

Praktijkervaringen met staal-betonconstructies



De toepassing van staal-betonconstructies neemt de laatste jaren toe. Ontwerpers onderkennen steeds vaker dat zo'n 'samenwerkende' constructie in sommige gevallen voordelen biedt boven een traditionele staal- of betonconstructie. Op basis van hun praktijkervaring met ontwerp en uitvoering, laten de auteurs de toepassingen zien waarin deze voordelen van pas komen. Ook worden enkele verbeteringen van de voorschriften voorgesteld, om de eigenschappen van staal-betonconstructies beter te kunnen benutten.

ing. R.J. Stark

Rob Stark is raadgevend ingenieur en voorzitter van het managementteam bij DHV (voorheen D3BN), Den Haag. Hij is docent voor het vak Construeren in staal-beton bij de PMSE opleiding staal-betonconstructeur, georganiseerd door Bouwen met Staal en Betonvereniging.

dr. ir. R.G. Schuurman

Remco Schuurman is directeur bij Dutch Engineering, Zoeterwoude.

Staal-betonconstructies hebben de laatste jaren een plaats veroverd in de Nederlandse bouwpraktijk. Meest bekend zijn de staalplaat-betonvloeren, waarbij een dunne, geprofileerde staalplaat tegelijk de wapening en verloren bekisting van het beton vormt. Minder bekend zijn staal-betonliggers waarbij een schuifverbinding, bijvoorbeeld in de vorm van aangelaste deuvels, zorgt voor de samenwerking tussen stalen ligger en betonnen vloer. Die vloer kan op zijn beurt een staalplaat-betonvloer zijn, of bijvoorbeeld een breedplaatvloer. Staal-betonconstructies zijn voorbeelden van 'samenwerkende' constructies. Kenmerkend daaraan is dat verschillende materialen constructief samenwerken; samen nemen ze belastingen op. Andere voorbeelden van samenwerkende constructies zijn sandwichpanelen, gewapend beton en glasvezelversterkte kunststof. Het voordeel van dit type constructies is dat de eigenschappen van verschillende materialen zo goed mogelijk worden benut. Staal kan veel trek opnemen, beton veel druk; in combinatie kunnen ze voordelen hebben boven een traditionele staal- of betonconstructie. De term 'samenwerkende' constructie moet niet worden verward met de term 'hybride'

constructie. Dat is een verzamelnaam voor constructies met verschillende materialen, die kunnen, maar niet hoeven samen te werken in eenzelfde constructie-onderdeel. Voorbeelden hiervan zijn een houten dak op stalen kolommen, een staalskelet met een betonnen stabiliteitskern, maar ook een staal-betonconstructie. Staal-betonconstructies kunnen dus worden beschouwd als een bepaald type hybride constructie.

Toepassingen

De toepassingen waarin staal-betonconstructies voordelen kunnen bieden, volgen uit de specifieke kenmerken. Een belangrijk kenmerk is het lage eigen gewicht. Dat levert besparingen op in de fundering; soms wordt het daardoor mogelijk op bestaande constructies te bouwen. Verder geeft het lage eigen gewicht extra ontwerprijheid. Het lage gewicht heeft tot gevolg dat minder materiaal nodig is; een belangrijk pluspunt met het oog op duurzaam bouwen. Ook in de uitvoering is het lage gewicht van belang, waarbij bovendien de beperkte afmetingen van onderdelen meetellen. Meestal worden de stalen onderdelen 'los' aangevoerd, wat de handling eenvoudig maakt. Het beton



wordt in een aparte arbeidsgang gestort, vaak direct vanuit de mixer, met een pomp op de betreffende bouwlaag. Onregelmatige plattegronden of constructiedelen zijn met deze uitvoeringsmethode relatief gemakkelijk te maken. Doordat het beton ter plaatse wordt gestort, ontstaat een monoliete constructie. Zonder extra maatregelen kan een staalplaat-betonvloer een schijf vormen als onderdeel van het stabiliteitssysteem.

