

In dit hoofdstuk wordt een aantal prefab-betonproducten toegelicht, die voornamelijk worden toegepast in de Civiele sector, ook wel de G.W.W.-sector genoemd (Grond-, weg- en waterbouw). Een aantal van deze producten is opgenomen in de bijlagen. Een interessant product is de Spanwand®, een voorgespannen damwand die zowel geschikt is voor het opnemen van verticale belasting als voor het opnemen van horizontale belasting, zoals grond- en waterdruk. In de bijlage zijn artikelen aanwezig inzake de damwand en de prefab segmenten toegepast bij boortunnels en geluidsschermen (14.3).

*Auteur: prof.ir. H.W. Bennenk, tot aan 2002 deeltijd hoogleraar aan de TU/e faculteit Bouwkunde, capaciteitsgroep Constructief Ontwerpen.
Tot eind 1996 werkzaam bij Spanbeton als R&D manager.*

14 CIVIELE PRODUCTEN

Inhoudsopgave

14.1	Voorgespannen damwand, Spanwand®	3
14.1.1	Ontwikkeling	
14.1.2	De Spanwand®	
14.1.3	Specifieke voordelen	
14.1.4	Toepassingen	
Bijlagen	18
I	Betonnen damwand economisch initiatief - <i>Cement</i> , 2000 nr. 6	
II	Nieuwe spanwand - <i>Cement</i> , 2002 nr. 4	
III	Modieslab: geprefabriceerde betonwegen met open toplagen - <i>Cement</i> , 2001 nr. 6	
IV	Prefab-beton in geboorde tunnels - <i>BELTON Magazine</i> , maart 1998	
V	Het zal je huis maar wezen - <i>BELTON Magazine</i> , september 1998	

14.1 VOORGESPANNEN DAMWAND, SPANWAND®

14.1.1 Ontwikkeling

In 1994 werd Spanbeton geattendeerd op een artikel in het FIP-bulletin over voorgespannen damwanden in Japan. Een eerste analyse leerde dat dit ook een aantrekkelijk product zou kunnen zijn voor de Nederlandse markt en dus voor Spanbeton. Na een bezoek aan de ontwikkelaar en producent in Japan, verwierf Spanbeton de mogelijkheid de voorgespannen damwand in West-Europa toe te passen.

Het verticale draagvermogen van een stalen damwand is vrijwel nihil. Stalen damwanden worden vooral daar toegepast waar horizontale belasting moet worden opgenomen en water en grond moeten worden gekeerd teneinde binnen de bouwput droog te kunnen bouwen of blijvend water en grond te scheiden.

Die eisen van kering van water en grond mag en moet men ook aan de voorgespannen damwand stellen, maar daarnaast kan men de betonnen voorgespannen damwand tevens gebruiken voor de opname van verticale belastingen, dus als paal. De doorsnede van een strekkende meter damwand is immers gelijk aan die van een behoorlijk zware paal. Men moet dan uiteraard wel de punt van de damwand tot in de draagkrachtige lagen slaan, hetgeen voor de grondkerende functie niet nodig zou zijn geweest.

De stalen damwand wordt veelal toegepast in tijdelijke constructies. Men kan de stalen damwand weer trekken en hergebruiken. De voorgespannen betonnen damwand is daartoe minder geschikt. Ook heeft men meer transportgewicht en dient men zwaarder equipment te gebruiken dan bij een stalen damwand. Maar er zijn ook veel voordelen, waarover later meer.

Spanbeton heeft in samenwerking met IFCO Funderingsexpertise B.V. te Gouda en Vroom Funderingstechnieken B.V. te Oosthuizen een onderzoekprogramma opgesteld en uitgevoerd dat het verantwoord toepassen in Nederlandse omstandigheden heeft aangetoond.

Mede door de opgedane ervaringen tijdens de onderzoeken, maar ook om aan te sluiten bij de Nederlandse normen is de Japanse doorsnede voor de Spanwand® enigszins aangepast. De binnenhoeken zijn daartoe afgeschuind. Gezocht is naar een kleine serie hoogten, die in stijfheid en momentencapaciteit zouden overeenkomen met veel gebruikte stalen damwandprofielen. Naast de Spanwand® zijn er ook vlakke damwandplanken beschikbaar voor toepassingen op die plaatsen waar de grond- of waterkering niet om een grote momentcapaciteit van de damwand vraagt.



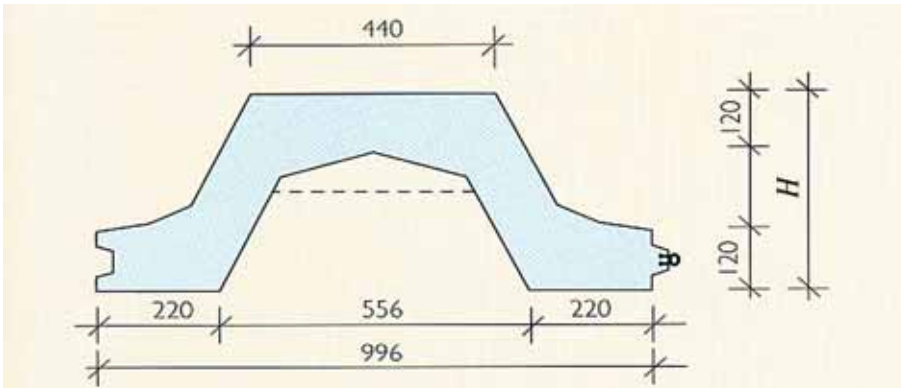
Foto 14.001: Productielijn voor de Spanwand®

14.1.2 De Spanwand®

De werkende breedte is 1,0 m. De beschikbare hoogten zijn 350 mm, 450 mm en 600 mm. Zie voor de beschikbare doorsneden van de Spanwand® en statische grootheden figuur 14.002.

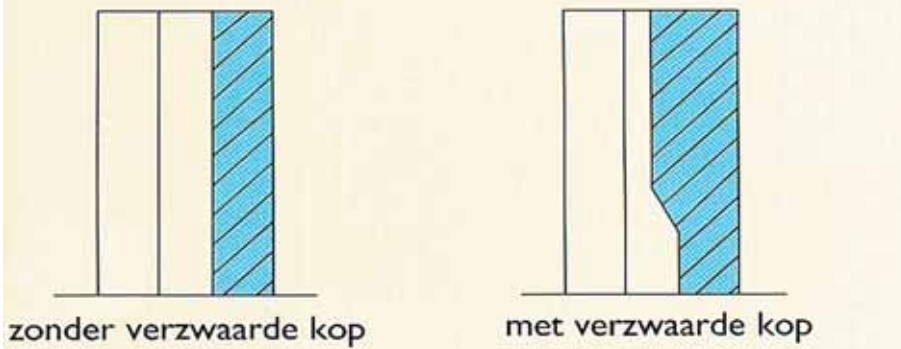
Momentcapaciteit

De damwand is voorgespannen; het maximum aantal strengposities is gereserveerd. Voorspannen is aantrekkelijk omdat het scheurmoment hoger ligt dan bij een gewapende uitvoering. In de gebruiksfase is dit zeker van belang. Men kan in veel omstandigheden een zekere scheurwijdte toestaan. De momentcapaciteit voor het scheurmoment M_s en het breukmoment M_u , zijn in figuur 14.003 af te lezen voor de drie beschikbare hoogten. Het getal 65 achter de hoogte geeft de betonsterkteklasse aan.



Type	H hoogte(mm)	max. lengte(m)	A ($\times 10^3 \text{mm}^2$)	I ($\times 10^6 \text{mm}^4$)	W ($\times 10^6 \text{mm}^3$)
350/65*	350	15	162,84	1730,84	9,9
450/65*	450	17	190,38	3554,49	15,80
600/65*	600	21	214,81	7888,93	26,30

* /65 is element van beton B 65



Figuur 14.002: Doorsnede van drie beschikbare Spanwand-profielen

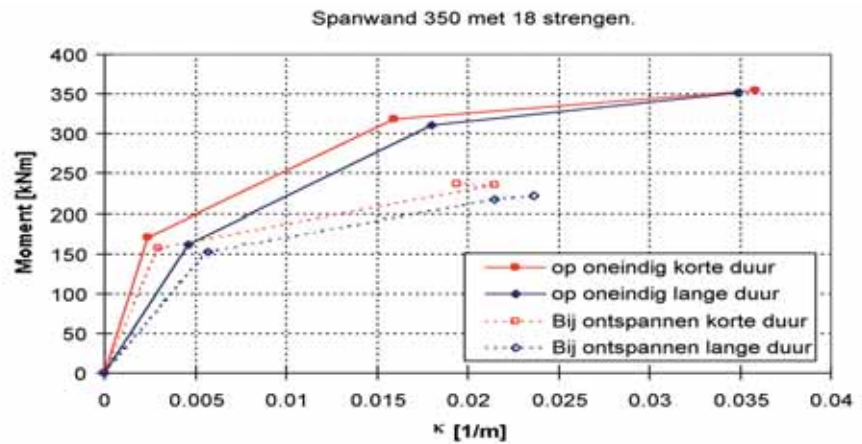
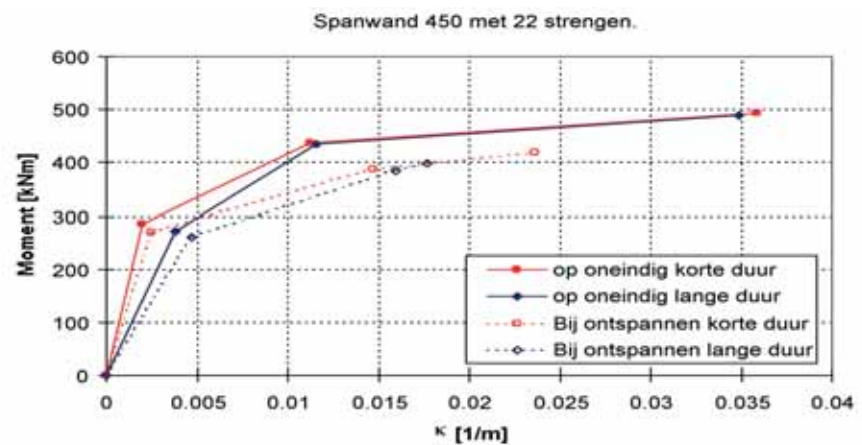
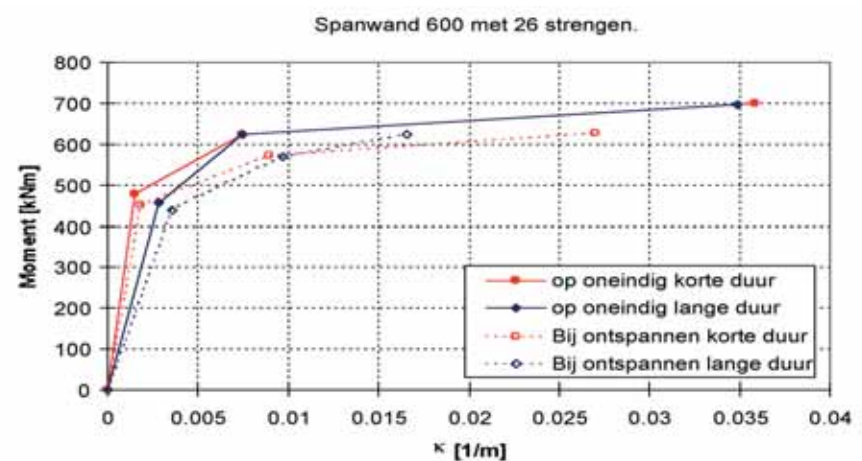
Type	Hoogte h in [mm]	Max. lengte L in [m]	Doorsnede A in [m ²]	Gewicht G in [kg/m ³]	Traagheids- moment I in [mm ⁴ /m]	Buigstijfheid EI in [kNm ² /m]
SPW 350 / 65	350	15	0,163	410	1731×10^6	66600
SPW 450 / 65	450	18	0,190	475	3554×10^6	136850
SPW 600 / 65	600	23	0,215	540	7889×10^6	303720

Type	Maximaal aantal strengen	Scheurmoment M _r in [kNm]	Uiterst opneembaar moment M _u in [kNm]
SPW 350 / 65	18	144	284
SPW 450 / 65	22	263	476
SPW 600 / 65	26	443	790

Figuur 14.003: Gegevens en momentcapaciteiten spanwanden 350/65, 450/65 en 600/65

M-N- κ diagrammen

De vermelde grootheden in voorgaande de tabel zijn maxima. Voor de werkelijke capaciteit heeft men het aantal strengen nodig. De waarden kunnen worden bepaald met behulp van *M-N- κ* diagrammen. In figuur 14.004 ziet men een drietal van deze diagrammen, waarbij de voorspanning is gevarieerd. Met altijd aanwezige verticale belasting kan men de *N* - de normaalkracht - verhogen, waardoor het scheurmoment omhoog zal gaan.

M-N- κ diagram*M-N- κ diagram**M-N- κ diagram*

Figuur 14.004: *M-N- κ* diagrammen voor een damwanddoorsnede

Spuitletzen

Wanneer men bij het inbrengen van de Spanwanden® een 'zware' grondlaag moet passeren, of wanneer tijdens het trillen een verdichtingseffect in de ondergrond wordt verwacht, kan gebruik gemaakt worden van een spuitlans. Door water in een dichte zandlaag te spuiten neemt de waterspanning toe en de korrelspanning af; hierdoor ontstaat ruimte voor de Spanwand®, zodat het inbrengen vereenvoudigd wordt. Wanneer verticale draagkracht nodig is, zal het element over het laatste gedeelte (bij het bereiken van de draagkrachtige laag) zonder bijspuiten verdiept moeten worden. Behalve een externe stalen spuitlans is het ook mogelijk om in het element een spuitlans in te storten, met een ingang aan de kop en twee uitgangen aan de voet van het element.

Verzwarening kop

Inmiddels zijn er ontwikkelingen gaande waarbij de verzwaarde kop komt te vervallen en de doorsnede van de Spanwand® enigszins wordt gewijzigd, zodat het productieproces verder wordt geoptimaliseerd. In de toekomst is de doorsnede over de gehele lengte constant (prismatisch). Om de klembek van het trilblok zijn krachten gelijkmatig af te laten dragen op het element, zijn de twee vlakken waar de klem het element vastklemt evenwijdig; de kop is daardoor verzwaard. Binnenkort is de dikte plaatselijk niet langer 200 mm zoals op de onderstaande foto, maar 150 mm, constant over de gehele lengte.



Foto 14.005: Spanwanden getast. De verlopende doorsnede is duidelijk waarneembaar alsmede de verzwarening van de kop en de doppen op de pijpen voor het fluideren

Afschuining punt

Om zeker te zijn van een goede aansluiting van een in te brengen element op een reeds geplaatst element, worden de Spanwanden® aan de onderzijde (voet) net als houten damwanden voorzien van een bles. Deze bles, een afschuining, wekt korrelspanning op waardoor de damwand aan de voet tegen de daarvoor geplaatste wordt aangedrukt. De toepassing daarvan vraagt wel om een geplande heivolgorde; men dient de heirichting te kennen.

