

RUIMTELIJKE ORDENING AAN DE ORDE
AKTEN VAN COLLOQUIA



ENGINEERING ERFGOED
150 JAAR STRUCTUURINNOVATIE IN BRUSSEL

Studiedag van 7 juni 2011,
georganiseerd door de VUB,
de ULB en het CIVA



Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest
Bestuur Ruimtelijke Ordening en Huisvesting

Nieuwe reeks 'Ruimtelijke ordening aan de orde. Akten van colloquia'

Over ruimtelijke ordening en huisvesting in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest worden vele debatten gevoerd. Dat is niet verwonderlijk, want het betreft hier gevoelige onderwerpen zoals de leefomgeving, huisvesting, infrastructuur en openbare ruimten.

Om een tastbaar spoor van deze gesprekken te kunnen bewaren, zal het Bestuur Ruimtelijke Ordening en Huisvesting (BROH) een nieuwe reeks uitgeven met als titel 'Ruimtelijke ordening aan de orde. Akten van colloquia'.

Deze reeks bundelt de akten van de verschillende colloquia, studiedagen, rondetafels, seminaries en andere conferenties die het BROH intern of extern organiseert of financieel steunt.

De conferenties die sinds 2011 werden gehouden in het kader van de 'Middagen van het BROH', komen in een aparte jaarlijkse uitgave.

Dit werk is het eerste van de nieuwe reeks.

Om een nummer van deze publicatie te bekomen, neemt u contact op met ons via telefoon (02 204 17 68/69) of mail (broh.communicatie@mbhg.irisnet.be).

U kunt dit document downloaden op www.stedenbouw.irisnet.be.

Engineering erfgoed : 150 jaar structuurinnovatie in Brussel

Verslag van de studiedag van 7 juni 2011, georganiseerd door de ULB, de VUB en het CIVA in het kader van de tentoonstelling *Brussel, een sterk staaltje van engineering* (20 mei tot 2 oktober 2011 in het CIVA) en de gids *In de voetsporen van de bouwkundig ingenieurs*.

Verantwoordelijke uitgever: Philippe Thiéry, coördinator van het BROH - CCN, Vooruitgangstraat, 80/1 B-1035 BRUSSEL

Onder leiding van: David Attas en Michel Provost

Nalezing en revisie: Rika Devos (NL), Ine Wouters (NL), Bernard Espion (FR), Armande Hellebois (FR) en Myriam Goblet (FR-NL)

Vertaling: 3T Vertaalbureau BVBA

Grafisch concept: BROH communicatie

Fotocredits: zie bijzondere vermeldingen onder de foto's

Foto op de kaft:

Gevel van de bank Lambert (ING)

Het Berlaymontgebouw in opbouw

Maquette van de kerk in het paviljoen van het Vaticaan op de wereltentoonstelling in 1958

Interieur van de Sint-Johannes de Doperkerk in Molenbeek

Metrotunnel onder het Park van Brussel

ISBN: 2012/11.404/1

© 2012 Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Alle rechten voorbehouden.

INLEIDING

Als we vandaag de aandacht vestigen op de Brusselse engineering, dan is dat een terecht eerbetoon aan een erfgoed dat vaak in de schaduw staat. Dit colloquium en de even overvloedige als pedagogische tentoonstelling *Brussel, een sterk staaltje van engineering* en de gids *Brussel, in de voetsporen van de bouwkundig ingenieurs*, tonen een rijkdom die weliswaar verborgen blijft, maar wel verspreid is over het hele Brusselse grondgebied.

Ingenieurs ziet men doorgaans veeleer als uitvoerders dan als ontwerpers van een project. Vaak gaat men zelfs gewoon aan hen voorbij. Zo wiste de tand des tijds de naam van de ingenieurs van heel wat emblematische Brusselse bouwwerken zoals de triomfboog van het Jubelpark, de serres van Laken en de beroemde Citroëngarage.

We zijn terecht trots op hun technische krachttoeren, ook al is maar een klein deel van hun bijdrage echt zichtbaar, want het zijn de ingenieurs die er met hun technieken voor zorgen dat mensen op grote schaal kunnen wonen, werken en bewegen in de stad. Dit werk in de schaduw verdient het om voor het voetlicht te komen. Daarom vestigen wij vandaag de aandacht op het erfgoed dat het resultaat is van deze engineering. Parels zoals het Atomium en de Budabrug tonen ten volle de kwaliteit en de creativiteit waartoe ingenieurs in Brussel in staat zijn geweest. De vaders van de Budabrug zouden vreemd opkijken bij de faam die hun werk vandaag heeft verworven als mechanische sculptuur die structuur verleent aan de toegang tot Brussel langs het kanaal. Bij het bouwen van het viaduct van Garabit dacht Eiffel waarschijnlijk ook niet dat hij daarmee een kunstwerk zou schenken aan het nageslacht.

Techniek is niet neutraal en wordt rechtstreeks geassocieerd met de sociaal-economische evolutie, zoals bijvoorbeeld blijkt uit het gebruik van beton in de twintigste eeuw. Vandaag verplichten de energievereisten ons, en dan vooral de ingenieurs, om sociaal billijke middelen te vinden die ons op weg helpen naar de bouw van een duurzame stad.

Ik wens van harte dat de Brusselse engineering de aandacht blijft krijgen die hij verdient en ik hoop dat de ingenieurs ook de bouwers zullen zijn van de stad van morgen.

Charles Picqué, Minister-President
van de Brussels Hoofdstedelijke Regering,
bevoegd voor ruimtelijke ordening en erfgoed

Voorwoord

In de marge van de tentoonstelling *Brussel, een sterk staaltje van engineering*, ingericht door ULB, VUB en CIVA [1], werden verschillende wetenschappelijke bijeenkomsten georganiseerd.

Een gids (in Franstalige en Nederlandstalige edities: *Brussel, in de voetsporen van de bouwkundig ingenieurs*) plaatst de tentoonstelling in een bredere context van een reeks thematische wandelingen in het Brusselse, waarbij zowel de elementen van de tentoonstelling, alsook nog bestaande en vandaag verdwenen constructies in de verf worden gezet.

De tentoonstelling mag als een succes bestempeld worden, getuige hiervan de talrijke randactiviteiten die ze genereerde, zoals de bezoeken van grote bouwbedrijven. De commissarissen hebben dan ook zeer vlug ingezien dat een situering van dit evenement binnen het ruimer kader van de geschiedenis van de (bouw)techniek in België nuttig zou zijn.

Er werd vervolgens gewerkt aan een reeks wetenschappelijke bijdragen die de verschillende aspecten van de tentoonstelling vanuit een verruimd perspectief zouden belichten. Naast de aandacht voor het Brusselse erfgoed, wordt hier ook een verband gelegd met de evolutie van bouwmaterialen en –technieken.

Zo vinden wij in dit compendium:

- *Ingenieursrealisaties in het Brussels Gewest, een patrimonium dat ontdekt moet worden*, David Attas, Université Libre de Bruxelles, service BATir (pagina 7);
- *IJzer of gewapend beton? Brandveiligheid als drijfveer in de 19de eeuw?*, Ine Wouters, Vrije Universiteit Brussel, vakgroep Architectonische Ingenieurswetenschappen (pagina 13);
- *Techniek en architectuur, een vruchtbare samenwerking. Bogen, schalen en gevels in beton*, Armande Hellebois, Université Libre de Bruxelles (Aspirante F.R.S.-FNRS), Service BATir (pagina 19);
- *Voorspannen van beton en voorbuigen van staal: twee manieren om het gebruik van deze materialen in het midden van de 20ste eeuw te optimaliseren*, Bernard Espion, Université Libre de Bruxelles, Service BATir (pagina 25);
- *Een nieuw imago voor een bekend materiaal. De promotie en toepassing van hout als modern constructiemateriaal in Brussel*, Rika Devos, UGent/St. Lucas WENK (pagina 31);
- *Van het P.E. Janson auditorium van de ULB tot het Metrostation Erasmus, 50 jaar spanstructuren*, Michel Provost, Université Libre de Bruxelles, Service BATir (pagina 37);
- *Wettelijk gevrijwaarde realisaties van ingenieurs*, Manja Vanhaelen en Harry Lelièvre, Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, Directie Monumenten en Landschappen (pagina 43).
- De VUB/ULB-inventaris in de bijlage bevat 169 werken, stuk voor stuk staaltjes van engineering met een erfgoedkundige waarde (waarvan 28 beschermd).

Wij zijn zeer blij u, in naam van de auteurs, dit document te kunnen aanbieden.

W. Patrick De Wilde
Vrije Universiteit Brussel

Philippe Bouillard
Université Libre de Bruxelles

[1] Het CIVA (Centre International pour la Ville, l'Architecture et le Paysage) stond in voor een excellente scenografie van de tentoonstelling, die liep van 20 mei tot 2 oktober 2011.

Ingenieursrealisaties in het Brussels Gewest. Een patrimonium dat ontdekt moet worden

David Attas

Université Libre de Bruxelles, service BATir

In Brussel zijn er veel bouwwerken te vinden die interessant zijn omwille van hun technische aspecten: gebouwen, kunstwerken of tunnels. Naast andere patrimonium, zoals dat van de architectuur, zijn deze verwezenlijkingen – die samen het engineering erfgoed vormen – veel minder bekend, tot zelfs onbekend, bij het grote publiek. Vaak moet men verder kijken om de originaliteit van deze bouwwerken te ontdekken. Kennis van de oude technieken en procédés is natuurlijk onontbeerlijk bij het renoveren, restaureren, rehabiliteren of uitbreiden van een oud bouwwerk – situaties waarmee we steeds vaker geconfronteerd worden. Misschien is het ook gewoon belangrijk om de werking van de bouwwerken die ons omringen te begrijpen? In de laatste jaren is het aantal initiatieven dat dit rijke patrimonium wil definiëren, bestuderen en promoten sterk toegenomen.

1. OP ZOEK NAAR EEN VERBORGEN PATRIMONIUM

Iedereen was al wel eens nieuwsgierig bij het zien van een gebouw, een brug, een stuwdam of een tunnel. ‘Hoe blijft dit bouwwerk overeind?’ ‘Hoe heeft men het uitgevoerd?’ Het zijn vragen die echter meestal onbeantwoord blijven. Als toegepaste wetenschap is de bouwkunde onlosmakelijk verbonden met het functioneren van de maatschappij, maar toch wordt zij door het grote publiek weinig naar waarde geschat, zeker wanneer de vergelijking wordt gemaakt met de patrimonium van andere domeinen zoals de architectuur of de geschiedenis – zie artikel van Manja Van Haelen en Harry Lelièvre. De bouwkunde is echter zeker onze interesse waard, temeer daar dit domein lang niet zo ontoegankelijk is als sommigen vrezen...

Met enkele artikels in publicaties voor het grote publiek wordt, sporadisch, de aandacht op dit patrimonium gevestigd. Dit soort artikels belicht bijvoorbeeld het aandeel van de technieken in de paviljoenen van Expo 58 [1], of ook – meer algemeen – van enkele Brusselse bouwkundige constructies die bepalend zijn geweest voor de 20ste eeuw [2]. Verschillende publicaties roepen het beeld op van de grote bouwwerken die hun stempel hebben gedrukt op de stad [3, 4]. In deze publicaties wordt uitgebreid ingegaan op de sociale, economische of politieke context van deze bouwwerken, maar de beschrijvingen van de vaak opmerkelijke technieken of uitvoeringsmethoden die hier werden aangewend blijven zeldzaam.

Een gelijkaardige vaststelling dient zich aan bij de evaluatie van de criteria die momenteel gebruikt worden door de Directie Monumenten en Landschappen van het Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest bij de opmaak van de inventaris van het gewestelijk vastgoedpatrimonium. De technische eigenschappen van een constructie worden momenteel op geen enkel moment

tijdens het selectieproces geëvalueerd. De werken met een bijzondere bouwkundige waarde die in de inventaris werden opgenomen zijn dan ook zeldzaam. Deze die wel in de inventaris staan danken hun aanwezigheid in feite aan kenmerken die ervoor zorgen dat zij ook aan andere – niet technische – criteria voldoen.

Wie zich voor het engineering erfgoed interesseert, zal dus in de gespecialiseerde literatuur moeten duiken – gespecialiseerde tijdschriften, verslagen van colloquia over de geschiedenis van de bouwwerken, doctoraatsthesisen, enz. – of in archieven en documentatiecentra, die over het algemeen minder toegankelijk zijn voor het grote publiek.

Terzelfdertijd wordt het bouwpatrimonium steeds groter, en wordt vandaag de dag in veel gevallen de voorkeur gegeven aan renovatie, restauratie, rehabilitatie en uitbreiding in plaats van afbraak en wederopbouw. Als men aan een oud gebouw werkt, is het onontbeerlijk om de voorgeschiedenis te kennen – informatie met betrekking tot de bepaling van de afmetingen, de structurele werking, de manier waarop het werd gebouwd en de eventuele wijzigingen. Een goed begrip van deze voorgeschiedenis laat toe om een eventueel project voor verbouwing, restauratie of renovatie te verbeteren en, in veel gevallen, het risico op fouten te vermijden of te minimaliseren.

Naast de onbetwistbare bijdrage tot de geschiedenis van de wetenschappen en de technieken, is de studie en de verspreiding van de kennis van het bouwkundig erfgoed momenteel nauw verbonden met actuele en toekomstige bouwprojecten, en meer algemeen met het beheer van ons vastgoedpatrimonium.

De ULB (Université Libre de Bruxelles) en de VUB (Vrije Universiteit Brussel), met de belangrijke medewerking van het Centre international pour la Ville, l'Architecture et

le Paysage (CIVA), hebben deze laatste jaren inspanningen geleverd om dit verborgen patrimonium en zijn belang in onze samenleving naar voren te brengen.

Het resultaat van dit teamwerk werd geconcretiseerd met een tentoonstelling voor het grote publiek *Brussel, een sterk staaltje van engineering* en met een gids *Brussel, in de voetsporen van de bouwkundig ingenieurs* [5], de eerste acties van formaat die de herwaardering van het engineering erfgoed beogen, een patrimonium dat tot hier toe nog nooit op de voorgrond werd geplaatst, en dit zowel voor specialisten als voor een breder publiek.

2. SELECTIEMETHODOLOGIE

Alvorens het engineering erfgoed te kunnen herwaarderen, moet er een exacte definitie van dit begrip opgesteld worden en een methodologie uitgewerkt om de inhoud ervan te bepalen [6] (fig. 1).

De eerste fase van deze methode bestond erin om alle ingenieursrealisaties in het Brussels Gewest te inventariseren. Voor dit werk van lange adem werden de administraties – voor de openbare bouwwerken – en diverse privébedrijven – voor de private bouwwerken – bekeken. Daarnaast werden de criteria die gebruikt werden voor de afbakening van andere patrimonia – zoals het architectuur-, het monumenten- en het industriepatrimonium – geanalyseerd, evenals de criteria die worden gehanteerd door buitenlandse of internationale organisaties, zoals de UNESCO, de European Council of Civil Engineers (ECCE), het Institution of Civil Engineers (ICE) en de American Society of Civil Engineers (ASCE).

Vervolgens werd er een lijst opgemaakt met criteria die aangepast zijn aan het engineering patrimonium, op basis van de informatie verkregen uit bovenvermeld onderzoek en op basis van de analyse van de leden van een raad van deskundigen die vooraf werd samengesteld. Deze lijst liet aan diezelfde raad toe om de meest opmerkelijke bouwwerken te selecteren. Deze laatste vormen het engineering erfgoed.

Deze lijst van opmerkelijke bouwwerken – het engineering erfgoed – moet in geen geval als vast worden beschouwd. In tegendeel: er dient voortdurend te worden nagedacht over de inhoud. Verschillende situaties tonen het belang aan van een permanente wisselwerking tussen het geheel van de bestaande bouwwerken en het engineering erfgoed:

- op het moment van de inventaris kunnen één of meer bouwwerken vergeten zijn;
- er worden voortdurend nieuwe engineering bouwwerken opgetrokken;
- naar aanleiding van nieuwe ontdekkingen kunnen bepaalde bouwwerken meer of minder interessant blijken dan dat ze initieel leken;
- bepaalde bouwwerken kunnen doorheen de jaren meer potentieel krijgen.

2.1. LIJST VAN CRITERIA

Om deel uit te maken van het engineering erfgoed moet het kunstwerk minstens aan één van de volgende criteria beantwoorden:

1. van doorslaggevend belang zijn in de geschiedenis van de engineering;
2. betrokken zijn bij een belangrijke gebeurtenis in de



Fig. 1: Methodologie voor de selectie van belangrijke bouwwerken [5].

geschiedenis van de engineering, bij het werk van een vooraanstaande figuur of een groep van vooraanstaande figuren uit de wereld van de engineering;

3. een passende oplossing bieden voor een behoeftegeïnduceerd programma dat rekening houdt met de eisen die door de omgeving en bij de totstandkoming worden gesteld;
4. een opmerkelijke getuige zijn van de verspreiding van een (technische, typologische of methodische) kennis die heeft bijgedragen tot de ontwikkeling van de betrokken zone;
5. een opmerkelijke toepassing zijn van een techniek of een materiaal;
6. het voorwerp gevormd hebben van een opmerkelijke werkwijze of technologie;
7. dankzij een aangepast ontwerp een opmerkelijk voorbeeld vormen van duurzaam bouwen;
8. een opmerkelijk voorbeeld zijn van een type bouwwerk dat een periode in de geschiedenis van de engineering oproept.

De meeste criteria zijn rechtstreeks verbonden met het begrip innovatie. Deze innovatie kan technisch, technologisch, bouwkundig, ... van aard zijn. Tijdens de selectie, en dus bij het evalueren van de innovatie, moet er ook onvermijdelijk rekening worden gehouden met de schaal waarbinnen het werk van belang is. Een bouwwerk zal op stedelijke schaal niet op dezelfde wijze ingeschat worden als op schaal van een heel continent.

Anderzijds dient men ervan bewust te zijn dat er altijd een zekere subjectiviteit zal blijven bestaan wanneer de intensiteit waarmee een bouwwerk aan een criterium voldoet wordt beoordeeld.

2.2. DEFINITIE VAN HET ENGINEERING ERFGOED

Het engineering erfgoed is het geheel van de kunstwerken die op ideale wijze beantwoorden aan een behoefte van de samenleving en zich onderscheiden door de opmerkelijke toepassing van een techniek of een materiaal, door het gebruik van een originele werkwijze of door een opmerkelijk duurzaam ontwerp.

Maken ook deel uit van het engineering erfgoed: de kunstwerken die opmerkelijke voorbeelden zijn van een bepaald type bouwwerk en de kunstwerken die belangrijke getuigen zijn van de verspreiding van een kennis die heeft bijgedragen tot de ontwikkeling van de samenleving.

Omdat de kunstwerken dikwijls verband houden met een vooraanstaande figuur, met een belangrijke gebeurtenis in de geschiedenis van de engineering of met die geschiedenis als zodanig, zijn zij gemeenschappelijk erfgoed van de hele samenleving.

2.3. RAAD VAN DESKUNDIGEN

De multidisciplinaire raad bestaat uit deskundigen in de engineering, de architectuur, de geschiedenis en de stedenbouw. Bij het samenstellen van deze raad hebben wij ons vooral laten leiden door de behoefte aan objectiviteit en interdisciplinariteit.

Om niet opgesloten te geraken in een louter technische invalshoek, werd gekozen voor een raad die verscheidene vakgebieden omvat. Om kwalitatief hoogstaand en waardevol te zijn dient een bouwkundig kunstwerk immers niet alleen opmerkelijke technische kenmerken te bezitten, maar moet het ook goed geïntegreerd zijn in zijn omgeving en op ideale wijze aan een behoefte moet voldoen.

3. ENKELE SCHATTEN VAN HET BRUSSELS ENGINEERING ERFGOED

Het resultaat van de methodologie zoals ze hierboven werd beschreven, toegepast op het Brussels Gewest, is een lijst die bijna 170 bouwwerken groepeerd – bruggen, gebouwen, tunnels enz.

Deze selectie bevat uiteraard opvallende bouwwerken waarover zowel in ingenieurs kringen als bij een breder publiek unanimititeit bestaat.

Achter deze voorbeelden waar men niet omheen kan, gaan ook bouwwerken schuil die bijzonder interessant blijken, hoewel ze minder gekend zijn. Het grote publiek heeft over het algemeen geen weet van dit patrimonium omdat deze bouwwerken:

- afgebroken werden;
- een **structuur** hebben, of waarvoor een **opmerkelijke techniek** gebruikt werd, die niet meteen zichtbaar is;
- werden gebruikt voor tests of die **hun tijd vooruit zijn**;
- werden uitgevoerd met behulp van een **opmerkelijk uitvoeringsproces**;
- enz.

3.1. OPVALLENDE BOUWWERKEN

Ook al wordt het engineering erfgoed, zoals vooraf verduidelijkt werd, slechts zelden op de voorgrond geplaatst, toch bestaan er enkele opmerkelijke bouwwerken die als symbolen gelden, verwezenlijkingen die het grote publiek associeert met engineering.

Het Atomium dat symbool staat voor Expo 58 en voor Brussel is ook in zekere mate een symbool van engineering. De voetgangersbrug in boogvorm over de Tervurenlaan te Woluwe, ter hoogte van de oude spoorlijn Etterbeek-Tervuren, of de Budabrug die de toegang tot de haven van Brussel belichaamt, zijn twee andere grootse verwezenlijkingen.

De pakhuizen van Tour & Taxis (fig. 2) en de Heizelpaleizen (fig. 3) worden soms bekeken als mooie verwezenlijkingen van engineering... hoewel zij eerder met het industrieel patrimonium geassocieerd moeten worden.



Fig. 2: Pakhuis A van Tour & Taxis [5].

Ook al zijn deze bouwwerken symbolen van engineering bij een breed publiek, toch zijn ze niet altijd de meest interessante voorbeelden – in ieder geval niet vanuit technisch oogpunt.



Fig. 3: Paleis 5 van de Heizel in opbouw [7].

3.2 AFGEBROKEN BOUWWERKEN

Verschillende meesterwerken van engineering werden afgebroken, ofwel omdat zij ontworpen zijn als tijdelijke bouwwerken, ofwel omdat hun aanwezigheid niet meer als gerechtvaardigd werd beschouwd. Hoewel zij doorgaans tijdens hun bestaan werden gezien als opmerkelijke bouwwerken, verdwijnen ze geleidelijk uit de herinnering en blijven ze slechts voortleven in de herinneringen van hen die de kans hebben gehad om deze bouwwerken te zien toen ze nog bestonden.

In de rij van deze meesterwerken mogen het paviljoen van Frankrijk of het paviljoen van de Verenigde Staten (fig. 4) op Expo 58 niet ontbreken; ze horen bij de grootste en meest opmerkelijke paviljoenen van de Wereldtentoonstelling van 1958 [1]. Naast de vele lichte structuren – hoofdzakelijk kabelconstructies, maar ook opblaasbare structuren (zie het artikel van Michel Provost) maakt ook de Pijl van de Burgerlijke Bouwkunde geen slechte indruk. Als een echt beeldhouwwerk in dunne betonschalen, steunt hij slechts op drie punten. Een overkragend deel van bijna 78 m wordt in evenwicht gehouden door een tentoonstellingsruimte [8]. Expo 58 blijft ook niet achter op het vlak van structuren in gelijmd gelamelleerd hout (zie het artikel van Rika Devos) met in

het bijzonder het onthaalpaviljoen van de Expo op het De Brouckèreplein, waarvan het dak werd gevormd door een verbazingwekkende structuur in gelijmd hout in de vorm van een hyperbolische paraboloid.



Fig. 4: Paviljoen van de Verenigde Staten op Expo 58 (Bron: Egicarte).

Het Foncolin-gebouw, het eerste gebouw in België waarvoor geprefabriceerde elementen in architectonisch beton voor gevels werden gebruikt [9], is een ander voorbeeld van een opmerkelijk bouwwerk dat verdwenen is. Hoewel het een onmiskenbare rol heeft gespeeld in de verspreiding van gevels in architectonisch beton vanaf begin jaren '60, is het vandaag zo goed als onbekend bij het grote publiek. Het lag in de Europese wijk en werd in 1999 afgebroken.

3.3 VERBORGEN STRUCTUREN

De draagstructuur van gebouwen, ondergrondse bouwwerken en zelfs kunstwerken wordt zelden op de voorgrond geplaatst. In veel gevallen wordt deze structuur zelfs opzettelijk verborgen. Hoewel de structuur van een bouwwerk niet altijd van groot belang is, zijn er verschillende interessante voorbeelden te vinden.

De Renault garage te Anderlecht is een goed voorbeeld. Deze garage heeft een redelijk gewone commerciële gevel waarachter een hangar schuilgaat die overdekt is met een opmerkelijk geheel van hyperbolische paraboloiden in gewapend beton [10]. Het gaat hier over één van de laatste voorbeelden van schaalconstructies in gewapend beton in Brussel (zie het artikel van Armande Hellebois). In dezelfde stijl vermelden we de interessante maar discrete opeenvolging van gewelven in metselwerk die verborgen zijn achter de gevel van de kerk van het Goddelijke Kind Jezus in Laken.

Het Berlaymontgebouw (fig. 5) en de Zuidtoren hebben een vernieuwende structuur die gevormd wordt door voorgebogen liggers en hangstangen (zie het artikel van Bernard Espion), maar die voor waarnemers zowel aan de buitenzijde, als in het interieur van het gebouw onzichtbaar blijft.



Fig. 5: Berlaymontgebouw in aanbouw (Bron: Archives d'Architecture Moderne).

In bepaalde extreme gevallen wordt een opmerkelijke structuur per toeval ontdekt bij een restauratie. Het is op die manier dat het mooie skelet in gietijzer en metselwerk van het gebouw dat het Gemeenschapscentrum De Markten herbergt – één van de oudste in Brussel – op het einde van de jaren '90 tevoorschijn kwam (zie het artikel van Ine Wouters).

3.4. VROEGE BOUWWERKEN/TESTOBJECTEN

Een vroeg bouwwerk of een gebouw dat voor een test werd gebruikt, is dikwijls van weinig belang van zodra het in gebruik wordt genomen. Vaak zijn het bouwwerken met een niet al te verfijnde esthetiek en functionaliteit, maar wel met een vernieuwende technische kant. Ze zijn van belang wegens hun bijdrage aan de geschiedenis van de engineering. Het zijn voorlopers geweest en ze hebben geleid tot de latere, brede toepassing van een bepaalde techniek of technologie in bouwwerken.

Als voorbeeld: de brug van de Spiegelstraat die op het traject van de Noord-Zuidverbinding ligt en die werd gebruikt voor testen die toelieten om de verschillende technieken van voorgespannen beton met een klassiek brugdek in gewapend beton te vergelijken [11]. De voetgangersbrug van de Gosseliesstraat [11] (fig. 6) en de brug van de Etterbeeksesteenweg zijn vroege toepassingen van respectievelijk technieken van voorgespannen beton en van voorbuiging van gemengde staal-beton liggers (zie het artikel van Bernard Espion), technieken die vervolgens veelvuldig werden gebruikt in Brussel.



Fig. 6: Voetgangersbrug van de Gosseliesstraat [5].

Wat de gebouwen betreft vormt het gebouw van de Royale Belge aan de Vorstlaan, beter bekend om zijn esthetische kenmerken, één van de eerste Belgische toepassingen van weervast staal [12] – een materiaal dat de roestkleur van zijn structuur verklaart.

3.5. OPMERKELIJKE UITVOERINGSPROCEDÉS

In het algemeen blijven er sporen over van de gebruikte technieken of materialen, hetzij omdat ze zichtbaar zijn op het bouwwerk terwijl het in gebruik is, hetzij omdat de documenten die dit aantonen bewaard zijn gebleven. Dat is minder vaak het geval met informatie over de manier waarop het bouwwerk werd gebouwd. Een bouwwerk dat in gebruik is genomen, geeft in het algemeen weinig informatie over het gebruikte uitvoeringsprocedé en er zijn weinig documenten die ernaar verwijzen – het zijn vaak de eerste documenten die verdwijnen.

