

ARCHITECTUS

Nr 4(40)

2014

kwartalnik



Spis rzeczy

Rada Naukowa

Zbigniew Bać (Polska)
Michail Balzanikov (Rosja)
Joaquim Braizinha (Portugalia)
Kateřina Charvátová (Czechy)
Jerzy Charytonowicz (Polska)
Małgorzata Chorowska (Polska)
Hugo Dworzak (Liechtenstein)
Nathalie Guillaumin-Pradignac (Francja)
Tore I.B. Haugen (Norwegia)
Ada Kwiatkowska (Polska)
Bo Larsson (Szwecja)
Tomasz Ossowicz (Polska)
Vladimír Šlapeta (Czechy)
Elżbieta Trocka-Leszczyńska (Polska)

Redaktor naczelny

Ewa Łużyńska

Redaktor wydania

4(40)/2014
Romuald Tarczewski

Sekretarz

Ewa Cisek

Projekt okładki

Artur Błaszczak

Adres redakcji

Wydział Architektury
Politechniki Wrocławskiej
ul. Bolesława Prusa 53/55
50-317 Wrocław
www.architectus.arch.pwr.edu.pl
e-mail: architectus@pwr.edu.pl

Bolesław Orłowski, <i>Inżynierowie w służbie Narodu</i>	3
Tadeusz Barucki, <i>Maciej Nowicki (1910–1950) – życie i twórczość</i>	21
Gerard Parke, Seyed Alireza Behnejad, <i>Zygmunt Stanisław Makowski: pionier konstrukcji przestrzennych</i>	33
René Motro, „ <i>Węzły i struktury przestrzenne</i> ” – w hołdzie Stefanowi du Château	41
Cláudia Estrela Porto, <i>Strukturalna innowacyjność w pracach Stefana du Château: od metalowych kratownic do ram przestrzennych</i>	51
John F. Abel, <i>Struktury projektowane przez Stefana J. Medwadowskiego</i>	65
Kazimierz Flaga, <i>Przygoda mojego życia. Studium projektowe głównych obiektów sportowych XXI Igrzysk Olimpijskich w Montrealu</i>	73
Massimo Majowiecki, <i>Osobiste doświadczenia z architekturą strukturalną: od poszukiwania formy do projektowania „free form”</i>	79
Michał Pelczarski, <i>Strumienie sił w teorii Wacława Zalewskiego jako narzędzie projektanta w kształtowaniu architektury konstrukcji. Podstawowe zasady, metody dydaktyczne, przykłady realizacji</i>	93

Na okładce fotografia autorstwa Massimo Majowieckiego.

ARCHITECTUS

No. 4(40)

2014

quarterly



Contents

Editorial Counsel

Zbigniew Bać (Poland)
Michail Balzanikov (Russia)
Joaquim Braizinha (Portugal)
Kateřina Charvátová (Czech Republic)
Jerzy Charytonowicz (Poland)
Małgorzata Chorowska (Poland)
Hugo Dworzak (Liechtenstein)
Nathalie Guillaumin-Pradignac (France)
Tore I.B. Haugen (Norway)
Ada Kwiatkowska (Poland)
Bo Larsson (Sweden)
Tomasz Ossowicz (Poland)
Vladimír Šlapeta (Czech Republic)
Elżbieta Trocka-Leszczyńska (Poland)

Editor-in-Chief

Ewa Łużyńska

Guest editor 4(40)/2014

Romuald Tarczewski

Secretary

Ewa Cisek

Cover designer

Artur Błaszczak

Editorial Office Address

Wydział Architektury
Politechniki Wrocławskiej
ul. Bolesława Prusa 53/55
50-317 Wrocław
www.architectus.arch.pwr.edu.pl
e-mail: architectus@pwr.edu.pl

Bolesław Orłowski, <i>Engineers in the service of the Nation</i>	3
Tadeusz Barucki, <i>The life and work of Maciej Nowicki (1910–1950)</i>	21
Gerard Parke, Seyed Alireza Behnejad, <i>Zygmunt Stanisław Makowski: A pioneer of space structures</i>	33
René Motro, “ <i>Nodes and Spatial Structures</i> ”, <i>a tribute to Stéphane du Château</i>	41
Cláudia Estrela Porto, <i>The innovative structural conception in Stéphane du Château’s work: from metallic trusses to the development of spatial frames</i>	51
John F. Abel, <i>Structures by Stefan J. Medwadowski</i>	65
Kazimierz Flaga, <i>An adventure of my life. A design study of the main sports objects of the 21st Olympic Games in Montreal</i>	73
Massimo Majowiecki, <i>Personal experiences in Structural Architecture: from form finding to free form design</i>	79
Michał Pelczarski, <i>Streams of forces in Wacław Zalewski’s theory as a designer’s instrument in forming constructional architecture. Basic principles, didactic methods, examples of realisations</i>	93

The photograph on the cover is by Massimo Majowiecki.



Bolesław Orłowski*

Inżynierowie w służbie Narodu

Engineers in the service of the Nation

Wprowadzenie

Polska tożsamość narodowa jest w znacznym stopniu ukształtowana przez doświadczenia rozbiorów – życia przez ponad wiek pod władzą Rosjan, Austriaków i Prusaków – które pozostawiły na niej trwały ślad. Polacy w tym czasie mogli zachować swoją tożsamość głównie dzięki polskiej literaturze pięknej i pismom historycznym. Oba te źródła inspirowały chęć wzmocnienia ducha narodowego, przywoływały minioną chwałę Polski. Oba budowały atmosferę „obsesyjnego” dążenia do niepodległości. Ktokolwiek wyróżnił się w tym czasie potrzeby – czy to mieczem, czy piórem – dołączył do panteonu polskiej pamięci narodowej. To podejście spowodowało jednak, że osiągnięcia w innych dziedzinach nie przyciągały wielkiego zainteresowania, szybko stapały się z tym i łatwo odchodziły w zapomnienie [1]–[3].

Tak było nie tylko w całych dziedzinach nauki, lecz także – paradoksalnie – w konkretnych historiach życia. Ile osób uświadamia sobie, że Tadeusz Kościuszko, Ludwik Nabelak, Romuald Traugutt czy Gabriel Narutowicz byli inżynierami, albo że Henryk Dembiński i Ignacy Mościcki byli wynalazcami?

Można łatwo udowodnić, że polscy inżynierowie byli w przeszłości rażąco niedoceniani, nawet przez rodaków. Chociaż Polska nigdy nie była techniczną potęgą, Polacy byli zaangażowani, zgodnie z duchem czasu, w aktywne uprawianie również tej dziedziny, a polskie osiągnięcia są godne uwagi.

Introduction

The Polish national identity has to a large extent been shaped by the experience of partitions – of life for over a century under the Russian, Austrian and Prussian rule – which was to leave a lasting stamp on it. Poles during this time were able to keep their national identity alive mainly through the mediums of Polish literary fiction and historical writings. Both inspired the desire to strengthen the national spirit by invoking the past glories of Poland. They both developed in an atmosphere of “obsessive” striving for independence. Whoever distinguished themselves in this time of need – whether by sword or by pen – would join the pantheon of the Polish national memory. It was as a result of this approach, however, that achievements in other fields did not attract much interest, quickly receding into the background and easily sinking into oblivion [1]–[3].

This was true not only for entire fields of learning, but also – paradoxically – for concrete life stories. How many people realise that Tadeusz Kościuszko, Ludwik Nabelak, Romuald Traugutt or Gabriel Narutowicz were engineers, or that Henryk Dembiński and Ignacy Mościcki were inventors?

There is hard evidence that Polish engineering of the past has been grossly undervalued, even by the Poles themselves. Although Poland has never been a technological superpower, the Poles did become involved, in keeping with the spirit of the age, in the active cultivation of this field too, and Polish accomplishments were noteworthy.

I believe that the achievements and life stories of the Polish heroes of technology, of which few are described below, are not in any way less captivating or even less exotic than the adventures of other heroes of the Polish

* Instytut Historii Nauki PAN, Warszawa/Institute of the History of Science, Polish Academy of Science, Warsaw.

Jestem przekonany, że osiągnięcia i życiorysy polskich bohaterów techniki, spośród których kilku jest poniżej opisanych, nie są w żaden sposób mniej wciągające lub nawet mniej egzotyczne niż przygody innych bohaterów polskiej przeszłości. Zawód inżyniera i wynalazcy jest w pewnym sensie kreatywną misją. Gabriel Narutowicz często powtarzał: *Inżynier dzieli z Bogiem radość tworzenia!*

Początki zawodu inżyniera

Profesja, której przedstawiciele zwano inżynierami (w języku polskim terminu *igenier* użyto po raz pierwszy w 1643 r.¹), pojawiła się w epoce europejskiego renesansu jako specjalność ukierunkowana na wspomaganie działań wojennych wiedzą o charakterze technicznym². Nowa jakość profesji polegała na posługiwaniu się wiedzą typu matematycznego i poszerzającą się (w miarę dokonującej się równoległe europejskiej rewolucji naukowej) znajomością załączka przydatnych w tym nauk przyrodniczych, zwłaszcza w odniesieniu do statyki i wytrzymałości materiałów. Owo naukowe już wedle nowoczesnych kryteriów podejście pozwoliło inżynierom renesansowym na osiągnięcia budowlane porównywalne z rzymskimi, choć nie dysponowali już warunkami społecznymi pozwalającymi na posługiwanie się ogromną zdyscyplinowaną „machiną ludzką”. Wynikało to z tego, że znaczna część kompetencji inżyniera dawała się wykorzystywać również w dziedzinach pozamilitarnych.

Zanim wszakże doszło do przejścia przez inżynierów całości spraw związanych z techniką³ i w XIX stuleciu powstało bogactwo specjalizacji – przez mniej więcej dwa stulecia tego rodzaju wysoko wykwalifikowani fachowcy wojskowi byli w Europie do wynajęcia. Tak więc krzewicielkami wiedzy technicznej w dawnej Rzeczypospolitej były niemal wyłącznie uczelnie wojskowe. Nie przypadkowo też właśnie wojskowy rodowód mieli pierwsi polscy przedstawiciele wyodrębniającego się u nas od schyłku XVIII w. zawodu inżyniera w dzisiejszym, nowoczesnym rozumieniu tego słowa.

Wyjątkiem od tej reguły był jezuita matematyk Adam Kochański (1631–1700), który zyskał w XVII stuleciu europejskie znaczenie. Był on autorem ciekawych ulepszeń w konstrukcji zegarów mechanicznych (w tym propozycji zastosowania sprężyny regulującej i standaryzującej liczbę wychyleń wahadła na godzinę jeszcze przed wynalezieniem przez Huygensa w 1675 r. wahadła sprężynowego). Współpracował z jednym z najstarszych europejskich czasopism naukowych, lipskim „Acta Eruditorum” (1682–1696). Na łamach tego periodyku uczestni-

past. The profession of an engineer or an inventor is in a sense a creative mission. Gabriel Narutowicz would often say: *An engineer shares in God's delight in creating!*

The emergence of the engineering profession

The profession whose representatives were called engineers (the term *igenier* was first used in Polish in 1643¹ appeared in Europe during the Renaissance as a specialisation focused on supporting military activities with technical know-how². The novelty of the profession consisted in its use of mathematical knowledge enriched (as the European scientific revolution progressed) with a nucleus of the relevant natural sciences, especially concerning statics and strength of materials. That scientific (according to modern criteria) approach enabled the Renaissance engineers to create buildings comparable to those erected by the Romans, even though they no longer had at their disposal the necessary, enormous and disciplined, “human machinery”. This was because many of the competences of an engineer could also be applied in non-military areas.

But before engineers took over all matters related to technology³ and in the 19th century a plethora of specialisations had evolved – this kind of highly skilled military professionals had been for hire in Europe for about two centuries. Thus in the old Commonwealth of Poland and Lithuania, technical knowledge was disseminated almost exclusively by military colleges. And, it is not by chance that of a military pedigree were the first Polish representatives (at the end of the 18th c.) of the engineering profession in the modern meaning of the world.

An exception of sorts was the Jesuit mathematician Adam Kochański (1631–1700), who gained renown in the 18th century Europe. He was the author of interesting improvements in the design of mechanical clocks (including the proposed replacement of the pendulum with a spring regulating and standardizing the number of pendulum swings per hour (ahead of Huygens' invention of the spiral balance in 1675). On the pages of one of the earliest European scientific journals, the Leipzig “Acta Eruditorum” (1682–1696), he took part (alongside J. Bernoulli, G.W. Leibniz and I. Newton) in the international debate on the parallelogram of forces (1685), which proved so important for the future development of engineering and led to the formulation of the theory of equilibrium.

After the partitions of Poland by neighbouring powers (1795) Poles became aware of the danger of ignoring the demands of the era, increasingly influenced by the industrial revolution and its aftermath.

¹ Jan Dekan w dokonany z tekstu niemieckiego przekładzie podręcznika artylerii Hiszpana Diego Ufano *Archelia albo artilleria, to jest fundamentalna i doskonała informacja o strzelbie i o rzeczach do niej należących*, wydany w Lesznie w 1643 r.

² Próbkę różnych umiejętności renesansowego inżyniera są przedstawione w często cytowanej ofercie złożonej w 1483 r. przez Leonarda da Vinci (1452–1519) – bez wątpienia jednego z twórców tej profesji – księciu Mediolanu Lodowicowi Sforzy.

³ Miało to miejsce w Europie Zachodniej w XVIII w., kiedy pojawiło się określenie „inżynier” (wyraźnie potwierdzające wojskowe pochodzenie zawodu).

¹ Jan Dekan in the translation, from the German text, of the artillery manual by the Spaniard Diego Ufano *Archelia albo artilleria, to jest fundamentalna i doskonała informacja o strzelbie i o rzeczach do niej należących* (Leszno 1643).

² A sample of the diverse skills of a Renaissance engineer is demonstrated in the often-quoted offer made in 1483 by Leonardo da Vinci (1452–1519) – undoubtedly one of the founders of the discipline – to the Duke of Milan Lodovico Sforza.

³ Which took place in Western Europe in the 18th century, when the term “civil engineer” appeared (clearly attesting to the military origins of the profession).

czył m.in. w ważnej dla przyszłego rozwoju inżynierii międzynarodowej dyskusji na temat równoległoboku sił (1685), w której brali udział m.in. J. Bernoulli, G.W. Leibniz i I. Newton. Doprowadziła ona do sformułowania teorii równowagi.

Po rozbiorach Polski przez sąsiednie mocarstwa (1795) Polacy zdali sobie sprawę z niebezpieczeństwa ignorowania wymagań epoki będącej pod coraz większym wpływem rewolucji przemysłowej i jej następstw.

Działalność polskich inżynierów w Ameryce Łacińskiej

Mimo że byli pozbawieni własnego państwa, Polacy w XIX w. stawali się aktywnymi uczestnikami globalnego wyścigu technologicznego. Działo się to na dwóch frontach: w kraju, gdzie dbano, by ojczyzna nie pozostała w tyle w wielkim wyścigu pracy koncepcyjnej spowodowanym rewolucją przemysłową, i – nieco później – poprzez wkład w postęp naukowo-techniczny w świecie, zazwyczaj podczas pracy za granicą.

Dwa kraje szczególnie dużo zawdzięczają polskim inżynierom emigrantom – Turcja i Peru. W pierwszym z nich szukali oparcia przede wszystkim ci, którzy liczyli na szybką zmianę sytuacji politycznej i szansę na odzyskanie przez Polskę niepodległości. W drugim lądowali ci, których główną motywacją było uświadomienie sobie, że nie da się w najbliższej przyszłości zrobić niczego konkretnego dla Polski, a także – naturalna wszak – dążność do szukania nieskrępowanej żadnymi ograniczeniami kariery zawodowej.

Centralna Kolej Transandyjska zbudowana przez Ernesta Malinowskiego

Wspinająca się na wysokość 4768 m n.p.m. Ferrocarril Central Transandino w Peru jest drugą najwyżej położoną linią kolejową na świecie (od czasu wybudowania linii kolejowej Quinzang w Tybecie). Jej twórcą był polski inżynier Ernest Malinowski, jeden z najmłodszych uczestników Wielkiej Emigracji, który opuścił Polskę w 1831 r. wraz ze swoim ojcem, zmuszonym do wyjazdu jako poseł na Sejm w okresie powstania listopadowego (1830).

Adam Stanisław Hipolit Ernest Nepomucen Malinowski urodził się w miejscowości Seweryny na Podolu 5 stycznia 1818 r. Od 1825 r. uczęszczał do Liceum Krzemienieckiego. W 1832 r. znalazł się w Paryżu, gdzie uczył się w Lycée de Louis le Grand, a następnie w École Polytechnique (1834–1836) i École des Ponts et Chaussées (1836–1838). Od roku 1839 pracował w Algierze, potem w Ardenach i w departamencie Loir-et-Cher. Pomimo otrzymania doskonałego wykształcenia i osiągnięcia niezbędnych kwalifikacji akademickich, jako cudzoziemiec, Malinowski nie mógł uzyskać nominacji na stanowisko inżyniera. W związku z tym skierował swoją uwagę na Peru, gdzie w 1853 r. zaproponowano mu stanowisko inżyniera rządowego [4].

W Peru Malinowski był zaangażowany w wiele projektów robót publicznych, ale niewątpliwie jego dziełem życia jest Centralna Kolej Transandyjska. Wpadł na pomysł jej budowy po zapoznaniu się ze specyfiką kraju. Głów-

Activities of Polish engineers in Latin America

Despite the situation of being deprived of their own state, the Poles of the 19th century were becoming active participants in the global technological race. This happened on two front-lines: at home while ensuring that the motherland was not left behind in the great race of conceptual work triggered by the industrial revolution, and, later on, through making contributions to technical and scientific advancement in the wider world, usually while working in foreign lands.

Two countries in particular owe much to Polish immigrant engineers – Turkey and Peru. In the first of them landed primarily those who hoped for a quick change of the political situation and a chance for the regaining of independence. In the second landed those for whom the prevailing motivation being the realisation that nothing of significance could be done for Poland in the foreseeable future. And of course there was the unexpressed but natural desire to build their professional careers unfettered by any restrictions.

The Central Trans-Andean Railway built by Ernest Malinowski

Climbing to 4,768 m above sea level, Ferrocarril Central Transandino in Peru is the second highest railway in the world (following the opening of the Quinzang railway in Tibet). Its creator was the Polish engineer Ernest Malinowski, one of the youngest participants of the Great Emigration who had fled Poland in 1831 alongside his father, forced to emigrate as a deputy of the parliament during the November uprising (1830).

Adam Stanisław Hipolit Ernest Nepomucen Malinowski was born in Seweryny in Podolia on 5 January 1818. He attended the Krzemieniec High School from 1825. In 1832 he relocated to Paris, studying at the Lycée de Louis le Grand, École Polytechnique (1834–1836) and École des Ponts et Chaussées (1836–1838). From 1839 he worked in Algiers, the Ardennes and in the department of Loir-et-Cher. Despite receiving an excellent education and attaining the academic qualifications necessary for the role, as a foreigner Malinowski was prevented from gaining promotion to the position of engineer. Accordingly, he set his sights on Peru, where in 1853 he was offered the position of government civil engineer [4].

In Peru, Malinowski would become involved in a range of public works projects, but his true life's work was undoubtedly the Central Trans-Andean Railway. He conceived a plan for its construction after developing a familiarity with the specifics of the country. A major impediment to the advancement of the country, however, existed in the form of the unbroken barrier formed by the Andes, which effectively blocked access to the rich natural resources of the interior. It was clear that in order for the country to develop economically, it would have to establish an effective means of transportation across the Andes.

Malinowski submitted his own proposal to the Peruvian authorities for the building of a trans-Andean railway in early 1859, after the news spread about the con-

ną przeszkodą w jego rozwoju była niepokonana bariera, którą tworzyły Andy, skutecznie blokujące dostęp do bogatych zasobów naturalnych wnętrza kraju. Było jasne, że aby się rozwijać gospodarczo, mieszkańcy Peru muszą stworzyć skuteczny system transportu przez te góry.

W 1859 r. Malinowski przedłożył władzom peruwiańskim niezwykle śmiały z inżynierskiego punktu widzenia pomysł transandyjskiej linii kolejowej, krótko po tym, jak pojawiły się pierwsze informacje o budowie kolei transalpejskiej w Europie. Rozwiązania, jakie zaproponował, były bardziej innowacyjne, ze względu na bardzo trudne warunki naturalne w Andach. Jednak właśnie ze względu na to projekt został uznany za zbyt śmiały i go odrzucono.

Uważa się, że rozpoczęcie realizacji projektu budowy kolei ułatwił wkład Polaka w obronę peruwiańskiego portu nad Pacyfikiem, Callao, przed atakiem hiszpańskiej floty 2 maja 1866 r. Amerykański przedsiębiorca Henry Meiggs, który zawarł z rządem peruwiańskim umowę na budowę tej kolei, powierzył jej wykonanie Malinowskiemu i realizacja projektu rozpoczęła się ostatecznie w styczniu 1870 r. Z inżynierskiego punktu widzenia wyłącznym twórcą tej kolei był Malinowski. On bowiem był autorem jej zamysłu, on wytyczył jej przebieg, on ją wytrasował w niesłychanie trudnym wysokogórskim terenie, on opracował jej projekt wykonawczy, on wreszcie kierował jej budową.

Trasa kolei biegnie z portu Callao, przez Limę, a następnie doliną rzeki Rimac, przekracza grzbiet Andów na wysokości 4768 m n.p.m. i dociera do miejscowości Oroya na ich wschodnim stoku. Łączna jej długość wynosi 219 km. Przy tak wielkich różnicach wysokości na stosunkowo niedługiej trasie, przy braku miejsca w wąskiej dolinie rzeki Rimac, bardzo trudno było poprowadzić kolej tak, by jej spadek nigdzie nie przekraczał nachylenia 4,5%, możliwego do pokonania przez najsprawniejsze podówczas parowozy. Wąska dolina uniemożliwiała poprowadzenie trasy łagodnymi zakolami, co praktykowali ówczesni budowniczy kolei alpejskich. Malinowski wprowadził rozwiązanie innowacyjne – puścił tory zygazkiem wzdłuż stromych ścian, pozwalając pociągom, zmieniającym na przemian kierunek jazdy, zyskiwać wiele na wysokości na stosunkowo krótkich odcinkach. Chwaliło go za to w 1872 r. brytyjskie czasopismo fachowe „Engineering”.

Trudne warunki terenowe wymagały stosowania rozwiązań na pograniczu ówczesnych możliwości technicznych. Trzeba było wydrążyć 62 tunele, z których największy – znajdujący się w najwyższym punkcie linii – mierzył 1173 m (według innych źródeł 1097 m) długości. Nigdy przedtem ani potem – aż do 2006 r., kiedy uruchomiono linię kolejową Qinghai–Tibet – nie wykonano tak poważnej budowli inżynierskiej na tak wielkiej wysokości.

Budowa linii wymagała też wzniesienia porównywalnej liczby (źródła podają od 45 do 61) mostów i wiaduktów. Malinowski zastosował stalowe kratownice systemu Finka, Bollmana i Neville’a. Większość wykonana została w Stanach Zjednoczonych, część w znanej wytwórni Gustave’a Eiffela w Paryżu, parę w Anglii. Najwspanialszą z tych konstrukcji był trójprzęsłowy wiadukt Verrugas, wzniesiony na wysokości 1670 m n.p.m.,

construction of the transalpine railway in Europe. Solutions that he proposed were more innovative due to the formidable nature of conditions in the Andes, but because of that, the project was considered to be too audacious and rejected.

It is believed that the commencement of the railway project was greatly facilitated by the Pole’s important contribution to the defence of the Pacific port of Callao against an attack by the Spanish fleet on 2 May 1866.

American industrialist Henry Meiggs, who signed the contract with the Peruvian government for the construction of the trans-Andean railway entrusted Malinowski with the execution of the project and work finally commenced in January 1870. Malinowski was the sole architect of the railway. He was the author of the concept, devised its route and took a hands-on role in conducting the endeavour throughout the incredibly difficult mountainous terrain. He prepared the final drafts and assumed responsibility for all construction works.

The railway would run from the port of Callao via Lima, along the gorge of the Rimac River, cross the Andes at an altitude of 4,768 m above sea level before reaching La Oroya on the eastern side of the Andes. The total length of the line would work out at 219 km. With such considerable variations in altitude to navigate over so relatively short a distance, and with no room for manoeuvre in the narrow gorge of the Rimac River, it was difficult to ensure that gradients of greater than 4.5% – which even the most accomplished steam locomotives of the day would struggle to negotiate – were not included in the route. The steep-sided nature of the Rimac valley ruled out any possibility of applying a gentle meandering of the railway, a method that had been successfully employed in the Alps. Malinowski instead had to lay the track in a series of sharp zigzags up and down the steep slopes.

This system permitted the trains to alternately change direction, thereby gaining considerable altitude over a relatively short distance. This novel approach was noted upon and praised by the British journal *Engineering* in 1872.

The challenging terrain presented Malinowski with a series of daunting barriers that would stretch the boundaries of existing technical procedure. Sixty-two tunnels were to be drilled, with the largest measuring 1,173 m (1,097 m according to some sources) in length. Never before – and not until 2006 when the Qinghai–Tibet railway opened – had such a large-scale engineering project been performed at such altitudes.

The construction of the railway also necessitated erecting a comparable number of bridges and viaducts (between 45 and 61 according to various sources). Malinowski applied iron truss structures of the Fink, Bollman and Neville types. Most of these were made in the United States, some at a well-known Paris manufacture of Gustave Eiffel and a few in England. The most impressive of these structures was the three-span Verrugas Viaduct erected at the altitude of 1,670 m above sea level and opened for use in January 1873. The viaduct was a Fink truss structure made from milled pipe elements provided by the Phoenix Company in the US. It included a pillar with the record-breaking height of 76.81 m.

oddany do eksploatacji w styczniu 1873 r. Wiadukt był kratownicą Finka wykonaną z walcowanych elementów rurowych przez Phoenix Company w USA. Jeden z jego filarów miał rekordową podówczas wysokość filaru mostowego (76,81 m).

Przy budowie kolei pracowali głównie robotnicy zagraniczni. Miejscowi wykazywali niewielkie zainteresowanie zatrudnieniem, co wynikało co najmniej częściowo z systemu socjalnego funkcjonującego w Peru, wzorowanego na obowiązującym w starożytnym Rzymie, gdzie każdy obywatel miał zagwarantowane prawo do jednego bezpłatnego posiłku na koszt państwa dziennie.

