

Vier presentaties op gezamenlijk bijeenkomst Stubeco, Stutech en Stufib

## Waar uitvoering, technologie en constructie samenkomen



Stubeco-, Stutech-, en Stufib-leden luisteren aandachtig naar Marco Roosen bij Civilion in 's-Hertogenbosch (foto Jan Tol)

*Er moet meer worden samengewerkt tussen de vakgebieden uitvoering, technologie en constructie, daar is iedereen in de betonsector het wel over eens. Dat is de reden dat de drie respectievelijke studieverenigingen, Stubeco, Stutech en Stufib jaarlijks een gezamenlijk evenement organiseren voor deze zogenoemde betondriehoek. Eind oktober 2025 stonden er weer vier interessante onderwerpen op het programma. In dit artikel een beknopte weergave van de inhoud van de presentaties.*

### De presentaties

- Nieuwe dwarskrachtregels – Marco Roosen (Rijkswaterstaat)
- Praktische betonkeuzes in uitvoering – Marc Kreling
- Kopdeuvelstaven als dwarskrachtwapening – Joost Walraven (TU Delft)
- AI en Hybride workflows – Nynke ter Heide (Vidabo)

## Nieuwe dwarskrachtregels

*Presentatie Marco Roosen – Senior Specialist Betonconstructies, Rijkswaterstaat*

*Op basis van nieuwe inzichten zijn de dwarskrachtregels in de tweede generatie Eurocodes ingrijpend aangepast. Drie wijzigingen springen eruit: invloed van het schaafeffect, de invloed van de dwarskrachtslankheid en de invloed van de korrelafmeting.*



Op basis van experimenteel onderzoek blijkt dat de dwarskrachtweerstand bij hogere doorsnedes (> 500 mm) lager is dan aanvankelijk gedacht. Dat effect heeft te maken met een grote scheurwijdte bij hogere doorsnedes. Met de dwarskrachtslankheid (verhouding moment-dwarskracht, die grotere wordt bij een grotere afstand tot de oplegging), werd in de eerste generatie zelfs helemaal geen rekening gehouden.

In de dwarskrachtformules in de nieuwe Eurocode worden beide effecten in rekening gebracht. Belangrijk aanpassing in die nieuwe formules is dat, in plaats van een empirisch model (op basis van statistische data), wordt uitgaan van een model met fysische basis (dat dus meer uitgaat van het daadwerkelijke gedrag van de constructie). In de praktijk zal dit voor hoge of voorgespannen plaatconstructies betekenen dat constructies eerder moeten worden voorzien van dwarskracht- of ponswapening.

Misschien wel de meest opvallende wijziging is de invloed van de maximale korrelafmeting. Juist dat is een onderwerp dat alle drie de vakgebieden aangaat.

In de nieuwe Eurocode wordt rekening gehouden met het gegeven dat een grotere korrel een positief effect heeft op de dwarskrachtweerstand. Dat effect is toe te schrijven een toename van de scheurwrijving (aggregate interlock).

In de berekening moet daarom rekening worden gehouden met de grootste korrelafmeting. Voor een constructeur is die waarde echter vaak niet bekend, zeker niet vroeg in het ontwerp. Er moeten voorafgaand aan de uitvoering dus keuzes worden vastgelegd. Later kunnen er vanuit de uitvoering echter ook eisen worden gesteld aan die korrelafmeting, bijvoorbeeld bij een grote wapeningsdichtheid. In de praktijk kan het zijn dat de constructeur, uit veiligheidsoverwegingen, van een (te) lage (conservatieve) waarde uitgaat. Het kan zelfs zo zijn dat er daardoor dwarskrachtwapening nodig is, waar dan bij een grotere korrel niet zo zou zijn.

Een goede communicatie tussen ontwerp, technologie en uitvoering wordt met deze nieuwe regels dus alleen maar belangrijker.



## *Misschien wel de meest opvallende wijziging is de invloed van de maximale korrelafmeting*

De wijzigingen zijn zo belangrijk dat ze recent zijn opgenomen in de nationale bijlage van de huidige Eurocode en in de nieuwe RBK en ROK van Rijkswaterstaat. Ze zijn overigens alleen aan de orde bij constructies zonder dwarskrachtwapening. Is er wel dwarskrachtwapening aanwezig, dan gelden er ook nieuwe regels. Die hebben echter juist een positief effect. Dat is dan ook de reden dat die nog niet zijn opgenomen in de nationale bijlage. Wel in de RBK (voor bestaande constructies) overigens. Belangrijkste reden daarvoor is dat Rijkswaterstaat dan van één model voor de dwarskrachtweerstand gebruik kan maken.

