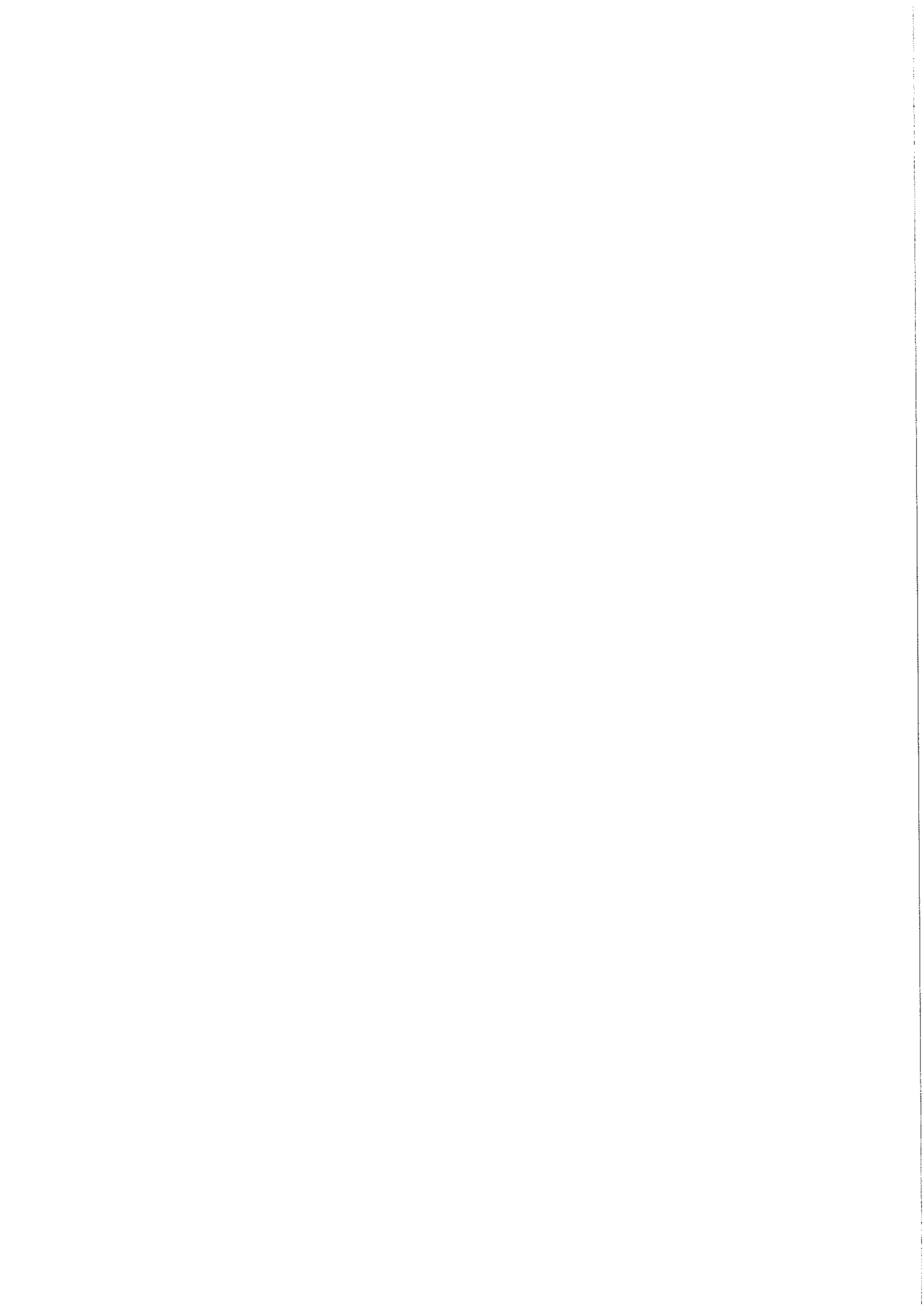


Bijlage 4



Plan van aanpak herstel diepwanden stations Vijzelgracht en Rokin

Varianten afweging



Samenvatting

Dit rapport is opgesteld door het Projectbureau Noord Zuid Lijn om te komen tot een herstart van de werkzaamheden op de stations Rokin en Vijzelgracht. In beginsel is dit rapport gebaseerd op de bevindingen van de adviseur van DMB, Deltares, de mening van PBNZL en de door haar geconsulteerde externe adviseurs, alsmede de voorstellen van de aannemer van de drie diepe stations: Max Bögl.

Na het incident Vijzelgracht van 10 september 2008 zijn door DMB de werkzaamheden aan station Vijzelgracht stilgelegd, en ook aan Station Rokin. Door Deltares is in opdracht van DMB nader onderzoek gedaan naar de oorzaak van de calamiteit. Beide stations zijn opgenomen met de Texplormethode en voor beide stations is een feitenonderzoek gaande. De eerste onderzoekresultaten wijzen het volgende uit dat:

- Het risico zich beperkt tot de voegen. De kans op lekkages in de panelen zelf, niet nabij een voeg, wordt uiterst klein geacht;
- Ter plaatse van veel diepwandvoegen zijn meer of minder verdachte plekken gelokaliseerd;
- Voor de geconstateerde verdachte plekken is geen enkelvoudige, duidelijk aanwijsbare oorzaak aan te duiden. De tot op heden geconstateerde verdachte plekken lijken een opeenstapeling van meerdere mogelijke afwijkende parameters;
- Het is niet uit te sluiten dat op plaatsen waar met de huidige onderzoeken niets is geconstateerd er toch insluitingen voorkomen.

Om de werkzaamheden te kunnen hervatten is het nodig de huidige werkwijze te beschouwen en aan te scherpen. Ook is het nodig de verschillende opties, waarmee de kans op een herhaling van één van de drie genoemde incidenten zo niet uitgesloten danwel zeer beperkt kan worden, te beschouwen.

Elke in dit rapport opgenomen methode is uitgewerkt vanuit de volgende visie:

- Bij de aanleg van een diepwand is tijdens de bouw moeilijk na te gaan of deze voldoende waterdicht is, gewoonlijk is er een bepaald geaccepteerd debiet. Een afwijking in de diepwand wordt pas ontdekt tijdens het ontgraven door visuele inspectie.
- De drie incidenten die er tot op heden zijn geweest bij de diepe stations hebben geleerd dat een grote lekkage zeer snel en onaangekondigd kan plaatsvinden. Incidenten laten zich niet of nauwelijks voorspellen. Gevolgen treden in een zeer kort tijdsbestek (enkele uren) op.
- Maatregelen dienen gericht te zijn op het voorkomen van de ongewenste gevolgen van een afwijking, dus op het **voorkomen** van een doorbraak (waardoor de omgeving schade ondervindt).

Om een lekkage en of doorbraak bij het verder ontgraven van de stations Rokin en Vijzelgracht te voorkomen zijn verschillende technische mogelijkheden beschouwd, deze zijn:

- Het toepassen van preventieve maatregelen aan de buitenzijde van het station;
- Het toepassen van preventieve maatregelen aan de binnenzijde van het station;
- Het toepassen van correctieve maatregelen aan de binnenzijde van het station tijdens het ontgraven;
- Wijziging van de vigerende uitvoeringswijze.

Na analyse zijn enkele methoden overgebleven waarmee praktische scenario's voor herstart zijn opgesteld. In de praktijk blijkt namelijk dat niet elke methode overal toegepast kan worden. Een scenario gaat uit van de gekozen optie en zal, waar deze niet toegepast kan worden, gecombineerd worden met een andere optie.

De volgende scenario's zijn uitgewerkt:

- Scenario Injecteren aan de buitenzijde;
- Scenario Bevriezen aan de buitenzijde;
- Scenario Bevriezen aan de binnenzijde;
- Scenario Ontgraven op de methode 4 september +.

Bij ieder scenario is gekeken naar technische mogelijkheden, invloed op de omgeving, restrisico, tijd en kosten.

Tot slot resulteren alle over- en afwegingen in een voorstel voor herstart voor beide stations.

Hierbij wordt uitgegaan van het zogenaamde max-min model. Dit betekent dat het scenario met het kleinste restrisico voor de standzekerheid van de belendingen zal worden voorgesteld. In volgorde van opvolgend restrisico zullen de overige scenario's worden gepresenteerd. Achtergrond van deze benadering is dat de levenslange standzekerheid van de belendingen niet ondergeschikt mag worden gemaakt aan de tijdelijke, hoe vervelend ook, hinder van de maatregelen voor de omgeving.

In dit max-min model wordt dus eerst het meest robuuste scenario beschreven, waarbij de kans op een restrisico voor de standzekerheid van de belendingen tot een minimum kan worden gereduceerd.

De meest robuuste oplossing bestaat uit vriezen aan de buitenzijde tot de voorzetwand is gezet.

Omdat deze preventieve maatregel gelijktijdig moeten worden uitgevoerd met de mitigerende maatregel verbonden aan het zekerstellen van de fundering van de panden 2 t/m 10 en deze correctieve maatregelen eerst uitgevoerd moeten worden voordat begonnen kan worden het vriezen van buitenaf, waarbij tevens de impact op de omgeving zeer groot is, geniet deze optie in tijd gezien (en in kosten) niet onze voorkeur.

De daarop volgende mogelijkheid is vriezen aan de binnenzijde en reparatie van alle voegen onder bevroren omstandigheden, waarbij deels onafhankelijk gewerkt kan worden van het funderingsherstel van de panden 2 t/m 10, en de impact op de omgeving tot een minimum is beperkt. Deze mogelijkheid is eveneens als zeer betrouwbaar te kwalificeren, zelfs met een mindere tijdelijke overlast voor de omgeving en lagere kosten.

Uit bovenstaande volgt dat voor Station Vijzelgracht het scenario 'Vriezen aan de binnenzijde en reparatie van alle voegen' wordt voorgesteld.

Voor een verder inzicht in de afwegingen is aan het einde van deze samenvatting de tabel 'Scenario's Station Vijzelgracht' opgenomen.

Voor Station Rokin gelden dezelfde overwegingen met dien verstande dat het scenario 'Vriezen aan de buitenzijde (met pek) incl. aanbrengen van de voorzetwand' gezien zijn impact op de omgeving en de eraan verbonden kosten en tijdsbeslag niet de voorkeur verdient en dat ook **voor Station Rokin wordt voorgesteld om te kiezen voor het scenario 'Vriezen aan de binnenzijde en reparatie van alle voegen'**

Voor een verder inzicht in de afwegingen is aan het einde van deze samenvatting de tabel 'Scenario's Station Rokin' opgenomen.

In onderstaande afwegingstabel zijn de potentiële scenario's voor Station Vijzelgracht opgenomen.

