

Toepassing van beton bij in de grond gevormde funderingspalen en wanden



Colofon

Deze richtlijn is tot stand gekomen in samenwerking tussen het Betonhuis namens de leveranciers van beton en de Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken (NVAF).

Samenstelling:

J. Heuveling, voorzitter, Betonhuis
ir. B.J. Admiraal, Volker Staal en Funderingen
ir. S. van Dijk, Voorbij Funderingstechniek
J. van Eldik
R. Giesen
ing. A. van Heezen, Gebr. Van 't Hek
ing. C.J. Vroom, Vroom Funderingstechnieken
ing. H. ter Welle, Betoncentrale Twenthe

Rapporteur:

ir. B.J. Admiraal, Volker Staal en Funderingen

Eindredactie:

mr. H. de Koning



Bezoekadres: Zaagmolenlaan 20, 3447 GS Woerden
Postadres: Postbus 194, 3440 AD Woerden
E-mail: info@betonhuis.nl
Website: betonhuis.nl
Telefoon: 0348 - 484 400
Contactpersoon Betonhuis: W. Oosterling



Bezoekadres: Ceintuurbaan 2, 3847 LG Harderwijk
Postadres: Postbus 1218, 3840 BE Harderwijk
E-mail: secretariaat@nvaf.nl
Website: www.nvaf.nl
Telefoon: 0341 – 456 191
Contactpersoon NVAF: J. Estié

Disclaimer

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgevers. Uitgevers en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en uitgevers sluiten, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens.

Inhoudsopgave

1	Voorwoord	5
2	Normatieve en overige verwijzingen	7
2.1	Normatief	7
2.2	Overig	7
3	Termen en definities	9
4	Aandachtspunten voor beton voor in de grond gevormde funderingselementen	11
5	Eisen ten aanzien van detailontwerp wapening	13
6	Eisen ten aanzien van eigenschappen betonspecie	15
6.1	Uitvoeringsmethode	15
7	Eisen ten aanzien van samenstelling betonspecie	17
7.1	Cementgehalte	17
7.2	Fijne delen	17
8	Eisen ten aanzien van bestelling betonmortel	19
8.1	Specificatie bij bestelling en levering op prestatie-eisen	19
8.2	Specificatie bij bestelling en levering op samenstelling	19
9	Eisen ten aanzien van levering	21
10	Ingangscontrole levering	23
11	Aandachtspunten uitvoering	23
11.1	Lange, slanke palen	23
11.2	Grondcondities	25
11.3	Afwerking paalkop	25
12	Controle na voltooiing	27

Bijlagen

A.	Aspecten bij het bepalen van een mengsamenstelling	29
B.	Factoren van invloed op betonkwaliteit in paalfunderingen	33
C.	Concepten voor afwijkende samenstellingen: Equivalent Performance	34



Voorwoord

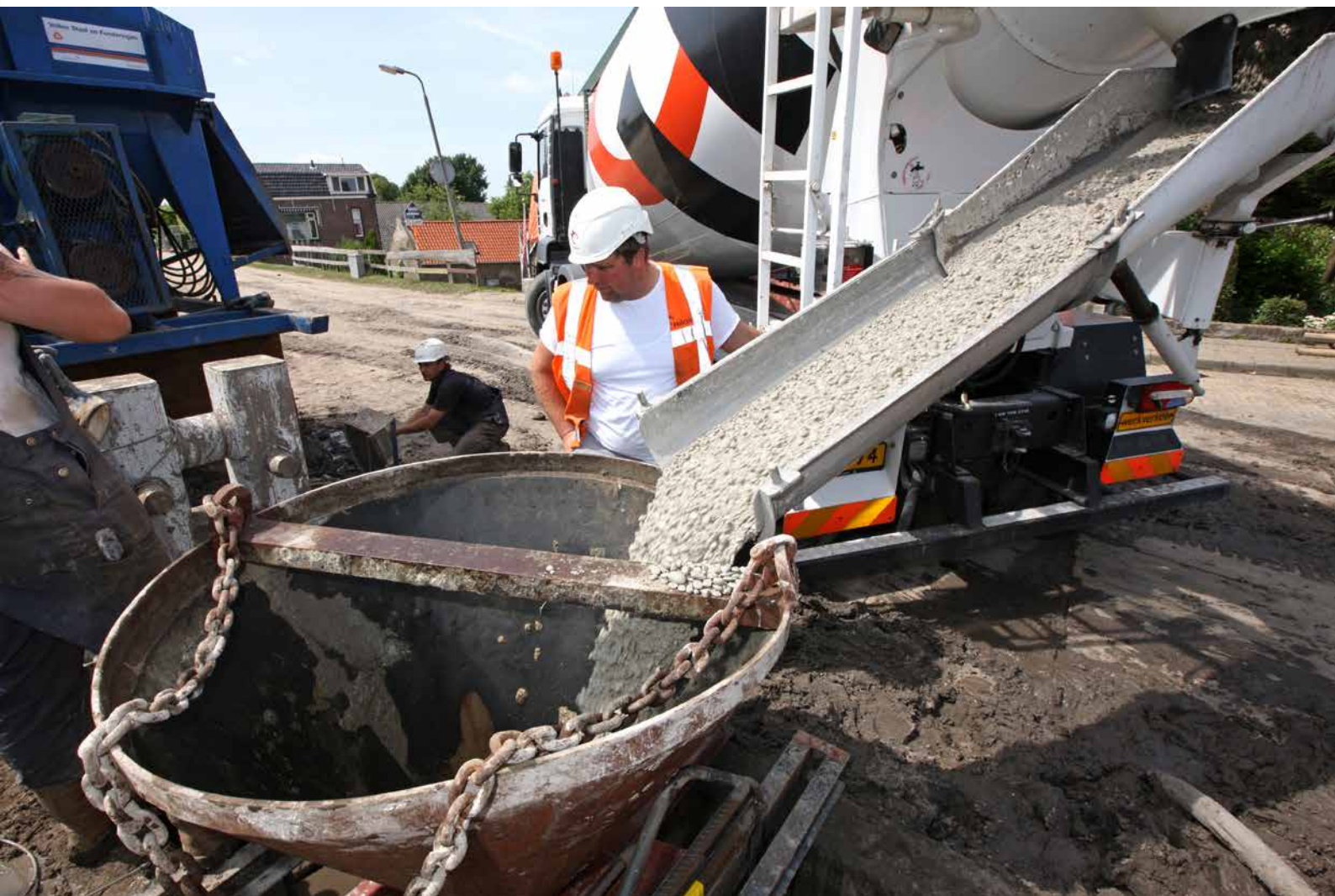
De eisen ten aanzien van de samenstelling en toepassing van beton zijn genormeerd in de NEN-EN 206. Voor de uitvoering van speciale geotechnische werken zijn er specifieke eisen benoemd in bijlage D van de NEN-EN 206 geldend voor in de grond gevormde funderingspalen en wanden. Voor het uitvoeren van beton geldt in het algemeen de NEN-EN 13670 'Het vervaardigen van betonconstructies'. Voor het beoordelen van de druksterkte van beton geldt NEN-EN 13791 'Beoordeling van de druksterkte van beton in constructies en vooraf vervaardigde betonelementen'.

Toch ontbreken met name in de NEN-EN 206 een aantal belangrijke eisen en richtlijnen die van belang zijn

om kwaliteitsproblemen met betrekking tot beton te voorkomen. Dit komt o.a. door specifieke ervaringen in Nederland en nieuwe inzichten. Ook zijn enkele bepalingen in de NEN-EN 206 niet geheel juist vertaald uit de officiële Engelstalige versie van de EN 206.

Doel van deze richtlijn is om geconstateerde leemtes zo veel mogelijk op te vullen of middels toelichting en specifieke bepalingen de juiste context te verduidelijken. Hierbij is de voormalige NVN 6724, maar ook de recente EFFC/DFI publicatie 'Tremie concrete guide, ed. 2' als achtergrondinformatie gebruikt.

Woerden/Harderwijk, 1 oktober 2021





2. Normatieve en overige verwijzingen

2.1 Normatief

Ontwerp betonconstructies:	Eurocode 2, NEN-EN 1992-1-1 + NB
Ontwerp geotechnische constructies:	Eurocode 7, NEN-EN 1997-1 + NB
Uitvoering betonconstructies:	NEN-EN 13670
Specificatie, vervaardiging en conformiteit beton:	NEN-EN 206 + NEN 8005
Beoordelen en testen beton:	NEN-EN 13791
Uitvoering grondverdringende palen:	NEN-EN 12699
Uitvoering geboorde palen (volledig grondverwijderend):	NEN-EN 1536
Uitvoering micropalen (geboord en diameter ≤ 300 mm):	NEN-EN 14199
Uitvoering diepwanden:	NEN-EN 1538

Voor bovengenoemde normen geldt dat de laatst gepubliceerde versie vigerend is.

2.2 Overig

[1] EFFC-DFI Tremie Concrete Guide, 2nd edition

[2] NVN 6724



3. Termen en definities

Zie voor een uitgebreide verklaring voor de gebruikte termen, definities, symbolen en afkortingen de NEN-EN 206.

Beton

materiaal dat wordt gevormd door het mengen van cement, grof en fijn toeslagmateriaal en water, met of zonder de toevoeging van hulpstoffen, vulstoffen of vezels, en dat zijn eigenschappen ontwikkelt door hydratatie.

