



Inhoudsopgave

- 4. Rekenmethodieken
 - 4.1 Inleiding
 - 4.1.1 Algemeen
 - 4.2 Opzet Berekening
 - 4.2.1 Algemeen
 - 4.2.2 Inleiding
 - 4.2.3 Normen, voorschriften en richtlijnen
 - 4.2.4 Eisen, randvoorwaarden en uitgangspunten
 - 4.2.5 Bouwfasering
 - 4.2.6 Berekeningsmethodiek
 - 4.2.7 Rekenresultaten
 - 4.2.8 Toetsing
 - 4.2.9 Samenvatting
 - 4.2.10 Gevoelighedsanalyse
 - 4.2.11 Detaillering
 - 4.2.12 Bijlagen
 - 4.3 Damwanden en Verankeringen
 - 4.3.1 Algemeen
 - 4.3.2 Normen en richtlijnen
 - 4.3.3 Berekeningsuitgangspunten
 - 4.3.4 Berekeningsmethoden
 - 4.3.5 Detaillering
 - 4.3.6 Uitvoer van berekeningen
 - 4.4 Trek en Druk op Paalfunderingen
 - 4.4.1 Algemeen
 - 4.4.2 Normen en richtlijnen
 - 4.4.3 Berekeningsuitgangspunten
 - 4.4.4 Berekeningsmethoden
 - 4.4.5 Horizontaal belaste palen
 - 4.4.6 Gevoelighedsanalyse
 - 4.4.7 Detaillering
 - 4.4.8 Uitvoer van berekeningen
 - 4.5 Dimensioneren Ongewapende Onderwaterbetonvloeren
 - 4.5.1 Algemeen
 - 4.5.2 Begrippen
 - 4.5.3 Uitzonderingen
 - 4.5.4 Randvoorwaarden



Rekenmethodieken

- 4.5.5 Materiaaleigenschappen
- 4.5.6 Belastingen
- 4.5.7 Schematisering en toetsing
- 4.5.8 Bouwfasering
- 4.5.9 Detaillering
- 4.6 Koelen van Beton
 - 4.6.1 Algemeen
 - 4.6.2 Beschrijving mechanisme
 - 4.6.3 Koelmethoden
 - 4.6.4 Benodigde gegevens t.b.v. de rekenmodellen
 - 4.6.5 Te stellen eisen
 - 4.6.6 Praktische aspecten bij het koelen
- 4.7 Dimensioneren Doorsnede Tunnelement
 - 4.7.1 In ontwikkeling
- 4.8 Langvoorspanning Afzinkelement
 - 4.8.1 In ontwikkeling
- 4.9 Funderen Tunnelement
 - 4.9.1 In ontwikkeling



Rekenmethodieken

Inhoudsopgave Inleiding

4.1.1 Algemeen



Rekenmethodieken



4.1 INLEIDING

4.1.1 Algemeen

Dit document moet worden gezien in nauwe samenhang met Ontwerpfilosofie Bouwdienst en de Richtlijnen voor het Ontwerpen van Betonnen Kunstwerken (ROBK).

Om tegenspraak tussen de onderlinge documenten te vermijden worden hier geen eisen met numerieke waarden vermeldt, daarvoor wordt verwezen naar de ROBK. Na SATO 1993 is nu SATO 2004 gereed gekomen. Ook deel 4 Rekenmethodieken is daarbij vernieuwd. En dat was ook wel nodig. Normen zijn in tussentijd namelijk ook drastisch veranderd en er is regelgeving bijgekomen. Gelukkig maar, zouden we kunnen zeggen. De CUR-aanbevelingen 166 en 2001-4 en interne documenten als de ROBK en de VRC zijn bekende standaardwerken geworden.

Maar toch zijn deze normen, richtlijnen en aanbevelingen niet zo compleet dat we daarmee de hele tunnelbouwwereld mee af kunnen dekken. Met name op het gebied van afzinkberekeningen zijn ze lang niet toerijkend, maar ook op bekende gebieden als damwanden, paalfunderingen en betonkoeling is het goed de uitgangspunten, die de Bouwdienst hanteert, nogmaals goed vast te leggen. En daarmee is direct de doelstelling van SATO deel 4 verwoord: Het vastleggen van de uitgangspunten bij het berekenen van ondergrondse constructies voor Rijkswaterstaat.

Daarbij is SATO deel 4 dus niet een stappenplan die de constructeur en/of de toetsers bij de hand neemt bij het maken resp. toetsen van de berekening. Wel is SATO deel 4 een handige checklist voor elke constructeur om te kijken of de (te toetsen) berekening compleet is en of de gehanteerde uitgangspunten overeenkomen met de Bouwdienst rekenmethodieken.

De opzet van SATO deel 4 is chronologisch. In hoofdstuk 2 wordt, met name voor een beginnend constructeur, de Opzet van een (goede, overzichtelijke) berekening omschreven. Daarna wordt in hoofdstuk 3 begonnen met de aanvullende eisen en uitgangspunten waar de Damwanden en de verankerings- c.q. stempelconstructies aan moeten voldoen. In hoofdstuk 4 volgt hetzelfde voor de Trek- en drukpalen en hoofdstuk 5 beschrijft de Dimensionering van de ongewapende onderwaterbetonvloer conform de CUR-aanbeveling 77. Dit hoofdstuk heeft daarmee een wat andere opzet dan de overige hoofdstukken, omdat de CUR-aanbeveling 77 voor de Bouwdienst tot nader orde nog niet van toepassing is verklaard i.v.m. twijfels over de juistheid van art. 9.2, 9.3 en 9.4. Hoofdstuk 6 beschrijft daarna kort wat de oorzaak is van watervoerende scheuren door verhinderde vervorming en gaat daarna vooral in op Koelen, als één van de mogelijke maatregelen om deze scheurvorming te voorkomen en de daarbij te stellen eisen. Heel specifiek is daarna hoofdstuk 7, waarin wordt omschreven wat komt kijken bij het Dimensioneren van een afzinktunnel, van de bepaling van de doorsnede van de tunnel en de lengte van de tunnelelementen, tot en met de dimensionering van het beton. Verder ingaand op deze afzinktunnels worden in de hoofdstukken 8 en 9 respectievelijk de (tijdelijke) Voorspanning en Fundering van afzinkelementen nog in het bijzonder uitgelicht.





Inhoudsopgave Opzet Berekening

- 4.2.1 Algemeen
- 4.2.2 Inleiding
- 4.2.3 Normen, voorschriften en richtlijnen
- 4.2.4 Eisen, randvoorwaarden en uitgangspunten
 - 4.2.4.1 Algemeen
 - 4.2.4.2 Schematisering constructie
 - 4.2.4.3 Uitgangspunten
 - 4.2.4.4 Belastingen
- 4.2.5 Bouwfasering
- 4.2.6 Berekeningsmethodiek
- 4.2.7 Rekenresultaten
- 4.2.8 Toetsing
- 4.2.9 Samenvatting
- 4.2.10 Gevoeligheidsanalyse
- 4.2.11 Detaillering
- 4.2.12 Bijlagen



Rekenmethodieken



4.2 OPZET BEREKENING

4.2.1 Algemeen

Het verdient aanbeveling om bij de opzet van een berekening eerst goed na te gaan welke indeling en onderdelen benodigd zijn om tot een logisch en goed controleerbaar document te komen. De constructeur zal zelf de indeling moeten bepalen en voor de overzichtelijkheid wordt aanbevolen om de in- en uitvoer van berekeningen in bijlagen onder te brengen. Hieronder wordt een leidraad gegeven om een berekening op te zetten.

Een handig hulpmiddel kan ook zijn het document "Resultaatbeschrijving Rekenwerk" van de afdeling Bruggenbouw Tilburg/Zoetermeer.

Bij het opstellen van een nieuw rekendocument, zal ook een toetsformulier moeten worden toegevoegd. Bij toetsing van een ander document zal dit formulier reeds zijn toegevoegd.