De knowhow die verbonden is met de uitvoeringsprocedés is een kennis die van generatie op generatie wordt doorgegeven. Dit heeft als gevolg dat veel oude uitvoeringsprocedés (die in bepaalde gevallen bijzonder vernuftig waren) geleidelijk aan vergeten worden.

De ondergrondse bouwwerken – die niet aan bod komen in deze publicatie – zijn goede voorbeelden van bouwwerken waarvan de structuur in gebruik zelden buitengewoon is, maar waarvoor soms een interessant uitvoeringsprocedé werd aangewend. De metrotunnel gelegen onder het Park van Brussel werd uitgevoerd met behulp van een boorschild, een echte mechanische mol. In dit geval geeft de cirkelvorm van de tunnel een aanwijzing over het gebruikte procedé (fig. 7).

De Dexiatoren op het Rogierplein in Brussel werd gebouwd met behulp van betonnen elementen die in de fabriek werden geprefabriceerd en geassembleerd op de bouwplaats. Dit uitvoeringsprocedé liet toe om de bouwtermijnen aanzienlijk in te korten en de kosten te verminderen, maar is uiteraard niet merkbaar wanneer men de toren vandaag bekijkt (zie het artikel van Armande Hellebois).



Fig. 7: Metrotunnel onder het Park van Brussel, gerealiseerd met een boorschild (Bron: MIVB).

4. EEN PRILLE BEWUSTWORDING

De diepgaande kennis van de oude bouwtechnieken, -procedures en het engineering erfgoed blijkt steeds meer onmisbaar werktuig te zijn, meer bepaald als het gaat over het restaureren, renoveren, rehabiliteren of uitbreiden van een oud bouwwerk, oplossingen die vandaag vaak verkozen worden boven afbraak en wederopbouw. Het is echter maar sinds kort dat er projecten worden opgezet die tot doel hebben om deze kennis te ontwikkelen en er de aandacht op te vestigen.

Aan de verschillende Belgische universiteiten wordt er onderzoek gevoerd naar diverse aspecten van de geschiedenis van de engineering.

In 2007 hebben de ULB, de VUB en CIVA een groots project gelanceerd over de studie van het engineering erfgoed in het Brussels Gewest. De studie, financieel ondersteund door Innoviris, werd afgerond met de realisatie van een tentoonstelling en een gids voor het grote publiek, die volledig gewijd is aan dit patrimonium [5].

Van de kant van de administraties is er ook een prille bewustwording in de intentie om de technische aspecten van de bouwwerken in rekening te nemen bij het selectieproces dat toelaat om de brusselse inventarissen op te maken.

REFERENTIES

- [1] Espion, B., Devos, R. & Provost, M., Lichtgewichten. Structuurinnovaties op Expo 58, eds. M. De Koning & R. Devos, *Moderne architectuur op Expo 58. 'Voor een humaner wereld'*, Mercatorfonds/ Dexia: Brussel, pp. 100-127, 2006.
- [2] Halleux, P., *L'évolution des techniques: quelques réalisations bruxelloises à travers le siècle*, in *Un siècle d'architecture et d'urbanisme 1900-2000*, Mardaga: Sprimont, pp. 23-38, 2000.
- [3] Demey, Th., *Bruxelles, chronique d'une capitale en chantier. 1: Du vouètement de la Senne à la jonction Nord-Midi*, P. Legrain: Brussel, 1990.
- [4] Demey, Th., *Bruxelles, chronique d'une capitale en chantier. 2: De l'expo '58 au siège de la C.E.E.*, P. Legrain: Brussel, 1992.
- [5] Attas, D. & Provost, M., eds., *Brussel, in de voetsporen van de bouwkundig ingenieurs*, CIVA: Brussel, 2011.
- [6] Attas, D., Provost, M. & Bouillard, Ph., Definition and identification of an Engineering Heritage: Application to the Region of Brussels. *Proc. of the 3rd Int. Congr. on Construction History*, eds. K.-E. Kurrer, W. Lorenz & V. Wetzck, Cottbus, vol. 1, pp. 61-66, 2009.

- [7] Vandepitte, D. & Massonnet, M., Quelques enseignements qui découlent du contrôle technique des constructions effectués à l'occasion de l'Exposition universelle et internationale de Bruxelles 1958. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics* (Parijs), 137, pp. 421-52, 1959.
- [8] Espion, B., Halleux, P. & Schiffmann, J., Contributions of André Paduart to the art of thin concrete shell vaulting. *Proc. of the 1st Int. Congr. on Construction History*, ed. Huerta, S., Madrid, vol. 2, pp. 829-838, 2003.
- [9] Novgorodsky, L., Le 'Foncolin' à Bruxelles. Nouvel Immeuble du Fonds Colonial des Invalidités. *La Technique des Travaux*, 35 (3-4), pp. 103-110, 1959.
- [10] Anon, L'Agence Belge des Automobiles Renault. *La Maison*, 7, pp. 214-216, 1963.
- [11] Espion, B., Early applications of prestressing to bridges and footbridges in Brussels area. *Proc. of the 3rd Int. Congr. on Construction History*, eds. K.-E. Kurrer, W. Lorenz & V. Wetzck, Cottbus, Vol. 2, pp. 535-541, 2009.
- [12] Zaczek, J., Siège social de la S.A. la Royale Belge à Bruxelles. *Acier-Stahl-Steel*, 36 (3), pp. 97-105, 1971.

IJzer of gewapend beton? Brandveiligheid als drijfveer in de 19de eeuw?

Ine Wouters

Vrije Universiteit Brussel, vakgroep Architectonische Ingenieurswetenschappen

In de negentiende eeuw volgden de ontwikkelingen in het brandveilig ontwerpen van gebouwen elkaar snel op. In Engeland ontstond in 1830 een standaard *fire proof* bouwtechniek die snel ingang vond in Brussel en andere landen. Na hevige stadsbranden in London en Chicago werd het bouwsysteem echter in vraag gesteld. Aan de hand van Brusselse voorbeelden wordt de problematiek over het al dan niet beschermen van de metalen draagstructuur en de zoektocht naar alternatieven in gewapend beton internationaal gekaderd. Via geslaagde renovaties wordt aangetoond hoe de wetenschap van de *fire engineering* ingezet kan worden in de 21ste eeuw voor het behoud van het (bouwkundig) erfgoed.

1. NAAR EEN BRANDVEILIGE TYPOLOGIE

1.1. GIETIJZER NAAR VOORGESHOVEN ALS BRANDVEILIG CONSTRUCTIEMATERIAAL

Het verbeteren van de brandveiligheid is een bekommernis die men oppert sinds jaar en dag. Aan het einde van de 18de eeuw deden er zich in Engeland een aantal ontwikkelingen voor die het proces van het brandveilig bouwen versnelden. Deze ontwikkelingen hadden betrekking op een welbepaalde typologie, namelijk die van het fabrieksgebouw. Het alarmerend aantal verwoestende branden in fabrieksgebouwen aan het begin van de 19de eeuw was de aanleiding om verandering te brengen in de traditionele manier van bouwen. De combinatie van de opslag van brandbaar materiaal (zoals katoen, zijde, vlas, ...), de slechte werkomstandigheden en de verlichting met olielampen waren de belangrijkste oorzaak van de frequente branden. De open ruimte en de houten skeletstructuur droegen bij tot de razendsnelle verspreiding van de brand. Door haar primitieve uitrusting kon de brandweer niet veel meer doen dan toekijken. Een brandveilige constructietechniek voor deze typische industriële gebouwen drong zich op.

Mede door verbeteringen in het productieproces werd er een nieuw bouw materiaal naar voor geschoven: gietijzer. Het belangrijkste voordeel van het gietijzer was het feit dat het onontvlambaar was en daarmee dus een groot voordeel bood t.o.v. hout, het op dat moment meest gebruikte materiaal voor vloeropbouw, dak- en skeletconstructies. Daarenboven had het gietijzer een grotere druksterkte en kon het aangewend worden in de fabrieksgebouwen die almaar hoger en hoger werden.

De eerste stappen in die richting werden gezet door de Engelse ingenieurs William Strutt en Charles Bage [1]. In 1792 bouwde ingenieur William Strutt een katoenspinnerij in Derby waarbij hij de brandbare materialen probeerde te weren uit zijn gebouw. Hij gebruikte bakstenen gewelven

als vloer en verving de houten kolommen door gietijzeren exemplaren. De houten balken bekleedde hij met een pleisterlaag zodat ze, in geval van brand, niet voor de verdere verspreiding van het vuur zouden zorgen. In de daarop volgende tien jaar werden systematisch stappen gezet naar een brandveilige typologie, die vanaf 1830 als een standaard typologie gehanteerd zou worden in Engeland.

De belangrijkste kenmerken van zo'n standaard brandveilige typologie, die ook *fireproof mill construction* wordt genoemd, zijn het dragende skelet in gietijzeren balken en kolommen, de bakstenen vloergewelven en het dragende buitengevelmetselwerk.

BRUSSELSE VOORBEELDEN

Een vroeg Brussels voorbeeld van dergelijke constructietechniek is het Koninklijk Pakhuis, gebouwd tussen 1843 en 1847 aan de voormalige binnenhaven in Brussel en afgebroken in 1910 toen de binnendokken gedempt werden. Dit indrukwekkend pakhuis met een rechthoekig grondplan van 145 m op 63 m telde vier verdiepingen. De internationale literatuur rapporteerde dat het één van de eerste keren was dat gietijzer op zo'n grote schaal op het vasteland werd toegepast [2]. Het pakhuis is modulair opgebouwd en bestaat uit een structureel raster van 3,75 m bij 6,10 m (fig. 1). Het bakstenen gewelf overspant 3,75 m en wordt gedragen door een gietijzeren balk van 6,10 m lang, aan zijn uiteinden opgelegd op twee gietijzeren kolommen.

Een ander, nog bestaand voorbeeld van deze constructietechniek is het pakhuis uit 1854 (fig. 2) dat momenteel het Vlaams Gemeenschapscentrum De Markten huisvest, aan de Oude Graanmarkt in het centrum van Brussel. Tijdens de renovatie werd een baksteengewelf weggehaald om plaats te maken voor een nieuwe trap. De karakteristieke asymmetrische vorm van de gietijzeren balk wordt zo goed zichtbaar.

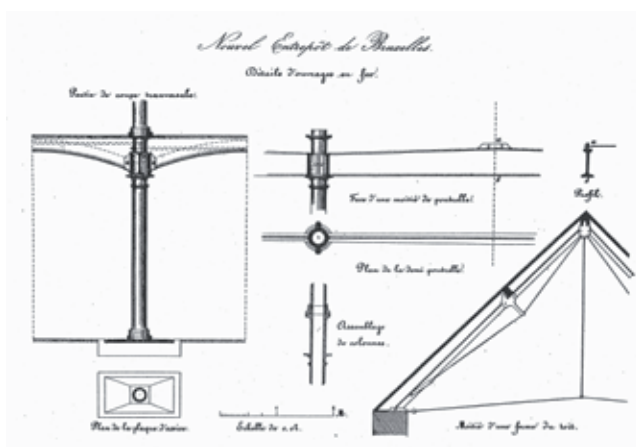


Fig. 1: Plan uit 1843 met constructiedetails van het ijzerwerk voor het Koninklijk Pakhuis die verwijzen naar de typische Engelse *fireproof mill* constructie [2].

1.2. NAAR EEN LICHTGEWICHT OPLOSSING

Naast de voordelen, waren er ook een aantal nadelen verbonden aan deze *fireproof mill* techniek. Enerzijds was het gietijzer duur. Men kwam hieraan tegemoet door de vorm van de structurele elementen zo goed mogelijk aan het spanningsverloop aan te passen. Kolommen werden gegoten als holle cilindervormige elementen en het materiaal in de gietijzeren balken werd verschoven naar de plaatsen waar de spanningen het hoogst zijn, dus in de onderflens om de trekkrachten op te kunnen nemen, en ook meer naar het midden van de balk, wegens het grotere traagheidsmoment.



Fig. 2: Pakhuis (1854) herbestedemd als gemeenschapscentrum De Markten. Opgebouwd volgens de typische *fireproof mill* constructie met gietijzeren balken en kolommen (foto 1998).

Het eigengewicht van deze vloerconstructies was aanzienlijk. De vloerconstructie van het pakhuis aan de Oude Graanmarkt, met een gewelf in aaneengeschakelde volle baksteen, uitgevuld met zand en afgewerkt met tegels, woog 750 kg/m^2 voor een overspanning van 3,5 m. Het eigengewicht van dergelijke vloerconstructies verminderen was dus een reële bezorgdheid.

Het vervangen van de volle baksteenelementen door holle blokken leverde een aanzienlijke gewichtsbesparing op. Dit systeem was al toegepast door de Romeinen bij het bouwen van gewelven en werd in licht gewijzigde vorm opnieuw geïntroduceerd. De Engelsman Joseph Bunnett patenteerde in 1853 een vloerconstructie met een gewelf

bestaande uit holle blokken. Het patent van de Amerikaan Peterson verbeterde de vloeropbouw door de gebogen onderzijde van het gewelf te vervangen door blokken die aan de onderzijde horizontaal waren zodat een recht plafond verkregen kon worden [3].

BRUSSELSE VOORBEELDEN

In Brussel vonden deze holle bakstenen nauwelijks ingang. Men stapte over naar een andere oplossing om het gewicht van de vloerconstructie te verminderen. Deze vernieuwing ging gepaard met de introductie van het materiaal smeedijzer, dat een verbetering was voor het gebruik in balkelementen omdat de trek- en druksterkte van het materiaal ongeveer even groot waren. Van zodra dit materiaal betaalbaar werd construeerde men er vloeren mee die opgebouwd waren uit primaire en secundaire balken. De secundaire balken werden op een tussenafstand van ongeveer 80 cm geplaatst zodat de baksteen gewelven nog maar 80 cm dienden te overspannen. De kleinere constructiehoogte zorgde voor een halvering van het gewicht. Deze zogenaamde lichtgewicht vloeren hadden een eigengewicht van ongeveer 450 kg/m^2 .

Een vroeg voorbeeld van dergelijke vloeropbouw vinden we terug in het Pandjeshuis uit 1859 in de Sint-Gisleinstraat in Brussel (fig. 3). De metselwerkewelven uit volle baksteen worden gedragen door smeedijzeren I-profielen. Vijf van deze gewelven worden naast elkaar geplaatst en gedragen door de hoofdbalk die is opgebouwd uit een profiel dat eruit ziet als twee boven elkaar staande I-profielen. Het gebruik van smeedijzeren I-profielen was vrij nieuw in die periode. Tien jaar eerder rolde het eerste I-profiel van de wals in Frankrijk (1849). België zou vlug bijbenen en bekend worden om zijn walstechniek. Engeland was bijvoorbeeld een belangrijke afnemer van gewalste profielen omdat België ze 30% goedkoper kon aanleveren [4].

1.3. BRANDWEERSTAND VERSUS ONTVLAMBAARHEID

Naast deze vroege toepassing van de lichtgewicht vloer, weerspiegelt het Brusselse Pandjeshuis de nieuwe inzichten in het brandgedrag van gietijzer.

Als reactie op de zware branden uit 1840 en 1860 werden de bouwvoorschriften in Engeland strenger [6].

Gietijzer bleek dan wel niet ontvlambaar te zijn, toch was zijn weerstand tegen brand beperkt, omdat het materiaal zijn sterkte verliest bij hoge temperaturen. Gietijzeren structuren dienden dus beschermd te worden. In het pandjeshuis werd al het blootgestelde giet- en smeedijzer beschermd. De gietijzeren kolommen zijn omhuld met een natuurstenen bekleding van 10 cm dik. De primaire en secundaire balken in smeedijzer zijn tussen de baksteengewelven ingewerkt en hun onderflenzen worden met een dikke laag pleisterwerk beschermd (fig. 3).



Fig. 3: Opengewerkte vloerconstructie van de lichtgewicht vloer van het Brusselse Pandjeshuis (1859). Alle ijzeren structurele elementen zijn passief beschermd. (foto 1998).

1.4. ACTIEVE EN PASSIEVE MAATREGELEN VOOR GIETIJZER EN STAAL

Het onderzoek naar het beschermen van het blootgestelde ijzerwerk kwam pas goed op gang wanneer ook Amerika geconfronteerd werd met zware stadsbranden in Chicago en Boston. Een expertgroep werd aangesteld om de ruïnes van de 1871 Chicago brand te bestuderen en te bepalen waarom ook de brandveilige gebouwen faalden en hoe dit in de toekomst kon vermeden worden. Om het ijzerwerk tegen de hitte te beschermen werd het bekleden opnieuw als belangrijkste maatregel naar voor geschoven. Vanaf 1870 werden er in Amerika een reeks nieuwe patenten en producten voor brandbestendige vloer- en constructiesystemen op de markt gebracht (fig. 4). Naast deze passieve beschermingsmaatregelen was er ook aandacht voor de evacuatie van personen. De geschikte geometrie en plaats van vluchtwegen werd bestudeerd. De trappen werden ondergebracht in een afsluitbare ruimte, met name het trappenhuis, liefst aan de buitenzijde van het bouwvolume geplaatst. De sprinklerinstallatie werd geïntroduceerd. De vroege installaties werden manueel bediend: door het opendraaien van een kraan stroomde er water in een geperforeerde pijp. Vanaf 1880 werd de automatische sprinkler geïnstalleerd: door het smelten van de sprinklerkop, die op regelmatige afstanden bevestigd werd aan de met water gevulde pijpleidingen, stroomde water over de hittebron. Een watertank, meestal geplaatst boven de trappenkoker, zorgde voor het bewaren van de nodige druk tijdens het blussen [6].

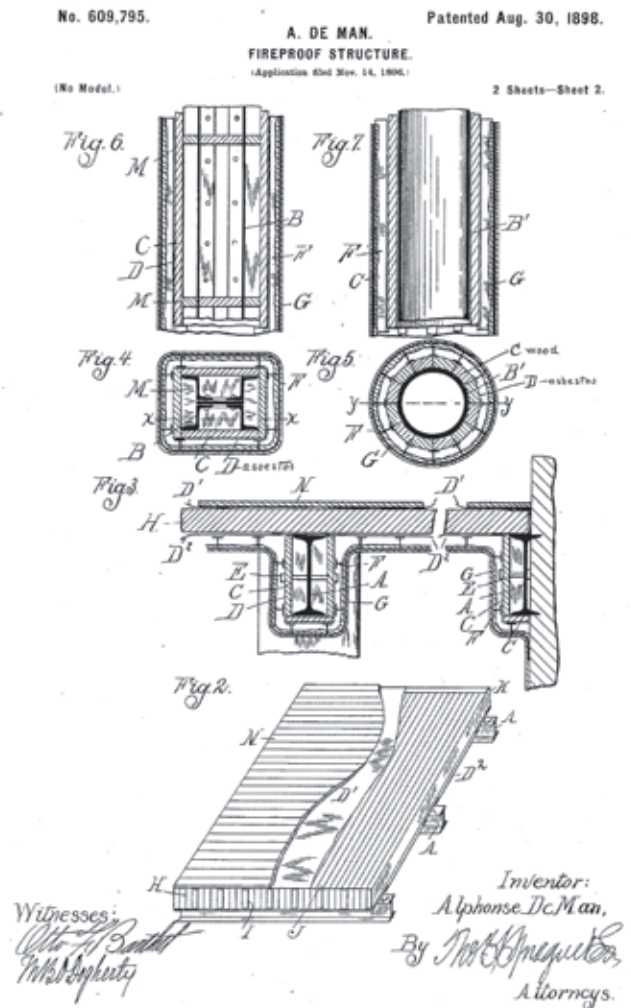


Fig. 4: Patent uit 1898 voor de verhoging van de brandweerstand van metalen kolommen via een bekleding (in hout en asbest) [5].

2. GEWAPEND BETON ALS BRANDBESTENDIG ALTERNATIEF

De Franse ingenieur Hennebique plaatste de boodschap *Plus d'incendies désastreux* op zijn folders uit 1892 om de brandweerstand van zijn gepatenteerd monoliet systeem in gewapend beton aan de man te brengen. Een Franse industrieel uit Roubaix pikte de boodschap op en geeft opdracht voor de bouw van een spinnerij in 1893 [7]. Andere opdrachten zouden snel volgen.

Vanaf 1897 organiseerde Hennebique jaarlijks een bijeenkomst *Les congrès annuels de béton du ciment armé*. Alle agenten en concessiehouders werden hierop uitgenodigd om hun werk voor te stellen, maar ook onafhankelijke experts, evenals personen met belangrijke functies in de openbare administraties waren welkom. De hoofdingenieur van de dienst Bruggen en Wegen te Brussel, Jules Zone, werd in 1900 uitgenodigd op het vierde *congrès international* [7]. Niet zo verwonderlijk dus dat ingenieur Jules Zones naar het systeem Hennebique greep wanneer enkele jaren later een nieuwe maritieme haven geïnstalleerd diende te worden op de domeinen van Tour & Taxis. Voor het openbaar stapelhuis, bestaande uit vijf

verdiepingen koos Jules Zones voor een brandbestendige opbouw in gewapend beton. Concessiehouder Louis de Waele voerde de betonwerken uit. Dit gebouw, dat het Koninklijk Pakhuis uit 1847 aan de binnenhaven zou vervangen, was 60 m op 180 m groot. De magazijnen, elk 20 m bij 21 m, waren geschikt rond een centraal atrium van waaruit de goederen gelost werden. Acht trappenkokers, die een vlotte circulatie mogelijk maakten, sloten aan op het atrium. De dakreservoirs waren naar achter geschoven en zo verborgen voor het oog opgesteld (fig. 5). Het structureel raster van de magazijnen bedroeg 3,90 m op 4,30 m. Het vergroten van de overspanningen (t.o.v. het Koninklijk Pakhuis van 1847) was dus niet aan de orde. Toch kunnen we enkele sprongen in de constructietechniek vaststellen. De constructiehoogte van de gewapend betonnen gewelfvloer, die 3,90 m overspant, is slechts 23 cm en neemt af tot slechts 8 cm in het midden van het gewelf. In het Koninklijk Pakhuis bedroeg de constructiehoogte nog 72 cm!

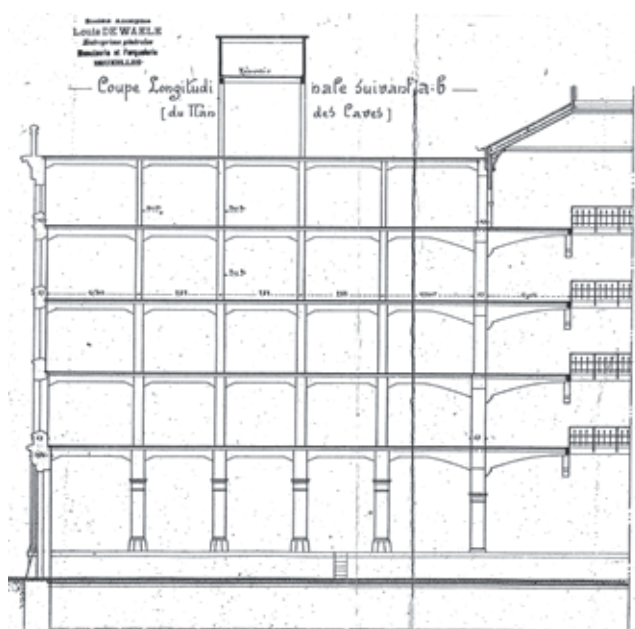


Fig. 5: Langsdoorsnede van het Brussels Openbaar Stapelhuis gebouw B (1904) op de site van Tour & Taxis, gebouwd volgens het brandveilig Hennebique systeem.

3. EEN NIEUW TIJDPERK, EEN NIEUWE BENADERING

3.1. FIRE SAFETY ENGINEERING

Naast het opstellen van eenvormige rekenmethodes waaraan alle ontwerpers zich binnen één land moeten houden, wordt er sinds 1970 binnen Europa gewerkt aan het opstellen van eenvormig rekenmethodes voor het ontwerpen van constructies: de Eurocodes.

Bij het invoeren van de Eurocodes maakten de Belgische ingenieurs kennis met een nieuwe wetenschap, die in Engeland en Zweden al langer beoefend werd: de *fire engineering*. Deze wetenschap richt zich tot het berekenen van het brandrisico en het bepalen van de maatregelen om deze te verminderen. De Belgische ingenieurs

beschikken nu dus over een reglementair instrument om de brandweerstand van een element te 'berekenen'. Voordien werden vooral brandproeven ingezet om de brandweerstand van constructies en bouwelementen te bepalen.

Voor België opende dit nieuwe perspectieven omdat men uitgaande van parameters zoals de geometrie van het gebouw, de gebruikte materialen, de hoeveelheid openingen en de bestemming van het gebouw (brandlast) een brandkromme kan berekenen die aangeeft hoe de temperatuur in de ruimte verloopt in functie van de tijd. Vernieuwend aan deze methodes is dat ook actieve brandbestrijdingsmiddelen in rekening gebracht kunnen worden. Het installeren van een sprinklerinstallatie heeft invloed op de berekening, maar ook een grondige training van het personeel.

Tevens laten de berekeningen toe nauwkeurig de temperatuur in de structurele elementen te bepalen en de efficiëntie van passieve bekleding zoals een omhulling, een opzwellende verflaag,... te berekenen. Deze nieuwe tools kunnen ingezet worden bij de renovatie en herbesteding van de bestaande gebouwen om het oorspronkelijk brandconcept te valideren of aan te passen aan de huidige normen.

3.2. HERBESTEMMEN OP MAAT

Dat het beschermen van ijzer- en staalwerk niet door iedereen aanvaard werd, toont het Brusselse warenhuis *Old England* aan (fig. 7). Dit bouwwerk dat in 1899 door architect P. Saintenoy en ingenieur E. Wyhowski op de Kunstberg werd opgetrokken wordt nu tot de parels van de Art Nouveau gerekend. De bezoeker kan de volledig opengewerkte gevel en binnenstructuur bewonderen. De geklinknagelde smeedijzeren balken en kolommen zijn karakteristiek voor de architectuur en bepalen de ruimte. Toen beslist werd om dit leegstaand gebouw te herbesteden tot muziekinstrumentenmuseum (MIM) was het bekleden van de draagstructuur voor het bereiken van het vereiste niveau van brandweerstand geen optie. In plaats daarvan werd er geschoven met functies. De circulatie van het museum werd in het Art Nouveau gebouw ondergebracht, de eigenlijke museumcollectie werd verschoven naar het daarnaast liggende gebouw. Door te stellen dat de brandlast in de circulatieruimte gering is kon de staalstructuur onbeschermd blijven.

Ook voor de herbesteding van het Openbaar Pakhuis B op de site van Tour & Taxis (fig. 6) werd gebruik gemaakt van de laatste technieken om een herbesteding tot kantoorruimte mogelijk te maken. Er werden verschillende scenario's doorgerekend om de rookontwikkeling in het atrium te bepalen en een aangepaste rook- en warmte afvoer installatie te dimensioneren.

Het materiaal hout is aan zijn opmars begonnen. Daar waar het in de 19de eeuw nog verbannen werd uit elke brandveilige constructie wordt datzelfde materiaal nu geprezen om zijn gedrag bij brand. Door een juiste dimensionering kan het immers lang weerstand bieden



Fig. 6: Bij de herbestemming van het gebouwencomplex aan de Kunstberg werd alle circulatieruimte in *Old England* (1899) ondergebracht om de metalen draagstructuur onbeschermd te kunnen laten (Foto Baldheretic).



Fig. 7: Zicht op de draagstructuur in gewapend beton van het Openbaar Stapelhuis op de site van Tour & Taxis. Gebouw B. (foto 1998).

gezien enkel het buitenste laagje verkoold onder hoge temperaturen.

