



Primeur met hergebruikte prefab elementen

Circulair Centrum Nederland gebouwd
met betonelementen uit het gebouw Prinsenhof

1

In Heerde wordt gewerkt aan Circulair Centrum Nederland (CCN), een broedplaats voor kennisdeling, innovatie, onderzoek en samenwerking rondom circulaire bouwmaterialen en bouwconomie (fig. 2). Het project is niet alleen een toonbeeld voor hergebruik van constructieve, bouwkundige en installatie-onderdelen, maar ook een wereldprimeur op het gebied van de hoogwaardige inzet van prefab dragende betonelementen.

Het acht verdiepingen tellende kantoor van CCN wordt bijna volledig gerealiseerd met hergebruikte prefab gevelelementen en kanaalplaten uit het gebouw Prinsenhof A in Arnhem.

Grote uitdagingen daarbij waren de analyse, het demonteren, het onderzoeken en het verbinden van de elementen. Vanwege deze uitdagingen is CCN de Nederlandse pilot van het ReCreate-project, een Europees onderzoeksproject naar het circulair hergebruik van prefab-betonnen elementen.

Ontstaan van het project

Het Prinsenhof (foto 3), dat voorheen dienstdeed als Provinciehuis Gelderland, moest plaatsmaken voor een nieuwe ontwikkeling in de binnenstad van Arnhem. De provincie Gelderland schreef een tender uit voor de sloop. Hierbij scoorde het hoogwaardig inzetten van constructieve elementen uit het gebouw hoog op EMVI.

De tender werd gewonnen door een consortium van Lagemaat, cepezed en IMd. Belangrijk hierin was het idee van Lagemaat om de geoogste prefab dragende elementen als donormateriaal te gaan gebruiken voor de nieuwbouw van het CCN op hun eigen terrein.

auteurs



**DRS. IR. SEBASTIAAN
VAN HELLENBERG
HUBAR**

Projectleider
IMd Raadgevende
Ingenieurs



IR. PIM PETERS

Raadgevende Ingenieur
IMd Raadgevende
Ingenieurs

Bureaustudie elementen

Om te kunnen achterhalen wat in een nieuw gebouw mogelijk is met bestaande elementen, zijn archiefstukken onmisbaar. In dit geval was een goed en volledig archief voorhanden, met productietekeningen van het prefab beton inclusief de wapening. Met een bureaustudie zijn, op basis van dit archief, de geometrische eigenschappen, wapeningsconfiguratie en positie van de verschillende elementen in het oorspronkelijke gebouw achterhaald. Een globaal overzicht van de geoogste prefab elementen:

→ Dragende gevelelementen van $3,6 \times 3,6 \text{ m}^2$ met een raamopening van $2,4 \times 1,7 \text{ m}^2$ met een dragend binnenspouwblad van 175 mm, deels voorzien van een nok voor de oplegging van de kanaalplaat. Het buitenspouwblad is verwijderd om in de nieuwe situatie te kunnen voldoen aan eisen op het gebied van isolatie.

→ Dragende kernelementen met een dikte van 175 mm (worden niet in CCN hergebruikt)

→ Kanaalplaten met een dikte van 300 mm, een met druklaag van 70 mm en een overspanning van 12,6 m

De gevelelementen verschilden op de volgende punten: →



- Lichte of zware wapening in de penanten
- Zwaardere of lichtere wapening in de bovenlatei
- Afschuining bij de verticale van beëindiging hoekelementen

Op basis van de constructieve gegevens zijn als eerste controleberekeningen gemaakt om de draagkracht van de elementen in beeld te brengen. Alle elementen zijn in een 3D Revit-model gemodelleerd.

Ontwerpen met hergebruikte elementen

Je kunt het ontwerpen met donormateriaal op twee manieren benaderen:

1 Ontwerp centraal: je ontwerpt het gebouw op dezelfde manier als met volledig nieuw materiaal en gaat daarna pas op zoek naar een passende donor.

