

# Errata en aanvullingen bij C231 “Handboek Diepwanden”, eerste druk, september 2010

## Algemeen

Opgemerkt wordt dat in de tekst diverse malen wordt verwezen naar NEN 6740 en NEN 6743. Deze normen zijn inmiddels vervangen door NEN 9997-1, waarin tevens de inhoud van NEN-EN 1997-1 is opgenomen en relevante delen uit CUR 166.

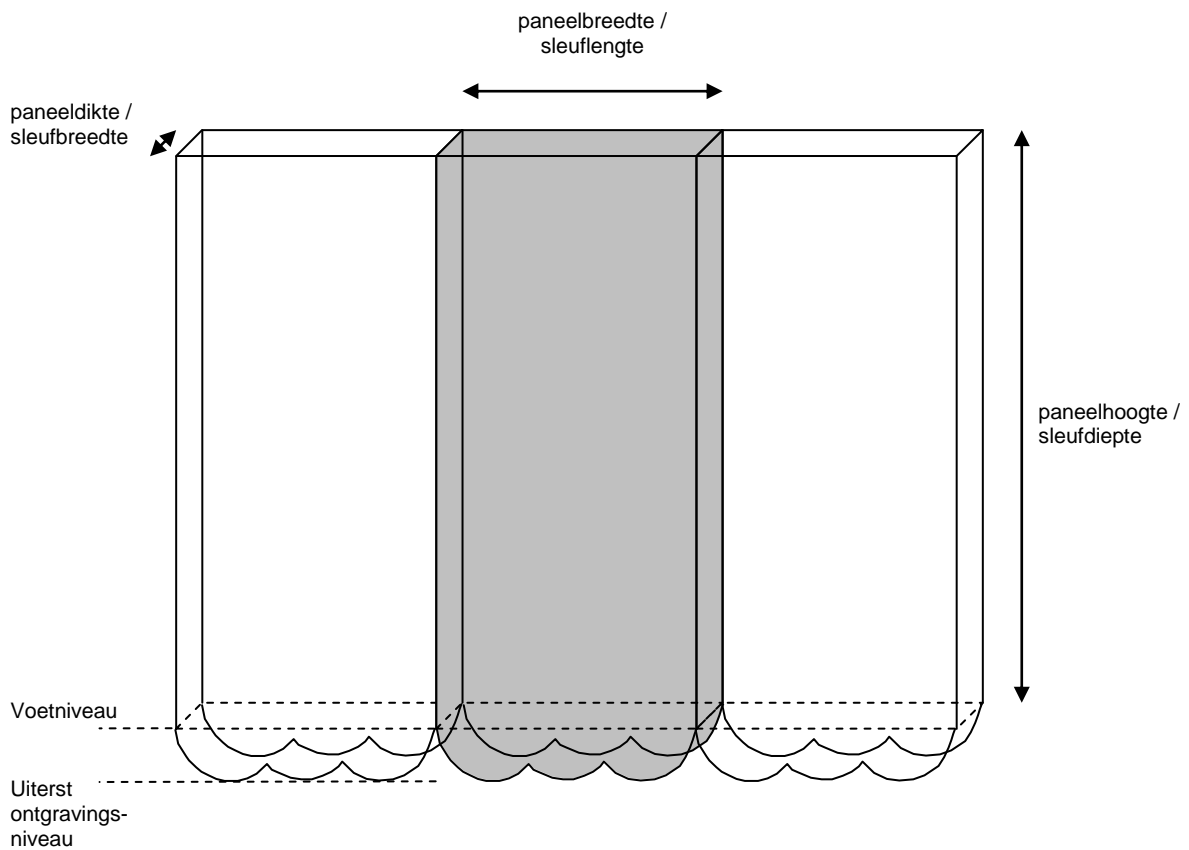
## Wijzigingen:

### Verklarende woordenlijst

Vervangen ‘Figuur 1, Definitie afmetingen’

Door:

Fig 1,  
Definitie afmetingen



Toevoegen:

- Voetniveau            Het diepste niveau waarop de volle doorsnede van de diepwand aanwezig is.
- Uiterst  
Ontgravingsniveau    Het diepste niveau dat tijdens het graafproces wordt bereikt.  
*Door de vorm van de grijpers, is dit niveau in de meeste gevallen circa 0,5 m tot maximaal een halve grijperbreedte dieper dan het voetniveau.*
- Omloopbeton            Beton dat tijdens het storten van een paneel om het voegprofiel heen gestroomd is.