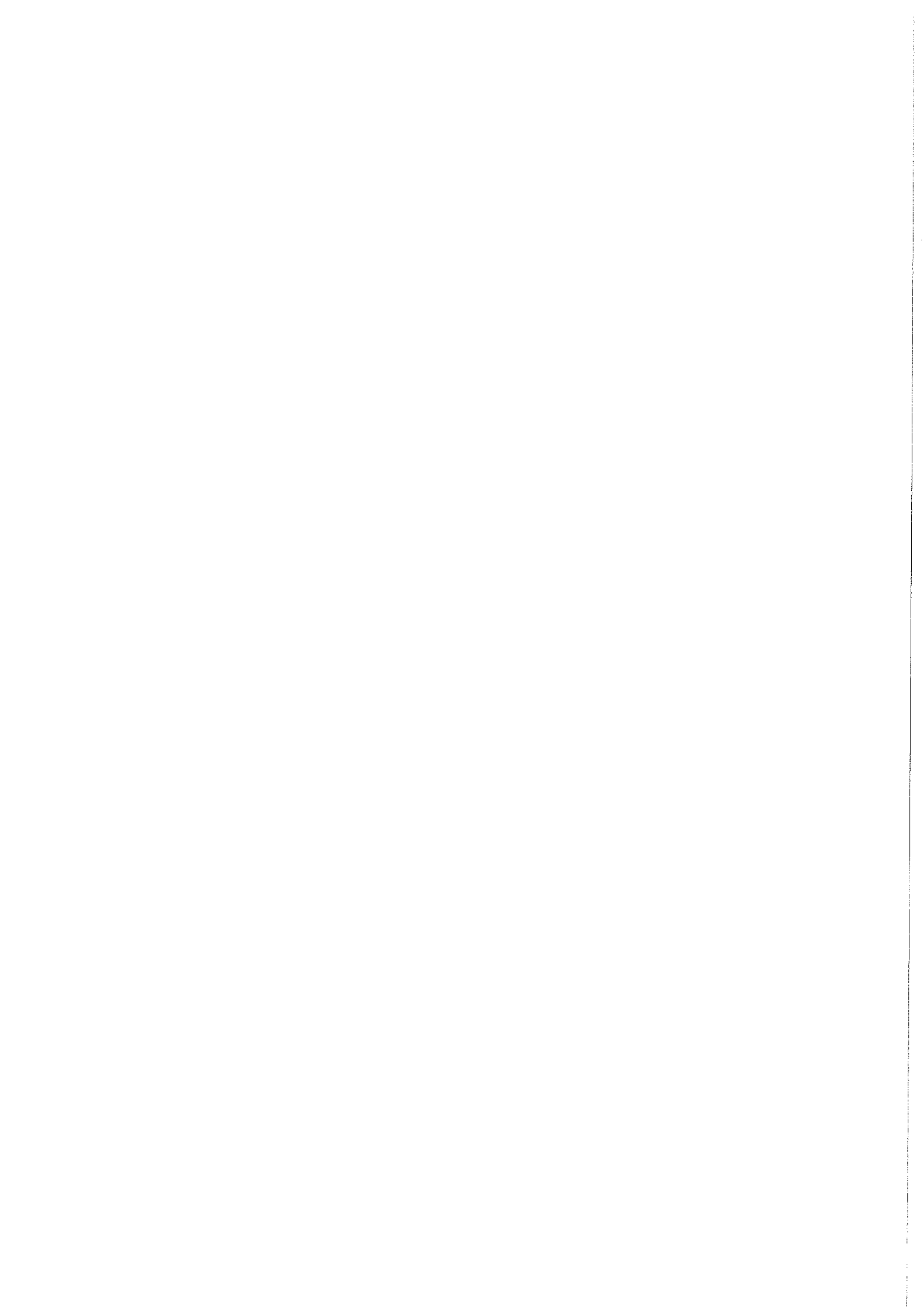
Omschrijving	Betrouwbaarheid				Uitvoerbaarheid				Score	Tijd
	Uitvoerings-nauwkeurigheid	Duurzaamheid	Heterogene ondergrond	Controle herstelmaat-regel	Obstakels	Bereikbaarheid c.q. Tijdelijke effect in omgeving / leefbaarheid	Risico uitvoering maatregel	Effect op standzekerheid belendingen		
Vriezen aan de buitenzijde incl aanbrengen van de voorzetwand (met pekkel)	++	++	++	++	++	--	++	++	12	47
Vriezen aan de binnenzijde en reparatie van alle voegen	++	++	++	++	++	+	+	++	14	47
Injecteren van de voegen aan de buitenzijde	+	++	0	+	+	--	+	+	5	42
September 4+ oplossing	0	+	++	0	++	++	0	0	7	36

Tabel: 'Scenario's Station Vijzelgracht'

In onderstaande afwegingstabel zijn de potentiële scenario's voor Station Rokin opgenomen.

Omschrijving	Betrouwbaarheid				Uitvoerbaarheid				Score	Tijd
	Uitvoerings-nauwkeurigheid	Duurzaamheid	Heterogene ondergrond	Controle herstelmaat-regel	Obstakels	Bereikbaarheid c.q. Tijdelijke effect in omgeving / leefbaarheid	Risico uitvoering maatregel	Effect op standzekerheid belendingen		
Vriezen aan de buitenzijde incl aanbrengen van de voorzetwand (met pekkel)	++	++	++	++	++	--	++	++	12	31
Vriezen aan de binnenzijde en reparatie van alle voegen	++	++	++	++	++	+	+	++	14	28
Injecteren van de voegen aan de buitenzijde	+	++	0	+	+	--	+	+	5	28
September 4+ oplossing	0	+	++	0	++	++	0	0	7	17

Tabel: 'Scenario's Station Rokin'



Inhoud

Samenvatting	3
1 Inleiding	12
2 Leeswijzer	15
3 Werkwijze toegepast bij herstart werkzaamheden op 9 september 2008	16
4 Visie op het voorkomen van calamiteiten	17
5 Technische mogelijkheden	18
5.1 Preventieve maatregelen aan de buitenzijde van de diepwand	19
5.1.1 Traditionele verticale injectie	20
5.1.2 Injectie d.m.v. een Geostang	23
5.1.3 Het injecteren van holle ruimten met Dämmer	23
5.1.4 Hoge druk grout injectie	24
5.1.5 Grondverbetering d.m.v. Mixed In Place	25
5.1.6 Het doorboren van bovenaf van de voeg van de diepwand en vervolgens traditioneel injecteren	25
5.1.7 Bevriezen met stikstof	26
5.1.8 Bevriezen met pekkel	28
5.1.9 Het aanbrengen van dubbele damwandplank	29
5.1.10 Het aanbrengen van een boorpaal of boorpalen	30
5.1.11 Het aanbrengen van een (ongewapend) diepwandpaneel	31
5.2 Preventieve maatregelen aan de binnenzijde van de diepwand	32
5.2.1 Voegen aan de binnenzijde injecteren	32
5.2.2 Aan de binnenzijde tegen de voeg een grondinjectie aanbrengen	33
5.2.3 Aan de binnenzijde tegen de voeg een dubbele damwandplank aanbrengen	34
5.2.4 Aan de binnenzijde bij de voeg de grond bevriezen	35

5.3	Correctieve maatregelen aan de binnenzijde van de diepwand	36
5.3.1	Stalen platen met rubberafdichting, kleikorrels en zandzakken	36
5.3.2	Voegen aan de binnenzijde voorzien van stalen platen	37
5.3.3	Ontgravingmethode 4 september +	38
5.4	Wijziging van de vigerende uitvoeringswijze	38
5.4.1	Nat ontgraven	38
5.4.2	Werken onder verhoogde luchtdruk	39
5.5	Samenvatting van de verschillende opties	40
6	Scenario's voor herstart diepe stations	42
6.1	Scenarioafweging	42
6.2	De scenario's	42
6.2.1	Aanbevelingen algemeen toe te passen	42
6.3	Station Vijzelgracht	43
6.3.1	Scenario Injecteren aan de buitenzijde	43
6.3.2	Scenario Bevriezen aan de buitenzijde	44
6.3.3	Scenario vriezen aan de binnenzijde	44
6.3.4	Scenario Ontgraven methode 4 september, aangescherpt	45
6.4	Station Rokin	45
6.4.1	Scenario Injecteren aan de buitenzijde	45
6.4.2	Scenario Bevriezen aan de buitenzijde	46
6.4.3	Scenario vriezen aan de binnenzijde	47
6.4.4	Scenario Ontgraven methode 4 september, aangescherpt	47
7	Voorstel van PBNZL	48
7.1	Keuze op basis van standzekerheid belendingen	48
7.2	Keuze op basis van uitvoeringstechniek	49
7.3	Keuze op basis van de omgeving	49
7.4	Keuze op basis van financiën	49
7.5	Mogelijkheden voor herstart volgens het max-min model	50
7.6	Randvoorwaarden hervatten werkzaamheden	51
7.7	Advies van het Projectbureau	51
8	Vervolg	54
9	Referenties	55

Bijlage 1	Overzicht Station Rokin	56
Bijlage 2	Overzicht Station Vijzelgracht	57
Bijlage 3	Uitwerking van de verschillende opties door de aannemer	58
Bijlage 4	Uitwerking van de opties door PBNZL	59
Bijlage 5	Rapportage Monitoring	60
Bijlage 6	Consequenties voor de organisatie	61

1 Inleiding

De rapportage is opgesplitst in twee delen: deel inzake "het herstel van diepwanden" (voorliggend) en deel "start ontgraven". Beide documenten dienen de goedkeuring te hebben van DMB. In voorliggend rapport worden een aantal onderwerpen (niet technisch) op hoofdlijnen beschreven met de bijbehorende nog uit voeren acties. Deze onderwerpen zijn met name van belang voor de start van het verder ontgraven van de stations en zullen dan in detail beschreven zijn.

Tijdens ontgravingwerkzaamheden bij de aanleg van metrostation Vijzelgracht is op 17 en op 19 juni 2008 een lekkage ontstaan in de diepwand bij respectievelijk voeg 24/25 en 89/90. Water en grond zijn de bouwkuip in gestroomd en als gevolg van de lekkage bij voeg 89/90 zijn de panden Vijzelgracht 20, 22, 24 en 26 verzakt, hierbij is pand 26 het meest verzakt en 20 het minst. Pand 26 ligt het dichtst bij voeg 89/90. Voeg 89/90 is een bekende en benoemde voeg met problemen, de voegplank is achtergebleven in de diepwandsleuf en als herstelmaatregel is getracht aan de buitenzijde een jet-grout kolom te maken, echter is dit mislukt. Als controle is hier een peilbuis geplaatst. Voeg 24/25 is een voeg waarbij geen aanleiding bestond om te twifelen aan de waterdichtheid. Het PB heeft een rapport over het incident opgesteld (kenmerk 5.2-7.2/8023029, van 8 juli 2008) dat door DMB en Deltares is beoordeeld. Op advies van Deltares is in juli/augustus 2008 een onderzoek gedaan waarbij de hele wand van het station d.m.v. de methode Texplor is opgenomen, en vervolgens is er door het Projectbureau Noord Zuid Lijn, in samenwerking met Max Bögl, een werkwijze voorgesteld om de werkzaamheden te hervatten.

Op 04 september 2008 is in een overleg waaraan DMB, PBNZL, Deltares en Max Bögl deelnamen, door DMB op positief advies van Deltares toestemming gegeven om op basis van de bovengenoemde rapportage op 09 september 2008 de ontgravingwerkzaamheden te hervatten. Kern van het rapport van het PBNZL was om op zeer prudente wijze een inbraak te maken in het noordelijke deel van de bouwput om op deze wijze de geconstateerde anomalieën te kalibreren en/of te valideren. Op 9 september is hiermee begonnen bij de voegen 72/73 en 40/41. Op 10 september is voeg 69/70 bloot gegraven en heeft zich, tijdens het uitvoeren van preventieve herstelmaatregelen, een lekkage voorgedaan, waardoor de panden Vijzelgracht 2 t/m 10 en 1^o Weteringdwarstraat 68a en 70 zijn verzakt (hierbij is opnieuw water en grond de bouwput binnen gestroomd). Na bestudering van de verslaglegging door aannemer en toezicht PBNZL lijkt het in dit geval te gaan om een bentonietinsluiting.

DMB heeft op 10 september 2008 de werkzaamheden op Vijzelgracht stil gelegd. Station Rokin, wat zich in eenzelfde fase van ontgraven bevindt, is eveneens stilgelegd, waarvoor in een aangetekende brief, behandelnr A30/0070-2008, van 17 september 2008, de volgende argumentatie is gegeven, citaat: "Gelet op de eerdere calamiteit op 19 juni 2008 bij station Vijzelgracht, de rapportage en onderzoeken naar zwakke plekken in diepwanden van alle diepe stations op basis van meetmethode texplor, leggen wij ook veiligheidshalve de bouw van het station Rokin stil, totdat naar het oordeel van het Bouw-

en Woningtoezicht is aangetoond dat het werk voor beide stations op een veilige en verantwoordelijke wijze kan worden voortgezet".

DMB heeft Deltares gevraagd eerst nader onderzoek naar de oorzaak van de calamiteit te doen. Dit is uitgevoerd middels een 'feitenonderzoek' van de bouwgegevens voor station Vijzelgracht. Daarnaast is een zelfde feitenonderzoek ook uitgevoerd voor het station Rokin en is het station Rokin ook onderzocht d.m.v. Texplor metingen.