Complexe ontwerpogaven

Grote overspanningen, uitkragende bouwdelen en hangconstructies zijn door het lage eigen gewicht van staal-betonconstructies relatief eenvoudig uitvoerbaar. Dat maakt architectonisch uitdagende vormen mogelijk, tegen beperkte meerkosten. Bijvoorbeeld gebouwen met open hoeken of gebouwen die gedeeltelijk uitkragen boven andere gebouwen.

Complexe ontwerpogaven bevatten vaak functiestapelings waarbij de verschillende stramien slechts een beperkt aantal snijpunten hebben. Dit beperkt het aantal mogelijkheden voor de plaatsing van kolommen voor het afdragen van de belasting uit de bovenbouw. Dit geldt bijvoorbeeld voor

bioscoopzalen boven een parkeergarage. Ronde en afgeschuinde vloeren en vides zijn met weinig meerkosten te maken. Doordat sparingen pas in de uitvoering worden aangebracht, kunnen wijzigingen daarin nog laat in het ontwerpproces worden doorgevoerd.

Renovatie

In de afgelopen jaren zijn veel bestaande gebouwen aangepast voor een nieuwe functie. Dan zijn vaak extra vloeren nodig of aanpassingen in de plattegrond. Juist de lichte staal-betonconstructies kunnen dan een oplossing bieden. Daarmee is de bestaande draagconstructie, vaak zonder ingrijpende veranderingen, in staat de belastingen op te nemen die bij het nieuwe gebruik zullen optreden. Bovendien zijn de onderdelen van staalplaat-betonvloeren met eenvoudig materiaal binnen het bestaande gebouw naar hun plaats te brengen en op maat te maken. Een bijzondere mogelijkheid is het draagvermogen van de bestaande staalconstructie te vergroten. Daartoe worden de bestaande stalen liggers omgevormd tot staal-betonliggers, door er een bestaande of een nieuwe betonnen vloer er constructief aan te verbinden.

Meer informatie

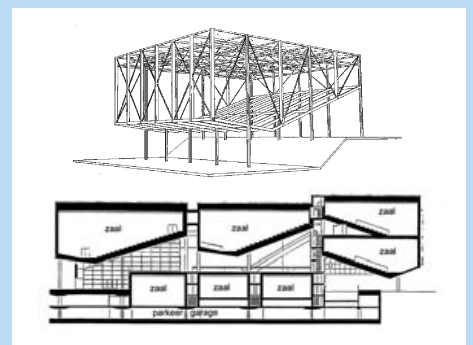
- NVN-ENV 1994-1-1 Eurocode 4 Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen, uitgever: NEN, Delft, juni 1995.
- CUR/SG-rapport 3 Staalbeton kolommen - theorie en richtlijnen, Waltman, Delft 1983.
- CUR/SG-rapport 4 Statisch onbepaalde staalbetonliggers - theorie en richtlijnen, Waltman, Delft, 1987.
- CUR/SG-rapport 7 Staalplaat-betonvloeren - richtlijnen en rekenvoorbeelden, Gouda, Rotterdam, 1991.
- Het ontwerp van staalbeton liggers met flexibele verbindingen, Rob Doomen, Afstudeerverslag TU-Delft, februari 2005.

Pathé bioscoop, Rotterdam



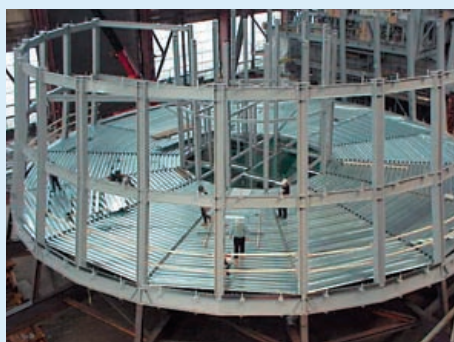
De bioscoop met zeven zalen is gebouwd op de bestaande parkeergarage onder het Schouwburgplein. Deze parkeergarage moest gehandhaafd blijven om het project financieel haalbaar te maken. De fundering bleek voldoende extra draagkracht te hebben, mits het eigen gewicht van de bioscoop zeer laag zou zijn. Normaal worden bij bioscopen zware bouwmaterialen gebruikt om een goede geluidisolatie te krijgen. Hier is een oplossing ontwikkeld