4.2.2 Inleiding

- Aangeven over welk project het gaat;
- Aangeven in welke fase het project zich bevindt;
- Aangeven welk onderdeel berekend wordt;
- Mogelijke raakvlakken met andere partijen, die ook berekeningen uitvoeren;
- Mogelijke raakvlakken met berekeningen van andere constructieonderdelen;
- Gerelateerde documenten noemen, zoals grondmechanische rapporten en/of voorafgaande berekeningen;
- Gerelateerde tekeningen noemen.





4.2.3 Normen, voorschriften en richtlijnen

De meest relevante normen, voortvloeiend uit het Bouwbesluit, en richtlijnen die van toepassing zijn:

NEN 6700 TGB 1990	Technische grondslagen voor bouwconstructies Algemene basiseisen
NEN 6702 TGB 1990	Belastingen en vervormingen
NEN 6720 TGB 1990	Voorschriften beton – Constructieve eisen en rekenmethoden
NEN 6740 TGB 1990	Geotechniek – Basiseisen en belastingen
NEN 6770 TGB 1990	Staalconstructies – Basiseisen en rekenregels
CUR-aanbeveling 77	Rekenregels voor ongewapende owb-vloeren
CUR-publicatie 166	Damwandconstructies
ROA/RONA	Richtlijnen ontwerp (niet-)autosnelwegen
ROBK	Richtlijnen voor het Ontwerpen van Betonnen Kunstwerken

Opgemerkt dient te worden dat uitgegaan wordt van de meest recente versies incl. aanvullingen etc.





4.2.4 Eisen, randvoorwaarden en uitgangspunten

4.2.4.1 Algemeen

- In het algemene hoofdstuk dient aangegeven te worden:
- welke veiligheidsklasse wordt toegepast met de bijbehoren partiële factoren, waarbij de partiële factoren zowel probabilistisch als deterministisch kunnen zijn bepaald;
- levensduur van de constructie;
- eisen t.a.v. vervormingen en bezwijken;
- materiaaleigenschappen.

4.2.4.2 Schematisering constructie

In tekst en plaatjes aangeven hoe je de constructie, 2D of 3D, schematiseert. Dus met coördinaten knooppunten, profielen en type verbindingen.

4.2.4.3 Uitgangspunten

Uitgangspunten zijn per type berekening natuurlijk anders. Belangrijk is vooral dat alles overzichtelijk vastgelegd wordt, zodat een controle- of herberekening mogelijk is.

Voorbeelden van zaken die vastgelegd moeten worden:

- Gebruikte grondparameters;
- Grondwaterstanden en stijghoogtes;
- Begrenzing van waarden.

4.2.4.4 Belastingen

De gebruikte belastingen zijn, behalve van de soort berekening, meestal ook afhankelijk van de projectfase waarvoor de berekening moet worden uitgevoerd. Niet alle gegevens zijn aan het begin van het project volledig bekend. In elke fase moet daarom duidelijk worden aangegeven binnen welke bandbreedte de belastingen vallen.





4.2.5 Bouwfasering

Indien het van belang is voor de berekening, een opsomming geven van de bouwfasering per onderdeel in hoofdlijnen, verduidelijkt met schetsen of tekeningen. (eventueel in een bijlage)





4.2.6 Berekeningsmethodiek

Een berekening kan op verschillende manieren worden opgepakt. Daarom moeten de onderstaande onderdelen in ieder geval vermeld worden:

- Aangehouden theorieën;
- Toegepast rekenmodel;
- Gebruikte rekenprogrammatuur.





4.2.7 Rekenresultaten

In het document alleen de relevante eindresultaten vermelden. Lange computeruitdraaiën en grote tekeningen moeten in de bijlagen worden ondergebracht.





4.2.8 Toetsing

Toets uitvoeren conform de gehanteerde norm. Over het algemeen moeten de volgende onderdelen aan bod komen:

- UGT op sterkte;
- UGT op stabiliteit;
- BGT op vervorming;
- Levensduurbeschouwing.

Voor sommige materialen wordt door toetsen op sterkte en vervorming indirect ook getoetst op levensduur (b.v. beton).





4.2.9 Samenvatting

De samenvatting moet apart gelezen kunnen worden. Dus in hoofdlijnen per onderdeel de eindresultaten weergeven.





4.2.10 Gevoeligheidsanalyse

Als er onzekerheid bestaat omtrent bepaalde randvoorwaarden kan een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd, waarbij de effecten kunnen worden bepaald.





4.2.11 Detaillering

Hier de uitgangspunten en de uitkomsten van de berekening vermelden die consequenties hebben voor het bestek, deelkwaliteitsplan of werkplan.





4.2.12 Bijlagen

In de bijlagen de volgende onderdelen opnemen:

1. Omschrijving verwerking commentaar;
2. Overzicht berekende onderdelen;
3. Aangehouden fasering;
4. In- en uitvoer berekeningen per onderdeel.





Inhoudsopgave Damwanden en Verankering

- 4.3.1 Algemeen
- 4.3.2 Normen en richtlijnen
- 4.3.3 Berekeningsuitgangspunten
 - 4.3.3.1 Algemeen
 - 4.3.3.2 Geotechnische uitgangspunten
 - 4.3.3.3 Belastingen
- 4.3.4 Berekeningsmethoden
- 4.3.5 Detaillering
- 4.3.6 Uitvoer van berekeningen



Rekenmethodieken



4.3 DAMWANDEN EN VERANKERINGEN

4.3.1 Algemeen

Hieronder worden aanvullende eisen en uitgangspunten gegeven waaraan damwand-berekeningen en verankerings- c.q. stempelconstructies moeten voldoen in relatie tot de bekende normen en richtlijnen.





4.3.2 Normen en richtlijnen

De volgende normen en richtlijnen zijn van toepassing op damwandconstructies:

- NEN 6702;
- NEN 6740;
- NEN 6770;
- CUR-publicatie 166.





4.3.3 Berekeningsuitgangspunten

De volgende aanvullende uitgangspunten naast de vigerende normen in het document aangeven of verwerken:

4.3.3.1 Algemeen

- Aangeven of damwanden tijdelijk of definitief zijn;
- Voor definitieve damwanden gelden aanvullende eisen zoals vermeld in Cement 55, nr. 8 (2003), pag. 56 t/m 59, "Definitieve ongewapende onderwaterbetonvloeren in combinatie met definitieve damwanden";
- Minimaal toe te passen damwandprofiel i.v.m. heibaarheid (zie ROBK);
- Vervormingseisen bij tijdelijke en/of definitieve constructies (zie ROBK);
- Voor de beïnvloeding van het paal draagvermogen bij het trekken van damwanden (zie ROBK).

4.3.3.2 Geotechnische uitgangspunten

- Het verloop van de stijghoogte over de slecht doorlatend holocene klei- en veenlagen lineair veronderstellen;
- Voor de bepaling van λ_a en λ_p uitgaan van rechte glijvlakken;
- Wandwrijvingshoek (zie ROBK);
- De maximale waarde van de passieve grondrukcoëfficiënt (λ_p) begrenzen (zie ROBK).

4.3.3.3 Belastingen

- In de gebruiksfase uitgaan van een gelijkmatig verdeelde terreinbelasting (zie ROBK).
- Uitgaan van 'toevallige belastingen' op stempels (zie ROBK).
- De 'toevallige belastingen' behoeven niet te worden gecombineerd en in het geval van stempeluitval niet in rekening te worden gebracht.
- Rekening houden met een temperatuurbelasting op de stempels.