Het resultaat, kort samengevat, hiervan is dat:

- Het risico beperkt zich tot de voegen. In concept rapport 435691-0016 v01 (blz. 3) van Deltares staat daar het volgende over: *Op basis van de analyse van de oorzaak van de lekkages (zie Deltares rapportage CO435691-0003) en ondersteund door de eerdere ontgravingsresultaten en de Texplormetingen kan worden gesteld dat de lekkages alleen ter plaatse van de voegen tussen de diepwandpanelen optreden. De kans op lekkages in de panelen zelf, niet nabij een voeg, wordt uiterst klein geacht. Daarom dienen de te nemen maatregelen dan ook om lekkages ter plaatse van de voegen te voorkomen.* Deze stelling is inmiddels bevestigd in de Expertmeeting bij DMB, gehouden op donderdag 20 november 2008.
- Midden op de diepwandpanelen zijn volgens Texplor echter zowel bij Vijzelgracht als bij Rokin wel verdachte plekken gelokaliseerd, en bij het doorboren van de diepwanden van Vijzelgracht door Saturn t.b.v. de mitigerende maatregelen voor de verzakte panden Vijzelgracht 24 en 26 is bij één boring in het midden van een paneel in het midden van de wand een zand pocket aangetroffen.
- Ter plaatse van veel diepwandvoegen zijn meer of minder verdachte plekken gelokaliseerd;
- Voor de geconstateerde verdachte plekken is niet altijd enkelvoudige, duidelijk aanwijsbare oorzaak aan te duiden, één van de afwijkende criteria kan oorzaak van een lekkage zijn. Ook een opeenstapeling van meerdere mogelijke afwijkende parameters kan de oorzaak zijn.

Om de werkzaamheden te kunnen hervatten is het nodig de huidige werkwijze te beschouwen en aan te scherpen. Ook is het nodig de verschillende opties, waarmee de kans op een herhaling van één van de drie genoemde incidenten (nagenoeg) nihil dient te zijn, te beschouwen.

In dit rapport worden de huidige werkwijze en mogelijke maatregelen uiteengezet. Daarna worden verschillende scenario's weergegeven waaruit een keuze kan worden gemaakt om de werkzaamheden te hervatten.

Dit rapport is gebaseerd op de gegevens uit (referentielijst is in hst. 8 verder uitgewerkt):

- het onderzoek van Deltares [1],
- de resultaten van de Texplormetingen Vijzelgracht [2],
- de resultaten van de Texplormetingen Rokin [3],
- de rapportage van Deltares aangaande de herstart van de werkzaamheden [4],
- informatie die is opgesteld door overleg met de aannemer van de drie diepe stations Max Bögl.

Het Projectbureau Noord Zuid Lijn heeft samen met Max Bögl een analyse gemaakt van mogelijke herstelmaatregelen bij station Vijzelgracht. Hierbij is per voeg gekeken naar de mogelijke maatregelen die kunnen worden genomen om de voeg voldoende waterdicht te maken. Verder worden adviezen van andere deskundigen waar nodig toegepast.

In [1] wordt weergegeven dat het probleem zich concentreert rond de voegen tussen de diepwandpanelen. Dit rapport zal, om die reden en in lijn met de uitkomsten van de Expertmeeting van 20 november 2008, dan ook handelen over de mogelijke verbetering van de waterdichtheid van de voegen.

Verder geldt dat in de afweging welke optie het beste is meegenomen moet worden dat de preventieve maatregelen voor het ontgraven van invloed kunnen zijn op de standzekerheid van de fundering van de belendingen rondom station Vijzelgracht, reden waarom een dergelijke optie hoewel technisch inhoudelijk goed, toch niet gekozen zal worden.

2 Leeswijzer

In hoofdstuk 3 wordt de werkwijze, waarmee op 9 september 2008 een herstart is gemaakt, weergegeven.

Hoofdstuk 4 geeft de visie op het voorkomen van calamiteiten weer. In hoofdstuk 5 worden de verschillende technische mogelijkheden op een rij gezet en in hoofdstuk 6 worden scenario's voor herstart weergegeven.

In hoofdstuk 7 wordt een voorstel voor herstart van de werkzaamheden op station Rokin en station Vijzelgracht gegeven.

Hoofdstuk 8 geeft kort weer wat in het vervolg op dit rapport nog gedaan dient te worden.

Hoofdstuk 9 geeft de referentiedocumenten weer.

3 Werkwijze toegepast bij herstart werkzaamheden op 9 september 2008

In het overleg van 4 september 2008 is de volgende methode van ontgraving ter toetsing voorgelegd aan het bevoegd gezag (DMB) en haar adviseur (Deltares) en vervolgens ook goedgekeurd, en gedeeltelijk op 9 en 10 september 2008 toegepast: Citaat uit het verslag van 4 september (overgenomen is een deel uit blz 3 van 4):

(Er) kan worden begonnen met het verder ontgraven naar het noorden. Hierbij wordt een ontgravingregiem gehandhaafd waarbij er per dag een cyclus wordt afwerkt. Deze cyclus behelst dat er eerst wordt ontgraven aan de zijkanten van het station zodat de eventuele lekkages aan de diepwand vroeg op de dag kunnen worden waargenomen en dat in de loop van de dag het midden van het station wordt ontgraven. Het ontgravingfront is niet steil en er zal ontgraven worden in lagen van 1,5 tot 2 meter zodat er elke keer gelegenheid is om eventuele lekkage te detecteren en wanneer nodig zo snel als mogelijk te injecteren. Tevens is de grond in het midden van het station aanwezig om wanneer dit nodig is tegen de diepwand te worden aangewerkt. Tegelijkertijd met het naar het noorden graven vanuit de noordelijke bouwopening zal een inbraak gemaakt worden in de zuidelijke bouwopening waarbij op dezelfde wijze zal worden gewerkt als bij de noordelijke bouwopening. Eerst een strook aan de westzijde van het midden van paneel 100 tot het midden van paneel 96 en daarna oversteken naar de oostzijde. Wanneer dit geen problemen met zich meebrengt naar het zuiden toe ontgraven op de hierboven vermelde wijze. Wanneer beide ontgravingen op deze manier gereed zijn kan het middendeel op gelijke wijze worden ontgraven.

Dit gehoord hebbende adviseert Deltares aan DMB om onder deze voorwaarde de hervatting van de ontgravingwerkzaamheden op te starten. DMB op haar beurt geeft toestemming om heden de waterstand te verlagen tot onder het gewenste ontgravingniveau van NAP – 16.90 meter en om a.s. dinsdag 9 september te beginnen met de inbraak in de noordelijke bouwopening zoals hierboven uiteengezet. Vervolgens zou de inbraak in de zuidelijke bouwopening enkele dagen hierna kunnen plaatsvinden. (einde citaat).

In werkelijkheid is er op 9 september een kleine inbraak gegraven (c.a. 3.0 x 3.0 meter) aan de westzijde van het station direct onder de noordelijke bouwopening t.p.v. voeg 72/73 en aan de oostzijde t.p.v. voeg 40/41. De volgende dag, 10 september, is een zelfde inbraak gegraven bij voeg 69/70 en is de grond uit de twee voorgaande inbraken terug gebracht vanwege ruimte gebrek. Daarna is op 10 september bij het graven bij voeg 69/70 de lekkage ontstaan. Hierdoor is de werkmethode zoals hierboven beschreven nog niet daadwerkelijk in de praktijk in uitvoering gebracht.

4 Visie op het voorkomen van calamiteiten

Bij de aanleg van een diepwand is tijdens de bouw moeilijk na te gaan of deze voldoende waterdicht is, gewoonlijk is er een bepaald geaccepteerd debiet. Grote lekkages kunnen van te voren worden aangetoond door een pompproef echter de omissies zoals deze zich tot op heden hebben voorgedaan zijn alleen te ontdekken bij het ontgraven. Tot aan het incident van 10 september werden omissies of afwijkingen aan de diepwand behandeld conform de goedgekeurde Werkbeschrijving injectiewerkzaamheden diepwand Station Vijzelgracht [5] met als aanvulling het van binnenuit aan de buitenzijde injecteren van voeg 59/60. Dit laatste was nodig omdat aan de buitenzijde van deze voeg boorpalen en injectielansen waren aangebracht die extra injecteren vanaf het maaiveld onmogelijk maakte. In grote lijnen werkt dit werkplan als volgt. Er is een categorisering gemaakt van een mogelijke te constateren lekkage en per categorie is een herstelmaatregel van toepassing die varieert tussen geen maatregel bij natte voegen en/of vochtige plekken (categorie A) en direct maatregelen ter vermindering van de stroomsnelheid, direct injecteren bij grote lekkage diepwand/calamiteit (categorie H). In de praktijk komt het er op neer dat kleine omissies of afwijkingen worden geïnjecteerd door voor het voegprofiel of eventueel achter het voegprofiel injectie gaten te boren en hier polyurethaanschuim in te injecteren totdat er voldoende tegendruk wordt gevonden. Voor de calamiteiten voeg 24/25, 89/90 en 69/70 zijn, conform het werkplan, de voegen voorzien van een staalplaat waarachter vulmiddel (grout) is aangebracht. Daarna zijn de voegen aan de buiten zijde voorzien van een primaire injectie met polyurethaanschuim en een secundaire injectie van Dämmer met een naïnjectie met waterglas.

De drie incidenten die er tot op heden zijn geweest bij de diepe stations hebben geleerd dat een grote lekkage zeer snel en onaangekondigd kan plaatsvinden. Tevens hebben de incidenten geleerd dat een aanzienlijke lekkage de draagkracht van de eerste en voor een deel ook de tweede zandlaag ernstig kan aantasten waarmee de op de eerste zandlaag gefundeerde aangrenzende bebouwing aanzienlijk kan vervormen. Ook de panden die op de tweede zandlaag staan kunnen vervormen.

De incidenten hebben ook laten zien dat ze zich niet of nauwelijks laten voorspellen. Pompproeven, stijghoogte daling in de bouwput en Texplormetingen ten spijt is de conclusie dat een omissie zoals die zich heeft voorgedaan bij voeg 69/70 een risico blijft. Het is dan ook om deze reden dat de werkwijze voor herstart van de werkzaamheden robuust moet zijn. Bij ieder scenario dient daarom het restrisico benoemd te worden, en moet ook daarvoor een aanvullende oplossing gepresenteerd worden. (onder restrisico wordt voornamelijk verstaan: Risico voor de omgeving, dit is: kans op alsnog een mogelijke lekkage met gevolgen voor de standzekerheid van de nabijgelegen panden). Een afwijking in de diepwand wordt pas ontdekt tijdens het ontgraven. Maatregelen dienen daarom altijd gericht te zijn op het voorkomen van de ongewenste gevolgen van de afwijking. In dit geval dus op het voorkomen van een doorbraak (waardoor de omgeving schade ondervindt).

5 Technische mogelijkheden

Om een lekkage en of doorbraak bij het verder ontgraven van de stations Rokin en Vijzelgracht te voorkomen bestaan verschillende technische mogelijkheden, deze zijn:

- Het toepassen van preventieve maatregelen aan de buitenzijde van het station.
- Het toepassen van preventieve maatregelen aan de binnenzijde van het station.
- Het toepassen van correctieve maatregelen aan de binnenzijde van het station tijdens het ontgraven.
- Wijziging van de vigerende uitvoeringswijze

Het doel is te komen tot een werkmethode waarmee de randvoorwaarden voor het borgen van de standzekerheid van de belendingen (dit zijn: voldoende waterdicht en doorbraakveilig) worden gegarandeerd waarbij extra vertragingen worden voorkomen en de kosten worden beperkt.

(Dit in lijn met de missie die voor aanleg van de Noord/Zuidlijn is opgesteld, deze luidt: Leg de Noord/Zuidlijn zo goed, zo snel en zo goedkoop en zo veilig mogelijk aan, met daarbij zo min mogelijk overlast voor de direct betrokkenen (met name omwonenden) en de rest van de stad.)

Hierbij dient te worden bedacht dat het terug dringen van de restrisico's tot 0 niet mogelijk is en dat er daarom bij elke optie rekening gehouden zal moeten worden met een zeker restrisico. De vraag die beantwoordt zal moeten worden, is, welke maatregelen er nodig zijn om de restrisico's voldoende in te dammen tot aan een technisch en maatschappelijk aanvaardbaar niveau.

Het enige echte restrisico is 'de overgebleven kans op het optreden van een water- en grondvoerende lekkage door de diepwandvoeg na het uitvoeren van herstelmaatregelen'.

Teneinde dit risico te mitigeren wordt een zogenaamd meest robuuste scenario beschreven, waarbij de kans op een restrisico voor de standzekerheid van de belendingen met een zekerheid grenzende waarschijnlijkheid tot nul kan worden gereduceerd.