met wanden van gipsplaat die flexibel aan de draagconstructie zijn bevestigd. Om de draagconstructie zelf licht te houden, zijn overal staalplaat-betonvoeren gebruikt. Omdat kolommen in een bioscoopzaal niet wenselijk zijn, waren voor de zalen grotere overspanningen onvermijdelijk. Deze zijn uitgevoerd als staal-betonliggers. De vloeren werken als schijf voor de horizontale stabiliteit van de constructie.



Architectuur Architectenbureau Koen van Velsen, Hilversum • Advies constructie DHV B&I, Den Haag • Staalbetonconstructies Oostingh Staalbouw, Katwijk • 1995

Kantoorgebouw De Bolder, Schiedam

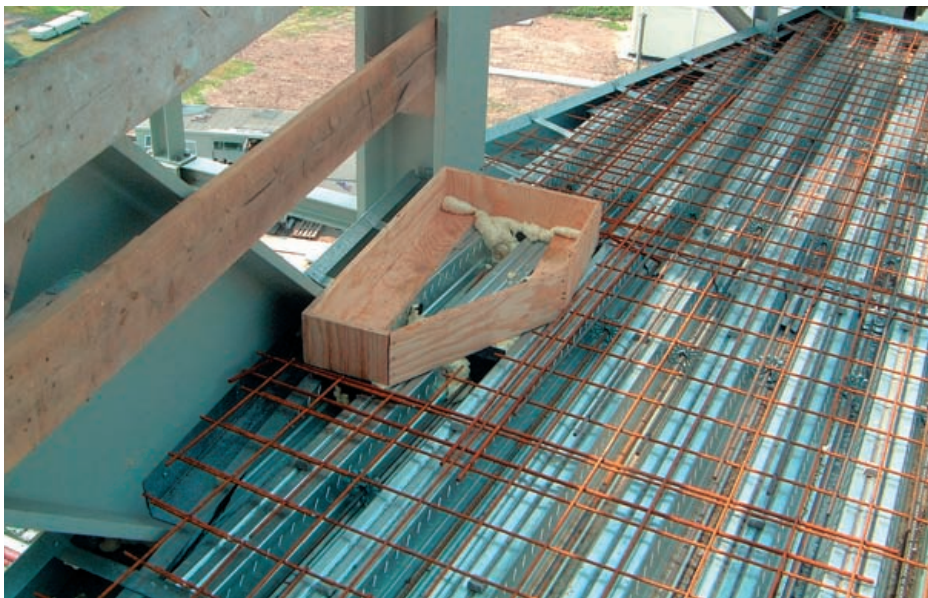


Dit kantoorgebouw is geheel gebouwd in een werkplaats. Vervolgens is het over water naar de bouwplaats vervoerd, waar de fundering inmiddels was aangelegd. Daarna restte alleen de verbinding aan openbare voorzieningen. Dit project demonstreerde dat het mogelijk is kantoorgebouwen geheel industrieel te bouwen, zonder afhankelijk te zijn van het weer. Logistiek en eigen gewicht waren belangrijke aspecten, niet zoals gebruikelijk op de schaal van bouwdelen maar van een gebouw in zijn geheel. Beperking van het eigen gewicht maakte een staalskelet tot de meest logische keuze, en als vervolg daarop staalplaat-betonvloeren. Behalve het lage gewicht telde hier als voordeel dat de ronde plattegrond gemakkelijk is te maken met weinig bouwafval en dat de bouw snel verloopt. De staalplaat-betonvloeren werken als horizontale schijven. Samen met het raamwerk van stalen kolommen in de gevel, zorgen de vloeren voor de stabiliteit en afdracht van horizontale belastingen.