Voegprofiel

Voor de dichtheid van de voeg is een rubberprofiel ontwikkeld dat zeer goed blijkt te voldoen en duurzaam is. Het behoeft slechts over die lengte te worden aangebracht waar de voeg gesloten moet blijven.



Foto 14.006: De aansluiting van twee damwandelementen met een rubber voegprofiel ingestort in de rechter damwandplank dat zich voegt naar de ruimte in de sponning van de linker damwandplank. Hiermee zijn grond- en waterdichte aansluitingen te maken

Hoeken en passtukken

Voor eventuele hoeken of passtukken om exact uit te komen op een bepaalde stramenmaat zijn standaard rechthoekige elementen toepasbaar die dezelfde dikte hebben als de Spanwanden® (200 mm), zodat dezelfde klem van het trilblok kan worden toegepast om deze elementen in te brengen. Haakse hoeken en hoeken van 45 graden zijn standaard, maar ook alle andere hoeken zijn in principe mogelijk.

14.1.3 Specifieke voordelen

Sinds 1996 is de betonnen damwand gestaag gegroeid in populariteit. De toepassing neemt jaarlijks toe. Men heeft langzamerhand de voordelen van deze voorgespannen damwand voor permanente toepassingen leren kennen. Bovendien is gebleken dat de totale kosten, stichtingkosten en onderhoudskosten tezamen, opwegen tegen een andere uitvoering.

De Spanwand®

- De voorgespannen damwand heeft een grote stijfheid. Men kan de voorspanning, en dus de momentcapaciteit per profielhoogte afstemmen op de optredende belastingen.
- Door een optimale betonkwaliteit is tevens een grote duurzaamheid gegarandeerd, zodat het niet uitmaakt in welke milieuklasse de damwand komt te verkeren.
- Door het gebruik van een stalen bekisting en de toepassing van ZVB is de Spanwand® ook esthetisch verantwoord.
- Door het aanwezige voegprofiel is de damwand als grond- én waterkering uit te voeren.
- Het aansluiten van vloeren en dergelijke is mogelijk door het opnemen van ankers of lasplaten voor stekeinden die opgenomen kunnen worden in de vloerwapening. Hoekaansluitingen zijn op meerdere manieren uit te voeren.



Foto 14.007: Damwand uitgevoerd met voorzieningen om de constructieve verbinding tussen de damwand en de keldervloer te realiseren

Inbrengen

- Er is een ruime ervaring opgedaan met zowel het heien met een hydraulisch blok als met het trillend op diepte brengen van de damwanden. Er is ten opzichte van het inbrengen van een stalen damwand geen principieel verschil.
- Men dient wel rekening te houden met een groter blokgewicht vanwege de hogere massa van de damwandplank.
- Trekspanningen tijdens het inbrengen worden geëlimineerd door de aanwezige voorspankracht in de doorsnede.
- Door de strakke vorm en de aan te brengen geleiding tijdens het inbrengen, is plaatsing binnen nauwe grenzen mogelijk.



Foto 14.008: Damwandelementen worden met een trilblok op diepte gebracht. Zoals hier is te zien, in fasen op diepte, zoals af te lezen aan de verschillende hoogten van de damwandelementen boven het maaiveld



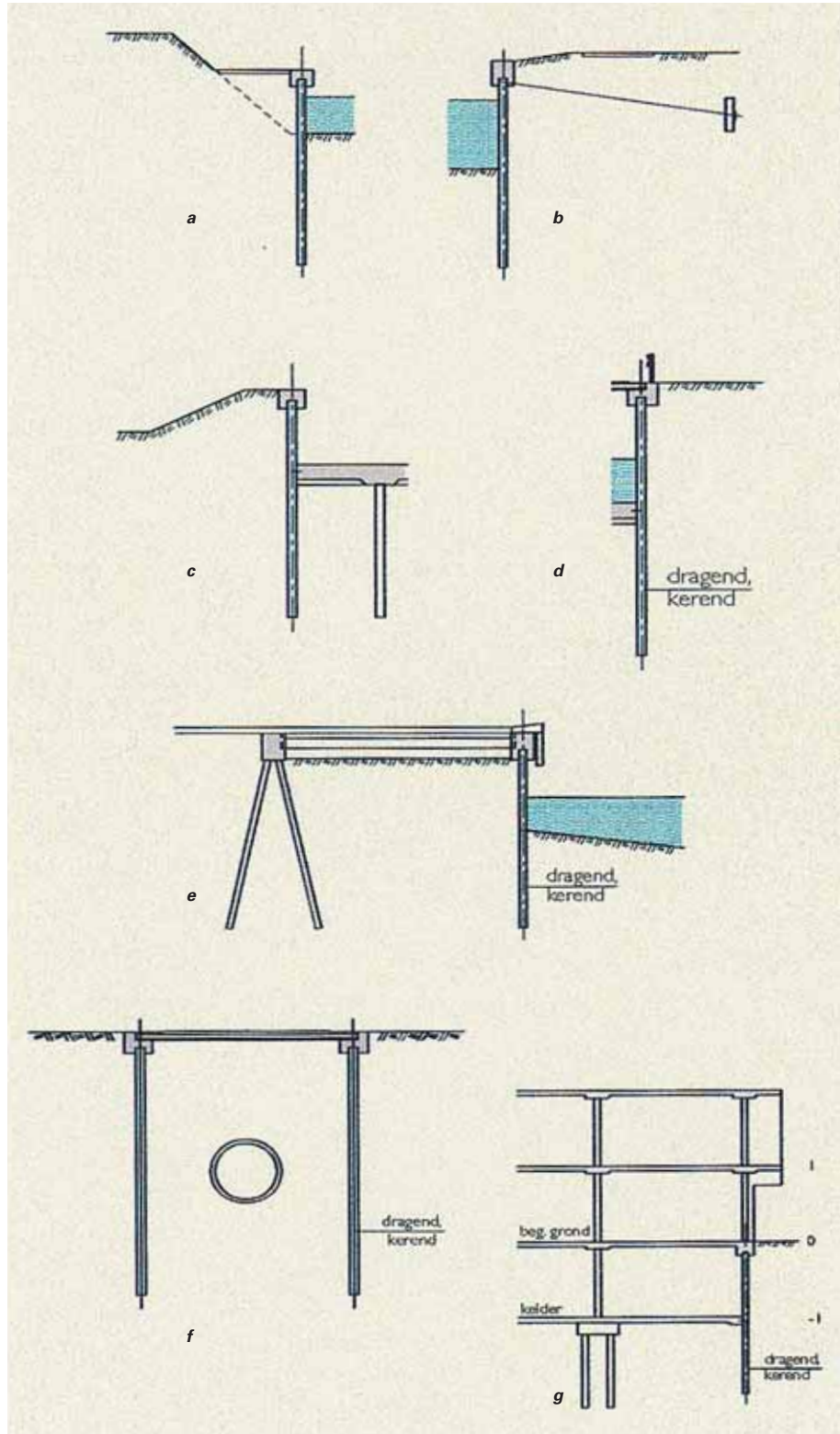
Foto 14.009: Damwand geheid voor een wegverbreding langs de bestaande en in gebruik zijnde snelweg. De damwandelementen zijn op hoogte afgeheid.

Mogelijkheden

- Door de ruime doorsnede is er ook een groot puntoppervlak beschikbaar. Door de damwand tot in de draagkrachtige lagen te heien wordt een groot verticaal draagvermogen verkregen, terwijl de damwand tevens horizontale krachten uit grond, water, aangebrachte voorzieningen of botsbelasting kan opnemen.
- Door elementen gestaffeld (om en om een verschillende lengte) in te brengen is het mogelijk om te besparen op het wandoppervlak, het inbrengen te vereenvoudigen en toch gebruik te maken van het draagvermogen van de Spanwand®.
- De toepassingen van de damwand worden dus zeer verruimd.
- Ondergronds bouwen is dus zeer wel mogelijk met deze damwand.

14.1.4 Toepassingen

Met de voorgaand genoemde mogelijkheden voor verticaal en horizontaal belasten zijn er talrijke toepassingen te vinden. Schematisch is een aantal aangegeven in figuur 14.010.



Figuur 14.010: a) Oeverbescherming b) Verankerde grond- en waterkering c) Open-bakconstructie d) Duiker e) Loswal f) Overkluizing g) Gebouw, dragende kelderconstructie

Inmiddels is een groot aantal werken uitgevoerd, waarvan een aantal voorbeelden wordt gegeven.



Foto 14.011: Leidingkoker in uitvoering. De leiding mag niet verzakken en zeker niet ongelijk. Verkeer moet er later overheen kunnen gaan



Foto 14.012: Landhoofden voor viaducten en oplegbalken of pijlers



Foto 14.013: Kunstwerk 6A, Zuidtangent, busbaan te Vijfhuizen. Damwand SPW 600, lang 18,0 m



Foto 14.014: Grondkering, duiker Smalweesp te Weesp. Projectlengte 240 m. Damwand SPW 450 lang 9,0 tot 11,0 m



Foto 14.015: Dragende en kerende kelderwanden in parkeergarages, kantoren en wooncomplexen



Foto 14.016: Uitvoering van een damwand als kelderwand, waarop de vloeren aansluiten



Foto 14.017: Uitvoering van een hoek in de wand, waarbij in hetzelfde project de andere wand in cirkelboog is geplaatst



Foto 14.018: Sloof gestort op damwand langs de spoorbaan. Daarmee is de onderlinge horizontale verplaatsing van de bovenzijde van de wand geminimaliseerd en is een visueel aanvaardbare beëindiging van de wand ontstaan

Constructie & uitvoering
Utiliteitsbouw

Ondergrondse parkeergarage in Centrumplan te Noordwijk

Betonnen damwand economisch alternatief

ing. J. van Iterson, constructiebureau H.C. Bogaards en
ing. P.W. Suijs, Spanbeton BV

In het centrum van Noordwijk wordt binnenkort een nieuw ontmoetingscentrum annex woon-/winkelcomplex in gebruik genomen. Onder het complex bevindt zich een parkeerkelder. Als alternatief voor de traditionele stalen damwand is voor de kelderwand een betonnen damwandconstructie toegepast (foto 1). Met dit systeem konden grondkering en kelderwand in één constructie worden geïntegreerd.



1 | Een betonnen Spanwand fungeert als kelderwand van een ondergrondse parkeergarage in Noordwijk

In de kelder en op de begane grond was door de combinatie van functies: parkeren, winkels en een ontmoetingscentrum, een open draagstructuur van kolommen nodig. Op de eerste verdieping, waar de appartementen komen, zijn in de letterassen de bouwmuren geplaatst. In deze assen zijn op de begane grond en de eerste verdieping betonbalken geplaatst, waardoor de begane grond en de verdiepingsvloeren evenwijdig aan de langsevels overspannen. De betonbalken dragen de belasting uit de vloeren

en de bouwmuren af naar kolommen in het gebouw en naar de langsevels.

Afdracht naar de fundering

De samenstelling van de ondergrond maakte een fundering op staal mogelijk. De keldervloer is uitgevoerd als een betonnen plaat van 250 mm dik (fig. 2). Daar waar kolommen hun belasting afdragen is de vloer verdikt (fig. 3). De buitenkant van de kelder wordt gevormd door een gesloten betonnen wand (fig. 4, 5). Ter

plaats van de gevels worden de belastingen uit de balken in de begane grond en de eerste verdieping dus op deze stijve wand afgedragen naar de ondergrond. De wand werkt als wandligger en zal de belasting gelijkmatig verdelen naar de ondergrond.

De kelder is, om zettingen en belastingen op de damwand te beperken, ongeveer 1,50 m van de belendingen naast as A vrij gehouden (fig. 2). De fundering zou hier aanvankelijk worden gevormd door boorpalen, maar door de beperkte ruimte kon de boorstelling niet op de juiste plaats komen en werd voor putringen gekozen.

Tussen de assen A en E werd de kelder op 7,50 m vanaf de gevel gesitueerd, om een inrit van de weg naar de bouwput te kunnen maken. Doordat deze grond hierdoor geroerd was, kon zonder een dure grondverbetering niet op staal worden gefundeerd. Hier zijn boorpalen gemaakt met daar overheen funderingsbalken die aansloten op de kelderwand, die uitgevoerd is als een hollewandsysteem.

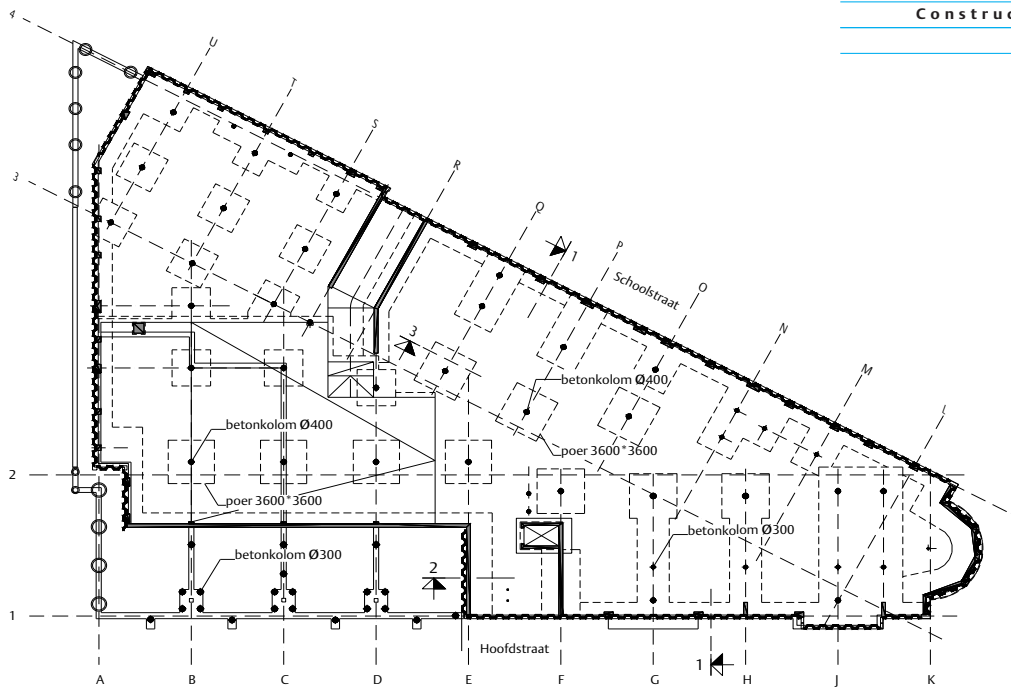
Kelderwand

Met geprefabriceerde voorgespannen betonnen damwanden kan tegelijk een grondkering en een kelderwand worden gemaakt, zonder een aparte grondkering.