Beton op prestatie-eisen

beton waarvoor de vereiste eigenschappen en eventuele aanvullende kenmerken zijn voorgeschreven aan de producent, die verantwoordelijk is voor de levering van beton dat aan de vereiste eigenschappen en aanvullende kenmerken voldoet.

Beton op samenstelling

beton waarvoor de betonsamenstelling en de toe te passen grondstoffen zijn voorgeschreven aan de producent, die verantwoordelijk is voor de levering van beton met de voorgeschreven samenstelling.

Betonspecie

volledig gemengd beton dat met de gekozen methode nog kan worden verdicht.

Cement

fijngemalen, anorganische stof die gemengd met water een pasta vormt die bindt en verhardt door hydratatiereacties en -processen en die, na verharding, zijn sterkte en stabiliteit behoudt, zelfs onder water.

Diaphragm wall

N.B. In de NEN-EN 206 bijlage D is in de Nederlandse vertaling de term 'diaphragm wall' verkeerd vertaald en kan de vertaling verkeerd worden begrepen. 'Diaphragm wall' is geen kwelscherm. Dit moet zijn 'diepwand'.

$D_{\max}$

de term $D_{\max}$ is de opgegeven waarde van D voor de grofste korrelgroep toeslagmateriaal die wordt gebruikt in het desbetreffende mengsel.

Grout

mortel met als basis cement en andere fijn materiaal aangemaakt met water.

Onderscheid kan worden gemaakt in:

- Injectiegrout: water-cementmengsel evt. met vul- en hulpstoffen of een vergelijkbare premix. Bij de uitvoering van m.n. geschroefde palen gebruikt ter smering, menging met/transport van grondkorrels, koeling van het inboorsysteem en het vullen van kleine holle ruimten.

- Vulgrout: water- cementmengsel evt. met zand, vulstoffen en hulpstoffen. Bij de uitvoering van m.n. zgn. combi-palen, waarbij een prefab element geplaatst wordt in een op diepte gebrachte tijdelijke casing.

Geschiktheidsonderzoek

onderzoek uit te voeren voordat de productie start, om te beoordelen hoe een nieuw beton of een nieuwe betonfamilie moet worden samengesteld zodat wordt voldaan aan alle gespecificeerde eisen voor betonspecie en verhard beton.

Toeslagmateriaal

natuurlijke, kunstmatige, teruggewonnen of gerecyclede korrelvormige grondstof van minerale oorsprong geschikt om te worden toegepast in beton.

Fijne delen in beton

som van vaste materialen in betonspecie met een deeltjesgrootte kleiner dan of gelijk aan 0,125 mm. N.B.: Conform de algemene definitie van fijne delen in de NEN-EN 206 betreft dit de som van vaste materialen in betonspecie met een deeltjesgrootte kleiner dan of gelijk aan 0,125 mm. In de norm wordt ook de term gebruikt delen kleiner dan 0,250mm hetgeen hetzelfde betekent omdat er geen normzeef is met een tussenliggende maat. Wel kan het verschil in beaming aanleiding zijn voor verwarring.

Vulstof

fijn verdeelde, anorganische grondstof gebruikt in beton met de bedoeling bepaalde eigenschappen te verbeteren of speciale eigenschappen te bereiken.

Korrelgrootte

aanduiding van toeslagmateriaal in termen van kleinste en/of grootste zeefopening, uitgedrukt als d c.q. D.

Vloeimaat

gemiddelde diameter van de uit een genormeerde zetmaatkegel gevloede betonspecie.

Viscositeit van beton

vloeistoestand van betonspecie nadat het vloeien is gestart.

Weerstand tegen ontmenging

vermogen van betonspecie om in specievorm een homogene samenstelling te behouden.



4. Aandachtspunten voor beton voor in de grond gevormde funderingselementen

Het ontwerp van een funderingsconstructie vergt het gecombineerd inbrengen van kennis van zowel algemeen constructieve als geotechnische kennis. Het berekenen en specificeren van het beton en de wapening vergt additionele kennis. De uitvoering van funderingswerkzaamheden is een andere discipline, die haar eigen gespecialiseerde kennis vergt, die per uitvoeringstechniek zeer verschillend kan zijn. Om problemen in de uitvoering te voorkomen en om een kwalitatief goed product te kunnen realiseren is het noodzakelijk dat de raakvlakken tussen ontwerp en uitvoering goed zijn geborgd. Dit geldt zeker voor in de grond gevormde funderingselementen, waarbij een andere component ook van groot belang is: de levering van beton.

Voor het goed aanbrengen van de betonmortel is de keuze van betonsamenstelling afhankelijk van het detailontwerp en de uitvoeringsmethode. De invloed hiervan op de vereiste specie-eigenschappen en het verloop hiervan in de tijd zowel tijdens als na het stortproces, moet in acht worden genomen. De uitvoeringsmethode is daarbij niet alleen de wijze waarop een paal in de grond wordt gebracht, maar ook de wijze waarop de beton wordt geleverd en wordt verwerkt in de paal. Voorbeelden voor aspecten van detailontwerp zijn de tussenafstanden van de wapeningstaven en keuze dikte dekkingzone in relatie tot de uitvoeringmethode. Eventuele eisen kunnen ook voortkomen uit specifieke omgevingscondities, zoals transportafstanden, temperaturen en niet in de laatste plaats de eigenschappen van de grond.



Het verpompen van beton.



5. Eisen ten aanzien van detailontwerp wapening

Indien er een wapeningskorf wordt toegepast geven de uitvoeringsnormen van funderingstechnieken eisen aan de minimale tussenafstand (dagmaat) van wapeningsstaven. Dit om de maakbaarheid en kwaliteit zeker te stellen. De eis verschilt echter afhankelijk van de diameter van de paal en de omstandigheden in de paal. Voor volledigheid wordt daarom verwezen naar de desbetreffende uitvoeringsnorm. Hier zal enkel worden ingegaan op eisen voor de langswapening, omdat hier een afhankelijkheid is met de maximale korreldiameter $D_{\max}$ in het toeslagmateriaal.

Voor de langswapening geldt het volgende conform de diverse uitvoeringsnormen:

- › Ten minste $3 \times D_{\max}$ met een minimum van 50 mm bij storten/pompen in een droge casing *
- › Ten minste 100 mm ** (óf 80 mm bij $D_{\max} < 20$ mm) bij storten/pompen via een tremiebuis en verdrijving van een steunvloeistof. De binnendiameter van de tremiebuis is eveneens afhankelijk van de maximale korreldiameter: $D_{\text{inw}} \leq 6 \times D_{\max}$

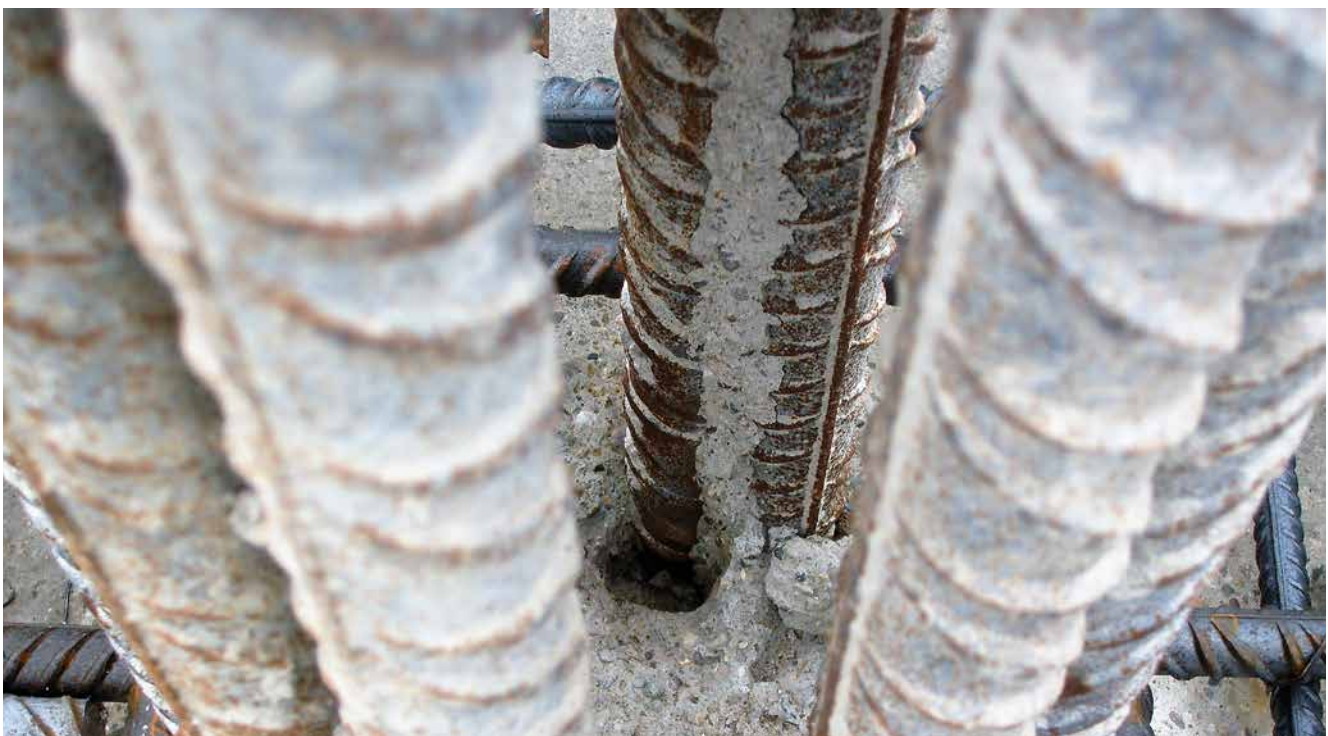
Let op:

Deze eisen gelden dus ook ter plaatse van overlapping, koppelbussen, etc.