Dankzij de nieuwe ontwikkelingen in de *fire engineering* heeft de hedendaagse ontwerpende ingenieur een rijk pallet aan mogelijkheden om te voldoen aan het huidige eisenpakket dat ook ingezet moet worden om de karakteristieken van het (bouwkundig) erfgoed te kunnen vrijwaren.

REFERENTIES

- [1] Swailes, T., Marsh, J., *Structural appraisal of iron-framed textile mills*, Thomas Telford: London, 1998.
- [2] *Inventaire visuel de l'architecture industrielle à Bruxelles*. Brussel Oost. Fiche 151, A.A.M.: Brussel, 1980.
- [3] Wells, J.C., *History of Structural Hollow Clay Tile in the United States*, *Construction History*, 22, pp.27-46, 2007.
- [4] Swailes, T., *Scottish Iron Structures. Guide for Practitioners*, Historic Scotland: Edinburgh, 2006.
- [5] De Man, A., *Fireproof Structure*, Patent N° 609,795, United States Patent Office, 1898. (geconsulteerd via www.google.com/patents op 3 juli 2011)
- [6] Wermiel, S.A., *The Fireproof Building. Technology and Public Safety in the Nineteenth-Century American City*, John Hopkins University Press: Baltimore, 2000.
- [7] Van de Voorde, S., *Bouwen in beton in België (1890-1975). Samenspel van kennis, experiment en innovatie*, Doctoraal proefschrift, UGent: Gent, 2011.

Techniek en architectuur, een vruchtbare samenwerking. Bogen, schalen en gevels in beton

Armande Hellebois

Université Libre de Bruxelles (Aspirante F.R.S.-FNRS), Service BATir

Door zijn verscheidenheid aan bouwwerken biedt het Brussels Gewest de mogelijkheid om het gebruik en de ontwikkeling van gewapend beton op een interessante wijze in perspectief te plaatsen. Deze beknopte studie, die gebaseerd is op een selectie Brusselse gebouwen en bouwwerken, geeft een overzicht van de diverse voordelen, maar ook van de beperkingen van dit bouw materiaal. De eerste constructies in gewapend beton verschijnen aan het einde van de 19de eeuw. Tot aan de Eerste Wereldoorlog bevindt dit vernieuwend bouw materiaal zich in een experimentele fase en wordt het voornamelijk gebruikt voor constructies van openbaar nut en industriële gebouwen. In het interbellum wordt gewapend beton gebruikt om zware lasten te ondersteunen of grote overspanningen te overbruggen. Later creëren architecten en ingenieurs gedurfde en lichte vormen, die geïnspireerd zijn door de krachten en de spanningen in het bouw materiaal. In de jaren '60 eist beton een voorkeurplaats op in de bouw. De grootschalige prefabricage, zowel voor woningen als voor kantoorgebouwen, verschaft gewapend beton tegen een competitieve prijs een sterk (en polemisch) imago.

1. DE INTRODUCTIE VAN GEWAPEND BETON

Gewapend beton bestaat uit twee materialen die rond het midden van de 19de eeuw verschijnen: enerzijds kunstmatig cement (gemengd met zand, granulaten en water) en anderzijds wapeningen in ijzer of staal. Het materiaal is erg vernieuwend in de periode voor de Eerste Wereldoorlog. Zijn structurele efficiëntie moet dus nog aangetoond worden en de geschikte architecturale vormen nog gevonden [1]. Bovendien wijzigt de introductie van dit materiaal de bouwsector ingrijpend, zowel op het vlak van de planning van het project, als wat betreft de uitvoering op de bouwplaats. In deze periode worden de bouwwerken in gewapend beton gedomineerd door commerciële octrooisystemen. De realisaties zijn vaak empirisch, maar toch voldoende sterk. Het gebruik van gewapend beton is bovendien vrij wijd verspreid in de jaren 1900. In het begin worden vooral vloeren en trappen gebouwd, vervolgens industriële opslagplaatsen (zoals het Koninklijk Pakhuis van Tour & Taxis, 1904-1907), openbare gebouwen en privéwoningen. Het leidmotief, meer bepaald dat van de firma Hennebique, is het risico op brand te beperken, aangezien beton een betere brandweerstand biedt dan metalen constructies. Het tweede voordeel van het bouw materiaal is dat het bestand is tegen hoge belastingen en trillingen, wat bijvoorbeeld goed van pas komt in fabrieken. Bovendien bevordert ook de wens naar een betere hygiëne het gebruik van gewapend beton. Langzaam maar zeker krijgen de wetenschappers vat op het onderwerp, wat zich rond 1905-1910 vertaalt in het verschijnen van de eerste normen in Europa.

2. DE VERSPREIDING VAN HET MATERIAAL IN HET INTERBELLUM

Tijdens het interbellum wordt gewapend beton op een meer zichtbare manier ingezet, zowel in Brussel

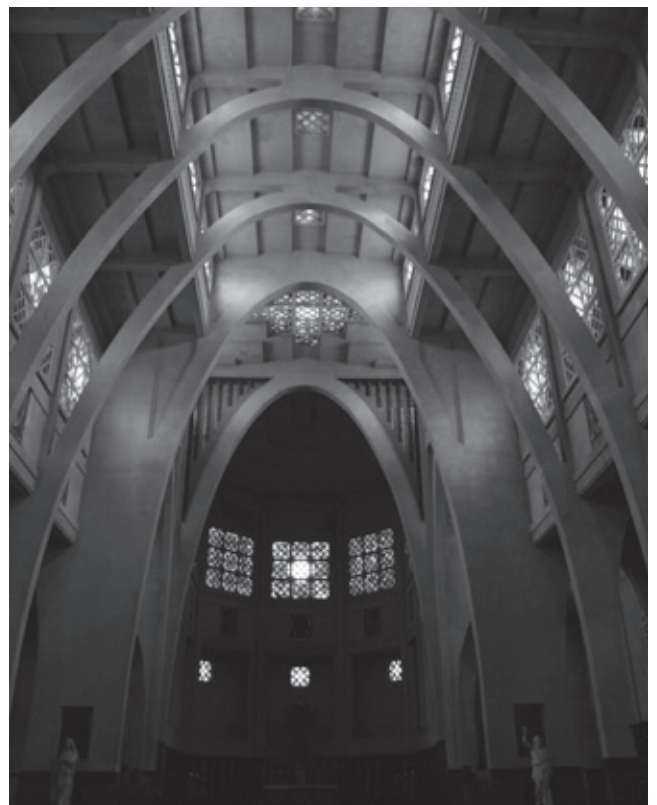


Fig. 1: Johannes de Doperkerk, zicht op de parabolische hoofdbogen (Attas, [4]).

als elders. Het materiaal wordt gebruikt in imposante constructies om hoge belastingen op te nemen en grote overspanningen te verwezenlijken. De boog is zo'n imposante structuur die slechts weinig plaats inneemt op de begane grond. De draagstructuur van de Johannes de Doperkerk in Molenbeek (1930-1932) is opgebouwd uit dergelijke grote parabolische bogen (hoogte 23 m en breedte 16,5 m) (fig. 1). Naast het op Art Deco geïnspireerde

idoom, dat meer bepaald gesuggereerd wordt door het gebruik van gewapend beton, zet architect J. Diongre dit bouw materiaal vooral in omwille van de snelle uitvoering en de lage kostprijs [2]. Gezien de puntbelastingen die aangrijpen op de boog, is deze boogvorm op structureel vlak echter niet de meest verstandige keuze. In de vorm kan men een zekere verwijzing zien naar het zwembad van de *Butte aux Cailles* in Parijs (1921-1924, L. Bonnier, Hennebique systeem) evenals naar de kerk van Raincy (1922, gebroeders Perret) [3]. De bouw van kerken in gewapend beton neemt in die periode toe, hoewel één van de eerste keren dat beton in een religieus gebouw toegepast werd al teruggaat tot de kerk van Saint-Jean in Montmartre in Parijs (1894-1904, A. de Baudot, Cottancin systeem).

In 1935 organiseert Brussel voor de derde keer een wereldtentoonstelling, destijds ter ere van de honderdste verjaardag van de Belgische spoorwegen en de vijftigste verjaardag van de Belgische kolonie. De tentoonstelling vindt plaats op het Heizelplateau. In dit kader wordt het grote paleis van de Heizel gebouwd, het huidige Paleis 5 (arch. J. Van Neck, ir. L. Baes) waarvan de Art Deco gevel vandaag emblematisch is. De draagstructuur bestaat uit twaalf parabolische driescharnierbogen, die twee per twee gebouwd werden. Ze hebben een spanwijdte van 86 m en zijn 31 m hoog. Eén van de opmerkelijke aspecten van het bouwwerk is de ingenieuze uitvoering, waardoor het gebouw in een minimum van tijd voltooid kon worden (fig. 2). De sleutelmomenten van het bouwproces zijn als volgt [5]. Eerst worden de metalen driescharnierbogen gebouwd om de bekisting en de betonning van de definitieve betonbogen te dragen. Vervolgens worden de funderingen van de permanente steunen uitgevoerd met schuine en verticale palen. Daarna worden de bogen bekist en het beton gegoten. Er wordt snelhardend beton gebruikt voor een vlugge ontlasting. Dan volgt de delicate operatie van het ontlasten. De betonstructuur wordt hier opgetild - wat uiterst zeldzaam is, maar mogelijk door het plaatsen van een vijzel in het middelste scharnier van de boog. Tot slot wordt de metalen boog in de lengterichting verplaatst en wordt het proces herhaald voor het volgende paar bogen.

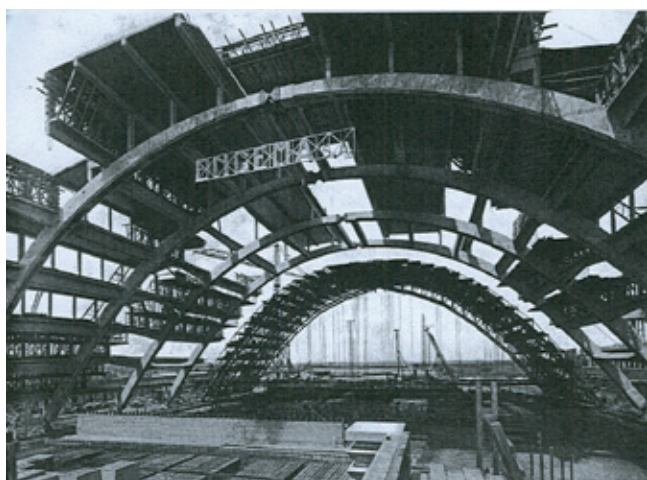


Fig. 2: Paleis 5 tijdens de bouwwerken [6].

Brussel telt nog andere boogstructuren in gewapend beton kenmerkend voor deze periode [4], zoals het spoorwegviaduct van Pede (1929) dat bestaat uit zestien boogvormige traveeën (23 m maximale overspanning) met drie scharnieren, volgens het type Freyssinet, of de voetgangersbrug over een vijver in het Park van Ossegem, gebouwd ter gelegenheid van de Wereldtentoonstelling van 1935. De boog die het brugdek ondersteunt is slechts 40 cm dik voor een overspanning van 35 m. De vormgeving van deze brug past binnen de tijdgeest en sluit aan bij het oeuvre van de Zwitserse ingenieur R. Maillart. Het planetarium (arch. M. Keym, arch. C. Van Nueten) is ook in 1935 gebouwd. Dat bouwwerk is uitzonderlijk door de geringe dikte van zijn koepel: 5 cm dik voor een binnendiameter van 23,5 m. In 1968 is deze koepel vervangen door een koepel met een doormeter van 25 m en een dikte van 6,8 cm. Men zou deze koepel dus in verband kunnen brengen met de koepel van het planetarium van Jena (1925), ontworpen door de Duitse ingenieurs F. Dischinger en W. Bauersfeld. De koepel in Jena, één van de eerste koepels in gewapend beton met een uiterst geringe dikte, luidt tevens de periode in van het bouwen met dunne schalen in gewapend beton, originele creaties van de ingenieurs.

3. VORM EN STRUCTUUR

In de jaren 1920 verschijnen de eerste schaalconstructies in gewapend beton met een geringe dikte, onder andere dankzij het werk van E. Freyssinet, F. Dischinger en E. Torroja. Op dat moment worden zij hoofdzakelijk gebruikt om industriële hallen en vliegtuigloodsen te overdekken, met de bedoelingen het gewicht te verminderen en materiaal te besparen [7]. Het idee is, zoals Joedicke heeft geschreven, om 'de vorm van de constructie te kiezen op basis van de verdeling van de krachten' [8]. De kenmerken van een schaalconstructie zijn: een structureel gedrag dat het resultaat is van de sterkte en de stijfheid van de globale vorm; een geringe dikte in verhouding tot de oppervlakte; en het feit dat er geen onderscheid is tussen de dragende en de gedragen elementen. Er zijn vormen mogelijk met enkele kromming (zoals bijvoorbeeld het tongewelf), met dubbele positieve kromming (zoals de koepels), met dubbele negatieve kromming (voor de hyperbolische paraboloiden (HP)); of nog andere (geplooid betonschalen, conoïden, enz.) (fig.3). Deze nieuwe vormen zijn voortaan mogelijk dankzij het gebruik van materialen met een druk- en treksterkte, zoals gewapend beton.



Fig. 3: Oppervlakte met positieve, negatieve of nul Gaussiaanse kromming [9].

De HP, een schaal met dubbele negatieve kromming, heeft het voordeel dat de bekisting uit rechte elementen

vervaardigd kan worden, wat de bouw vergemakkelijkt. In de jaren 1930 werken twee Franse ingenieurs, B. Laffaille en F. Aimond, met HP oppervlakken en ontwikkelen ze er alle wiskundige grondprincipes voor op het vlak van geometrie en spanning (membraankrachten) [10]. De betonschalen in de vorm van een HP zullen echter maar een reëel succes kennen tussen 1950 en 1970, met in het bijzonder de realisaties van F. Candela in Mexico. Op dat moment worden er vele varianten, combinaties of intersecties van vormen in schaalconstructie verwezenlijkt. In België wordt de ontwikkeling van schaalconstructies geassocieerd met een beroemd figuur, professor A. Paduart [7]. De eerste schaalconstructie die door Paduart wordt ontworpen en uitgevoerd zijn de loodsen van de Haven van Antwerpen (1948, 8 tot 12 cm dik, 15 m breed). Het voornaamste argument in het voordeel van een dergelijk tongewelf is de besparing op materiaal en voornamelijk op staal. In de context van de wederopbouw in de naoorlogse jaren, wanneer er een gebrek is aan bouwmaterialen, zijn de schaalconstructies inderdaad een goedkope oplossing, ook al zijn het projecten waarbij veel arbeidskrachten moeten worden ingezet. Later verwezenlijkt Paduart de vliegtuigloodsen in Chièvres (1950-1952, 6 cm dik, 60 m breed) met schaalconstructies in de vorm van gegolfde bogen, aansluitend bij de loodsen van Orly (1923) van Freyssinet [7].

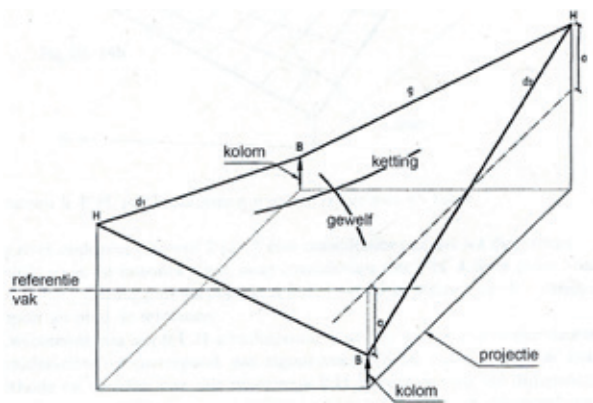


Fig. 4: Concept van de HP [11].

De luifel van het Instituut voor Sociologie van de ULB (1966) is het resultaat van een samenwerking tussen architect R. Puttemans en ingenieur A. Paduart, met tussenkomst van het bureau Setesco. Het gaat om een voorbeeld van een schaalconstructie van 7 cm dik die uit vier HP's bestaat, waarvan er twee ongeveer 12 m uitkragen [7]. Het dak van de ateliers van de Renault garage in Anderlecht (1963) is een ander Brussels voorbeeld van een dak dat gebouwd is met een HP schaalconstructie, maar van het 'paraplutype' dat zijn hoogtepunt kent in de jaren 1950-1960 [4].

De HP is een driedimensionale vorm waarvan men de oppervlakte verkrijgt door translatie van een convexe parabool over een concave parabool, of door verschuiving van een rechte (de generatrice) op twee richtlijnen (niet-convergerende rechten) (fig.4). De HP gedraagt zich dus als een geheel van gewelven en kettlinglijnen die in een hoek van 45° ten opzichte van de randen staan (fig.4) [9]. De randen worden belast door een schuifkracht op het

grensvlak tussen de schaal en de rand. De eenvoud van de bekistingen is te wijten aan het feit dat het om een regeloppervlak gaat. De HP heeft vier hoeken en de orthogonale projectie vormt een vierhoek. Hij heeft twee lage en twee hoge punten (fig.4). De krachten aan de randen, die worden veroorzaakt door de belasting, zijn gericht van de hoge naar de lage punten van de structuur. De krachten streven er dus naar om de twee lage punten uit elkaar te drijven. In het geval van de luifel van het Instituut voor Sociologie heffen bepaalde krachten elkaar op dankzij het naast-elkaar-plaatsen van de HP's, maar anderzijds streven de krachten die op de twee stutten worden overgebracht ernaar om deze uit elkaar te drijven. Daarom verbindt een trekbal in voorgespannen beton de funderingen van de twee voeten met elkaar [7].

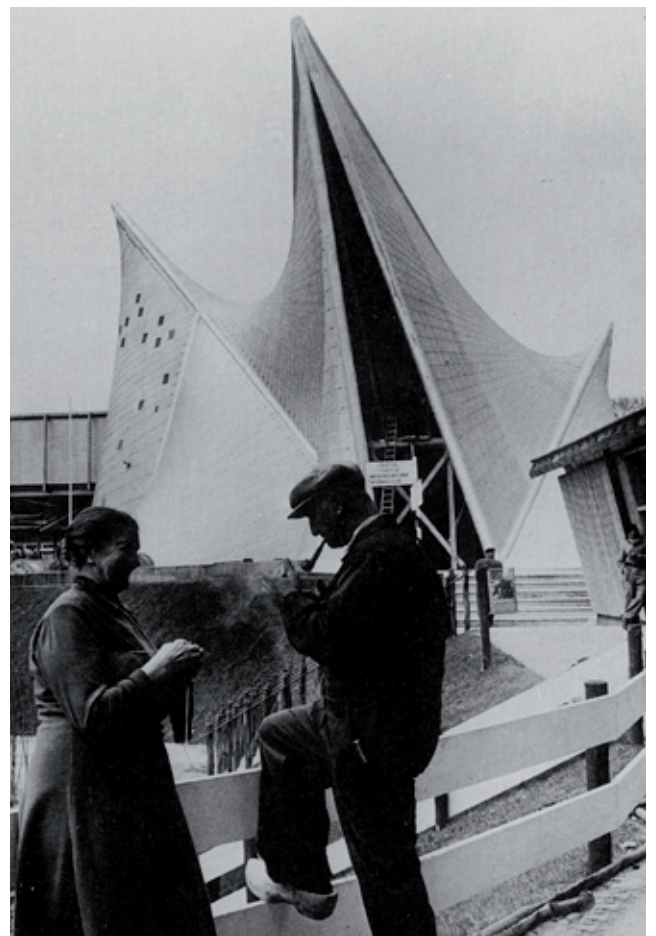


Fig. 5: Philips paviljoen tijdens de Expo 58 (Bron: archief Le Corbusier).

Voor Expo 58 wordt het Philipspaviljoen opgetrokken, een kunstwerk van architect Le Corbusier en zijn medewerker I. Xenakis (fig. 5) [12]. Dankzij dit totaal kunstwerk ervaart de bezoeker een akoestische en visuele compositie, het *Poème électronique*. Het paviljoen is eerder een object, bijna een sculptuur, dan een gebouw. Het is trouwens als dusdanig bedacht.

Het technisch vernuft van het 20 m hoge paviljoen ligt vooral in de plaatsing van de negen HP-schalen met een dikte van 5 cm, die onderverdeeld zijn in kleinere platen van een vierkante meter in geprefabriceerd gewapend beton. Deze platen worden ter plaatse aaneengezet en

met elkaar verbonden door kabels aan beide zijden van de platen aan te spannen. Deze zeer moeilijk te berekenen vorm is vooral gedimensioneerd via het maken van schaalmodellen [12].

Voor diezelfde wereltentoonstelling bouwen A. Paduart, J. Van Doosselaere en J. Moeschal de beroemde Pijl van de Burgerlijke Bouwkunde (afgebroken in 1970). 'Deze constructie in gewapend beton moest een signaal zijn, een trekpleister, dankzij de technische en esthetische originaliteit' en ook nog 'de overwinning van de Belgische burgerlijke bouwkunde op de natuur' symboliseren [13]. De Pijl van de Burgerlijke Bouwkunde bestaat uit twee uitkragingen die ondersteund worden door één enkele fundering. Aan één kant een koepel bestaande uit een dunne betonschaal van 6 cm dik die een tentoonstellingszaal huisvest en als tegengewicht dient voor de monumentale pijl aan de andere kant. Deze pijl bestaat uit een enorme balk in gewapend beton met een uitkraging van 78 m en een V-vormige doorsnede met dunne wanden waarvan de dikte varieert tussen 12 cm en 4 cm. De punt bevindt zich 35 m boven de grond. Deze uitkraging is niet gemakkelijk uit te voeren, wegens de complexiteit en de dichtheid van de wapeningen, net als het ontkisten, wat moeilijk is op zo'n grote hoogte [4].

Het laatste voorbeeld van het werk van A. Paduart in het domein van de dunne schaalconstructies is de tribune van de hippodroom in Groenendaal, gebouwd in 1980 in de Brusselse rand (J. Vandevoorde) (fig.6).



Fig. 6: Gevouwen betonschaal van het hippodroom in Groenendaal (Espion, [7]).

De tribunes zijn overdekt door uitkragende gevouwen dunne schalen (13,5 m) die slechts 7 cm dik zijn. Dit is een opmerkelijk voorbeeld omdat het waarschijnlijk de grootste gevouwen dunne schaal is in het Brussels Gewest [7]. Hoewel dit bouwwerk later werd opgetrokken, ligt het in de lijn van de gevouwen dunne schalen, die bekend zijn geworden door het UNESCO auditorium te Parijs (1958, P. Nervi, M. Breuer). Dit werk van Paduart herinnert ook aan de hippodroom te Zarzuela van E. Torroja (1935), met soortgelijke afmetingen, maar met een ander type van dunne schaal (hyperboloïdesector aan de Spaanse tribune).

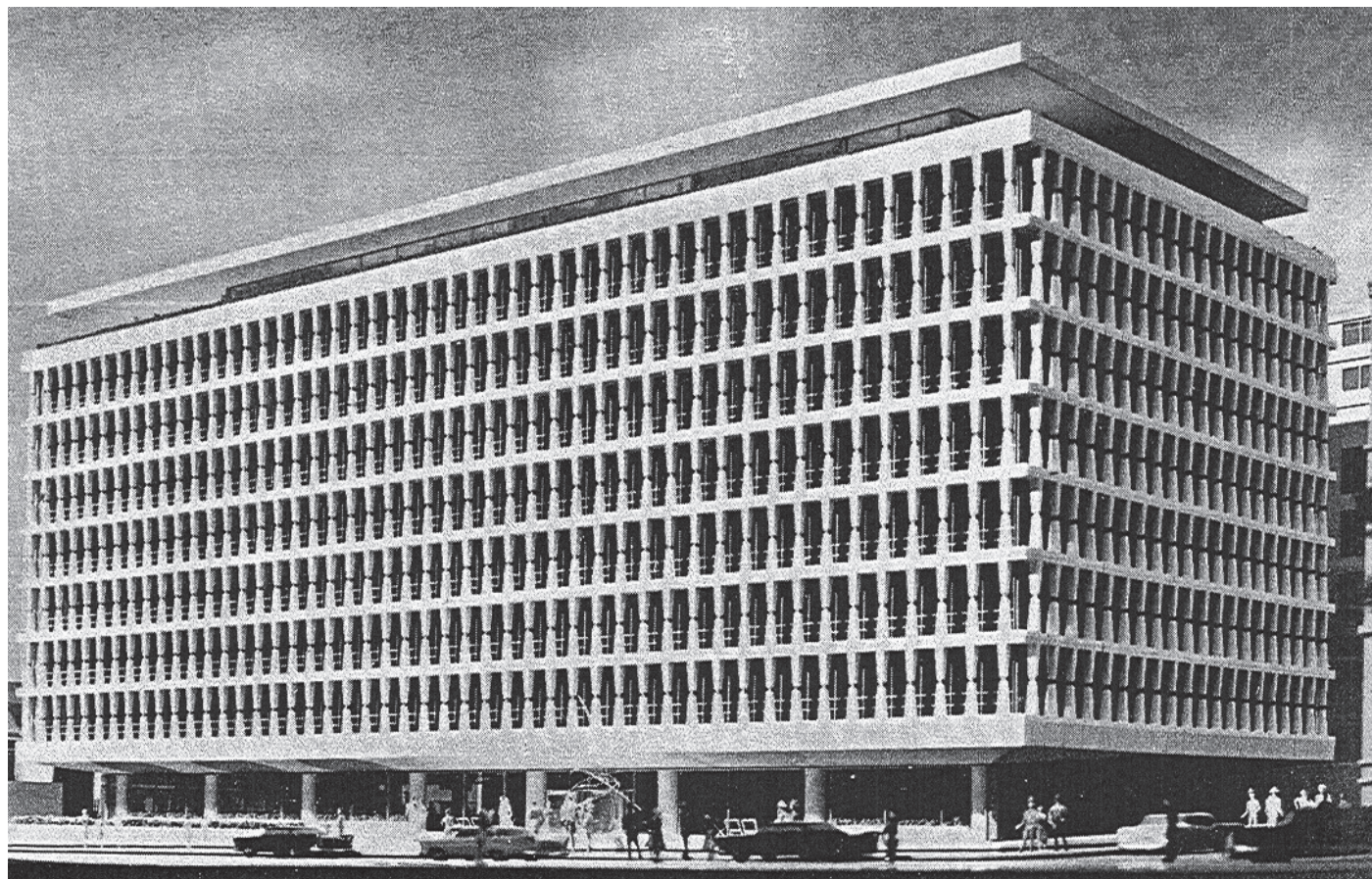


Fig. 7: Gevel van de Bank Brussel Lambert, illustratie op basis van een maquette [15].

Vanaf de jaren 1970 veranderen de economische tendensen en worden de dunne schalen, die arbeidsintensief zijn, verdrongen door metalen constructies, of door gespannen kabelstructuren.

4. WANNEER DE PREFABRICAGE EEN NIEUW IMAGO ONTWIKKELT

Na de Tweede Wereldoorlog neemt de toepassing van gewapend beton sterk toe dankzij de toenemende industrialisatie [2]. De prefabricage maakt wezenlijke besparingen mogelijk door de herhaling van de elementen en de snelle montage. Eén van de gevoelige punten van de prefabricage is echter het samenstellen van de elementen. Bovendien moet het geprefabriceerd beton, hoewel dit een uitstekende afwerkingskwaliteit bezit, zijn plaats nog vinden in de collectieve esthetiek. Architectonisch beton is een oplossing die totaal verschilt van de gordijngewel waarbij het gebouw volledig omhuld wordt door een beglaasde huid die op geen enkele manier bijdraagt tot de stabiliteit van het bouwwerk – in tegenstelling tot architectonisch beton. Een gordijngewel kan dus licht zijn en weinig plaats innemen. Net als architectonisch beton leent een gordijngewel zich uitstekend voor modulatie en dus prefabricage [4]. De eerste gevel in België die opgetrokken is met de techniek van de gordijngewel is de PS toren (1957, H. Van Kuyck), op dat moment ook de hoogste wolkenkrabber van Brussel. In de Verenigde Staten worden gordijngewels gebruikt vanaf de jaren 1910 en frequent in de jaren 1930 [4].