Onderzocht is of dit systeem in dit gebouw constructief mogelijk was. De volgende aspecten zijn daarbij bekeken:

- horizontaal evenwicht (bouwput-/damwand-berekeningen);
- draagkracht;
- installeren van de wanden;
- waterdichtheid.

Constructie & uitvoering
 Utiliteitsbouw



Horizontaal evenwicht

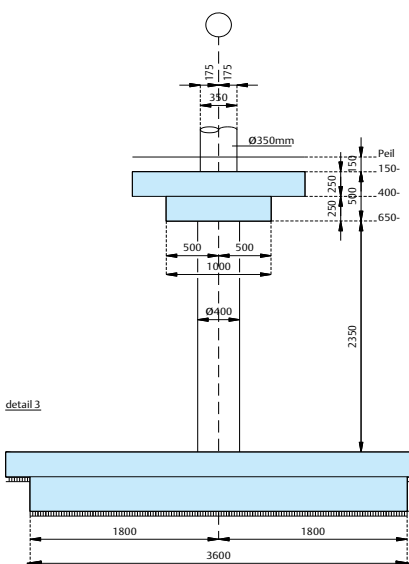
De bouwput bestaat, globaal gezien, uit een driehoekig grondvlak, met zijden van 65 m langs de Hoofdstraat, 76,5 m langs de Schoofstraat en 45 m langs de belendingen (foto 6). De meest belendende panden worden

overigens afgebroken. Het meest nabijgelegen pand komt op ongeveer 2,50 m afstand te staan, over een lengte van 3,50 m.

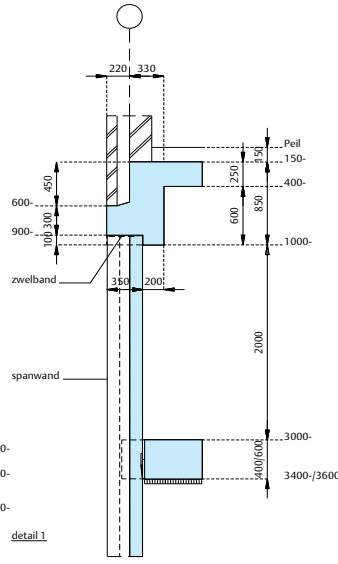
De panden in de omgeving zijn alle op staal gefundeerd en er zijn nutsleidingen aanwezig op circa

2,00 m van de bouwput. De maaiveldhoogte bedraagt grotendeels NAP + 6,80 m, over een lengte van 25 m. Langs de Hoofdstraat ligt deze echter lager, namelijk op NAP + 5,90 m. Hier wordt de bouwput in een open talud gerealiseerd.

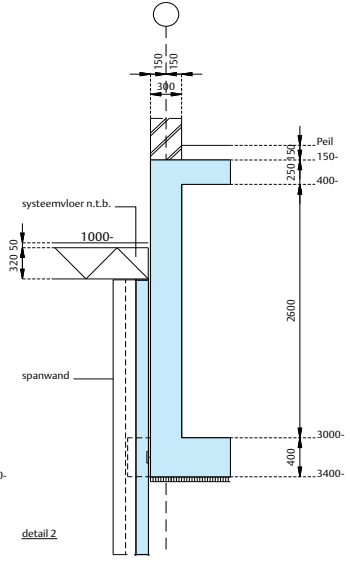
2 | Plattegrond van de kelderverdieping



3 | Doorsnede ter plaatse van tussenkolom (detail 3 in fig. 2)



4 | Principedoor snede over de kelderwand (detail 1 in fig. 2)



5 | Doorsnede over de hellingbaan (detail 2 in fig. 2)

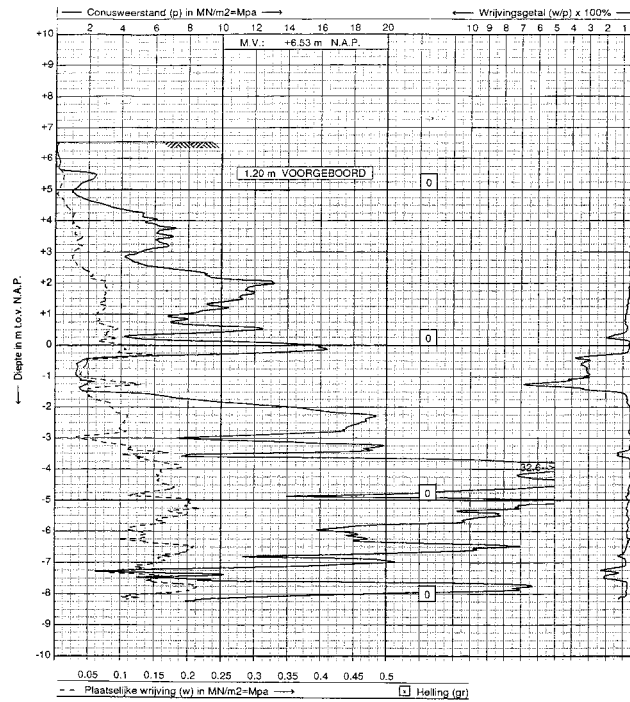
Constructie & uitvoering

Utiliteitsbouw

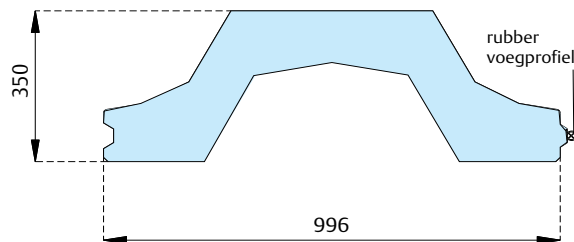
6 | Situatie rondom de bouwplaats ten tijde van het inbrengen van de Spanwand



7 | Sondering



8 | Doorsnede van het Spanwandtype 350/65



De damwandberekeningen zijn uitgevoerd met het programma Msheet en gebaseerd op de grondparameters, die aan de hand van de sondeergrafieken zijn bepaald (fig. 7).

Er zijn twee doorsneden van de bouwput berekend, een voor het zwaarst belaste gedeelte langs de belending en een voor het overige deel van de bouwput. De damwand wordt aangebracht in een sleuf, met een bodembreedte van 1,00 m. De bodem van de sleuf ligt op NAP + 6,0 m.

- **Damwand langs de belending:**
vrijstaande damwand
(niet verankerd)

damwandprofiel:

Spanwand® 350/65

El-profiel:

$66,6 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$

maaiveldhoogte:

NAP + 6,50 m

inheidiepte:

NAP + 0,00 m

planklengte:

6,50 m

ontgravingsdiepte:

NAP + 3,60 m

grondwaterstand:

NAP + 3,10 m of hoger

$M_{\text{veld,max}}$:

62 kNm/m

kopverplaatsing

27 mm

gemob. grondweerstand ca. 32% van de max. waarde.

- **Damwand langs de Hoofdstraat en Schoolstraat:**
vrijstaande damwand

(niet verankerd)

damwandprofiel Spanwand®:

350/65

El-profiel:

$66,6 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$

maaiveldhoogte:

NAP + 6,75 m

inheidiepte:

NAP + 0,50 m

planklengte:

5,60 m

ontgravingsdiepte:

NAP + 3,10 m

grondwaterstand:

NAP + 3,10 m of hoger

$M_{\text{veld,max}}$:
 42 kNm/m
 kopverplaatsing:
 21 mm
 gemob. grondweerstand ca. 30%
 van de max. waarde.

Elementtype 350/65 voldoet
 (fig. 8).

- Voorschriften / uitgangspunten:**
 VBC 1995
 milieuklasse:
 3 (vochtig in combinatie met
 dooizouten)
 dekking betonstaal:
 min. 30 mm
 dekking voorspanstaal:
 min 35 mm
 voorspanstrengen:
 FeP 1860 Ø12,5 mm,
 A = 93 mm²
 betonstaal:
 FeB 500 HK

De doorsnede berekening van de Spanwanden en hoekpalen zijn uitgevoerd met het computerprogramma 'SPAN' conform de VBC. De elementen worden gecontroleerd op:

- rekenmoment met behulp van 'SPAN';
- dwarskracht;
- toetsing transportfase;
- capaciteit dwarsrichting;
- ontkisten;
- hijsen en stapelen van de elementen;
- toetsing inbrengfase.



9 | Een stalen constructie zorgt voor de koppeling aan de keldervloer

Draagkracht

Het draagoppervlak van een element komt ongeveer overeen met een betonpaal met de afmeting van 450 x 450 mm². Op een element zou een grote belasting kunnen worden toegelaten in de zandlagen beneden NAP -2,0 m. Voor de grondkering tijdens de bouwfase was een damwandlengte van minimaal 6,50 m nodig. De punt van de damwandplank stond dan net boven een klei-/veenlaag en zou bij belasting doorponzen. Het langer maken van de damwandplanken en op een diepere laag funderen was geen optie. De damwand zou dan veel stijver zijn dan de staalfundering van de kelder binnen de buitenwanden. Er ontstaan dan te veel zettingsverschillen, die aanleiding geven tot scheurvorming.

Daarom is gekozen voor de mogelijkheid de belasting uit de hoofdconstructie naar de keldervloer af te dragen via tegen de kelderwanden te storten kolommen. De damwandelementen zijn daarbij aan de keldervloer gekoppeld met een ingestorte stalen constructie (foto 9). Op deze wijze is de totale gebouwbelasting in hetzelfde zandpakket gefundeerd. Hierdoor werd het mogelijk het zettingsgedrag van de damwandelementen op gelijk niveau te houden met de zettin-

gen van de hoofdconstructie.

In de hoofdfasen werden kolommen geplaatst onder de hoofdbalken van de begane grond en de eerste verdieping en ook daartussen, ter plaatse van de gevelpanelen die een gedeelte van de vloeren, de balkons en het gevelmetselwerk dragen. Om deze belastingen in de kolommen te leiden, het metselwerk te kunnen plaatsen en de damwand aan de begane grondvloer te koppelen, is over de wanden een randbalk gestort.

Doordat de belasting nu geconcentreerd op de rand van de keldervloer wordt overgebracht, waren langs de kelderwanden verdikte stroken nodig om de belasting te spreiden en de momenten en ponskrachten op te kunnen nemen (foto 10).

Installeren van de wanden

Het inbrengen van de damwanden is het meest kritisch. Spanwanden worden door vibreren en

10 | Verdikte stroken langs de vloerand zorgen voor belastingsspreiding en opname van momenten en ponskrachten



Constructie & uitvoering
Utiliteitsbouw



11 | Door persmortel in een persslang te pompen kan waterdichtheid ook bij een stijgende water-spiegel worden gegarandeerd

eventueel bijspuiten ingebracht, dit om betere plaatsing en waterdichtheid te garanderen. Als gevolg van het intrillen van de damwand kan verdichting van de zandlagen optreden. Dit kan schade aan de op staal gefundeerde belendingen veroorzaken. Om risico's zoveel mogelijk te beperken, kan een aantal maatregelen worden genomen:

- Een zwaar trilblok kiezen met een grote amplitude. Tijdens het intrillen moeten trillingsmetingen worden gedaan aan de belending;
- Een sleuf graven ter plaatse van het damwandtracé tot 1 à 1,5 m onder het maaiveld. Dit beperkt de lengte waarover de damwandplank door de droge grond moet worden ingetrild;
- De damwandplanken voorzien van ingestorte injectielansen, waardoor tijdens het intrillen onder hoge druk geringe hoeveelheden water worden gepompt (fluidatie);
- De planken voor te boren met een avegaarboorstelling. Hierbij kan gekozen worden uit twee methoden:
- De avegaar de grond inboren

en terugdraaiend trekken.

Hierdoor krijgt de grond een lossere pakking, zodat de elementen gemakkelijker kunnen zakken. Verdichting van de losgewoelde grond is echter weer mogelijk;

- De avegaar de grond inboren tot inbrengniveau en het boorgat tijdens het trekken van de avegaar vullen met een cement-bentonietsuspensie. Deze moet dan enkele uren verharderen, alvorens de elementen in te trillen. De inklemming van de elementen wordt verkregen door de verharding van de suspensie. Over het gedeelte van de elementen die in het zicht komen is deze cement-bentonietsuspensie goed te verwijderen.

Gekozen is voor deze laatste methode en er zijn vervolgens trillingsmetingen uitgevoerd.

Tijdens de uitvoering onttrokken de droge bovenlagen van zand veel water aan de cement-bentonietskolommen, waardoor versnelde verharding van dit mengsel optrad. Te hoge trillingsinvloeden waren het gevolg. Verbeteringen

met vertragers in de suspensie hebben voordelen opgeleverd. Het inbrengen van de elementen in een voorgeboorde cement-bentonietswand blijft kwetsbaar. Dit betreft vooral het afstemmen van boren en het inbrengen van de elementen met geavanceerd materiaal.

In tweede instantie zijn de elementen ingebracht onder vooren bijspuiten met water. Deze methode is succesvol geweest voor zowel de trillingen, als voor het inbrengen van de elementen. Door het grote aantal factoren dat van invloed is op het trillingsniveau blijkt het moeilijk de juiste methode van inbrengen te kiezen. Tijdens de uitvoering kan het dus nodig zijn de werkwijze te veranderen of aan te passen.

Waterdichtheid

Het grondwater bevindt zich op ongeveer 0,5 m onder de bovenkant van de keldervloer en kan in de winterperiode hoger staan. Er is geen waterdichte aansluiting gemaakt. Om het risico van een stijgende grondwaterspiegel in de toekomst te vermijden, is tussen de damwandelementen en de vloerrand een persslang aangebracht. Deze wordt opgepompt met persmortel als er lekkage ontstaat (foto 11).

De waterdichtheid tussen de damwanden onderling wordt verzorgd door een rubber waterslot, dat de naad tussen de elementen goed afsluit. Een gedeelte van de elementen is extra beveiligd door plaatsing in een geboorde cement-bentonietskolom. ■

Projectgegevens

opdrachtgever en hoofdaannemer:

fa. Wed. Kl. van der Wiel, Noordwijk

architect:

Architectenbureau Van Manen BV, Noordwijk

constructeur:

Bouwkundig constructiebureau H.C. Bogaards, Katwijk

onderaannemer kelder:

Spanbeton BV, Koudekerk a/d Rijn

Constructie & uitvoering
Prefabricage

Hogesterkte vezelversterkt zelfverdichtend beton

Nieuwe spanwand

R. Tol, dr.ir. W. Jansze, Spanbeton B.V. en dr.ir. C. van der Veen, TU Delft, faculteit CITG, sectie Betonconstructies.

Nieuwe betonsoorten maken nieuwe toepassingen mogelijk en die zijn onmisbaar om onderzoek naar nieuwe betonsoorten te kunnen doen. Vanuit deze filosofie is, in een samenwerkingsverband tussen Spanbeton en de TU Delft, een hogesterkte vezelversterkt zelfverdichtend beton (HSVVZVB) voor toepassing in een spanwand ontwikkeld. Bij Spanbeton zijn recent de eerste prototypes geproduceerd en beproefd door eerstgenoemde auteur in het kader van zijn afstudeeronderzoek.