Początkowo zatrudniano głównie Chilijczyków, którzy byli robotnikami inteligentnymi i pracowitymi, ale słabo zdyscyplinowanymi. Do życia na wysokości większej niż 3000 m n.p.m. byli przyzwyczajeni jedynie lokalni Indianie. Jednak stwarzali oni problemy swoją niesubordynacją i brakiem znajomości niebezpieczeństw związanych z użyciem nowoczesnego sprzętu. Ostatecznie Meiggs zdecydował się na zatrudnienie Chińczyków, którzy byli wówczas najtańszą dostępną i najczęściej pracującą siłą roboczą. W kwietniu 1870 r. przy budowie pracowało już 2000 robotników. Ta liczba zwiększała się szybko, osiągając poziom pomiędzy 8 a 12 tysięcy pod koniec inwestycji. Połowę z tej liczby stanowili Chińczycy.

Jednak kryzys gospodarczy, spowodowany głównie wyczerpywaniem się zasobów guana, zmusił do przerwania w sierpniu 1875 r. bardzo bliskich już ukończenia prac. Próby ratowania sytuacji udaremniła śmierć Meiggsa we wrześniu 1877 r. Dopiero powstałe w 1890 r. brytyjskie towarzystwo Peruvian Corporation, które przejęło od zadłużonego rządu peruwiańskiego państwową sieć kolejową, dokończyło w ostatnich latach XIX w. budowę Transandyjskiej Kolei Centralnej. Malinowski był wówczas doradcą technicznym tej instytucji, ale nie brał już w tym bezpośredniego udziału.

Jego śmiała wizja i doskonałość inżynierska przyczyniły się do tego, że Peru stało się jednym z najbardziej rozwiniętych krajów Ameryki Łacińskiej.

Politechnika Edwarda Habicha w Limie

Choć Edward Habich przyczynił się do rozwoju Peru nie mniej niż Ignacy Domeyko do rozwoju Chile, w swojej ojczyźnie pozostaje niemal nieznaną.

Edward Jan Habich urodził się w Warszawie 31 stycznia 1835 r. jako syn urzędnika podatkowego, spolonizowanego potomka arystokratycznego rodu niemieckiego. Wydalony z warszawskiego gimnazjum gubernialnego był wcielony do armii rosyjskiej (od 1852), gdzie służył jako oficer artylerii podczas obrony Sewastopola w czasie wojny krymskiej. W 1858 r. Habich porzucił armię i przeniósł się do Francji. 17 lipca 1863 r. z czwartą lokatą ukończył École des Ponts et Chaussées. Następnie wrócił do Polski, gdzie walczył w powstaniu styczniowym (1863). Po jego sflumieniu Habich wyjechał ponownie do Paryża i rozpoczął nauczanie mechaniki w Szkole Wyższej Polskiej na Montparnasse, na kursach przygotowujących do studiów na uczelniach francuskich. W latach 1865–1868 Habich pełnił funkcję dyrektora szkoły.

The workforce employed on the project was largely made up of foreign nationals. Locals showed little interest in being involved, a situation at least partly stemming from the country's social system, a setup modelled upon that of ancient Rome where each citizen was entitled to one free meal a day at the expense of the state.

Initially they were mostly Chileans, intelligent and hardworking employees, though lacking in discipline. At an altitude of more than 3 km only local Indians were accustomed to live. However, the problem was both their insubordination and a lack of familiarity with the potential hazards associated with the use of modern paraphernalia. Eventually Meiggs decided to hire Chinese workers, who represented the cheapest, most hard-working and manageable labour source then available. By April 1870 there were already two thousand people employed on the line. This number would soon rise considerably to continue at a level of between 8 and 12 thousand right up to the completion of works. The Chinese accounted for over a half of all labour employed.

Unfortunately, an economic crisis led to an interruption in operations, at that time very nearly reaching completion. Hopes for a rapid recommencement of the enterprise were crushed by Meiggs's death in September 1877, then by The War of the Pacific (1879–1884) and ensuing Chilean occupation further delayed the work. It wasn't until 1890, when the newly established British Peruvian Corporation took over the state railways, that the construction of the Ferrocarril Central Transandino was restarted with Malinowski serving as the technical adviser, finally being brought to completion towards the end of the 19th century.

His audacious vision and engineering brilliance helped Peru to become one of the most developed countries in Latin America.

Edward Habich's Polytechnic in Lima

Although Edward Habich arguably did as much if not more for Peru's development as Ignacy Domeyko did for Chile's, he remains a virtual unknown in his homeland.

Edward Jan Habich was born in Warsaw on 31 January 1835 as the son of a fiscal clerk, a Polishised descendent of a German aristocratic family. Expelled from the Warsaw *guberniyan gymnasium*, he was conscripted into the Russian army (in 1852 or thereabouts) and served as an artillery officer in the defence of Sevastopol during the Crimean war. In 1858 Habich left the army and headed to France, where he graduated from the École des Ponts et Chaussées on 17 June 1863 in fourth place. Then he returned to Poland, where he fought in the January uprising (1863). Following its suppression Habich returned to Paris and started teaching mechanics at the Polish Higher School in Montparnasse on preparatory courses for studies at French schools. In the years between 1865 and 1868 Habich served as the school's director.

On the initiative of Ernest Malinowski, Habich was among the first of the group of Polish engineers to be offered employment by the government of Peru in 1869. After several years of various activities he was assigned in 1875 to join a commission charged with preparing re-

Z inicjatywy Ernesta Malinowskiego Habich znalazł się w pierwszej grupie polskich inżynierów, którym rząd Peru zaproponował pracę w 1869 r. Po kilku latach różnego rodzaju aktywności, w 1875 r. został przydzielony do komisji przygotowującej reformę systemu edukacyjnego. Wprowadziła ona system bardzo zbliżony do systemu europejskiego na Wydziale Nauk Ścisłych Uniwersytetu w Limie.

Te działania doprowadziły Habicha do projektu uważanego za jego koronne osiągnięcie – utworzenia w Limie pierwszej w Ameryce Łacińskiej szkoły politechnicznej. Była to instytucja przeznaczona do szkolenia lokalnej kadry specjalistów technicznych w dziedzinie inżynierii lądowej i górnictwa – wówczas dwóch najistotniejszych gałęzi peruwiańskiej gospodarki.

Habich z pomocą polskich inżynierów, których nakłonił do pracy w Peru podczas pobytu w Europie w 1873 r. – Władysława Klugera i Ksawerego Wakulskiego – ukształtował uczelnię na wzór francuskiej École des Ponts et Chaussées. Kluger został mianowany dziekanem Wydziału Inżynierii Lądowej i Wodnej, a Wakulski – dziekanem Wydziału Budowy Dróg i Mostów oraz Wytrzymałości Materiałów.

Uczelnia formalnie zainaugurowała działalność 23 lipca 1876 r. Program studiów na kierunku inżynierii lądowej zawierał topografię, budowę dróg i mostów, hydrotechnologię i rysunek techniczny. Wśród kursów uzupełniających znalazły się m.in. architektura, techniki hodowli, zasady działania silników oraz warsztaty chemiczne i fizyczne czy testowanie materiałów. Program studiów na kierunku górnictwo zawierał eksploatację kopalń, analizę chemiczną materiałów, metalurgię, mineralogię i rysunek techniczny. Kursy uzupełniające obejmowały zasady działania silników i technologie stosowane w Peru. Program studiów został rozszerzony w 1878 r. o miernictwo górnicze, a następnie w 1901 r. o technologie przemysłowe i inżynierię elektryczną w 1903 r.

Habich pozostał rektorem uczelni aż do swojej śmierci i robił wszystko, aby zapewnić jej autonomię. Była to szkoła inżynierska na dobrym europejskim poziomie, pełniąca jednocześnie funkcję narodowej instytucji przeglądu i oceny projektów technicznych.

Równie istotna jak założenie politechniki w Limie była jego praca przy organizacji i kierowanie Cuerpo de Ingenieros del Estado. Tak więc od 1878 r. Habich przewodniczył Centralnej Radzie Inżynierów Państwowych.

Jako człowiek o licznych talentach i niewyczerpanej energii, Habich odegrał istotną rolę w budowaniu podstaw nowoczesnego Peru. Opowiadał się za ukierunkowaniem gospodarki kraju na samowystarczalność w oparciu o górnictwo i eksploatację zasobów naturalnych, a także o rozwój rolnictwa skoncentrowanego na uprawie winorośli, bawełny i produkcji trzciny cukrowej. Prowadził konsekwentną kampanię na rzecz wprowadzenia na szeroką skalę systemów irygacyjnych w żyznych, lecz suchych regionach kraju. Przejawiał niespożyty energię w staraniach wprowadzenia europejskich standardów postępu do Peru. Zainicjował publikację czasopism naukowych i technicznych, miał także wielki wkład w wielu innych dziedzinach. Habich zmarł w Limie 31 paździer-

ni 1899 r. Jego wkład w kształtowanie form systemu edukacji, który wprowadził do Peru system bardzo zbliżony do europejskiego, w dziale nauk ścisłych Uniwersytetu w Limie.

Te działania doprowadziły Habicha do projektu uważanego za jego koronne osiągnięcie – utworzenia w Limie pierwszej w Ameryce Łacińskiej szkoły politechnicznej. Była to instytucja przeznaczona do szkolenia lokalnej kadry specjalistów technicznych w dziedzinie inżynierii lądowej i górnictwa – wówczas dwóch najistotniejszych gałęzi peruwiańskiej gospodarki.

Habich, z pomocą polskich inżynierów, których nakłonił do pracy w Peru podczas pobytu w Europie w 1873 r. – Władysława Klugera i Ksawerego Wakulskiego – ukształtował uczelnię na wzór francuskiej École des Ponts et Chaussées. Kluger został mianowany dziekanem Wydziału Inżynierii Lądowej i Wodnej, a Wakulski – dziekanem Wydziału Budowy Dróg i Mostów oraz Wytrzymałości Materiałów.

Uczelnia formalnie zainaugurowała działalność 23 lipca 1876 r. Program studiów na kierunku inżynierii lądowej zawierał topografię, budowę dróg i mostów, hydrotechnologię i rysunek techniczny. Wśród kursów uzupełniających znalazły się m.in. architektura, techniki hodowli, zasady działania silników oraz warsztaty chemiczne i fizyczne czy testowanie materiałów. Program studiów na kierunku górnictwo zawierał eksploatację kopalń, analizę chemiczną materiałów, metalurgię, mineralogię i rysunek techniczny. Kursy uzupełniające obejmowały zasady działania silników i technologie stosowane w Peru. Program studiów został rozszerzony w 1878 r. o miernictwo górnicze, a następnie w 1901 r. o technologie przemysłowe i inżynierię elektryczną w 1903 r.

Habich, pozostał rektorem uczelni aż do swojej śmierci i robił wszystko, aby zapewnić jej autonomię. Była to szkoła inżynierska na dobrym europejskim poziomie, pełniąca jednocześnie funkcję narodowej instytucji przeglądu i oceny projektów technicznych.

Równie istotna jak założenie politechniki w Limie była jego praca przy organizacji i kierowanie Cuerpo de Ingenieros del Estado. Tak więc od 1878 r. Habich przewodniczył Centralnej Radzie Inżynierów Państwowych.

Jako człowiek o licznych talentach i niewyczerpanej energii, Habich odegrał istotną rolę w budowaniu podstaw nowoczesnego Peru. Opowiadał się za ukierunkowaniem gospodarki kraju na samowystarczalność w oparciu o górnictwo i eksploatację zasobów naturalnych, a także o rozwój rolnictwa skoncentrowanego na uprawie winorośli, bawełny i produkcji trzciny cukrowej. Prowadził konsekwentną kampanię na rzecz wprowadzenia na szeroką skalę systemów irygacyjnych w żyznych, lecz suchych regionach kraju. Przejawiał niespożyty energię w staraniach wprowadzenia europejskich standardów postępu do Peru. Zainicjował publikację czasopism naukowych i technicznych, miał także wielki wkład w wielu innych dziedzinach. Habich zmarł w Limie 31 październi-

ca 1899 r. Jego wkład w kształtowanie form systemu edukacji, który wprowadził do Peru system bardzo zbliżony do europejskiego, w dziale nauk ścisłych Uniwersytetu w Limie.

Polish contribution to the construction of the Trans-Siberian Railway

The Kingdom of Poland – product of the Congress of Vienna in the Russian-occupied part of the former Polish territories did remain – in spite of the restrictive policy of

nika 1909 r. i został pochowany w mauzoleum zbudowanym przez państwo.

Polski wkład w budowę Kolei Transsyberyjskiej

Królestwo Polskie powstałe w konsekwencji ustaleń Kongresu Wiedeńskiego na części okupowanej przez Rosję dawnej Polski – pomimo restrykcyjnej polityki rosyjskiego rządu – pozostawało kulturalnie i gospodarczo znaczącą częścią imperium carskiego. Spora część inżynierów pracujących w imperium pochodziła z Królestwa Polskiego. Ponad tysiąc z nich ukończyło studia w Instytucie Inżynierów Transportu w Petersburgu, gdzie Polacy stanowili do 40% studentów. Z najznamienitszym wśród nich – Stanisławem Kierbedziem starszym (1810–1899) – włożyli oni olbrzymi wkład w rozwój kolei (w tym Wielką Kolej Syberyjską, 1891–1916; łącznie z niezbędnymi mostami – na tym polu większość prac wykonała warszawska firma K. Rudzki i S-ka, która była drugą co do wielkości firmą tego rodzaju w Imperium Rosyjskim). Polacy budowali infrastrukturę lądową i wodną, byli aktywni w górnictwie, włącznie z eksploatacją złóż ropy naftowej (Julian Jakub Rummel, 1823–1862, Witold Zglenicki, 1850–1904, byli pionierami eksploatacji złóż ropy naftowej pod Morzem Kaspijskim). Stanisław Kierbedź młodszy (1844–1910), bratanek wyżej wspomnianego, kierował budową Kolei Wschodniochińskiej (zwanej również Koleją Transmandżurską), przy której Polacy wybudowali miasto Harbin.

Wielu ze wspomnianych tu Polaków należało do najściślejszej elity inżynierów w Rosji. Włożyli oni namacalny wkład w rozwój nauk technicznych (Feliks Jasiński, 1856–1899, Aleksander Wasiutyński, 1859–1944, Karol Adamiecki, 1866–1933); wielu było wykładowcami na różnych uniwersytetach w Rosji i wynalazcami (Stefan Drzewiecki, 1844–1939). Pomimo nieprzychylnego nastawienia do Polaków i dyskryminującej polityki osobowej państwa carskiego zdołali oni zrobić duże kariery i osiągnąć wysoki status społeczny.

Największym osiągnięciem technicznym zrealizowanym przez Imperium Rosyjskie była niewątpliwie Kolej Transsyberyjska. Po trzydziestu latach dyskusji i przygotowań 31 maja 1891 r. miało miejsce uroczyste położenie kamienia węgielnego pod budowę tej kolei we Władywostoku. Budowa Kolei Transsyberyjskiej została w pełni ukończona w 1916 r. W większości trasa ta miała jeden tor. Najtrudniejszą częścią tego przedsięwzięcia była niewątpliwie Kolej Krugobajkalska. Całość, obejmującą 485 wiaduktów, mostów i przepustów, 39 tuneli i około 14 km murów oporowych, wybudowano na odcinku o łącznej długości 230 km.

W polskim środowisku inżynierów okresu międzywojennego (1918–1939) powszechne było przeświadczenie o tym, że Polacy w ogromnym stopniu przyczynili się do budowy Kolei Transsyberyjskiej. Mimo że przetrwało niewiele dokumentów źródłowych, sporo z nich zaledwie we fragmentach, obraz, jaki można stworzyć na podstawie tych nielicznych źródeł, potwierdza znaczącą rolę odegraną przez polskich inżynierów w tym przedsięwzięciu. Wkład Polaków był różny na róż-

the Russian government – a culturally and economically important part of the tsarist empire. A significant proportion of engineers working in the empire came from the Kingdom of Poland. More than a thousand of them graduated from the St. Petersburg Institute of Transportation Engineers, where Poles represented up to 40% of the student body. Those men, of whom the most prominent was Stanisław Kierbedź senior (1810–1899), made a great contribution to the development of railways (including the Great Siberian Railway, 1891–1916) and the necessary bridges (in this field, most work was done by the Warsaw company K. Rudzki i S-ka, which was the second largest company of this kind in the Russian empire).

Poles built land and water infrastructure, were active in mining, including crude oil extraction (Julian Jakub Rummel, 1823–1862, and Witold Zglenicki, 1850–1904, were the pioneers of extracting crude oil from under the Caspian Sea). Stanisław Kierbedź junior (1844–1910), nephew of the above-mentioned, was in charge of the construction of the Chinese Eastern Railway (aka Trans-Manchurian Railway), during which Poles built the town of Harbin.

Many of those Poles belonged to the top elite of the engineering staff of Russia. They made a tangible contribution to the development of the technical sciences (Feliks Jasiński, 1856–1899, Aleksander Wasiutyński, 1859–1944, Karol Adamiecki, 1866–1933); many taught at various universities in Russia, or were inventors (Stefan Drzewiecki, 1844–1939). Despite the unfavourable attitude to Poles and the tsarist state's personnel policy that discriminated against them, they built their strong careers and won a high social status.

The most impressive technical undertaking realised by the Russian Empire was undoubtedly that of the Trans-Siberian Railway. After thirty years of discussions and preparations on 31 May 1891 the ceremonial laying of the cornerstone for the railway's construction took place in Vladivostok. The Trans-Siberian Railway was only fully completed in 1916 and largely ran on a single line of tracks. The most challenging section of the venture was undoubtedly the Circum-Baikal Railway. All together, 485 viaducts, bridges and culverts, 39 tunnels and around 14 km of retaining walls were built over a distance totaling 230 km.

In the Polish engineering milieu of the interwar period (1918–1939), it was commonly believed that the Poles had contributed enormously to the construction of the Trans-Siberian Railway. Although few source documents survived, and many of them are of fragmentary nature, the picture that we can glean from these limited sources, does confirm the significance of the role Polish engineers played in this enterprise. The contribution of the Poles was different in each section of the Railway, and different is the degree of knowledge of the specific names in this context.

The construction archives of the Ufa–Zlatoust–Miass line (1886–1892) and the Chelyabinsk–Novonikolayevsk line (1892–1896) mention that during the years 1888–1898, as many as 21 Polish names are present among the highly qualified technical and engineering personnel engaged in development of the railway. The only well

nych odcinkach kolei i nie wszędzie zachowały się ich nazwiska.

Dokumenty w archiwum budowy linii Ufa–Złatoust–Miass (1886–1892) oraz linii Czelabińsk–Nowonikołajewsk (1892–1896) wymieniają aż 21 polskich nazwisk wśród wysoko kwalifikowanego personelu technicznego i inżynierskiego zaangażowanego w latach 1888–1898. Jedyne dobrze znane nazwisko na tej liście to Stanisław Olszewski, znakomity budowniczy mostów, który nadzorował ich budowę nad takimi rzekami jak Irtysz i Om. Z innych źródeł wiemy jednak, że mosty stalowe dla Kolei Zachodniosyberyjskiej były projektowane przez Stanisława Kunickiego, którego jednym z osiągnięć był również dziewiętnastoprzęsłowy most zbudowany dla Kolei Riazan–Ural u ujścia Wołgi w latach 1907–1908.

Najmniejszą liczbą informacji dysponujemy na temat polskiego wkładu przy budowie Kolei Środkowsyberyjskiej pomiędzy rzeką Ob a Irkuckiem. Jedyne znane nazwisko to Ernest Bobieński, naczelnik oddziału i naczelnik ruchu kolei.

Trochę więcej wiadomo o Polakach, którzy uczestniczyli w budowie Kolei Transbajkalskiej. Znanymi są takie nazwiska inżynierów jak Julian Piotr Eberhardt, Antoni Jabłoński, Władysław Jakubowski, Mieczysław Krużewicz, Aleksander Adam Pstrokoński, Bronisław Królikowski, Izidor Leśniewski, Józef Mrozowski i Henryk Święcicki, Jan Wojciech Sudra, oraz firma K. Rudzki i S-ka.

Jednak największy „polski” wkład w rozwój Kolei Transsyberyjskiej dotyczył Kolei Wschodniochińskiej⁴. Stanisław Kierbedź młodszy nadzorował budowę tej linii, która wymagała postawienia 912 stalowych mostów (w tym siedem przepraw nad wielkimi rzekami) oraz 258 mniejszych mostów kamiennych i betonowych. Oficjalnie jako wiceprezes spółki był on w rzeczywistości osobą odpowiedzialną za wszystkie najważniejsze decyzje dotyczące prac inżynierskich.

Budowa Kolei Wschodniochińskiej sprawiała szczególne trudności ze względu na to, że była realizowana na terenie zupełnie dzikiej przyrody: odległości pomiędzy stacjami były tak duże, że potrzebne było wybudowanie pomiędzy nimi dodatkowych punktów zaopatrzenia lokomotyw parowych w węgiel i wodę.

Inną ważną rolę przy budowie Kolei Wschodniochińskiej odegrał inżynier Stefan Augustyn Offenberga. Był on odpowiedzialny za badania topograficzne jej części zachodniej, zanim podjął się nadzorowania prac budowlanych na jej dwóch odcinkach, w tym bardzo trudnej części pomiędzy Górami Changajskimi a rzeką Nen. Później został on naczelnikiem ruchu kolei na tej linii. Kierownikiem budowy odcinka południowego Kolei Wschodniochińskiej – od miasta Harbin do Port Arthur – był inżynier Teofil Hirszman.

known name amongst these men is that of the outstanding bridge maker Stanisław Olszewski, who supervised the construction of bridges across the rivers Irtysz and the Om. We know from other sources however, that the steel bridges used for the Western Siberian Railway were designed by Stanisław Kunicki who, among other achievements also created a 19-span bridge for the Ryazan–Ural Railway, built at the mouth of the Volga River in the years 1907–1908.

We have the least information on the Polish contribution to the construction of the Mid-Siberian Railway between the Ob River and the city of Irkutsk. The only name known is that of Ernest Bobieński, train service manager or the board of the railway.

Somewhat more is known about the Poles who participated in the construction of the Trans-Baikal Railway. There appear names of such engineers as Julian Piotr Eberhardt, Antoni Jabłoński, Władysław Jakubowski, Mieczysław Krużewicz, Aleksander Adam Pstrokoński, Bronisław Królikowski, Izidor Leśniewski, Józef Mrozowski and Henryk Święcicki, Jan Wojciech Sudra, and firm K. Rudzki & Co. Ltd.

It was, however, on the Chinese Eastern Railway that the greatest “Polish” contribution to the development of the Trans-Siberian Railway took place⁴. Stanisław Kierbedź Jr, supervised the construction of this line, which necessitated the erection of 912 steel bridges (including seven crossing great rivers) and a further 258 minor stone and concrete bridges. Officially vice-president of the company, he was in fact the person responsible for all major decisions with regard to engineering.

Development of the Chinese Eastern Railway was a particularly challenging undertaking due to the fact that it was realised in an area of complete wilderness: distances between stations were so vast that additional supply points in between each station had to be established in order that steam locomotives could stock up on coal and water.

Another important role in the construction of the Chinese Eastern Railway was played by engineer Stefan Augustyn Offenberga. He was responsible for topographical studies of its western stretch, before supervising construction works on its two legs, including a very difficult section between the Khangai Mountains and the Nen River. He was to subsequently become road service manager for this line. The construction manager of the southern branch of the Chinese Eastern Railway – from Harbin to Port Arthur – was engineer Teofil Hirszman.

The contribution of Polish engineers was also significant during the construction of the leg along the northern side of the Amur River. All bridges on the middle section of this line, called the Central Amur Railway, were con-

⁴ Miasto Harbin założyli na skrzyżowaniu Kolei Wschodniochińskiej polscy emigranci na Daleki Wschód. Lokalizację miasta wybrał na wiosnę 1898 r. inżynier Adam Szydłowski, który prowadził ekspedycję rozpoznawczą wysłaną z Władywostoku przez Kierbedzia. W jej składzie było dwóch Polaków – Raweński i Wysocki. Głównym kierownikiem budowy był Wacław Czajkowski. Inni Polacy również uczestniczyli w budowie miasta Harbin – szczególnie tacy inżynierowie, jak Karol Weber i Walenty Wells.

⁴ The city of Harbin was established at the Chinese Eastern Railway junction by Polish Far East immigration. The location of the city was chosen in the spring of 1898 by the engineer Adam Szydłowski, who had led a reconnaissance expedition dispatched from Vladivostok by Kierbedź. Its members included another two Poles, Raweński and Wysocki. The chief manager of construction works was Wacław Czajkowski. Other Poles also participated in the construction of Harbin: notably the engineers Karol Weber and Walenty Wells.

Wkład polskich inżynierów był również znaczący przy budowie odcinka wzdłuż rzeki Amur. Wszystkie mosty w środkowej części tej linii, tzw. Kolei Centralnoamurskiej, wybudowała firma K. Rudzki i S-ka z siedzibą w Warszawie. W latach 1895–1897 była ona drugą co do wielkości firmą budującą mosty i zrealizowała 17% wszystkich tego typu robót. Firma ta wybudowała również mosty dla Kolei Ussuri na dopływach rzeki Ussuri – rzece Bikin, Iman i Chor. Konstrukcje stalowych mostów wykonane w stalowniach w Mińsku Mazowieckim były transportowane pociągiem do Odessy, a następnie statkiem przez Kanał Sueski na Daleki Wschód do Nikolajewska, miasta położonego nad Amurem blisko jej limanu prowadzącego do Morza Ochockiego. Stamtąd konstrukcje transportowano na barkach na miejsce budowy około 2500 km w górę rzeki.

Polscy budowniczowie mostów z powodzeniem brali również udział w budowie wschodniego odcinka Kolei Amurskiej. Należy tu wspomnieć Michała Hieropolitańskiego i Antoniego Płaczkowskiego, Bolesława Liberadzkiego i Ludwika Czapskiego.

Odsetek polskich inżynierów zatrudnionych podczas budowy, a później eksploatacji Kolei Transsberyjskiej wynosił 18–20%. Fakt ten budził niepokój w kręgach rządowych Rosji, a car Mikołaj II ponoć wyraził swoje niezadowolenie z tego powodu.

Ośrodek lwowski

Powstanie kwitnącego centrum nauki i techniki we Lwowie było wynikiem osłabienia monarchii habsburskiej w latach 60. XIX w. Osłabienie to umożliwiło powstanie szerokiej samorządności i wzrost stopnia aktywności społecznej i organizacyjnej niespotykany w innych zaborach.

Powstała w 1844 r. niemieckojęzyczna Lwowska Akademia Techniczna przeszła przez etap bardzo szybkiej polonizacji we wczesnych latach 70. XIX w. Ostatecznie została zreformowana i przekształcona w 1877 r. w Szkołę Politechniczną o statusie jednostki szkolnictwa wyższego. Miała ona trzy wydziały: Inżynierii Lądowej z Architektura, Chemii Technicznej i Mechaniczny (utworzony w 1875 r.). Na początku funkcjonowania jako Szkoła Politechniczna instytucja ta liczyła około 250 studentów, spośród których 20% stanowili przybysze spoza Galicji, głównie Polacy z zaboru rosyjskiego. Pod koniec XIX w. liczba studentów gwałtownie wzrosła i na początku XX stulecia wynosiła ponad 700.

