



1

Verdubbeling van de draagkracht

In het hart van Rotterdam, tegenover het stadhuis, staat het ontwikkelingsproject 'Cool 63'. Het betonnen casco uit 1957 is geheel gestript en wordt omgebouwd tot een pand met verschillende bestemmingen. Bij twee vloeren is de draagkracht verdubbeld van 250 kg/m² naar 500 kg/m². Dit is mogelijk gemaakt door de toepassing van uitwendige koolstoflijmwapening en een geavanceerd rekenmodel.

Tekst: Mark Verbaten en Leo Bouman - Foto's: ABT

De transformatie van het voormalige bankgebouw in hartje Rotterdam wordt uitgevoerd door BAM Utiliteitsbouw. Uiteindelijk moet het een veelzijdig pand worden met kantoor- en winkelruimten, appartementen en horecavoorzieningen. Op de eerste en tweede verdieping zijn vloersecties

aangewezen, waarbij het vanuit het beoogde gebruik noodzakelijk is om de draagkracht te verhogen van 250 naar 500 kg/m². De verhoging van de toelaatbare belasting is mogelijk gemaakt door de vloer aan de onderzijde te versterken met uitwendige koolstoflijmwapening en aan de bovenzijde

van een traditioneel gewapende druklaag te voorzien.

De koolstoflijmwapening is gedimensioneerd door ABT uit Velp en uitgevoerd door Balm Uitwendige Wapening uit Vianen. De druklaag is ontworpen door Van Rossum Raadgevende Ingenieurs uit Rotterdam. In dit artikel worden de specifieke ontwerpaspecten van koolstoflijmwapening in relatie met dit project besproken. Daarnaast wordt uitvoerig ingegaan op de uitvoering.

Paddenstoelvloer

Het in het werk gestorte betonnen casco bestaat uit een kolommenstructuur waarop een paddenstoelvloer met een dikte van 200 mm is aangebracht. De kolommen zijn op een stramien van

7 m respectievelijk 6,5 m geplaatst. Boven de kolommen zijn kolomplaten met een dikte van 300 mm en een breedte van 2 m aangebracht. Langs de vloerrand is een versterkte strook van eveneens 300 mm dikte en een breedte van 1.000 mm aangebracht. De traditionele wapening bestaat uit gladstaal met een kwaliteit QR24 en de betonkwaliteit is destijds op een kubusvastheid van 200 kg/cm² na 28 dagen uitgevoerd. De vloer is oorspronkelijk ontworpen op een draagkracht van 250 kg/m².

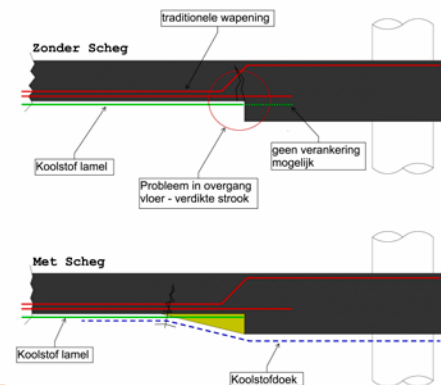
Het versterken van constructies met behulp van koolstoflijmwapening of ook wel CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) genoemd, wordt op een steeds grotere schaal in Nederland toegepast. Het materiaal bestaat uit koolstofvezels die via pyrolyse uit acrylvezel worden gewonnen en het heeft een zeer hoge treksterkte. In de huidige bouwpraktijk worden deze vezels vooral toegepast in de vorm van laminaten en weefsels (sheets of doek), die achteraf op de te versterken constructie worden verlijmd met een epoxy. De gewenste versterking kan

- 1 **Lamellen in kruisverband bij de transformatie van een voormalig bankgebouw in Rotterdam.**
- 2 **Een schegconstructie.**
- 3 **Het rekenprogramma Diana.**

noodzakelijk zijn vanwege het ontbreken van wapening, sparingsen die achteraf worden aangebracht, het herstellen van bouwfouten of bij wijziging in het gebruik waarbij een belastingverhoging noodzakelijk is.

Laminaten

Bij laminaten zijn de koolstofvezels vooraf via een pultrusieproces ingebed in een epoxy matrix. Deze laminaten hebben doorsnede afmetingen die kunnen variëren van 50 tot 120 mm breedte met een dikte van 1,2 of 1,4 mm. De laminaten kunnen praktisch in elke lengte worden aangeleverd. Voordeel van laminaten is de zuiver rechte ligging van de vezels in de matrix waardoor er geen verlies aan stijfheid en treksterkte optreedt. De applicatie van deze laminaten kan, in relatie tot meer traditionele versterkingsmetho-



2

de met bijvoorbeeld stalen onderslagbalken, zeer snel en eenvoudig plaatsvinden.