2 Donor centraal: je gaat uit van het donormateriaal dat beschikbaar is en stelt die elementen centraal in het ontwerpproces. Hierbij moet het ontwerpteam de puzzel maken om binnen de grenzen van het donormateriaal tot een goed ontwerp te komen.

Bij de eerste manier (ontwerp centraal) bestaat het risico dat er geen volledig passende

donor wordt gevonden en dat het ontwerp in een latere fase alsnog moet worden afgestemd op het donormateriaal. Ook kan het vinden van een goede donor te veel tijd kosten. Dat kan ertoe leiden dat het ontwerp alsnog met nieuw materiaal moet worden gerealiseerd en de duurzaamheidsambitie voor de CO₂-footprint verloren gaat.

Vanuit dat perspectief is de tweede manier (donor centraal) in onze optiek de enige juiste methode om te ontwerpen met hergebruikte elementen. Toch heeft ook deze variant nadelen. Vanaf het begin van het ontwerp tot de start van de bouw gaat enige tijd voorbij. Het donormateriaal moet in deze periode beschikbaar blijven of vroeg in het ontwerptraject al worden aangeschaft en/of opgeslagen.

Dit was ook het geval met de elementen van het Prinsenhof. Vanaf de demontage in 2022 tot de start van de bouw in september 2026 zijn de herbruikbare elementen op het tasveld bij Lagemaat opgeslagen (foto 4).

Database Om het ontwerpen met donormateriaal echt een vlucht te laten nemen, zou het goed zijn wanneer er een toegankelijke database zou bestaan met gebouwen die in de nabije toekomst in aanmerking



PROJECTGEGEVENS

project

Circulair Centrum
Nederland (CCN)

opdrachtgever

Lagemaat

architect

cepezed

constructeur

IMd Raadgevende

Ingenieurs

aannemer

EQLO

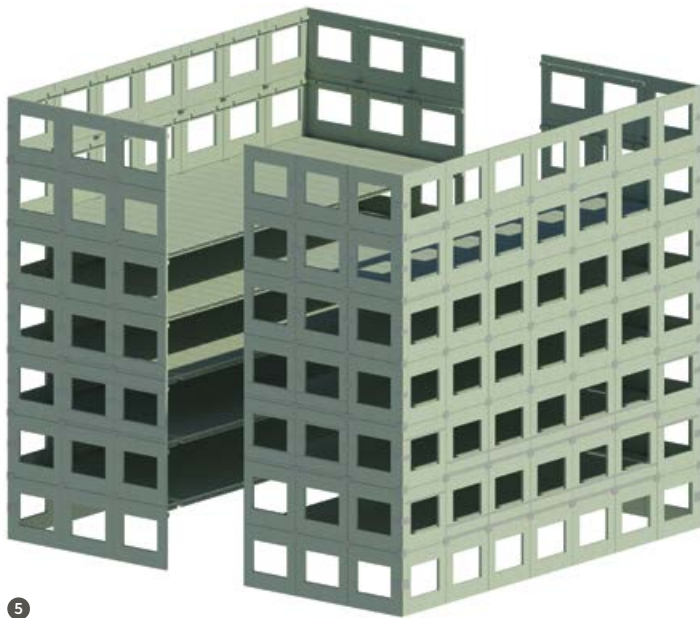
Het beschikbare donormateriaal vormde het uitgangspunt voor het ontwerp

komen voor demontage en met informatie over welk donormateriaal daaruit te winnen is. Op die manier kan er worden ontworpen met die donorelementen, voordat de donor wordt gedemonteerd, en wordt de periode van opslag verkleind.