Vervangen:            In de definitie van 'Sleufdiepte' het laatste woord 'ontgravingsniveau'  
Door:                    'voetniveau'.

**2.3**

Toevoegen:            Na de laatste alinea een extra alinea:  
'Vanwege de grote samenhang tussen betonsamenstelling en uitvoering is het van belang de kennis van de uitvoerende partij die de diepwanden maakt te betrekken bij het vaststellen van de betonsamenstelling.'

**3.2.6**

Vervangen:            'De grootte van de benodigde betondekking .....specifieke kwaliteitsbeheersing).'  
Door:                    'De grootte van de benodigde betondekking wordt beïnvloed door uiteenlopende aspecten, zoals benodigde milieuklasse, sterkteklasse van het beton, kwaliteit van het beton in de buitenste schil onder invloed van het eerdere contact met bentoniet, nauwkeurigheid van het graafproces, plaatsingsnauwkeurigheid en plaatsvastheid van de wapening.'

**4.3.1.1**

Vervangen:            Eerste zin: 'boorpalen'  
Door:                    'Betonpalen, in de grond gevormd met behulp van een steunvloeistof'

*Toelichting: Er wordt nog steeds hetzelfde type paal bedoeld, echter de omschrijving hiervan is in de NEN 9997-1 aangepast ten opzichte van de vroegere NEN 6743.*

Vervangen:            Derde zin: 'bedraagt deze 1,38x de paneelbreedte'  
Door:                    'bedraagt deze 1,0 x de paneeldikte'

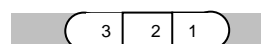
*Toelichting: 'paneelbreedte' is niet in overeenstemming met de eerder vermelde definities, de factor 1,38 is niet in overeenstemming met NEN6743; 1,0 wel.*

**4.3.1.2**

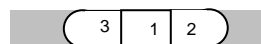
Vervangen:            Tweede zin: 'boorpalen'  
Door:                    'Betonpalen, in de grond gevormd met behulp van een steunvloeistof'

**5.6**

Vervangen:            Tabel 6, laatste kolom, één na laatste rij:  
(geval 3 gangs sluitpaneel, ronde voeg)



Door:



### 5.7.2

Vervangen: De laatste zin  
door: 'Deze zijn toegepast bij Parkeergarage Kruisplein te Rotterdam (paneeldikte 1,2 m) en het verwijderen hiervan heeft geen noemenswaardige problemen opgeleverd.'

### 5.9.3

Vervangen: De laatste zin van de 2<sup>e</sup> alinea: 'Naast constructieve.....goed injecteerbaar blijken.'  
Door: 'Naast constructieve bezwaren kan dit aanleiding geven tot beperkte lekkages, die overigens in de praktijk goed injecteerbaar blijken. Wel dient te worden bedacht dat de kosten van dergelijke injecties hoog zijn.'

### 5.10.1

Toevoegen: In de verklaring bij figuur 31, de volgende tekst:  
'De lijn die de werkelijkheid beschrijft is hier als één lijn weergegeven, gebaseerd op de gemiddelde hoogtemetingen van de verschillende meetpunten als aangegeven in fig.30. Het verdient echter sterk de voorkeur de gemeten hoogtes apart aan te geven, zodat er in geval van 3 meetpunten ook 3 meetlijnen zichtbaar zijn.'

### 6.3.1

Toevoegen: In de 4<sup>e</sup> alinea, achter 'Seismische Tomografie' '( = Acoustisch doormeten).'

Vervangen: In de 3<sup>e</sup> alinea onder de kop 'Praktijktest', de eerste zin door de volgende 2 zinnen:  
'Hiervan lijkt de seismische tomografische meting de beste combinatie van toepasbaarheid en resolutie op te leveren. Vanwege de bemoedigende resultaten bij de parkeergarage Kruisplein wordt deze methode geadviseerd in alle gevallen waar diepwanden dicht bij bestaande bebouwing moeten worden gemaakt.'

### Literatuurlijst

vervangen: ' NEN 9997-1:2009 Ontw.nl (Ontwerpversie)'  
door: ' NEN 9997-1+C1:2012 nl'

### Stortgrafiek in bijlage C

Toevoegen: In de verklaring bij de stortgrafiek op blad 5 van 6, de volgende tekst:  
'De lijn die de werkelijkheid beschrijft is hier als één lijn weergegeven, gebaseerd op de gemiddelde hoogtemetingen van de verschillende meetpunten als aangegeven in 5.10.1, fig.30. Het verdient echter sterk de voorkeur de gemeten hoogtes apart aan te geven, zodat er in geval van 3 meetpunten ook 3 meetlijnen zichtbaar zijn.'