Galicja też odgrywała ważną rolę integrującą w skali całego kraju. Na jej terenie odbywały się od 1882 r. Zjazdy Techników Polskich, w których brali udział przedstawiciele pozostałych zaborów – dość licznie rosyjskiego, skromnie pruskiego. Kongresy te odegrały ważną rolę w zachowaniu i umocnieniu poczucia przynależności narodowej, nawet przez tak pozornie nieistotne projekty, jak próba wspólnego ustalenia standardowej terminologii technicznej w języku polskim.

Jak zwykle w takich przypadkach, siłą napędową trzech głównych kierunków działalności w ośrodku lwowskim – dydaktycznego, organizacyjnego i promocyjnego – była relatywnie niewielka grupa wybitnych specjalistów.

constructed by the Metal Industry Company K. Rudzki & Co. Ltd based in Warsaw. In the years 1895–1897 this company was the second biggest bridge contractor and carried out 17% of all bridge construction projects undertaken. K. Rudzki & Co. also built bridges for the Ussuri Railway on the tributaries of the Ussuri River – the rivers Bikin, Iman and the Khor. Steel bridge structures manufactured at steelworks in Mińsk Mazowiecki were transported by train to Odessa and then shipped via the Suez Canal to the Far East and Nikolayevsk, a town located on the Amur River close to its liman in the Sea of Okhock. They were finally taken by barge to construction sites up to 2,500 km away.

Polish bridge makers also successfully participated in the construction of the eastern section of the Amur Railway. Names such as Michał Hieropolitański, Antoni Płaczkowski, Bolesław Liberadzki and Ludwik Czapski, should be mentioned.

The percentage of Polish engineers employed during the construction and subsequent operation of the Trans-Siberian Railway stood at 18–20%. This situation fostered a sense of unease in Russian governmental circles – tsar Nicholas II supposedly expressed his discontent concerning this development.

The Lvov Centre

The rise of a flourishing centre of science and technology in Lvov was a result of the weakening of the Habsburg Monarchy in the 1860s, which had enabled broad self-governance and a degree of social and organisational activism unparalleled in the other partitions of Poland.

Established in 1844, the German-language instruction Lvov Technical Academy went through a rapid phase of Polonisation in the early 1870s. It was eventually restructured and transformed in 1877 into the Polytechnical School with the status of a higher education institution. It had three faculties: civil engineering with architecture, technical chemistry and mechanical engineering (the latter created in 1875). At the start of its time as the Polytechnical School, the institution had some 250 students enrolled, twenty per cent of them migrants from outside Galicia, mainly Poles from the Russian partition. Towards the end of the 19th century the number of students increased dramatically and by the beginning of the 20th century, the total student population exceeded 700.

Galicja was rapidly taking a leading role in the integration of the engineering community from throughout the country. From 1882 it played host to the Congresses of Polish Technicians which attracted representatives also of the other partitions. The Congress played a role in preserving and strengthening the sense of national identity, even through seemingly inconsequential projects such as the attempt to collectively establish standardised technical terminology in the Polish language.

As is typically the case, the driving force behind the three main currents of activities of the Lvov centre – didactic, organisational and promotional – was made up of a relatively small group of outstanding technical specialists. One of these was Jan Nepomucen Franke, a graduate of the

Jednym z nich był Jan Nepomucen Franke, absolwent wspomnianej wyżej Lwowskiej Akademii Technicznej i Politechniki Wiedeńskiej, wieloletni profesor mechaniki teoretycznej na Politechnice Lwowskiej i jej kanclerz w latach 1880–1881. Pełnił on także funkcję prezesa Towarzystwa Politechnicznego⁵, a jego książka *Mechanika teoretyczna* (1878–1887) osiągnęła status wręcz kultowej zarówno w Polsce, jak i za granicą.

Inną prominentną i wpływową postacią wczesnego okresu tej instytucji był Maksymilian Thullie, absolwent Politechniki Wiedeńskiej, który od 1880 r. uczył we Lwowie mechaniki budowlanej. Jego podręcznik nt. analizy konstrukcyjnej, opublikowany w 1886 r., był powszechnie używany i do 1923 r. miał wiele wydań. Thullie był jednym z pionierów w zastosowaniach żelbetu. W 1894 r. zbudował w ogrodzie Politechniki eksperymentalny żelbetowy most o rozpiętości 11,5 m. Był to pierwszy tego typu obiekt w Galicji. Przyczynił się także do rozwoju teorii żelbetu poprzez wprowadzenie koncepcji faz pracy i ich określenie, a także poprzez rozwój pierwszych równań i opracowanie tablic do obliczania belek i sklepień żelbetowych. Częścią jego działalności w Towarzystwie Politechnicznym było jego żywe zaangażowanie w opracowanie nowoczesnego słownictwa technicznego w języku polskim.

Wybrane wybitne jednostki

Śród wielu inżynierów i naukowców zaangażowanych w badania technologiczne w tym okresie, kilka nazwisk zasługuje na bardziej szczegółową prezentację.

Feliks Jasiński

Dla Feliksa Jasińskiego inżynieria była zarówno pasją, jak i życiową misją. Jego zawodowa dociekliwość prowadziła go do osiągnięć, które miały trwały wpływ na rozwój nauk technicznych w skali światowej. Wnioski, do jakich doszedł, badając wyboczenie prętów ściskanych osiowo, zachowują swoją ważność do dzisiaj, nawet w dziedzinach, które nie istniały za jego życia (np. w technologii lotniczej). Prace Jasińskiego zapewniły mu miejsce – obok Aleksandra Wasiutyńskiego i Maksymiliana Tytusa Hubera – w wybranej trójce polskich inżynierów wymienionych w klasycznej pracy *Historia wytrzymałości materiałów*⁶ Stefana Timoszenko.

⁵ Towarzystwo Politechniczne wydawało swoje czasopismo „Dźwignia”, zastąpione w 1883 r. przez „Czasopismo Techniczne”, publikowane od 1945 r. w Krakowie. Periodyk ten był jednym z najważniejszych w historii polskiego czasopiśmiennictwa technicznego. Wyrażając narastającą potrzebę czasu, traktował głównie o problemach inżynierii lądowej, przeznaczając w szczególności obszerną część swoich łamów zagadnieniom kolejnictwa. Donosił także o międzynarodowych innowacjach technicznych i ogólnie utrzymywał czytelnika na bieżąco ze wszystkimi ważnymi osiągnięciami nauki, techniki i zarządzania.

⁶ S. Timoshenko, *History of The Strength of Materials: with a brief account of the history of theory of elasticity and theory of structures*, McGraw-Hill Book, New York 1953 (wyd. polskie: *Historia wytrzymałości materiałów*, Arkady, Warszawa 1966).

mentioned Lvov Technical Academy and the Vienna Polytechnical School, a longstanding professor of theoretical mechanics at the Lvov Polytechnical School and its chancellor in the years 1880–1881. He also fulfilled the function of president of the Polytechnical Society⁵, while his book, *Theoretical Mechanics* (1878–1887) attained iconic status in both in Poland and abroad.

Another prominent and influential figure in the early days of the institution was Maksymilian Thullie, a graduate of the Vienna Polytechnical School, who taught structural mechanics in Lvov from 1880. His manual on structural analysis published in 1886 was widely used and by 1923 had had several editions. Thullie was one of the leading pioneers in the use of reinforced concrete. In 1894 he erected an experimental bridge in the garden of the Polytechnical School. Constructed from reinforced concrete and spanning 11.5 m, it was the first structure of this type to be built in Galicia. He contributed to the evolution of theoretical thinking with regard to reinforced concrete by introducing the concepts of phases and the separation of phases as well as developing first formulae and preparing tables for calculating beams and vaults of reinforced concrete. As part of his activities in the Polytechnical Society, he took a keen interest in devising modern technical nomenclature for the Polish language.

Selected outstanding individuals

Among the many engineers and scientists involved in technological research during this period, a few names deserve a more detailed presentation.

Feliks Jasiński

For Feliks Jasiński, engineering was both a passion and a life's mission. His professional inquisitiveness propelled him to achievements which were to have a lasting impact on the evolution of the technical sciences at the global scale. Conclusions, to which he arrived while investigating buckling of axially compressed rods for example, are still relevant today, even in fields that were non-existent during his lifetime (e.g. aviation technology). Jasiński's work ensured his place – alongside Aleksander Wasiutyński and Maksymilian Tytus Huber – in a select threesome of Polish engineers to be referenced in the classic work *History of the Strength of Materials*⁶ by Stephen Timoshenko.

He was born on 15 September 1856 in Warsaw, a city where he would complete his gymnasium education

⁵ The Polytechnical Society published its journal “Dźwignia” (“The Lever”), in 1883 replaced by “Czasopismo Techniczne” (“Technical Journal”), from 1945 in Cracow. The journal was one of the most important in the history of Polish technical journalism. In addressing the pressing needs of the day, it dealt mainly with issues of civil engineering, dedicating a generous amount of space to the railway industry in particular. It also reported on international technical innovations and generally kept readers abreast of all important achievements in science, technology and management.

⁶ S. Timoshenko, *History of The Strength of Materials: with a brief account of the history of theory of elasticity and theory of structures*, McGraw-Hill Book, New York 1953.

Urodził się 15 września 1856 r. w Warszawie. W tymże mieście ukończył gimnazjum (1872), udając się następnie na studia do petersburskiego Instytutu Inżynierów Transportu. Ukończył go w 1877 r. Od roku 1878 pracował w Wilnie jako zastępca inspektora departamentu zarządu, a w latach 1885–1887 jako naczelnik sekcji kolejowej. W tym okresie odpowiadał za projektowanie i realizację wielu inwestycji, zarówno z zakresu kolejnictwa, jak i ogólnego przeznaczenia.

Od roku 1888 Jasiński służył jako inżynier kolejowy w St. Petersburgu. W 1890 r. został wyznaczony naczelnikiem działu technicznego kolei St. Petersburg–Moskwa. Nadzorując wzmocnianie konstrukcji mostów na trasie kolei, Jasiński przeprowadził serię wszechstronnych testów wytrzymałościowych, które miały wyznaczyć rzeczywiste obciążenia działające na te obiekty.

Od 1888 r. Jasiński był w coraz większym stopniu zaangażowany w działalność Rosyjskiego Stowarzyszenia Inżynierów Transportu, a od 1891 pełnił funkcję redaktora naczelnego miesięcznika wydawanego przez stowarzyszenie. Od roku 1892 skupił się na intensywnej pracy badawczej. Jej efektem było ponad 40 opublikowanych prac. Od 1895 r. Jasiński wykładał mechanikę budowy w Instytucie Inżynierów Transportu. Po uzyskaniu profesury i objęciu Katedry Mechaniki Budowli w 1896 r., Jasiński wprowadził do programu nauczania cykl wykładów z teorii sprężystości.

Zainteresowania badawcze Jasińskiego obejmowały szeroko rozumiane zagadnienia statyki, a także szczegółowe badania i klasyfikację rodzajów drgań w mostach. Jego niezwykły talent polegał na umiejętności łączenia doskonale opanowanej wiedzy teoretycznej z praktyką inżynierską oraz przełożeniu tego na wysoce efektywny styl dydaktyczny. Udało mu się ustalić empiryczne wzory na wartości naprężeń krytycznych, przy których osiowo ściskane elementy tracą stabilność. Ponadto, na podstawie tych wzorów, Jasiński był w stanie opracować szereg praktycznych tabel, które są nadal w użyciu. Jego pierwsza próba udostępnienia tych wyników badawczych – praca *Próba opracowania teorii wybożenia* została opublikowana w czasopiśmie rosyjskiego Ministerstwa Transportu w latach 1892–1893. Końcowa, poprawiona jej wersja ukazała się w wydaniu książkowym i została opublikowana również po francusku i po polsku, pod tytułem *Badania nad sztywnością prętów ściskanych*⁷. Jest to najważniejszy wkład Jasińskiego do nauki światowej i przyniósł mu on międzynarodowe uznanie.

Równocześnie z pracą naukową i innymi obowiązkami Jasiński kontynuował swoją działalność inżynierską. Charakterystyczne dla niego było to, że szukając rozwiązań konkretnych problemów technicznych, dążył do wyciągnięcia szerszych wniosków co do charakteru badanych zjawisk.

Jasiński zmarł przedwcześnie na gruźlicę 18 września 1899 r. w St. Petersburgu. Zbiór jego prac był opubliko-

(1872) before going on to graduate from the St. Petersburg Institute of Transport Engineers (1877). From 1878 he worked in Vilnius as a deputy board department inspector and in the years 1885–1887 as head of the railway section. During this period he was responsible for the design and assembly of a number of projects, both associated with the railway and general purpose

From 1888 Jasiński served as a railway engineer in St. Petersburg. In 1890 he was appointed head of the technical department on the St. Petersburg–Moscow railway. While supervising the structural reinforcement of the route's bridges, Jasiński carried out a series of comprehensive strength tests designed to reveal the true loads that the bridge structures were subject to.

From 1888 Jasiński became increasingly involved in the activities of the Russian Society of Transport Engineers, and from 1891 served as chief editor of its monthly journal. From 1892 he focused intensely on his scientific investigations, a decision which was to bear fruit in the form of forty published works. From 1895 Jasiński taught structural mechanics at the Institute of Transport Engineers. Upon obtaining his professorship and the Chair of Structural Mechanics in 1896, Jasiński introduced a lecture series to the school on the theory of elasticity.

Jasiński's scientific interests embraced the broadly understood theory of statics and included detailed research into and classification of types of bridge vibrations. His exceptional talent lay in his ability to combine an excellent understanding of theoretical knowledge and engineering practice and to translate this into a highly effective didactic style. He succeeded in determining an empirical formulae for critical stress values at which the axially compressed elements lose their stability. Moreover, based on these formulae, Jasiński was able to draw up a series of practical tables that are still in use today. His initial effort at conveying the meaning of these research results, *An Attempt to Develop a Theory of Buckling*, was published in the journal of the Russian Transport Ministry in the years 1892–1893. A final, improved version of this work appeared in a book edition also published in French and Polish under the title *Investigations into Stiffness of Compressed Rods*⁷. It was to be Jasiński's essential contribution to the world of science and one which would bring him international acclaim.

Alongside this and his other responsibilities, Jasiński also continued his engineering practice. Characteristic of him was that while he looked for solutions to specific technical problems, he also had an instinct for striving to reach broader conclusions as to the nature of the investigated phenomena.

Jasiński died prematurely of tuberculosis on 18 September 1899 in St. Petersburg. A collection of his works was first published in Russian by the Institute of Transport Engineers in St. Petersburg in the years 1902–1904 and much later (1961) in Polish by the Polish Academy

⁷ *Badania nad sztywnością prętów ściskanych*, przez Feliksa Jasińskiego. Nakład Redakcji „Przeglądu Technicznego”, Warszawa 1895 (dostępna online w Akademickiej Bibliotece Cyfrowej AGH: <http://winntbg.agh.edu.pl/skrypty2/0278/>).

⁷ *Badania nad sztywnością prętów ściskanych*, przez Feliksa Jasińskiego. Nakład Redakcji „Przeglądu Technicznego”, Warszawa 1895 (available online: <http://winntbg.agh.edu.pl/skrypty2/0278/>).

wany najpierw po rosyjsku przez petersburski Instytut Inżynierów Transportu w latach 1902–1904, a następnie – znacznie później (1961) – po polsku przez Polską Akademię Nauk, która w roku 1959 zainaugurowała przyznawanie nagrody im. Feliksa Jasińskiego za najlepszą pracę naukową w dziedzinie mechaniki budowli.

Maksymilian Tytus Huber

Spośród wszystkich wybitnych postaci z ośrodka lwowskiego jedna wyróżniała się szczególnie: Maksymilian Tytus Huber (1872–1950), światowy pionier w dziedzinie mechaniki teoretycznej. W 1904 r. „Czasopismo Techniczne” opublikowało jego doniosłą pracę *Właściwa praca odkształcenia jako miara wyężenia materiału*, w której sformułował hipotezę, że „z wielkim prawdopodobieństwem możemy założyć, że energia nieprzesuwonego odkształcenia materiału jest miarą wyężenia materiału”. Hipoteza wyężenia materiału sformułowana przez Hubera stanowi dzisiaj podstawowe kryterium, na którym oparte są współczesne dziedziny wytrzymałości materiałów: teoria plastyczności i teoria sprężystości. Jednak to przełomowe odkrycie zdobyło publiczne uznanie dla jego autora dopiero 25 lat po ogłoszeniu. Przez ten czas analogiczne teorie zostały sformułowane niezależnie przez R. von Misesa (1913) i H. Hencky’ego (1925), choć pierwszeństwo Hubera w zasadzie nie jest dyskutowane. W 1904 r. Huber uzyskał stopień doktora na podstawie pracy *Z teorii stykania się sprężystych ciał stałych*, w której wyznaczył absolutną miarę twardości [5].

Później Huber prowadził pionierskie prace z zakresu teorii płyt, teorii współpracy żebro–płyta przy zginaniu i teorii stropów grzybkowych.

Kazimierz Gzowski

Kazimierz Stanisław Gzowski jest jedynym spośród wybitnych polskich inżynierów uhonorowanym przez inny kraj wydaniem specjalnego znaczka pocztowego. Znaczek taki wydano w Kanadzie w 1963 r. dla uczczenia 150. rocznicy jego urodzin. Gzowski urodził się 5 marca 1813 r. w polskiej szlacheckiej rodzinie kresowej. W latach 1822–1830 uczęszczał do Liceum Krzemienieckiego, a następnie wstąpił do Korpusu Inżynierów armii rosyjskiej. W czasie powstania listopadowego Gzowski służył w oddziałach generała Dwernickiego jako saper. Znalazł się wśród kilkuset polskich oficerów internowanych przez władze austriackie pomiędzy kwietniem 1831 a listopadem 1833. Następnie został deportowany do Stanów Zjednoczonych, gdzie dotarł w marcu 1834 r. [3]. Po uzyskaniu obywatelstwa amerykańskiego w 1838 r. pracował początkowo jako prawnik, ale prędko stwierdził, że wykształcenie techniczne, jakie uzyskał w Polsce, pozwoli mu znaleźć znacznie bardziej obiecującą pracę na kolei. Znalazł zatrudnienie w firmie W.M. Roberts, gdzie nadzorował budowę linii kolejowej Erie Railroad, biegnącej z Nowego Jorku do rejonu Wielkich Jezior. W 1842 r. przeniósł się do Kanady. Objął tam stanowisko inżyniera w służbie państwowej. Był odpowiedzialny za budowę i utrzymanie dróg, portów i latarni sygnalizacyjnych nad

of Sciences, which also inaugurated the Feliks Jasiński award in 1959 for the best scientific work relating to the theory of structural engineering.

Maksymilian Tytus Huber

Of all the outstanding figures of the Lvov centre, however, one stood out above all: Maksymilian Tytus Huber (1872–1950), a world pioneer in theoretical mechanics. In 1904, „Czasopismo Techniczne” published his seminal work *Proper Energy of Strain as a Measure of the Material’s Effort* in which he hypothesised that „with great probability we can assume that energy of non-dilatational strain is a measure of the material’s effort”. The material effort hypothesis formulated by Huber today constitutes the basic criterion upon which the modern fields of materials strength are based: the theory of plasticity and the theory of elasticity. Yet this breakthrough would only win public recognition for its author twenty-five years after its formulation. In the meantime, analogous theories were codified independently by R. Von Mises (1913) and H. Hencky (1925) although Huber’s priority has not been generally debated. In 1904 Huber was awarded a doctorate on the basis of his work *Contribution to the Theory of Contact of Elastic Bodies*, in which he calculated the absolute measure of hardness [5].

Later on, Huber conducted pioneering works in the areas of plate theory, the theory of the rib-plate interaction in bending and the theory of mushroom roofs.

Kazimierz Gzowski

Kazimierz Stanisław Gzowski is the only one of outstanding Polish engineers to have been honoured by another country through the issuing of a commemorative stamp, as it was in 1963 in Canada, to mark the 150th anniversary of his birth. He was born on 5 March 1813 as a descendent of Polish east borderland nobility. In the years 1822–1830 he attended the Krzemieniec High School and later joined the Engineering Corps of the Russian army.

During the November uprising, Gzowski served in General Józef Dwernicki’s troops as a sapper officer. He was among several hundred Polish officers interned by the Austrian authorities from April 1831 to November 1833. He was subsequently deported to the United States, arriving in March 1834 [3].

After obtaining US citizenship in 1838, he initially worked as a lawyer but soon found that the technical education he had acquired in Poland will allow him to find a more promising job in the railway. He found employment with the W.M. Roberts firm and oversaw construction of the Erie Railroad running from New York City to the Great Lakes.

In 1842 he moved to Canada to take the position of engineer in the civil service. He was responsible for the construction and maintenance of roads, ports and lighthouses on lakes Erie and Huron. He also erected several, largely stone-based bridges, including those over the rivers Otonabee and Red, along with an iron bridge across the Thames River.

jeziorami Erie i Huron. Wzniósł również wiele mostów, głównie kamiennych, w tym nad rzekami Otonabee i Red oraz stalowy most przez rzekę Thames.

W 1846 r. Gzowski uzyskał obywatelstwo brytyjskie. W roku 1847 odszedł ze służby państwowej i rozpoczął własną działalność jako przedsiębiorca. W 1848 r. poprowadził wyprawę zorganizowaną w celu zbadania możliwości eksploatacji złóż miedzi, rudy żelaza i niklu w dziewiczych terenach White Fish River. Był głównym inżynierem odpowiedzialnym za budowę Saint Lawrence and Atlantic Railroad, pierwszej dużej kanadyjskiej linii kolejowej, łączącej Montreal z granicą z USA.

Od 1853 r. Gzowski (wówczas już właściciel firmy Gzowski & Company) był zaangażowany w inny projekt kolejowy. W ramach tego projektu zastosował stal do budowy dużych obiektów mostowych – metoda ta została wówczas po raz pierwszy zastosowana w Kanadzie. Współprojektował również pierwszy tego typu most kratownicowy nad rzeką Humber – konstrukcję opartą na kamiennych filarach, o całkowitej długości 450 m. Następnym przedsięwzięciem, w które się zaangażował, było wykonanie pięknych mostów nad rzekami Credit i Eramosa, a w 1856 r. – wykonanie stalowego mostu skrzynkowego nad Grand River.

Koronnym osiągnięciem w karierze inżynierskiej Gzowskiego była budowa International Bridge – najdłuższego mostu nad rzeką Niagara (1100 m), mającego w środkowej części dwa przęsła obrotowe, który połączył Fort Erie w Kanadzie z Buffalo w Stanach Zjednoczonych. Gzowskiemu udało się pokonać wiele poważnych trudności i z okazji otwarcia mostu (3 listopada 1873) opublikował szczegółowy opis robót wykonawczych, które przyniosły mu międzynarodowe uznanie.

Gzowski aktywnie uczestniczył w życiu publicznym i społecznym Kanady. Był jednym z ojców założycieli Kanadyjskiego Stowarzyszenia Inżynierów Lądowych (obecnie Kanadyjski Instytut Inżynieryjny) w 1887 i jego prezydentem w latach 1889–1892. W roku 1889 został ustanowiony Medal Gzowskiego, coroczna nagroda za wybitne osiągnięcie naukowe. Przyczynił się walcnie do powstania armii kanadyjskiej. Zdobył nawet uznanie królowej Wiktorii, która mianowała go w 1879 r. swoim honorowym adiutantem, jako pierwszego mieszkańca kolonii. Gzowski zmarł w Toronto 24 sierpnia 1898 r.

Rudolf Modrzejewski (Ralph Modjeski)

Niewielu Polaków pozostawiło po sobie tak wyraźny i trwały ślad w świecie techniki. Stalowe konstrukcje mostowe nad wieloma wielkimi rzekami Ameryki Północnej autorstwa Rudolfa Modrzejewskiego do dziś wzbudzają podziw. Na przełomie XIX i XX w. był on najwybitniejszym projektantem mostów w USA, co w tym czasie oznaczało – najwybitniejszym na świecie. Za ocean został zabrany przez matkę, która również miała się stać znana na całym świecie, ale w innej dziedzinie – jako aktorka.

Urodził się w Bochni 27 stycznia 1861 r. Wczesne dzieciństwo spędził podróżując z grupą aktorów, do której należała jego matka, po Galicji i Mołdawii. W 1870 r. Mo-

In 1846 Gzowski became a British subject. In 1847 he retired from the civil service and launched his own engineering business. In 1848 he led an expedition organised to investigate the exploitation possibilities of copper, iron and nickel ore deposits in the virgin territories of the White Fish River. He was a chief engineer in charge of construction of the Saint Lawrence and Atlantic Railroad, the first major Canadian railway, connecting Montreal with the US border.

Since 1853, Gzowski, (by then owner of the firm Gzowski&Company) was involved in another railway project. During this project, Gzowski would utilise steel in the building of large bridges – the first time such a method had been employed in Canada. He also co-designed the first truss bridge of this type, a structure supported by stone piers and spanning the Humber River with a total length of 450 m. His next venture involved the creation of beautiful bridge designs for crossings over the rivers Credit and Eramosa, and in 1856 he completed a steel box bridge over the Grand River.

The crowning achievement of Gzowski's engineering career was the erection of the International Bridge, the longest bridge across the Niagara River in North America (1,100 m), incorporating two swing spans at its centre, connecting Fort Erie in Canada and Buffalo in the United States. Gzowski managed to overcome many serious obstacles, and in order to mark the opening of the bridge (3 November 1873) published a detailed account of the construction works which would bring him considerable international acclaim.

Gzowski was an active figure in the public and social life in Canada. He was one of the founding fathers of the Canadian Society of Civil Engineers (now the Engineering Institute of Canada) in 1887 and its president in the years 1889–1892. In 1889 was established the Gzowski Medal, an annual award for outstanding scientific achievement.

His contribution was instrumental in the creation of the Canadian army. He even won the favour of Queen Victoria, who made him Her Majesty's honorary adjutant in 1879, as the first colonist. Gzowski died in Toronto on 24 August 1898.

Rudolf Modrzejewski (Ralph Modjeski)

Few Poles have left such a distinct and long lasting mark on the world of engineering. His steel bridge constructions across many of the great rivers of North America continue to inspire admiration up to this day. At the turn of the 19th and 20th centuries, Rudolf Modrzejewski was the greatest bridge designer in the United States of America, which at that time meant the greatest in the world. He was brought to America by his mother, who was also to become world-famous but in a different area – as an actress.