### **Links**

- [Presentatie Nieuwe dwarskrachtregels](#)
- [Cement-artikel Dwarskrachtweerstand gebaseerd op scheurwijdte](#)

## Praktische betonkeuzes in uitvoering

Presentatie Marc Kreling

*Waar de nieuwe dwarskrachtregels vooral een theoretische kant laten zien, laat de praktijk haast dagelijks het bewijs zien waarom een integrale aanpak vanuit constructie, technologie en uitvoering zo belangrijk is.*



*Grote wapeningsdichtheid heeft invloed op betonsamenstelling en wijze van storten en verdichten*

Voor beton moeten er op uiteenlopende onderdelen keuzes worden gemaakt. Die keuzes hebben grote invloed op het eindresultaat van een constructie.

Belangrijk startpunt voor het ontwerp is de specificatie van de constructeur. Die legt betonsterkteklasse en milieuklasse van het beton vast en bepaalt de hoeveelheid wapening. Daarbij moet hij rekening houden met de eisen in de Eurocode en soms vanuit de ROK (van Rijkswaterstaat) of de OVS (van ProRail).

De aannemer heeft vervolgens zijn eigen specifieke aandachtspunten. Daarbij spelen zaken als bouwsnelheid, stortwijze, weersomstandigheden, bekistingsontwerp en verhinderde vervorming een rol. Ook de aannemer moet rekening houden met normen, onder meer vastgelegd in NEN-EN 13670 en NEN 8670. Soms gelden ook hier aanvullende eisen vanuit de ROK of de OVS. Overigens is het de vraag of al die eisen bij iedereen bekend zijn en of er altijd aan wordt voldaan.

Op basis van al deze eisen moet de betontechnoloog betonmengsels ontwerpen, die hij vastlegt in een mengselcodelijst. Daarin zijn consistentieclasses, cementgehalten, cementsoort, water-cementfactor en korrelafmetingen opgenomen. Normen waar de betontechnoloog rekening moet houden zijn NEN-EN 206 en NEN 8005.

Elke discipline heeft dus zo zijn eigen aandachtspunten en uitdagingen. Het is belangrijk om te realiseren dat veel daarvan invloed op elkaar kunnen hebben en in sommige gevallen niet goed te verenigen zijn. Daarom is het belangrijk samen op te trekken en er goed over te communiceren. Dat gebeurt in de praktijk helaas lang niet altijd voldoende.

Diverse voorbeelden bevestigen het belang van een integrale benadering.

Scheurvorming is zo'n fenomeen waarop veel van de genoemde aspecten invloed hebben. Worden er vanuit de constructeur hoge eisen gesteld aan sterkte of milieuklasse of vanuit de aannemer aan de sterkteontwikkeling, dan kan dat leiden tot hoge cementgehalten. En dat leidt tot een verhoogd risico op scheurvorming. Soms zijn er mogelijkheden om de eisen te beperken of op voorhand oplossingen te bedenken om het risico op scheurvorming te beperken, zowel vanuit het ontwerp, de technologie als de uitvoering.

Betondekking is nog zo'n aandachtspunt. Een constructeur rekent in zijn ontwerp met een bepaalde dekking. Of die in de praktijk haalbaar is en wat de toleranties zijn, is afhankelijk van het type werk en de omstandigheden. Het komt niet zelden voor dat dekkingsblokken verschuiven en de dekking daarmee niet wordt gehaald.

In overleg zijn preventieve maatregelen mogelijk. De ROK stelt zelfs dat de dekking moet worden nagemeten. De resultaten zijn soms heel teleurstellend.

Op sommige posities in een constructie kunnen hoge wapeningsdichtheden nodig zijn. Dat kan eisen stellen aan het mengsel, bijvoorbeeld ten aanzien van de grootste korreldiameter. Gezien de nieuwe dwarskrachtregels in de Eurocode kan dat weer invloed hebben op de constructieve eigenschappen. Bovendien kan wapening het storten of verdichten bemoeilijken. Soms zijn daarom stort- of trilkokers noodzakelijk. Het toepassen van een hogere consistentieklasse of zelfverdichtend beton is lang niet altijd mogelijk omdat daarmee de bekistingsdruk te hoog wordt.