7 | Spanwand als grondkering en funderingselement



SPANWAND, de betonnen damwand ontwikkeld door Spanbeton B.V., heeft zich sinds de introductie in 1996 in de praktijk bewezen. In meer dan 200 projecten is de spanwand toegepast: bij de bouw van kades, keermuren, landhoofden, duikers, overkluizingen en parkeergarages. Een voordeel van de spanwand ten opzichte van stalen damwanden is het grote verticale draagvermogen. Hierdoor kan de spanwand naast grond- en waterkering tevens fungeren als funderingselement. Foto 1 toont een viaduct waarin de spanwand deze beide functies uitoefent. Nadat de spanwanden geplaatst zijn en een sloof gestort is, kunnen de betonnen brugliggers geplaatst worden. Toepassing van de spanwand leidt dus tot een eenvoudige bouwmethode. Verder heeft de spanwand een hoge duur-

zaamheid, waaruit een langere levensduur met minder onderhoud volgt.

De spanwand wordt op dit moment geleverd in sterkteklasse B 65, met een dikte van 120 mm, in drie profielhoogten: 350, 450 en 600 mm, met maximale lengtes van respectievelijk 15, 18 en 23 m. De spanwand is voorgespannen met voorgerekt staal en lokaal gewapend met betonstaal.

Voorafgaand

Het onderzoek naar hogesterkte vezelversterkt zelfverdichtend beton aan de TU Delft is in 1998 gestart door Dr. Sato [1], een Japanse gastonderzoeker. Het door hem ontwikkelde mengsel is in 2001 geoptimaliseerd door Grünwald en Bolo [2]. Dit heeft geleid tot een beton met een snellere sterkteontwikkeling, zodat een eendaagse

productiecyclus mogelijk is. Verder is de grondstofprijs teruggebracht tot minder dan € 450,- per m³. Desondanks blijft de grondstofprijs veel hoger dan bij traditioneel beton, voornamelijk veroorzaakt door de prijs van de staalvezels. Daar het mogelijk is slanker te construeren, is er minder beton benodigd en als betonstaalwapening achterwege gelaten kan worden, wordt bij productie verder bespaard op materiaal en arbeidskosten. Daarnaast zal een slankere spanwand voordelen bieden bij opslag en transport, en zal tijdens installatie sneller gewerkt kunnen worden. Echter het grondmechanisch puntdragvermogen zal afnemen ten opzichte van de spanwand van B 65, doch veel hoger zijn dan dat van de stalen damwand. Om antwoord te kunnen geven op de vraag of de voordelen opwegen tegen de hogere kosten van het HSVVZVB is het onderzoek gestart.

Bij Spanbeton is een spanwand ontworpen waarbij rekening is gehouden met alle handelingen die deze ondergaat tijdens productie, transport, opslag en installeren. Het concept-ontwerp is van Van der Kolk [3], dit ontwerp is uitgewerkt en beproefd door Tol [4].

Deze spanwand is onderworpen aan een praktijkproef in drie fasen. Eerst zijn vijf spanwanden bij Spanbeton geproduceerd. Vervolgens zijn van twee spanwanden proefstukken gezaagd waarop, om de berekeningen te verifiëren, bezwijkproeven zijn uitgevoerd. Tenslotte zijn installatieproeven gedaan met drie spanwanden.

HSVVZVB

Van der Kolk heeft de mogelijkheden van toepassing van nieuwe betonsoorten in een spanwand onderzocht. Geconcludeerd is dat

Constructie & uitvoering
 Prefabricage

de toepassing van het mengsel van Sato, *HSVZVB*, het meest aantrekkelijk was. De kostprijs van het materiaal moest echter met ongeveer 40% teruggebracht worden om concurrerend te worden met de huidige spanwand van B 65.

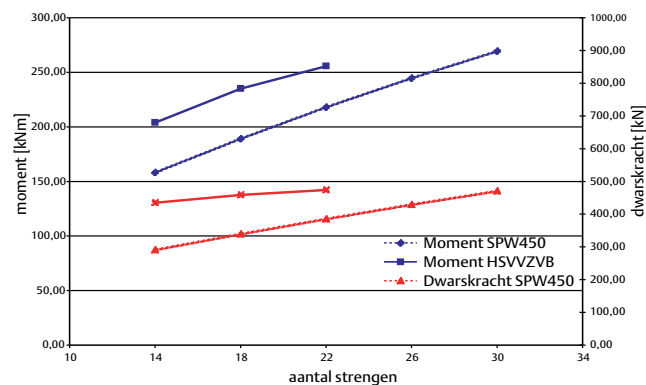
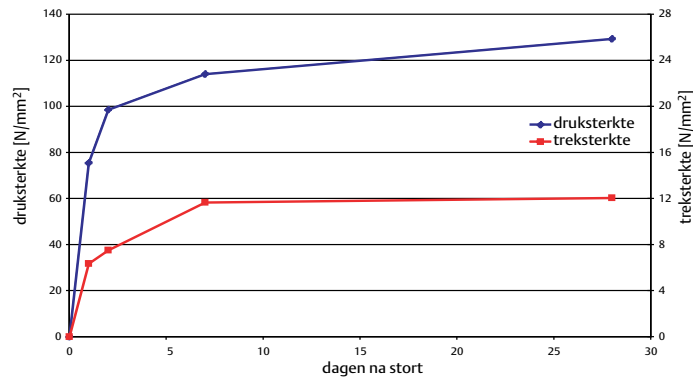
Dit is bereikt met de optimalisatie aan de TU Delft door Grünwald en Bolo. Hierbij is een deel van de microsilica vervangen door fijn zand en is een hoeveelheid portlandcement vervangen door hoogovencement. Verder is de hoeveelheid staalvezels en superplastificeerder teruggebracht.

Bij de productie van de proefplanken is de sterkteontwikkeling van het *HSVZVB* nauwlettend gevolgd. In de grafiek in figuur 2 zijn zowel de gemiddelde druk- als treksterkteontwikkeling weergegeven. De gemiddelde druksterkte na 28 dagen was 129 N/mm². De voor ontkisten benodigde druksterkte, 65 N/mm², werd zonder verwarmen bereikt na 20 à 22 uur. De 28-daagse treksterkte bedraagt gemiddeld 12 N/mm². Verder is de trechtertijd van het beton ongeveer 7 seconden en de vloeimaat 800 mm.

Ontwerp

Voor de *HSVZVB*-spanwand is de profielhoogte 450 mm als uitgangspunt gekozen. De dikte van de wand ter plaatse van het lijf is 45 mm en ter plaatse van de flenzen 50 mm. Per spanwand zijn 18 strengen FeP 1860 Ø 12,5 toegepast en geen betonstaal wapening. De capaciteiten van deze spanwand zijn berekend en weergegeven in figuur 3. De momentcapaciteit is belangrijk aangezien de te keren hoogte grond hiervan afhangt. Het scheurmoment per m breedte (18 strengen) bedraagt 235 kNm, iets meer dan het scheurmoment van de spanwand van B 65. De opneembare dwarskracht is 465 kN.

De berekening is door een bezwijkproef geverifieerd en reproduceerbaar bevonden.



Proefproductie

Bij het mengen van het beton is een tegenstroommenger van Spanbeton gebruikt. De mengprocedure duurde een kleine 10 minuten. Voor de proefproductie is gebruikgemaakt van een houten kist (foto 4). Het mengsel stroomt bij het storten door het lijf naar de onderflens. Ondanks de kleine doorgang, ongeveer 16 mm ter plaatse van de strengen in het lijf, vult de kist zich goed (foto's 5 en 6). Kenmerkend zijn de strakke randen van messing en groef.

Eén dag na het storten kan ontkist worden. Het spanblok wordt ingetrokken en de strengen verankeren zich zonder scheurvorming in de dunne spanwand. Als het deksel van de mal verwijderd is kan de spanwand uit de kist gehesen worden. Hiervoor en voor horizontaal transport, zijn plaatankers ingestort waarin een hijs-

lus geschroefd kan worden (foto 7). Het gebruikte plaatanker bestaat uit een schroefhuls met daaraan vastgelast een staalplaatje. Ondanks de geringe dikte van de spanwand ter plaatse van het anker, is de draagkracht ruim voldoende, dankzij de strengen waarachter het staalplaatje is verankerd.

4 | Proefproductie in houten kist



Constructie & uitvoering

Prefabricage



5-6 | Het vullen van de mal
7 | Het hijsen uit de mal
8 | Opslag van de spanwanden



Transport

Bij transport kunnen de spanwanden efficiënt gestapeld worden, recht op elkaar en gedeeltelijk in elkaar (foto 8). Bij de huidige spanwand van B 65 is het in elkaar stapelen niet mogelijk en worden de spanwanden als een piramide gestapeld. Per vrachtwagen kunnen tweemaal zoveel HSVVZVB spanwanden vervoerd worden als huidige spanwanden van B 65.

Installatie

Om het gedrag van de spanwand tijdens het in de grond trillen te testen, zijn installatieproeven uitgevoerd. Uit de sondering op de proeflocatie bleek dat de bovenste grondlagen voornamelijk uit klei en veen bestonden, op 12 m diepte bevond zich een dikke zandlaag. Gezien de lengte van de spanwanden konden deze tot 2 m diep in de zandlaag geïnstalleerd worden.

De gehele installatieprocedure van de HSVVZVB-spanwanden is nagenoeg gelijk aan de procedure bij de spanwanden van B 65. Eerst wordt de spanwand verticaal gehesen (foto 9). Dit gebeurt aan een hijslus, welke in een M 20-stekanker geschroefd is. Vervolgens wordt de spanwand in het heiframe geschoven. Dit geleidt de spanwand tijdens het inbrengen over de eerste meters. Daarna wordt het trilblok op de spanwand geplaatst. Voor het installeren is een trilblok gebruikt met een va-

riabel moment en met een maximaal excentrisch moment van 400 Nm. De klem zoals normaal voor spanwanden van B 65 gebruikt wordt, is voor de proef aangepast. Met een opvulstuk is de klembek teruggebracht van 200 mm naar 50 mm. Het totaalgewicht van het blok met de klem is 7 ton, ongeveer drie keer het eigen gewicht van de spanwand.

Foto 10 toont de spanwanden tijdens het installeren. De eerste twee elementen zijn gedeeltelijk geïnstalleerd en staan met de voet op de zandlaag. Het derde element wordt op het moment van de foto in het heiframe geschoven. Foto 11 toont de spanwanden nadat ze op diepte geïnstalleerd zijn, met de voet 2 m in de zandlaag.

De spanwanden waren bestand tegen de optredende krachten.

Bij de proef is met toenemend vermogen getrild, wat leidde tot verschillende installatiesnelheden. De eerste spanwand zakte met gemiddeld 12 mm/s en de laatste, waarbij met maximaal vermogen is getrild, met gemiddeld 24 mm/s. De spanwanden zijn zonder problemen twee meter diep in de zandlaag geïnstalleerd.

Na het inbrengen was nauwelijks scheurvorming in de kop zichtbaar.

Hierna zijn de spanwanden getrokken en gecontroleerd. Over een lengte van ongeveer 3 m is de messing beschadigd. Dit is te wijten aan het opvulstuk in de klem, waardoor het aangrijppunt op de spanwand zich niet meer in één lijn met het zwaartepunt van het trilblok bevond. Hierdoor ontstond een zijdelingse trilling, met grote krachten ter plaatse van de messing en groef. Het opvulstuk heeft waarschijnlijk ook een rol gespeeld bij het uitbreken van het klemvlak tijdens het trekken van de laatste spanwand. Bij de andere spanwanden is dit niet opgetreden.

Vezelrichting

Het bleek dat de staalvezels in de spanwanden voornamelijk in de lengterichting van de spanwand georiënteerd zijn. Dit wordt veroorzaakt doordat de specie deze stroomrichting heeft in de kist. Door de vezelrichting zijn de sterkte-eigenschappen van het beton richtingsafhankelijk. De vezels liggen gunstig om bij te dragen aan de sterkte in de hoofd-draagrichting. Loodrecht hierop zal echter gerekend moeten worden met een verlaagde treksterkte. Aan de hand van de resultaten van de verschillende bezwijkproeven waarbij de spanwand in dwarsrichting is belast, is geconcludeerd dat voor een veilige berekening van de spanwand in dwarsrichting, moet worden uitgegaan van de treksterkte van het beton zonder vezels.

Conclusie

Uit het onderzoek is gebleken dat hogesterkte vezelversterkt zelfverdichtend beton goede mogelijkheden biedt om toegepast te worden in een dunnere spanwand. De constructieve eigenschappen van de spanwand zoals moment- en dwarskrachtcapaciteit, voldoen aan eisen die de praktijk stelt. Ondanks de geringe dikte zijn eenvoudige voorzieningen toe te passen zoals plaatankers, stekankers en messing en groef. Alle handelingen die de spanwand ondergaat tijdens productie, opslag, transport en installeren zijn mogelijk. ■



Literatuur

1. Sato, Y., Van Mier, J.G.M., Walraven, J.C., Mechanical characteristics of multi-modal fiber reinforced cement based composites, in: Fibre-reinforced concretes (BEFIB 2000), Ed. by: Rossi, P. and Chanvillard, G., RILEM publications, 791 800.
2. Grünewald, S., Bolo, T., Van der Veen, C., Walraven, J.C., Performance-based design of a high strength self-compacting fibre reinforced mortar. Onderzoeksrapport TU Delft, 2001.
3. Van der Kolk, M., Haalbaarheid van hoge sterkte vezelversterkt vloeibeton voor spanwandprofielen. Afstudeerverslag TU Delft, 2001.
4. Tol, R., Spanwand van HSVVZVB; een nieuw ontwerp beproefd. Afstudeerverslag TU Delft, 2002.



- 9 | De spanwand wordt in het heiframe gehesen
10 | Het installeren van de spanwand
11 | De op diepte ingebrachte spanwanden

Onderzoek & technologie
Wegenbouw

MODIESLAB: geprefabriceerde betonwegen met open toplagen

ing. S.J. Poot, BetonSon bv, Son

De vraag van Rijkswaterstaat/DWW aan het bedrijfsleven mee te werken aan het programma 'Wegen naar de Toekomst' door ideeën in te dienen voor thema's als Modulair Wegdek, Slim Wegdek en Energiek Wegdek, is door de vof MODIESLAB, bestaande uit Beton Son, Arcadis Infrastructuur en Heijmans Infrastructuur en Milieu, opgepakt door mee te doen aan de thema's Modulair Wegdek en Energiek Wegdek. Hoge geluidsabsorptie, hoge kwaliteit door prefabricage, snelle vervangbaarheid en benutting van op, door of langs de weg op te wekken schone energie, waren de belangrijkste beoordelingscriteria.