Born in Bochnia on 27 January 1861, he spent his early childhood with a troop of actors touring Galicia and Moldavia. In 1870 Modrzejewski started his education in Cracow, where he learnt at a gymnasium. In 1876 he travelled with his mother to the US and in 1877, in a train

drzejewski rozpoczął swoją edukację w Krakowie, gdzie uczęszczał do gimnazjum. W 1876 r. wyjechał z matką Heleną Modrzejewską do Ameryki, gdzie w 1877 r., w pociągu, zmienił nazwisko na wersję łatwiejszą do wymówienia dla Amerykanów: Ralph Modjeski. W 1878 r. został wysłany do Paryża, gdzie zdał egzaminy wstępne do École des Ponts et Chaussées i 27 października 1882 r. rozpoczął studia. Ukończył je celująco 6 lipca 1885 r. W roku 1883, będąc na wakacjach w USA, otrzymał amerykańskie obywatelstwo.

Od 1885 r. pracował w biurze projektowym G.S. Morisona, uczestnicząc w pracach nad wieloma projektami kolejowymi. Osiedlił się wraz z rodziną w Chicago, gdzie założył swoje własne biuro projektów, oferujące projektowanie i budowę mostów oraz usługi konsultingowe. Firma działa do dziś, pod nazwą Modjeski and Masters. W czasie swojej kariery Modrzejewski wybudował ponad trzydzieści stalowych mostów przez wielkie rzeki Ameryki (w tym sześć mostów przez Missisipi). Wniósł również istotny wkład w unowocześnienie realizacji mostów i był jednym z pionierów w stosowaniu współczesnych mostów wiszących.

Jego projekty to:

- most przez rzekę Missisipi w Davenport, w stanie Illinois,
- pięcioprzęsłowy most kratowy przez Missisipi w Thebes, o rozpiętości 839 m; to osiągnięcie przyniosło mu publiczne uznanie,
- most Mc Kinley w St. Louis przez Missisipi, którego główne przęsła kratowe miały 210 m długości każde,
- Harahan Bridge w Memphis,
- wiele mostów drogowych w Oregonie,
- 107-metrowy most łukowy nad rzeką Crooked River; most został wzniesiony przez ponad stumetrowy wąwóz; jego budowę rozpoczęto równocześnie z dwóch stron, bez użycia rusztowań,
- sześcioprzęsłowy most przez rzekę Ohio w Metropolis, w stanie Illinois,
- most nad rzeką Maumee River w Toledo, jeden z trzech mostów żelbetowych wzniesionych przez Modrzejewskiego,
- studium wykonalności i projekt wstępny prac przy tunelu drogowym pod rzeką Hudson w Nowym Jorku.

W roku 1907 Modrzejewski pracował dla komisji badającej przyczyny zawalenia się mostu wspornikowego Oil nad rzeką Świętego Wawrzyńca w Quebecu (który miał najdłuższe wówczas przęsło na świecie – 549 m) i w konsekwencji uczestniczył w przeprojektowaniu i odbudowie mostu, która zakończyła się w 1917 r.

Na szczyty sławy wyniósł Modrzejewskiego most Benjamina Franklina przez rzekę Delaware w Filadelfii – najdłuższy w tym czasie most wiszący o współczesnej konstrukcji. Wkrótce zbudował podobne: most Ambassador przez rzekę Detroit w Detroit (1929), do którego przez trzy lata należał rekord długości przęsła (564 m), most przez rzekę Hudson w Poughkeepsie, wyróżniający się wyjątkowo pięknym projektem oraz most przez rzekę Ohio w Evensville o rozpiętości 606 m.

Koronnym osiągnięciem Modrzejewskiego był wspornikowy most przez Missisipi w Nowym Orleanie, które-

with his mother, changed his surname for a version easier to pronounce for Americans: Ralph Modjeski.

In 1878 he was sent to Paris. He passed the entrance exam to the École des Ponts et Chaussées in Paris and commenced his studies on 27 October 1882. He graduated with flying colours on 6 July 1885. In 1883, whilst on vacation in the States, he was granted American citizenship.

From 1885 he worked in the design office of G.S. Morison, where he participated in several railway projects. Having settled down with his family in Chicago, he set up his own design office where he designed and constructed bridges and offered consultancy services. The company operates until today under the title of Modjeski and Masters. Over the course of his career, Modrzejewski constructed over thirty steel bridges across many of the great American rivers (including six bridges across the Mississippi). He also made a significant contribution to the modernisation of bridge construction and became one of the leading pioneers in the use of modern suspension bridges.

His designs include:

- a bridge across the Mississippi River in Davenport, Illinois,
- a five-span steel-through-truss bridge across the Mississippi in Thebes, which was 839 m long; this achievement won him public recognition,
- the Mc Kinley Bridge in St. Louis across the Mississippi River, its main truss spans were 210 m long each
- the Harahan Bridge in Memphis,
- a number of railway bridges in Oregon,
- a 107-metre long arch bridge over the Crooked River; the bridge was built across an over 100 m canyon and was assembled from the two ends simultaneously without the use of scaffolding,
- a six-span truss bridge across the Ohio River at Metropolis, Illinois,
- a bridge across the Maumee River in Toledo, one of the three reinforced concrete bridges erected by Modrzejewski,
- a feasibility study and preliminary design works of the vehicular tunnel under the Hudson River in New York City.

In 1907 Modrzejewski worked for the commission investigating the causes of the collapse of the cantilever bridge Oil over the Saint Lawrence River in Quebec, which had the longest span of any bridge in the world at the time of construction (549 m), and, subsequently, participated in its redesigning and oversaw its reconstruction completed in 1917.

It was the Benjamin Franklin Bridge across the Delaware River in Philadelphia that catapulted Modrzejewski to the height of his fame. The longest suspension bridge of its time (533 m), erected on steel spring pylons 110 m high, it was the first completed suspension bridge characteristic of modern times.

Soon he built similar bridges: the Ambassador Bridge across the Detroit River in Detroit (1929), which for 3 years held the world record for the longest span (564 m), the bridge across the Hudson River in Poughkeepsie, distinguished by its remarkably elegant design, and the bridge across the Ohio River in Evensville, spanning 606 m.

go budowa – jak uważano – przesunęła granice opłacalności w budowie mostów, oraz udział w projektowaniu i prace konsultingowe przy Trans-Bay Bridge przez Zatokę San Francisco, którego całkowita długość wynosi ponad 13 km.

Modrzejewski był jednym z kilku inżynierów, którzy wnieśli znaczący wkład w ewolucję współczesnego mostownictwa, nie tylko poprzez innowacyjne projekty, ale również przez pionierskie zastosowania stali konstrukcyjnej, żelbetu i odważnych metod budowy filarów. Cieszył się wielkim szacunkiem i otrzymał wiele nagród oraz wyróżnień krajowych i międzynarodowych. Zmarł 26 czerwca 1940 r. w Los Angeles w Kalifornii.

Stefan Bryła

Stefan Bryła był w pewnym sensie postacią symboliczną dla czasów, w których żył i pracował. Nie bojąc się eksperymentować z innowacyjnymi rozwiązaniami technicznymi, był inżynierem pełnym żarliwości i determinacji w walce o modernizację Polski.

Stefan Władysław Bryła urodził się w Krakowie 17 sierpnia 1886 r., w rodzinie nauczyciela szkoły średniej. W 1903 r. ukończył z wyróżnieniem Szkołę Realną w Stanisławowie, podobnie jak Wydział Inżynierii Lwowskiej Szkoły Politechnicznej w 1908 r.

Wysłany jesienią 1910 r. przez krakowską Polską Akademię Umiejętności na studia uzupełniające rozszerzał swoją wiedzę na politechnice w Berlinie-Charlottenburgu, paryskiej École des Ponts et Chaussées i Uniwersytecie Londyńskim. W tym czasie aktywnie prowadził praktykę inżynierską w dziedzinie konstrukcji stalowych. W 1912 r. Bryła przebywał w Kanadzie i USA, uczestnicząc w dużych projektach konstrukcyjnych, w tym w budowie Woolworth Building w Nowym Jorku, wówczas najwyższego budynku na świecie (250 m).

W 1921 r. Stefan Bryła został profesorem nadzwyczajnym swojej Alma Mater – przemianowanej w tym samym roku na Politechnikę Lwowską – i odpowiadał za II Katedrę Konstrukcji Mostów. Znacznie rozszerzył program nauczania, włączając do niego kursy z konstrukcji kratowych przestrzennych, technologii żelbetu, a później także spawania konstrukcji stalowych. On też wprowadził koncepcję trójwymiarowej powierzchni wpływu w konstrukcjach mostowych.

18 października 1934 r. Bryła objął katedrę Inżynierii Łądowej na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej. Założył tam ośrodek badań inżynierskich, wprowadzając wiele metod, w tym zastosowania promieni rentgenowskich, w celu przeprowadzenia badań laboratoryjnych w tak różnych dziedzinach, jak mechanika gruntów, akustyka budowlana i odporność ogniowa materiałów budowlanych. W 1938 r. został wybrany dziekanem wydziału.

Równocześnie z wypełnianiem swoich obowiązków akademickich, Bryła był zaangażowany w wiele projektów inżynierskich. Jednym z nich było pionierskie osiągnięcie w skali europejskiej, w postaci pierwszego w Europie stalowego mostu spawanego, przeznaczonego dla ruchu drogowego nad rzeką Słudwia w Mazurzykach

Modrzejewski's crowning achievements were the cantilever bridge across the Mississippi River in New Orleans, the construction of which was generally believed to have pushed back the frontiers of feasibility in bridge making, and also his participation in the design and consultation works of the Trans-Bay Bridge across the San Francisco Bay, whose length totalled over 13 km.

Modrzejewski was one of the few engineers who made significant contributions to the evolution of modern bridge making, not only through innovative design but also through his pioneering promotion of the use of structural steels, reinforced concrete and bold methods of founding piers.

Modrzejewski commanded great respect and received numerous domestic and international awards and distinctions. He died on 26 June 1940 in Los Angeles, California.

Stefan Bryła

Stefan Bryła was in a sense a symbolic figure of the times in which he lived and worked. Unafraid to experiment with innovative technical solutions, he was an engineer full of ardour and determination in the struggle to modernise Poland.

Stefan Władysław Bryła was born in Cracow on 17 August 1886 to a secondary-school teacher of Polish. In 1903 he completed a Real School at Stanisławów with distinction, as he did when graduating from the engineering department of Lvov Polytechnical School in 1908.

Sent by the Cracow Academy of Arts and Sciences in the autumn of 1910 for complementary studies, he further expanded his knowledge base at the Berlin-Charlottenburg Polytechnic, the Paris École des Ponts et Chaussées and the University of London. At the same time he remained active with engineering practice in the area of steel structures. In 1912 Bryła spent time in Canada and the United States, participating in large construction projects including the erection of the Woolworth Building in New York, the world's tallest building at that time at a height of 250 m.

In 1921 Stefan Bryła was appointed associate professor (professor extraordinarius) at his Alma Mater – renamed Lvov Polytechnic in July of the same year – and given responsibility for the 2nd Chair of Bridge Construction. He significantly expanded the school curriculum for it to encompass courses in space frame truss constructions, reinforced concrete technologies, and eventually the welding of steel structures. He also introduced the concept of three-dimensional influence surface to bridge construction.

On 18 October 1934 Bryła was appointed to the Chair of Civil Engineering in the architecture department of Warsaw Polytechnic. He established an engineering research centre there, employing a host of methods including x-rays in order to carry out laboratory investigations into areas as diverse as soil mechanics, construction acoustics and fire resistance of building materials. In 1938 he was elected dean of the department.

As well as fulfilling his academic duties, Bryła was also involved as a designer in a number of engineering projects. One of these was a pioneering achievement at

koło Łowicza. Konstrukcja miała rozpiętość 27 m i została oddana do użytku 12 sierpnia 1929 r.

W 1928 r. Bryła został powołany do przygotowania, na zlecenie Ministerstwa Robót Publicznych, wytycznych regulujących stosowanie spawania w budownictwie. Wytyczne te służyły jako opracowanie wzorcowe w wielu innych krajach.

Bryła zaprojektował wiele prestiżowych budynków w Warszawie, w tym budynek firmy ubezpieczeniowej Prudential, budynek PZU i wiele przeznaczonych dla wojska, w tym budynek dowództwa Sił Lotniczych. Poza Warszawą jego prace to m.in. budynek Biblioteki Jagiellońskiej w Krakowie (z zastosowaniem słupów o przekroju skrzynkowym) i budynek Hali Targowej w Katowicach (ze spawanymi dźwigarami stalowymi o rozpiętości 39,5 m).

Bryła opublikował imponującą liczbę prac, których podstawowym celem było udostępnienie najnowszych osiągnięć naukowych do praktycznych zastosowań inżynierskich. Był siłą napędową, redaktorem naczelnym i autorem siedmiu rozdziałów w czterotomowym poradniku inżyniera (Lwów 1927–1932)⁸ – pierwszej polskiej encyklopedii inżynierii lądowej – oraz wielu innych podręczników i artykułów, w tym w czasopismach zagranicznych. Ogółem ogłosił ponad 250 prac naukowych.

Stefan Bryła okazał się również człowiekiem, który poświęcił wszystko dla Polski. W listopadzie 1918 r. uczestniczył w obronie Lwowa (otrzymał Krzyż Walecznych). Podczas okupacji niemieckiej był aktywnie zaangażowany w tajną edukację politechniczną, a od 1942 r. uczył również w oficjalnej Państwowej Wyższej Szkole Technicznej. Pełnił wiele ważnych funkcji w strukturach Polskiego Państwa Podziemnego. Po drugim aresztowaniu wraz z całą rodziną 16 listopada 1943 r. został rozstrzelany przez Niemców 3 grudnia 1943 r.

Podsumowanie

Opisany tutaj okres jest dość szczegółowy, ponieważ działalność inżynierska większości przedstawionych osób była ściśle związana z ich patriotyczną postawą i zaangażowaniem w sprawy ojczyzny. Spowodowało to unikatowy rodzaj inżynierskiego etosu, który stał się podstawą do edukacji i szkolenia przyszłych pokoleń polskich inżynierów po II wojnie światowej.

an international level in the form of Europe's first welded steel bridge, built to carry road-traffic over the Słudwia River at Mazurzyce near Łowicz. The structure spanned 27 m and opened for use on 12 August 1929.

In 1928 Bryła was enlisted to draw up a set of regulations for the Public Works Ministry which would govern the use of welding in civil engineering. The guidelines he formulated were to serve as a model for several other countries.

Bryła designed a number of other prominent structures in Warsaw including the building of the insurance company Prudential, a building housing the Public Mutual Assurance Company (PZU) and several military-use buildings in Warsaw including the current headquarters of the Polish Air Force Command. Elsewhere in Poland, his works included the welded frame structure of the Jagiellonian Library in Cracow (utilising hollowed steel pillars) and the Hall of Commerce in Katowice (with welded girders spanning 39.5 m).

Bryła published an impressive range of material with the primary aim of making the latest scientific developments available for practical engineering application. He was the driving force, editor-in-chief and author of seven chapters of the four-volume Engineering Manual (Lvov, 1927–1932)⁸ – the first Polish encyclopedia of civil engineering – as well as many other instruction books and articles including those appearing in foreign professional journals. In all, Bryła published over 250 scientific works.

Stefan Bryła also proved to be a man capable of sacrificing all for Poland. In November 1918 he participated in the defence of Lvov (earning the Cross of Valour). During the German occupation, Bryła was actively involved in clandestine polytechnic education and from 1942, was also teaching at the official State Higher Technical School. He carried out a number of important functions in the structures of the Polish Underground State. Following his second arrest by the Germans, along with his whole family, on 16 November 1943, he was shot on 3 December.

Conclusions

The period described here is rather special, because the engineering activities of the vast majority of the men described here were closely linked with their patriotic attitude and involvement in the affairs of their homeland. This resulted in a unique kind of engineering ethos, which became the basis for the education and training of the future generations of Polish engineers after World War II.

Primary assistance in selecting and translating text:

Jan B. Obrębski

Supplementary translation:

Romuald Tarczewski, Tadeusz Szalamacha

⁸ *Podręcznik inżynierski w zakresie inżynierii lądowej i wodnej*, Księgarnia Polska B. Połonieckiego, Lwów–Warszawa 1927–1932:

T. 1: *Roboty ziemne: drogi i ulice, Koleje żelazne, Miernictwo, Budownictwo wodne*,

T. 2: *Mosty, Statyka budowli*,

T. 3: *Inżynieria miejska, Budownictwo*,

T. 4: *Instalacje, Maszyny i elektrotechnika, Ustawodawstwo, Dział uzupełniający*.

⁸ *Podręcznik inżynierski w zakresie inżynierii lądowej i wodnej*, Księgarnia Polska B. Połonieckiego, Lwów–Warszawa 1927–1932:

T. 1: *Roboty ziemne: drogi i ulice, Koleje żelazne, Miernictwo, Budownictwo wodne*,

T. 2: *Mosty, Statyka budowli*,

T. 3: *Inżynieria miejska, Budownictwo*,

T. 4: *Instalacje, Maszyny i elektrotechnika, Ustawodawstwo, Dział uzupełniający*.

Bibliografia/References

- [1] Orłowski B., *Polish Adventures in Technology. Successes Great and Small*, The Institute of Aviation, Warsaw 2013.
- [2] Orłowski B., *Historia techniki polskiej*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2008.
- [3] Giergielewicz J., *Wybitni polscy inżynierowie wojskowi*, Główna Księgarnia Wojskowa, Warszawa 1939, 7–21.
- [4] Bartkowiak D., *Ernest Malinowski, konstruktor kolei transandyjskiej*, Zakład Badań Narodowościowych PAN, Poznań 1996.
- [5] Olesiak Z.S., Engel Z.W., *Maksymilian Tytus Huber*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2010.

Streszczenie

Niniejsza praca zwraca uwagę na bardzo ważną, ale zarazem prawie zupełnie zapomnianą rolę, jaką odegrali polscy inżynierowie różnych specjalności, zarówno w swojej ojczyźnie, jak i poza jej granicami, rolę pozostającą w cieniu najważniejszego zadania Polaków w epoce zaborów: odzyskania niepodległości za wszelką cenę. Szczególnie warto wspomnieć działalność Polaków za granicą w dziedzinie inżynierii. Może się to wydawać dziwne w przypadku narodu bez silnych tradycji w dziedzinie techniki. Do pewnego stopnia wytłumaczyć to można motywowanym patriotycznie pragnieniem przygotowania się do przyszłej walki zbrojnej o wolność i niepodległość, w której – jak oczekiwano – dziedzina inżynierii odgrywałaby coraz ważniejszą rolę.

Słowa kluczowe: polskie tradycje inżynieryjne, Kolej Transsandyjska, Kolej Transsiberyjska, polscy konstruktorzy mostów

Abstract

The paper highlights a very important but almost completely forgotten role played by Polish engineers of different specialties in their homeland and abroad, remaining in the shadow of most conscious Poles' agenda during the era of partitions: that of restoring their country's independence at any price. Particularly noteworthy is the engineering activity of Poles abroad. This may seem surprising in the case of a nation without strong technological traditions. To some extent, it stemmed from a patriotically-motivated desire to get prepared for the future armed struggle for freedom and independence, in which – it was expected – the engineering profession would play an increasingly important part.

Key words: Polish engineering traditions, Trans-Andean railway, Trans-Siberian railway, Polish bridge constructors



Zadaszenie „Vela” przy wieżowcu Torre
Unipol w Bolonii – węzeł konstrukcji
(arch. Open Project Office,
konstr. M. Majowiecki) (fot. M. Majowiecki)

“Vela” roof by the Torre Unipol skyscraper
in Bologna – the construction node
(arch. Open Project Office,
structural engineer M. Majowiecki)
(photo by M. Majowiecki)



Tadeusz Barucki*

Maciej Nowicki (1910–1950) – życie i twórczość

The life and work of Maciej Nowicki (1910–1950)

Wprowadzenie

Wiodące światowe czasopismo architektoniczne „L’architecture d’aujourd’hui” (3/1954) określiło M. Nowickiego mianem pioniera architektury 2. poł. XX w. [1].

Maciej Nowicki urodził się w polskiej rodzinie 26 czerwca 1910 r. w mieście Czyta w Kraju Zabajkalskim na Syberii. Jego rodzice, którzy – jak wielu Polaków w tamtych czasach – wyjechali ze swojej ojczyzny, postanowili wrócić do Polski – wciąż nieobecnej na mapie Europy po rozbiórce dokonanej przez Rosję, Prusy i Austrię pod koniec XVIII w. – ze względu na swego jedynego syna. Jego ojciec kupił mały dworek Słomniczki w miejscowości Słomniki koło Krakowa, gdzie Maciej spędził wczesne dzieciństwo. Miejsce to miało na długo pozostać w pamięci architekta. Milczącym świadkiem tych czasów jest przywieziona z Syberii wierzba, którą posadzono, gdy rodzina Nowickich zamieszkała w dworku, jak również rysunki małego Macieja przedstawiające park, mały dworek oraz widok na pobliskie Słomniki z charakterystyczną sylwetką kościoła i dzwonnicy. Gdy w 1918 r. Polska odzyskała niepodległość, ojciec Macieja Zygmunt Nowicki, który był prawnikiem i wybitnym działaczem na rzecz ruchu ludowego, a w późniejszym czasie również senatorem odrodzonej Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymał stanowisko konsula generalnego w Chicago. Młody Maciej, który kontynuował swoją naukę w amerykańskiej szkole, spotkał się tam z zupełnie nowym światem.

Introduction

The world’s leading architectural magazine „L’architecture d’aujourd’hui” (3/1954) called M. Nowicki the pioneer of the second half of 20th century architecture [1].

Maciej Nowicki was born into a Polish family on June 26, 1910 in the town of Chita in Zabaykalsky Krai, Siberia. His parents, left from their homeland like many Poles in that period, decided to return to Poland – still absent from the map of Europe after having been partitioned at the end of the 18th century by Russia, Prussia and Austria – for the sake of their only son. His father bought a small manor house called Słomniczki in the village of Słomniki right next door to Kraków, where Maciej spent his early childhood. The place was to live long in the architect’s memories. A silent witness of that time is a willow brought from Siberia planted in the park after the Nowicki family settled there, and also little Maciej’s drawings featuring that park, the manor house, and the view of nearby Słomniki with the characteristic silhouette of its church and bell tower. After Poland regained independence in 1918, Maciej’s father, Zygmunt Nowicki, a lawyer and prominent peasant movement activist – later also senator of the reborn Republic of Poland – was given the post of consul general in Chicago. There, while continuing his education in an American school, young Maciej was exposed to a new world. He pursued his interests in drawing and art at the Chicago Museum of Fine Arts, where he earned honourable mention for his work. As the future would show, his love of art was not a passing fad. After returning to Poland, he continued his art education at the Wojciech Gerson

*Architekt, Warszawa/Architect, Warsaw.

Zainteresowania rysunkiem i sztuką realizował w Muzeum Sztuk Pięknych w Chicago, gdzie uzyskał wyróżnienie za swoją pracę. Jak przyszłość pokaże, jego miłość do sztuki nie była tylko chwilową fanaberią. Po powrocie do Polski kontynuował naukę w Szkole Sztuk Pięknych Wojciecha Gersona w Warszawie, a następnie w Szkole Malarstwa i Rysunku Józefa L. Mehoffera w Krakowie. Opuściwszy Gimnazjum Stefana Batorego w Warszawie zaledwie na dwa lata przed ukończeniem, dyplom maturalny uzyskał w Krakowie w 1928 r. w Gimnazjum Augusta Witkowskiego [2].

Wczesne lata

Warto zwrócić uwagę na prace artystyczne Nowickiego z tego okresu. Te młodzieńcze rysunki tematycznie związane z jego wiekiem charakteryzują się ogromną siłą ekspresji i doskonale przedstawiają ruch. Możemy zaobserwować, jak bardzo niezwykle postacie ludzi lub zwierząt zostały przedstawione na rysunkach w celu uzyskania wyjątkowych trójwymiarowych efektów. Szersze zainteresowania Macieja aspektami społeczno-gospodarczymi zostały odzwierciedlone w jego satyrycznej pracy zapisanej w szkolnym zeszycie pt. „Wierszowany komiks w jednym akcie: Pod zaborem rosyjskim życie było lepsze lub sen o Żoliborzu”, zainspirowanej galopującą inflacją w Polsce w tym czasie oraz wynikającym z tego faktu niezadowolaniem społecznym [3]. W roku 1928 Maciej Nowicki zapisał się na Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej, który ukończył w roku 1936. Zarówno wykładowcy, jak i ogół studentów tworzyli wyjątkową społeczność. Wykładowcy Wydziału stanowili bowiem ciekawą mieszankę osobowości ludzi, którzy przybyli do stolicy dopiero co odrodzonej Polski z Francji, Rosji, Niemiec i Austrii i reprezentowali różne kierunki oraz zróżnicowane poglądy na architekturę, podobnie jak młodzi towarzysze Nowickiego z otoczenia studenckiego również przybyli z różnych miejsc, wnosząc swoje własne znamienne doświadczenie. Podczas studiów znaczący wpływ na kształtowanie się poglądów Macieja Nowickiego wywarł profesor Rudolf Świerczyński. W późniejszym czasie Nowicki został jego asystentem, współpracując z nim, między innymi, nad projektem Banku Gospodarstwa Krajowego w Warszawie. Profesor Świerczyński wyróżniał się wśród architektów swojego pokolenia wyjątkowo praktycznym podejściem do projektu architektonicznego. Logiczne kompozycje i czytelne rozwiązania przestrzenne szły w jego przypadku w parze z pewnego rodzaju śmiałością pomysłów i sięgały daleko w przyszłość. Szeroko znane jego ciemne pomieszczenie miało mu umożliwić osiągnięcie maksimum koncentracji na bieżącym zadaniu i wypracowanie najdrobniejszych szczegółów danego projektu tak, aby jedyną rzeczą do zrobienia pozostało przelanie wszystkiego na papier. W dalszych pracach Macieja Nowickiego dostrzec można obecność zasady stosowanej przez profesora „projektowanie przez odejmowanie”, tzn. pozbywanie się tego, co nie jest istotne. Niemniej jednak, Nowicki nie tylko świadomie przyjmował to, co jest wartościowe artystycznie, ale także coraz bardziej udowadniał, że jest wybitnym

School of Fine Arts in Warsaw and later at Józef L. Mehoffer's School of Painting and Drawing in Kraków. Leaving the Stefan Batory Grammar School in Warsaw just two years before graduation, he obtained his matriculation diploma in Kraków in 1928, at the August Witkowski Grammar School [2].