*Voor palen waarbij de casing tijdens of direct na de betonstort achterblijft of wordt verwijderd met geringe dynamiek, bijvoorbeeld bij draaiend of oscillerend trekken, wordt een tussenafstand van minimaal $4 \times D_{\max}$ geadviseerd met een minimum van 64 mm.

Indien aan deze eis m.n. ter plaatse van koppelingen of staafoverlapping moeilijk kan worden voldaan is het laten verspringen in hoogte van deze voorzieningen extra belangrijk. Daarnaast kan door een menging van grindsamenstellingen, bijvoorbeeld 50%-50% in grind $D_{\max} \leq 16$ - $D_{\max} \leq 32$ mm of $D_{\max} \leq 8$ - $D_{\max} \leq 16$ mm het risico worden verkleind op blokkade van betonstroming tot in de dekkingzone.

** Hier wordt dus geen waarde gesteld in directe afhankelijkheid van maximale korreldiameter. Geadviseerd wordt om ook hier minimaal $4 \times D_{\max}$ aan te houden voor de tussenafstand van de langstaven.





6. Eisen ten aanzien van eigenschappen betonspecie

Het gedrag oftewel de reologie van de specie tijdens het aanbrengen bepaalt in grote mate de kwaliteit van het eindproduct. Kennis hiervan is essentieel om tot een goede samenstelling van de specie te komen.

De belangrijkste reologische eigenschappen zijn:

- Verwerkbaarheid (consistentie c.q. vloeieigenschappen).
De consistentie is een classificatie gerelateerd aan een specifieke proef zoals zetmaat, schudmaat of vloeimaat. De vloeieigenschappen worden uitgedrukt in de parameters zwichtspanning en viscositeit, conform een Bingham-vloeistof.
Belangrijk is dat het te verwerken beton goed vloeit. De exacte eis hiervoor is afhankelijk van de wijze van inbrengen en de manier waarop een casing eventueel wordt verwijderd.
- Verloop van de verwerkbaarheid in de tijd.
De verwerkbaarheid zal onder gematigde temperaturen geleidelijk afnemen. Voor paalfunderingen wordt veelal met de betonleverancier afgesproken dat dit dient te gelden tot 2 uur na aanvoer op het werk waardoor er vaak sprake zal zijn van het toepassen van een specifieke vertrager. Beton dient gedurende die tijd in beweging te worden gehouden. Eventueel kan de verwerkbaarheid verlengd worden tot 4 uur na aanmaken.
- Stabiliteit van het mengsel.
Hieronder wordt verstaan de resistentie tegen ontmenging, bleeding en filtratie van vrij water. De specie moet dus een goede samenhang vertonen en behouden.

Om misverstanden te voorkomen is een goede communicatie tussen betonleverancier en aannemer noodzakelijk over bovengenoemde zaken, zeker voor specifieke producten of omstandigheden. In uitzonderlijke gevallen is de uitvoering van geschiktheidsonderzoek voor aanvang van de werkzaamheden ondersteunend of zelfs noodzakelijk. Voor meer achtergrondinformatie zie o.a. [1].

De gewenste eigenschappen hebben hoofdzakelijk te maken met de wijze waarop de palen worden gemaakt, in het bijzonder de manier waarop de beton in de paal wordt gebracht. De grondomstandigheden kunnen echter ook

van belang zijn om te sturen op specifieke mengseleigenschappen.

6.1 Uitvoeringsmethode

In de NEN-EN 206 worden eisen gesteld waar een betonmengsel aan moet voldoen. In bijlage D van deze norm staan de bijkomende eisen voor de uitvoering van in de grond gevormde funderingselementen.

Daarin staan beperkte aandachtspunten voor de reologie in afhankelijkheid van de uitvoeringsmethode, uitgedrukt in een schud- c.q. zetmaat. De richtwaarden hiervoor zijn:

- Beton gestort in droge omstandigheden:
zetmaat 150 mm / schudmaat 500 mm (tolerantie +/- 30 mm). Dit geldt voor alle palen, die in Nederland worden gemaakt, tenzij het geboorde of gegraven palen betreft met toepassing van een steunvloeistof. Afhankelijk van het type is mogelijk extra aandacht nodig:
 - Palen met een achterblijvende/permanente casing, zoals stalen buispalen met een dichte punt aan de onderzijde, geheid of geschroefd. Veelal wordt hier een consistentieklasse S3 toegepast. Als dit lange palen betreft met wapening over de gehele paallengte is een goede samenhang van het mengsel nodig. Dit om ontmenging tegen te gaan. Zie ook par. 11.1.
 - Palen waarbij de casing wordt verwijderd tijdens of direct na aanbrengen van het beton. Bijvoorbeeld een vibropaal of een geschroefde paal. Veelal wordt hier een consistentieklasse S3 toegepast.
Naast samenhang is het belangrijk dat de specie voldoende vermogen tot vloeï behoudt om de ruimte van de buisdikte die tijdens het trekken van de casing vrijkomt, direct te kunnen vullen.
 - Palen waarbij de wapening wordt aangebracht in het beton, nadat de paal is vervaardigd, zoals bij avegaarpalen. Veelal wordt hier een consistentieklasse F4 toegepast.
Zeker bij lange wapeningslengtes en/of droge, goed drainerende grond is het belangrijk dat het mengsel nog voldoende vloeibaar is om de wapening eventueel met een kleine trilmotor in te kunnen brengen. M.n. in goed drainerende grond

dient extra zorg te worden besteed aan de mengsamenstelling. Het uifilteren van aanmaakwater uit het mengsel moet namelijk beperkt worden om zeker te stellen dat de wapeningskorf kan worden ingebracht. Indien het grondwaterpeil laag is gelegen kan dit een probleem vormen en zal evt. een ander paalsysteem moeten worden gekozen.

- Beton gestort m.b.v. een pomp of een tremiebuis onder water *
schudmaat 560 mm / zetmaat 180 mm
(tolerantie +/- 30 mm).
- Beton gestort m.b.v. een tremiebuis onder steunvloeistof **.
schudmaat 600 mm / zetmaat 200 mm
(tolerantie +/- 30 mm)
Palen of baretten geboord of gegraven met behulp van een steunvloeistof moeten worden gestort met een relatief hoog vloeibare beton. In de regel wordt hier een consistentieklasse F5 toegepast. Maar er zijn ook ontwikkelingen om hoog vloeibare mengsels te gebruiken met betere zelfverdichtende eigenschappen in de consistentieklasse SF1 of zelfs SF2.

Bij de uitvoering treden er geen dynamische effecten op, zodat de verdichting puur door de zwaartekracht

en het vermogen tot zelfverdichting moet plaatsvinden. Tevens moet er vaak worden gekozen voor een lange verwerkbaarheid van het mengsel. Vaak betreft dit grote storthoeveelheden, waarbij continuïteit in kwaliteit zeer belangrijk is. Ingangscontrole van de aangevoerde mortel wordt daarom aanbevolen. Stabiliteit tegen o.a. bleeding vraagt bij dit mengsel om extra aandacht. Bij toepassing van mengselsamenstellingen of hulpstoffen waarmee nog geen vergelijkbare ervaring is opgedaan, wordt de uitvoering van geschiktheidsproeven aanbevolen.

* De zinsnede 'by tremie pipe in submersed conditions under water' is vertaald als 'met een tremiebuis onder water' en wordt regelmatig verkeerd geïnterpreteerd. Hiermee wordt bedoeld op een uitvoeringswijze waarbij water wordt gebruikt als steunvloeistof ter stabilisatie in een open casing, geboorde of ontgraven ruimte. Dan is een tremiebuis noodzakelijk om de beton-aanvoer in de paal van onder naar boven te laten plaatsvinden. Daarbij moet het water worden verdrongen en zijn de vloeieigenschappen van groot belang. Vandaar de eis aan een hogere schud- c.q. zetmaat. Hier wordt dus niet bedoeld of beton onder grond- of oppervlaktewater niveau wordt aangebracht.

** In geval van een steunvloeistof anders dan water, veelal een bentonietsuspensie met een thixotroop en meer viskeus gedrag, zijn de specifieke eisen t.a.v. de vloeieigenschappen van de betonspecie nog hoger. Recent onderzoek heeft uitgewezen dat bepaling van de vloeimaat hiervoor relevanter is dan de schud- of zetmaat.

7. Eisen ten aanzien van samenstelling betonspecie

De NEN-EN 206 + NEN 8005 geeft in bijlage D ook een aantal eisen over de samenstelling van beton voor funderingen. Deze eisen zijn niet gekozen uit oogpunt van sterkte- en milieuklasse, maar moeten aanvullend worden gezien om ook de mengseleigenschappen zeker te stellen. Overigens komen veel van deze waarden uit een tijdperk waarin het nog niet gewoon was om met hulpstoffen te werken. Voor bijzondere funderingstypen, zoals diepwanden of extreem lange palen, kan het nut hebben om van deze eisen af te wijken. Doel van deze eisen is immers om goed verwerkbaar en stabiele mengsels te verkrijgen. Middels geschiktheidsproeven en eventueel aanvullende praktijkproeven kan aangetoond worden dat afwijkende samenstellingen, gebaseerd op de huidige kennis van betontechnologie, tot minimaal een gelijkwaardig resultaat leiden. Zie ook bijlage B: Factoren van invloed op betonkwaliteit in paalfunderingen.

