

Ondersteuningsconstructie maakt complexe rekenmethodiek noodzakelijk

Ondersteuning kunstwerk Hoogmade

Ir. P.G.S. Brouwer, SAFE bv

Het berekenen van tijdelijke hulpconstructies wordt in de bouw veelal gezien als ondankbaar werk, dat een geringe moeilijkheidsgraad heeft. Dit beeld kwam onder meer naar voren in [1]. Echter, de engineering van tijdelijke constructies vereist kennis van de toegepaste mechanica en inzicht in de geldende normen en richtlijnen. De huidige regelgeving is veelal niet duidelijk over de manier waarop een berekening moet worden uitgevoerd. Aan de hand van de ondersteuningsconstructie voor de kruising van de hsl met de A4 te Hoogmade wordt nader ingegaan op een berekeningsmethode.

Bij de toepassing van ondersteuningsconstructies in de civiele bouw komen vaak meer specifieke problemen om de hoek kijken dan bij toepassing in de woning- en utiliteitsbouw. Dit artikel gaat in op de toepassing van het Polyondersteuningssysteem van SAFE bv bij de ondersteuning van civiele werken. Hieruit blijkt de noodzaak van een onderbouwde berekeningsmethodiek voor tijdelijke constructies. In een totaal-aanpak wordt een gedegen engineering gecombineerd met de montage en demontage van de ondersteuningsconstructie, waardoor een kostenbesparing wordt gerealiseerd waarbij aan de begrippen veiligheid en inzetbaarheid niet wordt getornd.

Kenmerk tijdelijke ondersteuning

In verband met het tijdelijke karakter van ondersteuning moeten deze gemakkelijk te monteren en te demonteren zijn. Dit impliceert dat de onderdelen waaruit het systeem bestaat, goed op elkaar moeten aansluiten. Deze aansluitingen hebben meestal als consequentie dat de onderdelen plaatselijk worden verzwakt, waardoor de draagkracht van de constructie kan verminderen. Tevens ontstaat er speling tussen de onderdelen door de maatverschillen tussen de buizen. In verband met een en ander dient de stabiliteit van de constructie nauwgezet te worden geanalyseerd.

Bij blijvende constructies komen

deze problemen nagenoeg niet voor. De verbindingen zijn na het monteren praktisch spelingvrij en kunnen plaatselijk worden versterkt. De genoemde imperfecties bepalen de verschillen tussen beide constructietypen en zorgen voor grote risico's indien er geen rekening mee wordt gehouden.

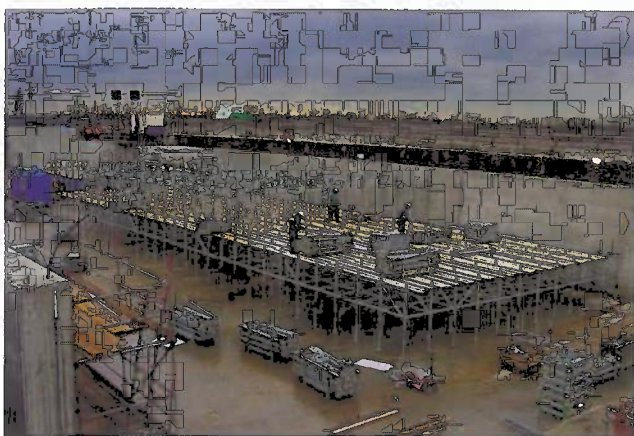
Toepassing bij civiele constructies

De civiele bouw wordt gekenmerkt door zware en vaak ingewikkelde betonconstructies. Hieruit volgt voor de ondersteuningsconstructies een aantal consequenties:

- er kunnen hellende ondergronden en bovenvlakken voorkomen;
- de betonbelastingen kunnen aanzienlijk hoger zijn dan bij de woning- of utiliteitsbouw;
- doordat de ondersteuningshoogte vaak hoger is en er vrijstaand wordt gebouwd, dient de globale stabiliteit onder invloed van de windbelasting te worden gecontroleerd.