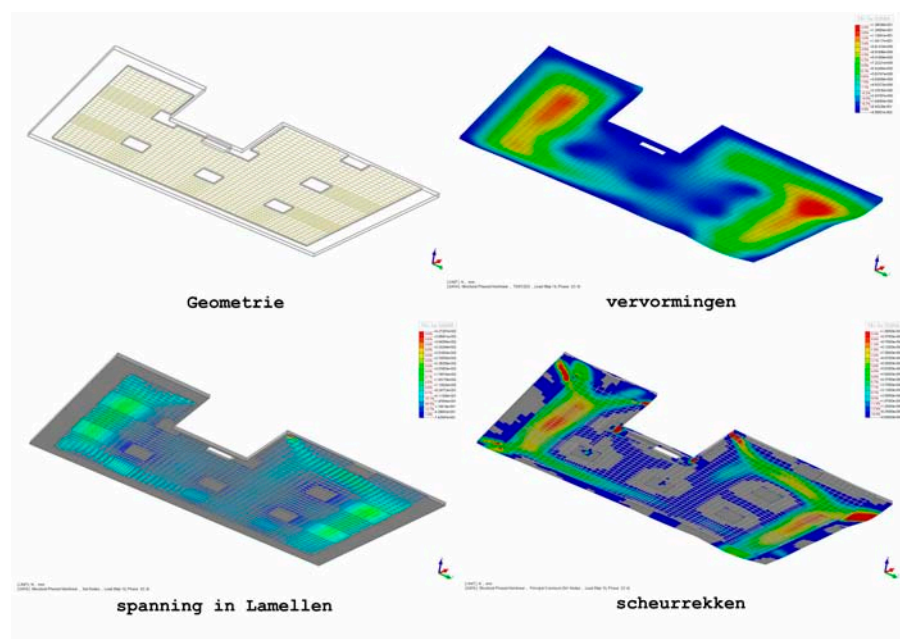
Koolstofdoek of -sheets bestaan uit een weefsel van losse koolstofvezels. Tijdens de applicatie wordt er pas epoxy toegevoegd. Het is met koolstofdoek daarom mogelijk om 'ronde' vormen te versterken of met koolstofdoek een uitwendige hoek te wapenen. Voordeel ten opzichte van laminaten is de vormvrijheid. Nadeel is echter de langere applicatietijd en voorbereiding die noodzakelijk zijn. Bij het versterken van de vloersecties in het project Cool 63 is gebruikgemaakt van laminaten.

Schegconstructie

De benodigde versterking van de verdiepingsvloeren is in verschillende stappen berekend. Van een relatief eenvoudige geometrie als de betreffende twee vloeren, is de krachtswerking via gebruikelijke wijzen als de coëfficiëntenmethode of via lineaire 2D-plaatrekenprogramma's eenvoudig te bepalen. Bij de vloeren van Cool 63 zijn de optredende krachten in eerste instantie ook zo bepaald, waarop vervolgens de benodigde versterking in de vorm van een betonnen druklaag en uitwendige koolstoflijmwapening zijn berekend.

Het bleek echter dat nabij de overgang van de vloer naar de verdikte kolom en randstrook te weinig originele wapening aanwezig was. Omdat de

3





Door gebruik te maken van de gedeeltelijke inklemming die de bestaande beton kolommen leveren is het optredende veldmoment gereduceerd. De tweede berekeningsstap bestond uit een vergelijking van het Diana-rekenmodel – zonder invloed van de kolominklemming en met lineair elastisch materiaalgedrag – met de uitkomsten van de coëfficiëntenmethode en het 2D-plaatprogramma Scia engineer. Het bleek dat de uitkomsten tussen de verschillende rekenmodellen goed overeenkomen.

Geconcludeerd werd dat de randvoorwaarden in het Diana-rekenmodel overeenkomen met de overige lineaire rekenmodellen. Deze verificatiestap is nodig om te voorkomen dat de geavanceerde modellering een 'Black Box'-berekening wordt en controle door derden mogelijk is.

De derde stap bestond uit het aanpassen van het lineair elastische materiaalgedrag naar niet-lineair elastisch gedrag. Hierbij werden vooraf geschatte hoeveelheden uitwendige lijnwapening als equivalente hoeveelheden stalen wapening gemodelleerd. Ook uit deze berekening bleek dat de overgang van vloer naar verdikte randstrook maatgevend was.

Door de gedeeltelijke inklemming van de kolommen en de torsiestijfheid van de verdikte randbalk werd de trekspanning in de traditionele wapening ter plaatse van de vloerovergang voldoende gereduceerd. Hiermee bleek een schegconstructie niet noodzakelijk. De geavanceerde berekeningen zijn uitgevoerd volgens de PF-methode (PartialFactor). Dit is een veiligheidsbeschouwing volgens de fib modelcode 2010. Hierbij wordt gebruikgemaakt van lagere ontwerpparameters voor de sterkte van de verschillende materialen.