7.1 Cementgehalte

Het minimum cementgehalte is afhankelijk van de conditie of het boorgat of boorcasing droog is of gevuld is met een steunvloeistof. Bij een diepwand of baret, die in de regel niet rond maar rechthoekig in doorsnede is, geldt een hoger minimum gehalte.

Deze minimum waarden voor het cementgehalte zijn bedoeld om voldoende hoge consistentie en samenhang te verkrijgen. Dit om goede vulling tijdens het storten mogelijk te maken en verdichting door de kolomdruk. Bij deze waarden voor het cementgehalte zou zonder hulpstoffen kunnen worden gewerkt.

Als de van toepassing zijnde sterkte- en milieuklassen dit toelaten, mag van deze waarden worden afgeweken door vulstoffen zoals bijv. vliegash of steenmeel toe te voegen. Voor gedeeltelijke vervanging van cement ten behoeve van optimalisatie van de verwerkbaarheid hoeft dan geen k-factor in rekening te worden gebracht.

Minimum cementgehalte, zie ook tabel D.1 en D2 in de NEN-EN 206 bijlage D:

- Beton gestort via of in een droge buis: 325 kg/m³
Dit geldt dus voor nagenoeg alle paalsystemen in Nederland;
- Beton voor palen gestort in een vloeistof, dus via een tremiebuis: 375 kg/m³;
Onder water zoals benoemd in NEN-EN 206 houdt in dat de buis of boorgat gevuld is met water;
- Bij beton voor diepwanden is het cementgehalte afhankelijk gesteld van de gekozen $D_{\max}$
 - 375 kg/m³ cement bij een $D_{\max}$ van 32 mm
 - 400 kg/m³ bij een $D_{\max}$ van 16 mm.*Bij diepwanden (dus niet 'kwelschermen') wordt altijd een steunvloeistof toegepast.*

7.2 Fijne delen

Er worden eisen gesteld aan het minimum gehalte aan fijne delen ($D_{\max} = 0,125$ mm). Dit hoeft dus niet enkel cement te zijn, maar er kan ook worden gekozen om naast cement ook vliegash, steenmeel of fijn zand te gebruiken om het beoogde gehalte te verkrijgen.

Belangrijk is te communiceren wat de definitie van de maximale korrelgrootte van het fijne materiaal is.

De EN 206 is niet consequent in de terminologie en ook in het vakjargon wordt voor 'normaal' constructief veelal de term $D_{\max} < 0,250$ mm gehanteerd. Omdat er conform de NEN-EN 12620 geen normzeven worden gebruikt met een tussengelegen maat, komt dit overeen met de definitie en de term $D_{\max} \leq 0,125$ mm, zoals wordt gebruikt in bijlage D. Het vereiste minimumgehalte aan fijne delen is primair afhankelijk van de gekozen korrelgrootte van het toeslagmateriaal.

$D_{\max}$	Gehalte fijn
> 8 mm	≥ 400 kg/m ³
≤ 8 mm	≥ 450 kg/m ³

Doorgaans wordt voor het grove toeslagmateriaal een $D_{\max}$ toegepast groter dan 8 mm, veelal een $D_{\max} \geq 16$ mm. Voor diepwanden zijn specifieke eisen gesteld indien een $D_{\max}$ van 32 mm wordt toegepast. Dan geldt dat het zandgehalte ($D_{\max} \leq 4$ mm) meer moet zijn dan 40% van de totale massa aan toeslagmaterialen en dat de totale hoeveelheid aan fijne delen minimaal 400 kg/m^3 en maximaal 550 kg/m^3 dient te zijn.

Voor micropalen geldt daarentegen dat altijd een $D_{\max} \leq 16$ mm moet worden gekozen, maar met een minimum van 375 kg/m^3 aan fijne delen.

De totale hoeveelheid aan pasta, dus poeders in combinatie met water en eventuele hulpstoffen, wordt gezien als bepalend voor de verwerkbaarheid en stabiliteit van de specie. Het is in de praktijk gebruikelijk om de hoeveelheid fijne delen uit te drukken in volumegehalte, dus l/m^3 . Daarbij moet dus worden gerekend met mogelijk verschillende dichtheden voor bijvoorbeeld cement/vulstof-

combinaties. In funderingen wordt doorgaans gekozen te rekenen met het soortelijk gewicht van cement, aangezien dit de grootste component vormt van de poeders c.q. fijne delen. Als cementsoort wordt veelal gekozen voor CEM III/B 42,5 N of wordt een gelijkwaardige mix gekozen. Indien het doorgaans lagere soortelijk gewicht van vulstoffen wordt meegenomen in de berekening naar volume, zal dit leiden tot een groter fijn volume en daarmee tot o.a. verhoging van de waterbehoefte.

De tabel op pagina 17 laat zich dan vertalen in:

$D_{\max}$	Gehalte fijne delen
$> 8 \text{ mm}$	$\geq 135 \text{ l/m}^3$
$\leq 8 \text{ mm}$	$\geq 150 \text{ l/m}^3$

Voor zeer slanke palen ($L/\varnothing > 100$) is een gehalte fijne delen van 175 l/m^3 de richtwaarde.



8. Eisen ten aanzien van bestelling betonmortel

Aan de producent dient een specificatie van het beton te worden verstrekt waarin alle relevante eisen voor de betoneigenschappen zijn opgenomen. Een goede specificatie is belangrijk om duidelijkheid te verkrijgen over de eisen aan het beton in de verwerkingsfase en de eigenschappen aan het verharde product. Bij het opstellen van de specificaties moet rekening worden gehouden met betoneigenschappen in verband met transporttijden en -omstandigheden, de wijze en tijdsduur van verwerking inclusief eventuele nabewerking.

8.1 Specificatie bij bestelling en levering op prestatie-eisen

Het is gebruikelijk om beton te bestellen op prestatie-eisen. Dit betreft dan minimaal de druksterkte en de milieuklasse. Voor in de grond gevormde palen (in-situ gestort) zal de sterkteklasse normaliter liggen tussen de klassen C20/25 en C45/55. Nooit lager, zelden hoger. Bij bestelling op prestatie-eisen zal in lijn met de NEN-EN 206 minimaal de volgende informatie moeten worden gespecificeerd. Zie ook NEN-EN 206 + NEN 8005, par. 6.2.

Basis

- De sterkteklasse;
- De milieuklasse;
- De bovengrens $D_{\max}$ van het toeslagmateriaal;
- De klasse voor het chloridegehalte;
- Aanvullende regelgeving zoals het voldoen aan de ROK of aan CUR Aanbeveling 89 'Maatregelen ter voorkoming van alkali-silica-reactie';
- Consistentieklasse of richtwaarde verwerkbaarheid, zie ook NEN-EN 206 bijlage D *.

Minimaal aanvullend

- Minimum cementgehalte *;
- Consistentieklasse of richtwaarde **;
- Verwerkingwijze van de betonspecie:
 - Gekubeld
 - Verpompt
 - Stort- / tremiebuis.

Eventueel aanvullend

- Soort en klasse cement;
- Maximum water-bindmiddelgehalte;
- Gehalte fijne delen ($\leq 125\text{mm}$) *;
- Benodigde vertragingstijd aanvang binding bijvoorbeeld in verband met zomerse of winterse omstandigheden in relatie tot de transport- en verwerkingstijd *;
- Overige technische eisen.

8.2 Specificatie bij bestelling en levering op samenstelling

Hierbij worden de sterkte-klasse, milieuklasse en verwerkingseigenschappen niet gespecificeerd. Zie met name NEN-EN 206 + NEN 8005, par. 6.3.

Basis

- Soort en klasse cement;
- Cementgehalte *;
- Water-cementfactor en, indien van toepassing, water-bindmiddelfactor;
- Consistentieklasse of richtwaarde **;
- Soort, categorieën toeslagmateriaal en het maximale chloridegehalte van de toeslagmaterialen;
- Gehalte fijne delen;
- Indien van toepassing, soort en hoeveelheid hulpstoffen, vulstoffen of vezels.

Minimaal aanvullend

- Verwerkingwijze van de betonspecie:
 - Gekubeld
 - Verpompt
 - Stort- / tremiebuis.

* zie NEN-EN 206 bijlage D

** In afwijking op de NEN-EN 206 is het nodig dat de consistentie wordt gegarandeerd tot minimaal 2 uur na levering op het werk en niet tot 2 uur na aanmaak. Indien er sprake is van vertragingstijd moet worden gerekend vanaf aanmaak mengsel in de centrale. N.B. Vastleggen van zowel cementgehalte als wcf kan beperkend zijn voor de maximaal te bereiken verwerkbaarheid.



9. Eisen ten aanzien van levering

Bij elke levering dient een leveringsbon te worden afgegeven.

De eisen hiervoor staan in de NEN-EN 206 + NEN 8005, par. 7.3.

Op de leveringsbon moet minimaal worden vermeld:

- › Gegevens betoncentrale, kenteken truckmixer en serienummer bon;
- › Gegevens afnemer en naam project;
- › Verwijzing naar specificaties of overeengekomen mengselcode;
- › Hoeveelheid beton in m³;
- › Datum en tijd van mengen;
- › Aankomsttijd op de bouwlocatie;
- › Tijdstip begin lossen;
- › Tijdstip einde lossen.