## Aanvullende paragrafen:

Onderstaande paragraaf toevoegen aan Hoofdstuk 4 Ontwerpberekeningen:

### 4.3.3 Modelleringswijze in EEM

#### Inleiding

Om de ontwerper op weg te helpen zijn twee methoden uitgewerkt om een rekenmodel van een ontgraving begrensd door een diepwand op te bouwen in een eindige elementen programma. De keuze voor één van deze methoden is niet te maken voordat de projectspecifieke functionele eisen als beschreven in Hoofdstuk 3 zijn geïnventariseerd. Om deze reden is ervoor gekozen om een korte en puntgewijze modelmatige beschrijving te geven van de beide methoden. Vervolgens zijn enkele voor- en nadelen gegeven die mogelijk bijdragen aan de keuze voor een model.

Voor het modelleren van diepwanden met het softwarepakket Plaxis kunnen de volgende twee verschillende benaderingen worden gekozen:

- Methode 1: Diepwand als elastisch (of elasto-plastisch) beam element (Plate)
- Methode 2: Diepwand als lineair elastisch, non-porous, cluster element (Linear Elastic Element)

#### Methode 1: Diepwand als beam element (Plate)

Belangrijke invoerparameters zijn:  $w$  (eigen gewicht),  $EI$ ,  $EA$ ,  $\nu$ ,  $R_{inter}$ ,  $M_{pl}$  en  $N_{pl}$ .

De laatste twee parameters worden gebruikt in het elasto-plastisch model.

De beperking in de huidige generatie Plaxis is het niet beschikbaar zijn van een materiaalmodel om het betongedrag te modelleren. Om deze reden moet het materiaalgedrag handmatig worden ingesteld. Per rekenfase kunnen de eigenschappen van de diepwanden worden gevarieerd. Belangrijk is om bij overschrijding van het scheurmoment, in die sectie waar het scheurmoment is overschreden, de  $E_{ongescheurd}$  te verlagen tot  $E_{gescheurd}$ .

Diepwanden hebben een aanzienlijk eigen gewicht en vaak ook een dragende functie. Om deze eigenschappen en functies in Plaxis te modelleren is het noodzakelijk om een fixed-end-anchor aan te brengen aan de onderzijde van het beam element. De stijfheid van het fixed-end-anchor wordt bepaald met de puntlast-zakkingcurve volgens NEN9997-1.

De parameter  $R_{inter}$  kan worden bepaald aan de hand van de richtlijnen voor de wandwrijvingshoek volgens 4.2.1.

Voordelen van methode 1:

- Krachtwerking en vervormingen zijn direct af te lezen uit het beam element.
- Constructieve verbindingen zijn eenvoudig te modelleren.
- Geschikt voor sterketoetsing van de wand (voor bijvoorbeeld de uiterste grenstoestand).

Nadelen methode 1:

- Numeriek kunnen problemen ontstaan doordat het beam element afdraagt aan slechts één knoop. Oplosbaar door de interface verder door te trekken.
- Het toepassen van een fixed-end-anchor verstoort de realistische spanningsontwikkeling rond de voet van het beam element. Dit is van belang als in het model andere constructieve elementen (palen) nabij de voet van het beam element aanwezig zijn (groepseffect). Voor een realistische interactie moet dan methode 2 worden gebruikt, of kan een dwarsgeplaatst beam element aan de punt worden gemodelleerd dat ervoor zorgt dat de onderliggende grondlagen worden belast. Bij het modelleren van zowel een fixed-end-anchor als een dwarsbeam moet het berekende gedrag worden gefit aan NEN9997-1. Lees hierover meer in "Opmerking 1".

#### Methode 2: Diepwand als elastisch, non-porous, Lineair Elastic element

Voer het element in met de correcte geometrie (dikte, hoogte). Belangrijke invoerparameters zijn:  $\gamma$  (volumegewicht),  $E_{gescheurd/ongescheurd}$  (lees meer bij Methode 1),  $R_{inter}$ .

Errata en aanvullingen bij CUR/COB-rapport 231, 1<sup>e</sup> druk, september 2010

De parameter  $R_{inter}$  kan worden bepaald aan de hand van de richtlijnen voor de wandwrijvingshoek volgens 4.2.1.