De hiermee berekende draagkracht is meteen de ontwerpwaarde van de draagkracht van de versterkte vloer (zie afbeelding 3).

uitwendige lijnwapening niet 'in' de verdikte strook kan worden verankerd zou een zogenoemde schegconstructie (zie afbeelding 2) noodzakelijk zijn om de koolstoflijnwapening over de verdikte randbalk te leiden en op deze wijze de benodigde capaciteit te halen.

Rekenprogramma

Om onthechting van de koolstoflijnwapening in de inwendige hoek, als gevolg van trekspanningen haaks op het lijnvlak, te voorkomen, zou een mechanische verankering noodzakelijk zijn.

Gezien het feit dat de relatief dure schegconstructie over een grote leng-

te toegepast zou moeten worden is ervoor gekozen om de krachtswerking in de vloer te benaderen met het NLEEM (Niet Lineaire - Eindige Elementen Model) rekenprogramma Diana. Met dit geavanceerde rekenprogramma is het mogelijk om een geometrie van 3D-volume-elementen fysisch en geometrisch niet-lineair te beschouwen. Dit houdt bijvoorbeeld in dat het scheurgedrag van het beton in combinatie met het vloeigedrag van het wapeningsstaal in rekening kan worden gebracht. Het werkelijke gedrag van de vloer kan op deze wijze veel beter worden onderzocht dan met de gebruikelijke lineaire rekenprogramma's.

4

Uitvoering

Renoveren met zo'n tweehonderd mensen tegelijkertijd op een zolderkamer, daarmee kan men het beste de renovatie van de Cool 63 vergelijken. Maanden voordat met de uitvoering van het werk kon worden begonnen, heeft de opdrachtgever BAM Utiliteitsbouw Balm benaderd om mee te denken met dit werk conform de principes van het lean bouwen-concept.

In deze aanvangsfase zag het er naar uit dat er een ingewikkelde verankeringsconstructie moest worden gemaakt om de koolstoflijmwapening zijn krachten te kunnen laten afdragen ter plaatse van de overgang van vloer naar verdikte stroken. Door goed overleg tussen ABT en BAM is met behulp van geavanceerd rekenen extra draagkracht aangetoond met het Diana-model. Hierdoor bleken de arbeidsintensieve schegconstructies niet nodig. Dit leverde een substantiële tijds- en kostenbesparing op. Voor dat de werkzaamheden konden aan-

vangen is de constructie op een flink aantal punten op aanhechtsterkte beoordeeld. Dit was nodig om de exacte uitgangspunten voor de berekeningen te kunnen aanleveren. Daarbij werd de ondergrond gecontroleerd op vlakheid, eventuele onvolkomenheden en beschadigingen. Na deze controle moesten de plafonds partieel worden uitgevlakt en gerepareerd. Hierna is de ondergrond gestraald en was daarmee gereed om de lijmwapening te kunnen aanbrengen. Hierbij werden de laminaten op rollen aangeleverd en konden de juiste lengtes worden afgeknipt (zie afbeelding 4).

Deelplanning

Balm stond voor de uitdaging om binnen drie weken tussen alle overige werkzaamheden door circa 3.000 m koolstoflijmwapening aan te brengen. Bijkomend probleem hierbij was dat niet het gehele te versterken vloerdeel ter beschikking stond, maar dat steeds kleine vloerdelen werden aangeboden om het werk te realiseren. De dagelijkse werkzaamheden bestonden uit het maken van een deelplanning in overleg met de opdrachtgever, waarna de ondergrond kon

worden geïnspecteerd. Per verdieping werden vervolgens de controleproeven gedaan om te kijken of er aan de vooraf gestelde eisen werd voldaan. Door strak en goed dagelijks overleg volgens het lean bouwen-concept is het gelukt geheel volgens de wens van de opdrachtgever het werk op tijd te realiseren. Een uitdaging die uiteindelijk goed is geslaagd.

Bij het project Cool 63 is gebleken dat een verdubbeling van de draagkracht van een verdiepingvloer economisch mogelijk is door het toepassen van uitwendige koolstoflijmwapening. Met behulp van geavanceerd rekenen is de werkelijke krachtsverdeling beter in kaart gebracht, waardoor een ingewikkelde en arbeidsintensieve schegconstructie achterwege kon blijven. Door goed overleg vooraf is de applicatie van de koolstoflijmwapening, in combinatie met de overige werkzaamheden, goed verlopen. **vtm**

Ingenieur Mark Verbaten is werkzaam als senior specialist civiele techniek bij ABT Adviseurs in Bouwtechniek te Velp. Ingenieur Leo Bouman is werkzaam als directeur bij Balm Uitwendige Wapening te Vianen.

- 4 De lamellen werden op rol geleverd en konden op maat worden geknipt.
- 5 De lamellen worden geplakt.

