daarnaast heeft de DMB het projectbureau Noord-Zuidlijn 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 (nu bij voeg 69/70), 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 aangegeven een diepgaand onderzoek te willen naar de oorzaak van de calamiteit van 10-09-2008 en naar een werkwijze waarmee de werkzaamheden op verantwoorde wijze kunnen worden hervat.

Aan Deltares is gevraagd de randvoorwaarden vast te stellen voor enerzijds een verantwoorde herstelmethodede voor slechte plekken voor het gedeelte van de diepwand dat reeds ontgraven is en anderzijds voor een werkmethode voor de resterende ontgraving van de stations Vijzelgracht en Rokin. Dit rapport gaat over de randvoorwaarden voor hervatting van de ontgraving van bouwput Vijzelgracht.

De randvoorwaarden worden vastgesteld aan de hand van een risicoanalyse. Bij de beoordeling van de risico's is gezocht naar methoden die zekerheid kunnen bieden over de kwaliteit van de wanden en de ernst en locaties van mogelijke slechte plekken in de diepwanden.

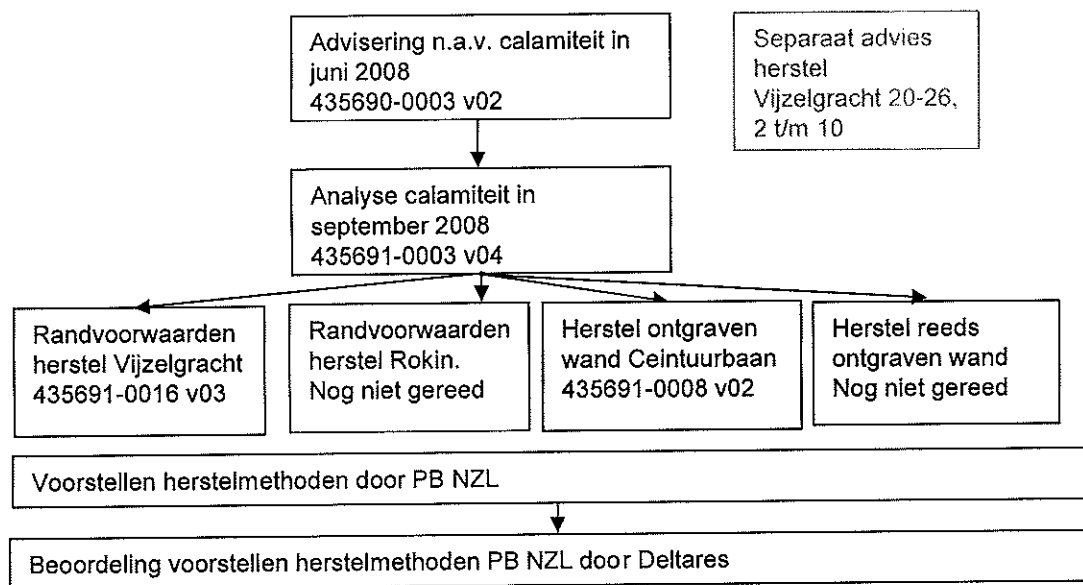
Op basis van deze randvoorwaarden zal het PB NZL het feitelijke herstelplan opstellen, waarbij Deltares nog een beoordeling achteraf uitvoert.

Deltares en het Projectbureau NoordZuid-lijn (hierna PB NZL genoemd) hebben gezamenlijk de benodigde informatie verzameld, zie bijlage 1 voor het volledige overzicht.

1.3 Relatie tot andere rapportages

Dit rapport bevat de randvoorwaarden voor het hervatten van de ontgraving bij station Vijzelgracht. De basis voor deze randvoorwaarden is gelegd in het onderzoek naar de oorzaak van de calamiteit van 10-09-2008, zoals gerapporteerd in Deltares-rapport 435691-0003 v04, van november 2008. Naast deze rapportage over de randvoorwaarden voor het hervatten van de ontgraving volgen nog adviezen voor het herstel van de reeds ontgraven wand en het hervatten van de ontgraving op station Rokin in aparte rapportages.

Schematisch is hieronder weergegeven hoe de verschillende Deltares-rapportages met elkaar samenhangen:



NB Het is in geen van de rapporten de bedoeling om conclusies te trekken over het functioneren van de organisatie, de juridische en/of andere verantwoordelijkheden. De uitspraken in alle bovengaande rapporten zijn technische beoordelingen en dienen ter vaststelling van de benodigde maatregelen voor het vervolg van de werkzaamheden.

2 Werkwijze risicoanalyse lekkages

De in dit hoofdstuk beschreven risicoanalyse richt zich op station Vijzelgracht. Voor station Rokin zal volgens dezelfde methodiek worden gewerkt. Hiervoor is een aparte rapportage voorzien, zoals blijkt uit paragraaf 1.3.

2.1 Algemeen

2.1.1 Inleiding risico

Onder het risico van een gebeurtenis wordt in dit rapport verstaan de kans op het voorkomen van die gebeurtenis maal het gevolg van de gebeurtenis: $\text{risico} = \text{kans} \times \text{gevolg}$. Toegespitst op een lekkage in de diepwanden bij de diepe stations van de Noord/Zuid-lijn kan over de kans en het gevolg het volgende worden vermeld.

Kans

Bij Deltares zijn ervaringen bekend van de kwaliteit van diepwanden bij een aantal grote bouwprojecten in Den Haag, Rotterdam, Almelo en Venlo. In totaal gaat het hier om ca. 1250 voegen, waarbij eenmaal een grote bentoniet insluiting is waargenomen. Daarnaast is een lekkage ontstaan door het boren van een gat in de wand waarbij op een zandinsluiting werd gestuit en doordat geen rubber profiel was aangebracht. Met name de lekkages door de bentoniet insluiting en de zandinsluiting zijn van het soort waar Deltares zich op richt bij het in dit rapport beschreven onderzoek naar het voorkomen van lekkages bij de Noord/Zuid-lijn. Grofweg betekent bovenstaande dat de kans op een dergelijke onverwachte lekkage bij een volgens de professionele standaard vervaardigde diepwand in de orde ligt van 1:600 tot 1:1200.

Opmerking:

Doordat bij ieder project afmetingen, grondopbouw en ontgravingsdieptes verschillen kan geen harde vergelijking worden gemaakt tussen de ervaringen bij andere projecten en de diepwanden bij de Noord/Zuid-lijn. De genoemde kans is slechts een afleiding van het aantal bekende lekkages op een groot aantal voegen en verder niet statistisch afgeleid.

Bij het ontgraven van station Vijzelgracht zijn tot nu toe 3 ernstige lekkages opgetreden, waarbij twee van de drie lekkages onverwacht waren. Bij één lekkage was een duidelijke aanwijzing vanuit de uitvoering voorhanden in de vorm van een achtergebleven voegplank. Het totale aantal voegen bij station Vijzelgracht bedraagt 115 met 2 onverwachte ernstige lekkages zodat dit overeenkomt met een kans van ca. 1:60. Omdat station Vijzelgracht circa voor de helft ontgraven is en de drukken met toenemende ontgravingsdiepte toenemen, evenals de afwijkingen door scheefstand is de kans op ernstige lekkages vermoedelijk zelfs groter indien geen maatregelen worden genomen.

Uit bovenstaande blijkt dus:

- gebaseerd op de ervaring bij Vijzelgracht tot nu toe wijkt de kans op een ernstige lekkage bij Vijzelgracht in negatieve zin sterk af van hetgeen volgens de standaard in Nederland mag worden verwacht;
- de kans op lekkage neemt verder toe doordat de waterdruk aan de buitenzijde van de wand toeneemt bij verdergaande ontgraving en de geometrische afwijkingen groter zullen worden.

Gevolg

Onder gevolg moet de materiële en immateriële schade worden verstaan zoals die is opgetreden na de calamiteiten van juni en september. Ook een nieuwe ernstige lekkage zal tot vergelijkbare schade leiden, oftewel een vergelijkbaar gevolg hebben omdat langs de gehele bouwput bebouwing aanwezig is op ongeveer gelijke afstand.

Hierbij hoeft geen onderscheid te worden gemaakt in het feit dat de verdere ontgraving hoofdzakelijk in de tweede zandlaag zal plaatsvinden, terwijl tot nu toe hoofdzakelijk in de eerste zandlaag ontgraven is. Enerzijds doordat panden ook in de tweede zandlaag gefundeerd kunnen zijn, anderzijds doordat de gehele eerste zandlaag inclusief een paalfundering verzakt als de tweede zandlaag wordt aangetast, is het gevolg van een ernstige lekkage in de tweede zandlaag vergelijkbaar met de gevolgen van de calamiteit van juni en september.

Het gezamenlijke doel van alle betrokken partijen is het hervatten van de werkzaamheden op een dusdanig verantwoorde wijze dat sprake is van een minimaal risico op het nogmaals voorkomen van een dergelijke calamiteit. Omdat het gevolg van een ernstige lekkage vergelijkbaar zal zijn, betekent dit dat de differentiatie van verschillende maatregelen tot uiting moet komen in een variatie van de kans op een dergelijk gevolg. Om het risico van lekkages te reduceren, moet de kans op een lekkage dus tot bijna nul gereduceerd worden. Dit is het uitgangspunt van de risicoanalyse.

2.1.2 Stappenplan risicoanalyse

De gehanteerde werkwijze is volgens het GeoQ-concept. Dit houdt in dat volgens een gestructureerd proces een risicoanalyse is doorlopen conform de volgende stappen:

1. gegevens verzamelen.
2. risico's identificeren.
3. risico's classificeren.
4. maatregelen nemen.
5. evalueren resulterend risicoprofiel.
6. overdracht naar volgende fase.

Concreet houdt bovenstaande in dat na het verzamelen van alle gegevens (zie bijlage 1 voor alle beschikbare gegevens) het risico op lekkages geïnventariseerd is door de verschillende oorzaken van een lekkage te benoemen. Vervolgens is getracht parameters en criteria vast te stellen die kunnen duiden op het al dan niet ontstaan van een lekkage (d.i. de terugkoppeling naar de oorzaken). Hiertoe is gebruik gemaakt van de verzamelde uitvoeringsgegevens (geboortegegevens genoemd), de dagboeken van de aannemer en van Dagelijks Toezicht en informatie van DMB. Het analyseren van deze gegevens leidt tot een classificatie van de ernst van een verdachte piek/lekkage.

Daarnaast is een overzicht samengesteld van de verschillende opties waarmee de werkzaamheden hervat kunnen worden. Concreet betekent dit dat aangegeven is welk soort maatregelen nodig zijn alvorens de ontgravingswerkzaamheden hervat kunnen worden. Door de resultaten van de classificatie van de ernst van de verdachte plekken te koppelen met de opties voor hervatten van de werkzaamheden kan een resulterend risicoprofiel worden opgesteld voor de verschillende opties.

Tot slot wordt een aanbeveling gedaan voor de te kiezen hersteloptie, inclusief de bijbehorende randvoorwaarden voor het hervatten van de werkzaamheden. Het Projectbureau NoordZuid-lijn werkt de aanbevolen optie, met de gegeven randvoorwaarden uit tot een concreet herstelplan.

In Bijlage 2 is het stroomschema afgebeeld van de stappen die zijn doorlopen om tot de benodigde maatregelen voor hervatting van de werkzaamheden te komen. In dit hoofdstuk wordt de risicoanalyse verder uitgewerkt en het stroomschema toegelicht.

2.2 Inventarisatie van risico's lekkage

Het inventariseren van lekkage risico's betreft zowel een beschouwing over de mogelijke oorzaken van een lekkage als een bepaling van de plaats van verdachte locaties (anders gezegd, inventarisatie van locaties waar risico's kunnen optreden).

2.2.1 Oorzaken lekkages

Lekkages kunnen op meerdere manieren veroorzaakt worden:

- lekkage door objecten (ingesloten objecten, onnauwkeurig ontgraven door houten palen, achtergebleven voegplanken);
- lekkage door insluiting van grond:
 - ten gevolge van een instabiliteit van het grondmassief;
 - als gevolg van onzorgvuldig ontgraven c.q. door (extreme) scheefstand;
 - ten gevolge van omloopbeton;
- lekkage door insluiting van bentoniet als gevolg van:
 - aanhechten bentoniet aan beton na verwijderen voegplank;
 - complicaties tijdens het betonstorten (te snel/langzaam, stagnatie in aanvoer, tremmie te ver/snel getrokken, etc);
 - stortmethode door tremmies om-en-om te gebruiken; hierdoor moet de beton over grotere dan gewenste afstand door wapeningskorven stromen waardoor ontmenging van beton kan optreden;
 - tijdens ontzanden of verversen van de bentoniet de pomp op slechts 1 positie afhangen, waardoor lokaal mogelijk een gedeelte van de "graafbentoniet" achterblijft die moeilijker door beton verdrongen kan worden;
 - slechte kwaliteit bentoniet vlak voor / tijdens het storten van de beton;
 - te grote diameter grind en/of te kleine maaswijdte hetgeen tot ontmenging van beton leidt;
- lekkage door een niet functionerend rubber profiel in de voeg als gevolg van:
 - beschadigd profiel tijdens het verwijderen van het stoppeind;
 - ingebed in bentoniet in plaats van beton (zie ook lekkage door bentoniet insluiting).