Dit scenario omvat kort gezegd de volgende componenten:

1. Breng aan de buitenzijde van de diepwanden een vriesinstallatie aan en bevries daarmee de grond ter plaatse van de voegen;
2. Ontgraaf het station en repareer slechte voegen;
3. Breng een constructieve en waterdichte voorzetwand aan over de gehele hoogte van de diepwand;
4. Verwijder de vriesinstallatie nadat de gehele voorzetwand gereed en afgenomen is.

Voor de duidelijkheid wordt nog vermeld dat bij het toepassen van een maatregel bedacht dient te worden dat het volledig waterdicht maken van een voeg moeizaam, zo niet onmogelijk is (behalve in het geval van vriezen). Echter zal de weerstand tegen lekkage aanzienlijk worden vergroot en zodoende zal het ontstaan van een daadwerkelijke

doorbraak kunnen worden voorkomen.

De verschillende opties zijn als volgt gecategoriseerd:

- 1 = Preventief aan de buitenzijde
- 2 = Preventief aan de binnenzijde
- 3 = Correctief aan de binnenzijde

5.1 Preventieve maatregelen aan de buitenzijde van de diepwand

Voor de maatregelen aan de buitenzijde van de diepwand kunnen de volgende mogelijkheden worden onderscheiden:

1. Traditionele injectie met waterglas hard of zacht, met gel, met micro cement of met cement-bentoniet
2. Injectie door middel van Geostang (roterend) met waterglas hard of zacht, met gel, met micro cement of met cement-bentoniet
3. Het injecteren van holle ruimten met Dämmer
4. Hogedruk grout injectie
5. Grondverbetering d.m.v. Mixed In Place
6. Het doorboren van bovenaf van de voeg van de diepwand en vervolgens traditioneel injecteren
7. Bevriezen met stikstof
8. Bevriezen met pekkel
9. Het aanbrengen van dubbele damwandplank
10. Het aanbrengen van een boorpaal of boorpalen
11. Het aanbrengen van een (ongewapend) diepwandpaneel

Bij elk van de hierboven vermelde opties zal worden gekeken naar de inhoud of omschrijving van de optie, het restrisico dat bij de optie wordt geschat en een 'weging/waardering van het Projectbureau Noord Zuid Lijn van de optie.

Enkele algemene opmerkingen/overwegingen

Injecties

- *Injecties werken het meest optimaal als deze worden toegepast in een omsloten ruimte. De injecties aan de buitenzijde van de stations zijn niet omsloten. De kans bestaat hierdoor dat injectievloeistof elders terecht komt dan bij de voeg. Een voldoende grond- en waterdichting is hierdoor niet op voorhand gegarandeerd.*
- *Het voorgaande kan worden gemitigeerd door het uitvoeren van een Texplor-meting na de injecties. Risico hiervan is dat anomalieën blijven bestaan, zoals eerder aangetoond ter plaatse van de voeg tussen diepwandpaneel 24 en 25*
- *Tijdens het injecteren van de voegen bestaat de kans dat insluitingen worden weggedrukt. Dit kan tot ene doorbaak (grond, water en injectievloeistof) leiden indien deze insluiting zich net onder het ontgravingniveau bevindt. Een dieper gelegen weggedrukte insluiting hoeft niet perse tot zetting van de belendingen te leiden.*
- *Een ander uitvoeringsaspect dat mogelijk van invloed op het restrisico is betreft de tolerantie op de verticaliteit van de injectie en daardoor het gevaar dat kolommen niet aansluiten op elkaar of de wand. Dit geldt ook voor andere injectiemethoden*

- *Injectie in een overgangslaag kan niet voldoende indringen maar deze laag kan nog wel voldoende watervoerend zijn om een mogelijke lekkage in de diepwand te voeden. Dit verdient nader onderzoek. De optie om te injecteren valt af indien dit risico niet gemitigeerd dan wel uitgesloten kan worden.*
- *Ook bij de verschillende injecties zal een slechte voeg aan de binnenkant moeten worden hersteld als deze is vrijgegraven. Dit geldt niet alleen voor het maken van een vrieslichaam. Er mag niet worden uitgegaan van een levensduur van de injectie die gelijk is aan de levensduur van de constructie.*

Jetgrout injecties

- *Jetgrout spoil kan ongecontroleerd naar het maaiveld komen*
- *De conusweerstand van de draagkrachtige zandlaag kan worden gereduceerd*
- *Het boren van jetgrout kolommen zal gehinderd worden door ondergrondse infrastructuur en in de grond aanwezige obstakels.*
- *Het maken van jetgroutkolommen zal tot grote hinder voor de omgeving leiden*
- *Het verkeer dient voor een lange periode omgeleid te worden*
- *De omgeving zal veel geluidhinder ondervinden*
- *Het is mogelijk om de uitvoeringsrisico's van jetgroutkolommen te beperken door de diameter te reduceren en indien nodig meerdere kleine kolommen te maken, echter gezien bovengenoemde bezwaren dient het maken van jetgroutkolommen aan de buitenzijde uitgesloten te worden.*

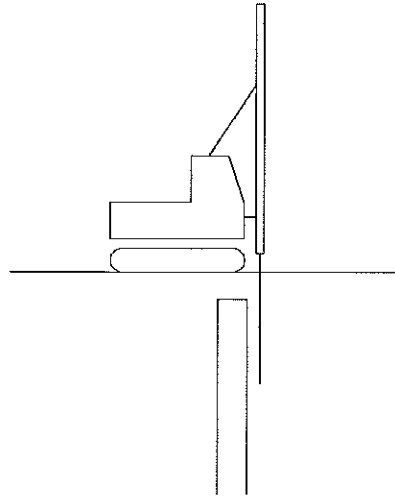
Bevriezen

- *Het operationeel houden van de vrieslansen kan door middel van een ondergrondse ringleiding waardoor de hinder voor de omgeving bij bevriezen blijft beperkt tot het aanbrengen van de vrieslansen. De hinder hiervan is vergelijkbaar met de hinder als gevolg van het aanbrengen van injectielansen*
- *Het doel van bevriezen is om de voegen aan de binnenkant veilig en verantwoord te kunnen benaderen, inspecteren en indien nodig te kunnen repareren. Het vrieslichaam kan pas dan ontdooid worden wanneer duidelijk is dat de voeg in goede staat verkeerd of de voegen aan de binnenzijde voorzien zijn van stalen platen.*
- *Voorkomen dient te worden dat het Holoceen pakket bevroren wordt binnen het bereik van de fundering van de panden, dit i.v.m. mogelijke klink/nazetting bij ontdooien. Dit kan door de vrieslansen t.p.v. het holoceenpakket te isoleren.*

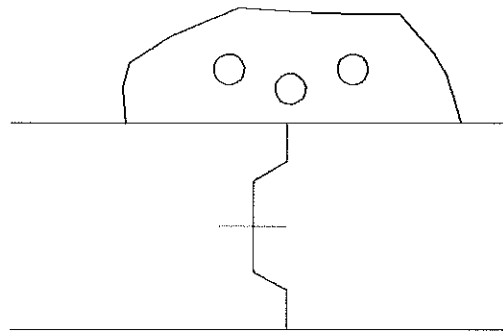
5.1.1 Traditionele verticale injectie

Omschrijving

Een traditionele injectie bestaat uit het aanbrengen d.m.v. een boring van injectiebuizen. Deze buizen zijn poreus en door het van bovenaf invoeren van injectievloeistof kan de injectie in de grond worden aangebracht. Door de toepassing van rubber packers kan de injectie per niveau worden uitgevoerd.



Injectiestelling



Aangebrachte injecties aan de buitenzijde

Een traditionele injectie kan in principe worden toegepast. De vraag die zich hierbij aandient is hoeveel injectielansen er per voeg moeten worden aangebracht om het risico van de voeg voldoende te verlagen. Hiertoe is door Max Bögl een kernboring gemaakt bij de injectie die is toegepast aan de buitenzijde van diepwand t.p.v. voeg 69/70 en Max Bögl heeft aangegeven nog een aantal proefkolommen te willen maken in het hart van station Vijzelgracht om een optimum te vinden in snelheid, uitvoerbaarheid en diameter van de injectie. De materiaalkeuze zou in beginsel hard waterglas moeten zijn daar het niet alleen gaat om waterdichtheid maar ook om het eventueel verlenen van steundruk wanneer er een zachte plek in de diepwand zit. Door de lansen in een halve cirkel om de voeg te plaatsen zou dit principe bereikt kunnen worden. Gel, zacht waterglas en cement-bentoniet vallen daarmee af vanwege de onvoldoende steundruk. Micro-cement zou in beginsel ook aan dit uitgangspunt kunnen voldoen. Er zou een keuze gemaakt moeten worden tussen hard waterglas of micro-cement op basis van totale kosten, reikwijdte (diameter van de bollen) in relatie tot het aantal boringen en de directe materiaalkosten.

Restrisico's

De restrisico's van de optie kunnen worden uitgesplitst in risico's voor het uitvoeren van de injectie, denk hierbij aan hinder voor de omgeving of falen van het boorproces en risico's van de oplossing, denk hierbij aan het gegeven dat een injectie alleen goed kan worden uitgevoerd in niet cohesieve gronden en dat in cohesieve gronden injectie moeilijk of onmogelijk is. Nu wil het geval dat cohesieve gronden over het algemeen de eigenschap hebben waterdicht te zijn dus is een injectie in deze gronden in beginsel overbodig echter is er altijd sprake van een overgangsgebied van niet cohesief naar cohesief en andersom. In deze overgangslagen kan het voorkomen dat de injectie onvoldoende kan indringen maar dat de laag nog wel voldoende watervoerend is om een mogelijke lekkage in de diepwand te voeden. De kans dat een dergelijke uitzonderlijke situatie zich precies voordoet bij een omissie in een diepwandvoeg wordt uitermate gering geschat maar kan niet voor 100% worden uitgesloten. Daarnaast is het altijd mogelijk dat boringen en/of injecties niet gaan zoals gepland. Het is daarom de bedoeling dat er eerst twee boringen worden gedaan ter weerszijde van de voeg en dat er een (optionele) derde boring tussen deze twee boringen in kan worden gemaakt. Tevens loopt er bij de aannemer Max Bögl een onderzoek naar reikwijdte en materiaal keuze van verschillende injectiemethoden. N.a.v. de resultaten van dit onderzoek zal een definitieve keuze worden gemaakt. Dit onderzoek zal risicoverlagend werken doordat de keuze van injectiemethode wordt gebaseerd op praktijkproeven die op de bouwplaats zelf zijn uitgevoerd. Toch blijft het risico dat de boring een te grote afwijking vertoont waardoor het injectielichaam niet meer kan aansluiten aan de diepwand waarmee de beoogde afdichtende werking van de injectie niet tot stand komt. Tevens blijft er een algemeen restrisico bij injecteren dat de druk van de injectievloeistof mogelijke insluitingen in de diepwand de bouwput in blaast, zie na-injectie voeg 24-25 station Vijzelgracht. Hierdoor wordt de reparatie methode een katalysator voor een mogelijke lekkage

Hinder voor de omgeving

Deze optie genereert wel enige hinder voor de omgeving, met name wanneer geïnjecteerd moet worden op die zijde van het station die nu onder de openbare weg ligt. Hier zal het verkeer, inclusief het tramverkeer, hinder ondervinden van het aanbrengen van de injectielansen. Nadat de lansen zijn aangebracht kan het injecteren relatief eenvoudig plaatsvinden zonder dat de omgeving daar veel last van heeft. Het verkeer op het maaiveld zal met tussenpose enkele dagen worden gehinderd en soms moeten worden stilgelegd.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Dit is een goede methode die relatief weinig hinder voor de omgeving oplevert en een relatief gering (rest)risicoprofiel heeft.

5.1.2 Injectie d.m.v. een Geostang

Omschrijving

In beginsel geldt hetzelfde als bij optie 1.1 echter i.p.v. dat er gewerkt wordt met een van te voren aangebrachte injectiebuis wordt er nu gewerkt met een injectielans die ook kan roteren. Wat interessant kan zijn aan deze optie is of hiermee een grotere reikwijdte kan worden gecreëerd en daarmee met minder boringen kan worden volstaan. Een afweging moet worden gemaakt op basis van de totale kosten.