Als voorbeeld van de relatie tussen ondersteuningssysteem en berekening wordt nader ingegaan op de ondersteuningsconstructie van het hsl-kunstwerk te Hoogmade in de kruising met de A4. Hier is het Polyondersteuningssysteem van SAFE ingezet als tijdelijke ondersteuning voor de Oostbak. Het systeem wordt gekenmerkt door een modulaire opbouw van stapelbare en uitschuifbare stempels. Het gehele systeem wordt gekoppeld en geschoord (foto's 1, 2 en 3).

Doordat de ondergrond bij het kunstwerk hellend is, wordt bij het plaatsen van de ondersteu-



7 | Constructie in opbouw

ningsconstructie gebruikgemaakt van kogelvoetplaten. Hierdoor krijgt de binnenbuis de mogelijkheid om ter plaatse van de voetvrij te roteren, waardoor de stempels verticaal geplaatst kunnen worden.

Het hoogteverloop tussen de ondergrond en de onderkant van het dek is variabel en wordt onderzocht door de uitschuifbare binnenbuis. Een verstelbare schoor zorgt ervoor dat de binnenbuis op elke uitgeschoven lengte kan worden afgeschoord. Hierdoor gaat de flexibiliteit van de con-

structie niet ten koste van de stabiliteit.

Regelgeving

Specifieke nationale normen op het gebied van tijdelijke constructies ontbreken. De nationale normenserie TGB 1990 geeft alleen belastingsfactoren en stelt de constructeur in staat om de spanning in het materiaal te controleren. In Europees verband wordt dit gat gedicht met een aantal specifieke (ontwerp)normen. Voor ondersteuningsconstructies zijn dit NEN-EN 1065 voor stempels en

de ontwerpnormen NEN-EN 12812 en 12813 voor ondersteuningsconstructies. De constructeur dient zelfinzicht te verkrijgen in de problematiek van tijdelijke hulpconstructies en deze desgewenst te vertalen naar de voorwaarden binnen de nationale normen. De Europese ontwerpnormen zijn nu nog een voorbode; in de toekomst wordt de voorgeschreven rekenmethodiek verplicht. De combinatie van de Europese (ontwerp)wetgeving met de TGB 1990 geeft momenteel voldoende houvast voor de berekening.

Berekeningsstructuur

Aan de hand van bovenstaande regelgeving is een selectie gemaakt waarmee het Polyondersteuningsstelsel kan worden berekend. Bij de berekening wordt uitgegaan van een geometrisch niet-lineaire berekening (tweede-orde) en een gedeeltelijk fysisch niet-lineaire berekening. Deze tweede-orde berekening wordt uitgevoerd met software van SCIA (ESA Prima Win).

Van de berekening van de ondersteuning van de Oostbak wordt het schema van één van de moten doorlopen:

1. Aan de hand van de karakteristieke eigenschappen van het ingezette materiaal wordt het model gemaakt (fig. 4). Hierbij worden de verbindingseigenschappen tussen de onderdelen overeenkomstig de betreffende veer-karakteristiek meegenomen. De excentriciteiten dienen hierbij ook te worden aangegeven. Aan de bovenkant grijpt de belasting excentrisch aan. Aan de onderkant worden excentriciteiten voorkomen door de kogelvoetplaat.
2. De belastingen uit de bekisting, het beton en de veranderlijke belastingen (wind en werkbelasting) dienen in rekening te worden gebracht.

Aan de hand van de verschillende belastingen worden combinaties samengesteld. Hierbij worden belastingsfactoren aan de belastingen toegekend.

3. Aan de hand van een stabiliteitsberekening (of eigenwaardeberekening) wordt het knikpatroon bepaald (fig. 5). Dit patroon vormt de basis voor het aanbrengen van imperfecties aan het model. Bij het bepalen van de imperfecties wordt onderscheid gemaakt tussen systeem- en rekenimperfecties. Met het aanbrengen van systeemimperfecties wordt de scheefstand van het systeem in rekening gebracht. Bij rekenimperfecties wordt de aanwezigheid van initiële vóórruitbuigingen, restspanningen en inhomogeniteiten in de berekening verdisconteerd.