In Brussel is één van de eerste toepassingen van geprefabriceerd beton in gevels het Foncolingebouw (*Fonds Colonial des Invalidités*, 1955-1958), van de architecten A. Jacqmain, J. Wabbes en V. Mulpas, in samenwerking met de ingenieurs van de Nederlandse firma Schokbeton [2]. De gevel bestaat uit geprefabriceerde kaders die de belastingen van de vloeren grotendeels dragen. Door het gebruik van geprefabriceerd beton zal het Foncolingebouw een bron van inspiratie zijn voor talrijke gebouwen in Brussel. Het BBL gebouw (Bank Brussel Lambert, 1958-1964), tegenwoordig ING, geldt ook als één van de eerste toepassingen van architectonisch beton (fig. 7). Dat kantoorgebouw doet trouwens denken aan het gebouw van de RTT (1959, L. Stynen, P. De Meyer) op het vlak van zijn technische kenmerken, nl. een gevel die de vloeren draagt en met zeer weinig kolommen in het gebouw [14]. Aan de nieuwe hoofdzetel van de BBL wil de bank een sterk imago meegeven en daarom wordt het wereldberoemde New Yorks architectenbureau Skidmore, Owings and Merrill aangesproken. De gevelelementen zijn geprefabriceerde en voorgespannen kruisvormige elementen in beton, die de welfsels van de vloeren dragen. Deze elementen zijn onderling verbonden door een knooppunt in roestvast staal (fig. 8).

Enkele jaren later benut de groep CBR (Cimenteries et Briqueteries Réunies, 1967-1970) de mogelijkheden die deze nieuwe architectuur biedt om in Brussel een emblematisch gebouw voor de sector van de prefabricage

op te trekken. Het bouwwerk is een torengedebou met negen verdiepingen. De gevelelementen in architectonisch beton ondersteunen de welfsels van de vloer uit geprefabriceerd voorgespannen beton, maar dienen ook als omhulsel en vormen decoratieve elementen in het gebouw [16]. De geprefabriceerde elementen bevinden zich hier in het vlak van de gevel, in tegenstelling tot bij de vroegere BBL. Dankzij het gebruik van geprefabriceerde elementen kan het gebouw snel worden opgetrokken. Deze gemakkelijke uitvoering is immers één van de grote voordelen van de prefabricagetechniek.

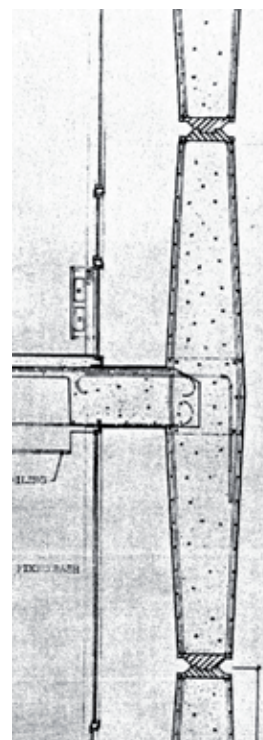


Fig. 8: Gevel van het BBL gebouw, detail van de verbinding tussen twee gevelelementen en tussen de gevelelementen en de vloer [15].

In dezelfde periode wil de ASLK (Algemene Spaar- en Lijfrentekas) ook haar nieuwe hoofdzetel bouwen in Brussel (1971-1973). Naast het gebruik van paddenstoelvloeren, niet echt courant in België, en originele PREFLEX-balken, worden er voor de gevel van dat gebouw ook elementen van geprefabriceerd architectonisch beton gebruikt [17]. De bijzonderheid schuilt in hun vorm, nl. een omgekeerde Y. Ze bestaan hoofdzakelijk uit gewapend beton, met wapeningen met grote diameters. Bovendien wordt de onderzijde van elk element voorgespannen, want deze elementen, die zware verticale belastingen dragen, ondergaan grote trekspanningen aan de binnenwelfing. Anekdote: in 1968 doet de ASLK een beroep op de *Service d'Analyse des Contraintes* van de ULB om experimentele proeven op modellen en numerieke simulaties uit te voeren. Wat het experimentele aspect betrof, gaat het voornamelijk om foto-elastische proeven op een schaalmodel en om breukproeven op een schaalmodel van het element, waarbij de vervormingen opgemeten werden, meer bepaald door straingages. Parallel heeft deze case toegelaten om de prestaties van de numerieke eindige elementenmethodes, destijds een nieuwe theorie, te toetsen aan de experimentele resultaten.

5. TOT BESLUIT

Deze reeks Brusselse voorbeelden illustreert de talrijke mogelijkheden van gewapend beton in de bouw. Dankzij de technieken en technologieën die werden uitgevonden of stapsgewijs op punt werden gesteld, kon elke periode voordeel halen uit het materiaal. Eerst hebben de weerstand en vormvrijheid er een voorkeursmateriaal voor kunstwerken of grote gebouwen van gemaakt. Vervolgens hebben de beheersing van de vervaardiging van het beton en de aanverwante technologische werktuigen toegelaten om het op grote schaal te produceren, wat nodig was voor de wederopbouw na de oorlogen. Bovendien heeft de uitvoeringssnelheid het bouwritme verhoogd. Dat ging soms ten koste van de kwaliteit op lange termijn of van te weinig architecturaal en esthetisch onderzoek. Desalniettemin kwam door de nauwe samenwerking tussen structuur en vorm de techniek van de dunne schalen tot stand. Dankzij de wiskundige theorieën worden de constructies beperkt tot het strikte minimum. De noodzaak om materiaal te besparen heeft geleid tot een uitgepuurde architectuur met originele vormen.

REFERENTIES

- [1] Hellebois, A. & Espion, B., *Réflexions sur la conservation des premières constructions en béton armé (1880-1914)*. *Les Nouvelles du Patrimoine*, 132, pp. 11-14, 2011.
- [2] Van de Voorde, S., *Bouwen in beton in België (1890-1975)*. *Samenspel van kennis, experiment en innovatie*, Doctoraal proefschrift, UGent: Gent, 2011.
- [3] Marrey, B. & Hammoutene, F., *Le béton à Paris*, Parijs: A. et J. Picard, 2000.
- [4] Attas, D. & Provost, M., eds., *Brussel, in de voetsporen van de bouwkundig ingenieurs*, CIVA: Brussel, 2011.
- [5] Baes, L., Le ripage des arcs en béton armé du grand palais de l'exposition Universelle et Internationale de Bruxelles 1935. *Annales des Travaux Publics de Belgique*, pp. 773-789, 1934.
- [6] Baes, L., Les Grands Palais de l'Exposition Universelle et Internationale de Bruxelles 1935. Aperçu général concernant les ouvrages métalliques. *L'Ossature Métallique*, 3(6), pp. 279-297, 1934.
- [7] Espion, B., Halleux, P. & Schiffmann, J., Contributions of André Paduart to the art of thin concrete shell vaulting. *Proc. of the 1st Int. Congr. on Construction History*, ed. Huerta, S., Madrid, vol. 2, pp. 829-838, 2003.
- [8] Joedicke, J., *Les Structures en Voiles et Coques*, Karl Krämer: Stuttgart, 1963.
- [9] Walther, R. & Treleani, J., *Construire en béton. Synthèse pour architectes*. *Traité de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*, PPUR, 1993.
- [10] Espion, B., *Thin Reinforced Concrete Shells*, lezing gegeven op 1st European Summer School on Construction History CHESS 2011, Cambridge, 4 augustus 2011.
- [11] Provost, M., *Conception des ouvrages en béton*, vols. 1 & 2, cursus CNST 299-ULB, 2005.
- [12] Xenakis, Y., Vreedburgh, C., Bouma, A., Ligtenberg, F. & Duyster, H., Le pavillon Philips à l'Exposition Universelle de Bruxelles 1958. *Revue Technique Philips*, 20(1), pp. 1-40, 1958-1959.
- [13] Paduart, A. & Van Doosselaere, J., La flèche du Génie Civil, au Heysel. *Annales des Travaux Publics de Belgique*, pp. 7-54, 1958.
- [14] Novgorodsky, L., Le nouveau siège central de la banque Lambert à Bruxelles. *La Technique des Travaux*, 38 (9-10), pp. 275-286, 1962.
- [15] 50 ans d'architecture en Belgique, *Architecture*, 36, pp. 568-571, 1989.
- [16] Novgorodsky, L., Le nouveau siège social de la cimenterie CBR à Watermael-Boitsfort (Bruxelles). *La Technique des Travaux*, 47 (9-10), pp. 267-273, 1971.
- [17] Novgorodsky, L., Nouvel immeuble de la Caisse Générale d'Épargne et de Retraite (C.G.E.R.) à Bruxelles. *La Technique des Travaux*, 50 (3-4), pp. 63-76, 1974.

Voorspannen van beton en voorbuigen van staal: twee manieren om het gebruik van deze materialen in het midden van de 20ste eeuw te optimaliseren

Bernard Espion

Université Libre de Bruxelles, Service BATir

Het Brussels Gewest kan er prat op gaan dat het, tussen 1942 en 1952, de plaats was waar twee belangrijke bouwtechnieken tot stand zijn gekomen en waar ook de eerste experimenten met deze technieken hebben plaatsgevonden: het voorgespannen beton en de PREFLEX-balk. Hoewel de uitvinding van het voorgespannen beton zonder twijfel moet worden toegeschreven aan de Franse ingenieur Eugène Freyssinet, blijven de toepassingen vóór 1940 vertrouwelijk en quasi-experimenteel, daar destijds alle industriële technieken nog op punt gesteld moesten worden. In België begint de Gentse professor Gustave Magnel een 'nationale' voorspanningstechniek uit te werken, in samenwerking met de Brusselse aannemer Blaton-Aubert. Hij realiseert te Brussel in 1942 en in 1944 de eerste bouwwerken in voorgespannen beton in België, en geeft zo krediet aan een bouwwijze die een snelle ontwikkeling kent tijdens de wederopbouw van het land. Terwijl de voorspanning van beton duidelijk een optimalisering is van gewapend beton, is de PREFLEX-balk, die in 1950 uitgevonden werd door de in Brussel gevestigde ingenieur Abraham Lipski, eerder bedoeld als een optimalisering van het gebruik van stalen liggers. Net als bij voorgespannen beton, is het de voltooiing van de Noord-Zuidverbinding die de eerste realisatie met PREFLEX-balken mogelijk maakt. De techniek zal in België in de jaren 1950-1970 een wijdverspreid gebruik kennen, met toepassingen van formaat in Brussel.

1. INLEIDING

Beton is uitstekend bestand tegen drukbelastingen, maar bezit een zeer geringe treksterkte. Uit deze waarneming ontstaat aan het einde van de 19de eeuw de techniek van het gewapend beton. De eerste structurelementen in gewapend beton zijn balken en vloerplaten in gebouwen. In deze op buiging belast elementen wordt de wapening, die destijds hoofdzakelijk uit gladde ronde staven van zacht staal bestond (elasticiteitsgrens 240 MPa), vóór het storten van het beton aangebracht in de delen die door de belasting aan trekkrachten onderworpen zullen worden. Zodra het beton gestort en uitgehard is, hecht het aan de wapening. Bij het belasten wordt het beton gedeeltelijk onderworpen aan trek en gaat het scheuren. Op dat ogenblik vervult de wapening haar taak helemaal: ze verhelpt het gebrek aan treksterkte van het beton en zorgt voor het uitbalanceren van de resultante van de drukkrachten die geïnduceerd worden door de buiging in de balken en vloerplaten in beton. Merk wel op dat deze scheuren onder belasting zeer weinig zullen opengaan (minder dan 0,3 mm). Dit is niet waarneembaar, behalve voor een ervaren waarnemer, en is in principe niet nadelig voor de werking en de duurzaamheid van de constructies in gewapend beton.

2. UITVINDING VAN DE VOORSPANNING

Sinds de beginjaren van het gewapend beton beperken de gevolgen van deze scheurvorming het gebruik ervan, meer bepaald voor wat betreft de maximale spanwijdte van de elementen. Sommige pioniers zoeken naar oplossingen om deze scheurvorming in het beton onder belasting te beletten. De basisgedachte bestaat eruit een permanente samendrukking uit te oefenen op het door de buiging

op trek belaste deel van de balken. Al in 1888 bedenkt de Berlijnse ingenieur W. Döhring een systeem om de wapeningen vóór het storten van het beton op te spannen: wanneer het beton voldoende uitgehard is, wordt de kracht die op de wapeningen uitgeoefend wordt weggenomen en via de hechting tussen staal en beton wordt deze kracht omgezet in een drukkracht in de lengterichting op het betonelement. In dit octrooi herkent men enkele elementen van de principes van de voorspanning van beton door het voorrekken van de stalen wapening, vandaag een veelgebruikte techniek voor de constructie van voorgespannen en in de fabriek geprefabriceerde balken en platen. Deze techniek neemt echter pas aan het eind van de jaren 1950 een hoge vlucht.

Alle pogingen om de voorspanning van beton te verwezenlijken door het vooraf opspannen van de wapeningen, destijds in staal met een lage elasticiteitsgrens, mislukken echter omdat de voorspanning van het beton na enkele weken verdwijnt. Dit valt perfect te verklaren doordat beton, in tegenstelling tot staal, geen materiaal met elastisch gedrag is: naast zijn onmiddellijke vervorming bij belasting ondergaat beton ook nog vertraagde vervormingen door krimp en kruip, die mettertijd toenemen. Aan het begin van de 20ste eeuw zijn de ingenieurs helemaal niet op de hoogte van deze vertraagde vervormingen. De Franse ingenieur Eugène Freyssinet (1879-1962) is waarschijnlijk één van de allereersten om het belangrijke en ongunstige effect van de kruipvervormingen te observeren tijdens de maanden na het verwijderen van de steunconstructie van de sterk gedrukte bogen met een spanwijdte van 72,5 m van de brug van Le Veudre over de Allier in 1912 [1]. Het is echter pas in de jaren 1920 dat enkele ingenieurs

proeven beginnen uit te voeren om deze vertraagde vervormingen te kwantificeren. Na een kwantitatieve en kwalitatieve studie over de vertraagde vervormingen van beton, dient Freyssinet in 1928 het eerste octrooi in (fig. 1) dat de principes van voorgespannen beton correct beschrijft (vooral door het voorrekken van de wapening of pre-tensioning). Hij is de eerste die het mechanisme van verlies van voorspanning door krimp en kruip van het beton begrijpt en die daaruit afleidt dat de voorspanning van het beton absoluut met wapeningen met zeer hoge sterkte moet worden uitgevoerd. Hij dient zijn ontslag in bij de aannemer (Limousin) waarmee hij talrijke buitengewone constructies heeft gebouwd en waarmee hij in Frankrijk en in het buitenland grote bekendheid heeft verworven. In 1929 begint hij met het op punt stellen van de voorspanningstechnieken met het oog op de exploitatie van zijn octrooi. Pas omstreeks 1935 boekt hij succes met enkele realisaties in Algerije en met proeven door de Duitse concessiehouder van het octrooi vanaf 1936. Voor het uitbreken van de Tweede Wereldoorlog blijven de realisaties in voorgespannen beton echter slechts prototypes en genieten ze weinig bekendheid [2]. In de zomer van 1939 vraagt Freyssinet het octrooi aan dat doeltreffende middelen (kabels, verankeringen, vijzels) beschrijft om een voorspanning van beton uit te voeren door naspanning van de wapeningen, maar de toepassingen blijven tijdens de oorlogsjaren zeer beperkt en vertrouwelijk.

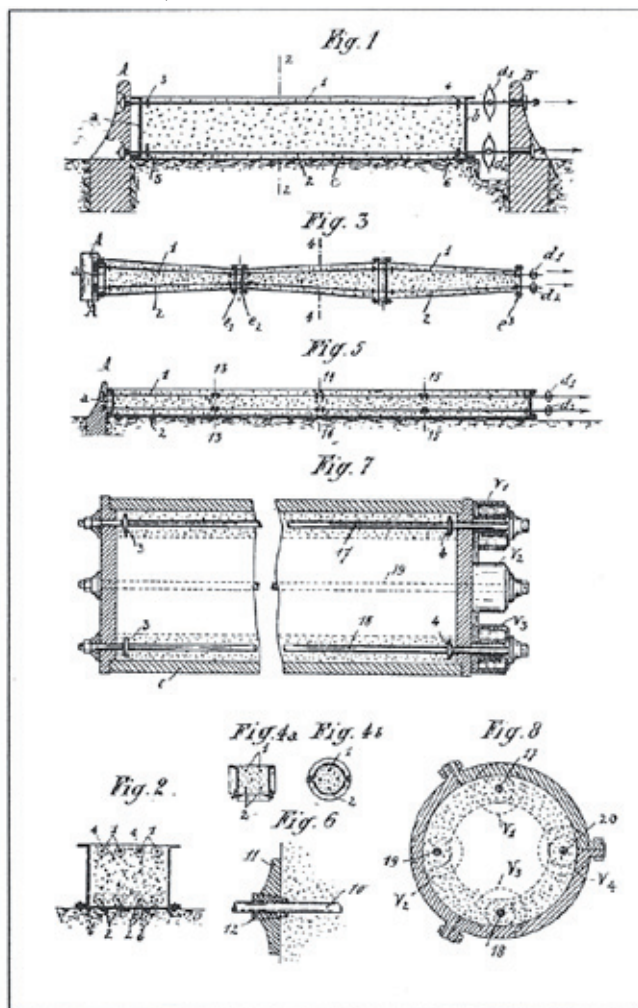


Fig. 1: Octrooi (1928) van de voorspanning [1].

3. EERSTE BELGISCHE VERWEZENLIJKINGEN

In België is professor Gustave Magnel (1889-1955) van de Universiteit Gent (UGent) de pionier van het voorgespannen beton [3]. Zijn academische positie heeft hem ongetwijfeld in staat gesteld om kennis te nemen van de zeldzame publicaties gewijd aan voorgespannen beton die in de gespecialiseerde literatuur verschenen sinds 1936. In samenwerking met de Brusselse aannemer Blaton, gaat Magnel vanaf 1941 een techniek van voorspanning met nagerekt staal ontwikkelen die zich van het Freyssinet procédé onderscheidt door het feit dat de draden uit hoogwaardig staal die de voorspanningskabels vormen (gespannen op 900 MPa en met een diameter van 5 mm) in paren onder spanning gezet worden en geklemd worden in een verankeringsysteem met sandwichplaten dat bekend zal worden onder de naam 'Blaton-Magnel' of 'Sandwich' systeem en dat in België veel gebruikt zal worden tot in de jaren 1960 (fig. 2).

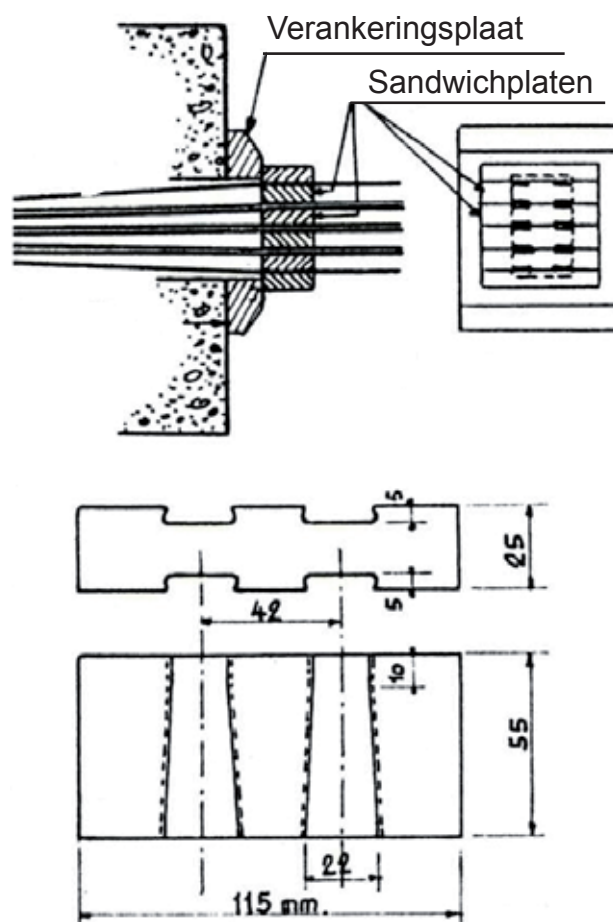


Fig. 2: Verankeringsplaat Blaton-Magnel [5].

Na enkele experimenten in zijn laboratorium op de universiteit, gaat Magnel op zoek naar toepassingen. In 1941 stelt hij voor om een brugdek in voorgespannen beton te realiseren in het kader van de werken aan de Noord-Zuid spoorwegverbinding in Brussel. Dat project zal bekend worden onder de naam *tabliers expérimentaux de la rue du Miroir* (experimentele brugdekken van de Spiegelstraat) [4]. Ze zijn experimenteel omdat Magnel,

gezien hun vernieuwend karakter, hun constructie beschouwt als een onderzoeksproject waarbij, naast zichzelf en Blaton, ook het Nationaal Bureau voor de Voltuoiing der Noord-Zuidverbinding (NBV), de NMBS, het controlebureau SECO, het Fonds Wetenschappelijk Onderzoek (FWO) en zijn collega's van de Université Libre de Bruxelles (ULB), Louis Baes (1883-1961) en Frans Van den Dungen (1898-1965), betrokken zijn bij de proeven in situ. De bouw van deze bruggen over de Spiegelstraat begint in 1942. Het geheel bestaat uit zes betonplaten met een overspanning van 20 m: twee platen zijn gerealiseerd in voorgespannen beton en de vier andere in gewapend beton. Dit verklaart hun verschillende dikte (1,24 m voor die in voorgespannen beton; 1,85 m voor die in gewapend beton) en illustreert op zeer duidelijke wijze één van de troeven van voorgespannen beton: de mogelijkheid om slankere constructies te realiseren dan in gewapend beton. Een voorgespannen controlebalk wordt ter plaatse op breuk beproefd in 1942, maar het opspannen van de twee voorgespannen brugdekken zal pas in de zomer van 1944 uitgevoerd worden. De brug wordt uiteindelijk in dienst genomen bij de voltooiing van de verbinding in 1952 en is nog steeds in gebruik. Maar terwijl dit het eerste bouwwerk in voorgespannen beton was dat in België ontworpen werd, was het niet het eerste dat in gebruik werd genomen.

Die eer komt toe aan een andere constructie in het Brussels Gewest: de voetgangersbrug met een overspanning van 21 m over het kanaal Charleroi-Brussel te Anderlecht ter hoogte van de Nijverheidskaai aan de Gosseliesstraat [4]. Vanaf 1944 heeft het bestuur van Bruggen en Wegen immers, onder de indruk van de resultaten van de proeven in de Spiegelstraat en overtuigd van de grote materiaalbesparingen (staal en beton) die met voorgespannen beton mogelijk waren, de toelating gegeven om projecten in te dienen die gebruik maken van voorgespannen beton voor de wederopbouw van bruggen die in 1940 vernield werden. De bouw van de voetgangersbrug in de Gosseliesstraat, door aannemer Blaton volgens een project dat waarschijnlijk door Magnel geïnspireerd werd, begint in maart 1944 en de voorspanning (Blaton-Magnel systeem) wordt zelfs vóór september 1944 uitgevoerd.

Vóór maart 1944 wordt ook het aannemingscontract toegewezen voor de wederopbouw van een andere voetgangersbrug in voorgespannen beton met een overspanning van 44,5 m over het kanaal Brussel-Charleroi te Malheide (Lembeek), op enkele kilometers van de grens van het Brussels Gewest [4]. Uit de ontvangen inschrijvingen heeft het bestuur niet die van Blaton (project Magnel) gekozen, maar wel die van de Brusselse aannemer *Société d'Etudes et de Travaux* (SETRA) die een voorspanningstechniek wil exploiteren die in 1943 gepatenteerd is door zijn directeur, ingenieur Carlos Wets. Het gaat om een zeer vernieuwend project, met een techniek van voorspanning door naspanning die niet met draden met een diameter van 5 of 7 mm en met verankeringen met sandwichplaten wordt uitgevoerd zoals in de Freyssinet of sandwich systemen, maar wel

uitwendig door staven in staal met zeer hoge weerstand (1150 MPa), met een grote diameter (40 mm) en die aan hun uiteinden getapt zijn en met moeren worden verankerd. Aangezien er voor die techniek nog geen referenties bestonden, eist het bestuur van aannemer SETRA dat hij een prototypebalk belast. Een balk met een overspanning van 30 m, een groot schaalmodel van de brug van Malheide, wordt in 1945 in de opslagplaats van SETRA te Haren gebouwd en in 1946 belast in aanwezigheid van een groot publiek van ingenieurs [4]. De proef wordt uitgevoerd onder leiding van ingenieur André Paduart (1914-1985), in 1944 aangeworven als technisch directeur van SETRA. Later zal Paduart beroemd worden als ontwerper van dunne betonschalen. De proef te Haren voldoet aan de eisen van het bestuur en de bouw van de voetgangersbrug van Malheide wordt aangevat in de zomer van 1947. Bij haar indienststelling in oktober 1947 vormt ze de langste overspanning in voorgespannen beton die op dat moment in België verwezenlijkt is. Het valt niet te betwisten dat de bloei van voorgespannen beton vlak na de oorlog te danken is aan de aanzienlijke besparingen van materiaal die deze techniek toeliet, meer bepaald van staal, wat een groot voordeel is in deze periode van schaarste van bouwmaterialen. Voor de verspreiding van het procedé in België is in het bijzonder de invloed van de publicaties van professor Magnel van belang. Hij publiceert als eerste een didactisch en praktisch boek over het ontwerpen van bouwwerken in voorgespannen beton. Het boek is regelmatig uitgebreid en al snel in het Engels vertaald. Magnel speelt ook een belangrijke rol in de introductie van voorgespannen beton in de Verenigde Staten in 1949 [3, 5].

4. HET VOORSPANNEN VAN STALEN LIGGERS

Aan het eind van de jaren 1940 kan de ijzer- en staalindustrie zonder groot prijsverschil twee kwaliteiten van stalen liggers produceren: in zacht staal (elasticiteitsgrens 235 MPa) of in hoogwaardig staal (elasticiteitsgrens 355 MPa). Het is echter niet mogelijk om uit deze hoge sterkte voordeel te halen voor metalen liggers, daar het vooral de instabiliteit (knik) en beperkingen van de doorbuiging onder belasting en minder de werkspanning van staal is die de keuze van de profielen bepaalt. Om te trachten de mechanische eigenschappen van profielen uit hoogwaardig staal zo goed mogelijk te benutten in metalen liggers, ontwerpt ingenieur Abraham Lipski (1911-1982), wiens studiebureau in Brussel gevestigd is, het principe van de voorspanning dat op 15 mei 1950 gepatenteerd wordt onder de handelsbenaming PREFLEX [5]. De stappen voor het realiseren van een PREFLEX-balk worden samengevat in fig. 3.

Men vertrekt van een balk uit hoogwaardig staal waaraan men tijdens het walsen een opbuiging heeft gegeven (fig. 3.a). Op deze balk wordt een voorbuiging toegepast door middel van twee geconcentreerde krachten (fig. 3.b). De grootte van deze voorbuiging in termen van spanningen in het staal is gelijk aan deze die onder belasting zou worden geproduceerd als men enkel de metalen ligger beschouwt. Rond de gespannen flens van de balk wordt beton met

hoge druksterkte gegoten (fig. 3.c). Wanneer het beton voldoende uitgehard is, worden de voorbuigingskrachten gelost (fig. 3.d). De metalen balk wil zijn oorspronkelijke positie terug innemen, maar de aanwezigheid van het beton belet dat; het beton wordt dus sterk samengedrukt en de trekspanningen in het profiel bedragen dan ongeveer twee derden van hun initiële waarde. Zowel het staal als het beton zijn dus voorgespannen (het ene vooraf opgespannen, het andere vooraf samengedrukt). In dit stadium (fig. 3.d) is de composietbalk, die in de fabriek geprefabriceerd wordt, klaar om naar de bouwplaats te worden vervoerd. Meestal wordt de omhulling van de metalen balk op de bouwplaats voltooid door het storten van een beton van tweede fase. Zo krijgt de balk het uitzicht van een voorgespannen balk (fig. 3.e). Dit resulteert in een gemengde balk uit staal en beton die, voor een gegeven draagvermogen en spanwijdte, minder hoog is (en dus minder plaats inneemt) dan een voorgespannen balk en, vanzelfsprekend, dan een onbekte metalen balk of een balk in gewapend beton. Deze balk is dus zeer geschikt voor het overbruggen van grote overspanningen, en de enige beperking wordt gevormd door het transport van lange balken langs de weg.