Early years

It is worth noting Nowicki's artistic work from that period. Those adolescent drawings on themes compatible with his age are characterized by a great power of expression and excellent rendering of movement. One can see how quite extraordinary postures of humans or animals are used in his drawings to obtain unique three-dimensional effects. Young Maciej's broader interests, in socio-economic issues, are reflected in his satirical piece written in a school exercise book, "A one-act comic picture in verse: Under the Russians life was better, or a dream of Żolibórz", inspired by the galloping inflation in Poland at that time and the resulting social dissatisfaction [3]. In 1928, Maciej Nowicki enrolled at the Faculty of Architecture, Warsaw Technical University, from which he graduated in 1936. Both the teaching staff and the student body of that time formed a unique community. The faculty was a curious mix of individualities who had arrived in the capital of the newly reborn Polish state from France, Russia, Germany and Austria, representing different trends and diverse views on architecture, while the young people, as Nowicki's fellow students, had returned also from various sites bringing their own significant experience. During his studies, a significant impact on the shaping of Maciej Nowicki's views was exerted by Professor Rudolf Świerczyński. Nowicki later became the professor's assistant, collaborating with him on, among other projects, the design of the Bank of National Economy (BGK) in Warsaw. Professor Świerczyński stood out among the architects of his generation with his very practical approach to architectural design. Logical composition and transparent spatial arrangements went, in his case, hand in hand with a certain boldness of ideas and reaching far into the future. Very well known professor's dark room enabled him to reach incredible concentration on the task at hand and work out the smallest details of the design, so that all that remained to do was to put it down on paper. The principle of "design by subtraction" applied by the professor, i.e. of getting rid of the non-essential, is discernible in Maciej Nowicki's further work. Nowicki, however, did not only consciously absorb what was valuable artistically, but also increasingly proved himself to be an outstanding graphic artist. It was in this field during his studies at the Faculty of Architecture at Warsaw Technical University that – working mostly with Stanisława Sandecka, a friend from college and later his wife (married in 1938) – he won wide acclaim. Their posters were recognised as part of the work of the contemporary artistic avant-garde and his wonderful mastery of the synthetic language of drawing broadened the range of his architectural draughtsmanship.

artystą grafikiem. To właśnie w tej dziedzinie podczas swoich studiów na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej zdobył szerokie uznanie, pracując głównie ze Stanisławą Sandecką, swoją szkolną przyjaciółką, a następnie żoną (którą poślubił w 1938 r.). Ich plakaty były rozpoznawane jako część działalności ówczesnej awangardy artystycznej, natomiast jego niezwykle mistrzostwo syntetycznej kreski poszerzyło zakres jego rysunku architektonicznego.

Początki kariery

Maciej Nowicki rozpoczął karierę architekta, będąc studentem, kiedy zaprojektował i wybudował dom swoich rodziców w Warszawie. Było to zadanie zamierzone przez jego ojca jako rodzaj zachęty dla syna – do tej pory odnoszącego sukcesy w sferze sztuki graficznej – w celu zaangażowania go w techniczny aspekt pracy architekta. Były to wczesne lata trzydzieste, okres fascynacji architektonicznymi koncepcjami młodego Le Corbusiera i rzeczywiście dom jego rodziców stanowi architektoniczne wdrożenie tych idei przez młodego studenta architektury. Doskonale płaska prostokątna fasada pozbawiona okien wychodzi na ulicę (niestety obecnie oszpecona istniejącą przybudówką na parterze). Interesującym faktem jest, że Nowicki nie poddał się w pełni wpływowi Le Corbusiera, pomimo – lub być może w wyniku – krótkiego stażu, który odbył w biurze wielkiego Corbu, ale skłaniał się bardziej w stronę stylu architektonicznego A. Perreta. Pracą dyplomową Nowickiego kończącą jego okres formacji jako architekta był projekt siedziby Stowarzyszenia Architektów Rzeczypospolitej Polskiej (SARP) wykonany pod kierunkiem prof. Rudolfa Świerczyńskiego, oddany w 1936 r.

Osiągnięcia architektoniczne, zazwyczaj mierzone liczbą zrealizowanych projektów, w przypadku Nowickiego nie są raczej widoczne w Polsce. Wynika to z faktu, że jego kariera zaczęła się na krótko przed wybuchem II wojny światowej, pozbawiając go możliwości wykonywania zawodu, natomiast po zakończeniu wojny udział Nowickiego w odbudowie Warszawy sprowadzał się do wizjonerskich planów i projektów, które nigdy nie doczekały się realizacji. Rozwój myśli architektonicznej Nowickiego jest dostrzegalny w jego pracach konkursowych, np. projekcie meczetu w Warszawie (1936, III miejsce) opracowanym wspólnie ze Stanisławą Sandecką, budynku, który miał służyć jako główna siedziba władz wojewódzkich Łodzi (1938, II miejsce) przygotowanym wspólnie z Romanem Sołtyńskim, budynku uzdrowskiego w Druskiennikach (obecnie na Litwie, 1938, I miejsce) zaprojektowanym ze Stanisławą Sandecką oraz polskim pawilonie na wystawę World Expo w Nowym Jorku (1938) przygotowanym we współpracy z Janem Bogusławskim. Wśród jego zrealizowanych przedwojennych budynków w Polsce można wymienić schronisko turystyczne w Augustowie (1938 wraz z S. Nowicką i W. Stokowskim) oraz Centrum Wychowania Fizycznego w Warszawie ukończone po wojnie (1939, wspólnie ze Zbigniewem Karpińskim). Będąc architektem, Nowicki nie wyrzekł się sztuki graficznej, czego przykładem może być doskonały układ gra-

Beginning of the career

Nowicki began his career as an architect while still a student, with the design and building of his parents' home in Warsaw. This assignment was intended by his father as a kind of encouragement for his son – so far successful in the sphere of graphic art – to get involved in the technical side of an architect's work. The time is the early nineteen-thirties, a period of fascination with the architectural ideas of young Le Corbusier, and indeed his parents' house is an architecture student's implementation of those ideas. A perfectly flat rectangular windowless facade faces the street (now sadly spoiled by the addition on the ground floor). What is interesting is that Nowicki did not yield fully to Le Corbusier's influence, despite – or perhaps as a result of – his brief internship at the Great Corbu's bureau, but tended more towards the architectural style of A. Perret. Nowicki's diploma project, a design of the seat for the Polish Architects' Association (SARP), under the supervision of Prof. Rudolf Świerczyński and submitted in 1936, closes his formative period as an architect.

An architect's achievement, usually measured in terms of implemented designs, is not in Nowicki's case much in evidence in Poland. This is due to the fact that soon after he embarked on his career World War II broke out, depriving him of the possibility to practise his profession, while after the war Nowicki's share in the reconstruction of Warsaw boiled down to visionary plans and designs which were never implemented. The development of Nowicki's architectural way of thinking is visible in his competition entries, such as the one for a mosque in Warsaw (1936, 3rd Prize) designed jointly with Stanisława Sandecką, a building that was to serve as headquarters for the Łódź provincial authorities (1938, 2nd Prize), developed jointly with Roman Sołtyński, the spa building in Druskininkai (now in Lithuania, 1938, 1st Prize) designed jointly with Stanisława Sandecką or the Polish pavilion for the World Expo in New York (1938), co-designed with Jan Bogusławski. His pre-war buildings in Poland include the Tourist Hostel in Augustów (1938, with S. Nowicka and W. Stokowski) and the Centre of Physical Education in Warsaw which was completed after the war (1939, co-designed with Zbigniew Karpiński). After becoming an architect Nowicki did not renounce graphic art, as evidenced, for example, by the excellent graphic layout and illustrations which he designed with Stanisława Sandecką to accompany the Elegance Pavilion at the International Art and Technology Exhibition in Paris in 1937 that appeared in the Warsaw periodical "Arkady" (11–12/1937). Close to Nowicki's artistic soul was the work on designing trade-fair exhibition stalls and shop interiors, of which the "Telimena" shop in Warsaw, the first "fashion boutique" in Poland, a posh retail establishment with a unique atmosphere of art, would be the most characteristic [4].

After the outbreak of the war in 1939 (in which Nowicki participated as an officer with anti-aircraft artillery), and in the difficult years of occupation, this type of work was to be almost the only opportunity for him to deve-

ficzny wraz z ilustracjami, który zaprojektował wspólnie ze Stanisławą Sandecką do artykułu na temat Pawilonu Elegancji na Międzynarodowej Wystawie Sztuki i Technologii w Paryżu w 1936 r., a który opublikowano w warszawskim czasopiśmie „Arkady” (11–12/1937). Bliskie artystycznej duszy Nowickiego były prace przy projektowaniu stoisk wystawienniczych na targach oraz wnętrz sklepów, z których najbardziej charakterystycznym był sklep „Telimena” w Warszawie, pierwszy „modny butik” w Polsce, ekskluzywny sklep posiadający unikatową artystyczną atmosferę [4].

Po wybuchu wojny w 1939 r. (w której Nowicki brał udział jako oficer artylerii przeciwlotniczej) i w trudnych czasach okupacji ten rodzaj działalności był dla niego nieomal jedyną szansą rozwoju i weryfikacji swoich architektonicznych wizji. W okresie tym zaprojektował, między innymi, ogródek kawiarni „Latona” przy ulicy Nowy Świat dla słynnej warszawskiej firmy cukierniczej Blikle, kawiarnię „Pluton” oraz inne miejsca tego rodzaju z charakterystycznym dla zespołu małżeńskiego Nowickich dekokrem. W okupowanej przez nazistów Warszawie, gdzie zniesiono wszelkie wolności obywatelskie, wyłonił się nielegalny podziemny ruch przeciwstawiający się niszczeniu polskiej kultury. Był on również widoczny w dziedzinie architektury, na przykład w ogłaszanych konkursach architektonicznych. Nowicki brał w nich udział, współpracując w tym czasie (1941–1944) ze Stefanem Putowskim, np. przy projekcie kościoła w Prandocinie, gdzie wykorzystano nowoczesną konstrukcję typu grzybkowego. Ten sam rodzaj nowoczesnej konstrukcji zaproponował dla kaplicy zaprojektowanej dla Ośrodka dla Dzieci Niewidomych w Laskach – niewybudowanej – gdzie przebywał podczas Powstania Warszawskiego w 1944 r. jako oficer łącznikowy Armii Krajowej. Nowicki był także nauczycielem w oficjalnie funkcjonującej budowlanej szkole zawodowej, która pomimo zakazu niemieckich władz okupacyjnych, w praktyce rozszerzała swoją dozwoloną podstawową działalność, zapewniając młodym ludziom większy zakres wiedzy, włącznie z architekturą. Uczył także na tajnych kompletach na podziemnym Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej oraz w Prywatnej Żeńskiej Szkole Rysunku Technicznego w Budownictwie (jest to nazwa renomowanej przedwojennej Żeńskiej Szkoły Architektury, która została zmieniona podczas okupacji).

W powojennej Warszawie

Po wojnie cały pomysł na nowe centrum Warszawy nabierał kształtów w 1945 r. w studio Nowickiego w Wilanowie, czasami określanym mianem „pracowni dyskusyjnej”. Pomysł ten odważnie sięgał w przyszłość. Zaproponowano w nim studium planu urbanistycznego centrum miasta i jego celem było stworzenie elastycznego programu zabudowy modułowej z biurami i sklepami w zrujnowanym centrum stolicy. Obszar ten, obejmujący 231 ha, centralnie ulokowany ponad doliną Wisły na wzniesieniu, oferował możliwość nadania miastu nowej panoramy. Nowicki sprawdził wiele możliwych kombinacji elementów wertykalnych, próbując uniknąć zastoso-

lop and verify his architectural visions. In that period, he designed, among others, the “Latona” café garden at the back of Nowy Świat Street for Warsaw’s well-known confectionery firm Blikle, the “Pluton” café and other places of that kind, all with a decor characteristic of the Nowicki husband-and-wife team. In Nazi-occupied Warsaw, where all civic freedoms were suppressed, an illegal underground movement emerged to oppose the destruction of Polish culture. It was also in evidence in the field of architecture, where for example architectural competitions were announced. Nowicki took part in them, collaborating at that time (1941–1944) with Stefan Putowski, e.g. on the design of a church in Prandocin, where progressive umbrella type structure was used. The same type of progressive structure he proposed for his chapel designed for the Centre of Blind Children in Laski – never built – where he spent time during the Warsaw Uprising in 1944 as liaison officer of the Polish Home Army. Nowicki taught also at the officially functioning vocational School of Building Trades which, despite the Nazi authorities’ strict ban, in practice sought to go beyond the permitted rudimentary skills and provide young people with a wider scope of knowledge, including architecture. He also taught clandestine classes at the underground Faculty of Architecture at Warsaw Technical University, closed down by the Germans, and also at the Private Female School of Technical Drawing for the Construction Industry (as the renowned pre-war Women’s School of Architecture was renamed during the occupation).

In the post-war Warsaw

The whole idea for his Warsaw’s city centre took shape after the war in 1945 in Nowicki’s Wilanów studio, sometimes described as a “discussion studio”, and it reached boldly into the future. This work was a study of the city centre’s urban plan and its objective was to create a flexible programme of modular developments with office and shopping areas in the ruined centre of Warsaw. This area of 231 hectares, centrally located and elevated above the Vistula River valley by the height of the Warsaw slope, offered a chance to give the city a new skyline. Nowicki examined many possible groupings of vertical elements, trying to avoid a rigid pattern. For example, he grouped a set of standard high-rise office buildings so that when seen from a distance they would form a single silhouette, to be perceived individually at closer range. Individual characteristics of the buildings ceased to be important in this case, while social amenity buildings, such as a theatre or a church, played the role of individual accents. What should be emphasized about this plan is a global view of the city as a great spatial phenomenon and the attempt at modelling it from an atypical perspective, not tried before, i.e. from the vantage point of the southern bend of the Vistula. Thence, from the proposed new bridge, a vast prospect would open up on the Warsaw slope with a wide-open amphitheatre and new buildings of the Parliament inscribed into it, with the silhouettes of new skyscrapers of downtown Warsaw outlined beyond. One has to mention that in the Parliament building to cover it he proposed –

wania sztywnego wzoru. Na przykład, pogrupował zbiór standardowych biurowców wysokościowych tak, aby widziane z pewnej odległości tworzyły jedną sylwetkę, a dopiero z bliska mogły być dostrzegane oddzielnie. W tym przypadku indywidualne cechy charakterystyczne budynków przestawały być istotne, podczas gdy budynki użyteczności publicznej, takie jak teatr czy kościół, odgrywały rolę indywidualnych akcentów. W tym planie należy podkreślić globalny widok miasta jako wielkiego zjawiska przestrzennego oraz próbę modelowania miasta z perspektywy atypowej, niestosowanej wcześniej, tzn. z punktu widokowego południowego zakola Wisły. Stąd, z proponowanego nowego mostu otwierała się rozległa perspektywa na wzniesienie Warszawy z szeroko otwartym amfiteatrem i wpisanymi weń nowymi budynkami Parlamentu z sylwetkami nowych wieżowców śródmieścia zarysowanymi w oddali. Należy też nadmienić, że jako pokrycie dachowe Parlamentu zaproponował – we współpracy ze słynnym polskim inżynierem profesorem S. Hempel – także nową konstrukcję w kształcie koła rowerowego [5].

Nowicki nie zniechęcał się smutną rzeczywistością powojennych miesięcy. Nie wahał się zaproponować usunięcia istniejących ruin i wprowadzenia całkowicie nowego sposobu budowy miasta z wolno stojącymi budynkami jako „jedynej logicznej nowoczesnej formy”¹. Nie negował kulturowej wartości zachowanych fragmentów starych budowli i rozmyślnie włączył je do nowego układu centralnej przestrzeni miasta. Poszukiwał nowych dróg w architektonicznych rozwiązaniach. Nowy rodzaj biurowca został zaprojektowany na planie zwartym z wygodnym centralnym układem komunikacyjnym. Budynek był wznoszony z prefabrykowanych elementów, które dostarczano na plac budowy z miejsca ich produkcji. W tej metodzie budowlanej ważną rolę odgrywa tzw. zasada wtórnego szkieletu konstrukcji, tj. wypełnianie szkieletu konstrukcji o większej skali szkieletem z prefabrykowanych elementów o mniejszej skali. Wypełnianie lekkiego szkieletu ściany zewnętrznej zróżnicowanej w kolorze, fakturze i rytmie fasady w zasadzie zapewnia nieograniczoną różnorodność wizualnych form połączonych z każdym funkcjonalnym modulem. Powstała również koncepcja stref dla pieszych oraz pasaży handlowych usytuowanych na dwóch poziomach ze względu na wartość gruntu w centrum miasta. Grube warstwy gruzu, które zostały po wojnie, utworzyły nowy poziom ulic, który był wyższy o 2,5–3 m od poziomu pierwotnego. Niewielkie roboty ziemne umożliwiły uzyskanie interesującego układu terenu pod względem funkcjonalnym i wizualnym. To z kolei stworzyło możliwość bezkolizyjnych rozwiązań ruchu ulicznego, oddzielając przepływ pieszych od ruchu pojazdów i zastosowanie tzw. zasady dwóch partnerów istotnej dla miejskich sklepów i usług. Należy pamiętać, że wszystkie te propozycje zostały sformułowane na długo przed przebudową zniszczonego przez wojnę Coventry, gdzie takie rozwiązanie zostało zastosowane.

with cooperation of the famous Polish structural engineer prof. S. Hempel – also a new bicycle wheel-like structure [5].

Nowicki was not put off by the sad truth of the post-war months. He did not hesitate to propose that the ruins of what remained be removed and an entirely new way of constructing a city, with stand-alone buildings as “the only logical modern form”¹ be introduced. He did not deny the cultural value of the preserved fragments of old buildings and deliberately included them in the new arrangement of the central urban space. He looked for new roads in architectural solutions. A new type of office building was designed on a compact plan, with a convenient central layout of communication. The building would be constructed of prefabricated elements, manufactured elsewhere before being brought to the building site. In this building method an important role is played by the so-called secondary framework principle, i.e. of filling the larger-scale frame construction with a smaller-scale framework of prefabricated elements. The filling of the light outer-wall frame, variable in colour and texture and the facade’s rhythm, provides in principle for an unlimited variety of visual forms connected with each functional module. There also appeared the concept of pedestrian precincts and shopping arcades solved on two levels, given the value of land in the city centre. The thick layers of debris left by the war made for differences of 2.5–3 m above the former street levels. With little additional earthwork it was possible to obtain a functionally and visually interesting arrangement of the terrain. This created the possibility of collision-free traffic solutions separating flows of pedestrians from motor traffic, and the so-called principle of two partners, significant for urban shopping and services. One must remember that all this was proposed long before the rebuilding of war-damaged Coventry, where such a solution was applied.

In the USA

At the end of 1945 Nowicki went to the US as a cultural adviser to the Polish diplomatic mission, and then, as a consultant on behalf of Poland, participated in the UN Board of Design Consultants working on the UN Headquarters building in New York. Nowicki, not yet forty at the time and without any major achievements in the form of buildings based on his designs, found himself among ten members of a group consulting W. Harrison’s project alongside such individualities as Le Corbusier, Oscar Niemeyer and Sven Markelius (Fig. 1). Although it is difficult to talk about his strong impact on the architecture of the erected building, the fact remains that he is remembered by members of the team designing it – world architects of the highest rank – as a resourceful mediator in the inevitable clashes of opinions, tactfully reducing the tensions with his observations and fascinating sketches, visual arguments that came in the wake of his words. The leading

¹ M. Nowicki, *Opis pracy urbanistycznej na temat śródmieścia Warszawy*, rękopis w archiwum Muzeum Warszawy.

¹ M. Nowicki, *Description of the Urban Planning Work on the Centre of Warsaw*, manuscript in the archives of the Museum of Warsaw.

W USA

Pod koniec 1945 r. Nowicki wyjechał do USA jako doradca kulturalny w polskiej misji dyplomatycznej, a następnie jako konsultant z ramienia Polski uczestniczył w pracach Komisji Konsultantów ds. Projektów ONZ nad budynkiem siedziby głównej ONZ w Nowym Jorku. Nowicki, który nie miał jeszcze 40 lat i żadnych znaczących osiągnięć w postaci budynków powstałych według jego projektów, znalazł się w gronie 10 członków grupy pracującej nad projektem W. Harrisona wraz z takimi wybitnymi osobami, jak Le Corbusier, Oscar Niemeyer czy Sven Markelius (il. 1). Chociaż trudno mówić o jego dużym wpływie na architekturę wznoszonego budynku, pozostaje faktem, że jest on wymieniany przez członków zespołu – światowych architektów najwyższej rangi – jako pomysłowy mediator w nieuniknionych sporach wynikających z różnic w opiniach, w sposób taktowny łagodzący napięcia swoimi spostrzeżeniami i fascynującymi szkicami oraz wizualnymi argumentami potwierdzającymi jego słowa. Dziesięć lat później wiodący amerykański krytyk architektury Lewis Mumford napisał: *Zaledwie kilka lat później Nowicki miał pokazać, w swoich szkicach budynku Parlamentu w Chandigarh, tę jakość wyobraźni, której zabrakło w projekcie całego ONZ* [6].

Przebywając w tym czasie w Nowym Jorku Nowicki osobiście zorganizował szeroko komentowaną wystawę „Warszawa wciąż żywa”, wskazując na doniosłość takiej ekspozycji na amerykańskiej ziemi. Wykorzystał również swoje doświadczenia pedagogiczne w Polsce. Początkowo pracował dorywczo jako nauczyciel w renomowanej nowojorskiej szkole architektury w Pratt Institute (1947–1948), a następnie w 1948 r. – zarekomendowany przez wspomnianego Lewisa Mumforda – w Szkole Projektowania State College w Raleigh w Karolinie Północnej, gdy Nowiccy zdecydowali się pozostać w USA.

Nowicki nie mógł żyć bez projektowania, ale prawo do wykonywania tego zawodu w USA było ściśle regulowane przepisami. Dlatego też – nie mając uprawnień do projektowania – podejmował współpracę z różnymi amerykańskimi architektami. Jest więc współtwórcą oryginalnych projektów centrów handlowych: nowego typu supermarketu w Kalifornii (1948) z dachem zawieszonym jedynie na czterech masztach i nawet bardziej fascynującego projektu z racji swojej lokalizacji w Columbus Circle w Nowym Jorku (1948) firmowanego przez C.S. Steina. Bardzo ważną dla obu partnerów była współpraca Nowickiego z Eero Saarinenem. Cytowany już Lewis Mumford napisał w jednym z wydań „Architectural Record”: *Fakt, że szkice piórkiem w projekcie Brandeis są wykonane w niewątpliwie czarującym stylu Nowickiego, nie oznacza, że był to jego jedyny wkład, podobnie jak projekt Museum and the State Fair Arena w Raleigh wskazujący na to, że wykonał je Nowicki* [7].

Następnym architektem, z którym współpracował Nowicki, był William Henley Deitrick. Dzięki niemu mógł się zaangażować w szerszą działalność projektową w Raleigh. Wspólnie poszukiwali całkowicie nowatorskiego rozwiązania dla hali wystawowej w Raleigh – zgodnie z życzeniami swoich klientów. Słynne Parableum –

US architecture critic, Lewis Mumford, wrote ten years later: *But in a few years, Nowicki was to indicate, in his sketches for the Parliament Building at Chandigarh, the quality of imagination that was lacking in the design for the entire U.N.* [6].

While in New York at that time, Nowicki personally arranged the much talked about exhibition “Warsaw is still alive”, recognizing the importance of such an exposition on American soil. He also made use of his teaching experience in Poland. Initially, he taught on a casual basis at New York’s renowned school of architecture at the Pratt Institute (1947–1948), and then, in 1948, when the Nowickis, decided to remain in the US – recommended by Lewis Mumford – at the School of Design at North Carolina State College in Raleigh, N.C.

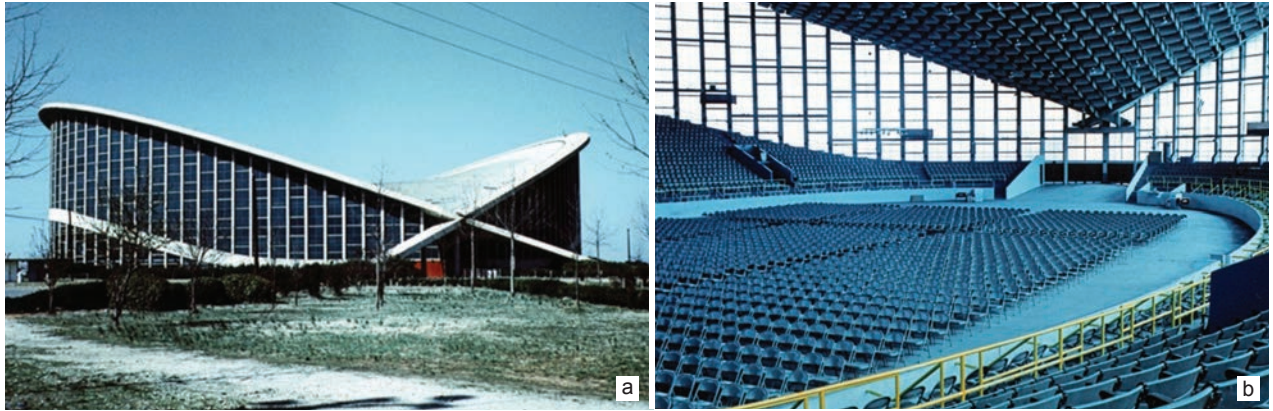
Nowicki could not live without designing, but access to the profession was strictly regulated in the US. He therefore cooperated with different American architects. Thus he is co-author of original designs of shopping centres: a new type of supermarket in California (1948) with its roof suspended on only four masts, and an even more fascinating one due to its location in Columbus Circle in New York (1948), endorsed by C.S. Stein. Very important for both partners was Nowicki’s collaboration with Eero Saarinen. Lewis Mumford, already quoted above, writes in one of the issues of “Architectural Record”: *The fact that the pen and ink sketches of the Brandeis project are unmistakable in Nowicki’s charming idiom does not indicate that they were his solitary contribution, in the sense that his original design for the Museum and the State Fair Arena in Raleigh show that Nowicki had produced these designs* [7].