Imperfecties

A. Lokale scheefstand (speling)

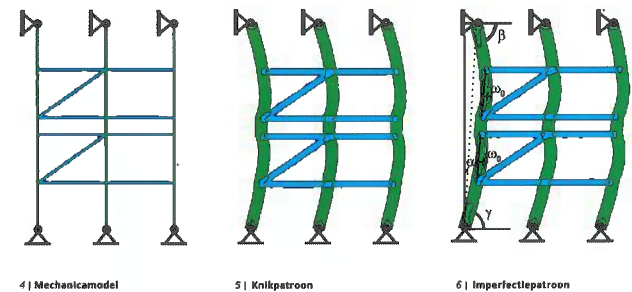
Scheefstand (systeemimperfecties) is het gevolg van de speling tussen de onderdelen in het systeem. Doordat de binnenbuis uitschuifbaar is ten opzichte van de buitenbuis, kan de speling tussen beide buizen resulteren in een scheefstand. Deze scheefstand is rekenkundig te bepalen.

B. Globale scheefstand

Ondanks dat bij de uitvoering het systeem te lood wordt gesteld, blijft er een scheefstand over die visueel nauwelijks waarneembaar is. Deze scheefstand wordt in het model gecompenseerd door een globale scheefstand aan te brengen.

C. Rekenimperfecties (vóórruitbuiging)

De rekenimperfecties worden aangebracht als vóórruitbuiging op de systeemdelen.



4) Mechanicamodel

5) Knikpatroon

6) Imperfectiepatroon

In dit geval wordt de vóórruitbuiging (α_0) tussen de geschoorde delen aangebracht (fig. 6).

Uit deze imperfecties worden verschillende imperfectiepatronen samengesteld, waarmee het buiggedrag van de constructie kan worden geanalyseerd. Bij het samenstellen van deze patronen geldt het knikpatroon als basis.

4. Als alle imperfecties zijn aangebracht, wordt een geometrisch niet-lineaire berekening (tweede-orde) gemaakt. Doordat er niet-lineaire veren worden ingevoerd, heeft de berekening ook een lokaal fysisch niet-lineair karakter. Uit de berekening volgt de krachtsverdeling aan de hand waarvan een staalspanningscontrole wordt verricht. De controle komt tot uitdrukking in een unity-check (eenheidscontrole). De waarde van de unity-check geeft een maat voor het resterende draagvermogen van de constructie aan (deze heeft een maximale waarde van 1,0). Van specifieke onderdelen als schoren dient de unity-check apart te worden bepaald. De draagkracht van dergelijke onderdelen wordt doorgaans begrensd door de sterkte van de verbindingen. Door deze aanpak worden van de constructie alle scheefstanden en

rekenimperfecties meegenomen. Uit de resultaten van de berekening volgt het krachtsverloop binnen de constructie in de vervormde situatie. Hierdoor kan de spanning in het materiaal nauwkeurig worden bepaald, aan de hand waarvan de inzet van het materiaal wordt geoptimaliseerd.

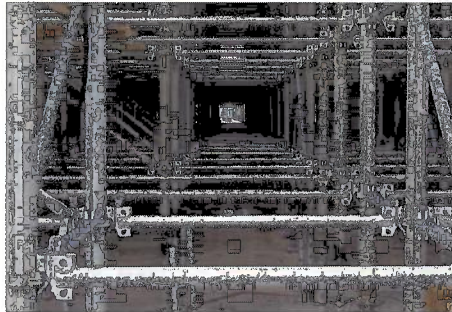
Ten slotte

Het berekenen van tijdelijke hulpconstructies is duidelijk een complex werk. Om zekerheid te hebben over de stabiliteit van dergelijke constructies dient de constructeur inzicht te hebben in de problematiek rond deze constructies, alsmede bedreven te zijn in het maken van tweede-orde berekeningen. Door op deze manier te werken kan de inzet van het materiaal worden geoptimaliseerd. De rekenmethodiek die door SAFE wordt gehanteerd is een op de toekomstige normen gerichte methode, waarbij kostenbesparing en constructieve zekerheid samengaan. ■

Literatuur

1. Van der Vliet, M.J., Op naar een CUR-Aanbeveling Hulpconstructies in de betonbouw. *Cement* 2002, nr. 3.

2 | Detail constructie



3 | Knooppunt