Restrisico's

De restrisico's zijn overeenkomstig optie 1.1.(zie § 5.1.1). Het voordeel is dat de injectie in een werkgang aangebracht kan worden. Het nadeel is dat als er moet worden na geïnjecteerd er opnieuw geboord moet worden hetgeen extra hinder voor de omgeving met zich mee brengt

Hinder voor de omgeving

De hinder voor de omgeving is overeenkomstig optie 1.1 (zie § 5.1.1)

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Dit is een goede methode die relatief weinig hinder voor de omgeving oplevert en een relatief gering (rest)risicoprofiel heeft.

5.1.3 Het injecteren van holle ruimten met Dämmer

Omschrijving

Injecteren met Dämmer, ook wel dämmeren genoemd, is het injecteren d.m.v. een injectiebuis van een mengsel van cement, kalk en water. Dit materiaal heeft de eigenschap zich goed te nestelen in holle ruimten en deze op te vullen. In principe is deze maatregel geen optie omdat wordt verondersteld dat er geen holle ruimten zijn aan de buitenzijde van de diepwand. Injectie met Dämmer is wel toegepast bij de verschillende incidenten omdat er van werd uitgegaan dat door de doorbraak er holle ruimten zouden kunnen zijn ontstaan aan de buitenzijde van de diepwand.

Restrisico's

Ook de restrisico's zijn overeenkomstig opties 1.1 & 1.2.(zie § 5.1.1)

Hinder voor de omgeving

De hinder voor de omgeving is overeenkomstig optie 1.1 & 1.2 (zie § 5.1.1 & § 5.1.2)

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Preventief dämmeren heeft geen zin.

5.1.4 Hoge druk grout injectie

Omschrijving

Hoge druk grout injectie is reeds toegepast tijdens het maken van de groutstempels bij de drie diepe stations en bij het maken van een aantal afdichtingen. Hoge druk grout injectie is het naar beneden boren van een boorstang die aan de onderzijde is voorzien van injectie openingen die een horizontale injectie mogelijk maken. Nadat de boorstang op diepte is gemaakt wordt eerst de grond verwijderd door de grond voor te snijden. Daarna gaat de boorstang weer naar het onderste niveau van de boring om de gecreëerde opening te vullen met cementgrout. Het maken van een groutkolom aan de buitenzijde van de diepwand is een zeer betrouwbare methode om de voeg waterdicht en doorbraakveilig te maken echter de methode kent nog al wat nadelen. In de eerste plaats leert de ervaring met het jet-grouten bij de diepe stations dat het maaiveld ernstig verstoord kan raken door het uitbreken van retourspoeling. Dit zou kunnen worden opgelost door het toepassen van een mantelbuis tot aan het huidige ontgravingniveau. De groutkolom hoeft tenslotte niet te worden voorzien over het reeds ontgraven deel van de voeg. Verder is voor het maken van een groutkolom veel materieel nodig dat niet zonder hinder voor de omgeving kan worden opgesteld. Denk hierbij aan de jet-grout rigs, cementsilo's, menginstallatie, opvang retourspoeling en afvoer retourspoeling.

Restrisico's

De restrisico's van de optie kunnen worden uitgesplitst in risico's voor het uitvoeren van de injectie, denk hierbij aan hinder voor de omgeving of falen van het boorproces en risico's van de oplossing. De risico's van de oplossing zijn nagenoeg nihil. Wanneer de groutkolom naar behoren kan worden aangebracht is de voeg waterdicht en doorbraak veilig. Verschillende met deze methode behandelde voegen hebben dit reeds aangetoond. Het restrisico voor de omgeving of het falen van het boorproces door in de grond aanwezige obstakels is erg groot. Het gebied waar zal worden gegroot is in beginsel niet obstakel vrij gemaakt. Dit uitvoeringsrisico kan worden verkleind door de toepassing van een mantelbuis die wordt aangebracht vanaf het maaiveld tot op het niveau van de huidige ontgraving. Tijdens het maken van het jet-grout stempel bij Rokin-west is met deze methode ervaring opgedaan en is gebleken dat deze voorziening een goed middel is om het uitbreken van het jet-grout spoil aan de oppervlakte te vermijden. Het aanbrengen en weer verwijderen van een dergelijke mantelbuis vraagt meer tijd, hierdoor zal de hinder voor de omgeving toenemen en zal een dergelijke maatregel kosten verhogend werken. Het reeds genoemde restrisico van het katalyseren van een lekkage door het uitblazen van een insluiting in de diepwand is bij deze optie extra aanwezig vanwege de zeer hoge drukken die gebruikt worden bij het proces.

Hinder voor de omgeving

Deze optie genereert aanzienlijke hinder voor de omgeving. Het materieel voor het jet-grouten is groot en omvangrijk. Denk aan jet-grout stelling, cementsilo's, menginstallatie, Helly-Burton (hoge druk) injectiepomp en bovenal opvang en afvoer van jet-grout spoil

(retour spoeling). Wanneer gegroot wordt aan die zijde van het station die nu onder de openbare wel ligt zal het verkeer een aantal weken volledig zijn gestremd.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Het risicoprofiel voor het uitvoeren van deze optie is hoger dan die van injecties en de hinder voor de omgeving zal ook groter zijn. De zekerheid op waterdichtheid en doorbraakveiligheid neemt wel toe t.o.v. injecteren, omdat het injectielichaam qua diameter aanzienlijk groter is dan bij injecteren.

5.1.5 Grondverbetering d.m.v. Mixed In Place

Omschrijving

Mixed in Place (MIP) is een methode die lijkt op het hoge druk jetgrouten echter met dit verschil dat MIP de grond niet verwijderd en de ontstane ruimte opvult maar dat cement wordt vermengd met het grondmassief dat aanwezig is. Mixed In Place (MIP) heeft wat minder materieel dan jet-grouten, er is immers geen retourspoeling echter voor het aanbrengen zijn eveneens een aanzienlijke hoeveelheid grote machines benodigd met alle hinder voor de omgeving van dien.

Restrisico's

De restrisico's van de optie kunnen worden uitgesplitst in risico's voor het uitvoeren van de injectie, denk hierbij aan hinder voor de omgeving of falen van het boorproces en risico's van de oplossing. De risico's van de oplossing zijn nagenoeg vergelijkbaar met die van opties 1.1 & 1.2. Het rest risico voor de omgeving of het falen van het proces door in de grond aanwezige obstakels is vergelijkbaar met optie 1.4. (zie § 5.1.4)

Hinder voor de omgeving

Deze optie genereert meer hinder voor de omgeving dan injecteren maar minder dan jet-grouten omdat er geen jet-grout spoel hoeft te worden opgevangen en afgevoerd.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

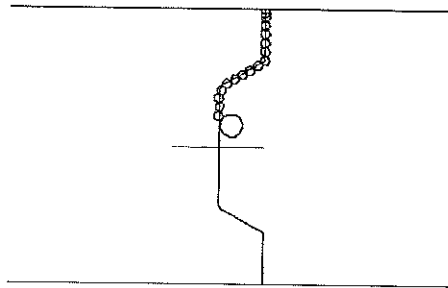
Het risicoprofiel voor het uitvoeren van deze optie is hoger dan die van injecties en de hinder voor de omgeving zal ook groter zijn. De zekerheid op waterdichtheid en doorbraakveiligheid is t.o.v. injecteren nagenoeg gelijk.

5.1.6 Het doorboren van bovenaf van de voeg van de diepwand en vervolgens traditioneel injecteren

Omschrijving

De bedoeling van deze methode is dat er een kernboring wordt uitgevoerd door het beton van de diepwand over de locatie van de voeg. De methode is op zich charmant te

noemen omdat de invloed buiten de bouwkuip zeer beperkt blijft. De boring geschied boven de diepwand en er is maar één boring per voeg nodig. Deze methode is reeds uitgetoetst bij voeg 27/28 van station Rokin en bleek nog al risico vol. Het is erg moeilijk gebleken de boring verticaal te houden. Wanneer de boring iets afwijkt, is de kans groot dat de boring of buiten de diepwand treedt of in de wapening van de diepwandwapening grijpt. In beide gevallen moet de boring worden afgebroken. Tevens zal een insluiting die niet direct in contact staat met de voegspleet niet door een dergelijke boring kunnen worden vol geïnjecteerd.



Boring in de voeg.

Restrisico's

Het restrisico voor de omgeving is beperkt, er is maar één boring per voeg nodig echter de zekerheid van de oplossing is ook beperkt. De uitvoering van de boring is gevoelig voor falen, zie voeg 27/28 van station Rokin, en insluitingen die net naast de voeg zijn gesitueerd kunnen makkelijk worden gemist.

Hinder voor de omgeving

Deze optie genereert wel wat hinder voor de omgeving echter in vergelijkbare mate als injecteren.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Het is naar de mening van het Projectbureau Noord Zuid Lijn daarom verstandiger dat wanneer er geïnjecteerd moet worden dit in de ongeroerde grond buiten de diepwand te doen. De kans op succes van genoemde optie is gering en daarmee is het restrisico van deze optie te groot.

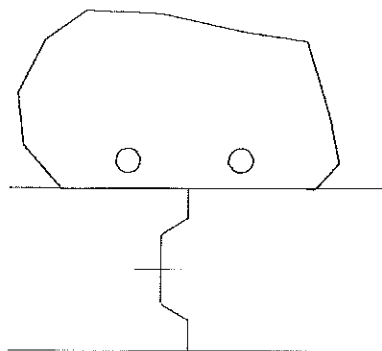
5.1.7 Bevriezen met stikstof

Omschrijving

Het maken van een vrieslichaam aan de buitenzijde van een diepwandvoeg gebeurt door het naar beneden boren van één of twee vrieslansen. Een vrieslans is een dubbelwandige buis waar de kern van de buis wordt gebruikt voor het invoeren van vloeibare stikstof en

de mantel wordt gebruikt om de stikstof, al dan niet in vloeibare vorm, naar de oppervlakte te laten ontsnappen.

Het maken van een vrieslichaam is een uiterst betrouwbare methode om een voeg waterdicht en doorbraakveilig te maken echter de methode is van tijdelijke aard. Dit betekent dat bevriezen altijd gepaard zal moeten gaan het aanbrengen van voorzieningen aan de binnenzijde van het station het geen kosten verhogend zal werken. Tevens is de hinder voor de omgeving bij aanbrengen van het systeem en het bevriezen van de grond groter dan bij injecteren omdat de vrieslansen continue voorzien moeten worden van verse stikstof.



Vrieslansen buitenzijde

Restrisico's

Het risicoprofiel is laag echter de hinder voor de omgeving is groter dan bij opties 1.1 & 1.2. De onzekerheden bij laagscheidingen van een injectie bestaan niet bij het bevriezen van de grond. Of een grondlaag cohesief is of niet cohesief is niet interessant, elke grondlaag heeft een hoeveelheid water in de poriën dat bij temperaturen onder 0°C zal bevriezen. De hinder voor de omgeving zal groter zijn omdat de vrieslansen gedurende vele weken (of maanden) operationeel zullen moeten blijven. Gedurende deze periode zullen de lansen moeten worden voorzien van verse stikstof hetgeen wordt geregeld via een ringleiding. Deze ringleiding dient ofwel onder maaiveld buiten de bouwput te worden aangebracht ofwel binnen de bouwput. In het laatste geval zal op regelmatige locaties de diepwand in de bovenste zone moeten worden doorboord om de vrieslansen met de ringleiding te kunnen verbinden. Het maken van deze koppeling vereist een ondiepe ontgraving aan de buitenzijde van de bouwput bij elke te behandelen voeg. Dit zal voor een aantal locaties, Rokin west en Vijzelgracht oost, veel hinder voor de omgeving opleveren.