The next architect he cooperated with was William Henley Deitrick, who made it possible for him to engage in broader design activity in Raleigh. Together they looked for a completely novel solution, which was in accordance with their clients’ wishes, of an exhibition hall in Raleigh. The famous Parableum – a name proposed by a faculty member of the University in Raleigh and later widely adopted (currently the object was officially



Il. 1. Maciej Nowicki (pierwszy od prawej) z grupą architektów pracujących przy budowie siedziby głównej ONZ w Nowym Jorku (źródło: United Nations Photo Library – photo NICA 67357)

Fig. 1. Maciej Nowicki (first on the right side) with a group of architects working on the UN building in New York (source: United Nations Photo Library – photo NICA 67357)



Il. 2. Parabeolum (Dorton Arena) M. Nowickiego w Raleigh: a) widok z zewnątrz, b) wewnątrz (fot. T. Barucki)

Fig. 2. Nowicki's Parabeolum (Dorton Arena) in Raleigh: a) external view, b) inside view (photo by T. Barucki)

nazwa zaproponowana przez pracownika naukowego Uniwersytetu w Raleigh, a następnie powszechnie przyjęta (obecnie obiekt został oficjalnie nazwany Dorton Arena) – w zasadzie miało pełnić przyziemną funkcję pawilonu do oceny inwentarza żywego na terenie miejskiego placu targowego. Potrzeba przebudowy tego terenu pojawiła się wczesną jesienią 1949 r. Powołano komisję, która miała zająć się pracami nad ogólnym planem zagospodarowania, projektem miejsc dla widzów oraz hali – proponowanej jako amfiteatr – do pokazów bydła. Nieoczekiwanie ten ostatni element miał wkrótce trafić na karty historii światowej architektury. Jego bezprecedensowa forma, czytelny system konstrukcyjny i minimalne wykorzystanie architektonicznych środków wyrazu zaskakuje każdego odwiedzającego. Właśnie w tym znaczeniu jest to kwintesencja twórczej osobowości Nowickiego. Kompozycja obiektu oparta jest na dwóch olbrzymich parabolicznych łukach żelbetowych (stąd nazwa hali – Parabeolum), o płaszczyznach pochylonych w przeciwnych kierunkach. Łuki te przecinają się, a ich rzuty poziome zachodzą na siebie wzajemnie. Pomędzy nimi na stalowych linach zawieszony jest dach ponad wielką jednoprzestrzenną areną (il. 2).

Idea konstrukcji rozciąganych była znana od czasów pawilonów targowych w Niżnym Nowogrodzie zaprojektowanych przez Władimira Szuchowa w 1895 r., jednak w Raleigh została ona zastosowana w zupełnie nowy sposób. Istotą tego innowacyjnego rozwiązania jest całkowite odejście od ustalonego klasycznego wzorca: kolumn i architrawy, w formie słupów podpierających układ belek, który w całej historii architektury symbolizował prostopadłe przenoszenie ciężaru budynku na powierzchnię ziemi. Dzisiaj, gdy przyglądamy się na przykład fascynującym konstrukcjom Santiago Calatravy, musimy pamiętać, że to właśnie Nowicki zrobił pierwszy krok w tym kierunku. Zainteresowanie profesjonalistów na całym świecie propozycjami polskiego architekta było olbrzymie². War-

named Dorton Arena) – was intended to serve the basically down-to-earth role of a livestock-judging pavillion in the city's trade-fair area. The need to rebuild the area arose in the early autumn of 1949. The commission was set up, to develop the overall layout plan, the design of stands for spectators, and of a hall – suggested as an amphitheatre – for the display of cattle. This last item, unexpectedly, was soon to find itself on the pages of the history of world architecture. It really strikes the observer with its unprecedented design, the transparency of its construction and minimal use of architectural means of expression. And in this sense it is the quintessence of Nowicki's creative personality. Its composition is based on two huge reinforced-concrete parabolic arches (hence the name of the hall – Parabeolum) whose planes are inclined in opposite directions. These arches intersect, and their horizontal projections overlap each other. Between them a roof is suspended on steel cables over a huge mono-space arena (Fig. 2).

The idea of tensile structures was known since the fair pavilions in Niznyj Novgorod designed by Vladimir Shukhov in 1895, but in Raleigh it was used in a completely new way. The essence of this innovative solution is a complete break with the established classical columns-and-architrave arrangement, in the form of pillars supporting a system of beams, that throughout the history of architecture symbolised a perpendicular transfer of the weight of a building onto the earth's surface. When we look today, for example, at fascinating structures of Santiago Calatrava we have to remember that the first step in this direction was taken by M. Nowicki. The professional world's interest in Nowicki's proposals was huge². Worth noting is the captivating effect of the Parabeolum's interior – presented in publications less frequently than its external view – which testifies to its creator's victory over the law of gravity. The hall's roof seems to soar in the air unsupported, for the fully glazed walls clearly indicate that they do not hold up the roof. This is particularly interesting when juxtaposed

² Niemiecki pionier i lider w tej dziedzinie Frei Otto powiedział mi, że przyjechał do USA specjalnie w celu spotkania się z M. Nowickim. Po wylądowaniu w Nowym Jorku poinformowano go o jego śmierci.

² The German leader and pioneer in this field, Frei Otto, told me that he specially went to the US to meet M. Nowicki. On landing in New York he received the information about Nowicki's death.

to podkreślić urzekający efekt wnętrza Parableum – prezentowanego w publikacjach rzadziej niż jego wygląd zewnętrzny – świadczący o zwycięstwie jego twórcy nad prawem powszechnego ciężenia. Dach wydaje się unosić w powietrzu bez podparcia, gdyż w pełni przeszklone ściany wyraźnie sugerują, iż go nie podtrzymują. Jest to szczególnie interesujące w zestawieniu z często wyrażaną przez Nowickiego opinią, że istotą architektury i inżynierii lądowej jest nieustająca walka człowieka z prawem grawitacji.

Nowicki nie ujrzał pełnej realizacji swojego projektu. Parableum zostało wzniesione już po jego tragicznej śmierci. Współprojektanci tego obiektu, wyżej wymieniony William Henley Deitrick oraz inżynier konstruktor Fred Severud, dołożyli wszelkich starań, aby ostateczna forma hali odpowiadała jak najbardziej wizji ich zmarłego kolegi. Ukończona w 1953 r. Arena otrzymała nagrodę AIA (American Institute of Architects – Amerykańskiego Instytutu Architektów) za najlepsze dzieło architektoniczne tego roku, natomiast w 1972 r. została wpisana do krajowego rejestru miejsc historycznych ze względu na jej doniosłe znaczenie dla architektury. Pomogło to w zachowaniu jej podstawowych wartości, gdy z biegiem czasu jej funkcja zaczęła się zmieniać. Zaprojektowana jako pawilon do oceny inwentarza żywego, hala ta zaczęła być wykorzystywana również do wielu masowych imprez, włącznie z takimi, które wymagały przyciemnionego wnętrza. W 1975 r. hala utraciła swoją pierwotną funkcję, która została przejęta przez inny nowo wzniesiony budynek, i poddano ją pewnym adaptacjom. Fakt, że jej architektura była chroniona przez prawo, pomógł zachować jej formę, a zakres renowacji został ograniczony do wyposażenia technicznego i instalacji. Przeszklenie hali zastąpiono znacznie ciemniejszym szkłem, ograniczając penetrację światła do wnętrza do jedynie 14%. Obecnie jest to hala wielofunkcyjna, co z pewnością nie działa na korzyść innowacyjnego pomysłu Nowickiego. Dopiero po jego śmierci w światowej architekturze zaczęły pojawiać się hale zaprojektowane w ten sposób³. W roku 2010 z okazji setnej rocznicy jego urodzin podjęto inicjatywę, aby wpisać Parableum na Listę światowego dziedzictwa UNESCO.

Chandigarh

Ostatnim dziełem Nowickiego był projekt dla nowego miasta stołecznego Chandigarh (po jego przedwczesnej śmierci był on kontynuowany przez Le Corbusiera). W ogólnym zarysie koncepcje tych dwóch architektów na temat podstawowego układu miasta przejawiają znaczące podobieństwa. Nowicki pracował nad tym projektem w zespole wraz z Albertem Mayerem i Henleyem Whittlesseym, jednakże architekci ci jednoznacznie podkreślają wiodącą rolę Nowickiego w opracowywaniu planu.

with Nowicki's frequently expressed opinion that the essence of architecture and civil engineering was man's relentless struggle with the law of gravity.

Nowicki did not live to see the implementation of his design. The Parableum was erected after his tragic death. Its co-designers, the above mentioned architect William Henley Deitrick and structural engineer Fred Severud, made every effort to ensure that the final form of the hall corresponded most closely to their late colleague's vision. Completed in 1953, the Arena received the AIA (American Institute of Architects) award for the best work of architecture in that year, and in 1972 it was listed in the National Register of Historic Places for its architectural significance. This helped to preserve its core values when time began to change its role. Designed as a livestock-judging pavilion, it began to be used also for many other mass events, including those that required its interior to be darkened. In 1975 the hall lost its primary role, which was taken over by another brand-new building, and was subjected to some adaptation. The fact that its architecture was protected by law helped to preserve its form, and the scope of renovation was limited to technical equipment and installations. The hall's glazing was replaced with much darker glass, restricting the penetration of light into the interior to only 14%. Today it is a multi-purpose hall, which no doubt works in favour of Nowicki's innovative idea. It was only after his death that halls designed in this way began to appear in world architecture³. In 2010, on the occasion of the centenary of his birth, the initiative was taken to enter the Arena onto the UNESCO World Heritage List.

Chandigarh

Nowicki's final work was a project for the new capital city of Chandigarh, which was, after his untimely death, developed by Le Corbusier. In their general disposition, the concepts of the two architects for the basic arrangement of the city reveal significant similarities. Nowicki worked on this project as part of a team together with Albert Mayer and Henley Whittlessey, but these co-designers unambiguously underlined Nowicki's leading role in the development of the project. The design of Chandigarh gave Nowicki the opportunity to work on a much larger scale than he had previously addressed. Even though a few initial concepts, including among others, proposals for housing and a bazaar, had been developed by Mayer's office, Nowicki quickly took the initiative and assumed responsibility for the whole project. The goal was to establish principles for the formation of the city and standards for the further development of the design. Based on the resulting Master Plan, a team of specialists designated by the Indian government would generate further detailed projects and carry out the actual construction.

³ W projekcie Parableum M. Nowicki po raz pierwszy wprowadził w dachu dwukrzywiznowo zagięty układ cięgien. Zapoczątkowało to powstawanie obiektów o dachach wiszących, a – dzięki twórcemu rozwinięciu tej koncepcji przez Freia Otto – umożliwiło również pojawienie się konstrukcji membranowych z wiotkich tkanin.

³ In the design of Parableum M. Nowicki introduced for the first time in the roof doubly-curved system of cables. This gave rise to the construction of objects with hanging roofs, and – thanks to the creative development of this idea by Frei Otto – has enabled the emergence of membrane structures made of soft fabrics.

Projekt Chandigarh otworzył przed Nowickim możliwość pracy na znacznie większą skalę niż wcześniej. Mimo że kilka wstępnych koncepcji, np. propozycje budowy mieszkań i bazarów, zostało opracowanych przez biuro Mayera, Nowicki szybko przejął inicjatywę i stał się odpowiedzialny za całość. Celem było ustalenie zasad tworzenia miasta i standardów dalszego opracowywania projektu. W oparciu o przygotowany plan ogólny, zespół specjalistów wyznaczonych przez rząd Indii miał zająć się dalszymi szczegółami projektów i realizacją samej budowy.

Już wiosną 1950 r., przebywając wciąż w Raleigh w Karolinie Północnej, Nowicki opracował wiele wstępnych szkiców, takich jak Capitol Complex, centrum handlowego, stacji kolejowej, a także osiedli mieszkaniowych wraz z bazarami. Pod koniec czerwca Nowicki i Mayer polecili do Indii, gdzie jedynie dowiedzieli się, że nikt nie zapoznał się z materiałami, które zostały przesłane wcześniej, i że nie poczyniono żadnych przygotowań do dalszej pracy nad projektem. Wręcz przeciwnie, spotkali się ze sprzeciwami wobec pomysłu zbudowania nowej stolicy Pendżabu. W celu przezwyciężenia negatywnego stosunku do projektu podjęto decyzję sporządzenia i przedłożenia projektu typowego osiedla mieszkaniowego – czynnik generujący planu Mayera – tzw. superosiedla w pełni wyposażonego w obiekty takie jak szkoły, place zabaw, centra handlowe i tym podobne. Stanowiło to próbę nadania formy najbardziej istotnemu motywowi projektu z punktu widzenia potrzeb społecznych. Uczyniono to w nadziei, że o ile zostanie pozytywnie przyjęty, mógłby stać się on pierwszym krokiem w tworzeniu całego miasta. Nowicki wziął to zadanie na siebie i pozostał w Indiach w Shimla.

Indie były szansą dla Nowickiego do zestawienia swoich własnych doświadczeń z nowym środowiskiem i inną kulturą. Właśnie w takich warunkach możemy dostrzec, że jednym z najbardziej charakterystycznych i cennych aspektów jego osobowości była zdolność harmonijnej asymilacji nawet w najbardziej nieznanym środowisku. Wiele jego szkiców ukazuje poszukiwanie rozwiązania, które byłoby najwłaściwsze dla danego miejsca. W artykule *On Exactitude and Flexibility (O dokładności i elastyczności)*, jak również podczas swoich wykładów powtarzał wielokrotnie: *Wydaje mi się, że zależy to od stałego wysiłku podchodzenia do każdego problemu ze świadomością, że nie ma jedyne sposobu jego rozwiązania. „Art [sic!] una – species mille”. Ten okrzyk bitewny renesansu powinien być powtarzany nieustannie* [8].

W szkicach Nowickiego pomysł kompozycji ogólnego planu miasta jest widoczny w rysunku układu żyłek liścia. Ma to doprowadzić do uświadomienia organiczności kompozycji, szczególnego związku z przyrodą, co – niezależnie od analogicznych zainteresowań architekturą danego okresu – w specyficznych warunkach mentalności indyjskiej wzbogaconej tysiącami kultury mogłoby mieć istotne znaczenie. W porównaniu z oryginalnymi szkicami wykonanymi przez Nowickiego w Stanach Zjednoczonych można tu wyczuć wyraźne zmiany wynikające z pogłębiania się jego wiedzy o środowisku naturalnym. Rozległe niziny z pozostałościami starej wsi i ośnieżnymi górami w tle były miejscem, na którym miało być

As early as in the spring of 1950, while still in Raleigh, North Carolina, Nowicki generated many preliminary sketches for the Capitol Complex, shopping centre, train station, and housing estates together with bazaars. By the end of June, Nowicki and Mayer flew to India only to find that no one there had familiarized themselves with any of the materials that had been sent earlier and that no preparations had been made for further design work. On the contrary, they encountered opposition to the idea of building a new capital for Punjab. To overcome this negative attitude towards the project, the decision was made to draw up and present a project for a typical housing block, the generating factor of the Mayer plan, the so-called superblock, fully equipped with facilities such as schools, playgrounds, shopping centres, and so forth. This was an attempt to give form to the project's most significant theme from the point of view of social needs, in the hope that, if positively received, it could become the first step in the construction of the entire city. Nowicki took this task upon himself and remained in India, in Shimla.

India was an opportunity for Nowicki to compare his own experiences with a new environment and different culture. It is in these conditions that one of the most characteristic and valuable aspects of his personality – the ability to assimilate harmoniously in even the most unfamiliar environment – becomes clear. His many sketches represent a search for a solution most appropriate to the place. He noted in an article in *On Exactitude and Flexibility* and often repeated in his lectures: *It seems to me that it depends on the constant effort of approaching every problem with the consciousness that there is no single way of solving it. “Art [sic!] una – species mille”. This battle cry of the Renaissance should be repeated again and again* [8].

In Nowicki's sketches, the idea for the composition of the general layout of the city is evident in the drawing of the veining of a leaf. This is supposed to bring to consciousness the boundedness of the composition, a particular connection with nature, which – independent of analogous interests in the architecture of the time – in the specific conditions of the Indian mentality, enriched by millennia of culture, could have had important meaning. In relation to the original sketches made by Nowicki in the United States, one can sense clear changes arising from him having learned about the environment. Vast lowlands with the remains of an old village and snow-capped mountains visible beyond were the place and background on which the new city was to be built. The “veining” represented arterial streets dividing the city into residential sectors, the superblocks. The main mid-vein of the leaf with a strip of greenery leads to the centre of power, the Capitol Complex.

In one of the first sketches for the Capitol one can feel arguments and suggestions reminiscent of Nowicki's unused contribution to the design of the UN headquarters where the enormous office tower of the UN Secretariat building overpowered the main element of the complex, the General Assembly Hall. In Chandigarh, Nowicki proposed the opposite configuration in which

zbudowane nowe miasto. „Układ żyłek” odzwierciedlał główne ulice dzielące miasto na sektory mieszkalne, superosiedla. Główna środkowa żyłka liścia z pasem zieleni prowadzi do ośrodka władzy – Capitol Complex.

Na jednym z pierwszych rysunków przedstawiających Capitol można wyczuć argumenty i sugestie przypominające niewykorzystany wkład Nowickiego do projektu siedziby głównej ONZ, gdzie olbrzymi biurowiec budynku Sekretariatu ONZ przytłaczał główny element kompleksu – budynek Zgromadzenia Ogólnego ONZ. W Chandigarh Nowicki zaproponował przeciwną konfigurację, w której paraboliczna kopuła Parlamentu dominuje nad horyzontalnymi budynkami administracyjnymi, a cały kompleks przybiera formę zwartej prostoliniowego bloku. Szeroka rampa wjazdowa ponad rzeką łączy Capitol Complex z miastem jako przedłużenie wcześniej wspomnianego pasa zieleni. Rampa ta wznosząca się w kierunku Capitolu dodatkowo wzmacnia monumentalny charakter całej kompozycji.

Ostatni alternatywny rysunek Nowickiego posiada inne rozwiązanie wyznaczające dwie osie poprzeczne jako kompozycje Capitol Complex. Jedna oś prowadzi z miasta poprzez centrum do siedziby gubernatora; druga – prostopadła do pierwszej – łączy budynki Sekretariatu i Sądu Najwyższego. Budynek Parlamentu, usytuowany na centralnym placu w miejscu skrzyżowania tych osi, staje się głównym elementem całości kompleksu.

Superosiedle zaprojektowane przez Nowickiego podczas jego pobytu w Indiach zostało oznaczone w planie ogólnym jako L-37 i przeznaczone było dla niższej rangi pracowników rządowych Pendżabu. Parcela miała 75 akrów i miała pomieścić 1175 rodzin w różnego rodzaju typach mieszkań, począwszy od jedno- i dwupiętrowych domów po małe czteropiętrowe bloki mieszkalne, czasami w klastrach biegnących wzdłuż frontu ulicy. Niektóre rozwiązania obejmowały grupy kilku domów wokół dziedzińca, który miał powiększać efektywną powierzchnię mieszkalną domów. Cechą charakterystyczną ich architektury jest zróżnicowanie fasad z osłonami przeciwsłonecznymi, jak również zastosowanie naturalnego koloru materiału, który stanowiła cegła. Nowicki starał się stworzyć poczucie różnorodności przestrzeni poprzez załamania w linii budynku, zakrzywienie ulicy i wreszcie poprzez zestawienie zamkniętych i otwartych przestrzeni.

Podziw Mayera dla siły wyrazu prac Nowickiego jest widoczny, gdy czytamy jego słowa w *Matthew's Last Eight Weeks were Spent in India (Osiem ostatnich tygodni, które Maciej spędził w Indiach)* na temat ostatniego etapu ich pracy nad projektem Chandigarh:

Spotkaliśmy się ponownie w Delhi sześć tygodni później, 22 sierpnia. Przyniósł ze sobą swoje rysunki, był to wspaniały pokaz, pełen ducha... ilustrujący nowe możliwości domu minimalnego i jego podziału na różne zamknięte połączone i otwarte wzorce. Byłem zdumiony ogromną liczbą prac Macieja, które wykonał praktycznie sam, oraz przepływającym przez nie strumieniem wyobraźni, tak jakby praca i myślenie odbywały się zupełnie bez pośpiechu, w sposób niezakłócony przez inne komplikacje tej sytuacji [9].

the parabolic dome of the Parliament dominates above the horizontal administration buildings, the entire complex taking the figure of a compact rectilinear block. A wide entry ramp over the river connects the Capitol Complex to the city as an extension of the previously mentioned green spine. This ramp rising up in the direction of the Capitol additionally reinforces the monumentality of the entire composition.

Nowicki's last alternative sketch has a different solution establishing two cross axes as the composition of the Capitol Complex. One axis leads from the city through its centre to the Governor's compound; the other – perpendicular to the first – links the buildings of the Secretariat and the High Court. The Parliament building, placed in the central plaza at the point where these axes cross, becomes the main focus of the whole complex.

The superblock designed by Nowicki during his stay in India was marked in the Master Plan as L-37 and was designated for lower-level employees of the Punjabi government. Its site measured 75 acres and was intended to accommodate 1,175 families with various housing types ranging from one- and two-storey houses to small four-storey apartment blocks, sometimes in clusters closely following the street front. Some solutions involved groupings of a few houses around a courtyard which served to enlarge the effective living space of the residences. Characteristic of their architecture is the differentiation of facades with sun-shading devices and also the use of the natural colour of the material, which was brick. Nowicki tried to create the feeling of variety of spaces through breaks in the building line, by curving the street, and finally by a juxtaposition of enclosed and open spaces.

Mayer's admiration for the forcefulness of Nowicki's work is evident when he wrote in *Matthew's Last Eight Weeks were Spent in India* about the final phase of their work on the Chandigarh project:

We met again in Delhi six weeks later, on August 22. He brought along his drawings, and a fine show they made, full of spirit... illustrating new possibilities of the minimal house and its grouping into varying close coupled and open patterns. What amazed me was the sheer quantity of work Matthew had produced practically single-handed and the flow of imagination through it all, as though the work and thinking had been quite unhurried, quite undistracted by the other complications of the situation [9].

The Indian authorities, fascinated by Nowicki's projects, working method and personality, asked him to take over the direction of the construction of Chandigarh, offering him a post in the rank of minister. Nowicki accepted, although first he had to return to Raleigh in order to put his affairs there in order. He informed his mother of this in his last letter to her. It is highly likely that she received this letter – according to the postal stamp, the date of arrival in Warsaw was August 28, 1950 – a few days before the TWA Constellation plane with 55 passengers on board crashed in the African desert approximately 100 km of Cairo in the morning of the last day of August 1950 (Fig. 3). None of the passengers survived. It was then the most tragic air catastrophe in the history of aviation and only 14 bodies could be identified.

Władze indyjskie, zafascynowane projektami Nowickiego, jego metodami pracy i osobowością, poprosiły go o przejęcie prac budowlanych przy Chandigarh, oferując mu posadę w randze ministra. Nowicki zgodził się, ale musiał najpierw wrócić do Raleigh, aby uporządkować tam wszystkie swoje sprawy. Poinformował o tym matkę w ostatnim liście napisanym do niej. Jest bardzo prawdopodobne, że otrzymała ten list – według znaczka pocztowego datą przybycia listu do Warszawy był 28 sierpnia 1950 r. – na kilka dni przed tym, jak samolot linii lotniczych TWA Constellation z 55 pasażerami na pokładzie rozbił się na pustyni w Afryce około 100 km od Kairu rankiem ostatniego dnia sierpnia 1950 r. (il. 3). Żaden z pasażerów nie przeżył. Była to wtedy najtragiczniejsza katastrofa powietrzna w historii lotnictwa i jedynie 14 ciał zostało zidentyfikowanych.

Uwagi końcowe

Jedynie symboliczny wygrawerowany napis na grobowcu jego rodziców na warszawskim cmentarzu Wawrzyszewskim łączy go z ziemią, która była mu tak droga. Jak napisał swojej matce – gdzieś w okolicach Rzymu – podczas lotu do Indii, gdzie miało wkrótce powstać jego kolejne architektoniczne arcydzieło: *Teraz, kiedy lecę, jestem chyba bliżej Polski, niż kiedykolwiek byłem od wielu lat. Mam jakieś dziwne poczucie bliskości* [10].

Thumaczenie
Bogusław Setkiewicz



Il. 3. Katastrofa lotnicza pod Kairem, w której zginął M. Nowicki (31.08.1950) (źródło: <http://aviation-safety.net/photos/displayphoto.php?id=19500831-0&vnr=1&kind=C>)

Fig. 3. Air crash near Cairo in which M. Nowicki was killed (31.08.1950) (source: <http://aviation-safety.net/photos/displayphoto.php?id=19500831-0&vnr=1&kind=C>)

Final remarks

Only the symbolic engraving on his parents' tomb in Warsaw's Wawrzyszew cemetery connects him with the soil that was so dear to him. As he wrote to his mother – somewhere in the vicinity of Rome – on his flight to India, where his next architectural masterpiece was about to be built: *Now, as I am flying, I must be closer to Poland than I ever have been for many years. I have a strange sense of closeness* [10].

Bibliografia/References

- [1] Barucki T., *Maciej Nowicki Polen–USA–Indien*, [w:] *Catalogue of exposition in „Architektur im Ringturm”*, Vienna 2012.
- [2] Barucki T., *Maciej Nowicki*, Arkady, Warszawa 1980.
- [3] Nowicki M., *Wszystkie pisma*, [w:] *Catalogue of exposition in „Architektur im Ringturm”*, Vienna 2012.
- [4] Urbańska M.A., *Maciej Nowicki humanista, wizjoner architektury – osobowość twórcza na tle epoki*, rozprawa doktorska, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska, Kraków 1999.
- [5] Barucki T., *Maciej Nowicki. Projekt*, No. 3, Warszawa 1976, 40–45.
- [6] Mumford L., *The Life, the Teaching and the Architecture of Matthew Nowicki*, p. 3: *His Architectural Achievement*, „Architectural Record” 1954, No. 8, 169–178.
- [7] Mumford L., *The Life, the Teaching and the Architecture of Matthew Nowicki*, p. 1, „Architectural Record” 1954, No. 6, 139–148.
- [8] Mumford L., *The Life, the Teaching and the Architecture of Matthew Nowicki*, p. 2: *Matthew Nowicki as an Educator*, „Architectural Record” 1954, No. 7, 128–135.
- [9] Mumford L., *The Life, the Teaching and the Architecture of Matthew Nowicki*, p. 4: *Nowicki's Work in India*, „Architectural Record” 1954, No. 9, 153–159.
- [10] Barucki T., *Matthew Nowicki Poland–USA–India*, Salix Alba, Warszawa 2010.

Podziękowanie

Tekst niniejszy jest skróconą i poprawioną wersją książki Tadeusza Baruckiego *Matthew Nowicki: Poland–USA–India* z angielskim tłumaczeniem Stefana Sikory, wydanej przez „Salix alba” w Warszawie w 2010 r.

Acknowledgement

This text is a shortened and revised version of Tadeusz Barucki's book *Matthew Nowicki: Poland–USA–India* with English translation by Stefan Sikora, published by „Salix alba” in Warsaw 2010.

Streszczenie

Praca niniejsza przedstawia pokrótce życie i pracę Macieja Nowickiego – przedwcześnie zmarłego, jednego z najbardziej wizjonerskich architektów XX w. Był jednym z niewielu architektów, których jeden rysunek dokonał rewolucji w projektowaniu i umożliwił powstanie całkowicie nowej dziedziny w przemyśle budowlanym. Jego najbardziej twórczy okres przypadł na lata po zakończeniu drugiej wojny światowej. Był jednym z projektantów odbudowy Warszawy. Został wysłany przez rząd do Nowego Jorku jako przedstawiciel Polski przy projekcie siedziby głównej ONZ. Następnie jego szkic projektu hali w Raleigh „otworzył drzwi” konstrukcjom

membranowym. Nowe miasto Chandigarh miało być kolejnym jego dziełem, jednak tragiczna katastrofa lotnicza w Egipcie zakończyła jego błyskotliwą karierę.