Bovengenoemde oorzaken kunnen tot lekkages leiden; het is echter niet gezegd dat er daadwerkelijk lekkage optreedt in het geval een van de bovenstaande zaken is opgetreden. Daarnaast kan niet op voorhand worden gesteld dat de afwijkingen in de diepwand direct zichtbaar zijn bij het ontgraven bijvoorbeeld als gevolg van een betonschil.

2.2.2 Locatie van de risico's

Bouwkuip

Met behulp van de uitgevoerde Texplormetingen (een geofysische meting, waarbij een (elektrisch) potentiaal verschil over de wand wordt aangebracht) kunnen de locaties van verdachte plekken in de diepwanden worden geïnventariseerd. Er wordt een anomalie (= mogelijke lekkage) aangegeven als de meetwaarde afwijkt van de gemiddelde achtergrondwaarde is. Door de firma Texplor wordt voor de bepaling van een verdachte locatie een drempelwaarde gehanteerd, die op zich arbitrair lijkt. De TU Delft heeft in opdracht van Deltares onderzocht wat het effect is van het hanteren van een drempelwaarde op de (on)zekerheid van het bestempelen van een voeg als verdacht of onverdacht [11]. De TU Delft geeft aan dat geen harde conclusies getrokken kunnen worden over de veiligheid van de locaties die niet als anomalie zijn aangemerkt, noch over de risico's voor locaties die wel als verdacht zijn aangemerkt. Dit is vooral te wijten aan het feit dat bentoniet insluitingen onvoldoende contrasteren ten opzichte van de betonnen wand. De TU Delft verwacht dat doorgaande zandinsluitingen wel duidelijk te onderscheiden zijn.

Wel kan gesteld worden dat de kans op een lekkage groter is op een locatie waar Texplor een verdachte plek aangeeft dan op locaties waar Texplor "niets" aangeeft. Deze conclusie betekent dat alle panelen en alle voegen bij de risicoanalyse betrokken moeten worden, ook de voegen die door Texplor als onverdacht zijn aangemerkt.

Paneel

De in paragraaf 2.2.2 genoemde lekkages kunnen in principe in het gehele paneel optreden, maar de nadruk ligt toch vooral op de wapeningsvrije zones. Lekkages door achtergebleven voegplanken en een niet functionerend rubber profiel bevinden zich uiteraard alleen ter plaatse van de voeg. Lekkages door bentoniet insluitingen treden op in de wapeningsvrije zones bij de rondom de voegen omdat:

- in het midden van een paneel geen bentonietcake aanwezig kan zijn, omdat geen materiaal voorhanden is om aan te hechten;
- doordat in het midden van het paneel de bentoniet voortdurend in beweging is door de grijper;
- de bentoniet in het midden van een paneel wordt tijdens het storten van twee zijden verdrongen (in het geval van een dubbele tremmie), terwijl bij een voeg de beton van één zijde komt;
- in het midden van een paneel geen problemen zijn met aansluiting op reeds gestorte panelen door scheefstanden of storten tegen reeds verharde beton.

Lekkages door grondinsluitingen zullen daarentegen met name in het midden van een paneel voorkomen. Aan de randen van een paneel is het evenwicht van het grondmassief door boogwerking en 3D-effecten beter gewaarborgd dan in het midden van een paneel. Hierdoor zal instabiliteit in principe als eerste in een paneel optreden. Dit soort insluitingen kunnen ontstaan door instabiliteiten tijdens het betonneren.

2.3 Classificatie risico lekkage

2.3.1 Specificatie kwalificatie risico

Risico is in paragraaf 2.1.1 gedefinieerd als kans maal gevolg. Onder "gevolg" moet de schade (materieel en immaterieel) van juni en september worden verstaan. Ook een nieuwe calamiteit zal tot een vergelijkbare schade leiden. Dit betekent dat de differentiatie van verschillende maatregelen tot uiting moet komen in een variatie van de kans op een dergelijk gevolg. In voorliggend rapport worden de kansen (en daarmee de risico's bij een gelijkblijvend "gevolg") gekwalificeerd volgens de benaming in tabel 2.1. Om een kwalificatie concreet te maken (zodat alle betrokkenen hetzelfde beeld hebben bij bijvoorbeeld een "klein risico") is in tabel 2.1 met voorbeelden getracht bij iedere kwalificatie een beeld van de bijbehorende faalkans te schetsen.

| kwalificatie kans | bijbehorende faalkans qua ordegrootte vergelijkbaar met |
|--------------------------|--|
| Zeer klein | Maatgevend hoogwater voor een zeedijk |
| Klein | Maatgevend hoogwater voor een rivierdijk in Oost-Nederland |
| Matig | Maatgevend hoogwater voor een boezemkade |
| Groot | Binnenlandse trein heeft vertraging |

Tabel 2.1 Gehanteerde kans kwalificaties en indicatie van de bijbehorende faalkans

2.3.2 Ernst van de mogelijke lekkages

Het belangrijkste risico dat bij het vervoeg van de werkzaamheden dient te worden afgedekt, is het voorkomen van een lekkage in de wand die zandvoerend is. Een dergelijke lekkage heeft zowel in juni als in september voor ernstige problemen gezorgd. Mogelijke lekkages kunnen grofweg opgedeeld worden in een drietal soorten:

1. Onmiddellijke doorbraak op het moment dat de voeg (of paneel) vrij gegraven wordt.
2. Slechte plek in paneel die in eerste instantie geen of beperkt water geeft.
3. Goede betonkwaliteit, geen slechte plek, desondanks toch beperkte lekkage.

Insluitingen die onmiddellijk doorbreken (1^{ste} soort) zonder waarschuwing vooraf dienen in ieder geval te worden afgedekt met preventieve maatregelen. Het is in zo'n situatie niet mogelijk tijdig te reageren, omdat het uitvoeren van een adequate herstelmaatregel (veel) meer tijd vergt dan de tijd die benodigd is om ernstige schade te laten ontstaan. Slechte plekken van de tweede soort kunnen in principe met een aangescherpt herstelprotocol (ten opzichte van september) behandeld worden. Doordat geen onmiddellijke doorbraak optreedt, is er tijd om de slechte plek te inspecteren, te beoordelen en de juiste herstelmaatregel uit te voeren. De beperkte lekkages van de derde soort kunnen met de tot nu toe ingezette herstelmethoden worden behandeld.

Van groot belang voor de te kiezen maatregel is nu de vraag of vooraf kan worden aangegeven op welke locatie(s) een slechte plek die tot een onmiddellijke doorbraak leidt, voor kan komen. De mate waarin hierover zekerheid kan worden verkregen, bepaalt de mate waarin preventief moet worden opgetreden, dat wil zeggen voorafgaande aan ontgraving verdachte plekken moeten worden gerepareerd.

2.3.3 Monitoringstechnieken

Texplor

Op grond van de Texplormetingen is geen uitspraak te doen over de absolute grootte van een lekkage. De door Texplor gehanteerde meetmethode is gebaseerd op relatieve verschillen in (water)dichtheid van de diepwand ten opzichte van een gemiddelde achtergrondwaarde. Met behulp van de metingen kunnen in een gemiddeld goed stuk wand de plekken worden opgespoord waar de kans op een lekkage groter is dan gemiddeld. Het is echter niet mogelijk om de grootte van lekken in oppervlakte en/of debiet uit te drukken.

Om dit vast te stellen moeten de resultaten van Texplor gevalideerd worden door een ander soort meting of door visuele controle van de wand. Dit laatste was onderdeel van de gekozen werkwijze in september, die niet succesvol werd uitgevoerd. Een andere betrouwbare meetmethode waarmee hetzij Texplor gevalideerd kan worden hetzij de ernst van verdachte plekken kan worden bepaald, bestaat echter niet. Valideren van Texplor is derhalve alleen achteraf mogelijk, na het ontgraven van de wand.

De categorie mogelijke lekkages die direct door kunnen breken (zie voorgaande paragraaf) bestaat voornamelijk uit bentoniet- of zandinsluitingen die over de gehele dikte van de wand aanwezig zijn. Omdat zandinsluitingen fysisch voldoende afwijken van een massieve betonnen wand, moeten deze locaties goed zichtbaar zijn in de resultaten van Texplor. Bentoniet insluitingen zijn wel zichtbaar, maar de meetresultaten kunnen vergelijkbaar zijn met voegen die beperkt lekken waardoor het risico onderschat kan worden. Dit betekent dat het risico van onmiddellijk doorbrekende bentoniet insluitingen niet met behulp van Texplor geclassificeerd kan worden.

Radar

Als de wand ontgraven is, is het wel mogelijk om door middel van radarmetingen de kwaliteit vast te stellen. Deltares heeft onderzoek naar de toepasbaarheid laten uitvoeren door gespecialiseerde bedrijven. De conclusie van het onderzoek luidt dat het mogelijk is om met radar afwijkingen in de diepwand op te sporen.

Het is echter met beschikbare kennis en ervaring vooralsnog niet mogelijk om aan te geven wat de aard van de afwijkingen is (bentonietinsluiting, grindnest, grond). Omdat geen destructief onderzoek mogelijk was, kan de aard van de afwijking niet bepaald worden. Deze techniek is niet geschikt om voorafgaande aan de ontgraving iets over de kwaliteit van de wand te zeggen.

Ultrasone metingen

Ook de mogelijkheid om met ultrasone metingen slechte plekken in de vrij gegraven wand op te sporen is onderzocht. Het bleek echter niet mogelijk om met bestaande apparatuur goede reflecties af te leiden.

Dichtheidsmetingen

Voor het ontgraven is het mogelijk om vanuit een boorgat in een zone rondom het boorgat tot een afstand van 0,30 meter de dichtheid van de ondergrond (en van de wand) te meten. Op die manier zou bij elke voeg een boring en meting kunnen worden gedaan. De betrouwbaarheid van de meting is sterk afhankelijk van de nauwkeurigheid van installatie. Bij verloop van de boring wordt verkeerde informatie verkregen. De techniek is verder door de vele boorgaten die nodig zijn, kostbaar en onpraktisch.

2.3.4 Analyse beschikbare gegevens

De uitwerking van de analyse van de gegevens is ondergebracht in bijlage 3; in deze paragraaf volgt een samenvatting van de opzet en de conclusie.

Tijdens het vervaardigen van de diepwanden is een groot aantal uitvoeringsparameters vastgelegd in de geboortegegevens en/of dagboeken van de aannemer / toezicht. Uit deze gegevens is getracht om beoordelingscriteria af te leiden, waarmee een voorspelling kan worden gedaan of één of meerdere van de in paragraaf 2.2 genoemde oorzaken kan optreden. Dit houdt in dat aan de diverse beoordelingscriteria ook grenzen gekoppeld moeten zijn, wanneer een criterium goed (matig) of slecht is. Voor deze grenzen zijn niet altijd duidelijke grenswaarden beschikbaar in de vorm van normen, richtlijnen of handboeken. In voorkomende gevallen moet dan worden teruggevallen op regels op basis van algemene ervaring uit de praktijk.

Er zijn tot nu toe drie voegen waar een relatief grote lekkage is opgetreden (voeg 24/25, 69/70 en 89/90). Daarnaast zijn er een aantal voegen die door Texplor als onverdacht zijn aangemerkt (en die tot nu toe ook geen lekkage vertoont hebben). Door het analyseren van de beschikbare gegevens (geboortegegevens diepwanden, dagboeken, Texplor-metingen, etc) is getracht de grenzen van de beoordelingscriteria waarop de analyse van de uitvoeringsgegevens plaats vindt, zodanig vast te stellen (binnen praktisch geaccepteerde waarden) dat de bekende slechte voegen ook als "slecht" naar voren komen en dat de onverdachte voegen als "normaal" naar voren komen.

Op het moment dat bovenstaande van toepassing is, is het wellicht mogelijk om voor de resterende verdachte voegen een schatting te maken van het risico op een ernstig lek dat direct doorbreekt na ontgraving. Voegen die vergelijkbaar zijn met de bekende doorgebroken voegen worden dan als een groot of zeer groot risico geclassificeerd (met passende bijbehorende herstelmaatregel) en voegen die vergelijkbaar zijn met de onverdachte voegen hebben een klein of zeer klein risico.

De conclusie van de ijking luidt dat bij de bekende slechte voegen aanwijzingen uit de uitvoeringsgegevens kunnen worden afgeleid als zijnde de oorzaak van de opgetreden lekkages. Het is echter niet mogelijk om eenduidig één criterium/kenmerk als hoofdoorzaak aan te wijzen. Het kan zijn dat één van de afwijkende criteria de oorzaak is, maar het kan ook zijn dat het een combinatie van alle afwijkende criteria is.