Het concept MODIESLAB (MOD van modulair, I van intelligentie, E van energie en SLAB voor plaat) gaat uit van een modulair opgebouwd geprefabriceerd element, waarvan de eerste (onderste) laag bestaat uit een dragende betonnen basisplaat van 310 mm dikte, waarin energieleidingenregisters zijn opgenomen en die aan de bovenzijde zijn voorzien van afwateringsgootjes. Op de basisplaat twee lagen open beton voor geluidsreductie (fig. 1), een tussenlaag waarvan de dikte kan worden aangepast aan de dominante geluidsfrequentie over de breedte van het wegdek, gemiddeld 50 mm, en een toplaag van

15 mm. Het element bestaat de volledige wegbreedte (twee of drie rijstroken plus vluchtstrook) en heeft een breedte van 3,5 m, waardoor het met standaardtransportmiddelen vervoerd kan worden.

Gekozen is voor een duurzaam ontwerp dat minimale vervanging behoeft en waarin, als toch tot vervangen wordt besloten, de complete basisplaat met daarop de anders gewenste toplaag en/of inbouw pakket in de gewenste snelheid (gemiddeld vier minuten per plaat) het oude pakket vervangt. Deze keuze kon worden gemaakt omdat signalerings- en

detectiebedrading, alsmede toekomstige wegingtelligentie zonder verkeersonderbreking kunnen worden geïnstalleerd en vervangen vanaf de zijkant en de gekozen toplagen voor de geluidsreductie sterk, stijf en slijtvast zijn.

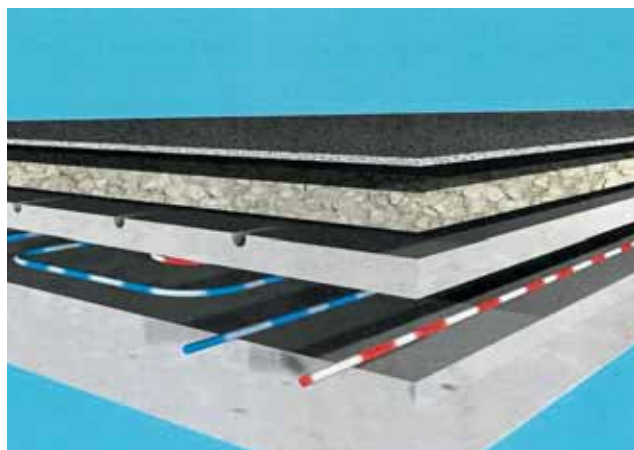
De uitwerking van de genomineerde inzendingen was voor Rijkswaterstaat/DWW zodanig interessant, dat de vier nominaties zijn verwerkt in een proefproject. Gekozen is voor de verzorgingsplaatsen de Brink en de Somp langs de A50 onder Apeldoorn. Van elk van de twee ontwerpen wordt op de Somp 150 m aangelegd met een breedte van 5 m en van elk van twee anderen (waaronder MODIESLAB®) 100 m op de Brink. Eind november 2001 moeten de proefprojecten gereed zijn.

Fundering

Het belangrijkste deel van wegen waarop thans open asfalt of zeer open asfalt wordt toegepast ligt in zettingsgevoelige gebieden. Voor een duurzame harde wegconstructie is funderen op palen dan een vereiste. Een paalfundering is dan ook onderdeel van het laagde wegdekconcept, waardoor een eenmaal geïnstalleerde vlakheid ook in lengte van dagen vlak blijft.

Een meerwaarde is toegevoegd door de palen als warmtewisselaar in de bodem te laten fungeren. Zij zijn daartoe uitgevoerd als een nieuw type energiepaal. Het water circuleert (zonder toevoegingen zoals antivriesmiddelen) door de palen en het leidingenregister in het wegdek. In de zomer

- 7 | Te onderscheiden lagen in de opbouw van het wegdek. Van onder naar boven:
- basisplaat van 310 mm gewapend beton met leidingenregister en afvoergootjes
 - tussenlaag, gemiddeld 50 mm open beton
 - toplaag, 15 mm open beton

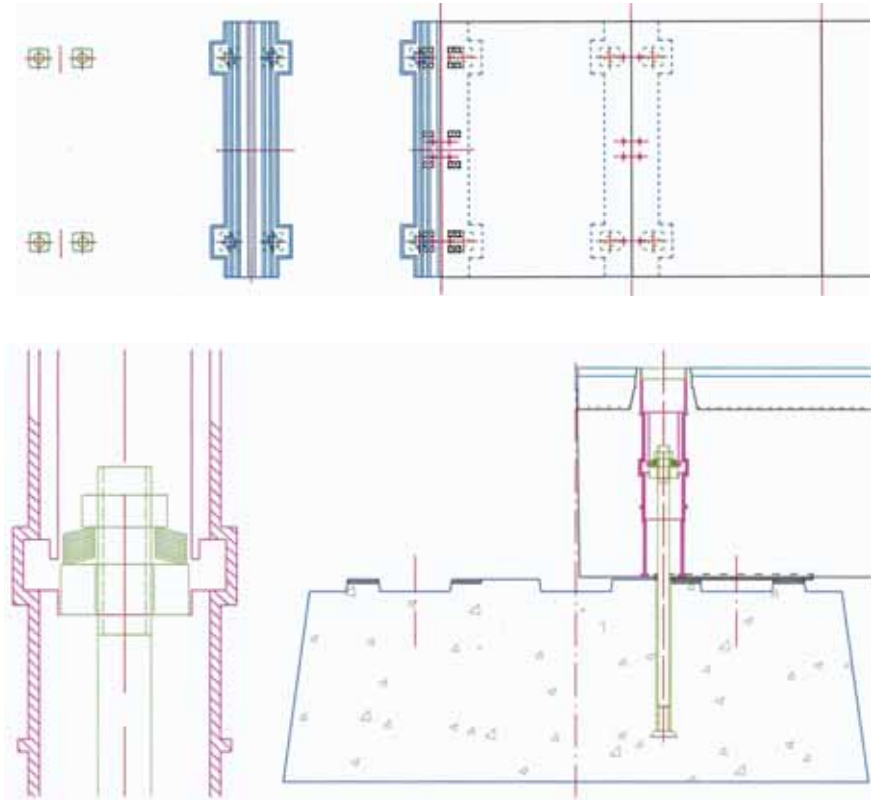


wordt warmte aan het wegdek onttrokken en in de winter toegevoegd. In langdurige koude periodes is de warmteopbrengst van alleen de palen mogelijk onvoldoende, afhankelijk van de warmtegeleidbaarheid van de ondergrond en van de paallengte. Toevoeging van verwarmingsspiralen in het circuit van de palen + leidingenregister is in die situatie een goede en eenvoudige oplossing.

De benodigde elektrische energie voor de circulatiepompen en de eventuele verwarmingsspiralen zou kunnen worden geleverd door kleine windturbines op stevige verlichtingspalen. Bij ontbreken van wind wordt een beroep gedaan op het openbare net of wordt gebruikgemaakt van een warmwaterbuffer onder het wegdek, die ook verwarmd kan worden met windenergie.

De palen zijn verbonden door koppelbalken, die op de palen nauwkeurig op hoogte worden gesteld. De koppelbalken verzorgen tevens de koppeling van de basisplaten ter plaatse van de voegen. Vanwege de eis vanuit het programma Modulair Wegdek dat lagen snel vervangen moeten kunnen worden, is koppeling van platen door aanstorten niet mogelijk. Boven de palen zijn verbindingen aangebracht voor het opnemen van de remkrachten. In het midden van de rijstrook is een trekverbinding met de balk aangebracht die door schotelveren blijvend onder trek blijft staan. De trekspanning door de schotelveren is afgestemd op de stijfheid van de plaat. De oplegpunten tussen balk en plaat zijn voorzien van staal'oplegging, in combinatie met de blijvende trekspanning in de verbinding, kunnen de voegranden niet in verticale richting ten opzichte van elkaar bewegen (fig. 2, detail).

In niet-zettingsgevoelige gebieden zijn geen palen nodig. De koppel-



balken worden hier vervangen door sloven, die nauwkeurig worden gesteld op stelhoofdjes en worden ondergoten voor gelijkmatige belastingsafdracht aan de bodem.

De gevoeligheid voor zettingen ligt in de ongelijkheid van de zettingen.

Hoewel de plaats van het proefproject niet direct bekend staat als zettingsgevoelig, bleek uit het grondonderzoek dat door de onder het zandpakket liggende veenlaag, voor MODIESLAB® toch een zetting van ongeveer 40 mm was te verwachten als op sloven zou worden gefundeerd. Bij een mogelijk zettingsverschil van 50% is funderen op sloven niet zinvol.

Er worden palen 320 x 320 mm² toegepast, lang 6 à 7 m.

Toplagen voor geluidsreductie en geluidsabsorptie

Volgens de gedachte van Rijkswaterstaat/DWW zou het wegdek op de basisplaat uit diverse lagen moeten bestaan, die elk hun eigen functie hebben en snel verwisseld moeten kunnen worden als een andere functie gewenst zou zijn. In de literatuur is gezocht naar de mogelijke toepassing van open beton als toplaag en naar de oorzaken van het falen van diverse pogingen in de praktijk. Geconcludeerd is dat het mogelijk zou moeten zijn onder de omstandigheden waarin prefabricage normaliter plaatsheeft, waarbij een met polymeer gebonden cementpasta als lijm zou kunnen functioneren. Ook zou de geprefabriceerde basisplaat in de fabriek van het gebruikelijke zeer open asfalt

2 | Opbouw van modulair wegdek op palen voor het proefproject MODIESLAB® met dwarsdoorsnede over koppelbalk

Onderzoek & technologie

Wegenbouw

kunnen worden voorzien. In dat stadium van ontwikkeling is gezocht naar partners, gevonden in Arcadis Infrastructuur en Heijmans Infrastructuur en Milieu. Beide partners onderstreepten dat alleen de toepassing van open beton een kans zou hebben als een lange levensduur als uitgangspunt zou worden gekozen.

Bij de Heijmans' dochter Van Hees in Tilburg zijn proeven gedaan met diverse korrelverdelingen voor de open lagen, verschillende laagdikten en wijze van verdichten. Op de meest belovende resultaten is geluidsonderzoek uitgevoerd door M + P. De verbetering in geluidsabsorptie wordt met name verkregen door in een fabrieksproces twee lagen open beton op de basisplaat aan te brengen. Een extra geluidsreductie wordt verkregen door het product ondersteboven te maken, waardoor de bovenzijde op de

mengsel zelfverdichtend beton voor de basisplaat. Het zelfverdichtend beton is zo samengesteld dat geen cementlijm in de ruimte tussen de grove korrels dringt.

Behoud van akoestische eigenschappen

Geluidsproductie neemt toe als het oppervlak ruwer wordt (door verlies aan steenslag) en geluidsabsorptie neemt af als de open lagen vervuild raken.

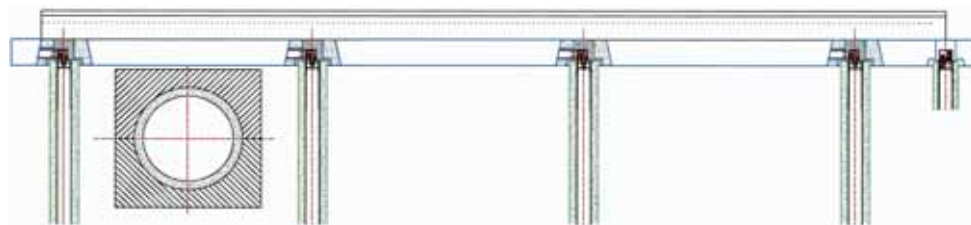
Verlies aan steenslag is te verminderen door breuk in de lijmverbinding te voorkomen met een sterke en taai lijm. Bij een bepaalde korrelopbouw is een sterker mengsel te verkrijgen door een dikkere lijmlaag. Bij 30% openingen is een 28 daagse druksterkte verkregen van 15 N/mm², die bij 20% stijgt naar 20 N/mm². Verlaging van de openheid van de toplaag betekent wel een ver-

voorzieningen zoals detectie, signalering en verkeersgeleiding. Deze voorzieningen kunnen bij vervanging of bij nieuw te ontwikkelen systemen eenvoudig vanaf de zijkant van de weg worden ingebracht of vervangen. Door het vuil via het drainagesysteem af te voeren en doordat beton niet veroudert, zal geen verlies van geluidsabsorberende eigenschappen optreden.

Energieleidingenregisters

Volgens de literatuur is ook met polymeer gemodificeerd open cementbeton nog gevoelig voor vorst-dooicycli. Een plaatselijke vulling met nat vuil in de open lagen zou bij vorst door uitzetting breuk in de lijmverbinding kunnen veroorzaken. Om bevriezen uit te sluiten wordt het wegdek bij vorst tot boven de vorstgrens verwarmd, waardoor tevens gladheid door ijzel wordt voorkomen. De benodigde energie wordt in de

3 | Doorsnede weg met (van rechts naar links) een redresseerstrook, twee rijstroken en een vluchtstrook, gefundeerd op energiepalen, met toevoeging van een eventuele warmtebuffer, bestaande uit een buis in isolatiemateriaal



bekistingplaat ligt. Door de zeer plastische cementlijm en een goede verdichtingswijze wordt een zeer vlakke oppervlaktetextuur verkregen. Met name de optimale vlakheid, de porositeit en de dikte van de totale absorberende lagen zijn maatgevend voor een hoge geluidsabsorptie (die minimaal gelijkwaardig moest zijn aan die van tweelaags zeer open asfaltbeton). Het geheel wordt dus op zijn kop geproduceerd. Eerst de 15 mm dikke open toplaag met fijn materiaal (graukwartsiet 3 – 5 mm), gevolgd door een 50 mm dikke open laag met grof materiaal (gebroken grind 11 – 16 mm) en vervolgens een nauw begrens-

smalling van de bandbreedte van het geabsorbeerde geluid. Door meer polymeer toe te voegen stijgt de taaiheid, maar neemt de uithardingssnelheid zodanig af dat niet meer elke dag ontkist kan worden.