Słowa kluczowe: Maciej Nowicki, architektura XX w., Chandigarh, Parboleum, Dorton Arena

Abstract

This paper presents briefly the life and work of Maciej Nowicki – prematurely deceased, one of the most visionary architects of the 20th century. He was one of the few architects who's one drawing has made a revolution in design and made possible the emergence of an entirely new field of construction industry. His most creative period occurred in the years after World War II. He was one of the designers of the rebuilding of Warsaw. He was sent by the government to New York as a representative of Poland in the design of the United Nations headquarters. Then, his sketch of the design of the hall in Raleigh "opened the door" for the appearance of membrane structures. The new city of Chandigarh was next step on his architectural way, but the tragic air accident in Egypt ended his brilliant career.

Key words: Maciej Nowicki, 20th century architecture, Chandigarh, Parboleum, Dorton Arena



Gerard Parke*, Seyed Alireza Behnejad*

Zygmunt Stanisław Makowski: pionier konstrukcji przestrzennych

Zygmunt Stanisław Makowski: A pioneer of space structures

Młodość i wykształcenie

Profesor Zygmunt Stanisław Makowski urodził się 15 kwietnia 1922 r. w Warszawie. Był synem Juliusza Augusta Makowskiego i Heleny Makowskiej, z domu Miłoszewskiej. Z.S. Makowski ukończył gimnazjum im. Tadeusza Czackiego w Warszawie, a następnie, w 1942 r., rozpoczął studia w Państwowej Wyższej Szkole Technicznej. Od roku 1943 kontynuował naukę na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. W tym czasie Polska znajdowała się pod okupacją, a Makowski brał udział w ruchu oporu oraz w Powstaniu Warszawskim jako członek polskiej armii podziemnej. W konsekwencji, okres od października 1944 r. do zakończenia wojny spędził w Niemczech jako jeńiec wojenny. Po wyzwoleniu wstąpił do Polskich Sił Zbrojnych we Włoszech (Armia Andersa). Ilustracja 1 pochodzi z tego okresu i ukazuje Z.S. Makowskiego w mundurze armii polskiej.

Po wojnie Makowski rozpoczął studia na uniwersytecie Reale Università degli Studi di Roma. Nie ukończył go jednak i jesienią 1946 r. przeniósł się na Polish University College w Londynie. 30 stycznia 1950 r. uzyskał dyplom inżyniera (PUC) z wyróżnieniem. Następnie zaproponowano mu stanowisko wykładowcy w Imperial College w Londynie, gdzie mógł również pracować nad swoim doktoratem. Zdjęcie 2 powstało w pierwszych dniach jego pobytu w Imperial College (1951).

* Centrum Badań Struktur Przestrzennych Uniwersytetu w Surrey, Guildford, Wielka Brytania/Space Structures Research Centre, University of Surrey, Guildford, UK.

Background and education

Professor Zygmunt Stanisław Makowski was born in Warsaw, Poland in 15 April 1922. He was the son of Juliusz August Makowski and Helena Makowska, neé Miłoszewska. Z.S. Makowski was educated at the Tadeusz Czacki Grammar School. He began his higher education in 1943 in the Civil Engineering department of the Technical University of Warsaw (PWST – Państwowa Wyższa Szkoła Techniczna). At that time, Poland was an occupied country, and Makowski took part in the resistance movement and, in August–September 1944, in the Warsaw Uprising of the Polish Underground Army. As a result, he spent the period from October 1944 until the end of the war as a prisoner of war in western Germany. After the liberation, he joined the Polish Armed Forces in Italy (popularly called the “Anders Army”). Figure 1 shows Makowski in this period, in military uniform.

After the war, he joined the Reale Università degli Studi di Roma in 1946. However, he did not complete his study there and resumed his university studies in the fall of 1946 in the Polish University College, London. He received his Dipl. Ing (PUC) with distinction on 30 January 1950. He was then offered a lecturer position at the Imperial College in London, where he was able to work also on his doctorate. Figure 2 shows his early days at the Imperial College, London, 1951.

The subject of his thesis was the analysis of the existing Dome of Discovery, erected for the 1951 festival of Britain Exhibition. The thesis was entitled *Theoretical and Experimental Stress Analysis of Braced Domes* supervised by Professor A.J.S. Pippard. In the pre-computer days, such analysis was a significant accomplishment. This



Il. 1. Z.S. Makowski w mundurze Polskich Sił Zbrojnych (1945) [1]

Fig. 1. Z.S. Makowski in Polish Armed Forces uniform (1945) [1]



Il. 2. Pierwsze dni na Imperial College (1951) [1]

Fig. 2. First days of work at Imperial College (1951) [1]

Tematem jego pracy dyplomowej była analiza ówczesnej kopuły Discovery zbudowanej na festiwal Britain Exhibition w 1951 r. Praca pisana pod kierunkiem profesora A.J.S. Pipparda nosiła tytuł *Teoretyczna i eksperymentalna analiza naprężeń kopuł kratowych*. W czasach, gdy nie wykorzystywano jeszcze komputerów na taką skalę jak obecnie, analiza ta stanowiła doniosłe osiągnięcie. Te badania naukowe były początkiem trwającego przez całe życie Profesora jego zainteresowania strukturami przestrzennymi. Egzemplarz tej pracy jest dostępny w bibliotece Centrum Badań Struktur Przestrzennych Uniwersytetu w Surrey. Makowski uzyskał stopień doktora na Uniwersytecie Londyńskim 20 lipca 1953 r. Zdobył również dyplom DIC (Diploma of Imperial College) w dniu 14 października 1953 r.

Stanowiska akademickie

Z.S. Makowski pracował w Polish University College w Londynie jako starszy asystent (1949–1951). Następnie był wykładowcą (1951–1958) i starszym wykładowcą (1958–1962) w Imperial College of Science and Technology w Londynie (il. 3).

Profesor Makowski był kierownikiem Katedry Inżynierii Lądowej w Battersea College of Advanced Technology¹ (1962–1966) oraz kierownikiem Katedry na Uniwersytecie w Surrey (1966–1984). Na Uniwersytecie w Surrey pracował również jako dziekan Katedry Inżynierii (1966–1968, 1976–1979 i 1984–1987).

¹ Polish University College był poprzednikiem Battersea College of Advanced Technology, który z kolei był poprzednikiem Uniwersytetu w Surrey [2].

research was the beginning of his long-life interest in spatial structures. A copy of the thesis is available in the library of the Space Structures Research Centre of the University of Surrey. Makowski received his PhD from the University of London on 20 July 1953. Also, he received his DIC on 14 October 1953 from the Imperial College.

Academic appointments

Z.S. Makowski was employed by the Polish University College, London as an assistant lecturer (1949–1951). He then was a lecturer (1951–1958) and a senior lecturer (1958–1962) in the Imperial College of Science and Technology, London. Figure 3 shows him in a laboratory at the Imperial College (1961).

Professor Makowski was the Head of Department of Civil Engineering, Battersea College of Advanced Technology¹ (1962–1966), and the Head of Department at the University of Surrey (1966–1984). He also served the University of Surrey as the Dean of Faculty of Engineering (1966–1968, 1976–1979 and 1984–1987).

Industrial collaboration

Professor Makowski has acted as consulting engineer in numerous cases, carrying out structural analysis and design of domes, barrel vaults and double layer grids in steel, aluminium and glass fiber reinforced plastics. An

¹ Polish University College was a predecessor of Battersea College of Advanced Technology which, in turn, was the predecessor of the University of Surrey [2].



Il. 3. Profesor Makowski w laboratorium Imperial College w Londynie (1961) [1]

Fig. 3. In a laboratory at the Imperial College, London (1961) [1]



Il. 4. Główny budynek na obrady kongresu Międzynarodowej Unii Architektów, Londyn, 1961 (© Architectural Press Archive /RIBA Library Photographs Collection, RIBA 63518)

Fig. 4. The headquarters building for the Congress of the International Union of Architects, London, 1961 (© Architectural Press Archive/RIBA Library Photographs Collection, RIBA 63518)

Współpraca z przemysłem

Profesor Makowski był zatrudniany jako inżynier konsultant, w wielu przypadkach przeprowadzał analizy strukturalne oraz projektowe kopuł, sklepień walcowych i dwuwarstwowych rusztów ze stali, aluminium oraz tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym. Przykładem tego typu konsultacji jest sprawdzenie analizy Astrodome w Houston (USA). Wprowadził również nowatorską formę lekkiej konstrukcji półskorupowej – rusztu piramidkowego, którą zastosowano w kilkunastu przypadkach w Wielkiej Brytanii i innych krajach. Najbardziej znanym przykładem tego systemu półskorupowego jest aluminiowe pokrycie dachowe głównego budynku na obrady kongresu Międzynarodowej Unii Architektów wzniesionego w Londynie (il. 4). Ilustracja 5 ukazuje Makowskiego wraz ze studentami DIC H. Nooshinem i D. Sarną testujących jedną z jednostek konstrukcji półskorupowej pod obciążeniem grawitacyjnym w Imperial College w Londynie (1962) (H. Nooshin w późniejszym czasie został bliskim współpracownikiem i przyjacielem Z.S. Makowskiego).

W maju 1963 r. Makowski założył Centrum Badawcze Struktur Przestrzennych (Space Structures Research Centre). W 1972 r. Centrum uzyskało budynek na swoją główną siedzibę. Budynek był darowizną Brytyjskiej Korporacji Stali. Ilustracja 6 przedstawia go w trakcie budowy (obecnie Nodus Centre).

W Centrum Profesor Makowski wraz ze współpracownikami brali udział w projektowaniu struktur o dużej rozpiętości. Niektóre z ważniejszych przykładów takich struktur to wisząca konstrukcja dachowa sprężonej siatki ciągnowej nad Stadionem Sportowym Farahabad (Takhti Stadium) w Teheranie (Iran) (wspólnie z H. Nooshinem oraz J.W. Butterworthem) (il. 7), kompleks pięciu pawil-

example of this type of consulting work is the checking of the analysis of the Astrodome in Houston, USA. He did also develop a novel form of light-weight stressed-skin pyramidal space grid system used on several occasions in the UK and abroad. The most notable example of this stressed-skin system is the aluminium roof covering of the headquarters building for the Congress of the International Union of Architects erected in London (Fig. 4). Figure 5 shows Z.S. Makowski, together with the DIC students H. Nooshin and D. Sarna, testing one of the stressed-skin units under gravity load at Imperial College, London, 1962 (H. Nooshin, later became a close colleague and friend of Z.S. Makowski).

In May 1963 he founded the Space Structures Research Centre. In 1972 the Centre acquired a building for its headquarters. The building was a donation by the British Steel Corporation. Figure 6 shows the building (now Nodus Centre) during construction.

At the Space Structures Research Centre, together with his colleagues, Professor Makowski was involved in the design of large span structures. The more important examples include the suspended prestressed cable network roof structure over the Farahabad Sports Stadium (Takhti Stadium) in Tehran, Iran (together with H. Nooshin and J.W. Butterworth) (Fig. 7), complex of five exhibition pavilions in Nancy, France, covered with prefabricated double-layer grids, the three-way grid over the King Hussein Sports Stadium in Amman, Jordan (together with H. Nooshin), the space frame over the Spanish Government Hydraulic Research Laboratory in Madrid, Spain (together with H. Nooshin) and the Unibat double-layer grid over the freight terminal for the RAF at Mildenhall.



Il. 5. Studenci DIC H. Nooshin i D. Sarna razem z Z.S. Makowskim testują jedną z jednostek konstrukcji skorupowej pod obciążeniem grawitacyjnym w Imperial College, 1962 r. (źródło: Space Structures Research Centre Archives, University of Surrey)

Fig. 5. DIC students H. Nooshin and D. Sarna together with Z.S. Makowski, testing one of the stressed-skin units under gravity load at the Imperial College, London, 1962 (source: Space Structures Research Centre Archives, University of Surrey)

lonów wystawowych w Nancy we Francji, które przekryte są prefabrykowanymi dwuwarstwowymi kratownicami, trójstronną kratę nad stadionem King Hussein Sports Stadium w Ammanie w Jordanii (wspólnie z H. Nooshinem), a także przestrzenną ramę nad Laboratorium Badań Hydraulicznych Rządu Hiszpanii w Madrycie (Spanish Government Hydraulic Research Laboratory) (wspólnie z H. Nooshinem), jak również dwuwarstwowy ruszt Unibatponad terminalem frachtowym dla RAF-u w Mildenhall.

Jako konsultant Engineers India Ltd. Profesor Makowski (razem z P. Mullordem) przeprowadził analizę oraz wykonał projekt i uczestniczył w budowie ogromnej kopuły pokrywającej Stadion Indraprastha (Indira Gandhi Stadium) w New Delhi, wzniesiony na IX Igrzyska Azjatyckie w 1982 r. Konstrukcja stalowa ma rozpiętość



Il. 6. Nodus Centre (Uniwersytet w Surrey) w trakcie budowy, 1972 (źródło: Space Structures Research Centre Archives, University of Surrey)

Fig. 6. Nodus Centre during construction at the University of Surrey, 1972 (source: Space Structures Research Centre Archives, University of Surrey)

As a consultant to the Engineers India Ltd., Professor Makowski (together with P. Mullord) was involved in the analysis, design and construction of the huge dome covering the indoor of the Indraprastha Stadium (Indira Gandhi Stadium) in New Delhi, erected for the IX Asian Games 1982. This steel structure has a clear span of 150 m and is the largest of its kind in the whole of India.

In 1968, Professor Makowski was appointed as the structural consultant to BOAC and having formed his firm of Z.S. Makowski and Associates, he was responsible for the construction of two aircraft hangars at the London Airport, Heathrow, covered with prefabricated diagonal steel grids having a clear span of 153 m (Fig. 8).

Prizes, medals and honours

Professor Makowski received many prizes and honours, some of the more important one of these are:

In 1971, for the design of the hangars, he received the Special Prize awarded by the Institution of Structural Engineers and in 1972 a prize from the British Steel Corporation and the British Constructional Steelwork Association – the judges described the hangars as “superb pieces of engineering design, integrating structure and services”.

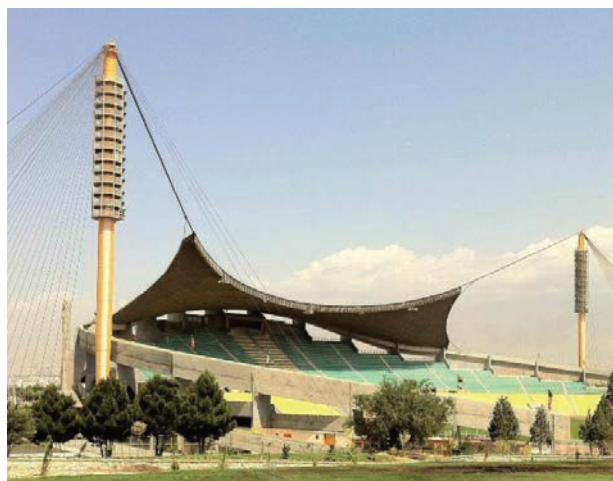
In 1974, he received the Golden Wing Prize from the International Club of Plastics Experts in recognition of his contribution to research on the structural applications of plastics material.

In 1977 he received the Queen’s Jubilee Medal for his work on Space Structures.

In 1980 he was admitted into the Freedom of the City of London.

In 1982, in recognition of his contribution to the advancement of Science and Technology, he was awarded the Fellowship of the City and Guilds of London Institute.

In 1983, he was elected a fellow of the Fellowship of Engineering.



Il. 7. Stadion sportowy Takhti (Farahabad) w Teheranie oddany do użytku w 1974 r. (© Omidali Samavati)

Fig. 7. Takhti (Farahabad) Sports Stadium in Tehran, Iran, opened in 1974 (© Omidali Samavati)



Il. 8. Hangar 01 do konserwacji samolotów Boeing 747 na lotnisku Heathrow w Londynie: a) schematyczny widok hangaru z góry, b) dźwigar grzbietowy i fryzowy w trakcie konstrukcji, c) wejście do hangaru (źródło: Space Structures Research Centre Archives, University of Surrey)

Fig. 8. Jumbo Jet Maintenance Hangar 01 at Heathrow Airport, London, UK: a) a schematic plan view of the Hangar, b) spine girder and fascia girder during the construction, c) entrance to the Hangar (source: Space Structures Research Centre Archives, University of Surrey)

150 m i jest największą tego rodzaju konstrukcją w całych Indiach.

W roku 1968 Profesor Makowski został mianowany na stanowisko konsultanta ds. konstrukcji dla BOAC (British Overseas Airways Corporation) i po założeniu swojej firmy Z.S. Makowski and Associates był odpowiedzialny za budowę dwóch hangarów lotniczych na lotnisku Heathrow w Londynie, które zostały pokryte prefabrykowanymi diagonalnymi stalowymi rusztami o rozpiętości 153 m (il. 8).

Nagrody, medale i wyróżnienia

Profesor Makowski otrzymał wiele nagród i wyróżnień, z których najważniejszymi są wymienione poniżej.

W 1971 r. za projekt hangarów otrzymał nagrodę specjalną przyznaną przez Instytut Inżynierów Konstrukcyjnych (Institution of Structural Engineers), a w roku 1972 nagrodę od Brytyjskiej Korporacji Stali (British Steel Corporation) i Brytyjskiego Stowarzyszenia Konstrukcji Stalowych (British Constructional Steelwork Association) – jurorzy określili te hangary jako „znakomite przykłady projektu technicznego oraz konstrukcji zintegrowanej z instalacjami”.

W roku 1974 otrzymał nagrodę Golden Wing przyznaną przez Międzynarodowy Klub Ekspertów Tworzyw Sztucznych w uznaniu jego zasług przy badaniach nad konstrukcyjnym zastosowaniem tworzyw sztucznych.

W 1977 r. otrzymał Medal Królowej (Queen's Jubilee Medal) za prace nad konstrukcjami przestrzennymi.

W 1980 r. przyznano mu tytuł honorowego obywatela miasta Londynu.

W 1982 r. w uznaniu jego wkładu na rzecz rozwoju nauki i technologii przyznano mu tytuł Fellowship of the City and Guilds of London Institute.

W roku 1983 został wybrany na wykładowcę Stowarzyszenia Inżynierów.

W 1986 r. Profesor Makowski otrzymał honorowe członkostwo Międzynarodowego Stowarzyszenia Konstrukcji Powłokowych i Przestrzennych (International Association for Shell and Spatial Structures – IASS) podczas sympozjum Stowarzyszenia w Osace w Japonii. Podczas tej ceremonii Przewodniczący IASS, prof. Yoshikatsu Tsuboi

In 1986, Professor Makowski received the Honorary Membership of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) during the Association's symposium in Osaka, Japan. During the ceremony, the President of the IASS, Professor Yoshikatsu Tsuboi, said that the conferment of the IASS Honorary Membership to Professor Makowski is a formal recognition of the leading role which he played over the years in the field of Space Structures.

In 1989, the Honorary Doctorate of the Warsaw University of Technology (WUT) was awarded to Professor Makowski.

Publications

Professor Z.S. Makowski is the author of over 140 papers, published in English, French, German, Italian, Spanish, Dutch, Polish, Japanese and Chinese.

He wrote a book on *Steel Space Structures*, published in 5 languages, reprinted several times since its original publication in 1963.

He is the Editor of three important books – *Analysis, Design and Construction of Double-layer Grids*, published in 1981, (English and American editions), *Analysis, Design and Construction of Braced Domes*, (1984, also in English and American editions), as well as the *Analysis, Design and Construction of Braced Barrel Vaults*, published in 1985.

During the period 1985–2005 he was, together with Professor H. Nooshin, the Editor of the “International Journal of Space Structures”.

Conferences

Professor Makowski had always placed special emphasis on the relationship between engineers, architects and industrial designers. Himself, he was in close contact with the companies involved in development of spatial structures (Fig. 9). He was very well-known through his lectures and seminars on space structures conducted at numerous universities (Fig. 10). He has been invited to give lectures not only at departments of civil or structural engineering, but also by schools of architecture.



Il. 9. Dr M. Mengerlinghausen z Profesorem Makowskim i dr. H. Eberlinem przed główną siedzibą MERO w Würzburgu (1982) [1]

Fig. 9. Dr M. Mengerlinghausen with Professor Makowski and Dr H. Eberlin in front of the MERO headquarters in Würzburg, Germany (1982) [1]

powiedział, że nadanie honorowego członkostwa Profesorowi Makowskiemu jest formalnym uznaniem jego wiodącej roli, jaką odgrywał przez wiele lat w dziedzinie konstrukcji przestrzennych.

W 1989 r. Profesor Makowski otrzymał tytuł doktora honoris causa Politechniki Warszawskiej.

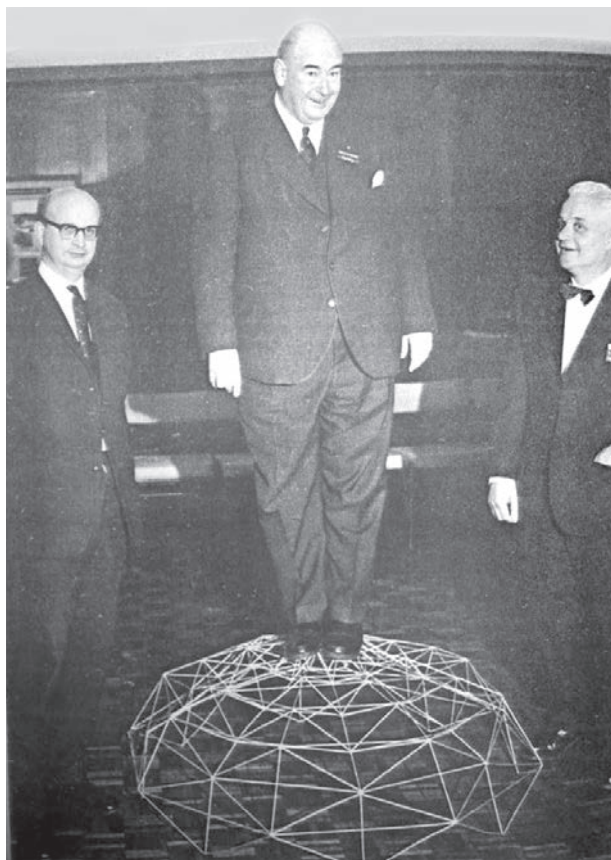
Publikacje

Profesor Makowski jest autorem ponad 140 prac wydanych w wielu językach, m.in. po angielsku, francusku, niemiecku, włosku, hiszpańsku, holendersku, polsku, japońsku i chińsku. Jedną z ważniejszych jest książka pt. *Stalowe konstrukcje przestrzenne*, która została opublikowana w pięciu językach i była wznawiana kilkanaście razy od daty pierwszego wydania w 1963 r. Jest też redaktorem trzech istotnych zbiorów pt.: *Analiza, projekt i konstrukcja dwuwarstwowych krat* (1981; wydanie brytyjskie i amerykańskie), *Analiza, projekt i konstrukcja wzmocnionych kopuł* (1984, także wydanie brytyjskie i amerykańskie), jak również *Analiza, projekt i konstrukcja wzmocnionych sklepień kolebkowych* (1985).

W latach 1985–2005 wraz z prof. H. Nooshinem był redaktorem „International Journal of Space Structures” (międzynarodowe czasopismo na temat konstrukcji przestrzennych).

Konferencje

Profesor Makowski zawsze przykładął wielką wagę do wzajemnych relacji między inżynierami, architektami i projektantami przemysłowymi. Osobiście był w bliskim kontakcie z firmami zaangażowanymi w rozwój konstrukcji przestrzennych (il. 9). Słynął ze swoich wykładów



Il. 10. „Test praktyczny” drucianego modelu dwuwarstwowej kopuły autorstwa dr. J.S. Blaira ze Stewarts and Lloyds Ltd, z udziałem Profesora Makowskiego i Stefana du Château podczas konferencji na temat konstrukcji budowlanych z elementów rurowych w Corby [1]

Fig. 10. “Practical” test of a wire model of a double-layer dome by Dr J.S. Blair, of Stewarts and Lloyds Ltd, with Professor Makowski and Stéphane du Château during the conference on tubular structural engineering, Corby, 1965 [1]

He had extensive experience in organising conferences and residential short courses. He was a member of various organising committees, advisory board of liaison committees responsible for major international symposia on space structures (Fig. 11).

He had a major role in organising five important international conferences on space structures which were held at the University of Surrey [3], [4].

The proceeding of the first conference, held in 1966, edited by R.M. Davies, the second one in 1975, edited by W.J. Supple, the third one in 1984, edited by H. Nooshin, the fourth one in 1993, edited by G.A.R. Parke together with C.M. Howard and the fifth one in 2002, edited by G.A.R. Parke and P. Disney. These proceedings are recognized as major contributions to the development of space structures technology and architecture. The first conference brought over 700 participants from 44 countries, the second, some 400 engineers from 51 countries, the third one over 500 engineers and architects from 63 countries, the fourth, some of 400 participants and the fifth one over 400 engineers and architects.

For a number of years Professor Makowski was a member of the Engineering and Technology Advisory

dów i seminariów na temat konstrukcji przestrzennych, prowadzonych na wielu uniwersytetach (il. 10). Był zapraszany do wygłaszania wykładów nie tylko w katedrach inżynierii lądowej, ale także na wydziałach architektury.

Miał on olbrzymie doświadczenie w organizacji konferencji i krótkich kursów wyjazdowych. Był członkiem różnych komitetów organizacyjnych oraz ciał doradczych wspólnych komisji odpowiedzialnych za ważne międzynarodowe sympozja pracujące nad konstrukcjami przestrzennymi (il. 11). Odegrał wiodącą rolę w zorganizowaniu na Uniwersytecie w Surrey pięciu ważnych międzynarodowych konferencji na temat konstrukcji przestrzennych [3], [4].

Materiały z pierwszej z tych konferencji, która odbyła się w 1966 r., zostały wydane przez R.M. Daviesa, z drugiej w 1975 przez W.J. Supple'a, z trzeciej w 1984 przez H. Nooshina, z czwartej w 1993 przez G.A.R. Parke'a wspólnie z C.M. Howardem, z piątej w 2002 przez G.A.R. Parke'a i P. Disneya. Materiały te są uważane za prace mające znaczący wkład w rozwój technologii konstrukcji przestrzennych i architektury. Pierwsza z tych konferencji zgromadziła ponad 700 uczestników z 44 krajów, druga około 400 uczestników z 51 krajów, trzecia ponad 500 inżynierów i architektów z 63 krajów, czwarta około 400 uczestników, a piąta ponad 400.

Przez wiele lat Profesor Makowski był członkiem Komisji Doradczej ds. Inżynierii i Technologii British Council, a ponadto członkiem Rady SEFI – Europejskiego Stowarzyszenia Edukacji Inżynierskiej (European Society for Engineering Education).