Niet alle onverdachte voegen volgens de Texplormeting komen ook als onverdacht uit de analyse van de uitvoeringsgegevens. Dit houdt in dat bij een, volgens Texplor, niet verdachte locatie toch een (nog niet te classificeren) risico op lekkage is. Bovendien volgt uit het onderzoek van de TU Delft naar de gehanteerde meetmethode van Texplor dat geen conclusies kunnen worden verbonden inzake de veiligheid bij door Texplor als onverdacht bestempelde locaties. Uit de ijking van de onverdachte voegen volgt echter wel dat een redelijke overeenstemming wordt gevonden tussen de beoordeling van de uitvoeringsgegevens en de Texplor metingen.

De conclusie luidt derhalve dat er wel kwalitatieve relaties kunnen worden gelegd tussen de kwaliteit van de voegen enerzijds en de Texplor metingen, uitvoeringsgegevens en dagboeken anderzijds.

Ook als de uitvoeringsgegevens van alle panelen worden vergeleken met de Texplor metingen (zie bijlage 5) blijkt dat bij de meeste panelen, die door de Texplor metingen als verdacht worden aangeduid, ook meerdere uitvoeringscriteria worden overschreden. Er zijn echter geen eenduidige relaties te leggen tussen de criteria en de kwaliteit van een voeg.

Uit het onderzoek blijkt dus dat het niet mogelijk is om de voegen op basis van de uitvoeringsgegevens en / of de Texplor metingen te classificeren om voldoende zekerheid te verkrijgen of een voeg als een ernstig potentieel lek moet worden beschouwd of niet. Alleen door uitvoerige validatie van de Texplor metingen in samenhang met de uitvoeringsgegevens zou dit mogelijk zijn. Uitvoerige validatie zou inhouden van een groot aantal voegen vergelijken van de inspectiegegevens na de volledige ontgraving (tot onderkant tweede zandlaag), de Texplor metingen en de uitvoeringsgegevens. Een dergelijke validatie is praktisch onuitvoerbaar binnen de geplande werkzaamheden voor bouwput Vijzelgracht.

2.4 Mogelijke maatregelen

Ten aanzien van de manier waarop de werkzaamheden hervat worden, zijn meerdere opties te bedenken. Bij een oplopend risicoprofiel kunnen de opties worden genoemd zoals in tabel 2.2 zijn omschreven.

| optie nummer | optie voor reparatie | omschrijving |
|--------------|---|---|
| 0 | Preventieve reparatie langs de volledige wand | Reparatie zowel ter plaatse van alle voegen als in het midden van de panelen. Hiervoor zal een volledig nieuwe waterkerende wand nodig zijn. |
| 1 | Alle voegen preventief aan de buitenzijde dichten | Alle verdachte plekken m.b.v. jetgrouten, vriezen, gelinjecties etc repareren. Ontgraving volgens aangepaste werkwijze in verband met mogelijke slechte plekken anders dan de herstelde plekken |
| 2 | Alle verdachte voegen preventief aan de buitenzijde dichten. | Hierbij moeten alle voegen worden beschouwd die hetzij volgens Texplor als anomalie zijn aangemerkt en/of die volgens de analyse van de uitvoerings-gegevens verdacht zijn. Ontgraving volgens aangepaste werkwijze in verband met mogelijke slechte plekken anders dan de herstelde voegen en andere plekken in een paneel |
| 3 | Alleen ernstig verdachte voegen aan de buitenzijde dichten. | Nader onderscheid wordt gemaakt tussen verdachte en ernstig verdachte voegen op basis van de analyse van de uitvoeringsgegevens. De minder verdachte voegen worden na ontgraven geïnspecteerd en indien nodig hersteld. Ontgraving volgens aangepaste werkwijze |
| 4 | Geen enkele voeg preventief dichten. | Met een aanscherping van de ontgravingswijze en het herstelprotocol wordt onder gecontroleerde omstandigheden voeg voor voeg ontgraven en geïnspecteerd. Reparatie-methode per voeg afhankelijk van bevindingen |
| 5 | Als 0, 1, 2 en 3 maar dan preventieve maatregelen van binnen uit. | |

Tabel 2.1 Overzicht inzetbare opties bij hervatting van de werkzaamheden.

Bij optie 0, 1 en 4 wordt ervan uitgegaan dat geen (aanvullende) analyse verricht wordt van de uitvoeringsgegevens en/of de Texplormeting om vooraf locaties te onderscheiden waar het risico op lekkages groot is. In optie 2 en 3 wordt dit onderscheid wel gemaakt.

In hoofdstuk 3 wordt op basis van de risico classificatie door Deltares een keuze gemaakt uit bovengenoemde opties. De randvoorwaarden waaraan deze optie moet voldoen worden in hoofdstuk 4 benoemd. De geadviseerde optie wordt door PBNZL uitgewerkt.

2.5 Overdracht naar PB NZL

Het PB NZL zal de gegeven randvoorwaarden gebruiken bij het uitwerken tot een concreet herstelplan.

3 Advies hervatten werkzaamheden

3.1 Uitwerking opties

In paragraaf 2.4 zijn de opties genoemd waaruit een keuze moet worden gemaakt om tot een concreet voorstel te komen om de werkzaamheden te hervatten. Het uitwerken tot een concreet plan wordt door het PB NZL gedaan. Met hetgeen in paragraaf 2.3 en bijlage 3 afgeleid is voor de bruikbaarheid van de analyse van de uitvoeringsgegevens, kunnen de opties als volgt uitgewerkt worden.

3.1.1 Optie 0: preventief herstel volledige wand

Door het vervaardigen van een extra (waterkerende) wand aan de buitenzijde van de bestaande diepwand worden alle voegen en panelen afgedicht. Bij een zorgvuldige uitvoering van deze optie is de kans dat nog een grote lekkage optreedt zeer klein ingeschat. De kans wordt bepaald door de uitvoeringswijze van de extra wand. Indien deze wand tegen de bestaande diepwand zou kunnen worden aangebracht, worden zowel alle voegen als potentiële lekken in de panelen afgedekt, waardoor een zeer dichte constructie wordt verkregen. Praktisch is dit echter nauwelijks uitvoerbaar, zodat de extra wand op enige afstand van de diepwand wordt gemaakt. Hierdoor vindt de directe afdichting niet plaats en bestaat nog een zeer kleine kans op lekkage.

Het aanbrengen van een volledig nieuwe waterkerende wand heeft daarnaast gevolgen voor de omgeving. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan zakkingen door ontgraven.

De ontgravingswerkzaamheden kunnen volgens het oorspronkelijke protocol hervat worden.

3.1.2 Optie 1: alle voegen preventief

De optie waarbij alle voegen in een paneel preventief aan de buitenzijde gedicht worden, is onafhankelijk van de resultaten van de Texplor-meting en de analyse van de uitvoeringsgegevens. In aantallen uitgedrukt, betekent dit dat bij station Vijzelgracht alle 114 voegen preventief hersteld moeten worden. Met voeg wordt hier bedoeld de volledige wapeningsvrije zone aan weerszijde van de voeg tot op de Eemklei moet worden behandeld.

De kans dat na het correct uitvoeren van optie 1 nog een grote lekkage optreedt, is zeer klein tot klein ingeschat. De kans dat in het midden van een paneel nog een ernstig lek zit, dat bij ontgraven direct doorbreekt, is zeer klein. Bentoniet insluitingen in het midden van een paneel worden niet verwacht en een zandinsluiting moet goed zichtbaar zijn in de resultaten van de Texplor metingen en zal dan ook preventief behandeld worden.

Na behandeling van de voegen en de verdachte locaties in de panelen dient een controle te worden uitgevoerd of de reparatie succesvol is geweest. De ontgravingswerkzaamheden kunnen met een beperkte aanpassing van het werkplan van de aannemer uitgevoerd worden, waaronder nadere instructies voor de beoordeling van slechte plekken.

3.1.3 Optie 2: alle verdachte voegen preventief

Doordat niet alle volgens Texplor onverdachte voegen uit de analyse van de uitvoeringsgegevens als onverdacht naar voren zijn gekomen, betekent optie 2 dat naast alle voegen die bij Texplor als anomalie zijn bestempeld ook alle voegen waarbij de uitvoeringsgegevens een afwijking vertonen, preventief moeten worden hersteld. Omdat er geen duidelijke relatie te leggen is tussen één criterium en kans op lekkage, wordt geen onderscheid gemaakt welke uitvoeringsparameter van het criterium afwijkt; op het moment dat er bij de analyse van de uitvoeringsgegevens één parameter een criterium overschrijdt, moet de voeg worden hersteld. In totaal zijn er 87 voegen die als anomalie zijn bestempeld en daar komen nog ca. 16 extra voegen bij naar aanleiding van de analyse van de uitvoeringsgegevens (er zijn veel meer voegen die verdacht zijn volgens de uitvoeringsgegevens, maar die zijn ook door Texplor als anomalie bestempeld). In totaal moeten dus ca. 103 voegen preventief hersteld worden. Dit betekent dat er $114 - 103 = 11$ voegen zijn die niet preventief hersteld zijn. Hier bestaat dus een kleine kans dat deze voegen tijdens het ontgraven alsnog doorbreken. Omdat deze voegen zowel volgens Texplor als volgens de analyse van de uitvoeringsgegevens onverdacht zijn, is de kans op een dergelijke lekkage echter klein.

Ook hier geldt dat na behandeling van de voegen een controle dient te worden uitgevoerd of de reparatie succesvol is geweest. De ontgravingswerkzaamheden dienen met een aanpassing van het werkplan van de aannemer, waaronder nadere instructies voor de beoordeling van slechte plekken, te worden uitgevoerd. Verder zal ook het herstelplan van de aannemer aangepast moeten worden.

De kans op lekkages die een calamiteit tot gevolg hebben zoals in september is opgetreden bij deze optie wordt als klein ingeschat (mede doordat slechts een beperkt aantal voegen niet preventief hersteld wordt).

3.1.4 Optie 3: alle ernstig verdachte voegen preventief

Optie 3 houdt in dat onderscheid kan worden gemaakt in ernstige anomalieën, die in potentie direct na ontgraven kunnen doorbreken en anomalieën waar voldoende tijd is om indien nodig een reparatie uit te voeren. Optie 3 betekent dus dat de als "ernstig" beoordeelde voegen preventief hersteld moeten worden en de overige voegen met een aangescherpt ontgravings- en herstelplan visueel geïnspecteerd moeten worden (en indien nodig hersteld). De kans op lekkages die een calamiteit tot gevolg hebben zoals in september is opgetreden, is als matig ingeschat.

Omdat het op dit moment niet mogelijk is de verdachte voegen onder te verdelen in ernstige en minder ernstige voegen, wordt werken volgens optie 3 niet mogelijk geacht vanwege een matig risicoprofiel. Deze optie wordt wellicht mogelijk indien het op basis van nadere analyse en een uitvoerige validatie blijkt dat genoemd onderscheid wel is te maken.

Omdat een uitvoerige validatie inhoudt dat van een groot aantal voegen een vergelijking van de inspectiegegevens van de panelen na de volledige ontgraving (tot onderkant tweede zandlaag), de Texplor metingen en de uitvoeringsgegevens moet worden gemaakt, is validatie praktisch onuitvoerbaar voor station Vijzelgracht.

3.1.5 Optie 4: alle lekkende voegen curatief

De optie om geen enkele voeg preventief te herstellen, maar indien nodig herstel van binnenuit uit te voeren, is evenals optie 1 onafhankelijk van Texplor en de resultaten van de analyse van de uitvoeringsgegevens.

De kans dat bij het uitvoeren van optie 4 op een grote doorgaande bentoniet insluiting wordt gestuit die meteen doorbreekt als de voeg vrij gegraven wordt, is als matig ingeschat (maar wel groter dan de kans bij opties 3).

3.1.6 Optie 5: preventief herstel vanuit het station

Hetgeen in paragraaf 5.1.1 t/m 5.1.4 is vermeld, geldt in principe voor herstel van buitenaf en voor herstel van uit de ontgraven bouwput, zowel wat betreft aantal voegen en als de grootte van de risico's. Korteheidshalve wordt verwezen naar de genoemde paragrafen. Preventief herstellen van voegen van binnen uit door middel van injecteren en jetgrouten wordt niet als een haalbare betrouwbare optie gezien, omdat hechting aan de wand onbetrouwbaar is. Een uitzondering is het preventieve herstel van binnen uit door middel van vriezen, omdat de slechte plek (bentoniet insluiting) dan ook bevriest en geen risico meer vormt, althans zolang de wand bevroren is.