4.3.4 Berekeningsmethoden

- De damwanden inclusief ankers, stempels en gordingen berekenen aan de hand van het stappenplan als aangegeven in CUR 166. Het stappenplan is uitsluitend bedoeld als toetsingsmethode en moet iteratief worden doorlopen.
- De krachtsverdeling in de damwanden berekenen met een damwandprogramma, gebaseerd op een liggermodel ondersteund door een bedding van ongekoppelde grondveren.
- Als computerprogramma mag MSheet (GD) worden gebruikt.
- Bij de modellering van de onderwaterbetonvloer de oplegging op $\frac{1}{4}$ van de theoretische hoogte vanaf de bovenkant van de onderwaterbetonvloer nemen.
- Bij een gestempelde bouwkuip rekenen met stempeluitval. In de gording mogen hierbij plastische scharnieren geschematiseerd worden. Aangetoond moet worden dat de veiligheidscoëfficiënt groter is dan 1.
Bij stempeluitval behoeft de temperatuurbelasting niet in rekening te worden gebracht.
- Indien de stabiliteit van de damwandconstructie in zijn totaliteit risicovol is, de constructie modelleren m.b.v. een PLAXIS-berekening, waarbij ook de omliggende grond in de EEM-berekening wordt meegenomen.





4.3.5 Detaillering

Hieronder een aantal aandachtspunten voor de uitvoering:

1. Bij de plaatstolerantie van de damwand moet de extra vervorming van de damwand worden meegenomen. Vooral is dit nodig indien de betonwand tegen de damwand wordt gestort.
2. De ankerkop van een groutanker voorzien van een conische moer i.v.m. mogelijke buiging in de ankerstang bij kleine horizontale verplaatsingen.
3. Bij grout- en schroefinjectieankers onder een wegconstructie met een hellingen van 30° of minder met de horizontaal, een mantelbuis (PVC) met minimale lengte van 5 m toepassen. Het anker aan de onderzijde van de buis aanbrengen i.v.m. mogelijke zetting en buiging uit verkeersbelasting. Dezelfde eisen zijn van toepassing wanneer ankerschotten worden toegepast.
4. Na de controleproeven de ankers aflaten tot een maximale waarde van de bezwijkwaarde (zie ROBK).





4.3.6 Uitvoer van berekeningen

Bij een damwandprogramma de uitvoer geven van:

BGT: overzicht grafische invoer van alle bouwfasen
 overzicht grafische resultaten (moment en verpl.) van alle bouwfasen
 gehele numerieke uitvoer
 Kranz-stabiliteit

UGT-laag: overzicht grafische resultaten (moment en verpl.) van alle bouwfasen
 gehele numerieke uitvoer

UGT-hoog: overzicht grafische resultaten (moment en verpl.) van alle bouwfasen

Opmerking De groutanker- en schroefinjectieankerberekening wordt meestal door de leverancier verzorgd.





Inhoudsopgave Trek en Druk op Paalfunderingen

- 4.4.1 Algemeen
- 4.4.2 Normen en richtlijnen
- 4.4.3 Berekeningsuitgangspunten
- 4.4.4 Berekeningsmethoden
- 4.4.5 Horizontaal belaste palen
- 4.4.6 Gevoeligheidsanalyse
- 4.4.7 Detaillering
- 4.4.8 Uitvoer van berekeningen



Rekenmethodieken



4.4 TREK EN DRUK OP PAALFUNDERINGEN

4.4.1 Algemeen

Hieronder worden aanvullende eisen en uitgangspunten gegeven waaraan berekeningen van paalfunderingen moeten voldoen in relatie tot de bekende normen en richtlijnen.





4.4.2 Normen en richtlijnen

De volgende normen en richtlijnen zijn van toepassing op paalfunderingen:

- NEN 6702;
- NEN 6740;
- NEN 6743;
- NVN 6724: VB - In de grond gevormde funderingselementen van beton of mortel
- CUR-rapport "Ontwerpregels voor trekpalen"





4.4.3 Berekeningsuitgangspunten

De volgende aanvullende uitgangspunten naast de vigerende normen in het document aangeven of verwerken:

- Aangeven van welke sonderingen wordt uitgegaan en hoe de verschillen tussen deze sonderingen worden verwerkt;
- Aangeven de heikbaarheid van de palen in relatie tot de vigerende sonderingen;
- Aangeven hoe de palen worden aangebracht : voor of na ontgraving;
- Bij toepassing van een owb-vloer, het onderwatergewicht op de palen verdisconteren;
- Aangeven vanaf welk niveau de schachtwrijving wordt meegenomen (zie ROBK);
- Bij trekpalen aangeven de paalklasse/type (α_t);
- Bij drukpalen aangeven de paalklasse/type, paalvoetvorm en vorm van de dwarsdoorsnede van de paalvoet (α_p en α_s , β , s);
- Aangeven de reductie van de conusweerstand t.g.v. de ontgraving en welke methode wordt toegepast;
- Indien $f_1 > 1$ wordt toegepast voor het effect van installatie, moeten controlesonderingen worden uitgevoerd. Als achteraf blijkt, dat f_1 te hoog is ingeschat, dient er een controleberekening te worden uitgevoerd. Hierbij is het mogelijk dat er extra palen moeten worden aangebracht;
- Voor de beïnvloeding van het paal draagvermogen bij het trekken van damwanden (zie ROBK).





4.4.4 Berekeningsmethoden

De drukpalen berekenen volgens NEN 6743.

De trekpalen berekenen volgens CUR-rapport "Ontwerpregels voor trekpalen".

Voor beide berekeningen mag Mfoundation (GD) worden gebruikt.

Bij gebruik van Mfoundation kiezen voor de CUR-methode en dus niet voor de GD-methode.

Indien de paalfundering asymmetrisch is, waarbij niet eenvoudig de paalreacties te bepalen zijn, mag de fundering gemodelleerd worden m.b.v. Mpile (GD). Hierbij wordt de grond tussen de palen in de berekening meegenomen.

Voor het toepassen van een paal-plaat fundering wordt verwezen naar de ROBK.

Voor de schematisatie van de paalkop, scharnierend dan wel ingeklemd, wordt verwezen naar de ROBK.





4.4.5 Horizontaal belaste palen

Horizontale belastingen moeten in principe worden voorkomen door het toepassen van schoorpalen.

Wanneer dit niet mogelijk is de buigende momenten t.g.v. deze horizontale belastingen bepalen volgens de ROBK.

Bij scheve kruisingen met gelijk maaiveld en grondwaterstand ontstaan horizontale belastingen, omdat deze niet in elkaars verlengde liggen en hebben daarom de neiging te willen roteren. De buitenste palen nemen meer belasting op dan de meer naar het zwaartepunt gelegen palen. Bij palen met een lage buigstijfheid b.v. ankerpalen kan dit een maatgevend mechanisme zijn.

De berekening van deze paalkrachten mag m.b.v. de stijve plaattheorie, waarbij uitgegaan wordt van een rechtlijnig verband tussen de paalstijfheid, de afstand tot het zwaartepunt en de paalkracht t.g.v. het rotatiemoment.





4.4.6 Gevoeligheidsanalyse

Bij op druk belaste palen en palen onder een wisselbelasting (b.v. mobiele belasting) is bijzondere aandacht gewenst als het paalpuntniveau juist boven een teruggang in de sondeerwaarde is bepaald. Bij het mogelijk dieper heien kan de paal door de draagkrachtige laag ponsen.





4.4.7 Detaillering

Hieronder een aantal aandachtspunten bij de uitvoering:

1. De wapening van de paal t.b.v. transport en heien wordt door de paalleverancier bepaald. Wapening t.g.v. overige belastingen (b.v. horizontale belasting) moet apart aan de paalleverancier worden doorgegeven;
2. Minimale wapening van voorgespannen beton palen (zie ROBK);
3. Bij koppensnellen de steklengte niet ombuigen maar doorzetten tot aan het bovennet en daarna pas ombuigen (zie ROBK);
4. Blijvende voorspanning in de prefab palen (zie ROBK);
5. Indien rekening gehouden moet worden met zwerfstromen, de paalwapening los houden van de vloerwapening (zie ROBK);
6. Volumegewicht groutmengsel bij Vibro-Combinatiepalen (zie ROBK);
7. Ter controle van de berekening, bij de uitvoering t.p.v. elke sondering de dichtstbijzijnde paal geheel kalenderen (zie ROBK);
8. Voor een mogelijke detaillering van de paalkop wordt verwezen naar SATO deel 5.