Indien gespecificeerd in de opdracht tevens:

- › Sterkteklasse en milieuklasse beton;
- › Gehalte, soort en sterkteklasse van het cement;
- › Water-cementfactor en, indien van toepassing water-bindmiddelfactor ;
- › Klasse voor het chloridegehalte;
- › Consistentieklasse of de richtwaarde;
- › D_{max} toeslagmateriaal;
- › Soorten en hoeveelheden hulpstoffen, vulstoffen of vezels, indien gebruikt.



10. Ingangscontrolle levering

Indien de eisen aan verwerkbaarheid zeer belangrijk zijn, is het van belang om dit middels een ingangscontrolle minimaal steekproefsgewijs en op visuele indicatie te verifiëren. Bij het vervaardigen van diepwanden en boorpalen middels een steunvloeistof wordt geadviseerd om elke levering te controleren. De beproeving moet worden gedaan door een persoon die daarvoor goed is geïnstrueerd en over de goede middelen beschikt. De proeven moeten op een geschikte locatie worden uitgevoerd. In overleg kan dit worden uitgevoerd door of samen met een kwaliteitsmedewerker van de leverancier.

Bij constatering van afwijkingen dient direct contact opgenomen te worden met de leverancier.

Voor werken met specifieke eisen of indien de samenstelling anders wordt gekozen dan gebruikelijk wordt geadviseerd om vooraf geschiktheidsproeven uit te voeren. Een leidraad voor het uitvoeren van geschiktheids- en controleproeven is o.a. de Tremie Concrete Guide 2nd edition.

11. Aandachtspunten uitvoering

11.1 Lange, slanke palen

Storten van specie in een droge casing is gevoeliger voor ontmenging. Dit geldt m.n. bij lange, slanke palen. Dit betreft palen met een lengte-diameter verhouding ($L/\varnothing > 75$) met een lange wapeningskorf (gehele paallengte) of lange palen met veel wapening ($A_s > 2\% A_c$). Hier kan de stroming van de specie worden geblokkeerd door silowerking in de wapeningskorf of kernstroming ontstaan binnen de korf, als de specie in de ruimte tussen korf en casing blijft hangen. Om de stabiliteit tegen ontmenging te verhogen is het belangrijk om:

- Rond toeslagmateriaal te gebruiken
- Een continue korrelverdeling te kiezen
- De wapening te bevochtigen voordat deze wordt ingebracht en bij voorkeur een smeerberd na inbrengen van de wapening
- Een verhoogd aandeel fijn materiaal toe toepassen minimaal 150 l/m³.

Voor zeer slanke palen ($L/\varnothing > 100$) is een gehalte fijne delen van 175 l/m³ de richtwaarde. E.e.a. ter beoordeling van de paalproducent en afhankelijk van paaltype en stortproces.

Toe te passen smeerberd

Ter beperking van ontmenging wordt voor lange, slanke

palen ($L/\varnothing > 75$) daarom tevens de toepassing van een smeerberd geadviseerd. Ontmenging wordt namelijk ook veroorzaakt doordat fijne delen uit de specie zich makkelijk hechten aan staal, zeker als deze enigszins roestig is. Hierdoor treedt een verlies van fijne delen uit de betonspecie op bij het starten van de eerste vracht betonspecie. Het gevolg is dat de specie verschaalt en ontmengt, waardoor voornamelijk grove delen onderin de paal komen te liggen. Bij toepassing van een smeerberd wordt de casing, na plaatsing van de wapeningskorf, overgoten met een grout: het zogenoemde vertinnen van de wapening. De binnenzijde van de casing en het oppervlak van de wapeningskorf worden zo voorzien van een vertinning met fijne delen en er ontstaat een groutbed op de casingbodem.

Als richtwaarde kan aangehouden worden:

- per kg wapening 0,05 l grout
- per m² inwendig casing
 - 0,4 l na spoelen van de casing bij geheide of getrilde paalsystemen
 - 1,0 l na spoelen van de casing bij geschroefde paalsystemen

Aan het einde van een productiedag of bij een grote on-



derbreking zal de casing worden schoongespoeld en dus vrij worden gemaakt van fijne delen. Een herhaling van de vertinning met grout is dan noodzakelijk

Voorbeeld:

Casing Ø 406x20 mm, lang 26 m =

12 c.q. 30 liter smeerbeed (resp. geheid of geschroefd)

Korf van 300 kg = 15 liter smeerbeed

Totale smeerbeed behoefte

ca. 30 resp. 45 liter voor de eerste paal

ca. 15 liter voor de volgende direct na elkaar gemaakte palen

11.2 Grondcondities

Daar waar palen worden gemaakt door - of tot in - doorlatende lagen, waarvan de stijghoogte optreedt tot net onder of mogelijk zelfs boven het maaiveld, is extra aandacht nodig. Hier is een risico aanwezig voor welvorming door de paal na het vervaardigen van de paal via het midden van de paal of langs de wapening.

Primair dient dit risico in het geotechnisch ontwerp te worden onderkend en dienen zo nodig passende maatregelen te worden genomen.

Bij grondverdringende palen geldt een verhoogd risico, zeker in geval er grondlagen aanwezig zijn waar waterspanningsverhoging kan optreden door het installatieproces. Dit geldt o.a. in silthoudende zandlagen of een pakket waarbij de grond bestaat uit afwisselend dunne lagen van zand en klei.

Bij het omhoog halen van de casing met veel dynamiek na installatie van de wapening en het vullen met beton, treedt verdichting van de betonspecie op. Bij trillend of heidend trekken van de casing wordt het risico op welvorming bij dergelijke condities dus verkleind.

Voor gedrukte of geschroefde palen, waarbij de casing statisch, oscillerend of draaiend wordt getrokken, wordt het volgende geadviseerd ter beperking van waterintreding vanuit de grond door/langs de paal:

- Verhoogd aandeel fijn materiaal te kiezen, minimaal 175 l/m³ ;
- Verhoogd cementgehalte;
- Toepassing van colloïdale hulpstoffen;
- Consistentie relatief laag houden;
- Geen vertragende hulpstoffen toe te passen;
- Toepassen van fijne vezels;
- Thixotrope hulpstof toepassen.

11.3 Afwerking paalkop

De wijze van afwerken behoort zorgvuldig te gebeuren. Kwa-

liteitscontrole van de afgewerkte kop kan uitsluitend door middel van het boren en beproeven van cilinders gebeuren of middels een schiethamer, mits referentiegrafieken beschikbaar zijn voor de gebruikte samenstelling

Bij akoestische controle wordt geen informatie over de bovenste 250 mm tot 400 mm van de paal verkregen, omdat deze buiten de meetnauwkeurigheid van de apparatuur valt.

Door het snellen van de paalkop mag aan de paal geen blijvende schade, bijv. door scheurvorming, worden veroorzaakt. Scheurvorming kan o.a. worden voorkomen door de paal tot de wapening in te zagen voorafgaand aan het snellen.

Palen zonder groutinjectie kunnen direct op hoogte afgewerkt worden, wanneer aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- Goede bouwterreinomstandigheden: voldoende draagkrachtig, droog;
- Goede afwatering werkniveau;
- Werkniveau maximaal 5 cm onder paalkopniveau;
- Voorkeur toplaag van schoon zand t.b.v. bekistingsmal;
- Direct na het vervaardigen mag in het bovenste deel van de verse paal, indien nodig, de paalkop t.b.v. verdichting worden gepord of kort getrild.

Onder voorwaarden kan worden gekozen om de paal niet te snellen maar de kop direct na vervaardiging te bewerken. Bij vorst, hoge temperaturen of blootstelling aan de zon wordt geadviseerd de paalkop te beschermen middels een adequate afdekking.

Indien een verse paal direct na vervaardiging van de paal wordt opgestort middels een passende bekisting, is voor een goede aansluiting enige bewerking nodig. Dit dient met zorg te gebeuren om instabiliteit nabij de onderzijde van de bekisting en hierdoor inkomende grond te voorkomen.

Voorwaarden voor het nabewerken (opstorten) van een verse paal zijn:

- Direct onder het maaiveld moet een drainerende zandlaag aanwezig zijn;
- De machine dan wel de draglineschotten waar deze op staat moet(en) ten minste 5 m van de paallocatie worden gehouden;
- Het opstorten moet binnen 1 uur plaatsvinden, waarbij de specie overeenkomstig vertraagd is.

Bij palen met groutinjectie is het gebruikelijk om de kop van de paal te snellen na enige verharding. De lengte van het te snellen gedeelte moet ten minste zo zijn dat



Snellen van paalkoppen dient zorgvuldig te gebeuren. Zonder inzagen kunnen ongecontroleerde breukvlakken ontstaan.



Lage consistentie, versneld opstijven van de mortel door warmte in de boorbuis of ontmenging nabij de punt kan leiden tot torderen van de wapening bij het oscillerend trekken. Hier is ook uitspoeling te constateren.



Verhoogde grondwaterspanning kan leiden tot het ontstaan van waterkanalen in het verse beton. Ook bleeding kan dit fenomeen veroorzaken, met uitspoeling van fijne delen tot gevolg.



Een slechte afsluiting van de injectieopening in de boorpunt kan leiden tot een waterkanaal in de kern.

het gebied waar de vereiste sterkteklasse en de vereiste betondoorsnede aanwezig zijn wordt bereikt. Richtlijn bij dit type paal is tot minimaal 0,25 m onder het stortvlak de paal te snellen. Het wordt aanbevolen de onderzijde

van de injectieleiding te voorzien van een afsluiter. Dit ter voorkoming van een lekkanaal in het midden van de paal.