3.1.7 Samenvattend overzicht

In tabel 5.1 (volgende pagina) is het overzicht weergegeven van de opties en de bijbehorende kans op ernstige lekkages.

| optie nummer | optie voor reparatie | omschrijving | geschatte kans ernstige lekkage |
|--------------|---|--|--|
| 0 | Preventieve reparatie langs de volledige wand | Reparatie zowel ter plaatse van alle voegen als in het midden van de panelen. Hiervoor zal een volledig nieuwe waterkerende wand nodig zijn. | Zeër klein <i>Risico volgt uit de uitvoering van de nieuwe wand zelf</i> |
| 1 | Alle voegen preventief aan de buitenzijde dichten | Alle verdachte plekken m.b.v. jetgrouten, vriezen, gelinjecties etc repareren. Ontgraving volgens aangepaste werkwijze in verband met mogelijke slechte plekken anders dan de herstelde plekken | Zeër klein tot klein <i>Een zeer slechte plek in het midden van een paneel en die niet gedetecteerd en gerepareerd is, breekt door.</i> |
| 2 | Alle verdachte voegen preventief aan de buitenzijde dichten. | Hierbij moeten alle voegen worden beschouwd die hetzij volgens Texplor als anomalie zijn aangemerkt en/of die volgens de analyse van de uitvoeringsgegevens verdacht zijn Ontgraving volgens aangepaste werkwijze in verband met mogelijke slechte plekken anders dan de herstelde voegen en andere plekken in een paneel | Klein <i>Het risico is dat een zeer slechte voeg of paneel doorbreekt, die niet gedetecteerd is en bijgevolg ook niet gerepareerd is..</i> |
| 3 | Alleen ernstig verdachte voegen aan de buitenzijde dichten. | Nader onderscheid wordt gemaakt tussen verdachte en ernstig verdachte voegen op basis van de analyse van de uitvoeringsgegevens. De minder verdachte voegen worden na ontgraven geïnspecteerd en indien nodig hersteld. Ontgraving volgens aangepaste werkwijze | Matig <i>Bij de beoordeling van de minder risicovolle voegen kunnen verkeerde afwegingen worden gemaakt. Bovendien kan een niet gerepareerde, zeer slechte voeg doorbreken.</i> |
| 4 | Geen enkele voeg preventief dichten. | Met een aanscherping van de ontgravingswijze en het herstelprotocol wordt onder gecontroleerde omstandigheden voeg voor voeg ontgraven en geïnspecteerd. Reparatiemethode per voeg afhankelijk van bevindingen | Matig <i>Bij de beoordeling van de voegen kunnen verkeerde afwegingen worden gemaakt. Bovendien kan een zeer slechte voeg doorbreken.</i> |
| 5 | Als 0, 1, 2 en 3 maar dan preventieve maatregelen van binnen uit. | | |

Tabel 3.1 Overzicht inzetbare opties bij hervatting van de werkzaamheden.

3.2 Advies

Omdat het niet mogelijk is gebleken een grote bentoniet insluiting te onderscheiden van een kleine onschuldige insluiting, moeten alle anomalieën als ernstig worden gekwalificeerd. Omdat tevens geen conclusie over de zekerheid van door Texplor als onverdacht bestempelde voegen kan worden getrokken, adviseert Deltares het werk bij Vijzelgracht te hervatten conform optie 1, dat wil zeggen het preventieve herstel van alle voegen.

De afweging tussen optie 0 (volledige extra wand) en optie 1 (preventief herstel alle voegen) heeft Deltares gemaakt op basis van de overweging dat de kans op een doorgaande bentoniet- of zandinsluiting in het paneel buiten de wapeningsvrije zones bij de voegen, die onmiddellijk doorbreekt bij het ontgraven zeer klein is, omdat:

- de kans op een doorgaande bentoniet insluiting in het midden van een paneel zeer klein is vanwege de volgende redenen:
 - in het midden van een paneel is geen bentonietcake aanwezig;
 - in het midden van het paneel is de bentoniet voortdurend in beweging door de grijper;
 - de bentoniet in het midden van een paneel wordt tijdens het storten van twee zijden verdrongen (in het geval van een dubbele tremmie), terwijl bij een voeg de beton van één zijde komt;
 - er zijn geen voegplanken aanwezig in het midden van een paneel;
 - in het midden van een paneel zijn er geen problemen met aansluiting op reeds gestorte panelen door scheefstanden of storten tegen reeds verharde beton;
- omdat een zandinsluiting, die mogelijk wel aanwezig is in het paneel buiten de zone van de voegen, qua elektrische geleidbaarheid duidelijker afwijkt van een massieve betonnen wand, zodat deze locaties goed zichtbaar moeten zijn in de resultaten van Texplor. Dit betekent dat deze locaties, indien aanwezig preventief behandeld kunnen en moeten worden.

Samenvattend, het advies luidt om het werk bij Vijzelgracht te hervatten door het preventief herstellen van alle voegen en overige verdachte plekken in een paneel. Daarnaast kan Texplor eventueel geëvalueerd worden op basis van de voegen indien tot op de Eemklei ontgraven is, aangevuld met een statistische interpretatie van de meetgegevens van Texplor. Mogelijk kunnen deze analyses later, afhankelijk van de planning, worden gebruikt om nog op optie 2 over te stappen.

4 Overdracht PB NZL: randvoorwaarden hervatten werkzaamheden

Het PB NZL zal het advies uit hoofdstuk 5 uitwerken tot een concreet herstelplan. In dit hoofdstuk zijn de randvoorwaarden aangegeven waaronder dat dient te gebeuren. Daarnaast moet het monitoringssysteem worden gecontroleerd of het juist functioneert en moeten de prognoses van de zakkingen in de omgeving worden geüpdatet.

4.1 Betrouwbaarheid

De bij de verschillende opties genoemde risico's gaan uit van herstelmaatregelen die betrouwbaar zijn. Anders gezegd, als een voeg preventief hersteld wordt, moet de kans zeer klein zijn dat deze alsnog significant gaat lekken. Bij de keuze voor een herstelmaatregel moet derhalve de betrouwbaarheid goed zijn. Bij de betrouwbaarheid kan onderscheid worden gemaakt in een aantal aandachtspunten die in de volgende subparagrafen worden besproken.

Verder moet bijvoorbeeld gedacht worden aan zaken als de aanwezigheid van een calamiteitencontainer, houten proppen tijdens boorwerkzaamheden etc.

4.1.1 Uitvoeringsnauwkeurigheid

Bij het uitvoeren moet rekening worden gehouden met uitvoeringson nauwkeurigheden. Elke maatregel heeft een zekere onnauwkeurigheid in plaatsing, het verlopen van boorstangen etc. De uitvoeringson nauwkeurigheid moet worden verkleind door bijvoorbeeld uit te gaan van overdimensioneren, en aanvullend te monitoren op scheefstanden. Jetgrouten is bijvoorbeeld gevoelig voor obstakels in de ondergrond en ook bij injectietechnieken is verlopen van de boorbuizen door obstakels een aandachtspunt.

4.1.2 Duurzaamheid

De voeg moet waterdicht blijven tot dat de voorzetwand gestort is (indien gepland). Dit betekent dat de herstelmaatregel duurzaam dient te zijn voor tenminste enkele jaren. Onder duurzaamheid moet ook worden verstaan dat de maatregel toekomstige vervormingen van de diepwand moet kunnen volgen, zonder aan effectiviteit in te boeten (door scheurvorming o.i.d.). De bekende hersteltechnieken zoals jetgrouten en injectietechnieken (hardgel) en zijn allemaal duurzaam. Vriezen is uiteraard duurzaam zolang de installatie functioneert.

4.1.3 Heterogene ondergrond

Bepaalde hersteltechnieken zijn gevoelig voor gelaagdheid van de grond. In de praktijk kan dit betekenen dat grove lagen beter afgedicht worden dan fijnere, zodat de maatregel niet voldoende betrouwbaar is. Met de heterogeniteit van de ondergrond dient derhalve rekening te worden gehouden. Met name injectietechnieken zijn hier gevoelig voor.

4.1.4 Controle herstel maatregel

Geadviseerd wordt om na de uitvoering van de herstelmaatregelen opnieuw Texplor metingen te laten uitvoeren om de kwaliteit van de maatregel te controleren. Uit vergelijking met de eerdere metingen wordt informatie verkregen over de effectiviteit van de herstelmaatregel. De noodzaak voor controle is overigens afhankelijk van het soort herstelmaatregel. Bij vriezen is de noodzaak bijvoorbeeld veel minder aanwezig dan bij injecteren of jetgrouten.

4.2 Uitvoerbaarheid

De herstelmaatregel moet naast betrouwbaar ook uitvoerbaar zijn. Ook het uitvoeren van de maatregel zelf mag geen risico opleveren voor omgeving en de stabiliteit van de bouwputwand.

4.2.1 Obstakels

Naast onbekende obstakels in de diepere ondergrond (bijv. houten palen) kunnen ook de eerder genomen maatregelen bij het verwijderen van de obstakels in de toplaag invloed hebben op de uitvoerbaarheid. Hier moet gedacht worden aan de MIP-kolommen, de softmix of de retour spoil van het jetgroutstempel en de reeds uitgevoerde injecties.

De obstakels kunnen niet alleen de uitvoerbaarheid beïnvloeden, maar ook het effect van de maatregel door bijvoorbeeld schaduwwerking. Obstakels en schaduwwerking spelen met name bij jetgrouten en injectietechnieken een rol.

4.2.2 Bereikbaarheid c.q. effect in omgeving

Bij de maatregelen die aan de buitenzijde worden genomen, speelt overlast voor de omgeving en bereikbaarheid een rol. De diepwand aan de oostzijde van het station ligt immers onder de straat / trottoir. Aan de westzijde bevindt zich het bouwterrein, maar mogelijk speelt de bereikbaarheid en overlast ook hier een rol.

Alle technieken die aan de buitenzijde worden gedaan zullen (ingrijpende) gevolgen hebben als gevolg van het vrij maken van het benodigde terrein. Vriezen kan daarnaast nog effect hebben op de grondmechanische draagkracht doordat grondeigenschappen veranderen bij langdurig vriezen (vriezen moet immers tot en met het gereed zijn van de voorzetwand worden doorgezet).

4.2.3 Risico uitvoering maatregel

Bij het uitvoeren van de herstelmaatregel moet worden voorkomen dat een eventuele aanwezige doorgaande slechte plek in de wand bezwijkt (wordt weggespoten) waardoor een doorbraak zou kunnen ontstaan naar het binnenzijde van de bouwput waar de ontgraving nu op NAP -13 m ligt. Herstelmaatregelen moeten uiteraard tevens beoordeeld worden op beïnvloeding van de aanwezige bebouwing (zakkingen, trillingen).

4.3 Tijd en kosten

De betrouwbaarheid en de uitvoerbaarheid van de herstelmaatregel zijn het belangrijkste, maar tijd en kosten moeten wel worden meegewogen in de afweging. Het is echter niet aan Deltares om randvoorwaarden met betrekking tot tijd en kosten op te leggen.

4.4 Proces

4.4.1 Aangepast herstelprotocol bij ontgraving

Bij optie 1 worden alle voegen en overige verdachte plekken preventief hersteld. De kans op een grote lekkage is daarmee als zeer klein ingeschat. Dit neemt echter niet weg dat een beperkte aanpassing van het werkplan van de aannemer nodig is met name ten aanzien van de beoordeling van slechte plekken. Verder zal ook het herstelplan moeten worden aangepast.

Het werkplan voor het ontgraven van het resterende gedeelte van het station dient tenminste te omvatten:

- omschrijving van de uitvoering van een minimale ontgraving ter plaatse van voegen (afmetingen, plaats, volgorde, diepte, tijd);
- beoordelingsprotocol voegen (wanneer en hoe beoordelen) met indeling naar ernst van lekkage, betonkwaliteit en/of grootte van insluiting;
- herstelplan in het geval van een slechte voeg (koppeling tussen correctieve herstelmaatregel en kwaliteit van de voeg c.q. soort afwijking);
- overzicht van beslismomenten, beslissingsbevoegde personen en verantwoordelijkheden;
- calamiteitenplan voor in het geval toch een lekkage ontstaat (aanwezigheid van injectiemiddelen, proppen en wiggen binnen handbereik, calamiteitencontainer, injectieploeg stand-by, etc).

Daarnaast kan overwogen worden om de volgende zaken vast te leggen afhankelijk van de wensen van betrokken partijen:

- controlemomenten door Dagelijks Toezicht of bevoegd gezag;
- ijking c.q. validatie van vrij gegraven voegen met geboortegegevens en/of Texplor.

4.4.2 Aanpassen monitoring

Het monitoringssysteem kan niet dusdanig worden aangepast dat het als een "early warning system" zal functioneren, hetgeen overigens ook nooit de bedoeling is geweest bij het project. Na de calamiteit van juni is echter aangegeven dat het monitoringssysteem desondanks wel verbeterd kan worden:

- divers in de bouwkuip moeten functioneren, zodat representatieve stijghoogten worden gemeten;
- naast toetsing op absolute waarden voor de vervormingen en de stijghoogtes dient een toetsing van de maximale variatie tussen een tweetal opeenvolgende metingen te worden ingevoerd.