4.4.8 Uitvoer van berekeningen

Bij de invoer moet kunnen worden nagegaan of de uitgangspunten ook werkelijk zijn ingevoerd.

De uitvoer zoveel als mogelijk grafisch presenteren.





Inhoudsopgave Dimensioneren Ongewapende

- 4.5.1 Algemeen
- 4.5.2 Begrippen
- 4.5.3 Uitzonderingen
- 4.5.4 Randvoorwaarden
- 4.5.5 Materiaaleigenschappen
- 4.5.6 Belastingen
- 4.5.7 Schematisering en toetsing
 - 4.5.7.1 Schematisering en toetsing korte richting
 - 4.5.7.2 Toetsing lange richting
- 4.5.8 Bouwfasering
- 4.5.9 Detaillering



Rekenmethodieken



4.5 DIMENSIONEREN ONGEWAPENDE ONDERWATERBETONVLOEREN

4.5.1 Algemeen

De berekening van een ongewapende onderwaterbetonvloer gebeurt aan de hand van de CUR-Aanbeveling 77, rekenregels voor ongewapende owb-vloeren. Echter omdat de Bouwdienst twijfelt aan de juistheid van art. 9.2, 9.3 en 9.4 is tot nader orde

Aanbeveling 77 voor Bouwdienst werken nog niet van toepassing verklaard. Momenteel is een onderzoekstraject ingezet wat in ieder geval zal leiden tot aanpassing van de art. 9.2 en 9.4, zodat bij toepassing van deze funderingselementen Aanbeveling 77 van toepassing kan worden verklaard.





4.5.2 Begrippen

Begrippen die van belang zijn voor de berekening zijn:

- Randstoring (hfd. 2 en art. 7.2).
- Randgebied (hfd. 2 en art. 7.2).
- Middengebied (hfd. 2 en art. 7.2).
- Korte en lange richting (hfd. 2 en figuur 2).
- Gemiddelde vloerdikte (H_{gem}), tolerantie en minimale vloerdikte (H_{min}) (hfd. 2 en figuur 1). Zie ook toelichting bij art. 7.1 voor het bepalen van de toleranties. H_{gem} staat op tekening vermeld en wordt gebruikt voor het bepalen van de belastingen en de buig-stijfheid (schematisering). Voor het bepalen van de spanningen wordt H_{min} gehanteerd (toetsing) (art. 7.1)





4.5.3 Uitzonderingen

De volgende uitzonderingen, zoals vermeld in art. 7.3, verdienen bijzondere aandacht:

1. Wanneer in het midden stijvere trekelementen aanwezig zijn in combinatie met bijv. een middenwand van een tunnel Te handelen zoals staat beschreven in de toelichting bij art. 8.2.1. Wanneer gerekend wordt met art. 7.5, scheurvorming aannemen volgens bijlage A.
2. Bij een bouwkuip breder dan 40 m mag in het midden niet meer op de aanwezigheid van de normaalkracht worden gerekend.
3. Bij een min of meer vierkante bouwkuip met een lengte en breedte van max. ca. 30 m komt alleen de krachtverdeling volgens de korte richting voor.





4.5.4 Randvoorwaarden

1. De damwanden moeten zo lang zijn dat zij ook als trekelement fungeren (art. 1.2)
2. De Aanbeveling geldt alleen voor onderwaterbetonvloeren met een tijdelijke uitvoerings-functie (art. 1.2)
Voor definitieve damwanden gelden aanvullende eisen zoals vermeld in Cement 55, nr. 8 (2003), pag. 56 t/m 59, "Definitieve ongewapende onderwaterbetonvloeren in combinatie met definitieve damwanden";
3. De minimale gemiddelde dikte is 800 mm (art. 1.2).
4. Er wordt niet ingegaan op de toetsing van het draagvermogen van de trekelementen (art. 4.1.2).
5. Er moet sprake zijn van een langgerekte bouwkuip met een duidelijke korte en lange richting (art. 7.2).
6. De paalafstand in de lange richting moet groter zijn dan in de korte richting (7.3).
7. Op dwarskracht hoeft niet getoetst te worden. Door de grote dikte van de onderwaterbetonvloer zal dwarskracht nooit maatgevend zijn (art.8.2.1 toelichting).





4.5.5 Materiaaleigenschappen

Volgens hoofdstuk 6 moet de betondruksterkte, betontreksterkte en de elasticiteitsmodulus ontleend zijn aan NEN 6720.





4.5.6 Belastingen

De belastingen, zoals vermeld in art. 4.1.4, zijn:

1. Eigen gewicht (bg 1). Rekenen met H_{gem} ;
2. Opwaartse waterdruk (bg 2);
3. Horizontale stempeldruk (bg 3);
4. Opwaartse zwelbelasting (bg 4).

Belastingcombinatie

- Uiterste grenstoestand
 $0,9 \text{ bg1} + 1,2 \text{ bg2} + 0,9 \text{ bg3} + 1,2 \text{ bg4}$
- Bruikbaarheidsgrenstoestand (art. 4.2.4)
 $1,0 \text{ bg1} + 1,0 \text{ bg2} + 1,0 \text{ bg3} + 1,0 \text{ bg4}$





4.5.7 Schematisering en toetsing

Stroomschema toetsing

De toets op de verbinding tussen de funderingselementen en de vloer, zoals beschreven in hoofdstuk 9, is hier buiten beschouwing gelaten.

<i>Te maken met par. 5.2 Uitzonderingen nr. 2</i>	<i>Nee</i>	<i>Waterdichtheideis</i>	<i>Nee</i>	<i>Te maken met par. 5.2 Uitzonderingen nr. 3</i>	<i>Nee</i>	<i>Voldoen aan art. 8.1, 8.2.1**.</i>
<i>Ja</i>		<i>Ja</i>		<i>Ja</i>		
<i>Voor beide richtingen voldoen aan art. 8.1.</i>		<i>Voldoen aan art. 8.1*, 8.2.1**, 8.2.2***</i>		<i>Voldoen aan art. 8.2.1** voor beide richtingen.</i>		

*: Wanneer je te maken hebt met par. 5.2 'Uitzonderingen' nr. 3 dan vervalt de toets op art. 8.1.

** : Aan art. 8.2.1 wordt voldaan wanneer minimaal aan één van de twee bezwijkmechanismen wordt voldaan.

***: Bij art. 8.2.2 moet minimaal aan één van de twee eisen voldaan worden; d.w.z. aan de spanningseis of aan de drukzonehoogte eis. De drukzonehoogte mag bepaald zijn volgens art. 7.4.2 of art. 7.5. Bij gebruik van art. 7.5 moet bij een even aantal velden de scheuren worden aangenomen in het veldmidden van de velden gelegen direct naast het middelste steunpunt. Bij een oneven aantal velden moet de scheur worden aangenomen in het veldmidden van het middelste veld. Wanneer je te maken hebt met par. 5.2 'Uitzonderingen' nr. 1 dan de scheur aannemen t.p.v. de stijvere trekelementen/middenwand.

4.5.7.1 Schematisering en toetsing korte richting

Bruikbaarheidsgrenstoestand

Alleen hierop toetsen wanneer dit van belang is (art. 4.2.1: toelichting en 8.2.2: eerste toelichting).

Schematiseren volgens art. 7.4.2, toetsen volgens art. 8.2.2.

Wanneer geldt $\sigma_b \leq f_b$ alles akkoord.