Hinder voor de omgeving

Deze optie kan nog al wat hinder genereren voor de omgeving afhankelijk van wijze waarop de stikstof lansen worden gevoed. Het aanbrengen van de lansen is vergelijkbaar met injectie echter de lansen moeten na aanbrengen niet zoals bij injectie één of twee maal worden geïnjecteerd maar continue voorzien worden van verse stikstof. Dit zal moeten plaatsvinden d.m.v. een ringleiding die of wel in het station wordt aangebracht of wel in

een sleuf aan de buitenzijde van het station. Bij de eerste variant moeten er regelmatig doorboringen worden gemaakt aan de bovenzijde van de diepwand. Om deze doorboringen te maken zullen er op regelmatige afstand kleine ontgravingen moeten worden gemaakt die na een paar dagen weer worden dicht gemaakt. Bij de tweede variant moet er rondom het station een sleuf worden gegraven die weliswaar na een bepaalde tijd weer kan worden aangevuld maar die wel langer zal moeten open blijven dan bij de eerste variant. De hinder voor de tweede variant is dus groter dan bij de eerste. Het verkeer op het maaiveld zal met tussenposen enkele dagen worden gehinderd en soms moeten worden stilgelegd.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Vriezen is een oplossing die de grootste zekerheid biedt t.a.v. waterdichtheid en doorbraakveiligheid echter de maatregel geeft veel meer hinder voor de omgeving duurt langer en is daarom veel duurder dan injecteren. Tevens zal de maatregel gepaard moeten gaan met maatregelen aan de binnenzijde (met als ultieme variant het aanbrengen van de voorzetwand) omdat een vrieslichaam een tijdelijke voorziening is. De maatregel zou een goede terugvaloptie kunnen zijn in het geval dat injecteren om een bepaalde reden niet zou kunnen worden uitgevoerd.

5.1.8 Bevriezen met pekels

Omschrijving

Het bevroren met pekels is vergelijkbaar met het bevroren met stikstof echter met dit verschil dat de kern van de buis wordt gebruikt voor het invoeren van zout water en de mantel van de buis wordt gebruikt om het zoute water terug te leiden naar een koeleenheid. Deze koeleenheid koelt het water en voert het vervolgens weer in, in de kern van de vrieslans. Het is te vergelijken met de werking van een koel / vrieskast. Hiervoor geldt hetzelfde als voor bevroren met stikstof met dien verstande dat deze methode een koeleenheid of meerdere koeleenheden vereist die de overlast voor de omgeving t.o.v. de vorige variant verhogen, tenzij de koeleenheid geplaatst kan worden in een verdeelhal.

Hinder voor de omgeving

De hinder die door deze optie wordt gegenereerd is in hoge mate vergelijkbaar met optie 1.7 (zie § 5.1.7).

Restrisico's

De restrisico's voor de uitvoering zijn gelijk aan die van vriezen met stikstof echter de hinder voor de omgeving zal groter zijn omdat deze maatregel gepaard gaat met het toepassen koelcompressoren die op het maaiveld zullen moeten worden opgesteld en die 24 uur per dag 7 dagen per week in bedrijf zullen zijn.

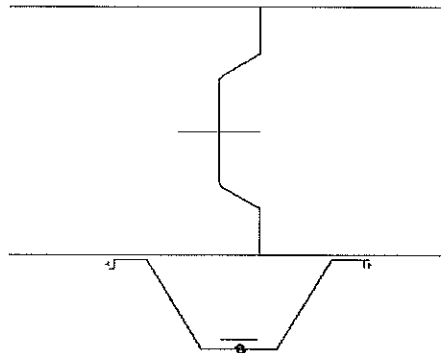
Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

De maatregel heeft in beginsel dezelfde waardering als bevroren met stikstof echter is deze optie kostentechnisch interessanter dan de vorige optie, echter met grotere hinder.

5.1.9 Het aanbrengen van dubbele damwandplank

Omschrijving

Wat hier wordt bedoeld is dat er een dubbel z-profiel wordt aangebracht tegen de diepwand aan zodat er tussen de diepwand en de damwandplank een ingesloten grondlichaam ontstaat.



De dubbele damwandplank.

Het aanbrengen van een dubbele damwandplank zal een redelijke zekerheid bieden tegen het doorbreken van de grond bij een eventuele lekkage echter de waterdichtheid zal niet significant worden verbeterd omdat er geen goede aansluiting kan worden gemaakt tussen damwandplank en diepwandpaneel. Verder dient de damwandplank trillingsvrij te worden ingebracht hetgeen voor de vereiste diepte, tot aan de Eemkleilaag op een niveau van c.a. NAP – 25,00 meter, een aanzienlijke uitdaging is. Tevens is zal het niet overal mogelijk zijn om een damwandplank langs alle ondergrondse obstakels en infrastructuur te leiden.

Restrisico's

De restrisico's van de maatregel zijn aanzienlijk. De waterdichtheid kan niet worden gegarandeerd. Het risico van waterdichtheid zou kunnen worden verkleind door het toepassen van een grondinjectie in het grondmassief dat door de damwandplank wordt ingesloten. Dit betekent minimaal 1 injectie tussen de plank en de diepwand. Een dergelijke injectie behoeft dezelfde voorzieningen en materieel als optie 1.1 of 1.2. Tevens zal het aanbrengen van dergelijke lange damwandplanken, tot in de Eemkleilaag, een aanzienlijke inspanning vragen van de uitvoering. Gezien de beperking van de trillingshinder zal er moeten worden gewerkt met waterjets of fluïdisatievoorzieningen hetgeen weer leidt tot retourspoeling op het maaiveld.

Hinder voor de omgeving

De hinder die door deze optie wordt gegenereerd is vergelijkbaar met optie 1.5 (zie § 5.1.5). Een grote stelling zal de damwandplanken met een lengte van c.a. 27 meter de grond in moeten brengen. Dit moet in principe trillingsvrij of trillingsarm gebeuren. Dit kan wanneer gebruik worden gemaakt van spuitlansen en/of fluïdisatiepijpjes op de

damwandplank. Hiermee wordt de trillingshinder verminderd echter de overlast door retourspoeling neemt wel toe. Deze zal moeten worden opgevangen en moeten worden afgevoerd. Het voordeel is t.o.v. jet-grouten dat de retourspoeling bestaat uit water en grond en dat er geen cement is de spoeling zal zijn opgenomen. Wanneer de damwandplanken moeten worden aangebracht aan de zijde van het station die nu onder de openbare weg ligt zal het verkeer een aantal dagen volledig zijn gestremd.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Deze optie verval. De betrouwbaarheid van deze optie is alleen voldoende als deze optie wordt gecombineerd met een injectie tussen de damwandplank en de diepwand. Daarmee is de hinder voor de omgeving gelijk aan optie 1.1 of 1.2 en ook het restrisico van de oplossing is sterk vergelijkbaar met dat van optie 1.1 of 1.2 terwijl de uitvoeringstijd meer zal zijn en de kosten hoger.

5.1.10 Het aanbrengen van een boorpaal of boorpalen

Omschrijving

Een boorpaal is wordt gemaakt door een holle avegaar, al dan niet voorzien van een mantelbuis, in de grond aan te brengen. Wanneer de avegaar op diepte is gekomen wordt deze, wanneer van toepassing samen met de mantelbuis, terug getrokken en tegelijkertijd wordt de ontstane holle ruimte opgevuld met beton. Deze optie heeft dezelfde nadelen als de bovenstaande optie namelijk dat de boorpalen niet voldoende waterdicht aan elkaar en aan de diepwand kunnen aansluiten en dat het maken van de boorpalen onmogelijk zou kunnen zijn wanneer er te veel ondergrondse infrastructuur en/of obstakels aanwezig zijn. Voor een afdoende afdichting zijn minstens twee of drie palen nodig.

Restrisico's

De restrisico's zijn vergelijkbaar met optie 1.9. Voor de waterdichtheid dienen de boorpalen bij de aansluiting met de diepwand en bij de onderlinge aansluitingen te worden voorzien van injecties, opties 1.1 & 1.2. Het aanbrengen van de boorpalen kent dezelfde hinder van de ondergrondse infrastructuur en eventuele obstakels. Het is echter wel zo dat een boorpaal makelijker dan een damwandplank tot op aanzienlijke diepte trillingsvrij kan worden aangebracht.

Hinder voor de omgeving

De hinder die door deze optie wordt gegenereerd is vergelijkbaar met optie 1.5 (zie § 5.1.5). Een grote stelling zal een avegaar met een lengte van c.a. 27 meter de grond in moeten brengen. Dit gebeurt in beginsel trillingsvrij. Wanneer de damwandplanken moeten worden aangebracht aan de zijde van het station die nu onder de openbare weg ligt zal het verkeer een aantal dagen volledig zijn gestremd.

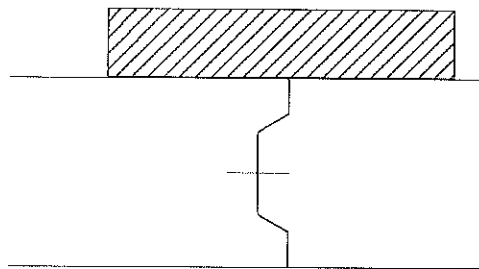
Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Deze optie vervalst. De betrouwbaarheid van deze optie is alleen voldoende als deze optie wordt gecombineerd met injecties tussen de boorpaal en de diepwand en tussen de boorpalen onderling. Daarmee is de hinder voor de omgeving gelijk aan opties 1.1 & 1.2 en ook het restrisico van de oplossing is sterk vergelijkbaar met dat van opties 1.1 & 1.2 terwijl de uitvoeringstijd meer zal zijn en de kosten hoger.

5.1.11 Het aanbrengen van een (ongewapend) diepwandpaneel

Omschrijving

Bij deze optie wordt gedacht aan het aanbrengen van een diepwandpaneel dat de voeg aan de buitenzijde afdekt. Desgewenst zou zo'n diepwandpaneel kunnen worden voorzien van wapening of een dergelijk diepwandpaneel zou kunnen worden gemaakt met cement-bentoniet hetgeen de productietijd kan verkorten.



Diepwandpaneel.

Deze optie heeft, vanwege de aanzienlijke afmetingen, nog meer dan de twee bovenstaande opties het nadeel dat ondergrondse obstakels en infrastructuur hinder zullen veroorzaken voor het aanbrengen van een dergelijke constructie. De waterdichtheid is afhankelijk van het gegeven in hoeverre de diepwandgrijper tegen de bestaande diepwanden aan grond kan verwijderen. Het voordeel is wel dat er een absolute zekerheid wordt verkregen tegen een mogelijke doorbraak.

Restrisico's

Het restrisico op doorbraak is nagenoeg nihil. Het restrisico op waterdichtheid hangt af van de mate waarin de diepwandgrijper in staat is de grond tegen de bestaande diepwand aan weg te knijpen. Mocht dit onvoldoende mogelijk zijn dan kan deze maatregel worden verbeterd met aanvullende injectie t.p.v. de kopeinden van de additionele diepwandpanelen. De mogelijkheid om deze optie uit te voeren hangt sterk af van de in de grond aanwezige infrastructuur en obstakels. Tevens zal de hinder voor de omgeving aanzienlijk zijn.

Hinder voor de omgeving

Deze optie genereert aanzienlijke hinder voor de omgeving. Het materieel voor het maken van een diepwandpaneel is groot en omvangrijk. Denk aan diepwandmachine, de

bentonietinstallatie, de ontzandingsvoorziening en bovenal de afvoer van grond. Wanneer gegraven wordt aan die zijde van het station die nu onder de openbare wel ligt zal het verkeer een aantal weken volledig zijn gestremd.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Deze optie vervalt voornamelijk vanwege de beperkte zekerheid op waterdichte uitvoering. Ook al zou de waterdichtheid kunnen worden verbeterd met aanvullende injecties. Dit zou de optie technisch gezien volwaardig maken echter de hinder voor de omgeving, de tijd voor de uitvoering en daarmee ook de zeer hoge kosten zullen een veelvoud zijn van opties 1.1 & 1.2.

5.2 Preventieve maatregelen aan de binnenzijde van de diepwand

Voor de maatregelen aan de binnenzijde van de diepwand kunnen de volgende mogelijkheden worden onderscheiden:

- 1 Voegen aan de binnenzijde injecteren
- 2 Aan de binnenzijde tegen de voeg een grondinjectie aanbrengen
- 3 Aan de binnenzijde tegen de voeg een dubbele damwandplank aanbrengen
- 4 Aan de binnenzijde bij de voeg de grond bevriezen

Voor alle oplossingen aan de binnenzijde van de bouwput kan worden gesteld dat de hinder voor de omgeving niet meer is als voor het vigerende bouwproces.