Afhankelijk van de hersteltechniek kan het monitoringssysteem wellicht worden uitgebreid (bijv. temperatuurmetingen in het geval van vriezen).

4.4.3 Update prognose zakkingen

Daarnaast is het zinvol om de prognose van de vervormingen van de panden rondom het gehele station te actualiseren. Het invloedsgebied van de doorbraak bij voeg 89/90 (juni) en 69/70 (september) is immers groter dan alleen het woningblok dat er het dichtst bij staat. Ook de panden op grotere afstand (zowel evenwijdig aan de diepwanden als loodrecht erop) zijn (mogelijk) beïnvloed. Bovendien kunnen extra zakkingen ontstaan als gevolg van het uitvoeren van de herstelmaatregel. Derhalve dient bekeken te worden, of de additionele zakkingen bij hervatting van de werkzaamheden (ontgraven, boren) nu nog wel opneembaar zijn of dat eventueel aanvullende maatregelen nodig zullen zijn hetzij van het ontwerp van het station hetzij van de panden.

4.4.4 Stabilisatie panden

Bij de panden in de nabijheid van voeg 69 / 70, in het bijzonder de panden Vijzelgracht 2 t/m 10, zijn op het moment van schrijven nog geen stabiliserende maatregelen genomen, dit in tegenstelling tot de panden Vijzelgracht 24 en 26. Op grond van de analyse van de situatie moet bepaald worden of en hoe dergelijke maatregelen uitgevoerd moeten worden. Uitgangspunt moet in ieder geval zijn dat de desbetreffende panden niet gevoeliger voor de gevolgen van de ontgraving moeten zijn, dan de overige panden die aan het station grenzen. Dit betekent dat de stabiliteit van de panden moet zijn gewaarborgd en dat moet worden voorkomen dat meer schade ontstaat dan bij de andere panden wordt verwacht.

5 Conclusies en aanbevelingen

Aan Deltares is gevraagd de randvoorwaarden vast te stellen voor een werkmethode voor de resterende ontgraving van de stations Vijzelgracht en Rokin. De conclusies van dit rapport hebben betrekking op het hervatten van de ontgravingswerkzaamheden bij station Vijzelgracht. Hoe omgegaan moet worden met de reeds ontgraven voegen evenals de analyse voor station Rokin wordt apart gerapporteerd.

Deltares heeft een zeer omvangrijke verzameling gegevens over de uitvoering van de diepwanden, de ervaringen met het ontgraven en de Texplor metingen ontvangen. Als eerste zijn de risico's geïnventariseerd die samenhangen met lekkage in de diepwand. Genoemd zijn lekkages door ingesloten objecten, insluitingen van grond, insluitingen van bentoniet of door een niet functionerend rubber profiel in de voeg. Iedere vorm van bovengenoemde lekkages heeft één of meerdere oorzaken.

Om risico reducerende maatregelen te kunnen nemen, moeten de genoemde risico's geclassificeerd worden. Het soort maatregel hangt immers nauw samen met de grootte van de kans op ernstige lekkages en het geaccepteerde resulterende risicoprofiel. Voor het classificeren van risico's zijn in de eerste plaats diverse monitoringstechnieken beschouwd. De Texplor metingen zeggen alleen iets over de kans op een lekkage, maar er kunnen geen harde conclusies over de grootte en/of het debiet aan verbonden worden. Daarnaast is op basis van aanvullend onderzoek van de TU Delft vast komen te staan dat geen conclusies getrokken kunnen worden over de veiligheid van door Texplor als onverdacht bestempelde locaties. Dit betekent dat Texplor op dit moment niet geschikt is voor risico classificatie c.q. bepalen van de ernst van verdachte locaties. Ook andere monitoringstechnieken zijn niet geschikt om voorafgaand aan de ontgraving uitsluitel te kunnen bieden ten behoeve van de risico classificatie. Op het moment dat een paneel ontgraven is, lijkt radar wel geschikt te zijn om te controleren op onregelmatigheden in de diepwand.

Omdat het met behulp van monitoringstechnieken niet lukt om risico's te classificeren, is getracht op basis van een analyse van de geboortegegevens, de dagboeken en de Texplormetingen vast te stellen of op enige wijze voorafgaand aan de ontgraving zekerheid kan worden verkregen over de kwaliteit van de wanden, de ernst en locaties van mogelijke slechte plekken in de diepwanden. De analyse was er vooral op gericht om met behulp van gedefinieerde beoordelingscriteria van te voren te kunnen vaststellen welke verdachte plekken (anomalieën) zo ernstig zijn dat ze bij ontgraven direct doorbreken en leiden tot het instromen van water en zand, omdat dit bepalend is voor de wijze waarop het werk verantwoord kan worden hervat.

Uit de analyse volgt dat er wel kwalitatieve relaties te leggen zijn tussen de kwaliteit van de voegen enerzijds en de Texplor metingen, uitvoeringsgegevens en dagboeken anderzijds. Er zijn echter geen eenduidige relaties te leggen tussen de beoordelingscriteria en de kwaliteit van een voeg. Omdat geen duidelijke relatie te leggen is, houdt dat bij de verdere verwerking van de uitvoeringsgegevens in dat, om voldoende zekerheid te verkrijgen, elke voeg als een ernstig potentieel lek moet worden beschouwd.

Er zijn 6 opties om de werkzaamheden te hervatten:

0. Reparatie preventief langs de gehele diepwand aan de buitenzijde.
1. Alle voegen preventief aan de buitenzijde dichten (jetgrout, vriezen, hardgel enz.)
2. Alle verdachte voegen preventief aan de buitenzijde dichten.
3. Alle ernstig verdachte voegen aan de buitenzijde dichten.
4. Geen enkele voeg preventief dichten.
5. Als 1, 2 en 3 maar dan preventieve maatregelen van binnen uit.

Omdat het niet is gelukt om een eenduidige relatie vast te stellen tussen de uitvoeringsgegevens, de bekende slechte plekken en de volgens de Texplor metingen verdachte en onverdachte plekken kan de kwaliteit van de voegen niet worden bepaald. Daarmee is de kans op lekkages (te) groot bij die opties waarbij de voegen onderverdeeld worden in verdacht en niet-verdacht of ernstig en niet-ernstig (optie 2 respectievelijk 3). Geadviseerd wordt om bij het hervatten van de werkzaamheden bij station Vijzelgracht te kiezen voor optie 1, het preventief herstellen van alle voegen. In principe gaat optie 1 uit van preventief herstel aan de buitenzijde; een betrouwbare preventieve herstelmethodede van alle voegen van binnen uit (door middel van vriezen) is echter ook mogelijk.

De afweging tussen optie 0 (volledige extra wand) en optie 1 (preventief herstel alle voegen) heeft Deltares gemaakt op basis van de overweging dat de kans op een doorgaande bentoniet- of zandinsluiting in het paneel buiten de wapeningsvrije zone bij de voegen, die onmiddellijk doorbreekt bij het ontgraven zeer klein is. Zandinsluitingen worden naar verwachting namelijk wel door Texplor gedetecteerd en kunnen derhalve preventief worden hersteld (alle verdachte locaties worden immers hersteld, of het nu voegen betreft of panelen). De kans op een bentonietinsluiting in het midden van een paneel is zeer klein, omdat er geen bentonietcake kan ontstaan, geen problemen met omloopbeton en voegplanken kunnen optreden, er geen aansluitproblemen zijn met voorgaande panelen en omdat de bentoniet in het midden van een paneel van twee kanten verdrongen kan worden. Daarmee is de extra reductie van de kans op lekkage indien optie 0 wordt uitgevoerd, gering ten opzichte van optie 1.

Dit neemt niet weg dat de wand met een (ten opzichte van september) aangescherpt ontgravings- en herstelplan ontgraven moeten worden, omdat de uitgevoerde herstelmaatregel ook nog kan falen. De in te zetten herstelmaatregel(en) moet voldoen aan de randvoorwaarden met name inzake betrouwbaarheid en uitvoerbaarheid en het te doorlopen proces. Indien aan de randvoorwaarden wordt voldaan in combinatie met een aangescherpt ontgravings- en herstelplan is Deltares van mening dat het resulterende risicoprofiel behorende bij optie 1, preventief herstellen van alle voegen en overige verdachte plekken, zeer klein tot klein is.

Bij concretisering van de herstelmaatregel door het PB NZL, is het zinvol aanvullende analyses uit te voeren op gegevens van de andere stations teneinde een beter beeld te krijgen van de ontstane verschillen in de kwaliteit van de wand. Omdat er wel relaties lijken te zijn tussen Texplor, de kwaliteit van de voeg en de uitvoeringsgegevens is het zinvol om tijdens de ontgraving de Texplor metingen te valideren of om te onderzoeken of een aangepaste statistische analyse van de meetresultaten (conform voorstel TU Delft) de Texplor metingen bruikbaar maakt om de kans op lekkage nader te classificeren.

Daarnaast dient bij het hervatten van de werkzaamheden het monitoringsysteem operationeel te zijn, zoals verwoord is in brief 453690-0003 v02, d.d. 16-07-2008:

- divers in de bouwkuip moeten functioneren;
- er dient bij de x-, y- en z-metingen en de stijghoogtemetingen niet alleen op absolute grenswaarden getoetst te worden, maar ook op een maximale variatie tussen twee metingen in.

Tot slot moet de prognose van de zakkingen in de omgeving aangepast worden, zodat de door de lekkages ontstane zakkingen verwerkt zijn en een uitspraak kan worden gedaan of de omgeving de resterende vervormingen zondermeer op kan nemen of dat aanpassingen nodig zijn van hetzij het ontwerp hetzij de panden.