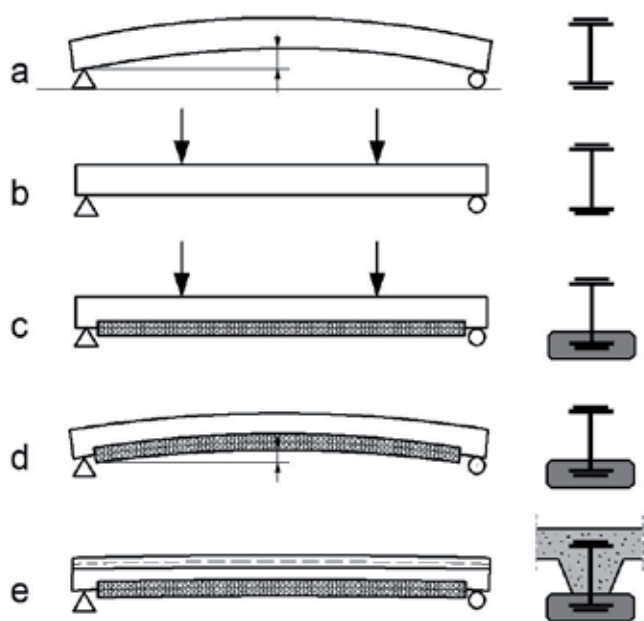


Fig. 3: Realisatie van een PREFLEX-balk [9].

5. BLOEI VAN DE PREFLEX-BALK

Abraham Lipski behaalde zijn diploma aan de UGent, maar het is met professor Louis Baes van de ULB dat hij de methodes ontwikkelt voor het dimensioneren van de PREFLEX-balk. Volgens een lange traditie die teruggaat tot de eerste openbare proeven op het belasten van balken in gewapend beton door Hennebique, en verdergezet voor voorgespannen beton, organiseert de firma PREFLEX, net als SETRA in 1946, een publiek evenement in Machelen waarop ze talrijke vakmensen en potentiële klanten uitnodigt voor de demonstratie van het procedé [6]. In mei 1951 gaat men over tot het beproeven tot het maximale draagvermogen van twee omhulde balken met een

spanwijdte van 11 m. Eén van de balken is enkel omhuld en de andere is voorgespannen volgens het PREFLEX-systeem. De resultaten van de proeven voldoen als vanzelfsprekend aan de verwachtingen. Hieruit wordt de validatie van de berekeningsmethodes van de PREFLEX-balken afgeleid: nu moet er nog enkel een markt worden gevonden.

De eerste klant voor PREFLEX-balken is weer het NBV dat grote interesse voor technologische innovatie toont. In juni 1952 worden er 166 PREFLEX-balken gebruikt voor de plafonds van de tramtunnel nabij het Zuidstation [7]. Ter gelegenheid van die werken wordt in juni 1952 een PREFLEX-balk met een spanwijdte van 14 m onderworpen aan een vermoeiingsproef (2 miljoen cycli) op de volledig nieuwe proefinstallatie van de Vereniging der Belgische Industriëlen te Oudergem. Het spreekt voor zich dat deze vermoeiingsproeven heel belangrijk zijn om het gebruik van PREFLEX-balken in bruggen te verantwoorden.

Er wordt al een eerste wegbrug uit PREFLEX-balken verwezenlijkt in 1953, maar het duurt nog tot 1957 voordat een eerste brug uit PREFLEX-balken in Brussel gebouwd wordt. Het gaat om de brug die de Keizerslaan draagt over de Lebeaustreet, aan het Gerechtsplein [8]. Ook deze brug wordt uitgevoerd in het kader van de aanleg van de Noord-Zuidverbinding. De plaats, de spanwijdte en de eisen voor het werken over een tramspoor rechtvaardigen het gebruik van PREFLEX-balken voor een spanwijdte van 31 m met een minimale hoogte. De NMBS zal vaak PREFLEX-balken gebruiken om spoorwegbruggen met een gemiddelde spanwijdte uit te voeren, zoals die over de Etterbeeksesteenweg aan het Schumanstation [9].

Tijdens de jaren 1950-1960 neemt de PREFLEX-balk een hoge vlucht en wordt hij in Brussel zeer veel gebruikt in de bouw, bijvoorbeeld voor het Congrespaleis op de Kunstberg. Naast de reeds vermelde voordelen van de PREFLEX-balk die het gebruik ervan verantwoorden wanneer de hoogte van balken gereduceerd moet worden, dient nog te worden vermeld dat het beton ook de nodige brandweerstand verschaft, een cruciaal punt voor metalen constructies in gebouwen. De meest spectaculaire realisatie met PREFLEX-balken is waarschijnlijk de Zuidtoren of pensioentoren. Met haar 37 verdiepingen, een vierkant grondvlak met zijden van 38,5 m en een hoogte van 150 m, is de toren tot op heden nog steeds de hoogste van België. Het gebruik van PREFLEX-balken heeft toegelaten om de plateaus zonder één enkele kolom te bouwen rond een vierkante kern met zijden van 20 m, wat een maximale vrije ruimte biedt [10]. Een andere belangrijke constructie in de Brusselse skyline is het Berlaymontgebouw. De hoogte ervan is iets bescheidener – slechts 13 verdiepingen – maar de draagstructuur maakt eveneens gebruik van PREFLEX-balken. Ter hoogte van de dertiende verdieping zijn 114 PREFLEX-balken geplaatst op de dunne betonwanden die de kern vormen. Aan hun uiteinden zorgen verticale hangstangen voor steunpunten voor de metalen vloeren van alle onderliggende niveaus [11].



Fig. 4: De bouw van de Zuidtoren met gebruik van PREFLEX-balken [10].

In 1989 hebben de NMBS en de firma Ronveaux uit Ciney, die de productie van de PREFLEX-balken heeft overgenomen na de stopzetting van de activiteiten van de firma PREFLEX (met fabriek in Ternat), een geperfectioneerde versie van de PREFLEX-balk gepatenteerd. In deze versie gaat de voorbuiging van twee metalen profielen gepaard met de voorspanning van een betonplaat door middel van kabelstrengen in het beton (pre-tensioning) om brugdekken met een trogvormige doorsnede te vormen voor spoorwegbruggen waarbij een minimale hoogte nagestreefd wordt. Het gaat om een zeer mooie synthese van de techniek van voorspanning van beton en voorbuiging van metalen profielen. Deze geprefabriceerde brugdekken werden overvloedig gebruikt voor de bouw van verschillende viaducten die noodzakelijk waren voor de aankomst van de hogesnelheidslijnen in het station Brussel Zuid [12].

6. BESLUIT

De bouwactiviteiten in het Brussels Gewest, en meer bepaald de voltooiing van de Noord-Zuidverbinding en sommige werken rond het station Brussel Zuid, hebben toegelaten om in België twee bouwtechnieken op punt te stellen die in de jaren 1940-1950 vernieuwend zijn: het voorgespannen beton en de PREFLEX-balk. De eerste projecten met voorgespannen beton in België worden in Brussel uitgevoerd door de Brusselse aannemer Blaton op aansporing van professor G. Magnel, die een beduidende bijdrage zal leveren aan de verspreiding van voorgespannen beton, niet alleen in België, maar ook in de Angelsaksische landen. De voetgangersbrug van Malheide, ontworpen door de Brusselse ingenieur Carlos Wets en uitgevoerd door zijn bedrijf SETRA, vormt een wereldpremière op het vlak van uitwendige voorspanning. De PREFLEX-balk, een authentieke uitvinding van het Belgische ingenieurswezen, wordt in Brussel ontworpen en beleefd er niet alleen zijn première, maar kent er ook zijn meest spectaculaire toepassingen. Het concept van de voorbuiging van metalen liggers, een mooie technische oplossing op principiële vlak, kent tot op heden nog geen grote verspreiding buiten België. Omdat het staalverbruik hier groter is dan bij voorgespannen balken, wordt deze techniek voorbehouden aan toepassingen waar geringe balkdikten nodig zijn.

REFERENTIES

- [1] Freyssinet, E., *Un amour sans limite*, Editions du Linteau: Parijs, pp. 15-81, 1993.
- [2] Grote, J. & Marrey, B., *Freyssinet, la précontrainte et l'Europe*, Editions du Linteau: Parijs, 2000.
- [3] Taerwe, L. R., Contribution of Gustave Magnel to the development of prestressed concrete. *Proc. of the Ned H. Burns Symp. on Historic Innovations in Prestressed Concrete*, eds. B. W. Russel & S.P. Gross, ACI-SP-231-1, 2005.
- [4] Espion, B., Early applications of prestressing to bridges and footbridges in Brussels area. *Proc. of the 3rd Int. Congr. on Construction History*, eds. K.-E. Kurrer, W. Lorenz & V. Wetzl, Cottbus, Vol. 2, pp. 535-541, 2009.
- [5] Van de Voorde, S., *Bouwen in beton in België (1890-1975): samenspel van kennis, experiment en innovatie*, Doctoraal proefschrift, UGent: Gent, 2011.
- [6] Baes, L. & Lipski, A., Amélioration, par flexion préalable, des poutres métalliques enrobées de béton. *La Technique des Travaux*, 27(5), pp. 305-320, 1951.

- [7] Lombard, A., Techniques particulières appliquées aux travaux des abords de la gare du Midi à Bruxelles. *Habitat et Habitation, documents d'architecture et d'urbanisme*, 13(7), pp. 89-94, 1953.
- [8] Decarpentrie, E., Le viaduc de la place de la Justice à Bruxelles. *Acier-Stahl-Steel*, 24(4), pp.163-168, 1959.
- [9] Staquet, S., Kalogiannakis, G., Detandt, H., Van Hemelrijck, D. & Espion, B., Field testing of a 30 years old composite prebended railway bridge. *Bridge Engineering Journal*, 160 (BE2), pp.89-98, 2007.
- [10] Moussiaux, G., La Tour du Midi à Bruxelles. *Annales des Travaux Publics de Belgique*, pp. 286-292, 1967.
- [11] Verkeyn, A. & Dobruszkes, A., Le Centre Administratif Berlaymont. *Annales des Travaux Publics de Belgique*, pp. 136-140, 1978.
- [12] Staquet, S., Rigot, G., Detandt, H. & Espion, B., Innovative Composite Precast Precambered U-Shaped Concrete Deck for Belgium's High Speed Railway Trains. *PCI J.*, 49(6), pp. 94-113, 2004.

Een nieuw imago voor een bekend materiaal. De promotie en toepassing van hout als modern constructiemateriaal in Brussel

Rika Devos
UGent/St. Lucas WENK

Hout begint in de geschiedenis van de engineering pas een rol te spelen wanneer het, met de komst van geperfectioneerde verlijmings- en vernagelingstechnieken na de Tweede Wereldoorlog als een modern en technologisch ontwikkeld materiaal in de bouwpraktijk geïntroduceerd wordt. Deze technieken werden breed toegepast in het Brusselse en de Wereldtentoonstellingen van 1910, 1935 en 1958 toonden opmerkelijke primeurs en experimenten in deze context. Het aandeel van en de variatie in de houtconstructies was het grootste op Expo 58: van eerder klassieke toepassingen tot de bekende glulams, maar ook HB (Hilding Brosenius) spanten en vlak- of vormactieve constructies. Op deze tentoonstelling toonden firma's als De Coene, Nemaho en de Antwerpse Zagerijen de resultaten van de ontwikkeling in en van de promotie van de moderne houtbouw in België. In de daarop volgende decennia werden de moderne houtbouwtechnieken breed toegepast in het Brusselse.

1. DE TWEE GEZICHTEN VAN HOUT

In de architectuurtheorie is hout het materiaal waarbij de architectuur haar oorsprong vindt, en wel in de primitieve hut zoals die sinds Vitruvius wordt afgebeeld. Hout is de materie van het mythische fundament van de architectuur, al lijkt de materialiteit van die constructies er van ondergeschikt belang. Het gebruik van hout is er bijna 'vanzelfsprekend' en verbeeldt een 'oorspronkelijk' bouwen, een model ook dat verder zal ontwikkelen. In de architectuurgeschiedenis is hout eveneens een 'eerste' materiaal: zo wordt bijvoorbeeld de ontwikkeling van de antieke Griekse tempel, vereenvoudigd, voorgesteld als een evolutie van houten structuren naar natuurstenen, meer doorwrochte, constructies. Bouwen met steen wordt daarbij al snel geassocieerd met een meer geëvolueerd bouwen, en met macht en geld. Het klassieke blikveld van de Architectuur beperkt zich dan ook doorgaans tot stenen gebouwen, en dat tot materialen als gietijzer, staal, beton hun intrede doen. Zo ook in de Belgische architectuur- en constructiegeschiedenis. Toch kent hout ook hier vele, vaak opmerkelijke toepassingen, van verfijnd meubilair tot eeuwenoude, ingenieuze dakgebinten. Hout is als bouw materiaal een constante maar eerder anonieme aanwezige. Aan deze positie wordt een belangrijke, meer zichtbare laag toegevoegd met de komst van de nieuwe, moderne houtconstructieprocedures na de Tweede Wereldoorlog. De gelijkde en/of genagelde systemen introduceren hout als technologisch ontwikkeld materiaal, waarmee ook complexe geometrieën of grote overspanningen te realiseren zijn die zich qua kostprijs, structuurtype en dimensionering laten vergelijken met contemporaine structuren in staal of gewapend beton. De promotie van hout als modern constructiemateriaal is in België gepaard gegaan met een sterke nationale promotiecampagne, die officieel van start ging in het Paleis voor Schone Kunsten in 1955, culmineerde op Expo 58 en haar effect niet miste [1]. Omdat deze relance van het

hout bovenop een wijdverbreide en in tradities gevestigde expertise van houtbouw en -bewerking komt, laat het naoorlogse gezicht van het hout zich niet zomaar, of niet alleen, samenvatten in een verhaal van spectaculaire, grote overspanningen en een laag eigengewicht van de constructie. Hoewel er weinig houtconstructies opgenomen zijn in de bouw- en architectuurgeschiedenis van Brussel, zijn deze er niettemin bijzonder talrijk aanwezig. Tegenover die anonimiteit staan bovendien de presentaties van opmerkelijke houtconstructies op de Brusselse wereldtentoonstellingen, die niet alleen in het Brusselse, maar ook wereldwijd hun belang hebben gehad.

2. DE BELGISCHE HOUTPRIJZEN

De promotie van hout als modern constructiemateriaal neemt formeel start in België met de oprichting van het Belgisch Houtinstituut (1948) en het Nationaal Houtvoorlichtingsbureau (1952, NHVB). In dezelfde periode worden in Nederland en Frankrijk soortgelijke instituten opgericht die de bouwsector en de ontwerper informeren over de nieuwe mogelijkheden van het bouwen met hout. Het zijn onderzoeks-, onderwijs- en voorlichtingsinstituten, die instaan voor de ontwikkeling en verspreiding van de moderne houttechnologie. Hun inspanningen dringen ook door tot de reguliere specialistenuitgaven. Zo zal het architectuurtijdschrift *Bouwen & Wonen* bijvoorbeeld samenwerken met het NHVB en verschijnen er soortgelijke publicaties in de buurlanden [2, 3, 4]. De publicaties illustreren niet alleen de nieuwe houtprocedures op zich, maar tonen ook expliciet aan hoe de voor die tijd nieuwe driedimensionale structuren, maar eveneens rationalisatie- en prefabricatieprincipes ook realiseerbaar zijn in hout [5].



Fig. 1: St. Laurentiuskerk (voorgevel), 1954-'55, Lokeren. Arch. J. Windels en De Coene (Bron: Stichting De Coene vzw).

Het NHVB organiseerde tussen 1953 en 1958 verschillende wedstrijden, studiedagen en tentoonstellingen ter promotie van het houtgebruik in de architectuur in België. In drie opeenvolgende jaren, 1954-1956, realiseerde het NHVB drie 'mijlpalen' onder de titel *Het Hout op Nieuwe Wegen*, waarover *Bouwen & Wonen* uitgebreid rapporteerde [1, 2]. Het zomernummer uit 1954 toonde reeds de resultaten van de eerste Antwerpse Houtprijs, maar een groter publiek werd pas bereikt dankzij de tentoonstelling van de resultaten van de Nationale Houtprijs in het Paleis voor Schone Kunsten te Brussel in 1955, onder de titel *Het hout vriend van de mens*. De eerste prijs werd er weggekaapt door architect Jan Windels, voor zijn St.-Laurentiuskerk te Lokeren (fig. 1). De kerk was gerealiseerd met de nieuwe gelijmd gelamelleerde houten spanten (glulams) van de Kortrijkse Kunstwerkstede De Coene en geldt als één van de eerste toepassingen van dit type spanten in België. Dezelfde firma realiseerde ook de tentoonstellingsstand waarin het project werd gepresenteerd. Deze opstelling, naar ontwerp van Renaat Braem, demonstreerde eveneens de laatste mogelijkheden van de moderne houtconstructie met gebogen spanten, gekromde platen en verschillende soorten fineren. Windels en De Coene zouden het ontwerp een jaar later nogmaals uitvoeren: ook de O.L.V. ter Hemelenkerk in Watermaal-Bosvoorde werd gerealiseerd met deze parabolische driescharnierspanten. De 'derde mijlpaal', het Eerste Vijfjaarlijkse Salon van het Hout en Aanverwante Nijverheden te Gent (september 1956) zou zich nog meer naar een groter publiek richten. De spanten die de eerste prijs wegdragen voor de Nationale Houtprijs in 1955 zijn het resultaat van een snelle evolutie in verschillende procedés om gelijmd

gelamelleerde spanten en liggers te vervaardigen tot het type dat vandaag nog steeds wordt gebruikt. De spantdelen van zo'n glulam zijn opgebouwd uit op de kop vertande planken in standaardsecties die onderling verlijmd worden. De planken worden in de gewenste vorm gebracht, opgespannen om het contact tussen lijm en hout te garanderen, en vervolgens opgewarmd om het uitharden van de harsen te optimaliseren. Tenslotte wordt het glulam element geschaafd [1,6]. Met dergelijke elementen kunnen, vertrekkend van kleine standaardsecties als basismateriaal, grote overspanningen en een brede variatie aan vormen worden gerealiseerd. De glulams hebben daarnaast ook een goede brandweerstand en zijn ongevoelig voor zwammen en ongedierte. De naoorlogse doorbraak van het gebruik van glulams en aanverwante elementen valt te verklaren, ook in het Brusselse, door de economische situatie van het moment, maar evenzeer door de beschikbaarheid van nieuwe, vlotter verwerkbare en meer vocht-resistente lijmen, zoals ureum formaldehyde en melamine formaldehyde.

De eerste experimenten en patenten met gelijmd gelamelleerde balken dateren al uit 1891 en staan op naam van de Duitse timmerman-industrieel Karl Friedrich Otto Hetzer [7, 8]. Deze vroege liggers hebben echter een I-vormige sectie, sommige gelijmd (met caseïne), andere gelijmd en genageld. Brussel blijkt belangrijk voor de verspreiding van deze jonge techniek. Op de Wereldtentoonstelling van Brussel in 1910 werd de grote hal voor de Duitse spoorwegen, naar ontwerp van Peter Behrens, ingenieur Kügler en Hetzer, uitgevoerd in gelijmd tweescharnierspanten die 43 m overspannen – een record dat zou standhouden tot de jaren 1930. De volgende bekende realisatie van houten gelijmd liggers volgens het Hetzer procedé te Brussel is de tennishal op de Louisalaan in 1954, naar ontwerp van Emile Goffay. Het project werd – een jaar voor de Nationale Houtprijs – gerealiseerd door de Nederlandse firma Nemaho met tien elliptische driescharnierspanten voor een overspanning van zo'n 35 m, opnieuw I-profielen. Nemaho, dat als een dochterbedrijf van de firma van Hetzer kan worden gezien, vestigde zich in 1954 ook te Brussel. Kort daarna zouden de eerste bestellingen voor paviljoenen en nutstructuren binnenlopen voor Expo 58, de eerste naoorlogse wereldtentoonstelling.

3. EXPO 58 EN DE PROMOTIE VAN HET MODERNE HOUT

Op Expo 58 zijn drie belangrijke houtconstructeurs actief: De Coene, Nemaho en de Antwerpse Zagerijen. De tentoonstelling biedt hen de gelegenheid om hun nieuwe producten en werkwijzen te demonstreren. Daarnaast worden ook opmerkelijke houten structuren gerealiseerd met meer klassieke middelen, zoals de demonteerbare frames voor de Snackbar aan de Vier Seizoenentuin naar ontwerp van Roger Bastin met ingenieur René Greisch of het ontvangstcomplex in Heizelpaleis 5 van Léon Stynen, De Meyer, Bresseleers en Meekels. Enkele paviljoenen kregen ook een draagstructuur van houten vakwerkliggers, zoals het paviljoen van de Agricultuur in de Koloniale

Sectie, een ontwerp van Ivan Blomme met ingenieur J. Ronsse of het Finse paviljoen van Reima Pietilä. Na de tentoonstelling werden nog enkele houten structuren aan de Heizelpaleizen toegevoegd: de passerelle aan de achterzijde van de paleizen, een vakwerkstructuur met elementen uit gelijmd gelamelleerd hout naar ontwerp van Philippe Samyn en partners en met als studie bureaus Setesco en Van Wetter (1999), maar ook Heizelpaleis 12 werd met een houten, driedimensionale schaalstructuur opgetrokken door Jean van Pottelsberghe en studie bureau Van Wetter (1988).

Het complex van de Heizelpaleizen dateert echter al van de Wereldtentoonstelling van 1935. Ook op deze tentoonstelling worden de constructieve mogelijkheden van kleine secties in hout getoond en wel in één van de meest prominent gelegen paviljoenen, vlak bij de paleizen: het Paviljoen van het Katholiek Leven van architect Henri Lacoste. De houten constructie van de vier koepels, waarvan het experimentele karakter aan vele toeschouwers en historici is ontgaan, is een complexe toepassing van de lamellenconstructie zoals die in 1908 te Dessau door Friedrich Zollinger werd ontwikkeld. Zollinger mikte op de goedkope constructie van daken voor sociale woningen door een ingenieus, deels prefabricerbaar systeem waarbij korte stukken hout met een eenvoudig nagelen boutverbinding werden samengevoegd. Net zoals bij zijn paviljoen voor de Exposition coloniale te Vincennes in 1931, tast Lacoste met de koepels de grenzen van deze techniek af. Hun geometrie laat immers niet toe om de constructie met slechts enkele standaardstukken te realiseren. Recent onderzoek heeft aangetoond dat er liefst negentien elementen nodig zijn voor de realisatie van dergelijke koepels en dat de hoeken en maten van de onderdelen alleen via complexe berekeningen bepaald kunnen worden. Contemporaine proefmodellen op schaal lijken te ondersteunen dat er een proces van *trial and error* gebruikt werd [9].

Meer nog dan haar voorgangers werkt Expo 58 als een illustratie van de moderne houtbouwtechnieken. Hun populariteit kan enerzijds verklaard worden door de aansporing van de organisatoren van de wereldtentoonstelling om, vooral in de Koloniale Sectie, hout te gebruiken voor de draagstructuren. Er werd immers gevreesd voor een tekort aan staal op de bouwwerf [10]. Hout, zo was de redenering, biedt dezelfde voordelen naar snelheid van montage en demontage en is qua prijs zeker concurrentieel. Het bouwproces van een van de grootste structuren op de site, het Gouvernementspaleis van Congo, Ruanda en Urundi (150 m lang en 19 m hoog) illustreert deze beweringen. Het paviljoen heeft een draagstructuur van 26 gelijmde spanten die 45,60 m overspannen, naar een ontwerp van Georges Ricquier, uitgevoerd door De Coene. De keuze voor de spanten werd gemaakt na een vergelijkende studie voor structuren in staal en beton, welke niet alleen duurder bleken op zich, maar ook zwaardere funderingen vereisten. De drie gespecialiseerde firma's – De Coene, Nemaho en de Antwerpse Zagerijen – realiseren samen 31 houten draagstructuren voor Expo 58 [11]. In het geval van de eerste twee zijn het telkens glulams, terwijl de Antwerpse zagerijen tegen 1957 naast dit type ook nog een gelijmd

genageld systeem op de markt hebben. De prestaties van deze firma's worden internationaal hoog ingeschat, getuige daarvan enthousiaste rapporten in gespecialiseerde pers, zoals het Brits *Wood* [12] of de getuigenis van de architect van het Noorse paviljoen (met glulam liggers van de Antwerpse Zagerijen), Sverre Fehn: 'It was quite a shock for me, coming from Norway, to see that they had at that time, in 1958, a technology ahead of ours, they were more clever in handling wood, in structural thinking, in plywood and glue constructions.' [13]

Niet alleen de op dat moment nog jonge technologie, maar ook de manieren waarop de glulams worden ingezet getuigen van de knowhow en inventiviteit van de Belgische houtindustrie. Een gebouw dat dit ten volle illustreert is het kleine Paviljoen van het Kortrijks Dakpannenkantoor, dat vandaag als één van de weinige nog op de Heizel staat, al is alleen nog de contour herkenbaar. Architect Geo Bontinck tekent dit paviljoen in de vorm van een halve bolkap en werkt de details verder uit samen met het ontwerp bureau van De Coene [1, 14]. Onder de bolkap worden twee niveaus ingericht, verbonden door een houten trap met getordeerde bomen (eveneens glulams) in de vide. De verdiepingvloer draagt op vrijstaande portieken uit gelijmd gelamelleerd hout. Over dit alles heen bepalen vier cirkelvormige driescharniersspanten de bolkap (fig. 2).

De twee middelste spanten kruisen in de nok van het paviljoen, de buitenste spanten lopen parallel aan de voor- en achtergevel van het gebouw. Niettemin raken de voeten van de aangrenzende spanten elkaar, waardoor de 8,75 m hoge bolkap met amper vier tippen op de sokkel steunt. Een eenvoudiger toepassing van glulams is de Kapel van Vrolijk België van architecten Yvan Blomme en José Vandevoorde. Opnieuw leverde de Coene de zes assymmetrische rechte driescharniersspanten. Deze structuur werd na de afloop van de tentoonstelling verkocht, inclusief het grootste deel van de inboedel, en geeft vandaag nog steeds vorm aan de kerk van de Engelstalige katholieke St. Anthony gemeenschap van Kraainem. In de jaren 1950-1960 worden wereldwijd vele kerken en kapellen met gelijmd gelamelleerde structuren gerealiseerd [15]. Vermeldenswaard in Brussel zijn, naast de O.L.V. ter Hemelenkerk, de Pius X kerk te Vorst van Paul en Marcel Mignot (1967), met een vergelijkbare structuur als de expokapel, of de Sint-Marcus kerk (1970) te Ukkel van architect André Milis – beide gerealiseerd door De Coene. Het gebruik van glulams heeft in de jaren zestig-begin zeventig een hoge vlucht genomen in het Brusselse in diverse programma's, al zijn ze vaak weggewerkt en vandaag nog moeilijk te traceren.