Architectuur KOW Architecten, Den Haag • Advies constructie Ingenieursbureau Broersma, Den Haag • Staalbetonconstructies De Kok Staalbouw, Heerle • 2003

	toepassingen			projecten				
	hoogbouw	renovatie en herontwikkeling	dubbel grondgebruik	Pathé Cinema, Rotterdam	De Bolder, Schiedam	'Kavel 18', Amsterdam	Cinema Utopolis, Den Helder	winkelcentrum Plaza, Eindhoven
eigen gewicht	++	++	++	++	++	++	o	++
verhoogde draagcapaciteit	o	++	+	o	o	o	++	o
flexibiliteit in ontwerp	+	++	+	+	++	+	++	++
flexibiliteit in uitvoering	+	+	+	+	+	o	+	+
logistiek	++	++	++	++	+	+	+	++

Voordelen van staal-betonconstructies bij toepassingen en getoonde projecten.



Sparingen kunnen tot het laatste moment worden aangebracht.

Verticaal transport. In één kraanbeweging ligt een bundel staalplaten op de betreffende verdieping.



Bij 'optoppen', het toevoegen van extra verdiepingen op bestaande gebouwen, worden meestal extreem lichte (vloer)constructies toegepast. Biedt de betaande constructie echter voldoende reserve-draagkracht, dan is een staal-betonconstructie een goed alternatief. Door zijn extra massa is deze minder trillinggevoelig, maar nog altijd veel lichter dan een betonconstructie.

Hoogbouw

Vooral in stadscentra is er een trend hoger te bouwen. Deze projecten zijn alleen haalbaar met een efficiënte logistiek. De kraan capaciteit en het aantal voertuigen op en rond de bouwplaats zijn daarbij belangrijk.

Doordat de staalplaten van staalplaat-betonvloeren licht en dun zijn, kan in één kraanbeweging een bundel naar boven worden gebracht. Voor een even grote vloer van prefab betonelementen zouden aanzienlijk meer kraanbewegingen nodig zijn. Zonder extra materieel kunnen twee mannen de staalplaten uitleggen op de draagconstructie. Het pompen van het beton naar de verdiepingen doet geen beroep op de kraan capaciteit. Daardoor kan mogelijk met een kraan minder worden vol-

staan, wat de logistiek eenvoudiger maakt en de kosten omlaag brengt.

De toepassingsmogelijkheden van staal-betonconstructies zijn terug te vinden in verschillende projecten die de afgelopen jaren in Nederland zijn gerealiseerd. Enkele daarvan worden in de kaderteksten toegelicht.

Ontwikkelingen

De rekenregels voor staal-betonconstructies zijn vastgelegd in Eurocode 4 en in CUR/SG-rapporten. De voornorm van deze Eurocode en deze rapporten worden op basis van gelijkwaardigheid in Nederland toegepast. In de praktijk blijkt dat met deze rekenregels nog niet alle mogelijkheden van staal-betonconstructies optimaal worden benut. Daarom zou aanvulling of aanscherping op sommige onderdelen wenselijk zijn, wat uiteindelijk leidt tot economischer bouwen.

Rotatiestijfheid van verbindingen

In de ontwerpfase is het belangrijk snel en eenvoudig de rotatiestijfheid van knooppunten te kunnen schatten. Met een realistische aanname zijn ook de momenten in liggers goed te schatten, wat op zijn beurt een nauwkeurige

dimensionering mogelijk maakt. Voor doorlopende liggers over kolommen geeft de Eurocode regels voor zo'n schatting, maar voor liggers tussen kolommen is de methodiek te omslachtig. Dat heeft tot gevolg dat in de ontwerpfase óf volledige scharnieren worden aangenomen, wat tot een te zware ligger leidt, óf volledige inklemmingen, wat leidt tot dure verbindingen.

Ontwerptabellen of eenvoudige rekenregels zouden het werk van de ontwerper kunnen vereenvoudigen. Dergelijke hulpmiddelen zijn recent ontwikkeld door Rob Doomen, een student aan de TU-Delft, voor twee typen verbindingen: een contactplaatverbinding en een geboute kopplaatverbinding.