Bijlage 1 Beschikbare gegevens

Rapportnummer
435691-0016 v03

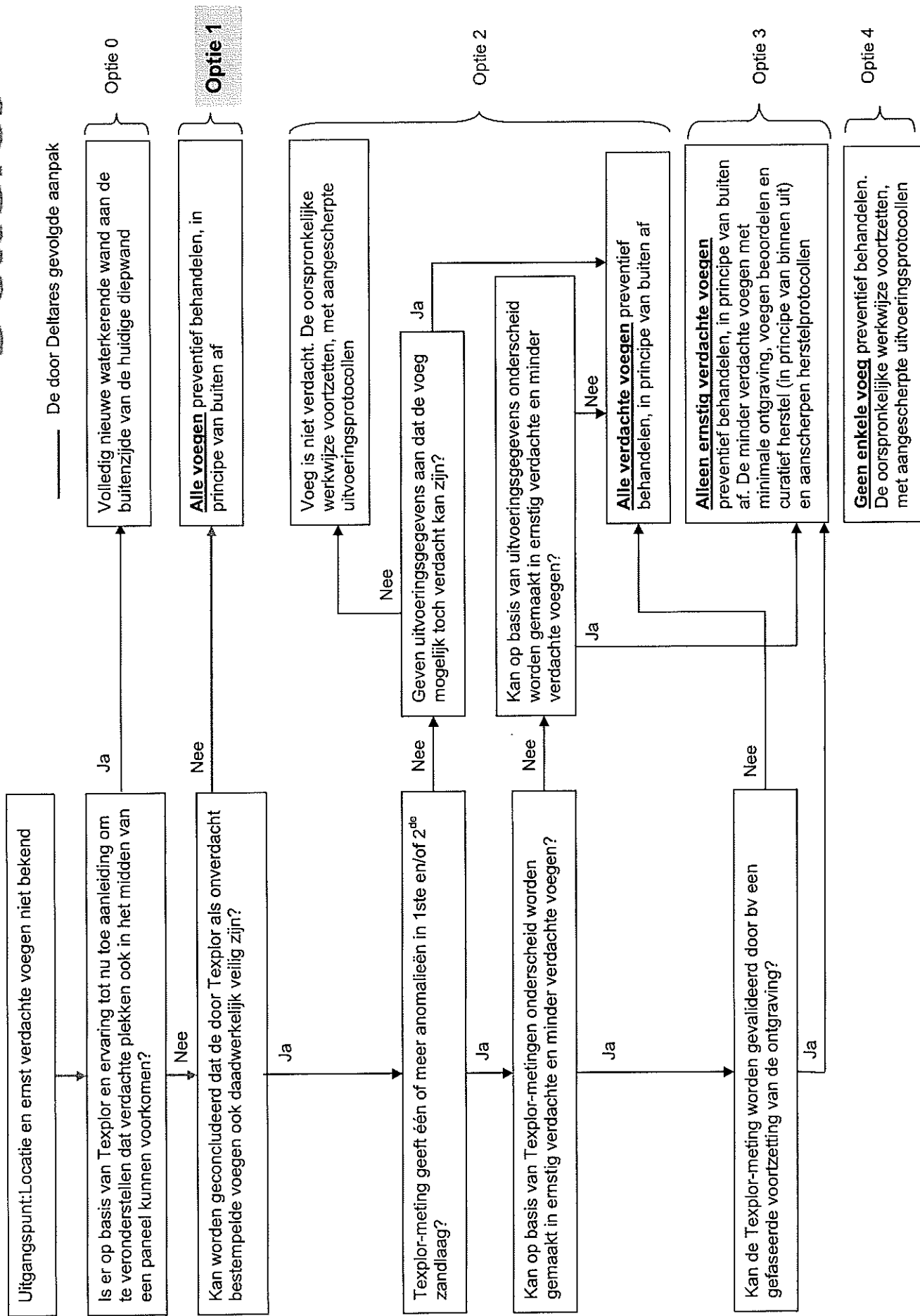
Datum
november 2008

Bijlage(n)
1

1. Werkbeschrijving injectiewerkzaamheden diepwand station Vijzelgracht, W-UV-VZG-31-015-B, vrijgave Projectbureau 28 juli 2008, Max Bögl.
2. rapport "Incident Vijzelgracht", doc.nr. 5.2-7.2/8023029, d.d. 08-07-2008, Gemeente Amsterdam; Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer.
3. Werkplan / bouwveiligheidsplan Vijzelgracht, doc.nr. W-UV-VZG-31-001, d.d. 02-12-2003, Max Bögl.
4. Addendum op werkplan/ constructieveiligheidsplan, constructie van diepwanden Vijzelgracht fase 2, doc.nr. W-UV-VZG-31-011-A, d.d. 20-06-2006.
5. tekeningen en informatie betreffende de grijper en de gebruikte dragline.
6. Weekrapporten Franki, fase 2, week 23 t/m 52 2006.
7. Dagrapporten Dagelijks Toezicht, fase 1 en 2.
8. Evaluatie diepwanden, fase 1 en fase 2, Vijzelgracht, Max Bögl.
9. notulen "Hervatting ontgravingswerkzaamheden Vijzelgracht na incident van 19 juni 2008", d.d. 04-09-2008.
10. rapport "Incident Vijzelgracht", doc.nr. 5.2-7.2/8023029, d.d. 08-07-2008, Gemeente Amsterdam; Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer.
11. rapport "Analyse, interpretatie en advies Texplor data, Vijzelgracht data compartiment 3", d.d. 31 oktober 2008, Technische Universiteit Delft; E. Slob.

Bijlage 2 Stroomschema

Bijlage 2: Stroomschema opties voor hervatten werkzaamheden



Bijlage 3 Uitwerking analyse geboortegegevens

Rapportnummer
435691-0016 v03

Datum
november 2008

Bijlage(n)
3

Tijdens het vervaardigen van de diepwanden is een groot aantal uitvoeringsparameters vastgelegd, de zogenaamde geboortegegevens. Daarnaast zijn er tijdens de installatie van de wanden door het dagelijks toezicht en door de aannemer aantekeningen gemaakt, over het algemeen van afwijkingen, die in dagboeken zijn opgenomen. Uit hoofdstuk 2 volgt dat bij het classificeren van de risico's van lekkage het analyseren van de geboortegegevens en de dagboeken een belangrijk onderdeel vormt. Alleen indien met deze uitvoeringsgegevens van de installatie van de diepwanden een betrouwbare risico classificatie van het voorkomen van doorgaande bentoniet insluitingen kan worden gemaakt, kunnen de ernstige voegen preventief hersteld worden (van buiten af) en de voegen met een klein risico visueel geïnspecteerd en gerepareerd (van binnenuit) worden.

Derhalve is voor het vaststellen van de mogelijke maatregelen gebruik gemaakt van een indirecte methode voor het maken van onderscheid tussen verschillende mogelijke soorten lekkages (met en zonder het risico op een directe doorbraak).

3.1. Algemeen

Er zijn tot nu toe drie voegen waar een relatief grote lekkage is opgetreden. Dergelijke lekkages moeten te allen tijde voorkomen worden bij hervatten van de werkzaamheden. Het gaat om de volgende voegen:

- 17-06-2008: bentoniet insluiting naast voeg 24/25;
- 19-06-2008: doorbraak bij voeg 89/90;
- 10-09-2008: vermoedelijke bentoniet insluiting bij voeg 69/70.

Bij voeg 89/90 is een voegplank achtergebleven en vervolgens is de afdichtende jetgroutkolom aan de buitenzijde mislukt. Bij deze voeg is derhalve een duidelijk oorzaak vanuit de uitvoering aan te wijzen. Bij de voegen 24/25 en 69/70 is echter geen sprake van een duidelijke oorzaak vanuit de uitvoering. Met name bij deze voegen moet geanalyseerd worden of er een aanwijsbare oorzaak uit de uitvoeringsgegevens / dagboeken valt af te leiden. Omdat de Texplormetingen pas na de lekkages bij voeg 24/25 en 89/90 zijn uitgevoerd, kan alleen bij voeg 69/70 een vergelijking tussen de uitvoeringsgegevens en de resultaten van de Texplormetingen worden uitgevoerd.

Een tweede vergelijking die kan worden gemaakt, betreft de volgens de Texplormetingen onverdachte locaties en de bijbehorende uitvoeringsgegevens. Omdat bij de onverdachte locaties in principe geen noemenswaardige lekkage verwacht wordt, moeten uit de analyse van de uitvoeringsgegevens en de dagboeken geen afwijkingen naar voren komen die duiden op een mogelijk lek. Dat wil zeggen graafsnelheden, bentonietkwaliteit, stortsnelheid etc. mogen geen afwijkingen laten zien.

Tenslotte zijn er nog de voegen die in september geïnspecteerd zijn: 40/41 en 72/73. Bij deze voegen werd door Texplor een anomalie geconstateerd (vergelijkbaar met voeg 69/70). Ze zijn op 09-09-2008 geïnspecteerd. Er zijn echter over het vrij gegraven gedeelte (van NAP -13 m tot NAP -16,9 m) geen slechte plekken geconstateerd. Dit wil echter niet zeggen dat Texplor een verkeerde voorspelling heeft gedaan, omdat het niet uitgesloten is dat deze voegen toch enigszins lekte en bovendien omdat tussen NAP -16,9 m en bovenzijde Eemklei nog niet ontgraven is. Hier zou derhalve nog een afwijking kunnen zitten. De analyse van deze voegen levert dus geen informatie over het al dan niet voorkomen van ernstige lekkages

Samenvattend, de analyse van de uitvoeringsgegevens is zinvol als blijkt uit deze gegevens dat de voegen 24/25, 69/70 (en in mindere mate 89/90) aantoonbaar slechter zijn en als de onverdachte locaties volgens de Texplormetingen ook als onverdacht uit de analyse naar voren komen. Indien dat het geval is, kan voor de verdachte voegen volgens de Texplormetingen theoretisch de ernst worden afgeschat.

3.2. Soorten gegevens

Uit de geboortegegevens en de dagboeken zijn de volgende criteria afgeleid om de kwaliteit van een paneel op te beoordelen:

- ontgravingsnelheid;
- scheefstand paneel c.q. afwijking verticaal tijdens graven;
- tijdsduur tussen verwijderen van de voegplank en start betonneren;
- tijdsduur tussen einde ontgraving en start van het betonneren;
- kwaliteit bentoniet juist voor betonneren;
- duur betonneren c.q. stortsnelheid;
- tijdsduur tussen het graven van twee naast elkaar gelegen panelen;
- samenstelling beton vs maaswijdte wapeningskorf.

Van bovenstaande kenmerken wordt in deze paragraaf beschreven wat de relatie is met de mogelijke lekkages en welke waarden duiden op een goede en welke op een slechte kwaliteit. Voor deze beoordeling zijn vaak geen duidelijke grenswaarden beschikbaar in de vorm van normen, richtlijnen of handboeken. Soms duiden bestekseisen op een scheidslijn tussen goed en slecht, soms kon gebruik worden gemaakt van praktijkgegevens en waar mogelijk is een vergelijking gemaakt met station Ceintuurbaan. De diepwand bij station Ceintuurbaan is duidelijk van een betere kwaliteit (in de zin van minder visueel zichtbare lekkages) dan de diepwanden bij Vijzelgracht en Rokin. De uitvoeringsgegevens van station Ceintuurbaan zijn mede als referentie gebruikt bij het bepalen van de grenzen voor goede/slechte kwaliteit.

Naast bovengenoemde kenmerken is er nog andere informatie over de uitvoering beschikbaar (onder andere in de dagboeken van de uitvoerders en toezichthouders) zoals opmerkingen omtrent omloopbeton (beton die achter de voegplank vloeit en het verwijderen ervan bemoeilijkt), problemen met het lossen van het stopeind, onderbrekingen van het betonstorten, obstakels tijdens het ontgraven, werkploegen, afbreken klauwen grijper, etc. Ook deze opmerkingen zijn meegenomen in de analyse, maar er konden geen onder- en bovengrenzen aan gekoppeld worden omdat het geen meetbare criteria zijn.

Voor sommige in hoofdstuk 2 genoemde risico's zouden nog andere kenmerken wellicht van belang kunnen zijn. Dit betreft bijvoorbeeld de betonsamenstelling (snelheid van uitharden), de snelheid waarmee de diepwandgrijper op- en neer is gehaald, opbarsten veenlaag tijdens verwijderen obstakels, stortmethode beton (betonpomp of direct via goot uit betonmixer, tremmie om-en-om storten) of de inzet van de mechanische grijper in plaats van de hydraulische. Niet al deze technisch gegevens zijn tijdens de uitvoering vastgelegd en als zodanig zijn deze kenmerken dus ook niet bruikbaar in de voorspelling waar zich mogelijk lekkages voordoen. Van een aantal van bovenstaande zaken is echter bekend dat ze opgetreden zijn, maar kan niet meer achterhaald worden bij welk paneel.

3.2.1. Ontgravingsduur c.q. ontgravingsnelheid

De duur van het ontgraven van een paneel heeft invloed op de kwaliteit van de bentoniet suspensie die tijdens het graven aanwezig is en derhalve op de stabiliteit van de sleuf. Daarnaast zal de duur van ontgraven een relatie hebben met aanhechting van bentoniet aan een naastgelegen paneel hetgeen tot een insluiting kan leiden. Deze duur wordt als belangrijke indicator gezien voor de kwaliteit van de voeg. Omdat het te ontgraven volume per paneel kan verschillen (vooral tussen de stations onderling) is bij de analyse uitgegaan van de graafsnelheid, uitgedrukt in de hoeveelheid vierkante meters wand die per uur ontgraven worden.

De ontgravingsnelheid voor Ceintuurbaan is in [1] bepaald. Omdat station Ceintuurbaan qua ernst van de lekkages duidelijk beter is dan station Vijzelgracht zijn de volgende onder- en bovengrenzen voor de ontgravingsnelheid zodanig gekozen dat station Ceintuurbaan als overwegend "goed" bestempeld wordt:

- goed: meer dan 50 m²/dag;
- matig: tussen 30 en 50 m²/dag;
- slecht: minder dan 30 m²/dag.

3.2.2. Duur betonneren c.q. stortsnelheid

De tijdsduur van het betonneren zegt iets over eventuele stagnatie tijdens het storten. Daarnaast zijn heel lage of heel hoge snelheden ongunstig omdat daardoor een groter risico op insluitingen van bentoniet ontstaat. Net zoals bij het ontgraven van een paneel geldt, is ook de absolute duur van het storten geen parameter om een reële vergelijking mee te maken vanwege de variatie in het volume van een paneel. Hetzelfde geldt voor het stortvolume (per uur). In plaats daarvan is de stortsnelheid uitgedrukt in de snelheid waarmee het betonniveau per uur omhoog komt. De toelaatbare stortsnelheid is afhankelijk van de maaswijdte van de wapeningskorven, de betonsoort en de kwaliteit van de bentoniet vlak voor het storten.

In het werkplan van Franki [2] is als minimale stortsnelheid 3 m/uur aangegeven. Bij lagere stortsnelheden bestaat de kans dat de bentoniet niet voldoende van de wapening/wand 'geschraapt' wordt. Dit betekent dat minder dan 3 m/uur een risico op lekkage betekent. Ook een te hoge stortsnelheid is echter niet goed, omdat dan de kans bestaat dat de bentoniet niet goed verdrongen wordt door de beton (zeker als de bentoniet wat viskeuzer is). Mede op grond van de ervaringen bij Ceintuurbaan zijn de volgende onder- en bovengrenzen voor de stortsnelheid vastgesteld:

- goed: tussen 3 en 12 m/uur;
- matig: tussen 12 en 15 m/uur;
- slecht: kleiner dan 3 m/uur en groter dan 15 m/uur.