Ter verbetering van de vuilafvoer en de afvoer van hemelwater uit de open betonlagen zijn direct onder deze lagen, in de laag constructief beton, om de 700 mm gootjes aangebracht. Ze bestaan uit een half open gedeelte voor de afwatering en kunnen gecombineerd worden met een gesloten deel dat dienst doet als mantelbuis voor diverse intelligente

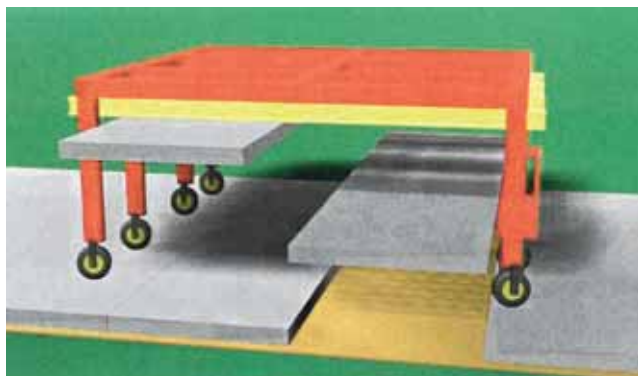
zomer aan het wegdek onttrokken en tot de winter in de bodem opgeslagen. Daarvoor worden energiepalen gebruikt of aquiferbronnen geslagen.

Om ook grote hoeveelheden sneeuw snel te laten smelten, moet de temperatuur van de plaat aanzienlijk hoger liggen. In het circulatiesysteem moet dan uit een buffer warm water worden ingebracht (fig. 3) of er moeten vooraf warmtepompen worden geïnstalleerd.

Voegen

Bij geprefabriceerde constructies met modulematen van 3,5 m ontstaan voegen. Onderlinge bewe-

Onderzoek & technologie
Wegenbouw



gingen in de plaatranden in verticale zin kunnen niet optreden door de verbinding met de koppelbalken. Bewegingen in horizontale richting ten gevolge van uitzetting en krimp door temperatuurschommelingen worden beperkt doordat de watercirculatie door het leidingenregister in de basisplaat zorgt voor een verlaging van de temperatuurverschillen gedurende het gehele jaar.

De detaillering is zodanig dat verwijdering van de voegvulling mogelijk is bij vervanging of nastellen van de platen.

De voegbreedte varieert door de afvlakking van het temperatuurverschil maximaal 1 mm. De ontwerpbreedte is 3 tot 5 mm. Het onderlinge hoogteverschil van de plaatranden is minder dan 1 mm. Door deze toleranties zo nauw te stellen, zullen geen herinneringen aan de voegen in de oude betonwegen worden opgeroepen.

Vervanging

Vervanging van de weg zal zelden nodig zijn, maar mocht door een mechanische beschadiging verwisseling van een plaat noodzakelijk zijn, dan kan op de fabriek de beschadiging worden hersteld of kan desnoods de gehele oude toplaag worden vervangen door een nieuwe.

Om een snelle vervanging mogelijk te maken, is speciaal verbindingsmateriaal en zijn speciale carriers ontwikkeld (fig. 4).

De ingestorte onderdelen voor de verbinding met de onderliggende balken zijn zo ontworpen dat elk onderdeel geschikt is voor de functies hijsen, bevestigingspunt voor montage bakens, overbrengen van remkrachten op fundering, verbinden aan de koppelbalken, wegmarkering, eventueel in hoogte nastellen van de platen en eventuele plaatsing van afzettingen.

Ten slotte

Een weg met een toplaag uit harde materialen in de vorm van open beton bespaart primaire energie door zijn lage rolweerstand voor het verkeer. Door zijn duurzaamheid (25 jaar zonder groot onderhoud) is de beschikbaarheid van de weg groter en doordat geen gladheid bij ijzel ontstaat en sneeuw ook op niet druk bereiden gedeelten snel wegsmelt, neemt de verkeersveiligheid toe en neemt de schade door slippartijen en het daaruit resulterende tijdsverlies in de file af.

Figuur 5 toont een monster MODIESLAB®. ■

4 | Carrier voor verwisseling van de platen

5 | Monster met open lagen, afdichting van toplagen aan voegzijde en waterafvoergootje. Aan de toplaag is hier zwarte kleurstof toegevoegd

Prof. Ir. H.W. Bennenk

Prefab-beton in geboorde tunnels

Als ik deze regels schrijf of beter gezegd, type, loopt deze eeuw ten einde. Het typen en printen gaat nog goed, want mijn PC vertoont

dit jaareinde nog geen kuren, maar hoe reageert mijn software over twee jaar bij de overgang naar het jaar 2000? Ben ik dan teruggestuurd

naar het jaar 1900 of mag ik met een werkende PC het volgende millennium betreden en delen in de verdere vooruitgang? Ik ben benieuwd, maar ik zal voor alle zekerheid een kroontjespen gaan opzoeken en weer gaan oefenen. In de Verenigde Staten schat men op dit moment dat de schadeclaims bij de software-huizen voor het disfunctioneren van software bij de eeuwwisseling wel zo'n \$ 600 miljard kunnen gaan bedragen. Hieraan kan nog zo'n \$ 300 miljard worden toegevoegd voor de advocatuur. En dat alles gebeurt in een tijd waarin vrijwel alles mogelijk lijkt te zijn en wat nog niet mogelijk is, snel mogelijk wordt gemaakt.

Waarnemen in Japan

Snel is verwant met snelheid. De snelheidsverandering per tijdseenheid is de versnelling. In de prefab-betonindustrie neemt de versnelling in de ontwikkeling van materiaal-, productie- en procestechnologie nog steeds toe. Het is zonneklaar dat de informatietechnologie onmisbaar is voor die versnelling in ontwikkeling en een steeds belangrijker plaats zal gaan innemen. Het waarnemen van ontwikkelingen op andere plaatsen, tot stand gebracht door andere mensen met andere uitgangspunten in andere omstandigheden, is een essentieel onderdeel van het werk van de technicus, die zich bezig houdt met innovatie.

Het was een voorrecht om met 12 technici, STUVO- en STUPRE-leden, eind oktober 1997 op reis te gaan naar Japan om ons daar op de



Fotografie:
Aansluiting
Dick Sijmraad

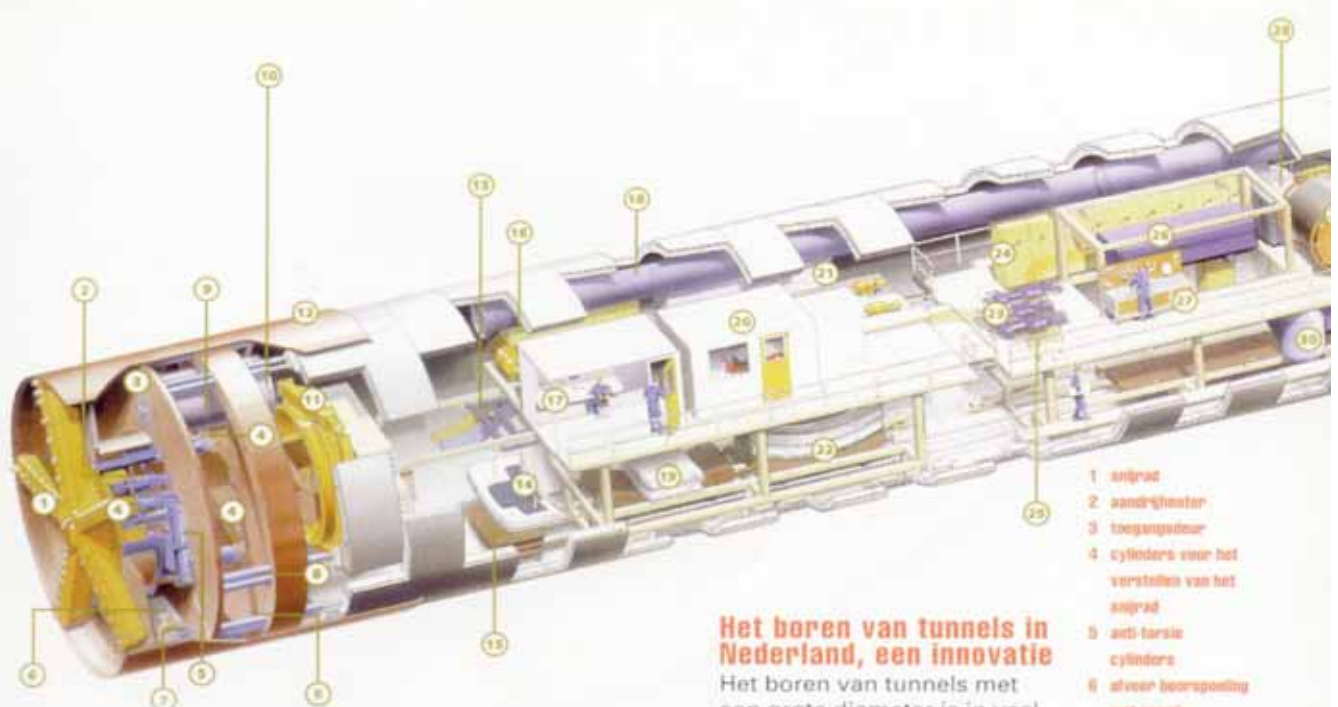
Rechter pagina
Druk:
Project Tweede
Heinemoortunnel
Artist Impressie:
Zwarts en Jansma



belton

18

B E L T O N M A G A Z I N E



hoogte te stellen van het bouwen en het gebouwde. Het werd ons snel duidelijk dat wij ook inzake het bouwen veel kunnen leren van de Japanners.

Uit de bezochte projecten blijkt dat de Japanse ontwerpers en bouwers de grenzen continu verleggen. Het is imponerend wat daar gebeurt. Op een andere plaats en tijd zullen de deelnemers aan de reis verslag doen van de projecten. Eén Japans project wordt wel genoemd omdat het leidt naar het eigenlijke onderwerp van dit artikel: het gebruik van prefab-beton bij geboorde tunnels.

Waarom boortunnels als onderwerp?

De aanleiding voor de keuze van het onderwerp 'prefab-beton in geboorde tunnels' is echter meervoudig:
- Het Tokyo Bay Crossing project omvat de langste tunnel (dan wel één van de langste tunnels) ter wereld, met de grootste doorsnede.

- De verbinding is in februari 1998 officieel geopend;
- De boorders van de TCH (Tunnel Combinatie Heineoord) bereikten net vóór de Betondag, met de boorgang van de eerste buis van de Tweede Heineoordtunnel, de zuidelijke oever van de Oude Maas. De boorinstallatie is vervolgens verplaatst voor het - in noordelijke richting - boren van de tweede, 950 m lange, tunnelbuis. Men verwacht medio 1998 met het boren gereed te zijn;
- In december 1997 vond de inschrijving plaats voor het vervaardigen en leveren van ca. 20.000 tunnelsegmenten voor de Botlek tunnel; twee tunnelbuizen elk 1.835 m lang;
- Het aantal projecten waarvoor boortechniek worden ingezet groeit.

Bij elkaar voldoende aanleiding om dieper in te gaan op de boortunnel en de functie, de vervaardiging en de plaatsing van de prefab-beton tunnelsegmenten.

Het boren van tunnels in Nederland, een innovatie

Het boren van tunnels met een grote diameter is in veel landen een gebruikelijke uitvoeringswijze. Voor Nederland, met zijn 'zachte' bodem en een traditie in het afzinken van tunnels, is de boortunnel eerst nu pas aan de orde als bouwmethode voor het ondergronds bouwen. Helemaal nieuw is ook hier de techniek niet want leidingen en buizen, met een beperkte diameter, worden in Nederland gebruikelijk geboord en geperst. In Nederland is het boren van de Tweede Heineoordtunnel, tunnelbuizen met een diameter van ca 8,3 m, een eerste ervaring die veel gegevens moet gaan opleveren. Door het Centrum Ondergronds Bouwen, waarbij ook de BFBN betrokken is, wordt tijdens de werkzaamheden een uitgebreid meet- en onderzoekprogramma uitgevoerd.

De boortechniek

De tunnelboormachine verwijderd grond onder handhaving van een overdruk, waardoor binnen het afsluitende schild een gat ontstaat. De grond wordt namelijk door het snijwiel losgewoeld en vermengd met een

- 1 snijrad
- 2 aandrijfmotor
- 3 toegangsdeur
- 4 cilinders voor het verstellen van het snijrad
- 5 anti-tarsie cilinders
- 6 afvoer boorspoeling met grond
- 7 aanvoer boorspoeling (2 stuks)
- 8 afzetrijls (14 maal / 2 stuks)
- 9 perswielhuis
- 10 toegangsbuis
- 11 segmentenplaatzer
- 12 schild
- 13 segmentkraan
- 14 vacuümplaat van segmentenkraan
- 15 segmenten aanvoer lorry
- 16 elektriciteitsvoorziening
- 17 centrifugaal
- 18 afvoer warme lucht
- 19 treinwagen met gedroogde segmenten
- 20 verbindingsruimte
- 21 tandhydraulische vloeistof
- 22 treinwagen met segmenten
- 23 gruitpompen
- 24 hoofdtriestructie elektriciteit
- 25 centrifugaalpompe
- 26 gruittank
- 27 werkplaats
- 28 transformator
- 29 koppel heesopvoeringskabel
- 30 hogedruk luchtstank



Fotografie:
Toon de VOT



Bentoniet-slurry, een zeer plastische klei, die onder druk wordt gebracht en gehouden en zo het boorfront stabiliseert. Het Bentoniet-grondmengsel wordt weggepompt en dan gescheiden, waarna de Bentoniet-slurry weer wordt hergebruikt. De uitvoering met een slurryschildtype-tunnelboormachine is toepasbaar voor een grondprofiel, zoals aanwezig bij de Tweede Heinenoordtunnel en daar economisch haalbaar. Voor andere projecten kan een andere techniek vereist zijn.

Het schild dekt de ruimte tussen boorfront en reeds geplaatste tunnelwand grond- en waterdicht af. Zodra het boorfront 1,50 m is opgeschoven, stopt de boormachine. Hierna worden binnen het schild acht prefab-tunnelsegmenten, die op de volgwagon liggen, één voor één machinaal in een ring geplaatst. Zo vormen zij tezamen 1,50 m nieuwe tunnelwand. De tunnelboormachine zet zich

middels vijzels af op deze geplaatste tunnelsegmenten. Tijdens het plaatsen van de tunnelsegmenten worden enkele vijzels ingetrokken, zodat er ruimte voor het plaatsen ontstaat. Het schild heeft een grotere diameter dan de tunnelwand. De vrije ruimte tussen wand en schild wordt na het opnieuw verplaatsen van het boorfront geïnjecteerd met grout. Hierdoor kan de steundruk van de grond en tunnelwand zich ontwikkelen en kunnen de zettingen ten gevolge van het boren van een tunnelbuis klein blijven.

Zo wordt in stapjes van 1,50 m de tunnelwand opgebouwd. Per etmaal gemiddeld zo'n 10 m. Zowel de eerste als de laatste meters van de te boren tunnel zijn het meest kritisch. In het themanummer Ondergrondse Werken, tijdschrift Cement 1996, nr 10, wordt u over de techniek uitgebreider geïnformeerd.