5.2.1 Voegen aan de binnenzijde injecteren

Omschrijving

Het aan de binnen zijde injecteren van de voegen is methode die op dit moment al deel uitmaakt van [5]. Het is een makkelijke methode echter beperkt preventief toepasbaar. Tot op heden wordt de methode correctief toegepast door daar waar er lekkages ontstaan gaten te boren en deze te voorzien van injectiepijpjes en vervolgens de voeg middels deze pijpjes te injecteren met polyurethaanschuim. Hierbij kan nog een onderscheid worden gemaakt tussen injecties aan de binnenzijde van het voegprofiel of aan de buitenzijde van het voegprofiel. Wanneer nodig kan ook van binnen uit aan de buitenzijde van de diepwand worden geïnjecteerd. Hiervoor dienen de injectiepijpjes te worden vervangen door packers omdat het doorboren van de diepwand waterdicht moet gebeuren.

Wanneer het injecteren preventief moet worden toegepast kan dit door schuin naar beneden te boren. Hierbij is een helling van 60° mogelijk. Wanneer er vervolgens over een dikte (diepte) van 1 meter wordt geboord kan een maximale diepte van 1.70 meter worden bereikt. Daar het niet mogelijk is direct vanaf het ontgravingniveau te boren betekent dit in de praktijk dat er maximaal tot 1.20 meter onder het ontgravingniveau preventief kan worden geïnjecteerd. Dit is mogelijk een oplossing voor die gevallen waarbij maatregelen van buitenaf onmogelijk blijken.

Restrisico's

Het restrisico van deze maatregel is groter dan bij een grondinjectie aan de buitenzijde van de bouwput. Het incident op 19 juni heeft laten zien dat een afname van de korreldruk door ontgraven al voldoende kan zijn om een doorbraak te initiëren. Deze maatregel heeft in zich dat er maximaal 1.20 meter gronddruk overblijft op een mogelijke slechte plek in de diepwandvoeg alvorens deze visueel kan worden waargenomen. De uitvoeringsrisico's zijn zeer gering daar inmiddels al voldoende ervaring is opgedaan met het van binnenuit injecteren van omissies in diepwandvoegen.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Deze methode is mogelijk toe te passen op die locaties waar injecties aan de buitenzijde onmogelijk zijn. Het restrisico van deze optie blijft sowieso groter dan bij injecties aan de buitenzijde en daarom moet het ontgraven op locaties waar deze methode is toegepast altijd gecombineerd worden met optie 3.1, stalen platen met rubberafdichting, kleikorrels en zandzakken. Daarnaast blijft onverminderd van kracht dat tijdens de gehele ontgraving een calamiteitencontainer en een injectie machine op het werk stand-by moeten staan.

5.2.2 Aan de binnenzijde tegen de voeg een grondinjectie aanbrengen

Omschrijving

Het aan de binnenzijde van de diepwand aanbrengen van een grondinjectie kan bestaan uit een injectie met hard waterglas, zacht waterglas, gel, micro-cement, cement-bentoniet, Dämmer of jet-grout. Het voordeel van een dergelijke maatregel is dat een doorbraak onder het ontgravingniveau wordt voorkomen.

Tijdens het ontgraven zal de grondinjectie tegelijkertijd met de grond moeten worden verwijderd. Dit kan stap voor stap gebeuren waarmee een mogelijke omissie in de diepwand niet gelijk in zijn geheel bloot wordt gelegd. Hierdoor wordt de mogelijkheid om een eventuele slechte voeg direct na het vaststellen van de kwaliteit relatief veilig te behandelen met stalen platen optie 3.2. Tevens moet er voldoende manoeuvreerruimte aanwezig zijn onder de stempels en gordingen voor materieel om deze injecties aan te brengen. Gezien de huidige situatie in de stations Rokin en Vijzelgracht zal deze optie dan vooraf gegaan moeten worden aan een kleine inbraak t.o.v. het huidige ontgravingniveau die dan met optie 2.1 gezekeerd moet worden. Als alternatief kan de injectie worden aangebracht door een gat te maken in de gording boven de ontgraving. Dit heeft als nadeel dat er eerst gaten moeten worden gebrand in de gording die later weer moeten worden dichtgelast. Dit is een financieel nadeel technisch is dit nagenoeg geen probleem.

Restrisico's

Er is wel het restrisico dat bij het verwijderen van de grondinjectie een eventuele potentiële doorbraak wordt aangewakkerd. Het restrisico van deze optie blijft sowieso groter dan bij injecties aan de buitenzijde en daarom moet het ontgraven op locaties waar deze methode is toegepast altijd gecombineerd worden met optie 3.1, stalen platen met rubberafdichting, kleikorrels en zandzakken. Daarnaast blijft onverminderd van kracht dat

tijdens de gehele ontgraving een calamiteitencontainer en een injectie machine op het werk stand-by moeten staan.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Het is mogelijk deze methode toe te passen op die locaties waar injecties aan de buitenzijde onmogelijk zijn.

5.2.3 Aan de binnenzijde tegen de voeg een dubbele damwandplank aanbrengen

Omschrijving

Het gaat hierbij op een constructie die gelijk is optie 1.9 echter dan aan de binnenzijde van de diepwand. Het aanbrengen van een dubbele damwandplank aan de binnenzijde van de bouwput lijkt op optie 2.2 met dit verschil dat een damwandplank een interne sterkte en stijfheid heeft en dat dit bij een grondinjectie niet zonder meer kan worden aangenomen. Het voordeel kan zijn dat bij de constatering van een slechte voeg de damwandplank direct tegen de diepwand kan worden aangedrukt en dat de grond binnen de damwandplank zou kunnen worden geïnjecteerd. Hiermee kan snel en zeker een mogelijke doorbraak worden afgeremd. Ook deze optie heeft de beperking dat het materieel om de damwand aan te kunnen brengen voldoende manoeuvreerruimte moet hebben onder de reeds aanwezige stempels en gordingen. Gezien de huidige situatie in de stations Rokin en Vijzelgracht zal deze optie daarom vooraf gegaan moeten worden aan een kleine inbraak t.o.v. het huidige ontgravingniveau die dan met optie 2.1 gezekeerd moet worden.

Restrisico's

Het restrisico van deze optie blijft sowieso groter dan bij injecties aan de buitenzijde en daarom moet het ontgraven op locaties waar deze methode is toegepast altijd gecombineerd worden met optie 3.1, stalen platen met rubberafdichting, kleikorrels en zandzakken. Tevens dient te worden bedacht dat een damwandplank nooit waterdicht tegen de diepwand kan worden aangewerkt. Wanneer de diepwand door zou breken kan de damwand tegen de diepwand worden aangedrukt en dan kan de damwand worden gebruikt als een opsluitleidmiddel voor een eventuele injectie aan de binnenzijde. Hiermee wordt het risicoprofiel t.o.v. van de tot op heden toegepaste ontgravingwijze wel drastisch verlaagd echter biedt de optie geen absolute garantie op waterdichtheid. Wel wordt de bescherming tegen een eventuele doorbraak sterk verbeterd.

Een restrisico is ook dat het aanbrengen van de damwandplank gehinderd zal worden door de in de bouwput aanwezige resten van het jetgrouten. Hierdoor kan het mogelijk zijn dat de damwandplank moeilijk of in zijn geheel niet naar de benodigde diepte kan worden gebracht.

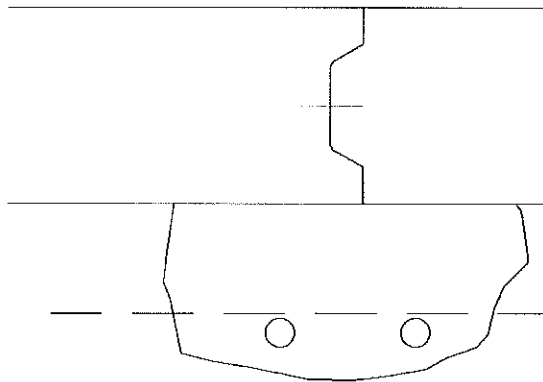
Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Het is mogelijk deze methode toe te passen op die locaties waar injecties aan de buitenzijde onmogelijk zijn.

5.2.4 Aan de binnenzijde bij de voeg de grond bevriezen

Omschrijving

Het bevriezen van de grond aan de binnenzijde van de bouwkuip lijkt erg op optie 2.2. Het voordeel van vriezen is dat de waterdichtheid nog meer wordt gegarandeerd. Het nadeel van deze optie is dat er meer materieel nodig is en dat de optie altijd van tijdelijke aard is.



Bevriezen binnenzijde.

Er zal een keuze moeten worden gemaakt of het vrieslichaam tijdens het ontgraven wordt afgebroken of dat het vrieslichaam gefaseerd kan worden ontdooid, bijvoorbeeld door per voeg per ontgravingslag een vrieslans aan te brengen. Voor de diepere ontgravingslagen zullen de vrieslansen dan m.b.v. een mantelbuis op het juist niveau moeten worden aangebracht.

Wanneer het vrieslichaam wordt afgebroken kan dit gebeuren d.m.v. frezen. Nadat de vrieslans is vrijgemaakt wordt de lans droog geblazen met perslucht waarna de lans kan worden ontkoppeld. De lans wordt dan ingekort tot onder het volgende stempelniveau en met flexibele leidingen weer aangesloten. De flexibele leidingen zullen dan achter de nieuw te plaatsen gording worden geleid in de ruimte die in de huidige werkvolgorde wordt afgebetonneerd. Wanneer de voeg dan vrij is kan deze worden geïnspecteerd en worden voorzien van stalen platen (of andere daartoe geëigende middelen). Tijdens het verwijderen van de bevroren grond zal het vrieslichaam in de diepwand afnemen. Er moet dus een correlatie worden gevonden tussen de minimale afmetingen van het vrieslichaam in de diepwand en de tijd die beschikbaar moet zijn tussen het verwijderen van de bevroren grond en aanbrengen van stalen platen.

Het voordeel van vriezen is dat het vriesfront makkelijk in de diepwand indringt dan in de grond omdat beton beter geleidt. Zodoende is het zelfs mogelijk de gehele diepwand, tot aan de buitenzijde, te bevriezen. Hiermee wordt hetzelfde bereikt als bij optie 1.7 & 1.8 maar dan zonder hinder op het maaiveld.

Een keuze in vriestechniek is er niet omdat vriezen met stikstof niet mogelijk is i.v.m. de ARBO veiligheid in de bouwput. Overtollig stikstof wordt normaal afgelaten bij de vrieslans en dit gas zal, omdat het zwaarder is dan lucht, zich op de bodem van de bouwput

nestelen en daarmee de lucht, dus de zuurstof, verdrijven. Dit is onacceptabel en daarom kan er in de bouwput alleen worden gevoren met pekkel. Het vriezen met pekkel duurt langer echter is het resultaat na enige tijd gelijk aan vriezen met stikstof.

Restrisico's

Het restrisico is gelijk aan optie 2.2 en de voorwaarden om te kunnen starten zijn ook hetzelfde als bij opties 2.2 & 2.3., dus of een kleine inbraak of gaten branden in de gording. Een restrisico van deze optie is overigens ook dat een te beperkt vrieslichaam in de diepwandconstructie er voor kan zorgen dat een in de diepwand aanwezige insluiting alsnog uitbreekt. Een maatregel hiertegen is er voor te zorgen dat het vriesfront dusdanig diep in de diepwand is ingedrongen dat er altijd voldoende zekerheid bestaat dat een mogelijke insluiting voldoende gezekeerd blijkt. Wanneer het vrieslichaam de buitenzijde van de diepwand bereikt is het restrisico gelijk aan optie 1.7 & 1.8. Een ander restrisico is dat het afbreken van de vrieskolom en het af- en aankoppelen van de vriesinstallatie een verstoring te weeg kunnen brengen in de ontgravingwerkzaamheden waardoor de doorlooptijd van het ontgraven en het aanbrengen van de verschillende stempelingen langer gaat duren dan gepland. Tevens is de voorbereidingstijd langer dan bij een injectie.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Het is een optie die in zich heeft dat het te bereiken veiligheidsniveau gelijk wordt aan bevroren aan de buitenzijde echter dan zonder alle hinder op het maaiveld die met maatregelen aan de buitenzijde gepaard gaat. Het is volgens het Projectbureau een kansrijke optie omdat minimale hinder en maximale veiligheid kunnen worden gecombineerd. Natuurlijk moet deze optie ook gecombineerd worden met optie 3.1, stalen platen met rubberafdichting, kleikorrels en zandzakken. Daarnaast dient bij het werken tussen de voegen het ontgraven uitgevoerd te worden volgens de 4 september+ methode (zie aldaar in paragraaf 5.3).