Een ander type 'moderne' houten spanten op Expo 58, zijn de gelijmd genagelde spanten, liggers en portieken, zoals die door de Antwerpse Zagerijen op de markt werden gebracht volgens het HB systeem waar de firma sinds 1954 het Belgische patent op had. HB staat voor Hilding Brosenius, de Zweedse professor aan het Koninklijk Instituut voor Technologie van Stockholm die het systeem in 1939-1940 heeft ontwikkeld. Dergelijke portieken of liggers hebben een I-vormig profiel met een lijf samengesteld uit twee lagen korte, gelijmde



Fig. 2: Het paviljoen van het Kortrijks Dakpannenkantoor, 1957-'58 (Expo 58), Brussel. Arch. G. Bontinck en De Coene (Bron: Stichting De Coene vzw).

planken in timmerhout, die elkaar onder een hoek van 90° kruisen en doorgaans versterkt worden met langs- en dwarsverstijvers. De flenzen zijn opgebouwd uit drie lagen timmerhout, vernageld volgens een specifiek patroon. Op Expo 58 worden acht paviljoenen volgens dit procedé opgericht, waaronder zelfs een hangend dak voor de kerk van het Vaticaanse paviljoen [8, 16]. Het is een schoteldak waarvan de zijdelingse steunen in HB zijn uitgevoerd. De dragers van het dak bestaan uit gelijmde liggers, waarin voor de longitudinale richting draagkabels zijn vevat, naar ontwerp van architect Roger Bastin en de Zweedse ingenieur Nils-Eric Lindskoug (fig. 3).

Op Expo 58 pakken constructeurs ook uit met vlak- of vormactieve structuren in hout. In de jaren 1950 vinden de berekeningsmethodes voor de dubbel gekromde en gevouwen oppervlakken, die reeds in het interbellum op punt waren gezet, ingang in de bouwpraktijk en wordt er volop mee geëxperimenteerd. Één van de grootste realisaties in hout volgens deze principes op Expo 58 is de kristallijne structuur van het gouvernementspaviljoen van Groot-Brittannië, uitgevoerd door het Britse Rainham Timber Engineering, met Howard Lobb & partners als architecten en Felix Samuely als raadgevend ingenieur. Het gebouw bestaat uit drie quasi-identieke tentvormen, elk samengesteld uit vier elementen opgebouwd uit een

systeem van houten ribben, waarop onder en boven een multiplex huid is gelijmd. Deze huid vervult ook een dragende functie – het zogenaamde *stressed skin* procedé, dat niet alleen een vergaande prefabricatie, maar ook een doorgedreven detaillering toelaat. Essentieel hierbij is evenwel de waterbestendigheid van de verschillende onderdelen, in het bijzonder de platen, waarbij de voegen delicate punten zijn. Getuige hiervan de luifel van de Natiënpoot, naar ontwerp van Pierre Guilissen en Jean Koning, met André Paduart als ingenieur en De Coene als uitvoerder. Naast het bekende tensegrity signaal werd een experimentele dubbele luifel opgetrokken: een dubbele vouwplaat die aan beide kanten 13,5 m over de centrale steunpunten uitkraagt. Het geheel lijkt een formele voorbode van de betonnen luifel die Paduart in 1985 voor de Groenendaal-hippodroom zal realiseren. De luifel van de Natiënpoot begeeft echter gedeeltelijk in de nacht van 8-9 juni en dit door moeilijkheden met materialen en procedés, maar ook conceptie- en constructiefouten. Meer succesvol is de gelijmde, houten hyperbolische parabolöide (hypar of HP) van het informatiepaviljoen op het De Brouckèreplein. Het paviljoen is opgericht in 1957 naar ontwerp van Lucien-Jacques Baucher, Jean-Pierre Blondel en Odette Filippone, met René Sarger als algemeen ingenieur. Nemaho is de uitvoerder van het project, met de Nederlandse ingenieur J.H. Pestman als

consultant [17] (fig. 4). Het paviljoen blijft uiteindelijk meer dan een decennium in gebruik. Het is een bouwwerk met een vrij plan en glazen wanden, georganiseerd onder de houten hyperbolische parabolische schaal die met zijn twee lage punten op de grond – betonnen massieven – rust. Het houtmembraan is opgebouwd uit drie lagen verlijmd planken. Deze verlijming gebeurde in situ, onder een tent, om de juiste temperaturen en vochtigheid te kunnen verzekeren. De bovenste en onderste planken zijn parallel aan de randen geplaatst, terwijl de middenlaag de hangparabolen volgt. De randbalken langs de gevels zijn uitgevoerd in gelijmd gelamelleerd hout. Het lijmen van de planken tot een vlak met dubbele kromming is een primeur die vanaf 1959 navolging zal vinden in de Britse bouwpraktijk. Er is dan immers vastgesteld dat verlijming een schaal oplevert die vier keer stijver is dan bij vernageling. De technische verfijning van het paviljoen schuilt echter in weinig zichtbare, maar ingenieuze optimalisaties. Zo heeft het plan van het paviljoen de vorm van onregelmatige ruit waarvan de enige symmetrie-as de twee hoge punten verbindt, 25 m uit elkaar gelegen. De stabiliteit van de hyperbolische parabolische schaal wordt verzekerd door de randbalken met fijne metalen profielen met de funderingsmassieven te verbinden: ze trekken de randbalken naar beneden. Deze profielen dienen tegelijk als raamwerk voor de beglazing van de façades. Door de spanning in de profielen wordt uiteindelijk ook de schaal verder verstijfd, waardoor vervormingen en eventuele

trillingen op de glazen wanden quasi uitgeschakeld worden.

4. HOUT IN BRUSSEL

Een overzicht van de houtconstructies in Brussel laat zich niet zomaar vatten in de logica van de architectuurcanon of in verhalen van experimenten en innovatie door ingenieurs of architecten. Niet alleen de meer traditionele houtconstructies, maar ook de ingenieuze moderne procedés waarmee hout na de Tweede Wereldoorlog opnieuw wordt uitgevonden laten echter weinig sporen na in de geschiedenis van de engineering of de architectuur. Het De Brouckèrepaviljoen is daarbij een zeldzame uitzondering [18]. Niettemin gaat het om een zeer groot aantal gebouwen, met zeer uiteenlopende programma's en constructiesystemen in hout. De Brusselse wereldtentoonstellingen bieden een leidraad om de veelheid en variatie aan constructies en de aanwezige bouwpraktijk te beoordelen en te analyseren. Op geen enkele wereldtentoonstelling was het aandeel van houtconstructies echter zo groot als op Expo 58 en op geen enkel moment werden te Brussel ook zoveel (en zo'n omvangrijke) houten structuren opgericht. De naoorlogse houtconstructies illustreren daarbij een bouwgeschiedenis waarin de actoren nieuwe rollen krijgen toebedeeld: vaak zijn het niet zozeer de architect of ingenieur,



Fig. 3: Maquette van de Christi Gloriosikerk van het Vaticaanse paviljoen, 1956-'58 (Expo 58), Brussel. Arch. R. Bastin, ir. N. Lindskoug en de Antwerpse Zagerijen (Bron: Algemeen Rijksarchief, Brussel, archieffonds Expo 58).

maar vooral de producent en aannemer die er een centrale rol spelen, doorgaans gedreven door een commerciële en internationale ambitie. Een groot deel van de ontwerparbeid (berekening, dimensionering, detaillering) gebeurde in de studiebureaus van de bedrijven [10]. Omwille van de omvang en kwaliteit van haar houten paviljoenen, en omwille van haar rol in de promotie van de moderne houtbouw in Brussel – en, bij uitbreiding België – biedt Expo 58 een uitgelezen referentiemoment om de mogelijkheden en variaties van de moderne houtbouw te toetsen.

REFERENTIES

- [1] Devos, R. & De Kooning, M., *De Coene op Expo 58. 28 projecten*, Art De Coene Jaarboek 4/ Vlees & Beton 61, Stichting De Coene/GUAEP: Kortrijk/Gent, 2003.
- [2] Hout op nieuwe wegen. Eerste Mijlpaal. De Antwerpse houtprijis voor architectuur. *Bouwen en Wonen*, 8/9, 1954; Het hout op nieuwe wegen. Tweede mijlpaal. De nationale architectuur prijskamp. *Bouwen en Wonen*, 6, 1955 en Het hout op nieuwe wegen. Derde mijlpaal. Het eerste vijfjaarlijkse Internationaal Salon van het Hout en aanverwante nijverheden, te Gent. *Bouwen en Wonen*, 8, 1956.
- [3] Lourdin, R., *Structures en bois*, Centre d'Etudes Architecturales: Brussel, [1969 ?].
- [4] Pestman, J.H., *Vormgeving in hout. Van ligger tot schaaldak*, Amsterdam: Houtvoorlichtingsinstituut, s.d.
- [5] Espion, B., Devos, R. & Provost, M., Lichtgewichten. Structuurinnovaties op Expo 58. *Moderne architectuur op Expo 58. 'Voor een humaner wereld'*, eds. M. De Kooning & R. Devos, Dexia/Mercatorfonds: Brussel, pp. 100-127, 2006.
- [6] de Saint-Font, A. F. e.a., *Charpente lamellée collée*, Monographies de la charpente en bois, Dourdan: Vial, pp. 12-30, 1966.
- [7] Müller, Ch., *Holzleimbau. Laminated Timber Construction*, Birkhäuser: Basel, pp. 21-31 en 58-61, 2000.
- [8] Nauwelaerts, J., *Moderne architectuur op de wereldtentoonstellingen van Brussel 1910 en Gent 1913*, onuitgegeven MA thesis, UGent: Gent, pp. 42-45, 2003.
- [9] Lagae, J., Henri Lacoste et la "charpente à lamelles" à l'Exposition coloniale internationale de Paris, 1931. Chronique d'une construction en bois préfabriquée. *Edifice & Artifice. Histoires constructives*, eds. R. Carvais, A. Guillerme, V. Nègre & J. Sakarovitch, Picard: Parijs, pp. 781-790, 2010.
- [10] Devos, R. & Floré, F., Modern wood. De Coene at Expo 58. *Construction history. Journal of the Construction History Society*, 24, pp. 105 & 117-118, 2009.
- [11] Scheerlynck, W., *De Coene op Expo 58. Een blik op de ontwikkeling van het gebruik van hout als modern constructiemateriaal in België*, onuitgegeven MA thesis, UGent: Gent, 2003.
- [12] Timber at Brussels, en Timber structures at the Brussels Exhibition, *Wood*, oktober, p. 403 & 405-418, 1958.
- [13] Sverre Fehn in Norberg-Schulz Ch. & Postiglione, G., *Sverre Fehn. Works, Projects, Writings, 1949-1996*, The Monacelli Press: New York, p. 249, 1997.
- [14] Devos, R., Het paviljoen van het Kortrijks Dakpannenkantoor op Expo 58. *Art De Coene. Jaarboek 6*, Stichting De Coene: Kortrijk, pp. 31-34, 2006.
- [15] Herman, F. & Van Dijk, T., *Kortrijkse Kunstwerkstede Gebroeders De Coene. 80 jaar ambacht en industrie. Meubelen – interieurs - architectuur*, Groeninghe: Kortrijk, pp. 218-231, 2006.
- [16] Devos, R., *Het Civitas Dei paviljoen op Expo 58*, onuitgegeven MA thesis, UGent: Gent, pp. 117-125, 2000.
- [17] Pestman, J.H. Informatiecentrum voor de Expo, *Bouw*, 24, pp. 603-605, 1958.
- [18] Joedicke, J., *Les Structures en Voiles et Coques*, Karl Krämer: Stuttgart, 1963.

Van het P.E. Janson auditorium van de ULB tot het Metrostation Erasmus, 50 jaar spanstructuren

Michel Provost
Université Libre de Bruxelles, Service BATir

De bouwwerken met spanstructuren die in het Brussels Gewest sinds Expo 58 tot op heden werden gebouwd, vatten de ontwikkeling van dit type structuren doorheen de laatste vijftig jaar goed samen. Verscheidene belangrijke bouwwerken uit de wereldgeschiedenis van deze structuren werden voor Expo 58 verwezenlijkt. In het begin waren de structuren eenvoudig om ze te kunnen berekenen, later kwamen er meer complexe vormen dankzij de ontwikkelingen in de informatica. Vervolgens droeg de evolutie van de materialen bij tot de ontwikkeling van de textielarchitectuur. De analyse van deze bouwwerken brengt ons bij het onderscheid tussen 'visuele of architecturale' lichtheid en 'materiële' lichtheid. Het welslagen van deze bouwwerken op architecturaal en structureel vlak is het gevolg van de samenhang tussen de vormen en de krachten, en van een perfect begrip van de werking van de inwendige krachten.

1. INLEIDING

Van de drie structuurvormen voor het realiseren van overspanningen: de boog, de ligger en de kettlijn, is er voor de laatste, die volledig op trek belast is en dus geen risico op knikken vertoont, het minste bouw materiaal nodig. De lichtheid van kettlijnstructuren maakt hen wel gevoelig voor parasietbelastingen zoals de werking van de wind en daarom moeten deze structuren van ballast worden voorzien of worden voorgespannen.

Vanuit een streven naar lichtheid en materiaalbesparing, heeft de oplossing met ballast, die in se een zware oplossing is, geen zin. Lichte structuren zijn dus kettlijnstructuren en voorgespannen.

Om de vervormingen onder invloed van belastingen te beperken, moet de voorspanning hoog zijn. Wij mogen immers niet uit het oog verliezen dat het hier om structuren van tweede orde gaat, die steeds zullen vervormen als reactie op de krachten die erop inwerken. Nemen wij het voorbeeld van een evenwichtskunstenaar op een kabel: hoe meer de kabel gespannen is, hoe minder hij van vorm moet veranderen om de actie van de evenwichtskunstenaar in evenwicht te brengen (fig. 1).

Zoals we zullen zien, impliceert het voorspannen van spanstructuren grote verankerings krachten. Men zal erop moeten toezien dat deze krachten op een intelligente manier worden overgenomen, opdat het voordeel van de materiaalbesparing bij de lichte structuur niet verloren gaat.

Het principe van de spanstructuren is al zeer oud, denk bijvoorbeeld aan de liaanbruggen. We moeten echter wachten tot de tweede helft van de 20ste eeuw en de ontwikkeling van materialen zoals hoogwaardig staal, met PVC of met Teflon gecoate glasvezelzeilen en van berekeningsmethodes en –middelen, om het gebruik van deze structuren te zien toenemen.

De Wereldtentoonstelling van 1958 in Brussel, waar zeven gebouwen een kabeldak hadden, neemt een belangrijke plaats in in de geschiedenis van de spanstructuren. Met uitzondering van het auditorium P.E. Janson van de Université Libre de Bruxelles (ULB), werden alle spanstructuren die in het kader van de expo gebouwd werden, afgebroken. Tot in de periode van de expo was, met uitzondering van het Marie Thumas paviljoen, de vorm van de kabelstructuren redelijk eenvoudig 'om berekenbaar te zijn'. De logica van de ingenieur, van de *form follows force*, primeert op die van de architect. Het is maar achteraf, met name dankzij de ontwikkeling van analysetools met maquette of met de computer, dat in de jaren 1960 en 1970 afstand gedaan wordt van de eenvoudige geometrische vormen, zoals die van de hyperbolische paraboloid (hypar of HP). Dat proces mondt uit in het Olympia Park van München voor de Olympische Spelen van 1972 en vervolgens in de textielarchitectuur.

In dit artikel doorkruisen we 50 jaar evolutie van de spanstructuren aan de hand van vier voorbeelden van Expo 58 en vier bouwwerken die vandaag nog steeds bestaan.

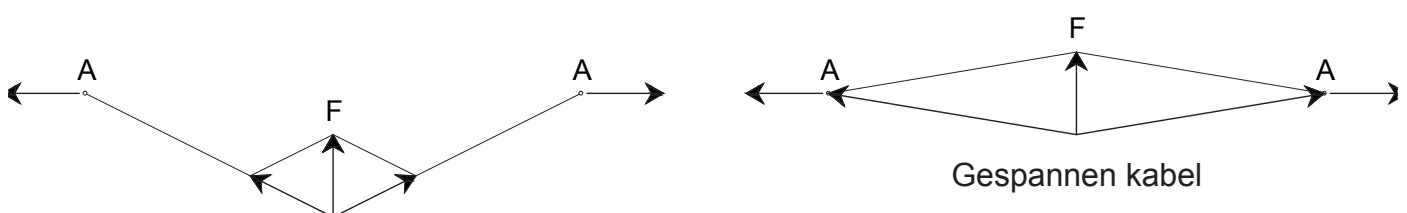


Fig. 1: Reactie van een gespannen kabel op een loodrechte kracht.

2. DE NATIËNPOORT

(Architecten: Jean Koning en Pierre Guillissen;
Ingenieur: André Paduart)

De Natiënpoot, een ‘zwevend’ signaal samengesteld uit op elkaar geplaatste V’s die elkaar echter niet raken, is de meest spectaculaire kabelstructuur van Expo 58. Zij heeft een spanwijdte van 55 m, een hoogte van 48 m en is samengesteld uit drie V-vormige stalen kokers die ondersteund worden door kabels die hetzij op de grond, hetzij aan de uiteinden van de benen van de V verankerd zijn [1]. Deze structuur valt onder de categorie van de *tensegrity* structuren [2].



Fig. 2: Natiënpoot (D. Mutoni, [1]).

Dit laatste principe is het resultaat van de samenwerking tussen de ingenieur-uitvinder Buckminster Fuller en zijn leerling, beeldhouwer Kenneth Snelson. Bij *tensegrity* structuren raken de elementen die op druk belast zijn elkaar niet en worden ze in evenwicht gehouden door een continu systeem van op trek belaste kabels.

Bij de Natiënpoot zijn de V-vormige stalen kokers de elementen die op druk belast zijn. De zeldzame verwezenlijkingen van *tensegrity* structuren beperken zich tot enkele masten, gebaseerd op de ideeën van Snelson, zoals het model dat werd tentoongesteld in het *Museum of Modern Art* te New York in 1959. Ondanks deze vroegtijdige experimenten, dateert het octrooi van *tensegrity* van Fuller uiteindelijk pas uit 1962, en dat van Snelson uit 1965. De aanwezigheid van een *tensegrity* structuur op Expo 58 is dan ook opmerkelijk.

Ondanks theoretisch onderzoek moet men nog wachten tot het midden van de jaren tachtig om het *tensegrity* principe door David Geiger toegepast te zien bij de overdekking van grote ruimtes door ultralichte structuren. In het geval van de Natiënpoot springen vooral de ‘zwaarte’ en de enorme afmetingen van de op druk belaste elementen in het oog. Wat de auteurs van de sculptuur hier interesseert, is niet zozeer de lichte structuur van het signaal, maar wel de illusie die wordt gecreëerd: die van zwevende V-vormen.

3. HET PAVILJOEN VAN DE VERENIGDE STATEN

(Architect: Edward Stone; Ingenieur: Dr. W. Cornelius)

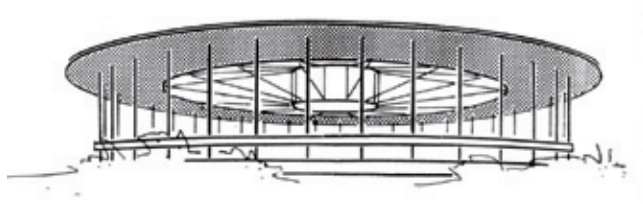


Fig. 3: Paviljoen van de Verenigde Staten.

Het dak van dit paviljoen, dat voor die tijd van een ongeziene stijl was, bestaat uit een enorm ‘fietswiel’ met een buitendiameter van 104 m en waarvan de stalen ‘velg’ op een dubbele rij rijzige stalen kolommen rust [3]. Het dak zelf wordt gevormd door twee groepen stalen kabels in V-vorm (of \wedge -vorm) die straalsgewijs als spaken bevestigd zijn tussen de ‘velg’ en de ‘naaf’, en die bedekt zijn met kunststof platen. De kabels onderaan, met de V naar boven geopend, zijn de draagkabels; de kabels bovenaan, met de V naar onder geopend (\wedge), zijn de spankabels. Deze laatste spannen de draagkabels op en zorgen voor de stabiliteit van het dak. De twee groepen kabels staan voortdurend onder spanning, waardoor de ringvormige randbalk – de velg – op druk belast wordt en de naaf (met een diameter van 20 m) op trek.

Het dak van het Amerikaans paviljoen is het eerste ‘fietswioldak’ dat voorzien is van een dubbele laag radiale draag- en spankabels. Het is de voorloper van het gemeentelijk auditorium van Itaca (New York, 1960) van ingenieur Lev Zetlin [2].

De voorlopers van deze daken met cirkelvormige symmetrie zijn verzwaarde daken, zoals bijvoorbeeld het dak van het Frans paviljoen van de Jaarbeurs van Zagreb in 1935, dat ontworpen werd door Bernard Laffaille of het cirkelvormig dak (met een diameter van 94 m) van het gemeentelijk stadion van Montevideo, waarvan de bouw in 1957 beëindigd werd. Dit dak wordt echter gevormd door één enkele soort radiale draagkabels die betonplaten ondersteunen die de functie van dakdek vervullen, maar ook van ballast of van voorspanning van de kabels. Deze oplossingen met ballast, die zwaarder zijn, zijn echter minder bevredigend vanuit de logica van besparing van bouw materiaal.

4. HYPAR-KABELDAKEN

In het geval van het paviljoen van de Verenigde Staten, liggen de draag- en de spankabels in V-vorm, die geplaatst zijn volgens de diameters van het wiel, boven elkaar in verticale diametrale vlakken.

Een andere manier om de draag- en de spankabels aan te brengen, is ze in orthogonale vlakken te plaatsen. Het dak dat aldus verkregen wordt, heeft de vorm van een rijzadel: een hyperbolische paraboloid (HP of hypar).



Fig.4: Hyperbolische paraboloid (HP).

Dezeden zijn samengesteld uit twee orthogonale families van kabels in de vorm van een parabool, de draagkabels met de concave zijde naar boven, de spankabels met de concave zijde naar beneden. Deze twee families van kabels spannen zichzelf op en verzekeren de stabiliteit van de structuur, zelfs in geval van windonderdruk.

De eerste toepassing van dit principe is een vrij fundamenteel bouwwerk uit de geschiedenis van de constructie: het dak in zadelvorm van de veemarkt in Raleigh in North-Carolina uit 1952, momenteel bekend als de Dorton Arena (fig. 5). Het idee daarvoor kwam van architect Matthew Nowicki en ingenieur Fred Severud. De overdekte grondoppervlakte bedroeg ongeveer 92 m op 97 m.

De drie volgende bouwwerken zijn afgeleid uit deze dakvorm. Laten we beginnen bij het auditorium P.E. Janson van de ULB, dat gebouwd werd in het kader van de expo en dat er rechtstreeks naar verwijst.

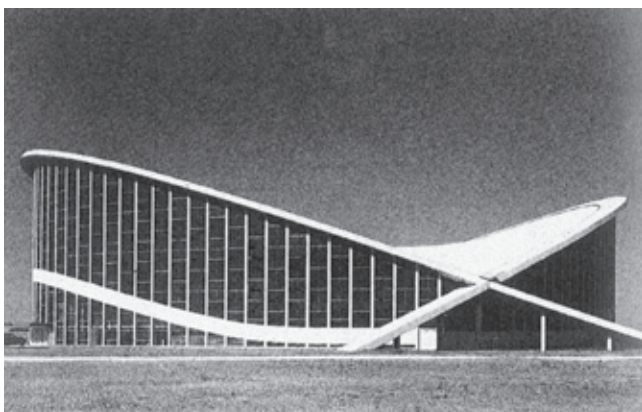


Fig.5: Veemarkt van Raleigh.

5. HET AUDITORIUM PAUL-ÉMILE JANSON VAN DE ULB

(Architect: Marcel Van Goethem; Ingenieur: Paul Moenaert)

Dit auditorium met 1500 plaatsen, dat gebouwd werd in het kader van de expo om er evenementen in onder te brengen, zal achteraf worden overgedragen aan de ULB. De structuur lijkt op die van de markt van Raleigh, maar de afmetingen zijn meer bescheiden. Het plan is grosso modo ellipsvormig en meet 48 m bij 44 m (fig. 6).

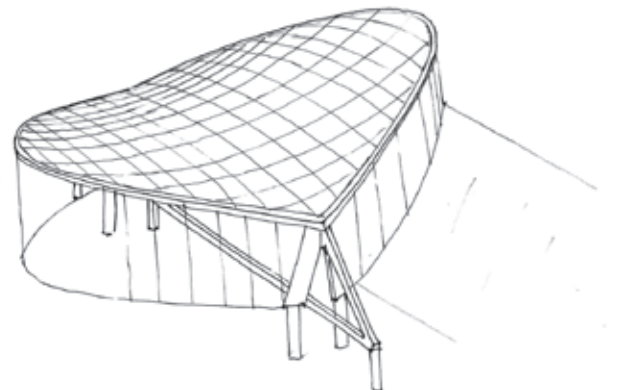


Fig. 6: Auditorium P.E. Janson (D. Mutoni, [1]).

De draag- en spankabels die het dak in de vorm van een HP vormen, werden om de twee meter geplaatst en hun diameters zijn respectievelijk 33 mm en 21 mm. Het eigenlijke dak is samengesteld uit een houten vloer die met zink is bekleed [4].

Deze kabels zijn verankerd in de parabolische zijbogen in gewapend beton van 0,60 m hoog en 1,20 m breed. Deze bogen, waarvan het eigengewicht wordt overgenomen door slanke metalen kolommen, worden op druk belast door de spanning van de kabels.

Deze bogen rusten op driepikkels die de stabiliteit van het geheel in lengte- en dwarsrichting verzekeren. De spatkrachten van de bogen worden opgevangen door een voorgespannen trekstang die onder het gebouw werd geplaatst.

De verhouding kracht-vorm-materiaal is hier perfect: het eigenlijke dak bestaat uit kabels in de vorm van een op trek belaste kettinglijn en zijn in staal uitgevoerd, de randen zijn paraboolvormig, op druk belast en uit gewapend beton.

De kabelstructuur van dit dak is bijzonder licht: de verhouding van het gewicht van de kabels tot de overdekte oppervlakte is ongeveer 0,05 kN/m². Maar als men daar het gewicht van de randbalken aan toevoegt, dan komt men ongeveer aan 1,60 kN/m², waarbij het gewicht van de randbalken 97% van het gewicht van de dakstructuur uitmaakt.

Dit uitzonderlijk bouwwerk, waarvan de structuur miskend is, is een essentieel onderdeel van het engineering erfgoed van het Brussels Gewest.

6. HET PAVILJOEN VAN FRANKRIJK

(Architect: Guillaume Gillet; Ingenieurs: René Sarger en Jean Prouvé)

Laten wij met het paviljoen van Frankrijk terugkomen op de expo: het dak van dit paviljoen bestaat uit twee HP's met kabels tussen rechte randen, waarvan de projectie in het horizontale vlak twee tegen elkaar geplaatste ruiten vormt met zijde 70 m. De overdekte oppervlakte bedraagt ongeveer 12.000 m², zonder interne steunpunten [5].

De randen van elke HP hebben twee hoge en twee lage punten. De HP's steunen op de lage punten. Aangezien één van de randen gemeenschappelijk is aan de twee HP's, rust het geheel op drie steunpunten (O, B1, B2). Deze drie steunpunten, die verbonden zijn door twee diagonale bruggen, vormen een geheel dat hoofdzakelijk steunt in O steunt – van waaruit een overkragende pijl van 65 m hoog vertrekt – en bijkomend in B1 en B2 (fig. 7).

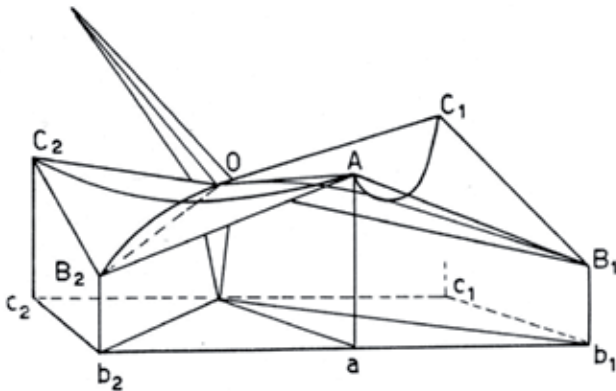


Fig. 7: Structuurschets van het Paviljoen van Frankrijk [5].