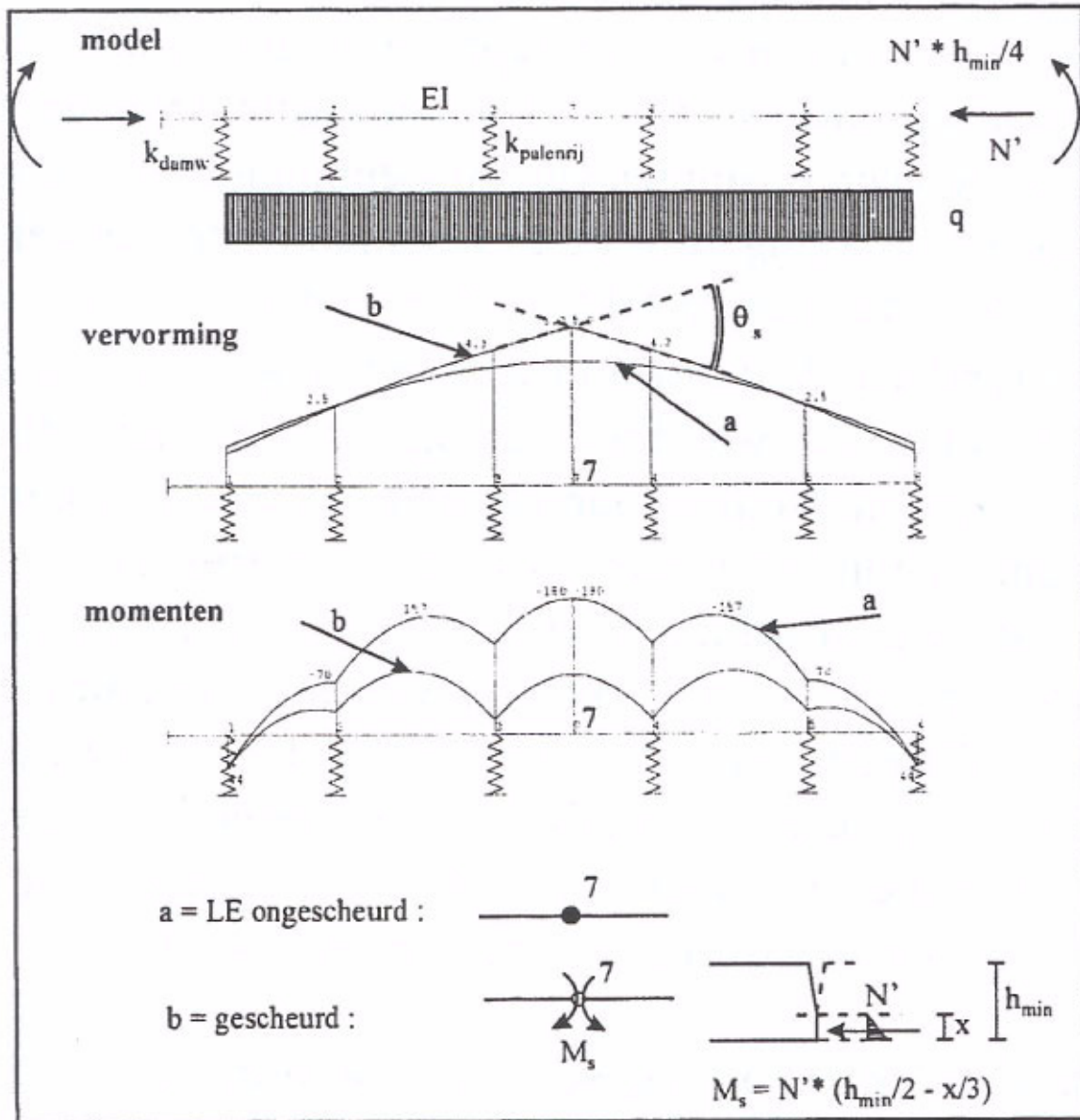
Wanneer geldt $\sigma_b > f_b$ twee mogelijkheden:

- toetsen op betondrukzonehoogte volgens art 8.2.2.
- schematiseren volgens art. 7.5 en toetsen volgens bijlage A1 t/m A3.

Uiterste grenstoestand

Onderscheiden worden de bezwijkmechanismen A en B. Het mechanisme A gaat uit van buiging en mechanisme B gaat uit van boogwerking (art 4.1.3).

Schematiseren volgens art. 7.4.4, toetsen volgens art. 8.2.1. Er hoeft maar aan een van de twee toetsen voldaan te worden (art. 4.1.3). Bij mechanisme B hoeft het randveld bij de damwand niet getoetst te worden omdat hier het moment van teken wisselt (art. 8.2.1 en toelichting).



Afbeelding 4.5.1, Schematisering volgens art. 7.4.2, 7.4.4 en 7.5.

4.5.7.2 Toetsing lange richting

Bruikbaarheidsgrenstoestand

In de lange richting zal bij scheurvorming gelijk watervoering optreden als gevolg van het ontbreken van normaalkracht (art. 4.2.3 en art. 7.4.1 2e toelichting). Het optredende moment bedraagt $1/12 \times q \times L^2$. Getoetst wordt echter op $1/8 \times q \times L^2$ dit om krimp- en temperatureffecten te verdisconteren. Mocht er toch een scheur optreden dan is altijd evenwicht mogelijk (art. 7.4.1 en 1e toelichting). Over de waterdichtheid in langsrichting wordt voor het overige weinig gezegd alleen art. 8.1 1e toelichting gaat nog in op het dilateren van de onderwaterbetonvloer.



Uiterste grenstoestand

De bezwijkveiligheid wordt in de lange richting niet getoetst, dit is toegestaan omdat er veel reserve aanwezig is i.v.m. membraanwerking (art. 4.1.1 toelichting).





4.5.8 Bouwfasering

Aandachtspunt: Het droogzetten van naastgelegen bouwkuip (art. 7.3)





4.5.9 Detaillering

1. Verbinding van damwand met onderwaterbetonvloer (art. 9.1).
Een wrijvingscoëfficiënt van 0,3 is een ondergrens. Andere facetten die hier een rol spelen zijn het 'vastwig-effect' en slibinsluiting (art. 9.1 toelichting).
Bij diepwanden behoeft dit onderdeel speciale aandacht door het mogelijk ontbreken van het 'vastwig-effect' en de aanwezigheid van slibinsluiting (art. 9.1 toelichting).
2. Verbinding van betonpaal met onderwaterbetonvloer (art. 9.2).
3. Verbinding van stalen paal met onderwaterbetonvloer (art. 9.3).
4. Verbinding van trekanker met onderwaterbetonvloer (art. 9.4).





Inhoudsopgave Koelen van Beton

- 4.6.1 Algemeen
- 4.6.2 Beschrijving mechanisme
 - 4.6.2.1 Belangrijke factoren ivm spanningsontwikkeling
 - 4.6.2.2 Mogelijke maatregelen
- 4.6.3 Koelmethoden
 - 4.6.3.1 ad a.
 - 4.6.3.2 ad b.
 - 4.6.3.3 ad c.
- 4.6.4 Benodigde gegevens t.b.v. de rekenmodellen
 - 4.6.4.1 Omgevingscondities
 - 4.6.4.2 Materiaaleigenschappen
- 4.6.5 Te stellen eisen
- 4.6.6 Praktische aspecten bij het koelen
 - 4.6.6.1 Te leveren gegevens
 - 4.6.6.2 Controles
 - 4.6.6.3 Overige aspecten



Rekenmethodieken



4.6 KOELEN VAN BETON

4.6.1 Algemeen

Een 'klassiek' probleem bij civiele constructies is het optreden van doorgaande watervoerende scheuren als gevolg van verhinderde vervormingen ontstaan tijdens het verhardingsproces. Het uitvoeren van verhardingssimulaties is echter complex en voorbehouden aan specialisten welke beschikken over specialistische computerapparatuur. Wel is het handig inzicht te hebben in de materie om de specialist te kunnen volgen voor de praktische uitvoering. Voor meer achtergronden van de scheurvorming van jong beton wordt verwezen naar AGTO. Dit hoofdstuk gaat in op de parameters die van belang zijn voor de berekeningen en de mogelijke maatregelen in de vorm van het koelen van beton.