Typen schuifverbindingen

In staal-betonliggers zorgen schuifverbindingen voor de verbinding tussen staal en beton die nodig is om deze materialen constructief te laten samenwerken. Eurocode 4 behandelt alleen de veel toegepaste stiftdeuvels die op een staalprofiel worden gelast. Maar er zijn ook andere typen schuifverbindingen, bijvoorbeeld koudgeformde schietdeuvels of strips met gaten. Door ook rekenregels voor deze typen

Kantoorgebouw Kavel 18, Amsterdam



Bij dit kantoorgebouw, vlak naast de Amsterdam Arena, zijn op de onderste bouwlaag twee hoeken geheel open gehouden. Boven deze hoeken kraagt de ring van drie bouwlagen 30 m uit. De open hoeken, waarin geen enkel constructief element mocht staan, benadrukken de relatie tussen de hellende binnentuin en het openbare gebied rondom het gebouw. De uitkragingen worden gedragen door stalen vakwerken van 10,5 m hoog in de gevels en in het midden van het gebouw. Een belangrijk criterium was dat de vervormingen beheerst

en zo klein mogelijk moesten blijven. Staalplaat-betonvloeren reduceren het eigen gewicht aanzienlijk. Dit maakte het project haalbaar, niet alleen financieel maar ook esthetisch. Het gebruik van staalplaat-betonvloeren bood de gelegenheid de hoeken van het gebouw de nodige stijfheid te geven voor de horizontale stabiliteit.

Op de onderste verdieping zijn traditionele staalplaat-betonvloeren gebruikt. Hier waren een laag eigen gewicht en stempelvrije uitvoering belangrijk. Voor de hogere vloeren

waren een laag eigen gewicht en een geringe constructiehoogte van belang; daar is gebruik gemaakt van hoge staalplaat-betonvloeren en geïntegreerde liggers. Als geheel levert deze geïntegreerde oplossing een kleinere constructiehoogte op.

Architectuur Architecten Cie (Branimir Medic & Pero Puljiz), Amsterdam • *Advies constructie* DHV B&I, Ingenieursbureau Bartels, Den Haag, Utrecht • *Staal-betonconstructies* Staalbouw Nagelhout, Bakhuizen • 2003

Piazza, Eindhoven



Het veertig jaar oude winkelcentrum, naast de Bijenkorf in het centrum van Eindhoven, was naar de huidige maatstaven niet voldoende transparant. Omdat de kelder en de fundering van het gebouw niet konden worden aangepast, was renovatie de enige optie.

Door delen van de betonconstructie te slopen, zijn open ruimten en vides gemaakt. De overgang van de bestaande constructie naar de vides, is uitgevoerd met een staalconstructie en staalplaat-betonvloeren. Extra vloeroppervlak is voor een deel gevonden in vergroting van het gebouw en voor het resterende deel, door twee extra verdiepingen toe te voegen. De reservecapaciteit in de bestaande constructie en de lichte staalconstructie maakte de uitbreiding mogelijk.

Essentieel bij deze renovatie waren het lage eigen gewicht van de staalconstructie en de staalplaat-betonvloeren. Op de beperkt toegankelijke bouwplaats leverden de kleine onderdelen logistieke voordelen op. Met de staalplaatbetonvloeren waren de grillige plattegronden gemakkelijk te maken, zonder veel bouwafval.

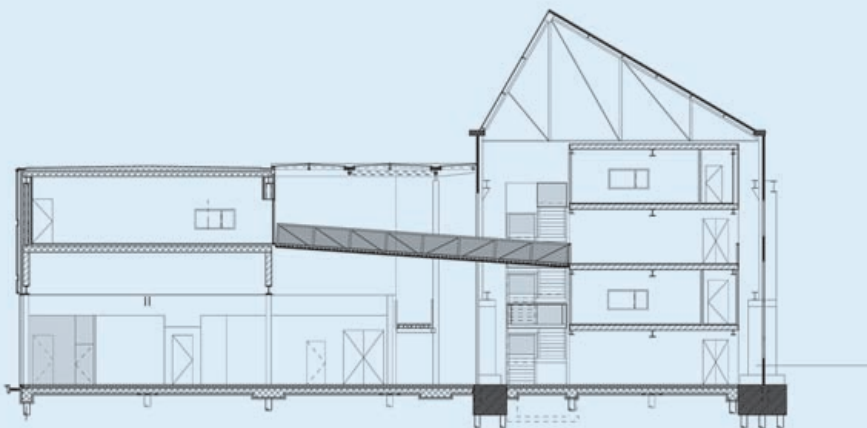
Architectuur Massimiliano Fuksas Architectto, Rome • *Advies constructie* Adviesbureau Tielemans, Eindhoven • *Staal-betonconstructies* Smulders Staalwerken, Helmond • 2004