Voordelen methode 2:

- Betere visualisatie gedrag, spanningen en vervormingen.
- Stabieler berekening. De onderkant van het element rust op meerdere knooppunten (bij voldoende fijn mesh). Van belang bij verticaal belaste diepwand.
- Geschikt voor analyse van vervormingen en invloeden op de omgeving, reëler beeld van zakkingen waarbij de interactie met de grond rondom ook beter wordt gemodelleerd (bij puntveer in methode 1 is dit geenszins het geval).

Nadelen methode 2:

- Het last-zakkingsgedrag is waarschijnlijk niet conform NEN9997-1. Oplosbaar door het berekende gedrag te fitten aan NEN9997-1. Lees hierover meer in "Opmerking 1".
- Krachtwerking en vervormingen moeilijk nauwkeurig af te lezen. Als maatregel kan een beam element in het elastische volume-element worden opgenomen. Dit beam element mag niet bijdragen aan stijfheid en sterkte van de constructie.
- Aan een elastisch volume-element kunnen niet zondermeer constructieve verbindingen worden vastgemaakt. Er bestaat een mogelijkheid waarbij gebruik wordt gemaakt van een "dummy plate" met  $EI \sim 0 \text{ kNm}^2$ .

#### Opmerkingen:

1. Vaak wordt in geval van repetitieve sterkteberekeningen (bij grote projecten, lijninfra) de voorkeur gegeven aan het gebruik van een verenmodel. Plaxis wordt gebruikt ter verificatie en voor de bepaling van representatief gedrag van de grond. De beide rekenwijzen verschillen fundamenteel. Voor meervoudig ondersteunde ontgravingen is het vaak zinvol om de invloed van boogwerking op stempelkrachten en krachtverdeling in de diepwand te controleren (zie Hoofdstuk 4).

2. Voor het modelleren van het last-zakkingsgedrag van de onderzijde van de wand moet NEN 9997-1 als uitgangspunt worden genomen. Afhankelijk van de gekozen modellering (methode 1 of methode 2) kan het last-zakkingsgedrag worden gefit aan de norm door een stukje element (cluster) met geringe dikte te modelleren onder de punt van de diepwand of een barette. Het last-zakkingsgedrag kan iteratief worden bepaald door de E-modulus van dit cluster (LE-model) en de verticale belasting te variëren. Naast deze methode kan bij het toepassen van een dwarsbeam de lengte van de dwarsbeam worden gevarieerd, of kan ook de clusterstijfheid onder de dwarsbeam als variabele worden genomen. Bij het toepassen van een fixed-end-anchor kan direct een veerwaarde worden opgegeven. Het modelgedrag kan op deze manier worden gefit aan de (punt)last-zakkingscurve uit NEN 9997-1. Het is gebruikelijk om het gedrag van diepwanden in te delen in de categorie boorpalen.

3. Het gedrag van zwaar verticaal belaste diepwanden is niet eenduidig te modelleren in Plaxis. De geroerde grond en de onzekerheid van het beton-grond contactoppervlak maakt draagvermogen en stijfheid moeilijk voorspelbaar. Dit aspect verdient aanvullend onderzoek in de vorm van benchmarken naar een goede praktijkmeting (COB-commissie F531).

#### Conclusie

Beide in deze paragraaf beschreven modelleermethoden zijn goed toepasbaar voor het ontwerp van diepwandconstructies. De keuze voor één van de methoden is niet vooraf te maken. De keuze moet afhangen van projectspecifieke functionele eisen.

Om de keuze te maken moeten enkele zaken worden vastgesteld. Welke informatie moet het model opleveren? Hoe wordt de diepwand belast (horizontaal kerend, verticaal dragend, combinatie)? Moeten de omgevingsrisico's worden bepaald bij funderingen op staal of op palen? Wordt de diepwand opgenomen in een definitieve constructie met verbindingen aan vloeren?

Als de nadruk meer ligt bij het modelleren van maaiveldvervormingen (funderingen op staal) achter de diepwand, die is opgenomen in een meervoudig ondersteunde (dak, vloer) definitieve constructie, wordt Methode 1 aanbevolen.

Als de nadruk meer ligt op het modelleren van verticaal draagvermogen, of de bepaling van spanningsveranderingen rond paalpunten in de directe nabijheid van de diepwand en interactie van meerdere wanden (groepswerking), wordt aanbevolen Methode 2 toe te passen.

#### Onderstaande paragraaf toevoegen aan Hoofdstuk 5 Uitvoering

##### **5.11 Krimp van het beton**

Tijdens het verhardingsproces loopt de temperatuur op in de betonnen panelen. Bij Spoorzone Delft zijn hier temperaturen rond de 35° C gemeten in het hart van de panelen, met een geringe variatie over de hoogte van de panelen. Na verharding zal de temperatuur geleidelijk weer dalen tot circa 11° C , de natuurlijke temperatuur van de ondergrond.