De wijze van storten is ook bepalend. Wil de aannemer bijvoorbeeld over een grote lengte verpompen dan moet de betontechnoloog daar in de gewenste consistentie rekening houden, afhankelijk van de lengte van de leiding. Ook als een hellend vlak moet worden gestort, stelt dat specifieke eisen aan het mengsel. Wordt een hoge constructie in één keer gestort, dan kan de bekistingsdruk kritisch worden. En die is weer afhankelijk van het mengsel, de omstandigheden en de stortsnelheid.

Belangrijk aandachtspunt voor de aannemer is nabehandelen. Het belang ervan kan niet genoeg worden benadrukt. Helaas gaat het op dat gebied nog te vaak mis. Voor een goed eindresultaat is het belangrijk dat er direct nadat de bekisting wordt verwijderd, wordt begonnen met nabehandelen. Niet pas als de hele bekisting is verplaatst, maar direct al het beton wordt blootgesteld aan de buitenlucht. En niet alleen horizontale oppervlakken, ook wanden. En de duur moet niet worden onderschat. Die is weer afhankelijk van sterkteklasse en sterkteontwikkeling. Voor nabehandeling zijn diverse eisen en aandachtspunten vastgelegd in NEN-EN 13670, NEN 8670, ROK, OVS en verschillende CUR- en Stutech-rapporten.



*Het eindresultaat valt of staat bij een goede en evenwichtige afweging van alle eisen. Dat kan feitelijk alleen in goed onderling overleg*

Een veel toegepaste methode om de sterkteontwikkeling te monitoren en zo het moment te bepalen dat er kan worden ontkist of nagespannen, is de methode van gewogen rijpheid. De constructeur legt de sterkte-eisen vast. Maar waar de sensoren moeten worden geplaatst is niet altijd bekend, terwijl die wel heel bepalend is. Ook moet duidelijk zijn wat de gemeten waarde precies betekenen.

Deze voorbeelden geven aan hoe belangrijk samenwerking is tussen constructeur, betontechnoloog en werkvoorbereiding/uitvoering. Het eindresultaat valt of staat bij een goede en evenwichtige afweging van alle eisen. Dat kan feitelijk alleen in goed onderling overleg. Bij speciale toepassingen als schoonbeton, lichtbeton, zwaarbeton, hogesterktebeton of zelfverdichtend beton is dat overleg des te belangrijker.

#### Links

- [Presentatie Praktische betonkeuzes in uitvoering](#)

---

## Kopdeuvelstaven als dwarskrachtwapening

*Presentatie Joost Walraven – TU Delft*

*Het toepassen van kopdeuvelstaven (T-heads) als dwarskrachtwapening in vloeren levert in de uitvoering een hoop voordelen op ten opzichte van beugelwapening of opgebogen wapening. Door nieuw inzicht blijken de voorwaarden voor plaatsing minder streng dan aanvankelijk gedacht: de ankerplaten mogen tussen de hoofdwapening worden geplaatst, in plaats van eronder. Het aanbrengen is daardoor eenvoudiger en minder foutgevoelig.*



*Toepassing van kopdeuvelstaven (T-heads) tussen de hoofdwapening*

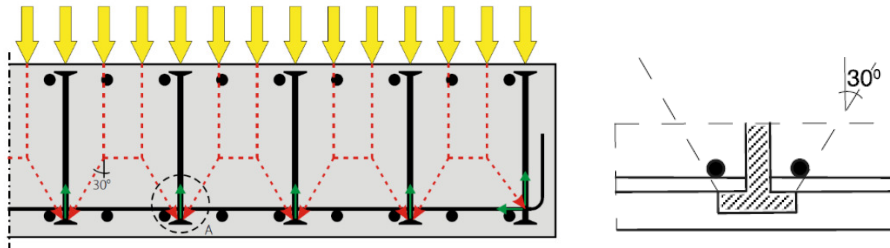
Ten behoeve van een goede verankering worden wapeningsstaven in veel gevallen aan het uiteinde omgebogen. Een alternatief is het toepassen van kopdeuvelstaven ofwel T-heads, wapening met een platte verankering aan een of beide uiteinden. De verankering van de kop gedraagt zich aanzienlijk stijver dan die van een omgebogen wapeningsstaaf. De optredende slip ter plaatse van de verankering is verwaarloosbaar.