De randen van elke HP hebben twee hoge en twee lage punten. De HP's steunen op de lage punten. Aangezien één van de randen gemeenschappelijk is aan de twee HP's, rust het geheel op drie steunpunten (O, B1, B2). Deze drie steunpunten, die verbonden zijn door twee diagonale bruggen, vormen een geheel dat hoofdzakelijk steunt in O steunt – van waaruit een overkragende pijl van 65 m hoog vertrekt – en bijkomend in B1 en B2 (fig. 7). De draagkabels (in de richting A-C) en de spankabels (in de richting O-B) zijn volgens de diagonalen van de ruiten geplaatst; ze zijn verankerd in de randbalken en belasten deze loodrecht. Bijgevolg worden de randbalken op buiging belast. Deze stalen balken zijn niet ingeklemd aan de hoeken: hun eigengewicht wordt gedragen door zuilen in de gevel. Het dak is samengesteld uit dunne platen die op de kabels werden vastgemaakt en die bedekt zijn met een afdichtingslaag. Dit bouwwerk was uitzonderlijk door de omvang van de overdekte oppervlakte zonder tussensteunen, door de statica van het geheel en uiteraard door zijn lichtheid, die echter wel moet worden gerelativeerd gezien de omvang van de randbalken. Uit deze structuur is met name het dak van het zwembad van Longchamp voortgekomen.

7. HET ZWEMBAD VAN LONGCHAMP

(Architecten C. De Meutter et J. Koning ; Ingénieurs: R. Pluys in samenwerking met R. Sarger)

Het dak van dit zwembad dat in 1971 werd ingehuldigd is eveneens een hypardak met kabels en overdekt een vierkante oppervlakte met een zijde van 45 m. Aan de twee lage punten steunt het dak op twee massieven die onderling verbonden zijn door een strekstang onder het gebouw (fig. 8).

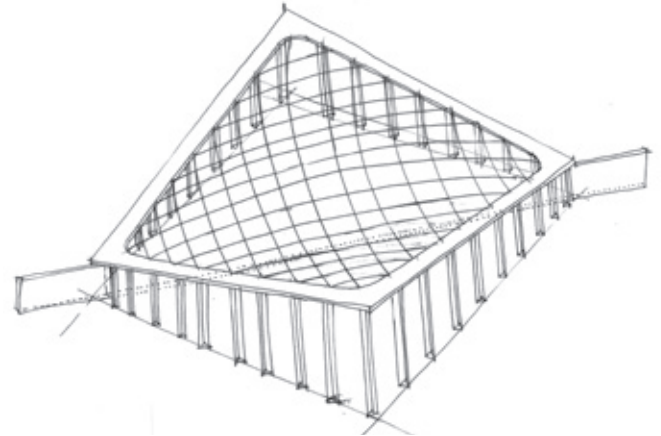


Fig. 8: Zwembad van Longchamp (D. Mutoni, [1]).

Net als bij het paviljoen van Frankrijk zijn de randen recht en dus in buiging onder invloed van het opspannen van de kabels. In dit geval zijn deze randen kokerliggers in gewapend beton die in elkaar ingewerkt zijn op de vier hoeken van het vierkant [6]. Gezien de krachten die erop inwerken, zijn de randen bijzonder zwaar. De verhouding van het gewicht van de randbalken tot de oppervlakte van het dak is 3,78 kN/m². Ter vergelijking: de verhouding van het gewicht van de kabels zelf tot deze oppervlakte bedraagt ongeveer 0,05 kN/m², wat een totaal gewicht van 3,83 kN/m² betekent. Ter informatie: de verhouding van het gewicht tot de oppervlakte van de structuur van een dak met vergelijkbare afmetingen in gewapend en voorgespannen geprefabriceerd beton is ongeveer 2,00 kN/m². Voor het dak van het zwembad van Longchamp kan men eventueel spreken van 'visuele of architecturale' lichtheid, maar zeker niet van 'materiële' lichtheid. In tegenstelling tot het auditorium Janson verhoudt de vorm van de randen zich hier niet optimaal tot de krachten die erop inwerken. Bovendien heeft het grote gewicht van de randbalken een weerslag op de steunpunten. Bij het ontwerpen van structuren moet men erop toezien dat de vorm een logisch antwoord vormt op de werking van de structuur. In het geval van HP's in gewapend beton, gevormd door op druk belaste bogen en op trek belaste kettinglijnen, zijn de krachten die op de randen inwerken langs deze randen uitgelijnd: rechte randen die op druk belast zijn, vormen dus het optimale antwoord op structureel vlak (fig. 9).

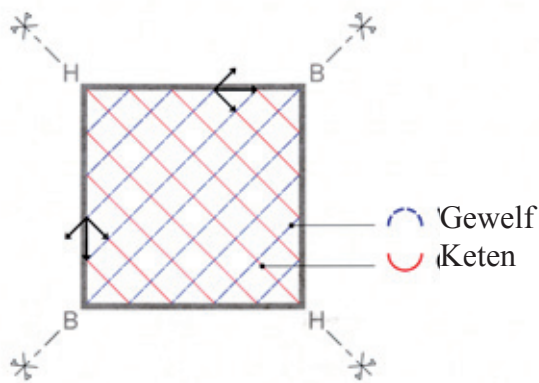


Fig. 9: Krachten die inwerken op de randen van HP's in beton.

In het geval van HP's met kabels, worden de randen belast door krachten die er loodrecht op staan (fig. 10). De optimale vormen van de randen zijn ofwel op druk belaste bogen met hun concave zijde naar binnen (zoals in de Raleigh arena of het Janson auditorium), ofwel op trek belaste kettinglijnen met de concave zijde naar buiten, zoals we zullen zien bij de textielarchitectuur.

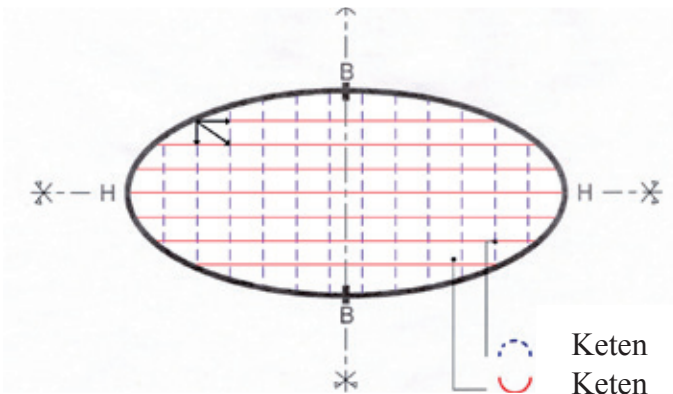


Fig. 10: Krachten die werken op de randen van de HP's met kabels.

8. HET MARIE THUMAS PAVILJOEN

(Architecten: Lucien-Jacques Baucher, Jean-Pierre Blondel, Odette Filippone; Ingenieurs: René Sarger, Claude Gérard en Jean-Pierre Battelier)

Na deze bouwwerken met eenvoudige vormen keren we terug naar Expo 58 om die kabelstructuur te onderzoeken die waarschijnlijk de meest veelbelovende was: het paviljoen van Marie Thumas. Deze complexere structuur is geïnspireerd door de tentvorm. Ze ziet eruit als een tent met drie nokken met een rechthoekig grondvlak van 53 m op 37 m, ondersteund door vier paar stalen vakwerk masten (fig. 11). Ieder paar bestaat uit twee pylonen die een V vormen en die naar buiten overhellen [7].

Tussen de koppen van de pylonen zijn rechte kabels aangebracht om de stabiliteit in de lengterichting te verzekeren. In de dwarsrichting zijn de koppen verbonden door draagkabels of topkabels, met concave zijde naar boven gericht. Onderin de twee 'dalen' van de tent bevinden zich de spankabels of keelkabels, met de concave zijde naar onder en verankerd in de funderingen.

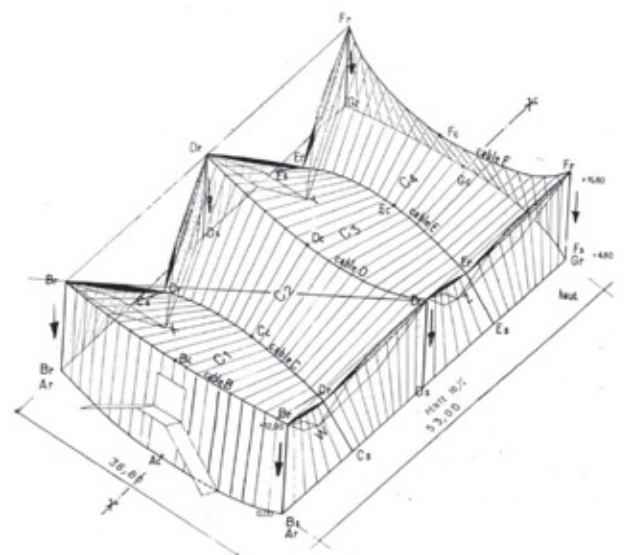


Fig. 11: Structuurschets van het Marie Thumas paviljoen [7].

Tussen deze twee types kabels zijn zeer lichte rechte metalen liggers bevestigd. Deze liggertjes ondersteunen het zeil van de tent uit Texaglas folie, een zeer soepele kunststof die opaak of translucient kan zijn. De dakhellingen en de twee kopgevels van de tent zijn dubbelgekromde oppervlakken in de vorm van conoïdes. Het concept van draag- en spankabels is analoog aan dat van de andere daken die we bestudeerd hebben, maar de complexe vorm liet destijds geen analytische berekening toe. Het ontwerpproces en de vele tegenslagen die met de uitvoering ervan gepaard gingen, getuigen van het experimentele karakter van het project [2].

9. NAAR DE TEXTIELARCHITECTUUR

Men kan het Marie Thumas paviljoen terecht beschouwen als een eerder avant-gardistische voorloper van de structuren in de textielarchitectuur die 30 jaar later zullen verschijnen, wanneer de geschikte bedekkingsmaterialen beschikbaar worden, die er in 1958 nog niet waren. Eerst zullen we de ontwikkeling van de kabelstructuren beschouwen. In deze structuren van tweede orde is de vervorming niet los te koppelen van de reactie van de structuur op de inwerkende krachten. Maar deze vervorming van de kabels, de dragende elementen van de structuur, zorgt natuurlijk voor problemen bij de aansluiting en de waterdichtheid van de dekkende elementen. In het geval van het Olympia Park van München werd het dak uitgevoerd met platen van polycarbonaat en de beweging tussen de platen onderling maakte het nodig om het water op te vangen bij elke voeg tussen de platen. Vanaf de jaren 1980 kon de textielarchitectuur tot ontwikkeling komen dankzij de met PVC of Teflon gecoatete glasvezelzeilen, waarbij de dragende en de gedragen of dekkende elementen één kunnen zijn. Van deze textielarchitectuur telt het Brussels Gewest twee interessante voorbeelden.

10. DE LUIFEL VAN DE SCHOOL BERKENDAAL

(Architecten: Art&Build; Ingenieurs: CENOTEC, Studiebureau Verdeyen en Moenaert)

Deze luifel, uitgevoerd in 1999, overdekt ongeveer 800 m² van de speelplaats van de school Berkendaal in Vorst [1]. Dit membraan in met glasvezel versterkt Teflon steunt in zeven hoge centrale punten op ronde stalen kolommen [8]. Perifere kabels zijn bovenaan de kolommen uit gewapend beton bevestigd, die zelf in de vloer zijn ingeklemd. De kabels zijn dus niet rechtstreeks in de grond verankerd, zoals dat meestal het geval is. Deze keuze werd gemaakt om te vermijden dat kinderen op de structuur zouden kunnen klimmen, maar ze heeft wel degelijk een weerslag op het materiaalverbruik, het gewicht en de totale kostprijs van de structuur. De krachtenkoppels die ontstaan in de kop van de perifere kolommen, zorgen ervoor dat deze op buiging belast worden en maken zware funderingen noodzakelijk.

Net als voor het zwembad van Longchamp, dat hierboven werd besproken, is het hier noodzakelijk om een onderscheid te maken tussen 'visuele of architecturale' lichtheid en 'materiële' lichtheid.

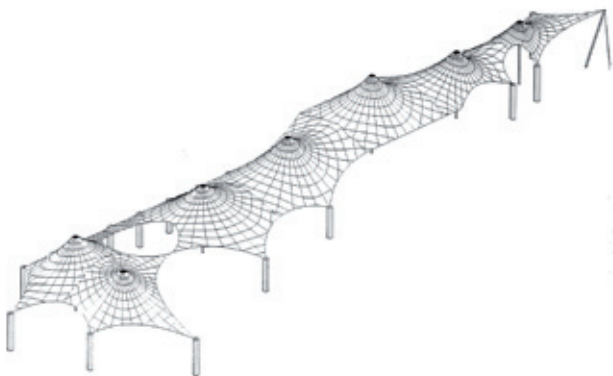


Fig. 12: Luifel Berkendaal [8].

11. METROSTATION ERASMUS

(Architecten: Philippe Samyn and Partners architects & engineers; Ingenieurs: Philippe Samyn and Partners architects & engineers, Studiebureau Setesco, Marijke Mollaert (VUB))

Het 168 m lange dak van dit station dat in 2003 werd ingehuldigd, is opgebouwd uit elf vierkante modules met zijde van 15,3 m die bedekt zijn met een membraan uit met Teflon gecoat glasvezelzeil in zadelvorm (HP). Het zeil wordt onder spanning gezet door een opeenvolging van top- en keellijnen over de hele lengte van de structuur.

De toplijnen worden gevormd door de gebogen bovenste delen van T-vormige structuren in vakwerk. De keellijnen ontstaan doordat het zeil tussen de twee opeenvolgende toplijnen in de dwarsrichting wordt opgespannen.

Omdat er aan het station ook zijdelingse wegen zijn, dient de stationoverkapping zich te beperken tot de

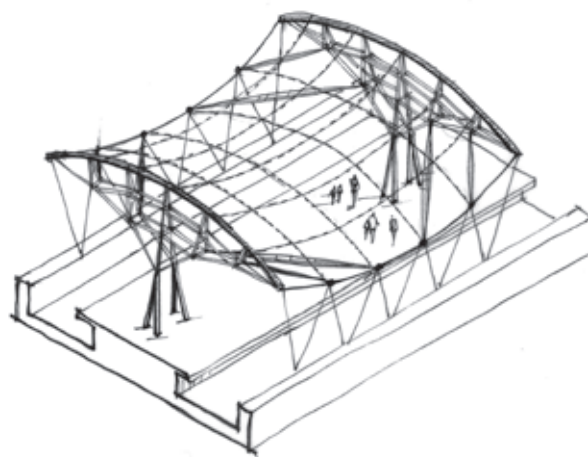


Fig. 13: Een dakmodule van het Station Erasmus (D. Mutoni, [1]).

beschikbare open ruimte: het zeil opspannen met externe, schuine kabels is hier dus niet mogelijk. De aangewende oplossing is bijzonder interessant, omdat de spanning wordt gerealiseerd met verticale kabels die in het vlak van de gevel liggen. Het opnemen van de dwarskrachten gebeurt door schoren die op de T-vormige structuren rusten. Het resultaat is een structuur die opmerkelijk is door haar lichtheid en door de samenhang tussen kracht en vorm, architectuur en structuur.

12. BESLUIT

Via deze acht Brusselse voorbeelden hebben wij de geschiedenis van de spanstructuren doorlopen: van eenvoudige tot complexe vormen, van kabelstructuren met dragende elementen en een gedragen dek tot de textielarchitectuur waarin deze elementen worden gecombineerd.

Voor deze lichte structuren, die aanzienlijke voorafgaande studies vergen, is de coherentie tussen de logica van de krachten en die van de vormen bepalend om deze lichtheid te behouden. De berekening van deze structuren vereist tegenwoordig geavanceerde informaticamiddelen, maar hun structurele en architecturale kwaliteiten liggen vooral in het begrijpen van de werking van de krachten, in haar logica en in het structurele antwoord dat tijdens de ontwerpfase wordt gevormd.

REFERENTIES

- [1] Attas, D. & Provost, M., eds., *Brussel, in de voetsporen van de bouwkundig ingenieurs*, CIVA: Brussel, 2011.
- [2] Espion, B., Devos, R. & Provost, M., *Lichtgewichten. Structuurinnovaties op Expo 58*, eds. M. De Kooning & R. Devos, *Moderne architectuur op Expo 58. 'Voor een humaner wereld'*, Mercatorfonds, Dexia: Brussel, pp. 100-127, 2006. Hähl, H., *L'ossature métallique du pavillon des Etats-Unis à l'Expositions de Bruxelles 1958*. *Acier-Stahl-Steel*, 23 (2), pp. 49-57, 1958.
- [3] Moenaert, P., *Toitures et parois en câbles précontraints – Grand auditorium de l'Université Libre de Bruxelles*. *Acier-Stahl-Steel*, 25 (7/8), pp. 293-298, 1960.
- [4] Gillet, G. et al., *Le Pavillon de la France à l'Exposition de Bruxelles 1958*. *Acier-Stahl-Steel*, 23 (5), pp. 193-204, 1958.
- [5] De Meutter, C. & Koning J., *Bassin de natation à Uccle (Bruxelles)*. *La technique des Travaux*, 50(1), pp. 9-18, 1974.
- [6] Vandepitte, D. & Sarger, R., *Le pavillon Marie Thumas de « La commerciale des Conserves »*. *Acier-Stahl-Steel*, 24 (4), pp. 157-162, 1959.
- [7] Art & Build Architects, *Creating the tensile structure for the Berkendaal European School (Brussels)*, ed. M. Mollaert, *The design of membrane and lightweight structures*, Brussel: VUB Press, s.p., 2000.

Wettelijk gevrijwaarde ingenieursrealisaties

Manja Vanhaelen en Harry Lelièvre

Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, Directie Monumenten en Landschappen

Erfgoed wordt bewaard om zijn historische, archeologische, artistieke, esthetische, wetenschappelijke, sociale, technische of folkloristische waarde. Er is dus een grote verscheidenheid aan waarden die betrekking kan hebben op goederen uit alle periodes, in uitlopende stijlen en die typologisch uiterst verschillend zijn. Om de waarde van een goed vast te stellen worden verschillende criteria gehanteerd zoals kwaliteit, authenticiteit, zeldzaamheid, historisch of exemplarisch karakter [1]. Het opmaken van een thematische inventaris zorgt ervoor dat men een bepaalde categorie van bouwwerken beter kan begrijpen. De inventaris opgesteld door de ULB is zo'n thematisch onderzoek. De lijst verzamelt een selectie van merkwaardige kunstwerken in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest met een ingenieurswaarde (versie 22 januari 2011). In deze thematische inventaris worden bouwwerken van ingenieurs of het 'ingenieursaspect' in bouwwerken opgespoord. Het zoeken naar de belangrijkste of meest relevante ingenieursbouwwerken verschaft inzicht in de geschiedenis en de evolutie van de materialen en technieken en verschaft ook kennis en inzicht over de structuur van de bouwwerken.

1. HUIDIGE SITUATIE VAN DE BESCHERMING VAN ENGINEERING ERFGOED

In totaal zijn er 169 items opgenomen in de inventaris en hiervan zijn er 27 wettelijk gevrijwaard. De onderverdeling in de inventaris in subcategorieën maakt het mogelijk een globaal beeld te krijgen van welke soorten goederen beschermd zijn [2].

De categorie met de meeste beschermingen is deze van de betonconstructies. Deze die van voor 1918 dateren zijn, op één na, allemaal beschermd. Van de oude metalen structuren van voor 1918 is ongeveer de helft beschermd. Bij de overige categorieën zijn de vrijwaringen sporadisch en bij de lichte structuren en de tunnels zijn er geen gevrijwaard.

Het meest opvallend hierbij is dat de groep gevrijwaarde monumenten meestal gaat over oudere structuren. 19 van de gevrijwaarde constructies dateren van het einde van 19de en het begin van de 20ste eeuw, zeven uit het interbellum. De Ravensteingalerij is de meest recente constructie uit de inventaris die als monument beschermd werd en vormt duidelijk een uitzondering [3]. De vaststelling dat geen ingenieurswerken van recentere datum beschermd zijn, is ongetwijfeld het gevolg van de gehanteerde criteria die een zekere afstand in tijd noodzakelijk maken om een pertinente erfgoedwaarde te bepalen. In die zin is deze vaststelling ook geldig voor alle erfgoed. Deze recente kunstwerken zijn ook heel sterk verweven met ons dagelijks leven (tunnels, de metro,...), zodat de erkenning als monument daarmee in tegenspraak kan lijken.

Bovendien zijn vele realisaties van ingenieurs ook in eerste instantie nuttig en functioneel. We moeten



Fig. 1: Overdekte veemarkt van Kuregem (© MBHG)

ons ook de vraag stellen op basis van welke waarde de kunstwerken of constructies werden gevrijwaard en of er bij de vrijwaring al of niet rekening werd gehouden met het ingenieurswerk dat eraan te pas kwam. Volgens de huidige wetgeving (van toepassing sinds 1993 [4]) is dit expliciet te achterhalen dankzij het vrijwaringsbesluit, waarin de vrijwaring verantwoord wordt omwille van zijn archeologische, esthetische, sociale, volkskundige en technische waarde. Dit laatste verwijst naar de getuigen van de technische knowhow van de vorige generaties en dus onder meer naar het ingenieurswerk [5]. De technische waarde verwijst echter niet enkel naar de realisaties van de ingenieurs. Dit criterium heeft ook betrekking op andere realisaties zoals het industriële erfgoed en is dus heel wat ruimer. In de vorige wetgeving van 1931 [6] werden monumenten enkel gevrijwaard om hun historisch, artistiek of wetenschappelijk belang. Het technische aspect is in oudere vrijwaringen dus niet expliciet. Dit betekent echter niet dat er bij de vrijwaring geen rekening

gehouden werd met de technische waarde van constructies. In de besluiten van voor 1993 werd geen verantwoording voor de vrijwaring in het besluit opgenomen. Als dus een technische waarde werd toegekend aan het gevrijwaarde object dan kan die worden afgeleid uit het administratief dossier en het advies van de Koninklijke Commissie voor Monumenten en Landschappen in het bijzonder.

2. WETTELIJK BESCHERMD ENGINEERING ERFGOED

Er zijn zeven items uit de inventaris als monument beschermd volgens de wet van 1931. Het gaat om de Sint-Jan-de-Doperkerk (B: 29/02/1984) aan het Sint-Jan-Baptistvoorplein in Sint-Jans-Molenbeek, de Sint-Augustinuskerk aan het Hoogte Honderdplein in Vorst (B: 8/8/1988), de Sint-Hubertusgalerijen in Brussel (B: 19/11/1986), de overdekte veemarkt van Kuregem in Anderlecht (B: 08/08/1988) (fig. 1), *Old England* aan de Hofberg in Brussel (B: 30/03/1989), de voormalige ijskelders aan de Waverssesteenweg 1013 in Oudergem (B: 13/05/1993) (fig. 2) en de Koninklijke Vlaamse Schouwburg (B: 09/09/1993).



Fig. 2: Voormalige ijskelders (Bron: Loeckx - Quasi.be © MBHG)

Voor deze constructies wordt in het administratieve dossier bijna altijd het technische aspect behandeld als deel van het historisch belang, al dan niet gecombineerd met het esthetisch belang. Het meest duidelijke is dit voor de veemarkt en voor de ijskelders, waar de historische waarde volledig te herleiden is tot hun technisch belang:

de constructie zelf in metaal of baksteen. Enkel voor de Sint-Augustinuskerk wordt in het geheel geen melding gemaakt van het technische aspect, behalve uiteraard dat ze deel uitmaakt van de drie betonnen kerken die het Gewest telt.

Eén constructie uit de inventaris maakt deel uit van een bescherming als landschap. Het gaat hierbij om de voetgangersbrug in het park van Osseghem (16/10/1975). Het uitgangspunt voor deze beschermingen is het wetenschappelijk, landschappelijk belang, waarbij er geen aandacht werd besteed aan de constructies die er eveneens in aanwezig zijn. Ze maken echter wel deel uit van het landschap.

Voor de beschermingen na 1993 kan een onderscheid gemaakt worden tussen deze waarbij het technische of ingenieursaspect expliciet als waarde van het goed opgenomen werd in de verantwoording en deze waarbij dit niet het geval is. De volgende constructies werden onder meer om hun technische waarde beschermd: de hallen en de triomfboog in het Jubelpark in Brussel (B: 22/4/2004), de Sobieskibrug aan de Witte Acacialaan in Brussel (B:14/03/1996) en de brug aan de Jubelfeestlaan in Sint-Jans-Molenbeek (B:19/04/2007), de watertoren aan de Marconistraat 167 te Vorst (Bewaarlijst 01/10/1998), de Sint-Suzannakerk aan de Latinislaan te Schaarbeek (27/03/2003) en het Justitiepaleis in Brussel (03/05/2001) (fig. 3).



Fig. 3: Justitiepaleis (Bron: Ch. Bastin & J. Evrard © MBHG)

Bij een aantal kunstwerken is er geen sprake van het technische aspect. Dit is het geval voor de sociale woningen aan de Marconistraat 32 in Vorst (B: 06/11/1997), de voormalige *magasins Merchie-Pède* aan de Huidevettersstraat 52-56 te Brussel (B: 29/03/2001), de graf galerijen van het kerkhof van Laken aan het Onze-Lieve-Vrouwvoorplein in Laken (B: 06/02/1997), de voormalige bank Brunner aan de Wetstraat 78 te Brussel, de *Résidence Palace* aan de Wetstraat 155-175 te Brussel (B: 22/04/2004), de *Pavillons français* aan de Notelaarstraat 282 te Schaarbeek (B: 19/04/2007) en het appartementsgebouw aan de Generaal Jacqueslaan 20 te Elsene (14/07/2005), de Ravensteingalerij (B: 03/03/2011), Sint-Jan-Berchmanscollege (B: 08/11/2001). De brug in de Gerijstraat in Anderlecht (B: 16/03/1995) werd niet beschermd omwille van de technische waarde. In het

beschermingsbesluit wordt echter wel vermeld dat de ontwerper een ingenieur was en dat de brug merkwaardig is omwille van het opmerkelijk samengaan van een industriële constructie met Egyptische stijlenmerken (fig. 4).

Zoals bij de voetgangersbrug in het Osseghempark is deze in het Park Tournay-Solvay (B 18/11/1993) opgenomen in het landschap van de vijvers van Bosvoorde.

Het mag ook duidelijk zijn dat sommige monumenten die niet opgenomen zijn in de inventaris werden beschermd om hun technische waarde. In 2010 werden de baden van Brussel om hun historische, esthetische, sociale en technische waarde beschermd. Dit laatste verwijst duidelijk naar het ingenieurswerk van ingenieur Boloukhère dat eruit bestond twee baden boven elkaar te plaatsen en de stabiliteit van het geheel te garanderen.

Geen enkele constructie werd beschermd louter om zijn technische waarde. De belangrijkste waarden die in aanmerking genomen worden voor een vrijwaring zijn de historische en esthetische. De andere waarden zijn eerder complementair en zorgen ervoor dat het belang van een goed groter wordt. Bij de motivatie voor een bescherming is het belangrijk de meest markante aspecten in aanmerking te nemen en dat is daarom niet steeds het technische gedeelte. Er dient ook rekening mee gehouden te worden dat elke bescherming een kind van zijn tijd is en dat het technische aspect in het verleden als minder belangrijk gezien werd of dat de beweegreden voor de bescherming anders was. Elke bescherming is immers ook het resultaat van een opportuniteit die zich op een bepaald moment stelt.