##### Breedterichting (paneelbreedte):

De afkoeling na verharding kan leiden tot schuifvervorming van de wand in de grond, en/of tot trekspanningen in de wand. Het optreden van trekspanningen is alleen relevant, indien de wrijving die de grond kan leveren dusdanig groot is dat de schuifvervorming ook daadwerkelijk in redelijke mate wordt verhinderd.

Uitgaande van de normaliter toegepaste paneelbreedtes en de temperatuursprong als genoemd, bedraagt de onverhinderde krimp per paneel hooguit enkele mm's. De wrijvingsopbouw tussen grond en wand bij die schuifvervorming is dusdanig gering dat dit nauwelijks tot trekspanningen in de wand zal leiden. Verwacht kan dus worden dat de genoemde verkorting van de paneelbreedte zich inderdaad zal voordoen en zich ter plaatse van de voegen zal manifesteren. Een eventueel aanwezig waterslot moet worden gedimensioneerd op de rek die dit met zich mee brengt.

##### Lengterichting (paneelhoogte):

Voor relatief diepe panelen zou de krimp tot horizontaal verlopende krimpscheuren kunnen leiden, die optreden nog vóór het ontgraven van de bouwput of kade. Omdat op diepere niveau's de wrijving tussen grond en wand toeneemt, neemt op grotere diepte ook de verhinderde krimp toe en daarmee de trekspanning in de wand. Bij de parkeergarage Houtwal (een put met in bovenaanzicht ronde doorsnede en een maximale ontgravingsdiepte van circa 20 m) is op diepere niveau's horizontaal verlopende scheurvorming waargenomen die vermoedelijk moet worden toegeschreven aan dit effect. Omdat dergelijke scheurvorming over de volle dikte van een paneel aanwezig kan zijn, kan dit tevens aanleiding geven tot lekkage, en dus mogelijk tot de noodzaak tot injectie achteraf. Opgemerkt wordt dat in geval van een put met een rechthoekig bovenaanzicht dit effect veel minder belangrijk zal zijn omdat er tijdens ontgraven tevens buiging optreedt, waardoor de eventueel ontstane scheuren in de drukzone weer worden dichtgedrukt.

##### Dwarsrichting (paneeldikte):

In deze richting wordt de krimp niet verhinderd en zal dus volledig optreden. Uit indicatieve berekening blijkt dat de deformatie die hiermee gepaard gaat veel kleiner zal zijn dan 1 mm, en daarmee verwaarloosbaar is ten opzichte van andere effecten zoals de doorbuiging tijdens ontgraving etc..

### **9.3 Tunnel Rotterdam Noordrand**

Ten behoeve van de aanleg van de HSL-zuid is vanaf 2002 de in diepwanden uitgevoerde tunnel Rotterdam Noordrand gebouwd. Al tijdens de bouw is vorstschade opgetreden, nadat spuitbeton tegen de bestaande diepwand was aangebracht. De reden om spuitbeton aan te brengen was het feit dat tijdens het ontgraven van de wand werd geconstateerd dat de kwaliteit van de zichtbare beton matig was en men risico's voor de duurzaamheid voorzag. Toen na het aanbrengen van een laag spuitbeton vorst optrad, heeft dat ertoe geleid dat de aangebrachte laag deels van de diepwand is afgevroren.

De verklaring hierbij is dat de vorst is doorgedrongen tot de beton van de oorspronkelijke diepwand. Aannemelijk is dat het beton van de diepwand volledig verzadigd is geweest met water, temeer daar deze was afgedekt met de laag relatief ondoorlatende spuitbeton. Toen daar uitzetting door vorst optrad zijn de trekspanningen op het grensvlak tussen diepwand- en spuitbeton toegenomen, met als gevolg afbladderende spuitbeton.

De hieruit te trekken les is dat, indien een diepwand van relatief doorlatend beton aan de ontgraven zijde wordt afgedekt met relatief ondoorlatend beton, er rekening mee moet worden gehouden dat deze laag ondoorlatende beton, naast de volledige hydrostatische waterdruk, een additionele vorstbelasting te verduren zou kunnen krijgen, indien het denkbaar is dat op het niveau van de overgang tussen de 2 betonsoorten vorst kan voorkomen.

Uiteindelijk heeft men ervoor gekozen om het door middel van isolerende voorzetwanden op te lossen.