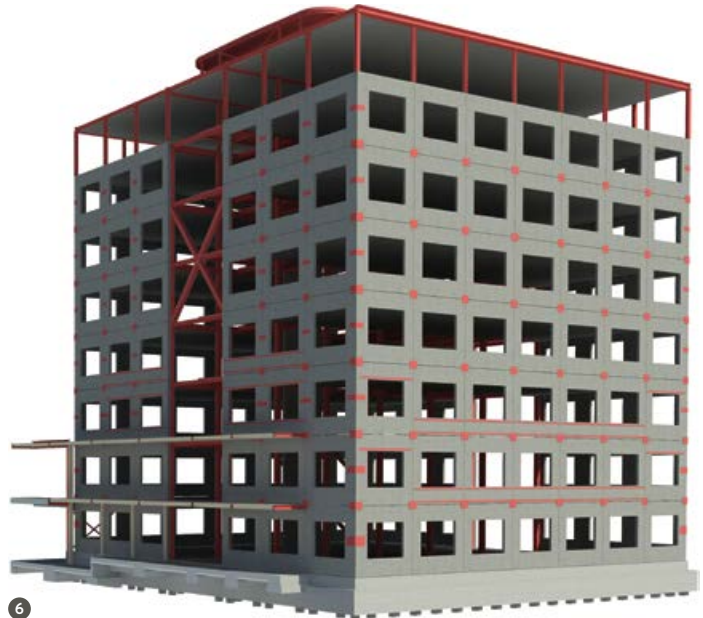
Onderzoek kwaliteit Als er donormateriaal is gevonden en gedemonteerd, moeten de

risico's in beeld worden gebracht. De elementen hebben een geschiedenis waarin schade of aantasting kan zijn ontstaan. Ook de demontagefase kan zijn sporen hebben achtergelaten. Of de elementen zijn toch anders gerealiseerd dan in de archiefstukken is vastgelegd. Het zijn allemaal aspecten die onderzoek naar de kwaliteit van het donormateriaal vragen om de constructieve →





5



6

veiligheid van de nieuwbouw met donormateriaal te kunnen borgen.

Binnen het ReCreate-project is hiervoor een protocol opgesteld. Daarin staat waarop moet worden gelet en hoeveel onderzoek moet worden gedaan, voor en na demontage. Het protocol omschrijft goed welk proces moet worden doorlopen. Meer over dit protocol staat in het artikel 'Protocol voor hergebruik constructief beton' elders in deze *Cement*.

Voor het hergebruik van de elementen voor CCN is dit protocol gevolgd. Zodoende zijn visuele én technische controles uitgevoerd.

Constructief ontwerp

Een intensieve voorlopige ontwerpfase, waarbij werd bekeken wat wel en niet haalbaar is met de donorelementen, resulteerde in een ontwerp voor CCN met twee kantoorvleugels en een middengebiet ertussen (fig. 5). Het nieuwe ontwerp is nagenoeg uitsluitend met de hergebruikte elementen gerealiseerd.

De overspanning van de kantoorvleugels is 10,2 m en wordt gerealiseerd met hergebruikte kanaalplaten. De gevels zijn gerealiseerd met hergebruikte dragende gevelelementen. Het middengebiet heeft een overspanning van 5,4 m en is uitgevoerd in staalplaatbetonvloeren. De draaglijnen in dit middengebiet worden in staal uitgevoerd. Deze zone herbergt de trappen, liften en

installatieschachten. Door deze afwijkingen was het gebruik van donormateriaal hier niet efficiënt.

In het Prinsenhof hadden de gevelelementen uitsluitend een verticaal dragende functie. Bij het hergebruik in CCN krijgen ze ook een stabiliserende functie, zowel in de langs- als in de dwarsgevel. Door het opwaarderen van de functie van deze elementen was een open plattegrond mogelijk, zonder stabiliteitskernen.

Het doel is om zoveel mogelijk met demontabele knopen te ontwerpen, zodat toekomstige demontage wordt vereenvoudigd. Bijkomend voordeel is dat hiermee kennis en ervaring wordt opgedaan met dit type knopen voor het ReCreate-project.