3.2.3. Scheefstand panelen

Tijdens het graven wordt de positie van de grijper continue gemeten om de machinist in staat te stellen eventuele afwijkingen te corrigeren. Nadat het paneel volledig is ontgraven laat de machinist de grijper over de gehele hoogte in de sleuf af en registreert de afwijkingen in x-richting (in het vlak van de wand) en in y-richting (loodrecht op de wand). Deze laatste meting over de volle hoogte van het paneel (zowel in de x- als y-richting) wordt in de uitvoeringsgegevens opgenomen. Uit de scheefstand in de x-richting van naast elkaar gelegen panelen (dat wil zeggen van de ontgraving aan weerszijde van een voeg) kan worden afgeleid of er kans is dat het rubberprofiel (de waterkering) niet goed in het beton verankerd is.

Bij Vijzelgracht, fase 1 is een rubberprofiel met een breedte van 130/150 mm toegepast (uit de gegevens volgt niet duidelijk hoe breed het toegepaste rubber profiel is), terwijl in fase 2 een rubberprofiel met een breedte van 100 mm is toegepast [3]. Dit heeft consequenties voor de toelaatbare scheefstand van een paneel in het vlak van de diepwand.

Complicerende factor bij het vaststellen van de grenzen is het ontbreken van gegevens van de positie van de grijper ten opzichte van de plaats van de theoretische voeg en de meetonnauwkeurigheid van de grijper. Het komt voor dat het volgens de scheefstanden van twee aangrenzende panelen blijkt dat de panelen in elkaar grijpen. Het lijkt niet reëel te veronderstellen dat bij het ontgraven van het naastgelegen paneel in de beton wordt ontgraven. Daarom is in de analyse in voorkomende gevallen de gemeten scheefstand gecorrigeerd (translatie over de maximale overschrijding), zodanig dat de panelen elkaar niet snijden. In figuur B3.1 is bovenstaande schematisch afgebeeld.

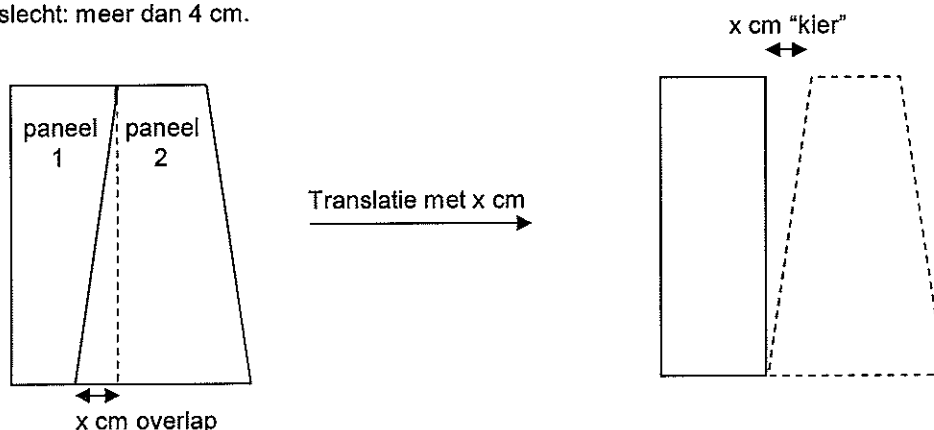
Doordat in de meting van de scheefstand van een ontgraven paneel dus een zekere meetonnauwkeurigheid verdisconteerd is, kent de analyse van de scheefstanden enige onzekerheid. Vanwege het verschil in toegepaste rubber profielen, worden meerdere onder- en bovengrenzen voor de scheefstand aangehouden:

Vijzelgracht, fase 1 uitgaande van 130 mm breedte (paneel 1 t/m 57 en 112 t/m 114):

- goed: minder dan 4 cm;
- matig: tussen 4 en 5,5 cm;
- slecht: meer dan 5,5 cm.

Vijzelgracht, fase 2 (paneel 58 t/m 111):

- goed: minder dan 2,5 cm;
- matig: tussen 2,5 en 4 cm;
- slecht: meer dan 4 cm.



Figuur B3.1 Schematische weergave overlap en translatie, zodat panelen niet snijden.

Voor de scheefstand in de x-richting is in het bestek geen eis opgenomen. Voor de scheefstand in de richting loodrecht op de wand (y-richting) is in het bestek een eis opgenomen van maximaal 0,5%. Dit betekent dat scheefstanden in de y-richting groter dan 0,5% (op de einddiepte) niet voor mogen komen. Gelet op de verhouding tussen de dikte en de diepte van de wand in combinatie met de toegestane scheefstand in de y-richting is scheefstand in de x-richting maatgevend wat betreft het risico van lekkage. Scheefstand in de y-richting is bij de wanden van Vijzelgracht niet onderscheidend (voldoet overal aan bestekseis) en derhalve niet meegenomen in de analyse.

3.2.4. Kwaliteit bentoniet

De minimale kwaliteit waaraan de bentoniet juist voorafgaand aan het betonneren moet voldoen, is door de onderaannemer die de diepwand heeft vervaardigd vastgelegd in de werkplannen. Bij het toetsen van de bentoniet zijn er eisen vastgelegd voor de dichtheid, de viscositeit en het zandpercentage. Er is dus ten aanzien van de eisen geen verschil tussen fase 1 en 2 van Vijzelgracht. Bij fase 1 werd de bentoniet echter ontzand en bij fase 2 ververst voorafgaand aan het betonneren. Een afwijkende kwaliteit bentoniet kan invloed hebben op de kans op insluitingen tijdens het storten van de beton. Een suspensie met een hoge dichtheid, hoge viscositeit en/of veel zand geeft meer kans op insluitingen tijdens het storten omdat de beton de bentoniet niet eenvoudig kan verdringen.

In eerste instantie is er geen reden om een onderscheid te maken in goed, matig en slecht. De bentoniet voldoet aan de eis of voldoet er niet aan. De grenzen conform de werkplannen zijn als volgt gedefinieerd:

Dichtheid:

- goed: kleiner dan $11,5 \text{ kN/m}^3$;
- slecht: groter dan $11,5 \text{ kN/m}^3$.

Viscositeit:

- goed: tussen 32 en 50 sec;
- slecht: kleiner dan 32 sec of groter dan 50 sec.

Zandpercentage:

- goed: kleiner dan 2%;
- slecht: groter dan 2%.

3.2.5. Tijdsduur tussen einde ontgraven en start betonneren

De tijdsduur tussen ontgraven en start betonneren is een indicator voor de kans dat zich bentoniet in de voeg hecht die tijdens het betonneren niet wordt verwijderd. Dit komt doordat op het moment dat het paneel op diepte is, de bentoniet tot rust kan komen. Weliswaar wordt de bentoniet nog opgeschoond en worden de wapeningskorven er in gehangen, maar als er veel tijd voor het betonneren zit, is dat een indicatie dat het bentoniet lang stil heeft gestaan. Het is dan waarschijnlijk dat er een relatief dikke bentoniet cake aan het reeds gestorte paneel hecht. Afhankelijk van de ontwikkeling van de schuifsterkte in de tijd kan een dergelijke aanhechting blijven zitten gedurende het ontzanden, c.q. het verversen van de bentoniet en zelfs tijdens het betonstorten. Het gevolg is dat er ter plaatse van de voeg een doorgaande bentoniet insluiting zit met alle mogelijke gevolgen van dien.

De onder- en bovengrenzen zijn afgeleid van ervaringen bij het vervaardigen van diepwanden in het algemeen en vergeleken met de gegevens van Ceintuurbaan, om te verifiëren of station Ceintuurbaan als "goed" bestempeld wordt. De grenzen voor de tijdsduur tussen einde ontgraven en start betonneren zijn:

- goed: minder dan 1 dag;
- matig: tussen 1 en 3 dagen;
- slecht: meer dan 3 dagen.

3.2.6. Tijdsduur tussen verwijderen voegplank en start betonneren

Dit criterium overlapt het vorige, maar is niet altijd uit de geboortegegevens af te leiden. Desondanks is het criterium wel van belang, want op het moment dat de voegplank verwijderd wordt, kan bentoniet aanhechten aan de beton van het voorgaande paneel. Zolang nog ontgraven wordt, is de bentoniet in beweging en zal het aanhechten langzamer gaan. Als er een weekend tussen zit of de werkzaamheden hebben om een andere reden stil gelegen, kan de bentoniet tot rust komen en dit versnelt het aanhechtingsproces. Weliswaar wordt de bentoniet nog opgeschoond en worden de wapeningskorven er in gehangen, maar afhankelijk van de ontwikkeling van de schuifsterkte in de tijd kan een dergelijke aanhechting blijven zitten tot en met het betonstorten. Het gevolg is dat er ter plaatse van de voeg een doorgaande bentoniet insluiting zit met alle mogelijke gevolgen van dien.

De grenzen zijn gebaseerd op paragraaf B3.2.1, B3.2.5 en informatie omtrent de ontgravingswijze. Op het moment dat de voegplank verwijderd wordt, is het paneel namelijk tot de onderzijde van de voegplank ontgraven (ca. NAP -35 m), zodat nog ca. 12 m ontgraven moet worden. Hiervoor is ruim 1 dag benodigd evenals voor de tijd tussen einde ontgraving – start betonneren 1. De totale tijdsduur komt hiermee uit op ruim 2 dagen, zodat als zijnde "goed" minder dan 3 dagen wordt aangehouden. Op soortgelijke wijze is de ondergrens bepaald.

De volgende onder- en bovengrenzen voor de tijdsduur tussen verwijderen van de voegplank en start betonneren zijn gehanteerd:

- goed: minder dan 3 dagen;
- matig: tussen 3 en 5 dagen;
- slecht: meer dan 5 dagen.

3.2.7. Tijdsduur ontgraven naastgelegen panelen

Naarmate een voegplank langer in de grond zit, wordt de aanhechting tussen de voegplank en beton ook steeds beter. Daarnaast verhardt de beton in de tijd, zodat in geval van omloopbeton de weerstand ook steeds toeneemt. Moeilijkheden bij het verwijderen van de voegplank kan er op duiden dat de grijper tijdens het graven niet (door middel van de klauwen) is geleid langs de voegplank. Ook is het mogelijk dat het voegprofiel, door het uittrekken met vijzels, beschadigd is of dat het voegprofiel zelfs niet verwijderd kon worden.

De tijdsduur tussen het vervaardigen van naast elkaar gelegen panelen is derhalve een criterium om op te beoordelen. De volgende onder- en bovengrenzen voor de tijdsduur tussen het graven van naast elkaar gelegen panelen zijn gehanteerd:

- goed: minder dan 14 dagen
- matig: tussen 14 en 30 dagen
- slecht: meer dan 30 dagen

Voor de tijdsduur tussen het ontgraven van de naastgelegen panelen is geen officiële richtlijn of eis voorhanden, noch zijn er algemene geaccepteerde vuistregels voorhanden. Dit betekent dat de bovengenoemde grenzen hoofdzakelijk op praktisch gevoel zijn afgeleid en daarmee enigszins arbitrair zijn. Ook te snel ontgraven na het storten kan een probleem zijn. Voor zover bij Deltares bekend is dit echter nog nooit vastgesteld en zijn daar ook geen aanwijzingen voor gevonden. Te snel ontgraven na het beton storten is derhalve niet in de analyse meegenomen.

3.2.8. Betonsamenstelling vs maaswijdte

Zoals in paragraaf B3.2.2 reeds is aangegeven, hangen de toelaatbare stortnelheid, de betonsamenstelling, de maaswijdte en de kwaliteit van de bentoniet met elkaar samen. De betonsamenstelling en de maaswijdte worden derhalve samen beschouwd. Omdat de betonsamenstelling vanaf Rokin fase 1 gewijzigd is in verband met omloopbeton is voor alle andere fases (Rokin fase 2, Vijzelgracht fase 1 en 2 en Ceintuurbaan) in principe dezelfde betonkwaliteit gebruikt: B35 CEM42,5N 50%N32. Dit betekent dat de maaswijdte de te vergelijken parameter is. Omdat de diepwand bij Ceintuurbaan relatief waterdicht is, wordt de combinatie betonsamenstelling-maaswijdte die daar gebruikt is, als referentie gebruikt. Bij het ontwerp van de wapeningskorven was de maaswijdte overigens afgestemd op een maximale korrelgrootte van de beton van 16 mm, waardoor deze krap is in relatie tot de gebruikte korreldiameter van 32 mm in de beton.

Als criteria wordt gehanteerd dat de maaswijdte bij voorkeur 7 x de grootste korreldiameter in het beton is en bij een maaswijdte kleiner dan 4 x de grootste korreldiameter een grote kans op problemen bij het doorstromen optreden. De volgende onder- en bovengrenzen zijn gehanteerd:

- goed: maaswijdte meer dan 22 cm;
- matig: tussen 13 en 22 cm;
- slecht: minder dan 13 cm.

Opmerking:

Deltares heeft geen informatie omtrent de maaswijdte ontvangen, zodat bovengenoemde criteria niet meegenomen zijn in de analyse. Ook kon in de beschikbare gegevens geen nadere

informatie achterhaald worden over de betonsamenstelling, bijvoorbeeld het toepassen van vertragers.