12. Controle na voltooiing

Er is een onderscheid in levering van beton door een gecertificeerde leverancier en beton gemaakt op een niet-gecertificeerde wijze. Indien betonspecie wordt betrokken van een gecertificeerde leverancier is verificatie van eigenschappen op de bouwplaats van het verharde product niet noodzakelijk.

Ter verificatie van de gerealiseerde betondruksterkte in het werk kan overeengekomen worden om destructief onderzoek te doen aan het verharde beton van de palen. Daartoe kan uit aselekt gekozen palen een verticale cilinder geboord worden met een diameter van 100 mm en met een minimale netto hoogte van 100 mm na bewer-

ken (zagen/vlakken). Het verdient aanbeveling om uit 1 paal een zodanig lange kern te boren, dat 2 cilinders met diameter 100 mm en hoogte 100 mm vervaardigd kunnen worden, zodat een beproeving kan plaatsvinden bij 2 ouderdommen van het beton.

Het minimum aantal te onderzoeken palen zal 6 zijn en het maximum bedraagt 5 % van het aantal gemaakte palen.

Het boren van de kernen dient conform NEN-EN 12504-1 uitgevoerd te worden en het testen dient plaats te vinden conform NEN-EN 12390-3. De evaluatie van de resultaten vindt plaats conform NEN-EN 13791.

Bijlagen

- A. Aspecten bij het bepalen van een mengselsamenstelling
- B. Factoren van invloed op betonkwaliteit in paalfunderingen
- C. Concepten voor afwijkende samenstellingen: Equivalent Performance



Bijlage A

Aspecten bij het bepalen van een mengselsamenstelling

Introductie

Het valt niet binnen het bereik van deze richtlijn om de algemene principes van het ontwerpen van betonmengsels en het doseren van materialen te bespreken. Hiervoor wordt verwezen naar literatuur betreffende relevante kwesties.

Typische stappen bij het ontwikkelen van een betonmixontwerp zijn [1]:

1. Uitgaande van de vereiste karakteristieke mechanische eigenschap, meestal één-axiale druksterkte (UCS).
2. Selecteren van de maximale aggregaatgrootte op basis van de wapeningsafstand (en andere aanwezige voorzieningen). Met betrekking tot detaillering (duidelijke afstanden tussen staven, dekking enz.). Herziening van de verhoudingen met speciale aandacht voor geschikte verwerkbaarheid.
3. Keuze van type en hoeveelheid van bindmiddelbestanddelen op basis van sterkte- en duurzaamheidseisen.
4. Eventueel (gedeeltelijke) vervanging van cement door toevoegingen voor het beperken van de hydratatiewarmte en de thermische gradiënten in grote structurele elementen, en / of om economische redenen door type-II vulstoffen (puzzolane of latent hydraulische vulstoffen) .
5. Kiezen van de water-cementfactor op basis van structurele en duurzaamheidseisen.
6. Kiezen van de nodige bewerkbaarheid, op basis van de methode van concrete plaatsing.
7. Schatting van de benodigde hoeveelheid mengwater, op basis van verwerkbaarheid, maximale korrelgrootte en vorm van aggregaat, luchtgehalte en gebruik van waterreducerende hulpstoffen.
8. Berekening van het benodigde gewicht van cement (of bindmiddel), op basis van geselecteerde water-cementfactor en noodzakelijk mengwater.
9. Berekening van de totale hoeveelheid aggregaten, door differentiaalvolume, en hun deeltjesgrootteverdeling, op basis van de fijnheid van zand.
10. Evaluatie van het type en de hoeveelheid toe te voegen hulpstof, om de concrete verwerkbaarheidstijd te regelen, afhankelijk van de temperatuur en de totale tijd die nodig is voor levering en plaatsing.
11. Evaluatie van het type en de hoeveelheid andere toe te voegen hulpstoffen, om (reologische) verse betonprestaties en / of andere kenmerken aan te passen.

Betonleveranciers hebben normaal een reeks gevestigde betonmixontwerpen. Een daarvan kan als uitgangspunt worden gebruikt en indien nodig worden aangepast.

Deze bijlage komt voort uit het voorkomen van kritieke kwesties die relevant zijn voor stortbuis beton oftewel tremie beton [1]. De aanwijzingen vormen echter ook een leidraad voor het samenstellen en toepassen van beton bij in de grond gevormde palen en wanden waarbij het beton niet middels een tremiebuis wordt ingebracht.

Opmerking: luchtbelvormende hulpstoffen bij voorkeur niet gebruiken voor beton in diepe funderingen, omdat de lucht wordt samengedrukt in diepe funderingen die de betoneigenschappen kunnen veranderen (Feys, 2018.)

Betonmixontwerp overwegingen

Het ontwerp van een betonmengsel is een complex proces, dat een evenwicht moet vinden tussen de vereisten van de specificatie en de beschikbare bestanddelen. De selectie en proportionering van componenten moet het volgende omvatten:

- Betonspecificatie.
- Materiaalbeschikbaarheid, variabiliteit en economie.
- Efficiëntie van betonmenginstallaties en regelvermogen van de productie-installatie.
- Omgevingscondities verwacht op het moment van betonstorting.
- Logistiek van betonproductie, levering en plaatsing.

Andere ontwerpeigenschappen kunnen het gevolg zijn van een buitengewone vraag naar duurzaamheid, misschien uit een specifiek onderzoek naar Service Life Design. Er moet dan rekening worden gehouden met bijzondere vereisten, bijvoorbeeld een beperkte chloridediffusiecoëfficiënt.

Een vraag naar speciale bestanddelen, hogere doseringen superfijne vulstoffen, een extra lage water-cementfactor of vergelijkbaar, zal op zijn beurt de eigenschappen van vers beton beïnvloeden. Conflicterende vereisten voor duurzaamheid en uitvoering moeten worden gebalanceerd via het ontwerpproces van de betonmix.

Materialen

Betonreologie wordt beïnvloed door alle bestanddelen en het gehalte hiervan. Van belang zijn in het bijzonder de vorm en de grootteverdeling van de aggregaten en

de dosering en eigenschappen van cement, vulstoffen, hulpstoffen en water.

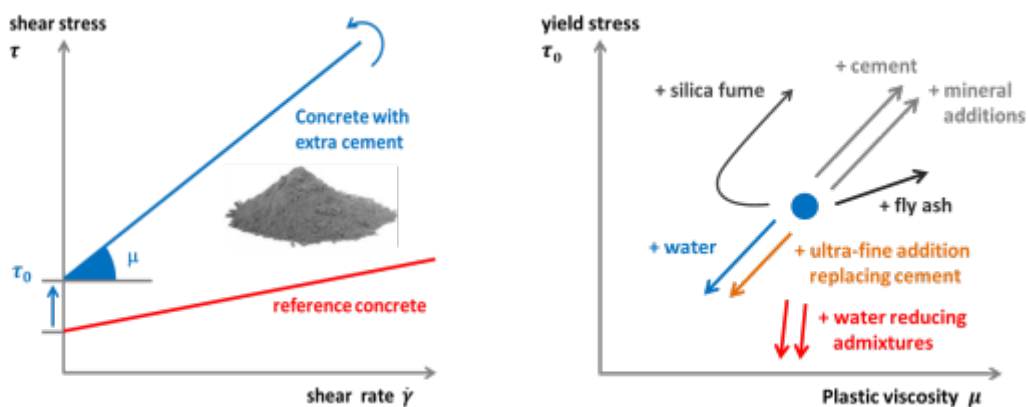
De invloed van cementachtige vulstoffen op het reologische gedrag van beton wordt links getoond in figuur A1, leidend tot een hogere vloeispanning en een hogere viscositeit. De invloed van verschillende betonbestanddelen op zowel vloeispanning als viscositeit wordt geïllustreerd rechts in figuur A1.

Een betonmix moet voldoen aan de eisen van normen en specificaties die van toepassing zijn op het project, bijvoorbeeld water-cementfactor, fijne stoffengehalte, druksterkte.

Om een beter werkbaar betonmengsel te verkrijgen, d.w.z. om de viscositeit en/of de vloeispanning te verminderen, kunnen enkele geschikte maatregelen zijn:

- Vervanging van het cement gedeeltelijk met ultrafijne toevoegingen (aanzienlijk fijner dan het cement).
- Aanpassen van de totale deeltjesgrootteverdeling.
- Waterreducerende hulpstoffen toevoegen (weekmaker of superplastificeerder).
- Het verhogen van de hoeveelheid water of het volume van de pasta.

Opmerking: Het is een goede gewoonte om het percentage waterreducerende hulpstoffen te beperken om overmatige gevoeligheid voor kleine variaties in het watergehalte of andere bestanddelen te voorkomen, bijv. zand, wat op zijn beurt kan leiden tot onvoldoende robuustheid van het betonmengsel.



Figuur A1, Invloed van cement en andere bestanddelen op reologie (gebaseerd op Wallevik, 2003)

Om een stabiel betonmengsel te verkrijgen, d.w.z. om de viscositeit en/of vloeispanning te verhogen die de neiging van een beton tot statische segregatie en bloeden zou verminderen, kunnen geschikte maatregelen zijn:

- Verminderen van de hoeveelheid water en/of toevoegen van cement of vulstof, bijv. kalksteenpoeder.
- Toevoegen van vliegashoudend cement, dat over het algemeen een grotere invloed heeft op de viscositeit dan op vloeispanning.
- Aanpassen van de totale deeltjesgrootteverdeling.
- Toevoegen van een viscositeit modifierende hulpstof.