Legpuzzel voor constructeurs

Op basis van de gewichts- en stabiliteitsberekening van CCN was inzichtelijk welke krachten in zowel de langs- als de dwarsgevel op de verschillende verdiepingen zouden optreden. Met de gegevens van de gevelelementen kon de legpuzzel worden gemaakt: welk element wordt waar toegepast. Doel was zoveel mogelijk elementen te gebruiken die voldoen aan de eisen. Zo konden aanpassingen worden vermeden.

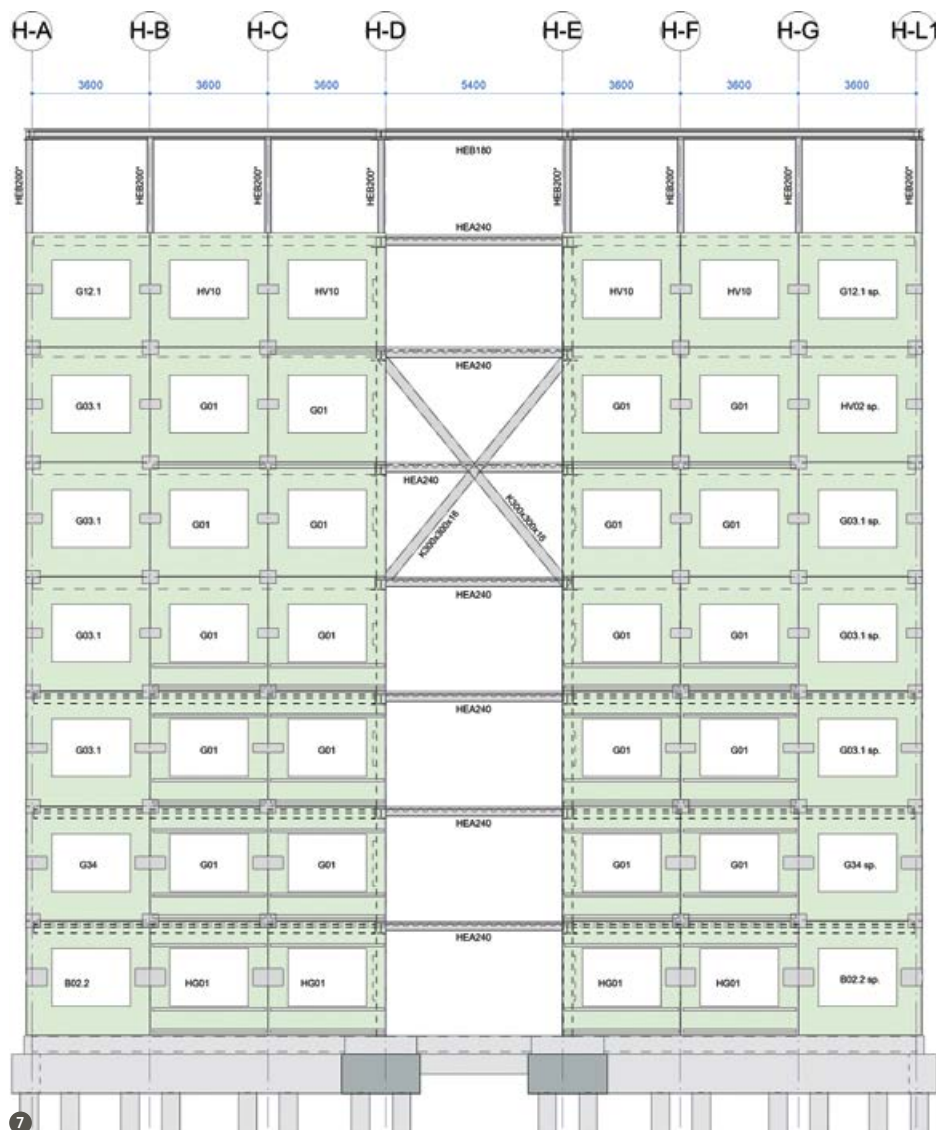
Stabiliteit Omdat de gevelelementen ook een stabiliserende functie krijgen, moest de