3.2.9. Werkploegen

Bij het graven van de diepwanden is met meerdere machines gewerkt. Het is bekend dat in de uitvoering van in het werk gestorte palen en diepwanden een groot verschil in kwaliteit van het geleverde product kan ontstaan door verschillende werkploegen. Op voorhand is het echter niet mogelijk om aan te geven dat werkploeg x slecht werk levert en dat werkploeg y de beste panelen levert. Wel kan in de analyse bekeken worden of panelen waar veel uitvoeringsparameters als "slecht" beoordeeld worden door dezelfde werkploeg zijn gemaakt. Als bijvoorbeeld alle panelen waarbij lekkage is opgetreden (24, 25, 68, 70, 89 en 90) door dezelfde werkploeg zijn gemaakt, zouden alle panelen die door deze werkploeg zijn ontgraven mogelijk ook als groot / zeer groot risico geclassificeerd kunnen worden.

3.2.10. Dagrapporten

Uit de dagrapporten zijn opmerkingen over obstakels, omloopbeton, correctie voor extreme scheefstand, houtresten, stagnatie bij betonstorten, problemen bij verwijderen stopeind en houten palen afgeleid. Het is echter niet zo dat bij panelen waar afwijkingen zijn gerapporteerd per definitie lekkage optreedt. De gegevens uit de dagrapporten kunnen eerder gebruikt worden ter verklaring van een afwijkende waarde bij de uitvoeringsgegevens. Als het ontgraven bijvoorbeeld (te) lang geduurd heeft, waren er veelal problemen met omloopbeton of met het verwijderen van de voegplank. Bij grote scheefstanden wordt bijvoorbeeld juist melding gemaakt van veel houten palen of andere obstakels.

Een afwijkende waarde bij de analyse van de uitvoeringsgegevens in combinatie met opmerkingen uit de dagrapporten maakt een paneel / voeg echter wel verdacht.

3.2.11. Grondverbetering vóór ontgraven panelen

Deltares heeft van station Vijzelgracht geen gegevens ontvangen over de grondverbetering c.q. de verwijdering van obstakels die voor het ontgraven van de panelen is uitgevoerd. Bekend is welke grondverbeteringstechniek in fase 1 en 2 is uitgevoerd, maar op basis daarvan kan geen relatie met lekkages worden gelegd. Deltares verwacht niet dat aanvullende gegevens tot een nader onderscheid met betrekking tot de ernst van lekkages zal leiden.

3.3. Texplormetingen

De resultaten van Texplor bij station Vijzelgracht worden als controle gebruikt. Zoals gezegd, moeten voegen die op basis van de uitvoeringsgegevens als onverdacht zijn geclassificeerd, ook volgens Texplor als onverdacht zijn bestempeld. Concreet betreft het alle locaties die niet als anomalie zijn bestempeld. Omdat de meetresultaten de afwijking weergeven ten opzichte van de gemiddelde achtergrondwaarde zijn de metingen niet onderling vergelijkbaar (de meetresultaten in één meetronde zijn wel onderling vergelijkbaar). Dit betekent dat een voeg op basis van Texplor alleen als verdacht of onverdacht kan worden beoordeeld.

Dit leidt tot de volgende grenzen:

- goed: geen "gekleurde" potentiaallijnen;
- slecht: "gekleurde" potentiaallijnen.

Van belang hierbij is de conclusie die de TU Delft heeft getrokken over de veiligheid van door Texplor als onverdacht aangemerkte locaties, zie paragraaf 2.2.2. Er kan niet gezegd worden dat bij een onverdachte locatie geen lekkage kan optreden. De kans op een lekkage is echter wel kleiner dan bij een als anomalie bestempelde locatie. Kortom, ook onverdachte voegen zullen in de risico classificatie moeten worden meegenomen, maar zolang de resultaten van Texplor niet gevalideerd kunnen worden, is een concrete classificatie (klein, matig, groot) niet mogelijk.

3.4. Samenvatting criteria en bijbehorende risico's

In tabel B3.1 is een samenvatting gegeven van de criteria die bij de analyse van de uitvoeringsgegevens van station Vijzelgracht gebruikt zijn en de bijbehorende boven- en ondergrenzen.

| Parameter | Eenheid | goed | matig | slecht |
|---|---------------------|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Ontgravingsnelheid | m ² /dag | >50 | 30≤x≤50 | <30 |
| Duur eind ontgraven – start betonneren | dagen | <1 | 1≤x≤3 | >3 |
| Duur verwijderen voegplank – start betonneren | dagen | <3 | 3≤x≤5 | >5 |
| Duur tussen ontgraven naastgelegen panelen | dagen | <14 | 14≤x≤30 | >30 |
| Stortsnelheid betonneren | m/uur | 3≤ x <12 | 12≤x≤15 | <3 of >15 |
| Dichtheid bentoniet | kN/m ³ | <11,5 | - | ≥11,5 |
| Zand in bentoniet | % | <2 | - | ≥2 |
| Viscositeit | sec | 32≤x≤50 | - | <32 of >50 |
| Scheefstand tot NAP -30 m; fase 2 | cm | <2,5 | 2,5≤x≤4 | >4 |
| Scheefstand tot NAP -30 m; fase 1 | cm | <4 | 4≤x≤5,5 | >5,5 |
| Maaswijdte wapeningskorf | cm | > 7 D _{grind} | 7 D _{gr} >x>4D _{gr} | < 4D _{grind} |
| Texplor | - | geen anomalie | - | anomalie |

Tabel B3.1 Overzicht criteria en de bijbehorende boven- en ondergrenzen.

3.5. IJken resultaten analyse met bekende voegen

Omdat het (voor zover bij Deltares bekend), niet mogelijk is om met de huidige beschikbare meettechnieken de ernst van verdachte plekken onder de grond te bepalen, is getracht de uitvoeringsgegevens en de dagboeken van de onderaannemer (Franki/Cementation) en het Dagelijks Toezicht te analyseren.

In bijlage 4 zijn de datasheets opgenomen met de uitvoeringsgegevens en de opmerkingen uit de dagboeken van panelen waarvan bekend is dat voegen lekken en panelen met, volgens Texplor, onverdachte voegen. Tevens zijn de criteria opgenomen, waarbij middels een groene, oranje en rode arcering de beoordeling visueel is gemaakt. Het complete overzicht van alle voegen is in bijlage 5 opgenomen.

In deze paragraaf wordt getoetst in hoeverre de bekende slechte voegen als slecht uit de analyse naar voren komen en de volgens Texplor onverdachte voegen als goed. Op basis van deze ijking kan een uitspraak worden gedaan over de inzetbaarheid van de analyse voor de risico classificatie van de overige voegen / panelen.

3.6. Voegen 24/25, 69/70 en 89/90

Voeg 24/25

Uit de verkregen informatie is gebleken dat deze bentoniet insluiting direct naast de voeg 24/25 in paneel 24 zat (in de wapeningsvrije zone). Uit de dagrapporten volgt dat de scheefstand van paneel 24 loodrecht op het vlak van de diepewand groot was, waardoor er problemen waren met het inhangen van de voegplank. De scheefstand werd veroorzaakt door veel houten palen (afgeleid uit de opmerkingen in de dagrapporten), waardoor de grijper een afwijking kreeg. Verder blijkt het verschil in scheefstand in het vlak van de wand tussen paneel 24 en 25 groot te zijn als ervan wordt uitgegaan dat insnijding in het reeds gestorte paneel (paneel 24) onmogelijk is. Op een diepte tot NAP -30 m bedraagt het gecorrigeerde "gat" 19 cm.

Tijdens het storten van paneel 24 heeft de aannemer grote moeite gehad de betonmixers binnen te krijgen (afgeleid uit de opmerkingen in de dagrapporten); dit resulteert in een relatief lage stortsnelheid van 8 m/uur in vergelijking met andere panelen, maar dus nog wel ruim boven de ondergrens van 3 m/uur. De stortsnelheid van paneel 25 is met 16 m/uur daarentegen erg hoog. Omdat de bentoniet insluiting in paneel 24 is waargenomen, lijkt er geen relatie tussen de hoge stortsnelheid bij paneel 25 en de lekkage.

Er zijn dus meerdere zaken die afwijkend zijn en de voeg 24/25 daarmee verdacht maken, maar het is niet goed mogelijk om één aspect als hoofdoorzaak aan te wijzen.

Voeg 89/90

De graafsnelheid van paneel 90 is erg laag met gemiddeld 17 m²/dag erg laag. Dit wordt veroorzaakt doordat er problemen waren met het lossen van voegplanken (zie opmerkingen dagrapporten). Paneel 90 was een sluitpaneel (paneel tussen twee reeds gestorte panelen), zodat zowel van paneel 89 als 91 voegplanken verwijderd moesten worden. Tussen start van het ontgraven van paneel 90 en 91 zat 28 dagen, hetgeen mogelijk tot een sterke aanhechting van het voegprofiel aan de beton geleid heeft. Uiteindelijk heeft men de voegplank van paneel 89 niet kunnen verwijderen. Tussen start ontgraven bij paneel 89 – 90 zat slechts 6 dagen, hetgeen niet afwijkend is.

Voeg 69/70

Bij het ontgraven en storten van paneel 69 zijn geen afwijkende zaken waargenomen. Bij het ontgraven van paneel 70 valt op, dat na het verwijderen van het voegprofiel de werkzaamheden 3,5 dag stil hebben gelegen vanwege een weekend en een kapotte machine. Bentoniet stijft dan op en is mogelijk aan het beton van paneel 69 gaan hechten. Lokaal is deze bentonietcake mogelijk blijven zitten tijdens het verversen van de bentoniet en het betonneren.

Daarnaast wordt in de dagrapporten vermeld dat er bij paneel 70 beperkte problemen waren met het verwijderen van het voegprofiel als gevolg van omloopbeton op NAP -27 m.

Ook hier geldt derhalve dat er meerdere zaken zijn die aanleiding geven om de voeg verdacht te maken, maar dat het niet mogelijk is om een duidelijke hoofdoorzaak aan te wijzen.

Conclusie

Uit de analyse van de uitvoeringsgegevens van de voegen 24/25, 69/70 en 89/90 volgt dat voor alle voegen wel een aanwijzing kan worden gevonden die tot de lekkage kan hebben geleid, zonder echter een duidelijke hoofdoorzaak aan te kunnen wijzen. Uitzondering is voeg 89/90 waar een voegprofiel is achter gebleven en de jetgroutkolom aan de buitenzijde, die als reparatie diende, mislukt is. Andersom geredeneerd, uit de analyse van de uitvoeringsgegevens en/of de dagboeken volgt in ieder geval niet dat de desbetreffende voegen goed zouden moeten zijn.

3.7. Onverdachte voegen volgens Texplor

Bij de voegen die volgens Texplor onverdacht zijn, zouden uit de analyse van de uitvoeringsgegevens en de dagboeken ook geen afwijkingen naar voren moeten komen die duiden op een mogelijk lek.

Uit de Texplormetingen volgt dat er in totaal $114 - 87 = 27$ voegen zijn waar geen anomalie is waargenomen. Bij het merendeel van deze voegen is bij de analyse van de uitvoeringsgegevens en de dagboeken wel een afwijking waargenomen. Er zijn 16 voegen die toch een afwijking laten zien bij de uitvoeringsgegevens. Dit betekent dat niet met absolute zekerheid kan worden gezegd dat een niet-verdachte voeg volgens Texplor ook bij de analyse van de uitvoeringsgegevens als onverdacht kan worden beschouwd. Dit komt dus overeen met de conclusie van de TU Delft naar aanleiding van het bestuderen van de door Texplor gehanteerde meetmethode.

Bovenstaande betekent dat een "verdachte" beoordeling uit de analyse van de uitvoeringsgegevens bij een, volgens Texplor, niet verdachte locatie toch een (nog niet te classificeren) risico op lekkage inhoudt. Bij voegen en panelen die zowel in de analyse van de geboortegegevens als door Texplor goed zijn bestempeld, kan in principe ook lekkage optreden. Het risico is echter klein, maar op basis van het onderzoek van de TU Delft niet verwaarloosbaar. Uit de vergelijking van de uitvoeringsgegevens en de Texplor metingen blijkt dat bij de onverdachte voegen een redelijke overeenstemming aanwezig is.

3.8. Voegen 40/41 en 72/73

De voegen 40/41 en 72/73 zijn door Texplor als anomalie bestempeld en zijn op 09-09-2008 geïnspecteerd. Er zijn over het vrij gegraven gedeelte (van NAP -13 m tot NAP -16,9 m) geen slechte plekken geconstateerd. Dit wil echter niet zeggen dat Texplor een verkeerde analyse heeft gedaan, omdat tussen NAP -16,9 m en bovenzijde Eemklei nog niet ontgraven is. Over dit traject zou derhalve nog een afwijking kunnen zitten, zodat het niet mogelijk is om in deze fase de Texplormetingen te valideren.