Er moet een koeleenheid worden opgesteld op het dek die 24 uur per dag 7 dagen per week zal moeten draaien. Deze koeleenheid levert een geluidsniveau op van c.a. 50 dbA op 10 meter afstand

Opgemerkt wordt hierbij dat bij toename van de diepte bij ontgraving de vriesinstallatie langer heeft aangestaan, waardoor niet alleen de hele diepwand bevroren is, maar ook zelfs grond aan de buitenzijde, waardoor een extra veiligheid ontstaat.

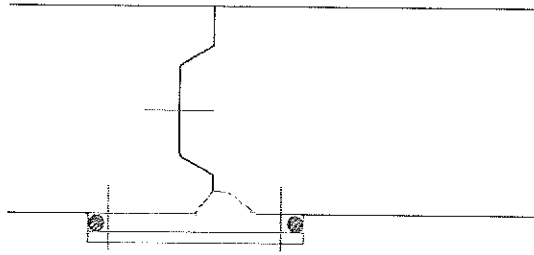
5.3 Correctieve maatregelen aan de binnenzijde van de diepwand

Naast de bovenvermelde maatregelen aan de buiten- en binnenzijde van de diepwand zijn nog opties mogelijk die op een geheel andere wijze het lekkagerisico zouden kunnen beheersen.

5.3.1 Stalen platen met rubberafdichting, kleikorrels en zandzakken

Omschrijving

Deze optie is niet een opzichzelfstaande maatregel maar een maatregel die hoe dan ook in de bouwput beschikbaar moet zijn. Het moet worden gezien als een snelle reactievoorziening die de schade bij een mogelijke calamiteit kan indammen of beperken.



Stalen plaat met rubberafdichting rondom.

De ervaring tot op heden leert dat tijd, gemeten in minuten, grote invloed kan hebben op de schade die een doorbraak kan aanrichten. De stalen plaat met rubberafdichting moet worden gezien als een aantal stalen platen van verschillende afmetingen die allen aan een zijde rondom voorzien zijn van een zacht rubberprofiel. Wanneer zich een plotselinge lekkage zou voordoen kan m.b.v. een graafmachine een plaat met de van toepassing zijnde afmeting direct tegen het lek worden aangeduwd wat een eerste afremming van de waterstroom creëert. Vervolgens kunnen andere machines worden gebruikt om achter de plaat een dam op te gaan werpen van kleikorrels die gesteund moeten worden met zandzakken of big bags. Tegelijkertijd kan de injectiemachine, die stand by wordt gehouden, aan de buitenzijde van de diepwand worden ingezet voor het aanbrengen van een polyurethaaninjectie. Dit betekent dat wanneer gekozen wordt voor maatregelen aan de binnenzijde deze voorzieningen sowieso aanwezig moeten zijn. Het is naar de mening van het Projectbureau Noord Zuid Lijn te overwegen om een dergelijke voorziening per definitie in de bouwkuip aanwezig te hebben alvorens met het ontgraven te beginnen. Een dergelijke voorziening kan namelijk ook worden ingezet wanneer zich in het uiterst uitzonderlijke geval een lekkage in het midden van een paneel zou voordoen.

5.3.2 Voegen aan de binnenzijde voorzien van stalen platen

Omschrijving

Het voorzien van voegen aan de binnenzijde met stalen platen is een manier om voegen tijdelijk waterdicht en doorbraak veilig te maken echter kan dit niet preventief gebeuren. Dit is een maatregel die gecombineerd zou moeten worden met bijvoorbeeld het bevriezen van de grond aan de buitenzijde. Gezien de opmerkingen in [1] en [4] is het volgens het Projectbureau Noord Zuid Lijn verstandig om alle voegen die een grotere opening hebben dan 20 mm van deze platen te voorzien. Hierbij zullen de platen d.m.v. in te boren lijmanekers aan de diepwand worden bevestigd en zal de eventuele ruimte achter de stalen plaat worden opgevuld met een grout (cement) injectie. Het gebruik van de in de diepwand aanwezige ankerbussen wordt ontraden daar deze ankerbussen meestal niet zodanig zijn gepositioneerd dat ze gemakkelijk voor het monteren van deze stalen platen kunnen worden ingezet. Uit praktische overwegingen wordt dus voorgesteld aparte gaten in de diepwand aan te brengen om deze platen te bevestigen.

Restrisico's

Het restrisico van deze maatregel is groter dan bij een grondinjectie aan de buitenzijde van de bouwput. De incidenten op 19 juni en 10 september hebben laten zien dat het

aanbrengen van stalen platen, wat een correctieve maatregel is, te laat kan zijn. Tevens kan het boren van de gaten t.b.v. de bevestiging van deze stalen platen leiden tot een lekkage wanneer een insluiting wordt aangeboord. Het boren in de diepwand moet dus altijd worden gecombineerd met de aanwezigheid van voldoende houten proppen die in geval van een zogenaamde "Spuiters" met een moker of voorhamer in het boorgat kunnen worden geslagen. De uitvoeringsrisico's daar en tegen zijn zeer gering daar inmiddels al voldoende ervaring is opgedaan met het aanbrengen van stalen platen over omissies in diepwandvoegen.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Het is mogelijk deze methode toe te passen op die locaties waar preventieve maatregelen aan de buitenzijde en andere preventieve maatregelen aan de binnenzijde onmogelijk of overbodig zijn.

5.3.3 Ontgravingmethode 4 september +

Omschrijving

Deze methode is doorgaan met ontgraven zoals op 4 september jl. is afgesproken, waarbij een aanscherping zal plaatsvinden in de wijze van ontgraven en het ter plaatse van de ontgraving voorradig hebben van materiaal en materieel om een (dreigende) lekkage in zeer korte tijd te kunnen indammen of stabiliseren. Deze maatregel is een combinatie van de werkmethode zoals afgesproken in het overleg van 4 september gecombineerd met optie 3.1, vandaar 4 september +.

Restrisico's

De maatregel is correctief en heeft daarmee in beginsel en hoger risicoprofiel dan preventieve maatregelen.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Het is voorstelbaar dat een dergelijke maatregel zou kunnen worden toegepast op die voegen van station Vijzelgracht waarvan de adviseur van DMB heeft aangegeven dat er geen preventieve maatregelen nodig zijn. Het is tevens voorstelbaar dat deze maatregel bij station Rokin voor een deel van of voor het gehele station van toepassing wordt verklaard omdat er bij station Rokin op dit moment nog geen doorbraken zijn geweest en er ook geen lekkages zijn geconstateerd van significante omvang.

5.4 Wijziging van de vigerende uitvoeringswijze

5.4.1 Nat ontgraven

Een geheel andere benadering is het wijzigen van de vigerende bouwmethode. Als voorbeeld kan worden genoemd het nat ontgraven van de stations. Hierbij dienen de stations volledig te worden geïnnundeerd en zal het resterende deel van de ontgraving moeten worden uitgevoerd met een natte ontgravingmethode. Om deze methode te kunnen toepassen zal moeten worden onderzocht of de waterdruk in de bouwkuip voldoende is om de vervorming van de diepwanden tijdens de natte ontgraving binnen de

gestelde randvoorwaarden te houden. Blijkt dit niet het geval dan zullen er tijdelijke stempellingen onderwater moeten worden aangebracht. Tevens zal de diepe vloer onderwater moeten worden voorzien van wapening en onderwater moeten worden gestort.

Restrisico's

Wanneer de diepe vloer is gebouwd is het nog maar de vraag of de waterdruk uit het station kan worden weggenomen. Het is dan namelijk zo dat de veiligheid van de voegen van de diepwanden nog niet is gewijzigd. Wanneer deze methode dezelfde veiligheid op waterdichtheid en doorbraak zal moeten kunnen bieden als de maatregelen in de drie voorgaande paragrafen dan zal deze methode gecombineerd moeten worden met een preventieve maatregel aan de buitenzijde. Preventieve maatregelen aan de binnenzijde zijn immers uitgesloten. Dit betekent dat het nat ontgraven veel extra inspanning vraagt terwijl het de projectorganisatie niet ontslaat van het nemen van preventieve maatregelen aan de buitenzijde van de bouwput.

Samenvatting Projectbureau Noord Zuid Lijn

Deze methode is zeer ingrijpend in de bouwvolgorde van de diepe stations. De methode zal een lange voorbereidingstijd met zich meebrengen en een aanzienlijke uitbreiding van de doorlooptijd. Dit betekent automatisch een aanzienlijke overschrijding van de bouwtijd en daarmee van de kosten. Tevens moet de methode gecombineerd worden met preventieve maatregelen aan de buitenzijde of de voorzetwanden zouden onderwater moeten worden aangebracht. Dit laatste is niet mogelijk daar de passage van de TBM in de meeste gevallen zal moeten plaatsvinden alvorens de voorzetwanden zullen zijn gebouwd. Derhalve ziet het Projectbureau Noord Zuid Lijn een dergelijke wijziging van de vigerende uitvoeringsmethode voor het bouwen van de ruwbouw van de drie diepe stations niet als realistisch. Daarom adviseert het Projectbureau Noord Zuid Lijn deze mogelijkheid niet nader uit te werken.

5.4.2 Werken onder verhoogde luchtdruk

Zoals reeds in het bestek voorzien bij de diepste ontgravingslag bij station Ceintuurbaan zouden de andere twee stations kunnen worden afgebouwd m.b.v. verhoogde luchtdruk. In deze optie wordt de luchtdruk echter niet gebruikt zoals bij station Ceintuurbaan om het evenwicht van de bouwputbodem te garanderen maar om bij een omissie in de diepwand er voor te zorgen dat er aan de binnenzijde van de bouwput net zoveel luchtdruk heerst als er waterdruk heerst aan de buitenzijde van de bouwputwand. Dit betekent dat de luchtdruk zal moeten toenemen met het toenemen van de ontgravingsdiepte. Het gehele station zal in de laatste ontgravingslag op een druk moeten worden uitgelegd van c.a. 2,5 bar (25 meter waterkolom). Afgezien van het feit dat dit een zeer ingrijpende operatie betekend voor de reeds gemaakte constructie van dek en verdeelhallen, is het voor de omgeving zeer ingrijpend. De dekconstructie van het diepe station en wellicht ook van die van de verdeelhallen, afhankelijk van waar de scheiding wordt gemaakt tussen overdruk en atmosferische omstandigheid, is niet ontworpen op een negatieve belasting van 250 kN/m². Dus deze optie kan alleen worden uitgevoerd als er voldoende ballast op het dek wordt aangebracht om deze negatieve belasting te compenseren. Dit zou kunnen worden uitgevoerd door het aanbrengen van een zandpakket met een gewicht van 250 kN/m². Omdat zand ongeveer 16 kN/m² weegt betekent dit een zandlichaam op het station van 15,6 meter hoog. Dit houdt een volledige stremming van al het verkeer op het maaiveld in

gedurende de rest van ruwbouw van de diepe stations naast een ingrijpende verbouwing van de verdeelhallen en de bestaande bouwopeningen. Tevens zal de productie onder verhoogde luchtdruk aanzienlijk minder zijn dan onder atmosferische omstandigheden en daardoor zal bij het toepassen van dit middel de bouwtijd aanzienlijk worden verlengd.

5.5 Samenvatting van de verschillende opties

De hier boven vermelde opties kunnen als volgt worden analyseert:

Opties	Restrisico	Hinder omgeving	Technische uitvoerbaarheid	Totaal score
1.1	+	++	++	5
1.2	+	++	++	5
1.3	0	++	0	2
1.4	++	-	+	2
1.5	++	0	+	3
1.6	-	++	0	1
1.7	++	+	++	5
1.8	++	+	++	5
1.9	+	0	-	0
1.10	+	0	-	0
1.11	+	-	-	-1
2.1	--	+++	0	1
2.2	-	+++	+	3
2.3	-	+++	+	3
2.4	+	+++	+	5
3.1	-	+++	+	3
3.2	0	+++	+	4
3.3	--	+++	++	3
4.1	++	---	---	-4
4.2	++	---	---	-4

+++ = geen	+++ = geen	+++ = uitstekend
++ = zeer gering	++ = zeer gering	++ = zeer goed
+ = gering	+ = gering	+ = goed
0 = neutraal	0 = neutraal	0 = neutraal
- = matig	- = matig	- = slecht
-- = groot	-- = groot	-- = zeer slecht
--- = zeer groot	--- = zeer groot	--- = extreem slecht