Opmerking: silica fume kan een speciale rol spelen omdat het soms wordt gespecificeerd om hoge prestaties te bereiken, zoals extra duurzaamheid. Tot een klein percentage kan silica fume een positief effect hebben op de verwerkbaarheid (zoals ultrafijne vulstof), maar het beton wordt viskeuzer en bereikt een hogere vloeispanning bij hogere percentages, d.w.z. silica

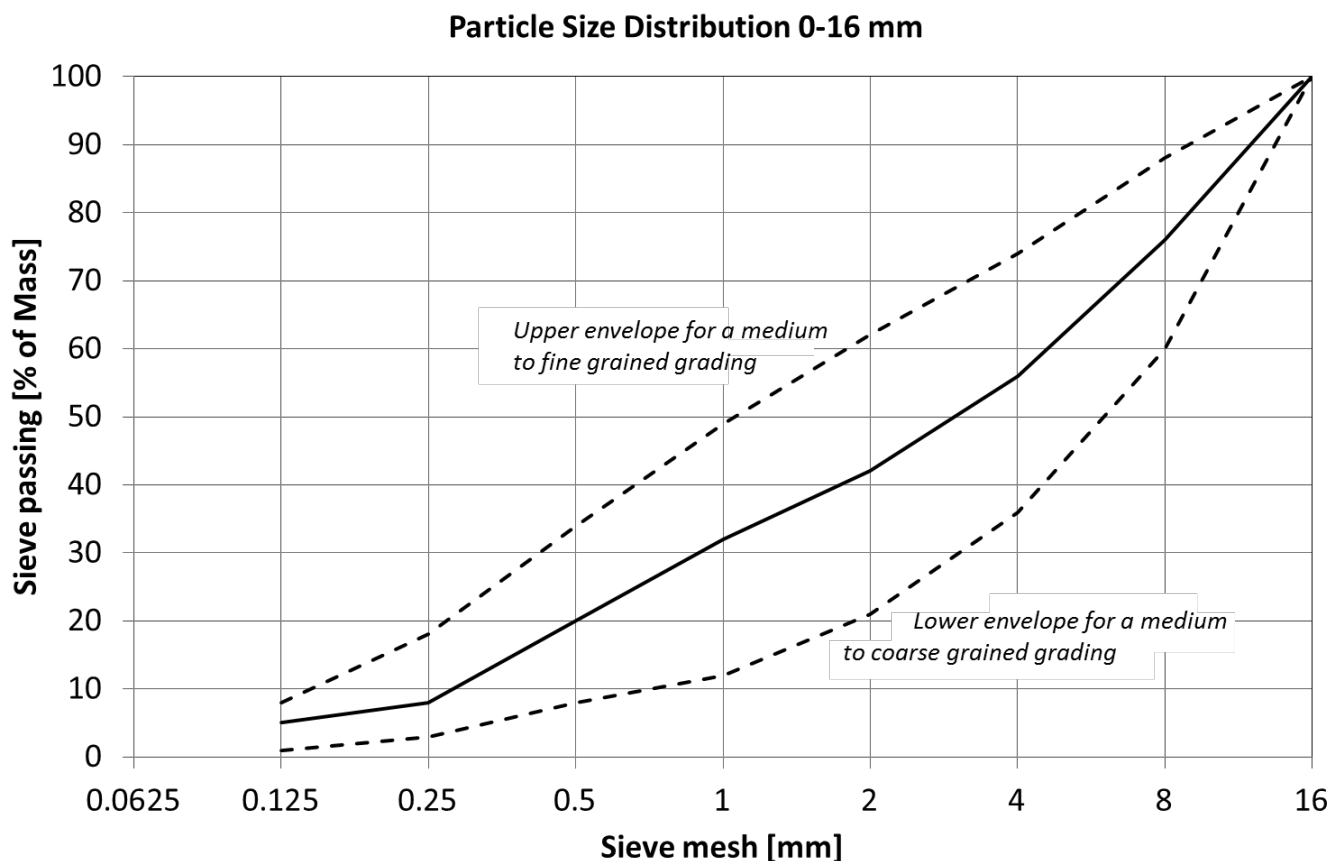
fume kan ook een negatief effect hebben en de verwerkbaarheid verminderen.

Selectie en beoordeling van korrelverdelingaggregaat is een belangrijk element van het ontwerp van betonmengsels, waarbij sortering eenvoudigweg de verdeling van een aggregaat in fracties is, waarbij elke fractie uit één klasse deeltjesgrootten bestaat. Om het risico of de neiging tot segregatie te minimaliseren, moeten aggregaten goed worden ingedeeld (Dreux en Festa, 1998).

Figuur A2 toont het typische bereik van de korrelverdelingaggregaat voor stortbuis beton, met een maximaal aggregaat van 16mm doorsnede.

De betonleverancier moet bij het ontwikkelen van een geschikte korrelverdelingaggregaat (sortering) een aantal factoren in evenwicht brengen:

- De vorm van het aggregaat: een (natuurlijke) ronde vorm ondersteunt de productie van vloeidend be-



Figuur A2, korrelverdelingaggregaat bij 16 mm maximale doorsnede aggregaat.

Bron: Duitse Nationale Bijlage DIN 1045-2 tot EN 206-1

ton beter dan de meer hoekige vorm van gemalen aggregaat.

Opmerking: Bij dezelfde sortering en hetzelfde volume wordt de blokkeerweerstand bij wapening als hoger beschouwd voor beton met gemalen aggregaat, zodat er meestal meer (stabiele) pasta vereist is voor beton met gemalen aggregaat.

- De grootte van het aggregaat: een grovere sortering (d.w.z. een groter aandeel grotere aggregaten) kan een betere verwerkbaarheid geven, maar zal ook vatbaarder zijn voor segregatie.
- Het aandeel fijn materiaal: een groter aandeel van fijn materiaal geeft een meer samenhangende (hogere vloeit) betonmix.

Opmerking: Een overmatige hoeveelheid fijn materiaal kan de verwerkbaarheid verminderen wegens de hoge waterbehoefte en kan leiden tot hogere vereiste hulpstofdoseringen.

Hoewel het gunstige effect van moderne hulpstoffen bij de productie van geavanceerd beton wordt erkend, moet het mogelijk negatieve effect van hulpstoffen worden begrepen. Bijvoorbeeld, het verminderen van de hoeveelheid water, door het gebruik van waterreducerende hulpstoffen, kan op zijn beurt de viscositeit verhogen. Mogelijk is meer pasta nodig om de verminderde verwerkbaarheid te compenseren. Als gevolg hiervan zal de vloeispanning van het stortbeton worden verminderd en zal de neiging tot segregatie toenemen.

Naast de dosering van hulpstoffen kunnen hun aard en werkingsmechanisme aanleiding geven tot bijwerkingen zoals een plakkerig uiterlijk (hoge viscositeit) of verstijving. Sommige combinaties van cement en hulpstoffen kunnen een gebrek aan robuustheid in vers beton veroorzaken, wat kan leiden tot overmatige segregatie (Aitcin en Flatt, 2015).

Het is essentieel om de mengtijd te beheersen om ervoor te zorgen dat er geen ongecontroleerd effect van hulpstoffen ontstaat voor of tijdens de daadwerkelijke plaat-

sing. Laboratorium- en veldproeftests moeten helpen ervoor te zorgen dat de optimale dosering van de hulpstof en de mengtijd worden gebruikt om mogelijke risico's te minimaliseren.

Temperatuur heeft ook invloed op reologie. Tijdens warmer weer kan de effectiviteit van superplastificeerders bijvoorbeeld worden verminderd, maar het verhogen van de dosering kan instabiliteit van het betonmengsel veroorzaken, met name wanneer het weer kouder wordt. Zonder aanpassing van de doseringen van vertragende hulpstoffen, zal een toename van de temperatuur van ongeveer 10 °C de snelheid van het inzinkingsverlies met een factor van ongeveer 2 verhogen. Dit betekent dat een inzinkingsverliesgrafiek die in het laboratorium bij 22 °C wordt gemaakt erg misleidend zal zijn voor beton dat in het veld wordt gestort bij hogere temperaturen van bijv. 32 °C. Het is gebruikelijk om betonmixen voor de zomer en winter te gebruiken met verschillende doses hulpstoffen en kleine aanpassingen aan het cementgehalte en de w/c verhouding.

Speciale aandacht moet worden besteed aan het type betonmengprocedure in de betoncentrale. In het natte mengproces worden de bestanddelen allemaal gemengd in een gecentraliseerde betonmixer in de betoncentrale en vervolgens overgebracht naar betonwagens voor levering. In het droge mengproces worden de droge vaste bestanddelen in de betonwagen gelost en vervolgens wordt water toegevoegd, waarbij het mengen in de betonwagen plaatsvindt.

Over het algemeen heeft het natte mengproces de voorkeur boven het droge mengproces voor hogesterktebeton. Het is essentieel dat de mengtijd in de betonwagen voldoende is. Het wordt aanbevolen om gedetailleerde leveringsbonnen met werkelijke mengtijd en hoeveelheden per vrachtwagenlading te verkrijgen.

Voor meer informatie, zie [1].

Bijlage B

Factoren van invloed op betonkwaliteit in paalfunderingen

In onderstaande tabel is een selectie weergegeven van belangrijke factoren en bijbehorende mogelijke effecten op de betonvloeit in diepe funderingen en de invloed hiervan op bijbehorende kwaliteitsaspecten. Deze tabel is grotendeels een vertaling van bijlage F in de EFC-DFI Tremie Concrete Guide 2nd edition.