Bioscoop Utopolis, Den Helder

In een loods op de voormalige marinewerf in Den Helder zijn vier bioscoopzalen gebouwd. Daarbij bleek het mogelijk het bestaande, geklonken staalskelet te hergebruiken. Oorspronkelijk droegen twaalf stalen binten, oude DIN 60 profielen (vergelijkbaar met de huidige HEB 600 profielen) van 14 m lang, een houten verdiepingvloer.

De liggers bleken niet sterk genoeg om de zware vloer plus de hoge veranderlijke belasting door het bioscooppubliek te dragen. Daarom zijn ze omgebouwd tot staal-betonliggers met breedplaatvloeren. Op de liggers zijn stalen deuvels gelast die met de betonvloer zijn verbonden door de gestorte druklaag.

Voor de inbouw was een licht bouwsysteem nodig; daarom zijn de zalen uitgevoerd als een dubbelwandige doos van metal-stud die trillingvrij is verbonden met de bestaande draagconstructie.



Architectuur Architectenbureau CEPEZED, Delft • *Advies constructie* DHV B&I Den Haag • *Staal-betonconstructies* Pieter de Boer Metaal, Oosterwolde • 2003-2004 • *Meer informatie* Bouwen met Staal 179

op te nemen in de Eurocode, zal de ontwerper meer keuzevrijheid hebben en kan meer marktwerking ontstaan.

Deuvels in staalplaat-betonvloeren

Bij staal-betonliggers geeft Eurocode 4 ontwerpregels voor de dwarskrachtcapaciteit van deuvels in massieve (vlakke) vloeren. Maar vaak wordt een staal-betonligger toegepast in combinatie met een staalplaat-betonvloer, waarbij een geprofileerde staalplaat de onderzijde vormt. In dat geval komen de schuifverbindingen (meestal deuvels) in de ribben van de staalplaat-betonvloer. Om de schuifcapaciteit van de deuvels te bepalen, geeft de Eurocode een reductiefactor.

Deze reductiefactor is om te beginnen niet erg nauwkeurig, zeker niet voor schuifverbindingen met een lage capaciteit. Daardoor eisen de regels soms meer deuvels dan constructief nodig is. In sommige gevallen moet zelfs een breder staalprofiel worden gekozen om voldoende plaats te bieden aan constructief onnodige deuvels. Verder is het toepassingsgebied van deze rekenregels beperkt: ze gaan tot ribben van 80 mm hoog, terwijl er producten op de markt zijn met hogere ribben.

Er is extra onderzoek nodig om de verzameling toepasbare staal-betonvloeren uit te breiden en om nieuwe, nauwkeuriger rekenregels vast te stellen.

Hoge-sterktebeton

Beton met een sterkte hoger dan C50/60 wordt in Nederland veel gebruikt, zowel in de fabriek als op de bouwplaats. Ook voor staal-betonconstructies, in het bijzonder liggers en kolommen, kan het gebruik van dit hoge-sterktebeton interessant zijn. Eurocode 4 is echter niet toepasbaar op beton met een hogere sterkte dan C50/60. Daarom is extra onderzoek nodig om nieuwe rekenregels te ontwikkelen of bestaande uit te breiden. ●

Dit artikel is gebaseerd op een lezing die de auteurs hielden voor de vijfde internationale conferentie Composite Construction die in juli 2004 in Zuid Afrika werd gehouden. De proceedingen daarvan zijn in voorbereiding. Meer informatie: www.pubs.asce.org