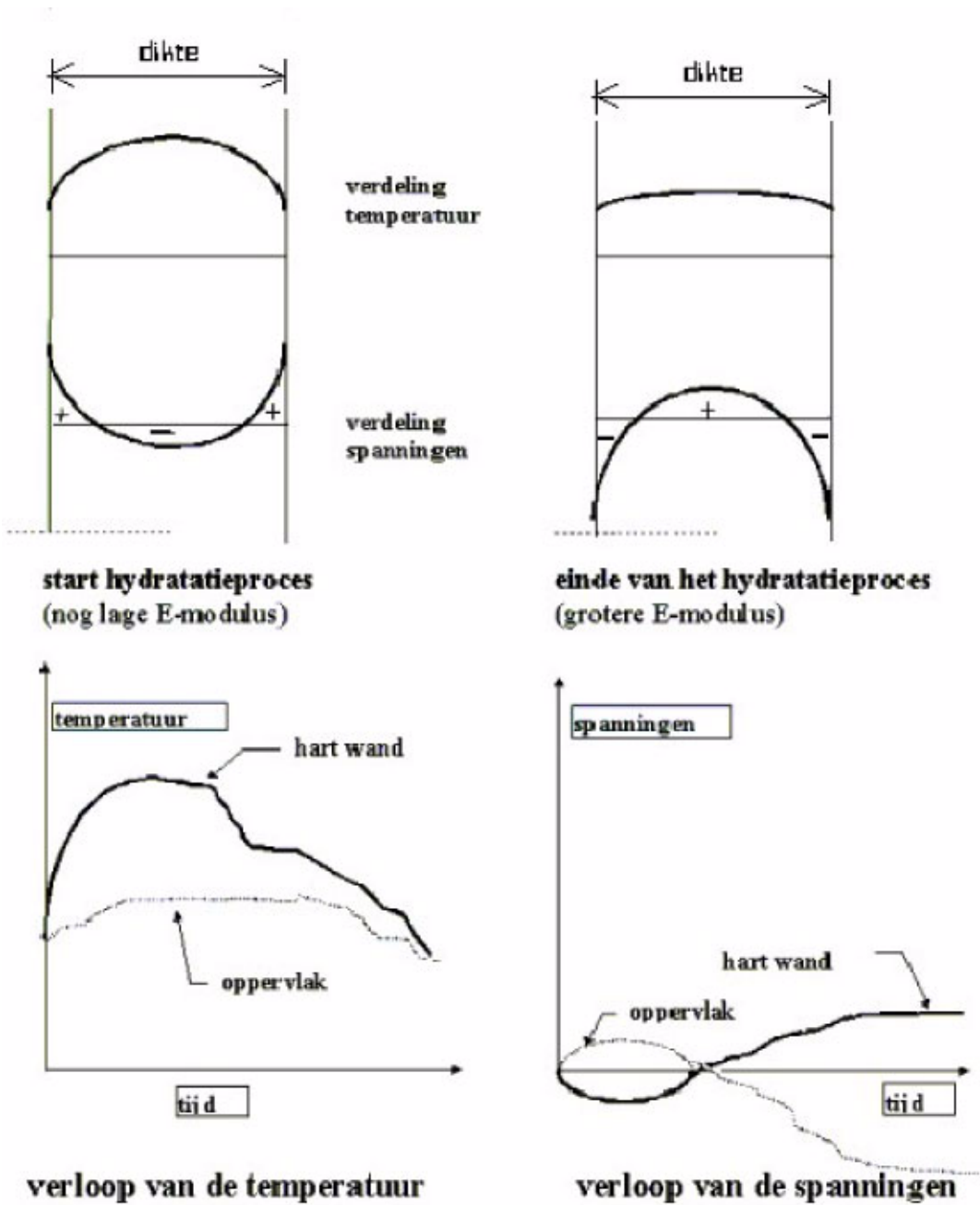
4.6.2 Beschrijving mechanisme

Het verharderen van beton is het gevolg van een chemisch-fysische reactie van cement en water. Hierbij komt warmte vrij. Door de vrijkomende warmte zal het beton in het begin in temperatuur stijgen en zal na het bereiken van de maximum temperatuurpiek de beton weer afkoelen. Tijdens het afkoelen bezit beton een grotere stijfheid dan in het opwarm-traject, waardoor in het opwarmtraject de optredende (druk)spanningen van beperkte grootte blijven, terwijl in het afkoeltraject de (trek)spanningen relatief groot kunnen worden; met scheurvorming tot gevolg. De scheurvorming ontstaat doordat de vervormingen in eniger mate verhinderd worden.

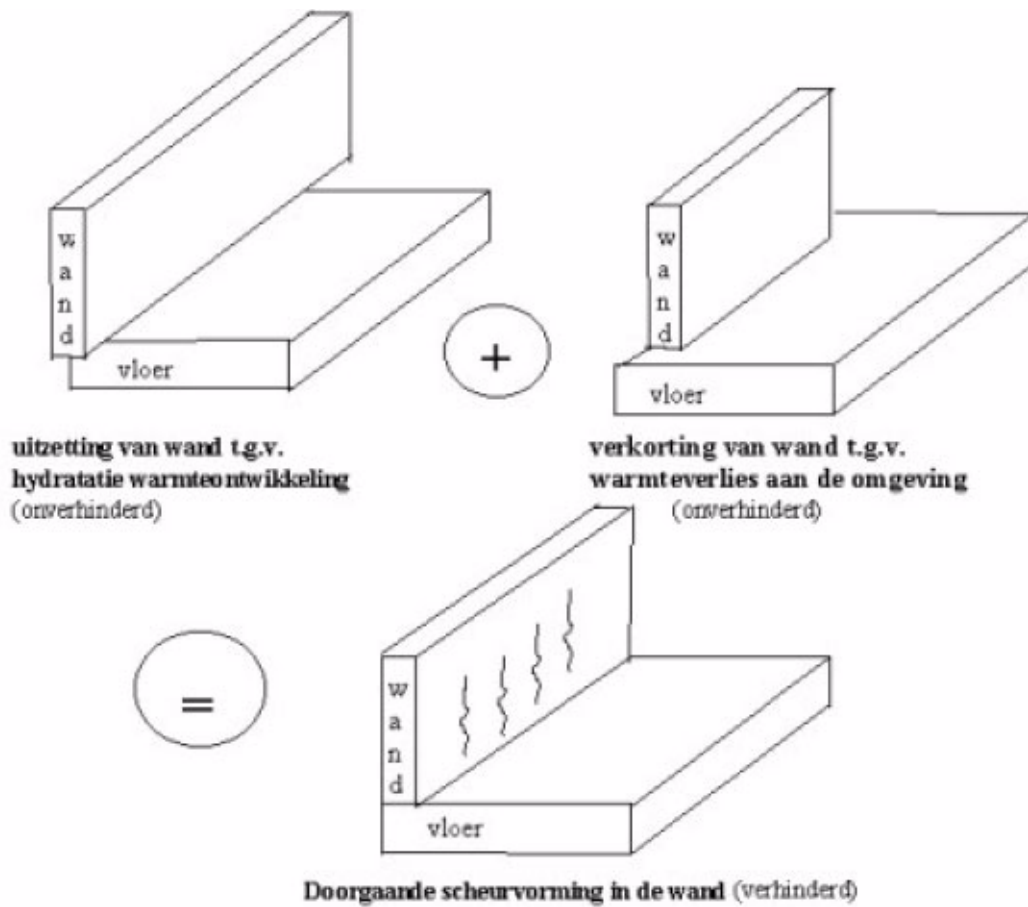
De verhindering van de vervormingen als gevolg van het hydratatieproces kan globaal twee oorzaken hebben:

inwendige verhindering (zie Afbeelding 4.6.1);