Kopdeuvelstaven kunnen onder meer dwarskrachtwapening in vloeren vervangen. Toepassing heeft een aantal voordelen, vooral bij forse constructies. Het resulteert in lagere wapeningsconcentraties, eenvoudiger vlechtwerk en snellere wapeningsmontage (staven zijn later aan te brengen). Ze zijn in veel projecten succesvol toegepast, onder meer in de E.O.N centrale in Rotterdam, in de Metro Stations Rokin en Vijzelgracht in Amsterdam, in de Mahanakon Tower in Bangkok en recent in de tunnelementen van de Fehmarnbelt.



***Toepassing van T-heads resulteert in lagere wapeningsconcentraties, eenvoudiger vlechtwerk en snellere wapeningsmontage***

Er bestaat de nodige discussie hoe je dit type staven moet detailleren en dimensioneren. De werking kan worden beschouwd conform de vakwerkanalogie, met trek- en drukstaven en knooppunten. De krachten in die knopen moeten in evenwicht zijn. Om daaraan te kunnen voldoen, moet de buigwapening liggen in het invloedsgebied van de ankerkop (fig. #), zo werd gesteld in het Cement-artikel 'Kopdeuvels als dwarskrachtwapening' uit 2011 (auteurs Paul Teeuwen en Joost Walraven). De werking hangt daarbij dus sterk af van de positie van de koppen van de deuvelstaven.

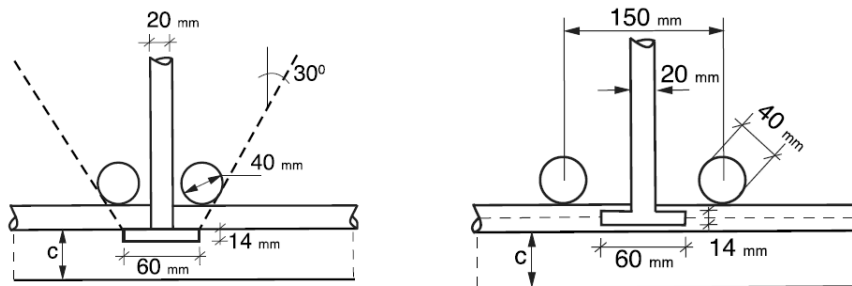


Vakwerkmodel en plaatsing volgens inzicht beschreven in het Cement-artikel uit 2011

Deze manier van uitvoeren vergt echter nauwkeurig werken en is niet bepaald praktisch. Naar aanleiding van toepassing in de Oosterweelverbinding in Antwerpen werd door Boskalis (Florentijn de Beukelaer en Jeroen Meijdam) de vraag gesteld of het niet anders kan, nl. positionering van de kopdeuvel tussen staven in de buitenste wapeningslaag (fig. #).

Uit nadere beschouwing blijkt dat er in die situatie zich een ander vakwerkmodel kan ontwikkelen. Deze werking kan worden onderbouwd met internationale richtlijnen (ook de Eurocode) en resultaten van experimenten en is bovendien getoetst aan de hand van niet-lineaire eindige-elementenberekeningen.

Een goede oplossing is het hart van de kop van de T-head gelijk te leggen met het hart van onderste wapeningslaag. Wel gelden een aantal randvoorwaarden. De bovenkant van de kop mag niet hoger liggen dan de hartlijn van de bovenste wapeningslaag. Aan de onderzijde moet de onderkant van de kopdeuvel minstens op de dekking ( $c_{\min}$ ) liggen.



Links de oplossing volgens het artikel uit Cement (2011), rechts de voorgestelde variant-oplossing

Al met al blijkt er wat plaatsing van de T-heads betreft dus meer mogelijk dan eerder gedacht. Dat maakt de toepassing van deze staven extra aantrekkelijk, zeker in vloeren met hoge wapeningsconcentraties.