Eisen aan de tunnel

Zowel in de uitvoerings- als in de definitieve gebruiksfase dient de veiligheid van mens en constructie gewaarborgd te zijn, terwijl de invloed op de (bebouwde) omgeving minimaal moet zijn. Een primaire eis is dat de tunnel grond- en waterdicht moet zijn én blijven. De werkwijze en de voorzieningen daartoe worden nader toegeelicht.

Krachten werkend op de tunnel en op onderdelen

Opdrijven

De tunnelbuis bevindt zich op diepte, onder water, en zal willen opdrijven, zodat er altijd voldoende gronddekking of ballast boven de tunnelbuis aanwezig moet zijn in verband met evenwicht-behoud.

De tunnelbuis werkend als elastisch ondersteunde ligger

De tunnelbuis is een lange ligger, verend ondersteund in en door de grond, die in de lengterichting van samenstelling en stijfheid zal variëren. Tevens zal de diepteligging van de tunnelbuis variëren en daarmee de grond- en waterdruk. In de tunnelbuis zal daardoor buiging met dwarskracht ontstaan, die door de tunnelling, bestaande uit de gestapelde tunnelsegmenten, moet kunnen worden opgenomen. Volgens berekeningen blijkt bij de Tweede Heinenoordtunnel die invloed op de tunnelbuis gering te zijn.

De tunnelbuis belast in de ringvormige doorsnede

De tunnelbuis is, middels het groutlichaam rondom de tunnelbuis, in contact met de omliggende grond. De interactie tussen grond en tunnelbuis, inclusief de heersende ►

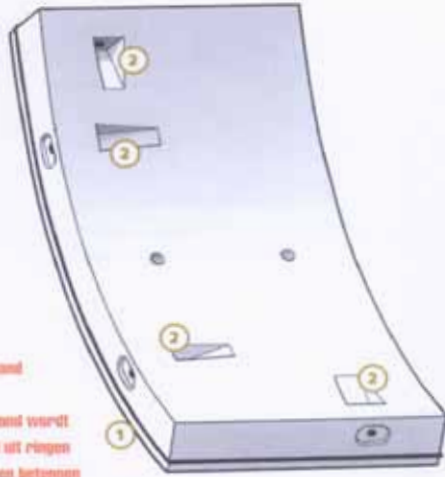
Foto rechter pagina:
Achterkant tunnelboormachine tijdens de bouw van de Tweede Heinenoordtunnel
Bouw:
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Maakbureaus Dienst, Grafische Techniek

belton

20

B E L T O N M A G A Z I N E



**De tunnelwand**

De tunnelwand wordt opgebouwd uit ringen van elk zeven betonnen segmenten en een 'keystone' (sluitsteen). Elke ring is een een kant 60 mm breder dan aan de tegenoverliggende kant. Door de smalle kant van een ring te plaatsen tegen de brede kant van de vorige ring, ontstaat een rechte buis. Een bocht kan worden gemaakt door de ringen anders ten opzichte van elkaar te plaatsen.

- 1 afdichtingsrubber
- 2 mogelijkheid voor boutverbinding

waterdruk, de stijfheid en vorm van de ring, bepaalt de belasting op de tunnelling. In de tunnelbuis zal, afhankelijk van de lokale grondgesteldheid en de diepte, de belasting op de tunnelling variëren. De eis van waterdichtheid is primair en wordt hoofdzakelijk geborgd door het rondom de tunnelsegmenten aangebrachte voegprofiel. Doordat de tunnelsegmenten gestapeld worden, kan men ze in een ringdoorsnede van de tunnel als scharnieren beschouwen. Een nadere analyse van de krachswerking in de voeg tussen de tunnelsegmenten leert echter dat het buigend moment, door de in de lining aanwezige normaalkracht, slechts een geringe excentriciteit zal en mag veroorzaken om het voegvlak onder druk én dicht te houden. In wezen is dit een ongewapende

doorsnede waarin het drukpunt vaak binnen de kern zal liggen. In het geval dat het drukpunt in of nabij het kernpunt is gelegen, is de aanname van een scharnier niet terecht. Bij een boven- en ondergrensbeschouwing kan men de tunnelling zowel als een doorgaande ring als een ring met een aantal scharnieren beschouwen. De berekening kan zowel in 2-D als in 3-D worden uitgevoerd. In de tunnelsegmenten zijn dwarskrachtnokken voorzien, zodat dwarskracht in de voeg kan worden overgedragen.

Tijdelijke voorzieningen

Tijdens het plaatsen van een nieuw stuk tunnelling worden de tunnelsegmenten onderling verbonden middels bouten, terwijl de tunnelsegmenten tevens worden gebout aan de voorgaand geplaatste ring. De bouten worden weer verwijderd als de laatste volgwagon passeert en dan opnieuw gebruikt. Een tijdelijke voorziening om het voegprofiel onder druk te houden en voor de veiligheid van het personeel.

Langskrachten door de tunnelboormachine uitgeoefend

Zoals eerder aangegeven, steunt de tunnelboormachine via 28 vijzels op de laatst geplaatste tunnelsegmenten om evenwicht te kunnen maken met de uitwendige druk op het boorfront. Dit terwijl de aanwezige over-

druk in het boorfront, via de Bentoniet-slurry uitgeoefend het binnendringen van water voorkomt.

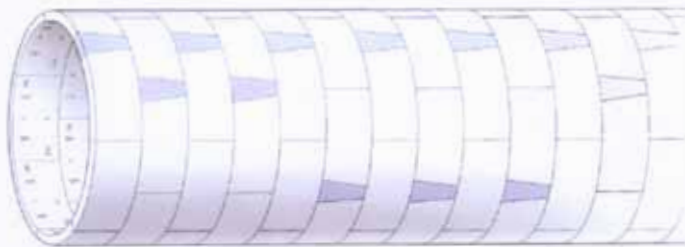
De vereiste maatnauwkeurigheid van de tunnelsegmenten

De uiteindelijke tunnelwand wordt gevormd door tunnel segmenten, voorzien van een rondlopend rubberen voegprofiel, die verder onderling 'koud' aansluiten. Totaal zeven segmenten en een sluitstuk. Bij een geringe afwijking van de maat van een element, kan men de tunnelsegmenten niet meer gesloten aanbrengen in het halfsteensverband in de opvolgende, 1,50 m brede, tunnelring. Na de montage van een tunnelring dient een plat vlak te zijn ontstaan, waarop de volgende tunnelring weer volledig 'koud' kan aansluiten. Door het optreden van geconcentreerde krachten op de tunnelsegmenten, kan men de invloed daarvan in het tunnelsegment analyseren en de wapening daarvoor voorzien

Ongelijkheid in het aansluitvlak van de elementen, zal echter piekspanningen veroorzaken, waarvan de gevolgen niet met wapening zijn op te vangen. Er is een precisie vereist, die ongebruikelijk is in het bouwen met beton, maar niettemin is te realiseren, mit door de prefab-betonleverancier de geëigende maatregelen voor de uitvoering van de bekisting en de fabricage worden genomen. Voor de Tweede Heineoord tunnel zijn de vereiste toleranties:
 Diktematen ± 2 mm,
 Breedtematen $\pm 0,5$ mm,
 Hoekafwijking zijvlakken $\pm 0,25$ mm.

Tunnelsegment

De tunnelwand wordt opgebouwd uit betonnen segmenten, van verschillende vorm, maar elke ring die vorme wordt gevormd, is identiek.



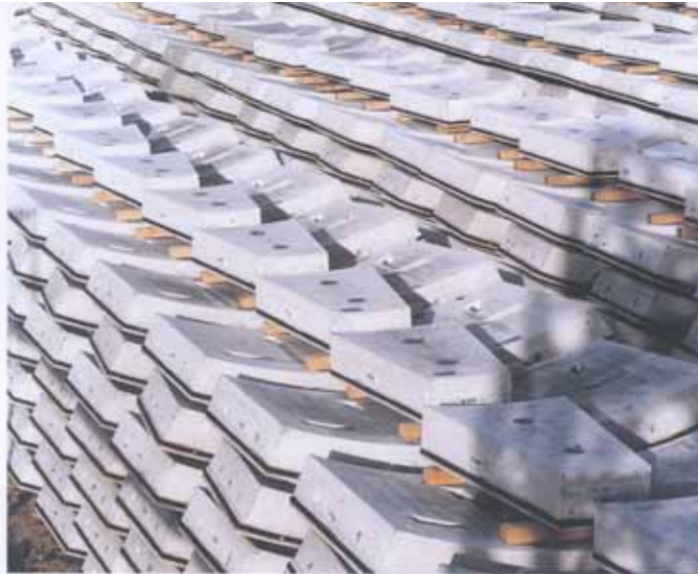
Het alignment van de tunnelbuis en de maatvoering van de tunnelsegmenten

Voor de Tweede Heinenoord-tunnel is gekozen voor taps segmenten die gemiddeld 1,50 m breed zijn. Door een ring van segmenten taps te ontwerpen kan men, door het brede deel van de ring aan te laten sluiten op het smalle deel van de volgende ring, rechtdoor bouwen. Door een schakeling, breed tegen breed, kan men een bocht maken of een correctie uitvoeren. Doordat de positie van de sluitsteen in een ring niet gelijk zal zijn, ontstaan 'linkse' en 'rechtse' ringen. Voor het onderhavige project is de breedtemaatvoering van een ring 1,525 mm en 1,475 mm, zodat bij de gegeven diameter van de tunnelbuis een straal van zo'n 2,40 m, of groter, kan worden gemaakt.

De binnendiameter van de tunnelbuis is 7,60 m, de wanddikte 350 mm, dus de buitendiameter 8,30 m. In de ring zijn zeven tunnelsegmenten ontworpen en een sluitsteen. Doordat de sluitsteen conisch is, zijn de naastliggende tunnelsegmenten van vorm daarop aansluitend. Doordat er een 'linkse' en een 'rechtse' ring is, zijn er 16 verschillende elementen. Voor beide tunnelbuizen met een lengte van 945 m zijn 1.260 ringen noodzakelijk, ruim 10.000 tunnelsegmenten.

De tunnelsegmenten en de productie

In de tunnelsegmenten zijn voorzieningen aangebracht om ze onderling te kunnen koppelen. Daarnaast zijn contactvlakken aangebracht vanwege een gerichte kracht-overdracht. In de segmenten is, in een rondlopende groef,



Fotografie:
Toon de Witt

een rubberprofiel aangebracht voor de waterdichtheid.

Doordat de groef aan de bolle zijde nogal dicht op de rand is geplaatst, ontstaat een ongewapend randje dat gevoelig is voor beschadiging. Overleg over plaats van het voegprofiel in het segment en vorm van de nok kan deze gevoeligheid verminderen.

De opdracht van de tunnelsegmenten voor de Tweede Heinenoordtunnel is gegund aan de combinatie SSS vof, waarin Schokindustrie en Strukton samenwerken. De tunnelsegmenten worden uitgevoerd in Beton B45. Ze worden gewapend met een net met als basisdiameter 8 mm en een concentratie van staven langs de randen. Totaal ca. 100 kg/m³. De netten worden gelast en geprefabriceerd.

De 16 verschillende mallen zijn vormvast en machinaal bewerkt, in verband met de vereiste maatnauwkeurigheid. Vanwege de bolle vorm wordt de bovenzijde van het element deels met kleppen afgedekt, terwijl de bovenzijde verder -binnen de gegeven maat- met de hand wordt afgewerkt. De verwerkbaarheid van de beton dient daarom te zijn afgestemd op een goede vulling rondom de aange-

brachte voorzieningen, maar ook op een afwerking van een deel van de bolle zijde, redelijk snel na het storten en trillen van de beton.

Per mal is een stortfrequentie van één of twee maal per etmaal haalbaar. Men kan voor de productiegang al of niet gebruik maken van een carrouselstelsel. Een constante controle van de maat-tolerantie van de mal en de geproduceerde segmenten is een vereiste. Naast de zorg voor de productie zelf is de beheersing van de logistiek van wezenlijk belang.

Toekomst

De productie van tunnelsegmenten van prefab-beton, gewapend of in de toekomst wellicht voorzien van staalvezels, is een belangrijke uitbreiding van het productie-volume. Veel prefab-producten hebben zich gemeld voor de productie van de tunnelsegmenten van de Botlektunnel. Als u dit artikel leest, zal het wel bekend zijn, aan wie de opdracht is gegund.

Met dank aan ir. M.S. Langhout van de TCH en ir. M.W.A.M. van Halderen van SSS vof voor de verstekte informatie. ●

Prof. ir. H.W. Bennenk: Geluidwering

Het zal je huis maar wezen

Stilte

Het is nog vroeg als de zon aarzelend de eerste stralen laat rondspelen en schaduwvlakken aftekent op de tegels, die de struiken en planten in onze kleine tuin omsluiten. Door de geopende schuifdeuren klinkt het heldere geluid van de merel, omlijst door het achtergrondgeluid van de weg die al vroeg is gevuld met filevormende auto's op weg naar of komend van de stad.

Het is elke keer weer een geruststellend gevoel te ervaren, dat het geluid van vogels ten minste dat van het verkeer nog overstemt.

Geluidwerende
schermen AZB Groningen
Breed:
Geelen Beton Wanssum BV

Geluidscherm AZ
bij vliegveld te Doek
Breed:
Geelen Beton Wanssum BV



Verbazend eigenlijk hoe gemakkelijk we ons voegen naar het gebrek aan stilte en hoeveel we bereid zijn te accepteren. Er is immers vrijwel geen plek te vinden in Nederland, waar stilte heerst, waar geen geluid te horen is.

Enkele jaren geleden ben ik met een Finse collega meegegaan op een langlauftocht, die ons voerde over bevroren meertjes en door bossen waar je, zoals ik dat later heb genoemd, de absolute 'stilte' kon horen; de echte 'stilte', de afwezigheid van geluid. Voor een stadsmens een unieke ervaring, die nog steeds diep in mij wordt gekoesterd.

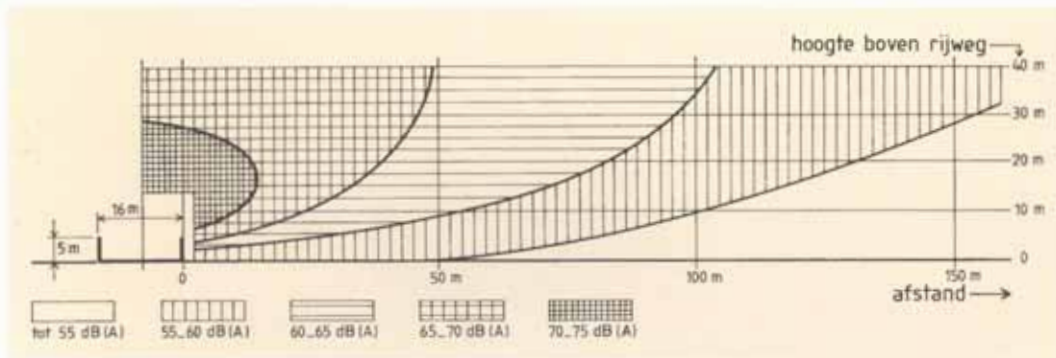
Geluid

De bronnen, die geluid produceren, zijn alom tegenwoordig en nemen in aantal toe. Het wegverkeer blijft groeien, het railverkeer wil men laten groeien, terwijl het luchtverkeer zou kunnen groeien, maar de grenzen van de geaccepteerde groei naderen. Het geluid van bouwactiviteiten of van een industrie hoort men vaak van verre.