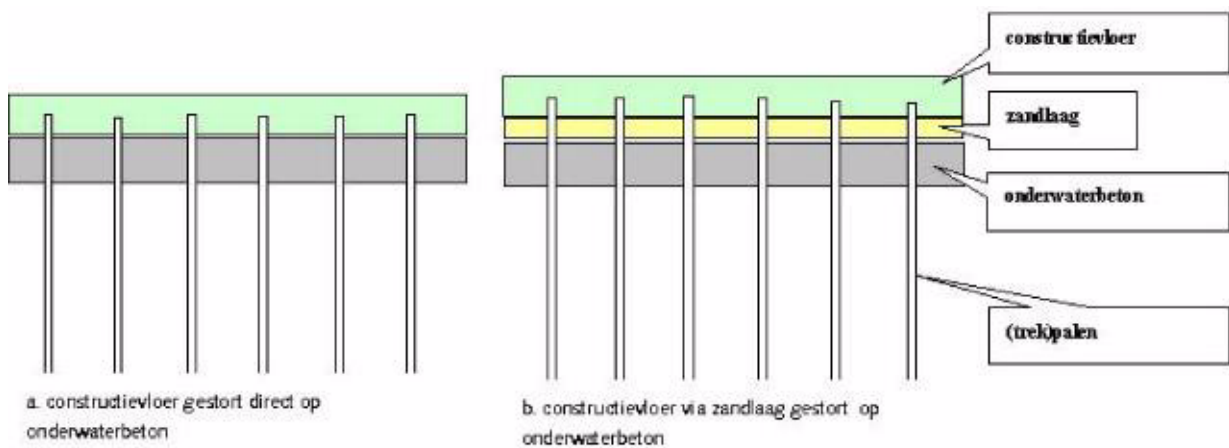
uitwendige verhindering (zie Afbeelding 4.6.2 en Afbeelding 4.6.3).



Afbeelding 4.6.1, Principe van inwendige verhinderdng van hydratatievormingen



Afbeelding 4.6.2, Principe van uitwendige verhoging van hydratatievervormingen



Afbeelding 4.6.3, Principe constructievloer op onderwaterbetonvloer

Bij inwendige verhoging ontstaan geen doorgaande scheuren; de scheuren hebben een oppervlakkig karakter. De nadelige effecten beperken zich hierbij grotendeels tot de duurzaamheid van de constructie (corrosie van de wapening).



Uitwendige verhindering treed vaak op als vers beton op reeds verhard beton wordt gestort. De mate van verhindering is afhankelijk van de stijfheidsverhouding van het verhardende beton en het reeds verharde beton. Scheuren ontstaan als gevolg van uitwendige verhindering hebben vrijwel altijd het karakter van doorgaande scheurvorming en bedreigen daardoor de vereiste waterdichtheid.

4.6.2.1 Belangrijke factoren ivm spanningsontwikkeling

Factoren die bij het kwantificeren van de spanningontwikkeling en kans op scheurvorming in jong beton een rol spelen zijn:

1. het temperatuursverloop als functie van de plaats en tijd;
2. de ontwikkeling van thermische eigenschappen
3. de ontwikkeling van mechanische eigenschappen
4. rheologische eigenschappen (kruip en relaxatie)
5. mechanische randvoorwaarden
6. de aanwezigheid van kunstmatige koeling

Het temperatuurverloop in de constructie is afhankelijk van:

- a. de adiabaat van het betreffende betonmengsel,
- b. de temperatuur van het mengsel bij aanvang van de stort,
- c. de buitentemperatuur,
- d. het verloop van de buitentemperatuur,
- e. windsnelheid.
- f. dikte van het constructiedeel,
- g. isolerend vermogen van de bekisting,
- h. al of niet aanwezigheid van kunstmatige koeling.

De mechanische eigenschappen zijn afhankelijk van de voortgang van het hydratatie-proces. De ontwikkeling van de mechanische eigenschappen is daarmee een functie van de tijd en van het temperatuurverloop in de tijd.

4.6.2.2 Mogelijke maatregelen

Uitgangspunt voor waterkerende constructies is dat in principe geen doorgaande scheurvorming als gevolg van het hydratatieproces toelaatbaar is. Het ontwerp dient zo te zijn dat daaraan voldaan wordt.

- Vaak zal het noodzakelijk zijn de betonconstructie kunstmatig te koelen teneinde de kans op doorgaande scheurvorming voldoende klein te doen zijn.
- In het ontwerp al rekening houden met self-healing of het dichtslibben van scheuren is niet acceptabel
- Het injecteren van scheuren moet niet als standaard oplossing in het ontwerp worden aangehouden; het moet een noodmaatregel blijven
- Door het toepassen van relatief zeer veel extra wapening kan de breedte van optredende scheurvorming beperkt worden. Hoewel de breedte van scheuren beperkt wordt, ontstaan er wel vele extra scheuren. Ook een kleine scheur kan, afhankelijk van de waterdruk, in een niet te accepteren mate watervoerend zijn.



- Door geschikte keuze van het betonmengsel kan ook bijgedragen worden aan het verminderen van de kans om scheurvorming. Door niet veel meer cement te gebruiken dan de voorschriften als minimum voorschrijven wordt de hoeveelheid vrijkomende hydratatiewarmte beperkt. Ook de keuze van het type cement is in deze van belang; hoogovencement heeft vanwege de langzamere warmteontwikkeling in dit verband sterk de voorkeur boven het gebruik van portlandcement.

Uit het bovenstaande volgt dat zodanige maatregelen getroffen moeten worden dat het (trek)spanningsniveau, als gevolg van het hydratatieproces, voldoende laag blijft opdat de kans op doorgaande scheurvorming voldoende laag is.





4.6.3 Koelmethoden

Om te voorkomen dat de temperatuur te hoog oploopt kan een betonconstructie op verschillende manieren worden gekoeld. Te denken valt aan:

- a. het aanbrengen van koelbuizen in de constructie;
- b. toepassen van een gekoelde stalen bekisting (koelkist);
- c. koelen van de betonspecie met behulp van bv. vloeibare stikstof of ijsschilvers.

4.6.3.1 ad a.

Door een voldoende aantal koelbuizen in de constructie op te nemen kan voldoende hydratatiewarmte worden afgevoerd opdat het gemiddelde spanningsniveau voldoende laag blijft, zodat doorgaande scheurvorming wordt voorkomen.

Over de te koelen betondoorsnede moeten de koelbuizen goed verdeeld worden teneinde er voor te zorgen dat het te koelen gebied voldoende bestreken wordt. Dit omdat het invloedsgebied van een enkele koelbuis beperkt is.

Door het koelwaterdebiet te variëren kan het koelvermogen geregeld worden.

4.6.3.2 ad b.

Door een stalen kist te koelen kan warmte aan de betonconstructie worden onttrokken. Een beperking van zo'n koelsysteem is dat de plaats van de koeling gefixeerd is, met als gevolg dat de dikte van het te koelen constructiedeel begrensd is op ca. 1,0 m. Het voordeel van de koelkist is dat de koeling over een groot oppervlak plaats vindt, waardoor de koeling redelijk homogeen is vergeleken met de puntvormige warmteonttrekking van een koelbuizensysteem.

4.6.3.3 ad c.

Door het toevoegen van vloeibare stikstof of ijsschilvers wordt de storttemperatuur verlaagd, waardoor het hydratatieproces langzamer zal verlopen. Hierdoor is meer tijd aanwezig voor het weglekken naar de omgeving van de hydratatiewarmte, waardoor de gemiddelde temperatuurstijging geringer zal zijn.

Een nadeel van dit type koeling is dat niet gereageerd kan worden als de temperaturen in de constructie toch te hoog oplopen; het is een passief systeem. Dit in tegenstelling tot de methoden genoemd onder de punten a. en b., welke actieve systemen zijn.