## Links

- [Presentatie Kopdeuvelstaven als dwarskrachtwapening in vloeren](#)
- [Cement-artikel 2011 - Kopdeuvels als dwarskrachtwapening](#)

## AI en hybride workflows

*Presentatie Nynke ter Heide – Vidabo*

*AI heeft de laatste jaren een enorme vlucht genomen. Ook voor de betonsector geldt: de vraag is niet óf we AI gaan gebruiken, maar wanneer en vooral hoe. De mens moet nadrukkelijk een rol blijven spelen.*



In 2022 presenteerde Stufib-studiecel *RoboCon* een denkmodel dat beschrijft hoe automatisering zich geleidelijk uitbreidt: beginnend bij de rekenkundige kern (berekenen, toetsen, dimensioneren) en vervolgens uitdijend naar aangrenzende stappen zoals het ontwikkelen en beoordelen van varianten, om uiteindelijk ook de meer communicatieve taken te bereiken. Dankzij de komst van AI verlopen de ontwikkelingen echter anders dan destijds voorzien.

We zien dat AI in vrijwel alle stappen in de bouw nuttig kan zijn, voor zowel constructeur, betontechnoloog als uitvoering.

Voor de *constructeur* kan het bijvoorbeeld een vraagspecificatie analyseren op relevante eisen. Of documenten vergelijken op conflicterende eisen. Het kan een ontwerprapport schrijven of een script voor parametrische berekening. Denk ook aan het genereren van verschillende varianten of het optimaliseren ervan.

Voor de *betontechnoloog* kan AI mengsels optimaliseren op basis van CO<sub>2</sub>-uitstoot. Het kan de sterkteontwikkeling voorspellen of oppervlakte-inspecties doen. Ook kan het een rol spelen bij voorraadmanagement.

Voor de *uitvoering* kan AI stortschema's optimaliseren, rekening houdend met weer, uitharding en beschikbaarheid. Het kan worden ingezet bij voortgangscontrole, kwaliteitscontrole of het detecteren van onveilige situaties. Of bij het voorspellen van onderhoud voor materieel.

AI wordt vaak geassocieerd met ChatGPT, maar AI is veel dan dat. ChatGPT is een *Large Language Model* (LLM), maar AI kan ook worden ingezet bij beeldherkenning, het voorspellen van toekomstige waarden in op basis van historische data of bij het schrijven van algoritmes.

Het is goed om te realiseren dat AI probabilistisch werkt en niet deterministisch: dezelfde vraag levert niet altijd hetzelfde antwoord op. Daardoor heeft het enorme beperkingen bij het toetsen van berekeningen. Fundamenteel is dat AI geen wereldmodel heeft en niet 'begrijpt' hoe constructies fysiek werken. Bovendien is AI sterk afhankelijk van de kwaliteit en kwantiteit van data waarop het is getraind.



*AI werkt probabilistisch en niet deterministisch*

Er kunnen verschillende soorten intelligentie worden ongescheiden. Naast AI zijn dat de mens, deterministische tools (zoals spreadsheets) en databases. De mens onderscheidt zich door creativiteit, empathie en ethiek. De kracht van AI is het herkennen van patronen en de snelheid. Spreadsheets zijn sterk door de controleerbaarheid van berekeningen en data onderscheidt zich door de feiten en actualiteit.

We moeten toe naar hybride workflows, waarbij elke vorm van deze intelligentie op de juiste plek en op de juiste manier worden ingezet. De mens blijft in dit geheel essentieel, met name op het gebied van controle. Juist vanwege het begrip van de context het kunnen nemen van ethische beslissingen en de verantwoordelijkheid. Centraal staat het zogenoemde *human-in-the-loop-principe*: de mens behoudt controle over kritieke beslissingen en geeft feedback op strategische momenten. Door deze feedback systematisch vast te leggen, kun je de workflow continu verbeteren. Zo leer je niet alleen per project, maar bouw je structureel betere workflows. Dit kun je *human-around-the-loop* noemen.

Om AI te implementeren is het zaak klein te beginnen, goed te meten en stap voor stap uit te bouwen op basis van eigen ervaringen. Het kunnen beoordelen van AI-output wordt een kernvaardigheid. Feit blijft dat de kwaliteit van je workflow staat of valt met de kwaliteit van de data. Door te experimenteren met AI krijg je beter inzicht in welke data je nodig hebt. Investeer tegelijk in het structureren en documenteren van projectgegevens.

Als sector kunnen we samen sneller vooruit door ervaringen en *best practices* te delen.

Samenwerkingen in de keten zijn van belang om grotere stappen te kunnen zetten, want hybride workflows stoppen niet bij de deur van één organisatie.

#### Links

- [Kernpunten presentatie Hybride workflows met AI](#)
- [Cement-artikel \(2022\) – ‘Robocon’, de toekomst van de constructeur?](#)

*Tekst: Jacques Linssen*