In onze woningen zijn we zelf in de praktijk onze kinderen, meester van het geluidsniveau dat wij en de aanwezige apparatuur produceren. Het geluid geproduceerd door burens is minder eenvoudig te normeren en te regelen. De eisen voor geluidwering in de woning zijn geldend voor de constructie binnen elke nieuw te bouwen woning en richten zich op het verminderen van de overdracht van luchtgeluid en contactgeluid van de ene woning naar de andere. Helaas treedt er toch vaak overlast op.

De geluiden van buiten onze woning, bijvoorbeeld die van verkeer, worden ons opgelegd en zijn afhankelijk van de bron, de voorziening in de zone, het geluidsniveau in de zone op de locatie zelf. Gemeten en berekend wordt het geluidsniveau op de gevel

Het geluidsniveau kan worden verlaagd door de bron aan te pakken, dan wel te zorgen dat het geluidsniveau op de locatie wordt verlaagd door geluidwerende maatregelen nabij de bron aan te brengen



Spreiding van verkeerslawaai bij een 5 meter hoog reflecterend scherm, uitgaande van 2000 auto's per uur waarvan 200 vrachtwagens en een rijdsnelheid van 80 km/h.
 Bron: Geluidvering met beton, VNC

Een hoog geluidniveau kan bij mensen, zeker op de lange duur, leiden tot ernstige klachten en stoornissen. Daarom is bij het projecteren en bouwen van woningen nabij een bestaande of nieuwe weg, of een andere geluidbron, in bestemmingsplannen een zorgvuldige behandeling inzake het aspect geluid vereist.

De taak van de overheid
 Het heersende geluidniveau wordt niet door iedereen op dezelfde wijze ervaren. Wat de één ervaart als hinder, overlast, wordt door de ander tot een zeker niveau niet eens bewust gesignaleerd. ▶



Geluidverende voorzieningen A27 Voordorp
 Bron: Geelen Beton Wanzum BV



Geluidscherm Vught
 Bron: Stichting Betonprisma



Geluidschermen
Arnhem-Eindhoven
Bron:
Geelen Beton Wierzon BV

Bron:
Den Hoer Beton BV



Bron:
Den Hoer Beton BV



De overheid heeft de taak paal en perk te stellen aan de geluidbelasting die van buiten aan onze woning wordt opgelegd. Zo zien we langs de wegen in ons land een veelheid van geluid-isolerende of geluidwerende voorzieningen verschijnen. Uiterlijke kenmerken van de zorg van de overheid.

De Wet Geluidhinder is sinds 1981 gefaseerd ingevoerd. De wet is nogal ingewikkeld en daarmee het werkterrein voor specialisten. De Directie Utrecht van RWS heeft, zoals elke provincie, een bureau Geluid, dat zich bezig houdt met techniek, wetgeving en procedures op het gebied van geluidhinder. Daarnaast worden tevens de specialisten van de Directie ingeschakeld van de cluster Milieu, Natuur en Landschap. Voor het bepalen van de uiteindelijke maatregelen worden adviesbureaus en architectenbureaus ingeschakeld, alvorens de planvorming is afgerond.

Het aandachtsveld is te onderscheiden in sanering van bestaande situaties, en de preventie bij reconstructies van wegen en in nieuwe situaties. Nieuwe situaties die kunnen ontstaan doordat er een nieuwe weg wordt aangelegd of nabij de weg wordt gebouwd.

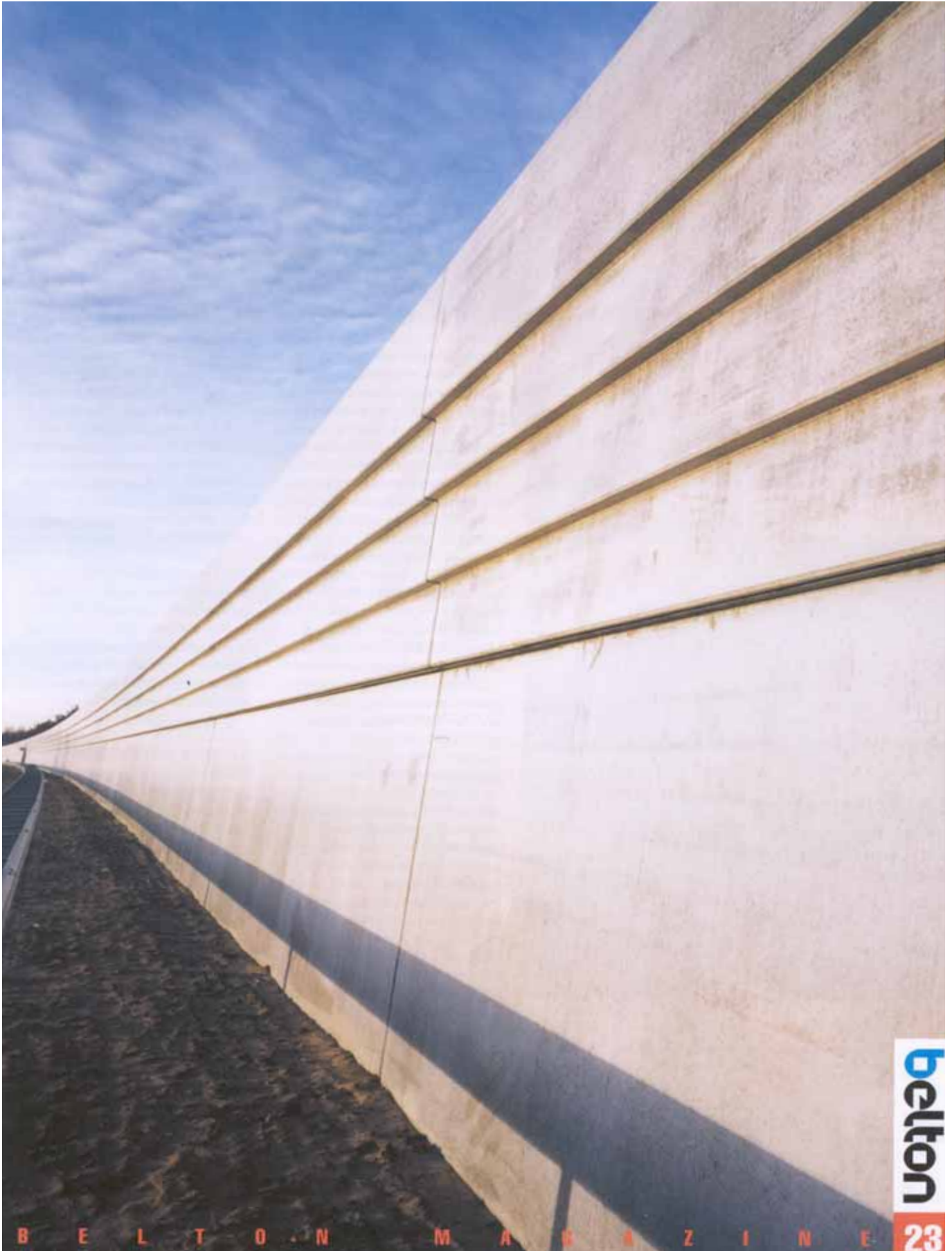
Saneren

Bij sanering worden de eisen gesteld in de Wet Geluidhinder vaak minder streng gehanteerd of beter gezegd er wordt een ontheffing gegeven, hetgeen inhoudt dat de normwaarde voor die situatie wordt aangepast. In een saneringsproject wordt globaal gestreefd naar een reductie van 10 dBA, een 'halveringswaarde'. De bestaande situatie omvat woningen die gebouwd zijn en die zijn opgenomen in een bestemmingsplan van vóór 1982 en wegen, die zijn opgenomen in een bestemmingsplan.

Het ontwerpproces van voorzieningen langs de weg

De randvoorwaarden

Hoe veelbelovend de normen ook zijn, sterk overheersend is nog steeds de hoeveelheid geld, die per situatie, per woning of per meter geluidwand door het Ministerie van VROM ter beschikking wordt gesteld. Dat bepaalt uiteindelijk wat voor voorziening men kan treffen. De voorzieningen scheiden tevens twee belevingswerelden. Die van de weggebruiker, de veroorzaker, en die van de bewoner. Voor beide dient de voorziening aanvaardbaar te zijn. De automobilist is een passant, die veilig de weg moet kunnen gebruiken ▶



belton

23

B E L T O N M A G A Z I N E

Effect van reflecterende
en absorberende wanden.
Bron:
Schuldvering met beton,
VVC

a - reflecterende wanden



b - absorberende wanden



c - schuinsstaande wanden



Akoestisch onderzoek

Binnen de zone van de weg moet bij nieuwe situaties een akoestisch onderzoek worden uitgevoerd. Hierin wordt zowel de te verwachten geluidbelasting op de gevel van de woning berekend als de maatregelen bepaald die nodig zijn om grenswaarden niet te overschrijden. Primair tracht men het brongeluid te verminderen. Indien dat niet mogelijk is, kan een geluidwerende voorziening, zoals een wal of een geluidscherm, tussen bron en ontvanger worden aangebracht.

De berekeningen gaan uit van geluidbronnen voor het wegverkeer zoals deze over 10 jaar zullen zijn als men het economisch scenario van het CPB volgt. Bij die berekeningen wordt een reflecterende dan wel een geluid-absorberende voorziening aangenomen, afhankelijk van de omstandigheden. De hoogte van de voorziening speelt tevens een rol. De berekeningen resulteren in geluidbelastingen op de gevel van alle geluidgevoelige voorzieningen in de zone. De keuze voor een reflecterend geluidscherm is afhankelijk van de aanwezigheid van woningen of andere gebouwen aan de overzijde. Immers het geluid van de bron reflecteert tegen de wand, waardoor weinig energie wordt vernietigd, en het geluid dus vrijwel ongecorrigeerd de gevel van de woningen aan de andere zijde van de weg zal belasten.

De berekeningen zijn zeer omvangrijk aangezien er zeer veel situaties moeten worden berekend omdat

- a) de bron zich verplaatst
- b) de aard en de hoogte van de voorzieningen op effect moeten worden beoordeeld, terwijl
- c) verder binnen de zones de differentiatie in het geluidniveau op elke plek bekend moet zijn.

Een etmaal rekenen met de computer is niet ongewoon.

Het resultaat van de berekeningen is de vastlegging van de plaatsen waar een voorziening noodzakelijk is, hoe breed, hoe hoog die moet zijn en of deze absorberend of reflecterend van aard moet zijn.

Visuele Ruimtelijke Analyse VRA

De resultaten van het akoestisch onderzoek vormen tezamen met de technische en financiële randvoorwaarden de input voor de architect, die een VRA gaat maken van een weg of wegvak.

De architect maakt voor die VRA een analyse van de infrastructuur, van het landschap, van de cultuurhistorische aspecten, van wat men op de route tegenkomt aan gebouwen en de functies. Langs de route gaand wordt vanuit het gebruik van de weg, de inpassing in het landschap en de beleving van de bewonerszijde een conclusie geformuleerd.

terwijl de bewoner iemand is die de ingreep in de omgeving constant ervaart, zowel qua geluid als uitzicht, en daarmee dus een belanghebbende is die zeker moet worden gehoord.

Foto 1 & 2

Schuldvering Vrijman

Bron:

Heza Beton BV

Foto 3

Bron:

Den Hoer Beton BV

belton

24

B E L T O N M A G A Z I N E



waarbij het scherm nog slechts met rasters is aangegeven. Tegenwoordig tracht men een thema in de VRA te ontwikkelen om daarmee een herkenbaarheid aan wegvakken te geven. In dit stadium dienen betrokkenen te worden ingelicht en te worden gehoord.

De vormgeving en uitwerking

Een architect werkt het plan verder uit conform de conclusies van de VRA, de overige randvoorwaarden en het budget. Deze architect bepaalt de verdere detaillering, al of niet in overleg met een producent. Door de opdrachtgever wordt dit niet altijd gewenst, maar het blijkt vaak uiterst effectief. Het budget, dat de directe stichtingskosten omvat, is vaak al te krap om er echt iets van te maken. Het project inclusief onderhoudskosten te evalueren is nog geen vaste praktijk.

De realisatie

Betonnen geluidschermen, een wereld van mogelijkheden ontwikkelt zich

Ondanks dat de onderhoudskosten niet worden gekwantificeerd, ziet men door de toename van het aantal betonnen geluidschermen een waardering voor de mogelijkheden van dit materiaal

beton en spelen de lage onderhoudskosten een rol bij die keuze. Er is inmiddels al een kleine 50 km geluidscherm in beton gebouwd. Bij het bekijken van het fotomateriaal in dit artikel, wordt het duidelijk dat zowel absorberende als reflecterende schermen in vele varianten kunnen worden uitgevoerd. Enkele schermen zijn technische hoogstandjes, waarbij het vakmanschap van modelmakers en storters tot uiting komt. Duidelijk is dat de thematische aanpak een duidelijke verandering betekent; geen standaard schermen, maar variatie rond en binnen het thema. Een duidelijk voorbeeld vindt men op het wegvak Den Bosch-Eindhoven, waar alle voorzieningen een gebogen vorm hebben. Rond Utrecht treft men betonelementen aan die vervaardigd zijn met een terra-cement, waardoor het geluidscherm haar roze tot bruine kleur krijgt.

Conclusie

Het materiaal beton is bijzonder geschikt voor geluidschermen, zowel absorberend als reflecterend. In goed overleg kunnen detailleringen de levensduur, het uiterlijk op termijn en de directe en de tijdgebonden kosten duidelijk beïnvloeden. 'Beton, daar maak je het mee' is ook hier van toepassing.



Geluidscherm Vught
Bron:
Stichting Betonprisma

Bron:
Dudenaar
Betonindustrie BV



Geluidscherm Leusden
Bron:
Haco Beton BV

Met vriendelijke dank aan
ing. J.C.J. Oostveen,
Bureau Geluid, Afdeling
Verkeer en Vervoer en
ing. M. Schraven van Milieu,
Natuur en Landschap van de
Directie Utrecht van de RWS.
De heer J. van de Werfhorst,
projectleider van VDF,
Ingenieursbureau b.v.
te Utrecht.