Bij het inspuiten van vloeibare stikstof in de truckmixer is het gevaar van bevriezing van de betonspecie aanwezig.

Bij het gebruik van ijsschilvers is het gevaar aanwezig dat losse schilvers ijs nog niet goed gesmolten zijn op het moment dat het beton wordt gestort; hierdoor kunnen holten in de beton ontstaan. Verder moet natuurlijk de hoeveelheid water in de ijsschilvers worden verdisconteerd in de water-cementfactor; dus minder aanmaakwater.





4.6.4 Benodigde gegevens t.b.v. de rekenmodellen

Onderstaand worden algemene aanbevelingen gedaan waar de Bouwdienst onder normale omstandigheden van uit gaat. Specifieke omstandigheden kunnen het nodig maken af te wijken van de hier gegeven randvoorwaarden. Er dient een controle plaats te vinden of de aangenomen adiabaat in de berekening overeenkomt met het toegepaste adiabaat bij de uitvoering.

4.6.4.1 Omgevingscondities

De weersomstandigheden tijdens het verhardingsproces zijn niet op voorhand precies te voorspellen. Daarom wordt voor de berekening uitgegaan van drie scenario's: winter, herfst/lente en zomer. Uitgaande van een sinusvormig verloop van de buitentemperatuur over een etmaal, moeten de waarden zoals aangegeven in de ROBK worden aangehouden.

Voor de windsnelheid wordt verwezen naar de ROBK.

Voor een plotselinge temperatuursdaling wordt verwezen naar de ROBK.

4.6.4.2 Materiaaleigenschappen

Voor de materiaaleigenschappen wordt verwezen naar de ROBK.





4.6.5 Te stellen eisen

Voor de maximaal toelaatbare trekspanning wordt verwezen naar de ROBK; In de praktijk worden soms verschillende temperatuurcriteria in de vorm van vuistregels gehanteerd om scheurvorming te voorkomen. Bij belangrijke waterkerende constructies zijn deze vuistregels te globaal; alleen een complete berekening voldoet voor deze gevallen.





4.6.6 Praktische aspecten bij het koelen

4.6.6.1 Te leveren gegevens

Uit de temperatuur- en spanningsberekeningen moet volgen of al dan niet kunstmatige koeling noodzakelijk is. Als kunstmatige koeling d.m.v. koelbuizen noodzakelijk blijkt te zijn, moet aan de hand van de berekeningsresultaten o.a. de volgende aspecten in het berekeningsrapport c.q. koelplan worden opgenomen:

1. het materiaal van de koelbuizen, uitwendige diameter en de wanddikte van de koelbuizen,
2. het aantal en de plaats van de benodigde koelbuizen,
3. de inlaattemperatuur van het koelwater,
4. het verloop van de koelbuizen in langsrichting,
5. de plaats van de aan te brengen thermokoppels in de constructie,
6. de maximaal benodigde koelcapaciteit [kW],
7. het benodigde koelwaterdebiet als functie van de tijd volgens de simulatieberekeningen.
8. Aangeven aan welke temperatuurcriteria (te meten m.b.v. de thermokoppels) het koelproces moet voldoen.
9. Aangeven bij welke temperatuurcriteria de koeling gestopt kan/moet worden.

ad 1.

Meestal worden stalen koelbuizen toegepast (buitendiameter bv. 28 mm, wanddikte 1,5 mm). In principe zijn ook kunststof buizen mogelijk; de effectiviteit is echter slechter dan bij het gebruik van stalen buizen, vanwege de veel slechtere warmtegeleiding.

ad 3.

Om een koelsysteem goed te laten functioneren moet de temperatuur van het koelwater ca. 10°C zijn ($\pm 5^\circ\text{C}$). Om dit te realiseren kan koelequipment worden toegepast. Indien op een werk bemalingwater beschikbaar is, kan dit ook voldoen.

ad 4.

Aangegeven moet worden waar de in- en uitstroomopeningen van het koelwater liggen. Verder moet worden aangegeven hoeveel koelgroepen aanwezig zijn en welke buizen tot welke groep behoren.

ad 5.

Om te controleren of het uit de verhardingssimulatie volgende temperatuursverloop overeenkomt met de praktijk, moeten thermokoppels in de constructie worden aangebracht. Aan de hand van de temperatuurmetingen moet zodig het koeldebiet bijgestuurd worden. Het ligt voor de hand de in- en uitlaattemperatuur van het koelwater te meten.

ad 7.

Het eenvoudigste qua uitvoering is het aanhouden van een constant koelwaterdebiet gedurende een bepaalde tijd. Men kan echter ook meer verfijnd koelen door het koelwater-debiet aan te passen aan de hoeveelheid vrijkomende hydratatiewarmte. Deze laatste methode is in principe beter, doch vereist meer vakmanschap en wordt daarom tegenwoordig niet vaak meer gehanteerd.

ad 8.

Verschillende typen criteria kunnen worden gehanteerd:



- a. limitering van het temperatuurverschil van het gekoelde beton en reeds verhard beton $\Delta T_{\text{gekoeld}}$.
- b. limitering van het temperatuurverschil tussen de uit- en inlaattemperatuur van het koelwater per tijdseenheid. De formulering wordt dan: het koelwaterdebiet verhogen met maximaal $x \text{ m}^3/\text{uur}$ als het verschil tussen uitgaande en ingaande koelwatertemperatuur groter wordt van $y \text{ }^\circ\text{C}/\text{uur}$.

De methode a legt het meest directe verband met de kans op scheurvorming en heeft dan ook de voorkeur.

4.6.6.2 Controles

- Voorafgaand aan de stort dient het koelsysteem te worden gecontroleerd op lekkage, door middel van het afpersen van de koelbuizen. Uit de simulatieberekeningen volgt welk maximaal koelwaterdebiet verwacht wordt en wat de bijbehorende maximale werkdruk in het systeem zal zijn. De afpersdruk dient minimaal het dubbele te zijn ten opzichte van de maximaal verwachte werkdruk.
- De thermokoppels ijken met behulp van ijswater of door gebruik te maken van een geijkte rijpheidcomputer. Bij het ijken dienen de thermokoppels reeds voorzien te zijn van het aantal meters draad zoals in werkelijkheid wordt toegepast.
- Voorafgaand aan de stort dienen de signalen van de afzonderlijke thermokoppels en debietmeters gecontroleerd te worden.
- Voorafgaand aan de stort dient de specietemperatuur bekend te zijn en de temperatuur van het koelwater gecontroleerd te zijn.

4.6.6.3 Overige aspecten

- Het moment waarop de koeling wordt gestart is afhankelijk van de aanvangstemperatuur van de specie:
 - a. Indien de specietemperatuur, bij aankomst op het werk, hoger is dan de inlaattemperatuur van het koelwater, moet de koeling direct na de betonstort een aanvang nemen.
 - b. Indien de specietemperatuur kleiner of gelijk is aan de inlaattemperatuur van het koelwater, dient de koeling te starten op het moment dat de betontemperatuur de inlaattemperatuur heeft bereikt.
- Na gebruik van de koelbuizen dienen deze met grout geïnjecteerd te worden om corrosie en lekwegen te voorkomen.



Rekenmethodieken

Inhoudsopgave Dimensioneren Doorsnede Tunnelement

4.7.1 In ontwikkeling



Rekenmethodieken



4.7 DIMENSIONEREN DOORSNEDE TUNNELEMENT

4.7.1 In ontwikkeling





Rekenmethodieken

Inhoudsopgave Langvoorspanning Afzinkelement

4.8.1 In ontwikkeling



Rekenmethodieken



4.8 LANGSVOORSPANNING AFZINKELEMENT

4.8.1 In ontwikkeling





Rekenmethodieken

Inhoudsopgave Funderen Tunnelement

4.9.1 In ontwikkeling



Rekenmethodieken



4.9 FUNDEREN TUNNELEMENT

4.9.1 In ontwikkeling