Belangrijke opmerking is dat de Concrete Tremie Guide m.n. is bedoeld voor een in de grond gevormd paal- of wandstelsel waarbij een steunvloeistof wordt toegepast.

Daarbij wordt beton gestort m.b.v. een tremiebuis en deze moet dus goed vloeibaar zijn en voldoende lang zo blijven om de steunvloeistof volledig naar boven te verdringen. Diverse aspecten kunnen ook van belang zijn voor andere paalsystemen. Deze tabel is daarom vooral bedoeld als naslagwerk. Het is zeker geen volledige en uitputtende lijst, maar geeft een breed overzicht.

Tabel B.1: Factoren voor en de mogelijke effecten op betonvloeit

Parameter	Aanbeveling	Effect
Wapenings-tussenruimte vrijmaken	Maximaliseren	Minder blokkerende weerstand en minder weerstand op doorlopend beton. Minimaliseert het risico op insluitingen en onvoldoende inbedding van de wapeningsstaven door beton.
Meerdere lagen wapening	Vermijden	Minder weerstand op doorlopend beton.
Betondekking	Vergroten	Reduceert risico op 'mattressing' en kan fungeren als veiligheidsmarge.
Betonreologie en verwerkbaarheid	Gemiddelde/lage vloeispanning Gemiddelde viscositeit	Hoge vloeispanning en hoge viscositeit leiden tot slechte vloeibaarheid. Te lage vloeispanning kan instabiliteit veroorzaken. Grote variaties in eigenschappen kunnen bijdragen tot irreguliere vloeipatronen.
Thixotropie	Beheersen	Overmatige toename van vloeispanning van beton tijdens onvermijdelijke rusttijden kan bijdragen aan onregelmatige stromingspatronen. In uiteindelijk geplaatst beton zou hetzelfde effect leiden tot minder filtratie, bleeding of segregatie.
Betonstabiliteit	Beheersen	Overmatige filtratie, bleeding of segregatie kan leiden tot onregelmatige stromingspatronen en tot afwijkingen.
Gebruik van vulstoffen en (chemische) hulpstoffen	Optimaliseren	Verhoogt reologie. Kan robuustheid en stabiliteit van de betonmix beïnvloeden (afhankelijk van dosering en interacties).
Geschiktheid testen	Laboratoriumproeven tijdens ontwerpfasen	Geschikte samenstelling vinden met de beschikbare materialen om de project specifieke vereisten voor beton te behalen, welke richtingen toelaat voor het specificeren van conformiteitswaarden.
	Herhalen	Bewijzen van geschiktheid met veranderingen van materialen of doseringen.
Conformiteit testen	Veldproeven tijdens begin van uitvoering	Bevestigen dat eigenschappen, gespecificeerd in de ontwerpfasen behaald kunnen worden met het werkelijke beton van de leverancier.
	Aanpassen betonsamenstelling	Conformiteit toestaan met de ontworpen prestaties door kleine veranderingen in de betonsamenstelling; herhaal de geschiktheidstesten anders.
Acceptatie testen	Uitvoering niet nodig, tenzij er speciale condities zijn	Bewijzen conformiteit leveringen met specificaties.
Verwerkbaarheid behouden	Beheersen	Toestaan verwerkbaar beton aan het einde van de geplande storttijd. Een excessieve toename van vloeispanning moet worden vermeden, dit kan leiden tot onvoldoende verwerkbaarheid. Langere retentie kan tot toename bleeding en segregatie leiden.
Totale storttijd	Minimaliseren vertragingen	Minder verandering in de reologie van het beton.
Stortbuis oppervlak	Glad en schoon	Limiteert de frictie tussen beton en de stortbuis en de restrictie tot vloeien. Vertinnen met cementgrout vermindert onttrekking van cement uit de betonspecie.
Variaties in verwerkbaarheid van individuele ladingen	Limiteren	Hoge variaties kunnen leiden tot een verandering van vloeimechanisme en kunnen bijdragen aan onregelmatige vloeipatronen.

Bijlage C

Concepten voor afwijkende samenstellingen: Equivalent Performance

Gespecificeerde minimale cementgehalten in beton voor diepe funderingen zijn vaak niet noodzakelijk voor het behalen van een sterkteklasse, maar om specifieke eigenschappen te verkrijgen. Vulstoffen als vliegas en hoogovenslak worden vaak gebruikt om een deel van het cement te vervangen, wat invloed heeft op de verwerkbaarheid, vloeibaarheid en stabiliteit, maar ook op de sterkte, levensduur en duurzaamheid van het beton. Er zijn drie concepten beschikbaar voor het gebruik en toepassen van (reactieve) type II vulstoffen (EN 206):

1. Het k-waarde concept
2. Het 'Equivalent Concrete Performance Concept' (ECPC)
3. Het 'Equivalent Performance of Combinations Concept' (EPCC)

De regelgeving voor het toepassen van deze drie concepten verschilt binnen de verschillende CEN-lidstaten. Voor elk project moet het concept nauwkeurig worden beschouwd, zowel vanuit een technisch als economisch standpunt.

K-waardeconcept

Het k-waardeconcept is een voorschrijvend concept. Het is gebaseerd op de vergelijking van de duurzaamheidsprestaties van een referent beton met een ander beton waar een deel van het cement is vervangen door een vulstof als onderdeel van de water-cementfactor en het vulstofgehalte.

Het k-waardeconcept verplicht om met type II vulstoffen rekening te houden:

- Door de 'water-cementfactor' te vervangen met 'water-(cement + $k \cdot$ vulstof) factor'.
- De hoeveelheid (cement + $k \cdot$ vulstof) mag niet minder zijn dan het minimale cementgehalte dat nodig is bij de relevante milieuklasse.

De toepassingsvoorschriften van het k-waardeconcept voor vliegas conform Europese standaard EN 450-1, silica fume conform EN 13263-1 en gemalen gegranuleerd hoogovenslak conform EN 15167-1 samen met cementtypen CEM I en

CEM II/A conform EN 197-1 zijn gegeven in bijbehorende clausules in EN 206.

Aanpassingen op de regels van het k-waardeconcept mogen worden toegepast wanneer de geschiktheid is vastgesteld (bijvoorbeeld hogere k-waarden, verhoogde gehalten van vulstoffen, gebruik van andere vulstoffen, combinaties van vulstoffen en andere cementtypen). Voor een verdere beschrijving van de volledige procedure en toepassing van het k-waarde concept, wordt verwezen naar CEN/TR 16639 (2014).

Equivalent Concrete Performance Concept (ECPC)

De principes voor het 'Equivalent Concrete Performance Concept' zijn geïntroduceerd in de EN 206.

Dit concept laat wijzigingen in de vereisten van het minimale cementgehalte en de maximale water-cementfactor toe wanneer een combinatie van een specifieke vulstof en een specifieke cementbron is gebruikt waar de fabricagebron en karakteristieken van elk duidelijk gedefinieerd zijn. Het zal blijken dat het beton gelijke prestaties heeft, vooral wanneer er gekeken wordt naar de interactie met de omgeving en naar de duurzaamheid vergeleken met een referent beton in overeenstemming met de vereisten voor de relevante milieuklasse.

Het referent cement zal aan de vereisten uit EN 197-1 voldoen en is afkomstig van een bron die in de afgelopen vijf jaar gebruikt is in de praktijk op de plaats van gebruik en in de gekozen milieuklasse.

De betonsamenstelling en de te gebruiken materialen voor ontworpen en voorgeschreven beton zullen gekozen worden om aan de vereisten voor vers en verhard beton te voldoen. Dit is inclusief consistentie, dichtheid, sterkte, duurzaamheid en bescherming van ingebed staal tegen corrosie, waarbij met het productieproces en de voorgenomen uitvoeringsmethode van betonwerken rekening wordt gehouden.

Equivalent Performance of Combinations Concept (EPCC)

De principes van het 'Equivalent Performance of Combinations Concept' laten een gedefinieerd bereik van combinaties van cement conform Europese Standaard EN 197-1 en vulstof(fen) toe, waarbij de geschiktheid is vastgesteld welke volledig naar de vereisten voor een maximale water-cementfactor en minimale cementgehalten kunnen tellen, die gespecificeerd zijn voor een betonsoort. De onderdelen van deze methodiek zijn:

1. Identificeer een cementtype conform een Europese cementstandaard dat dezelfde of soortgelijke samenstelling heeft vergeleken met de voorgenomen combinatie.
2. Beoordeel of het beton geproduceerd met deze samenstelling een gelijke sterkte en duurzaamheid heeft als beton geproduceerd met het geïdentificeerde cementtype voor de relevante milieuklasse.

3. Pas productiecontrole toe die ervoor zorgt dat deze vereisten voor het beton bevattende de combinatie gedefinieerd en geïmplementeerd zijn.

In Europa zijn er drie methoden die worden toegepast om de gelijke prestaties van combinaties te behalen: de UK-methode, de Ierse methode en de Portugese methode. Deze drie methoden zijn elk apart ontwikkeld en verschillen aanzienlijk in de vereisten voor de beheersing van de combinaties. De drie methoden zijn volledig beschreven in CEN/TR 16639 (2014).

De bron voor deze bijlage is de EFFC-DFI Tremie Concrete Guide, 2e editie. Dit onderwerp is m.n. tot stand gekomen door dr. M. Boutz van SGS-Intron.



Toepassing van beton bij in de grond gevormde funderingspalen en wanden



Deze richtlijn is een gezamenlijke uitgave van het Betonhuis namens de leveranciers van beton en de Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken (NVAF).