In de dwarsgevel zijn minder elementen aanwezig om de stabiliteit te verzorgen. Daardoor is sprake van onvoldoende stijfheid en te grote krachten. In eerste instantie is overwogen de raamopeningen op de onderste verdiepingen dicht te zetten met stalen kruizen. De gedachte hierbij was dat dit vóór de plaatsing van de elementen kon worden voorbereid. Een alternatief was het toepassen van aanvullende stabiliteitsvoorzieningen in het middengebied: een aanvul-

Verbindungen

Het Prinsenhof was niet ontworpen om te demonteren. Zoals gebruikelijk waren de gevelelementen gekoppeld met aangegoten stekken. Voor het demonteren zijn de →

*Hergebruikte
gevelelementen
krijgen naast een
dragende ook een
stabiliserende
functie*



Met een fullsize mock-up zijn de verbindingen, maatvoering en uitvoering vooraf getest

onderlinge stekkoppelingen en de koppelingen met de vloer doorgezaagd. De vloer is ter plaatse van de plaatnaden losgezaagd.

De voegvullingen en de druklaag hadden een dusdanig hoge betonsterkte dat breken van de voeg niet mogelijk bleek. Ook het verwijderen van de voeg en de druklaag bleek niet haalbaar zonder vergaande schade aan de kanaalplaat. Deze zijn dus niet verwijderd.

Dit alles bracht extra aandachtspunten met zich mee voor de nieuw te maken verbindingen. Opgemerkt moet worden dat, als de constructieve druklaag zoals hier niet kan worden verwijderd, de kanaalplaten eigenlijk niet geschikt zijn voor hergebruik.

Koppeling vloerschijf Aan de TU Eindhoven is, als onderdeel van het ReCreate-project, onderzoek gedaan naar een manier om een koppeling tussen de platen met druklaag te realiseren. De oplossing is gevonden in het gebruiken van een cilinder in een boorgat, in de dikte van de druklaag en ter plaatse

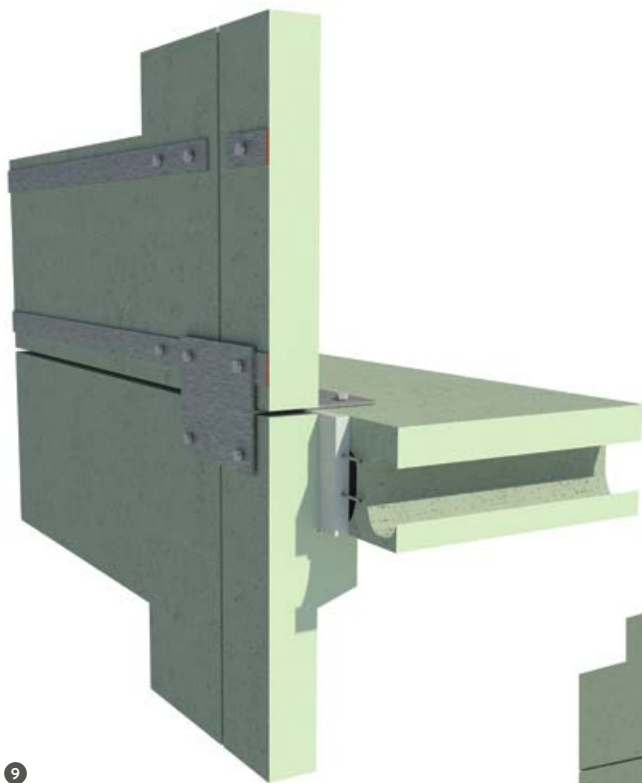
van de plaatnaad. Deze werkt als deuvel tussen de twee platen om afschuifkrachten over te brengen (foto 8). Deze oplossing kan eenvoudig op de vloer worden aangebracht, is demontabel en heeft een significante capaciteit. In combinatie met het extern aanbrengen van een trekband is met deze cilinders een nieuwe vloerschijf te realiseren. De vloerschijf moet wel nog aan de gevelelementen worden gekoppeld.