De *best of* van een thematische inventaris kan voor de toekomst misschien erfgoed aanduiden dat in hoofdzaak omwille van zijn technische/ingenieurswaarde zou kunnen worden beschermd.

Het inventarisatiewerk heeft ook de verdienste de aandacht te vestigen op de aanwezigheid van deze constructies of technieken in de grote verzameling van het gebouwde patrimonium. Hierdoor kunnen we oude beschermingen anders gaan inschatten. Voor eventuele toekomstige beschermingen kan de inventaris er toe bijdragen dat het belang van een goed in al zijn aspecten behandeld wordt en dat het specifiek technische ook zal worden belicht. Het zorgt er dan ook voor dat een constructie beter gekend wordt. Dankzij de identificatie en het inzicht in technieken die bij de oorspronkelijke constructie toegepast werden, zal bij restauratie of verbouwing bewuster kunnen worden omgegaan met de technische delen of aspecten van de constructie.

De vrijwaring van het erfgoed beoogt het in stand houden en ook in stand houden alleen vereist vaak dat er wordt ingegrepen en dat er wijzigingen worden aangebracht, dat wordt gerenoveerd en gerestaureerd.

Het restaureren van een ingenieursobject vereist een goed inzicht in de opbouw en het concept van het bouwsel. Restauratie dient zich overigens steeds te baseren op een

grondige analyse van de oorspronkelijke bouwsels. Het historisch, materiaal-technisch, enz. begrijpen van hoe de constructie zich gedraagt is essentieel. Conserverende werken gebeuren in principe met dezelfde materialen, dezelfde technieken en met behoud van of respect voor het oorspronkelijke concept. We gaan opzoek naar dezelfde betonsamenstelling, dezelfde staalkwaliteit, dezelfde houtsoort of een houtsoort met dezelfde technische eigenschappen. Scharnierende verbindingen worden niet vervangen door ingeklemde, een boogconstructie wordt niet vervangen door een eenvoudige oplegging.

Constructies en gebouwen worden ook uitgebreid, structuren krijgen een herbestemming. In stand houden ambiert ook meer dan alleen het materiële behoud. De ideale conservatie is het behoud van het materiële met het behoud van de functie. In de categorie realisaties van ingenieurs, maakt die functie echter vaak de essentie uit van het object. Vele realisaties van ingenieurs zijn uiteraard ook geïntegreerd in architecturale gehelen en/of hebben meer eigenschappen dan alleen maar hun nut, al is de voetgangersbrug over het kanaal in het verlengde van de Gosseliesstraat over het kanaal in Sint-Jans-Molenbeek een voorbeeld van zuiver technische innovatie en functie. Dit sterke utilitaire karakter van bouwwerken staat haast diametraal tegenover de wens tot hun behoud. De dag dat men geen nood meer heeft om het kanaal over te steken op die plaats of bijvoorbeeld de boten op het kanaal groter worden, wordt een eventueel behoud van de brug een probleem.



Fig. 4: Brug in de Gerijstraat (© MBHG).

De spoorwegbrug over de Gerijstraat in Anderlecht ligt op zo'n paar honderd meter voor het binnenrijden van de treinen in het station Brussel Zuid. De brug is allereerst beschermd omwille van haar esthetisch eigenschappen, maar is ook ontegensprekelijk een getuige van de burgerlijke bouwkunst anno 1910. Deze infrastructuur moet vandaag een steeds drukker spoorverkeer met hoge snelheidstreinen torsen. De industriële constructie van weleer voldoet niet meer aan deze nieuwe eisen op technisch vlak, maar evenmin aan die van de veiligheid. De nieuwe eisen die aan de brug gesteld worden met haar beschermde status verenigen is niet evident.

Allereerst is het evalueren van de draagkracht van de oude constructie niet eenvoudig. De bouw werd gebaseerd op empirische gegevens en niet op een rekenmethode en een model zoals vandaag. De draagkracht vandaag inschatten vergt de ontwikkeling van vaak zeer complexe rekenmodellen die dan zo goed als mogelijk de situatie moeten benaderen. Het is op basis van dergelijke evaluaties dan ook vaak onmogelijk om te voldoen aan de huidige veiligheidsnormen.

Vermits de brug beschermd is, moet ze ook behouden worden in al haar aspecten. Men zou kunnen overwegen de brug buiten gebruik te stellen en radicaal een nieuwe spoorwegbrug te bouwen die dan voldoet aan de nieuwe opdracht van de ingenieur. De oorspronkelijke spoorwegbrug zou dan als een residu van de oude spoorwegdagen naast een spiksplinternieuw hedendaags exemplaar blijven liggen. Maar in dat geval werd slechts het materiële en esthetische aspect van de spoorwegbrug gevrijwaard. Het vrijwaren van een bouwwerk sluit echter de ambitie in om het object in al zijn glorie en dus in zijn functie te bewaren. Hoe belangrijker het utilitaire karakter van de bouwwerken, des te meer weerstand er ontstaat tegen een vrijwaring.

Onze maatschappij zal immers nieuwe eisen opleggen, een nieuw gebruik vergen, de ingenieur staat voor een nieuwe uitdaging, waardoor noodgedwongen de essentie van het bouwwerk zou moeten verdwijnen.

Als al niet zo erg veel ingenieursbouwwerken zijn beschermd, heeft dat allicht ook met die moeilijkheid te maken. Voor de beschermde ingenieursbouwwerken leidt 'herbestemming' vaak tot verlies van de technische waarde. Men kan de esthetische en visuele aspecten dan wel behouden, maar de kenmerkende technische prestaties gaan verloren.

Door de vrijwaringsmaatregel moeten we trachten de brug in functie te houden, misschien door een sporadisch gebruik te reserveren of over te gaan tot de aanpassing aan de nieuwe eisen en verstevigen. Door aanpassing en versteviging gaan we uiteraard opnieuw sleutelen aan de oorspronkelijke technische waarde.

De discussie verlegt zich dan en gaat bijvoorbeeld over het behoud van het principe van de draagstructuur, maar misschien in een verbeterde uitvoering – in het geval van de spoorwegbrug – in hoogwaardiger staal, gelast en niet meer verbonden door klinknagels, en/of

geassembleerd met voorspanbouten of misschien kunnen de oorspronkelijke dragende elementen behouden blijven mits een toegevoegde structuur, of misschien moet een verbeterde uitvoering gecombineerd worden met een bijkomende structuur.... Steeds is er min of meer wijziging aan het oorspronkelijke concept en wordt de initiële uitvoering vermengd met nieuwe principes en materialen.

Bij het conserveren en restaureren gaan we op zoek naar systemen die zo veel mogelijk het oorspronkelijke intact laten of benaderen. We willen behouden zonder wijziging van aspect of concept, restaureren zonder demonteren; we willen constructies die de tand des tijds in het oorspronkelijk concept niet zullen weerstaan verbeteren. Vaak vergt dit op zich innovatie en zoeken naar de meest adequate technische oplossing. Een nieuwe opdracht dus voor de ingenieur. En zo is de wereld van de restauratie van gebouwen misschien ook een beetje een laboratorium voor innovatieve technische ingenieurspraktijken. Een nieuwe categorie van interessante ingenieursbouwkunst op te nemen in de inventaris: het vernuftig gerestaureerd monument.

REFERENTIES

- [1] Het onroerende erfgoed in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, brochure. Brusselse Monumenten en Landschappen, Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest: p.13, 2004.
- [2] De volgende onderverdeling werd gevolgd: metalen constructies (voor 1918-metalen skeletbouw – metalen overkappingen – metalen kunstwerken) – betonnen constructies (eerste generatie voor 1918 – betonnen gebouwen (andere dan eerste generatie) – betonnen kunstwerken – houtconstructies – lichte structuren – gemetselde constructies – tunnels (niet gemetseld).
- [3] Het meest recente beschermde gebouw is het Rectoraat van de VUB, opgetrokken in 1970 naar een ontwerp van architect Renaat Braem.
- [4] Ordonnantie van 4 maart 1993 inzake het behoud van het onroerend erfgoed. Gecoördineerd en in het Brussels Wetboek van de Ruimtelijke Ordening opgenomen bij besluit van de Brusselse Regering van 9 april 2004 en werd bekrachtigd door de Ordonnantie van 13 mei 2004. De laatste wijziging dateert van 14 mei 2009 en trad in voege op 1 januari 2010.
- [5] Directie Monumenten en Landschappen, Het onroerende erfgoed in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Brusselse Monumenten en Landschappen, Brusselse Hoofdstedelijke Raad. Ontwerp van ordonnantie inzake het behoud van het onroerende erfgoed van 17 december 1991, p.8, 1991.
- [6] Wet van 7 augustus 1931 op het behoud van monumenten en landschappen. Brusselse Hoofdstedelijke Raad. Ontwerp van ordonnantie inzake het behoud van het onroerende erfgoed, 17 december 1991, p.8.

Lijst van de 169 engineering werken met erfgoedkundige waarde

LEGENDE VAN DE TYPES VAN WERKEN

- MV → Vroege metalen constructies (vóór 1918)
 MS → Constructies met metalen skelet
 MO → Metalen overdekkingen
 MK → Metalen kunstwerken
 VB → Vroege constructies in gewapend beton (vóór 1918)
 GB → Gebouwen in (gewapend of voorgespannen) beton
 KB → Kunstwerken in (gewapend of voorgespannen) beton
 Hout → Constructies in hout
 LS → Lichtgewicht structuren
 Met → Constructies in metselwerk
 T → Tunnels en andere ondergrondse werken

NAAM VAN HET WERK	ADRES	TYPE	BOUWJAAR	BESCHERMINGSJAAR
Albertbrug	Zenobe Grammelaan, 1030 Schaarbeek	KB	1925	
Algemene Spaar- en Lijfrentekas	Broekstraat 2, 1000 Brussel	GB	1973	
Atomium	Atomiumsquare, 1020 Brussel	MS	1958	
Auditorium Paul-Emile Janson, ULB	Franklin Rooseveltlaan 48, 1000 Brussel	LS	1958	
Baljuw-Louizatunnel	Kruispunt Baljuwstraat/Louizalaan, 1000 Brussel	T	1963	
Bank Brussel Lambert	Marnixlaan 24, 1000 Brussel	GB	1964	
Basisschool Baron Steens	Hoogstraat 255, 1000 Brussel	MV	1897	
Bellone huis	Vlaamsesteenweg 46, 1000 Brussel	MO	1996	
Berg van Barmhartigheid	Sint-Gisleinstraat 19-23, 1000 Brussel	MV	1862	
Berkendaalschool	Berkendaalstraat 70-74, 1190 Vorst	LS	1999	
Berlaymont	Wetstraat 200, 1000 Brussel	GB	1967	
Bordiauhal	Jubelpark, 1000 Brussel	MV	1880	22/04/2004
Brug over de Etterbeeksesteenweg	Etterbeeksesteenweg, 1040 Etterbeek	KB	1976	
Brug van de Haachtsesteenweg en Helmetsesteenweg	Lambermontlaan, 1030 Schaarbeek	Met	1909	
Brug van de Jubelfeestlaan	Jubelfeestlaan, 1080 Sint-Jans-Molenbeek	MK	1904	19/04/2007
Brug van de Mouterijstraat	Mouterijstraat, 1040 Etterbeek	MK	2007	
Brug van het Gerechtsplein	Keizerslaan, 1000 Brussel	MK	1957	
Brunner Bank	Wetstraat 78, 1000 Brussel	VB	ca 1900	09/05/1995
Brussimmo	Trierstraat 74, 1000 Brussel	MS	1993	
Budabrug	Anton Van Osslaan, 1120 Brussel	MK	1955	
CBR-gebouw	Terhulpesteenweg 185, 1170 Watermaal-Bosvoorde	GB	1971	

Lijst van de 169 engineering werken met erfgoedkundige waarde

NAAM VAN HET WERK	ADRES	TYPE	BOUWJAAR	BESCHERMINGSJAAR
cdH-gebouw	Tweekerkenstraat 41, 1000 Brussel	GB	1964	
Christus Koningkerk	Wannekouterlaan 111, 1020 Brussel	MO	1983	
Citroëncomplex	IJzerplein 7, 1000 Brussel	MO	1934	
Communicatiecentrum Noord	Vooruitgangstraat 80, 1030 Schaarbeek	MS	1994	
Constant Van den Stockstadion	Astridpark, 1070 Anderlecht	GB	1988	
Cooremansinstituut	Anneessensplein 11, 1000 Brussel	MV	1880	
Covent Garden	Rogierplein 16, 1210 Sint-Joost-ten-Node	GB	2007	
Dexiatoren	Rogierplein 1, 1210 Sint-Joost-ten-Node	GB	2006	
Doorgang onder de Côte d'Or-fabriek	Tussen de Frankrijkstraat en de Barastraat, 1070 Anderlecht	T	1987	
Doorgang onder de Noord-Zuidverbinding	Sint-Lazarusstraat, 1000 Brussel	T	1974	
Doorgang onder de Overdektestraat (Zuidstation)	Overdektestraat, 1060 Sint-Gillis	T	1987	
Doorgang onder het kanaal (Locquenghienstraat)	Locquenghienstraat, 1000 Brussel	T	1978	
Doorgang onder het kanaal (Saincteletteplein)	Saincteletteplein, 1000 Brussel	T	1986	
Duits paviljoen	Heizelplateau, 1020 Brussel	MK	1958	
Europese Parlement (voetgangersbrug)	Esplanade van het Europees Parlement, 1000 Brussel	MK	2005	
Europese Parlement (dak van het halfrond))	Leopoldpark, 1000 Brussel	Hout	ca 1990	
Europese school van Laken	Sint-Annadreef, 1020 Brussel	GB	in uitvoering	
Firma D'Ieteren	Maliestraat 50, 1050 Elsene	MS	1967	
Foncolin	Montoyerstraat 3, 1000 Brussel	GB	1958	
Franse Paviljoenen	Notelaarsstraat 282, 1030 Schaarbeek	LS	1934	19/04/2007
Garage Wismeyer	Vanderkinderestraat 467, 1180 Ukkel	GB	1948	
Gemeenschapscentrum 'De Markten'	Oude Graanmarkt 5, 1000 Brussel	MV	1874	
Gemetselde brug Gray-Kroon	Kroonlaan, 1040 Etterbeek	Met	1878	
Glaverbel	Terhulpsessesteenweg 166, 1170 Watermaal-Bosvoorde	GB	1967	
Goddelijk Kind Jezuskerk	Houba de Strooperlaan 759, 1020 Brussel	Met	1942	
Grote hallen van het Jubelpark	Jubelpark, 1000 Brussel	MV	1897	22/04/2004
Hallen van Schaarbeek	Koninklijke Sinte-Mariastraat 22b, 1030 Schaarbeek	MV	1901	
Hiltontoren	Waterloolaan 38, 1000 Brussel	GB	1967	
Hippodroom van Groenendaal	Sint-Jansberglaan, 1560 Hoeilaart	GB	1980	
Huis Dubois-Petit	Koudenbergstraat 46, 1000 Brussel	VB	1901	
Humaniteitsbrug	Humaniteitslaan, 1620 Drogenbos	MK	1995	
Ieder zijn huis	Platolaan en Franz Guilaumelaan, 1140 Evere	GB	1961	
Informatiepaviljoen Expo 58	De Brouckèreplein, 1000 Brussel	Hout	1957	
Instituut de Sociologie, ULB	Johannalaan 44, 1050 Elsene	GB	1966	

Lijst van de 169 engineering werken met erfgoedkundige waarde

NAAM VAN HET WERK	ADRES	TYPE	BOUWJAAR	BESCHERMINGSJAAR
Internationaal Rogiercentrum	Rogierplein 1, 1210 Sint-Joost-ten-Node	GB	1960	
Jubelparktunnel	Jubelpark, 1000 Brussel	T	1976	
Jules Bordet Instituut	Héger-Bordetstraat 1, 1000 Brussel	MS	1939	
Justitiepaleis	Poelaertplein, 1000 Brussel	Met	1883	03/05/2001
Kapel Onze-Lieve-Vrouw Koningin der Hemelen	Heiligenborre, 1170 Watermaal-Bosvoorde	Hout	1956	
Kerkhof van Laken	Kerkhof van Laken, Onze-Lieve-Vrouwvoorplein, 1020 Brussel	VB	1876	06/02/1997
Klein Eilandbrug	Pierre Marchantstraat, 1070 Anderlecht	MK	in uitvoering	
Koning Boudewijnstadion	Marathonlaan 135, 1020 Brussel	MO	1998	
Koninklijk Circus	Onderwijsstraat 81, 1000 Brussel	MO	1953	
Koninklijk Instituut voor Natuurwetenschappen	Leopoldpark, Vautierstraat 29, 1000 Brussel	MV	1905	
Koninklijk Pakhuis van Tour & Taxis	Havenlaan 86C, 1000 Brussel	MV	1907	
Koninklijke Ijskelders	Waversessesteenweg 1013, 1160 Oudergem	Met	1874	13/05/1993
Koninklijke serres van Laken	Koninklijke Parklaan, 1020 Brussel	MV	1905	
Koninklijke Sint-Hubertusgalerijen	Sint-Hubertusgalerijen, 1000 Brussel	MV	1847	19/11/1986
Koninklijke Vlaamse Schouwburg	Lakenstraat 146, 1000 Brussel	MV	1887	09/09/1993
Leopold II-tunnel	Leopold II-laan, 1000 Brussel/1080 Sint-Jans-Molenbeek	T	1986	
Leopold Village	Etterbeeksesteenweg, 1040 Etterbeek	GB	2010	
Longchampzwembad	De Fréplein 1, 1180 Ukkel	LS	1971	
Luifel Flageyplein	Flageyplein, 1050 Brussel	MO	2008	
Madoutoren	Madouplein 1, 1210 Sint-Joost-ten-Node	GB	1965	
Marie Thumaspaviljoen	Heizelplateau, 1020 Brussel	LS	1958	
Maritiem station van Tour & Taxis	Havenlaan 86c, 1000 Brussel	MV	1910	
Markthal van de slachthuizen van Anderlecht	Ropsy-Chaudronstraat 24, 1070 Anderlecht	MV	1890	08/08/1988
Merode-Josaphattunnel	1040 Etterbeek/1030 Schaarbeek	T	1926	
Metrostation Sint-Katelijne	Vismarkt, 1000 Brussel	MO	2005	
Moderne Kapel van Expo 58 – Vrolijk België	Oudstrijderslaan 23-25, 1950 Kraainem	Hout	1958	
Muziekinstrumentenmuseum	Hofbergstraat 2, 1000 Brussel	MV	1899	30/03/1989
Natiënpoort	Heizelplateau, 1020 Brussel	LS	1958	
Nationale Bank van België	De Berlaimontlaan 14, 1000 Brussel	GB	1953	
Nationale Basiliek van het Heilig Hart in Koekelberg	Basiliekvoorplein 1, 1081 Koekelberg	GB	1970	
Overwelving van de Zenne	1000 Brussel	T	1871	
Pakhuis A van Tour & Taxis	Havenlaan 86c, 1000 Brussel	MV	1904	
Paleis 11 van de Heizel	Heizelplateau, 1020 Brussel	GB	1977	
Paleis 12 van de Heizel	Heizelplateau, 1020 Brussel	Hout	1988	
Paleis 3 van de Heizel	Heizelplateau, 1020 Brussel	Hout	2007	
Paleis 5 van de Heizel	Heizelplateau, 1020 Brussel	GB	1935	
Paleis 7 van de Heizel	Heizelplateau, 1020 Brussel	MO	1958	

Lijst van de 169 engineering werken met erfgoedkundige waarde

NAAM VAN HET WERK	ADRES	TYPE	BOUWJAAR	BESCHERMINGSJAAR
Pan Ampaviljoen	Heizelplateau, 1020 Brussel	LS	1958	
Parking 58	Bisschopsstraat 1, 1000 Brussel	GB	1957	
Paviljoen van de Britse Industrie	Heizelplateau, 1020 Brussel	MO	1958	
Paviljoen van de Verenigde Staten	Heizelplateau, 1020 Brussel	LS	1958	
Paviljoen van Frankrijk	Heizelplateau, 1020 Brussel	LS	1958	
PetroFina	Guimardstraat 14, 1040 Etterbeek	MO	1994	
Philipspaviljoen	Heizelplateau, 1020 Brussel	GB	1958	
Pijl van de Burgerlijke Bouwkunde	Heizelplateau, 1020 Brussel	GB	1958	
Planetarium	Bouchoutlaan 10, 1020 Brussel	GB	1935	
PS toren	Koningsstraat 151, 1210 Sint-Joost-ten-Node	MS	1957	
Ravensteingalerij	Ravensteinstraat, 1000 Brussel	GB	1958	03/03/2011
Renaultgarage, Anderlecht	Bergensesteenweg, 1070 Anderlecht	GB	ca 1963	
Reservoir van Elsene	Tussen Generaal Leman- en Hoornstraat, 1040 Etterbeek	Met	1855	
Reservoir van Etterbeek	Verlaatstraat, 1050 Elsene	Met	1871	
Residence Palace	Wetstraat 155-175, 1000 Brussel	GB	1928	22/04/2004
Residentie Eden Green	Sterrewachtlaan 11A-E, 1180 Ukkel	GB	1966	
Residentie Ter Kameren	Generaal Jacqueslaan 20, 1150 Elsene	GB	1939	14/07/2005
Rijksdienst voor Arbeidsvoorziening	Keizerslaan 7, 1000 Brussel	GB	1964	
Royale Belge	Vorstlaan 25, 1170 Watermaal-Bosvoorde	MS	1970	
RTT-gebouw	Keizerinlaan 17-19, 1000 Brussel	GB	1959	
School Les Marronniers	Doverstraat 80, 1070 Anderlecht	MV	1902	
Schuman-Josaphatverbinding	Kortenbzerglaan, 1030 Brussel	T	in uitvoering	
Signaal van Zellik	Verkeerswisselaar van Groot-Bijgaarden, 1731 Zellik	GB	ca 1963	
Sint-Augustinuskerk	Hoogte Honderdplein, 1190 Vorst	GB	1936	08/08/1988
Sint-Jan de Doperkerk	Sint-Jan-Baptistvoorplein, 1080 Sint-Jans-Molenbeek	GB	1932	29/02/1984
Sint-Marcuskerk	De Frélaan 74, 1180 Ukkel	Hout	1970	
Sint-Michielskapel (Sint-Jan-Berchmanscollege)	Ursulinenstraat 4, 1000 Brussel	Hout	1852	08/11/2001
Sint-Pius X-kerk	Roosendaalstraat 121, 1190 Vorst	Hout	1967	
Sint-Suzannakerk	Blauwewegenlaan 20, 1030 Schaarbeek	GB	1928	27/03/2003
Snelwegviaduct van Pede	1070 Anderlecht, Ring	KB	ca 1975	
Sobieskibrug	Sobieskistraat, 1020 Brussel	MK	1906	14/03/1996
Sociale woningen Marconistraat	Marconistraat 32, 1190 Vorst	VB	1902	06/11/1997
Solvay Brussels School of Economics & Management (ULB)	Franklin Rooseveltlaan 42, 1000 Brussel	GB	2010	
Spoorwegbrug over de Gerijstraat	Gerijstraat, 1070 Anderlecht	MK	1911	16/03/1995
Spoorwegbrug van de Spiegelstraat	Spiegelstraat, 1000 Brussel	KB	1944	
Spoorwegbrug van Schaarbeek	1130 Brussel	MK	2005	
Spoorwegtunnel Diesdelle	1180 Ukkel, 1000 Brussel	T	1926	

Lijst van de 169 engineering werken met erfgoedkundige waarde

NAAM VAN HET WERK	ADRES	TYPE	BOUWJAAR	BESCHERMINGSJAAR
Spoorwegviaduct van Pede	1731 Zellik, NMBS lijn 50A	KB	ca 1929	
Sportcentrum van het Zoniënwoud	Waversesteenweg 2057, 1160 Oudergem	MO	1986	
Sportcentrum van Sint-Pieters-Woluwe	Salomélaan 2, 1150 Sint-Pieters-Woluwe	MO	1974	
Sportzaal Erasmus	Campus Erasmus, Lennikseweg, 1070 Anderlecht	GB	2009	
Stadhuis van Brussel	Grote Markt, 1000 Brussel	Met	1997	
Station Erasmus	Lenniksebaan 808, 1070 Anderlecht	LS	2003	
Station Louiza bis	Louizalaan, 1000 Brussel	T	1984	
Station Sint-Guido	Dapperheidsplein, 1070 Anderlecht	T	1980	
Stations Beekkant en Ossegem	Ninoofsesteenweg, 1080 Sint-Jans-Molenbeek	MO	1977	
Tennishal	Welgelegenstraat 26-28, 1000 Brussel	Hout	1954	
TGV-viaduct aan het Zuidstation	Ten zuiden van het Zuidstation	KB	2006	
Transportpaviljoen	Heizelplateau, 1020 Brussel	MO	1958	
Triomfboog van het Jubelpark	Jubelpark, 1000 Brussel	Met	1905	22/04/2004
Tunnel onder het Louizaplein	Louizaplein, 1000 Brussel	T	1958	
Tunnel van de Noord-Zuidverbinding	1000 Brussel	T	1952	
Tunnel Wetstraat	Wetstraat, 1000 Brussel	T	1969	
Tunnelvak Anspachlaan	Anspachlaan, 1000 Brussel	T	1976	
Tunnelvak Naamsepoort-Louiza	Gulden Vlieslaan, 1000 Brussel	T	1982	
Tunnelvak onder de Generale Maatschappij van België	Warandeborg, 3, 1000 Brussel	T	1969	
Tunnelvak onder het park van Brussel	Park van Brussel, 1000 Brussel	T	1969	
Vakwerkbrug L028-3.000565	1190 Vorst	MK	1930	
Viaduct van Vilvoorde	Viaduct van Vilvoorde, 1830 Machelen	MK	1978	
Vierendeelbrug van Laken	Vilvoordsesteenweg, 1020 Brussel	MK	1942	
Vierendeelbrug, Anderlecht	Fernand Demetskaai, 1070 Anderlecht	MK	1932	
Voetgangersbrug in het Tournay-Solvaypark	Tournay-Solvay park, 1170 Watermaal-Bosvoorde	KB	1905	18/11/1993
Voetgangersbrug Peterbos	Peterbospark, 1070 Anderlecht	MK	2010	
Voetgangersbrug Stokkelsesteenweg	Stokkelse Steenweg, 1200 Sint-Lambrechts-Woluwe	MK	2003	
Voetgangersbrug van de Gosseliesstraat	Gosseliesstraat, 1070 Anderlecht	KB	1944	
Voetgangersbrug van het Ossegempark	Park van Ossegem, 1020 Brussel	KB	1935	16/10/1975
Voetgangersbrug van het Tentoonstellingspark	Tentoonstellingspark, Romeinsesteenweg, 1020 Brussel	Hout	1999	
Voetgangersbrug Woluwe	Tervurenlaan, 1150 Sint-Pieters-Woluwe	MK	2001	
Vorst Nationaal	Globelaan 36, 1190 Vorst	MO	1971	
VRT/RTBF-toren	Reyerslaan, 1030 Schaarbeek	GB	1979	
Warenhuis Merchie-Pède	Huidevettersstraat 52-56, 1000 Brussel	VB	1904	29/03/2001

Lijst van de 169 engineering werken met erfgoedkundige waarde

NAAM VAN HET WERK	ADRES	TYPE	BOUWJAAR	BESCHERMINGSJAAR
Watertoren Marconistraat	Marconistraat 167, 1190 Vorst	VB	1904	01/10/1998
Zetel van de Europese Raad	Wetstraat 155, 1000 Brussel	MS	in uitvoering	
Zuidtoren	Zuidertoren, 1060 Sint-Gillis	GB	1967	
Zuidviaduct	Zuidlaan, 1000 Brussel	MK	1914	
Zuiveringsstation Noord	Vilvoordselaan 450, 1130 Brussel	GB	2006	
Zwembad Poseidon	Dapperenlaan 2, 1200 Sint-Lambrechts-Woluwe	GB	1964	