Koppeling vloerschijf – gevelelementen

Ook de vloerschijf en de gevelelementen moesten worden gekoppeld. Deze koppeling heeft meerdere functies: het afdragen van de stabiliteitskrachten in de vloerschijf naar de stabiliserende elementen en het horizontaal steunen van de op winddruk of -zuiging belaste gevel. De oplossing is een plaat aan de buitenzijde van de gevelelementen en een strip door de voeg naar binnen, die wordt verankerd aan de kanaalplaat (fig. 9).

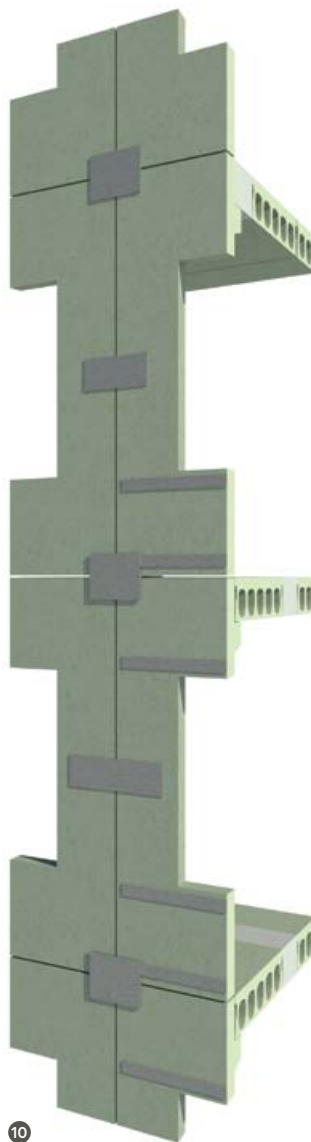
In de ontworpen koppeling (fig. 9) is het mogelijk om bij uitval van een element,





in een tweede draagweg te voorzien. De opstaande rand zorgt aan de buitenzijde bovendien voor een aanslag bij het plaatsen van de elementen en de mogelijkheid om in de langsgevel de elementen praktisch aan elkaar te koppelen. In de langsgevel worden namelijk geen stekken toegepast. De bovenbelasting is groot genoeg zodat er geen trek optreedt en de horizontale afschuifkrachten kunnen op wrijving worden overgedragen. Daar komt bij dat het niet hoeven boren van nieuwe stek-gainverbindingen veel werk scheelt in het voorbereiden van de elementen.

Koppeling gevelelementen In de dwarsgevel treedt vanwege het gebrek aan bovenbelasting wel trek op en is de wrijving onvoldoende. Hier zijn wel stekken toegepast. Die zijn enkel op de horizontale afschuifkracht ontworpen. In de naast elkaar gepositioneerde penanten van de elementen is afwisselend trek en druk aanwezig. Door met een staalplaat de penanten te koppelen (fig. 10), wordt evenwicht gecreëerd en hoeft er geen trek naar het onderliggende element te worden overgedragen. Een alternatief zou zijn →



RECREATE

ReCreate is een Europees onderzoeksproject waarbinnen onderzoek wordt gedaan naar het circulair hergebruik van prefab-betonnen elementen.

Naast Nederland namen ook Duitsland, Finland, Zweden en Kroatië deel, waarbij zowel bedrijven als onderwijs- en onderzoeksinstituten betrokken zijn. Vanuit Nederland zijn dit TU/e, TNO, VBI, Lagemaat en IMd. Er wordt onderzoek gedaan in verschillende werkpakketten. Dit is niet enkel op technisch vlak (demontage, reburishen, ontwerpen en bouwen), maar ook op economisch vlak (businessmodellen) en sociaal vlak (sociale acceptatie enz.).

Voor meer informatie:

<https://recreate-project.eu/>.



om de stekken tevens op trek te ontwerpen. Dan is een langere overlappingslas en dus een grotere steklengte nodig, met meer boorwerk. Ook vanuit de aannemer ging daarom de voorkeur uit naar de staalplaat.

Meer over de binnen het ReCreate-project ontwikkelde verbindingen staat in het artikel 'Demonteren en opnieuw verbinden', elders in dit nummer.

Mock-up

Omdat voor het eerst op zo'n grote schaal hergebruikte prefab elementen worden ingezet, is het belangrijk voor start bouw na te gaan wat er in de uitvoering mis kan gaan of wat er vooraf mogelijk over het hoofd is gezien. Daarom is ervoor gekozen om na het ontwerpen van de verbindingen een fullsize mock-up te maken om zo de verbindingen en de maatvoering in het werk te testen (foto 1, 11 en 12). De belangrijkste leerpunten uit de mock-up worden hieronder opgesomd.

Breedte platen Doordat niet exact dezelfde kanaalplaten naast elkaar worden gelegd,

sluiten de zaagsnedes niet op elkaar aan. Daardoor is de breedte van drie platen samen niet langer gelijk aan de breedte van één gevelement. De oplossing was vrij eenvoudig: over de gehele vloerschijf één plaat minder toepassen en twee stortstroken introduceren. Dit betekende wel dat de verbinding tussen gevelement en kanaalplaat niet kan worden gebaseerd op een standaarduitlijning van de kanalen ten opzichte van het gevelement.

Trillingen Normaal gesproken zijn kanaalplaten dankzij de aangestorte kelkvoeg in staat om belasting te spreiden via die voeg. In de hergebruiksituatie ontbreekt die functie, waardoor de platen al snel bleken te 'deinen' wanneer erover werd gelopen. De oplossing: ter plaatse van de cilinders die voor de schijfwerking worden toegepast is een draadeinde aangebracht met een plaat onder de vloer, waardoor alsnog spreiding van krachten mogelijk is.

Voor de verschillende situaties zijn metingen verricht om het comfortniveau vast te stellen.



Qua trillingseisen zou de oorspronkelijke verbinding zonder platen al voldoen. Om het comfort te verhogen en vanwege de kans op schade aan de afwerkvloer, is toch gekozen voor de verbinding met platen.

Ankers Oorspronkelijk was het idee om voor de verbindingen van de gevelelementen onderling ankers op de bovenzijde van het element aan te brengen, zodat deze in de voeg en uit het zicht zouden vallen. In de praktijk bleken hiervoor de toleranties in de voeg te beperkt, wat tot problemen leidde bij het op de juiste hoogte stellen van de elementen. Daarom is gekozen om de boorankers voor de verbindingen met staalplaten vanaf de buitenkant van het gevelelement in de spouw te plaatsen (fig. 9).

Tot slot

Hergebruik van prefab-betonelementen is een reële mogelijkheid, zo wordt bij CCN duidelijk gemaakt. Het leidt naast het voorkomen van verspilling van primaire grondstoffen ook tot een verlaging van de CO₂-uitstoot. Bij het ontwerpen met hergebruikte elementen moet de ontwerpend constructeur zijn creativiteit en vakkennis vol inzetten. De capaciteit van de donorelementen moet leidend zijn en versterkingen dienen slechts als incidentele ondersteuning. Ook de samenwerking met overige bouwpartners is belangrijk; ketenintegratie is een must om deze projecten te doen slagen. In het ontwerp spelen immers de details, maatvoering en toleranties een grotere rol. Als meer bewerkingen nodig zijn, werkt dat direct door in de kosten. ●