Epilog

Profesor Zygmunt Stanisław Makowski zmarł 5 listopada 2005 r.

Thumaczenie
Bogusław Setkiewicz



Il. 11. Profesor Z.S. Makowski, 1997 r. (źródło: Space Structures Research Centre Archives, University of Surrey)

Fig. 11. Professor Z.S. Makowski, 1997 (source: Space Structures Research Centre Archives, University of Surrey)

Committee of the British Council, as well as a member of Council of the SEFI (European Society for Engineering Education).

Epilogue

Professor Zygmunt Stanisław Makowski passed away November 5, 2005.

Bibliografia/References

- [1] Nooshin H., *Z.S. Makowski at Sixty Five*, The University of Surrey Publication, Guildford 1987, 165.
 [2] Douglas R., *SURREY The Rise of a Modern University*, University of Surrey, Guildford 1991, 214.
 [3] Pick C., *Understanding the Real World: A visual history of the University of Surrey*, The University of Surrey Press, Guildford 2002, 224.
 [4] Mitchell J., *The University of Surrey: A History of Shaping the Future*, University of Surrey, Guildford 2011, 258.

Podziękowanie

Pracownicy Archiwum Uniwersytetu w Surrey bardzo pomogli przy pracy nad niniejszym artykułem i należą się im wielkie wyrazy wdzięczności.

Acknowledgement

The Personnel of the Archives of the University of Surrey were very supportive for producing this paper and their contribution is gratefully acknowledged.

Streszczenie

Celem niniejszej pracy jest zaprezentowanie informacji na temat osobowości, życia oraz osiągnięć Profesora Zygmunta Stanisława Makowskiego (1922–2005) jako pioniera w dziedzinie konstrukcji przestrzennych. Przez 22 lata (od 1962 do 1984) był on szefem Katedry Inżynierii Lądowej Uniwersytetu w Surrey w Zjednoczonym Królestwie. Profesor Makowski założył także Centrum Badań Naukowych and Konstrukcjami Przestrzennymi na Uniwersytecie w Surrey (w maju 1963 r.) i w ciągu wielu lat praca tego Centrum zdobyła wielkie uznanie na arenie międzynarodowej.

Słowa kluczowe: Zygmunt Stanisław Makowski, Space Structures Research Centre, International Journal of Space Structures, Department of Civil Engineering of the University of Surrey

Abstract

The objective of this paper is to present information about the life, personality and the contributions of Professor Zygmunt Stanisław Makowski (1922–2005) as a pioneer in the field of Spatial Structures. He was the Head of the Department of Civil Engineering of the University of Surrey, in the United Kingdom, for 22 years (from 1962 to 1984). Professor Makowski also created the Space Structures Research Centre of the University of Surrey in May 1963, and the work of this Centre, over the years, has won a great deal of international recognition.

Key words: Zygmunt Stanisław Makowski, Space Structures Research Centre, International Journal of Space Structures, Department of Civil Engineering of the University of Surrey



René Motro*

„Węzły i struktury przestrzenne” – w holdzie Stefanowi du Château

“Nodes and Spatial Structures”, a tribute to Stéphane du Château

Wprowadzenie

Stefan du Château urodził się w Solvyczegodsku w 1908 r., a po drugiej wojnie światowej, aż do swojej śmierci w 1999 r., pracował we Francji.

Nie mam żadnych wątpliwości co do tego, że to on właśnie wprowadził mnie w świat struktur przestrzennych, znając moje zainteresowanie tym tematem. O ile dobrze pamiętam, pierwszy raz spotkaliśmy się w Szkole Architektury w Montpellier, gdzie uczyłem wytrzymałości materiałów. Trzy lata wcześniej, w roku 1966, uczestniczył w bardzo interesującej, pierwszej Międzynarodowej Konferencji nt. Struktur Przestrzennych w Guildfordzie, zorganizowanej przez Zygmunta Stanisława Makowskiego (il. 1). Stefan du Château był jednym z autorów uczestniczących w tym wydarzeniu; jego praca zatytułowana była *L'intégration de la pensée technique dans la création architecturale*. Została ona ujęta w części 7.: „Projekt: Przyszłość” [1]. Tytuł mówi wszystko. „Myśl techniczna”, „tworzenie”, „architektura” – te słowa dobrze opisują tego człowieka. Praca była napisana po francusku (autorzy tacy jak M. Mengerhausen i Y. Friedman również pisali artykuły konferencyjne w swoich językach ojczyźnych), ale Stefan du Château zawsze mówił po francusku i od czasu do czasu w latach następnych prosił mnie o tłumaczenie swoich wykładów.

W tamtych latach, tworzący jednocześnie wybitni projektanci, tacy jak Frei Otto i Eduardo Torroja, mogli pre-

Introduction

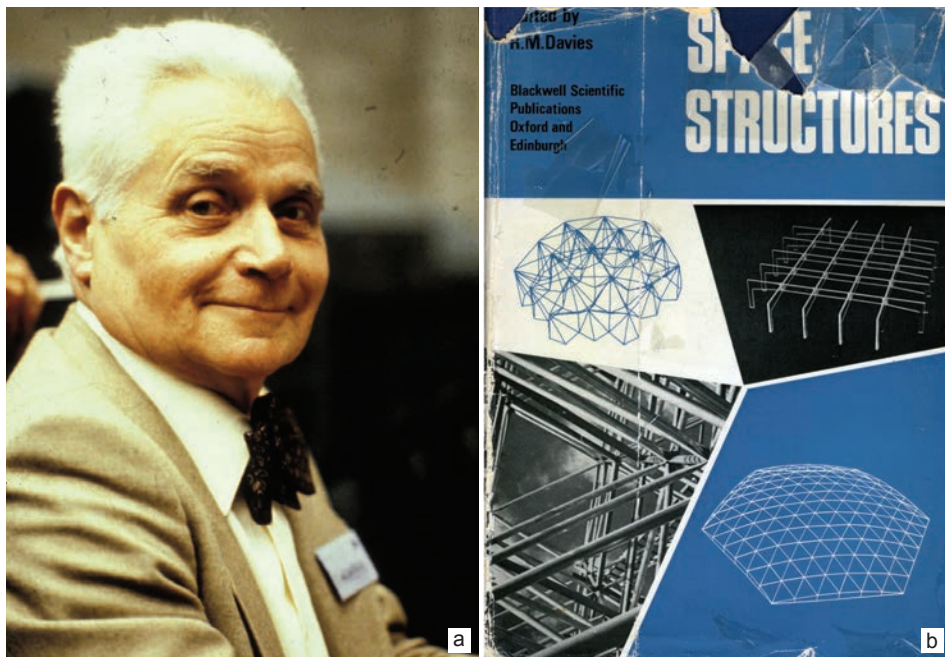
Stéphane du Château, was born in Solvychegodsk, in 1908, and after the second world war, worked in France, until his death in 1999.

He clearly introduced me in the world of spatial structures, knowing my personal interest for this field. As far as I remember we met for the first time in Montpellier at the School of Architecture where I taught strength of materials. Three years before, in 1966, he attended the first International Conference on Space Structures in Guildford, this conference was organized by Zygmunt Stanisław Makowski. The proceedings were very impressive (Fig. 1). Du Château was one of the authors who participated to this event, his paper was titled *L'intégration de la pensée technique dans la création architecturale*. It was included in the part 7 “Design: The Future” [1]. Everything is said in this title. “Technical thought”, “creation”, “architecture” these words described the man. The paper was written in French (and authors like M. Mengerhausen and Y. Friedman wrote in conference proceedings also in their own native language), but Stéphane du Château always spoke French, and from time to time, during the following years he asked me to translate his lectures.

It was in these years when simultaneously eminent designers, Frei Otto, Eduardo Torroja were able to submit innovative lightweight structures taking advantage of emerging numerical methods. In 1962 Nicolas Esquillan, the designer of the CNIT (Paris), organized the IASS¹ Symposium in the capital of France. This event was de-

* Uniwersytet w Montpellier, Francja/University Montpellier 2, Montpellier, France.

¹ International Association for Shell and Spatial Structures.



Il. 1. Stefan du Château (a),
okładka *Proceedings of the 1st*
International Conference on
Space Structures (b)
(fot. R. Motro)

Fig. 1. Stéphane du Château (a),
cover of *Proceedings of the 1st*
International Conference on
Space Structures (b)
(photo by R. Motro)

zentować swoje innowacyjne i lekkie struktury, korzystając z możliwości, które dawały nowe metody numeryczne. W roku 1962 Nicolas Esquillan, projektant związany z CNIT w Paryżu, zorganizował w stolicy Francji sympozjum International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)¹. Wydarzenie to było poświęcone „wiszącym dachom” i Frei Otto wygłosił swój pierwszy wykład pod tytułem „Einleitende Bemerkungen zum Kolloquium”.

International Association for Shell and Spatial Structures zostało założone trzy lata wcześniej przez Eduarda Torroję. Du Château namawiał mnie, żebym wstąpił do tego Stowarzyszenia. I tak też zrobiłem.

Wybitna osoba

Z pewnością niewielu ludzi miało możliwość zobaczyć go na konferencjach bez słynnej muszki, symbolu wytworności i szczerzej uprzejmości. Była ona symbolem jego głębokiego człowieczeństwa i kultury. Jako architekt z wykształcenia, zawsze głosił potrzebę dobrego zrozumienia istoty sprawy. Przywiązany był bardzo do języka francuskiego i uważał to za punkt honoru, aby zabierać głos w tym języku, upewniając się najpierw, że większość uczestników będzie mogła go zrozumieć. Prezentując swoje prace, zawsze korzystał ze slajdów, których całą kolekcję otrzymał później Uniwersytet w Montpellier dzięki mieszkającemu na południu Francji siostrzeńcowi Stefana. Architekt, inżynier, ale także malarz Stefan du Château był kimś, kogo określa się po francusku *un honnête homme*. Jego prace i życiorys dobrze opisał Tadeusz Barucki [2]. Nie trzeba przy tym dodawać, że biuro du Château w Paryżu było miejscem, gdzie jego rodacy zawsze mogli uzyskać pomoc i opiekę, której potrzebowali.

¹ Międzynarodowe Stowarzyszenie Konstrukcji Powłokowych i Przestrzennych.

voted to “Hanging Roofs” and Frei Otto gave his first lecture titled “Einleitende Bemerkungen zum Kolloquium”.

The International Association for Shell and Spatial Structures was founded three years earlier by Eduardo Torroja. Stéphane du Château urged me to join this Association, I did.

A distinguished person

Certainly few people saw him in conferences without his famous bow tie, symbol of distinction and sincere courtesy. This was the symbol of his deep humanity and culture. Educated as architect he always claimed the necessity to have a good understanding of the essence of the program. Attached to the French language, he made it a point of honor to make interventions in French, having made sure that a majority of the attending persons could understand him. He always presented his works with slides, and actually University of Montpellier received the whole collection of them, thanks to his nephew; lives in the south of France. Architect, engineer but also painter Stéphane du Château was in the French meaning *un honnête homme*. His works and curriculum are well described by Tadeusz Barucki [2]. Is it not necessary to say, that his office in Paris was the place where his fellow countrymen were insured to find the assistance and the welcome which they needed.

An imaginative engineer

Basic ideas

Stéphane du Château was one of the most productive engineers in the field of spatial structures during the second half of the 20th century. He was a specialist of tubular construction and worked in close relation with Zygmunt Stanisław Makowski who was established in London

Inżynier z wyobraźnią

Podstawowe idee

Stefan du Château był jednym z najbardziej produktywnych inżynierów w dziedzinie struktur przestrzennych 2. poł. XX w. Był specjalistą od wykorzystania rur do budowy konstrukcji i blisko współpracował z Zygmuntem Stanisławem Makowskim, który działał w Londynie (w Imperial College), a później także w Guildfordzie (w Space Structure Research Centre²). Różnica pomiędzy słowami „przestrzeń” a „przestrzenny” nie ma znaczenia w niniejszym tekście³. Stefan du Château był specjalistą w dziedzinie geometrii i potrafił projektować wszelkiego rodzaju struktury przestrzenne: ruszty dwuwarstwowe, sklepienia, systemy podwójnie zakrzywione..., ale zawsze szczególnie interesowały go dwa zagadnienia: węzły oraz proces uprzemysłowienia. Każdy, kto zajmował się strukturami przestrzennymi, wie, że kluczowym zagadnieniem do rozwiązania w tym zakresie jest projekt węzłów.

Węzły

- Rozwiązanie dwukierunkowe – Unibat

Na początku rozwoju badań nad rusztami dwuwarstwowymi większość z nich była dwukierunkowa. Miały one dwie równoległe warstwy – „górną” i „dolną” – z elementami wiążącymi pomiędzy nimi. Z geometrycznego punktu widzenia jednym z rozwiązań było uzyskanie względnego obrotu o 45° pomiędzy głównymi kierunkami warstwy górnej i warstwy dolnej, z których każda była kwadratową siatką. Stefan du Château był przekonany, że to bardziej efektywne niż rozwiązanie „kwadrat na kwadracie”. Potwierdzają to wyniki, które opublikowałem w 1975 r. [3]; ciężar własny został znacznie zmniejszony. Jestem wdzięczny Stefanowi du Château, Zygmunutowi Stanisławowi Makowskiemu i Hoshyarowi Nooshinowi, którzy zachęcili mnie do wykonania tej pracy podczas mojej wizyty w Centrum Badań Struktur Przestrzennych w Guildfordzie (1973).

Co było węzłem w takiej geometrii, w systemie Unibat? Nic, ponieważ nie ma żadnych części węzłowych w tej sieci dwuwarstwowej. Jest to stosowane w piramidach o podstawie kwadratowej, montowanych przy użyciu jednej poziomej śruby na rogach kwadratów, które stanowią warstwę górną (podstawę piramid). Pozostałe krawędzie piramidy są elementami usztywniającymi. Warstwa dolna jest najprostszą: elementy nie są docinane do wymiarów geometrycznych, całkowita długość rur jest zachowana, ale są one zgniatane w odpowiednich odległościach i przewiercane tak, aby wprowadzić w nie śrubę przechodzącą przez dwa elementy warstwy dolnej krzyżujące się pod

(at Imperial College), and then in Guildford, Surrey (at the Space Structure Research Centre). The difference between the two words “space” and “spatial” is meaningless in this paper. Stéphane du Château was a specialist of geometry and was able to design all kinds of spatial structures: double layer grids, vaults, double curved systems... However, he was always concerned with two problems: the node and the industrialization process. All people who were involved in spatial structures design, know that the main question to solve is the node design.

Nodes

- Bidirectional solution – Unibat

At the beginning of investigations into double-layer grids, most of them were bidirectional. They contained two parallel layers, “top” and “bottom” ones, and in between bracing members. Geometrically speaking one of the solutions was to get a forty five degrees relative rotation between the main directions of the top layer and the bottom layer, both being a square meshing. Stéphane du Château was convinced that it was more efficient than a “square on square” choice. This was confirmed by the results that I published in 1975 [3]; self-weight was significantly reduced. I am indebted to Stéphane du Château, Zygmunt Stanisław Makowski and Hoshyar Nooshin who urged me to do this work, when I visited the Space Structures Centre in Guildford (1973).

Which was the node for this geometry, for this Unibat system? None, since there are no node parts for this double layer grid. It is realized with square pyramids that are assembled by a single horizontal bolt at the corners of the squares that constitute the upper layer (basis of the pyramids). The other edges of the pyramid are the bracing members. The bottom layer is the simplest that can be found: members are not cut to meet the geometrical sizes, the whole length of tubes is kept, but they are crushed at necessary distances and drilled so as to introduce a bolt through two bottom layer members crossing at 90°, and the apex of the pyramid where four bracing members are joined. It can be said that this is a solution without nodes, or with bolts as nodes: the simplest solution that could be found.

Lightness and transparency result from this design. In 1976, I organized a colloquium on structures in Montpellier [4], and for this event we assembled two double layer grids so as to constitute a kind of vault inside our University (Fig. 2).

- Three directional solutions

Stéphane du Château was also aware of the structural efficiency of the double curved system and realized what he called a “three directional” cupola in Grandval with a very clever molded steel node. This cupola has a diameter equal to 42 m. The radius of the complete sphere is equal to 40 m. With a sag of 6 m, the total length of members is 2,136 m, and there are 313 nodes.

Stéphane du Château was convinced by the rigidifying effect of the double positive curvature, and simultaneously by the efficiency of the three-directional orientation of the members that was also in accordance with the

² Centrum Badań Struktur Przestrzennych.

³ W języku angielskim konstrukcje przestrzenne określa się terminem „spatial structures”. Jednak Z.S. Makowski używał także określenia „space structures” i założony przez niego ośrodek badawczy nazywa się Space Structures Research Centre. Ten drugi termin jest obecnie używany przede wszystkim w kontekście prac tego ośrodka.

kątem 90° oraz na wierzchołku piramidy, gdzie połączone są cztery elementy wiążące. Można powiedzieć, że jest to rozwiązanie bez węzłów lub ze śrubami stanowiącymi węzły; najprostsze możliwe rozwiązanie.

Taki projekt daje lekkość i przejrzystość. W roku 1976 zorganizowałem w Montpellier kolokwium na temat struktur [4] i na to wydarzenie zmontowaliśmy dwa ruszty dwuwarstwowe, które tworzyły rodzaj sklepienia na terenie naszego Uniwersytetu (il. 2).

- Rozwiązania trójkierunkowe

Stefan du Château zdawał sobie sprawę ze strukturalnej efektywności zastosowania systemu podwójnie zakrzywionego i w Grandval zrealizował coś, co nazwał kopułą „trójkierunkową” z bardzo pomysłowo uformowanym stalowym węzłem. Ta kopuła ma średnicę 42 m. Promień całej kuli sięga 40 m. Przy strzałce 6 m, łączna długość elementów to 2136 m, a węzłów jest 313.

Du Château był przekonany o usztywniającym działaniu podwójnej krzywizny dodatkowo oraz jednocześnie o efektywności trójkierunkowej orientacji elementów, która dodatkowo była zgodna z trójkątnym rzutem obiektu. Problemem, który musiał rozwiązać, była siatka o powierzchni podwójnie zakrzywionej. Warto podkreślić, że z geometrycznego punktu widzenia nie jest łatwo ustalić długość każdego elementu. Nawet jeśli trójkąty wyglądają podobnie, w rzeczywistości takie nie są, a w tamtych czasach nie było odpowiedniego oprogramowania wspomagającego projektanta. Ale zasada opiera się na trzech krzyżujących się ze sobą sześciokątnych regularnych łukach oraz trójkątnym oddzieleniu pomiędzy nimi.

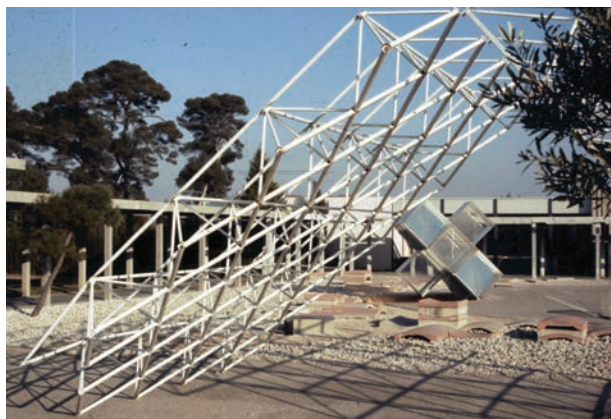
Projektanci radzili sobie z tym wyzwaniem, budując modele fizyczne w małej skali oraz mierząc długość każdego elementu takiego modelu. Nie było to jednak zbyt precyzyjne, a jednym z ograniczeń projektowania węzłów była możliwość zmiany długości poszczególnych elementów podczas samej realizacji. Konieczne było również znalezienie sposobu na uzyskanie systemu podwójnie zakrzywionej. Stefan du Château zaprojektował i opatentował „węzeł SDC”.

System SDC rozwiązuje trzy główne problemy w taki sposób, że:

- do każdego węzła może dochodzić sześć elementów;
- dołączając odpowiednią liczbę rur wewnątrz węzła, problem ograniczenia długości zostaje rozwiązany. Wszystkie elementy mogą mieć ten sam rozmiar, różnice są niwelowane poprzez zmianę długości poprzez wsunięcie do węzła;
- krzywizna jest możliwa, ponieważ przestrzeń wewnątrz węzła umożliwia zapewnienie wymaganego nachylenia elementów (wystarczy zaledwie kilka stopni).

Po uzyskaniu przez projekt odpowiedniej geometrii, następnym krokiem jest wybór sposobu realizacji. Głównym sposobem realizacji jest spawanie: węzeł składa się z dwóch części zespawanych ze sobą przy prawidłowym ułożeniu elementów spełniającym ograniczenia geometryczne wymiarów i kątów. Mniejsze grupy elementów są łączone na ziemi, a następnie włączane do całej struktury przestrzennej.

Jeśli chodzi o płaskie podwójne sieci trójkierunkowe, warto może również opisać inne rozwiązanie za-



Il. 2. Dwa ruszty dwuwarstwowe zmontowane na terenie ogrodu Uniwersytetu (fot. R. Motro)

Fig. 2. Two assembled double layer grids inside the University garden (photo by R. Motro)

triangular in plane shape. He had to solve the meshing of the double curved surface. It is worth saying that geometrically speaking it is not easy to determine the length of every member. Even if triangles look similar they are not, and in those times there was no form-finding software to help the designer. But the principle relies on three intersecting hexagonal regular arches, and in between a triangular partition.

But designers used to build physical models in small-scale and to measure the length of every member of this model. The precision was not achieved exactly, and one of the constraints for the node design was to allow length modification during the realization itself. It was also necessary to find a way to get a double curvature system. Stéphane du Château designed and patented the “SDC node”.

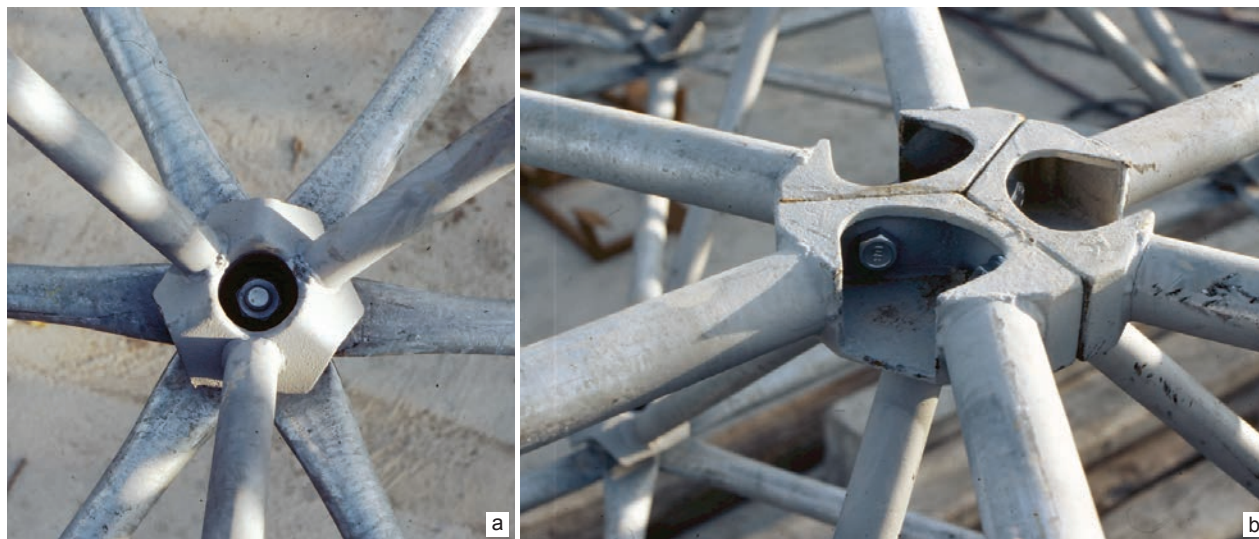
The three main problems are solved in SDC system in such a way that:

- every node can receive six members;
- by adding an appropriate number of tubes inside the node, the length constraint is solved. All members can be of the same size, the variations are absorbed by the penetration length inside the node;
- the curvature is possible since the space inside the node allows providing the required inclination of the members (only some degrees are sufficient).

Once the design has achieved proper geometry, the following step is to choose a realization process. Welding is the main method governing this process: the node is molded in two parts that are welded together when members are correctly in place meeting the geometrical constraints of size and angles. Subgroups of members are realized at ground level and then included in the whole spatial structure.

As far as three directional flat double grids are concerned, it can be also useful to describe another solution designed by Stéphane du Château for a three directional double layer, built in Nîmes, close to the highway.

The design principle chosen by Stéphane du Château is similar to bidirectional solutions presented above: tubes are crushed and drilled (bottom layers), and in this case specific pieces are designed for joining members of the



Il. 3. Sieć trójkierunkowa: a) węzeł warstwy dolnej, b) węzeł warstwy górnej (fot. R. Motro)
Fig. 3. Three directional grid: a) bottom layer “node”, b) top layer “node” (photo by R. Motro)

projektowane przez du Château dla trójkierunkowej warstwy podwójnej wybudowanej w Nîmes niedaleko autostrady.

Zasada projektowania wybrana przez niego jest podobna do rozwiązań dwukierunkowych przedstawionych powyżej: rury są gniecione i przewiercane (warstwy dolne) i w tym przypadku poszczególne elementy są zaprojektowane dla elementów łączących warstwę dolną zaledwie jedną śrubą. Na warstwie górnej siatka jest trójkątna i potrzebne są trzy śruby na każdym węźle (il. 3). Projekt węzła musi brać pod uwagę nie tylko fizyczne występowanie danego elementu, węzła, ale również wszystkich powiązanych ograniczeń, od uprzemysłowienia jego produkcji, aż do zastosowania specjalnie przystosowanych narzędzi, dla których trzeba pozostawić miejsce. „Otwory”, które są widoczne w węzłach warstwy górnej, umożliwiają wprowadzenie klucza do dokręcenia śrub.

- Węzeł kulisty – Spherobot

Mimo że Unibat był rozwiązaniem udanym, okazało się, że realizacje Stefana du Château potrzebują innego systemu węzłów i elementów, który będzie można łatwiej transportować niż piramidy. Na szczęście wszyscy specjaliści w tamtych czasach znali skuteczne zastosowanie tzw. węzła Mero, a w konkursie na projekt lotniska w Baltimore (1975) amerykańscy architekci chętnie wykorzystali węzły kuliste. Stefan du Château zaprojektował kulę z wierconymi otworami, w której mogły schodzić się elementy. Po jakimś czasie badania nad węzłem kulistym umożliwiającym montaż elementów, bez względu na ich wzajemne położenie, pozwoliły na zastosowanie węzła kulistego, składającego się z dwóch części: jednej stanowiącej jedną trzecią kuli i drugiej stanowiącej dwie trzecie kuli.

Jeden osiowy łącznik jest wykorzystywany do połączenia dwóch części węzła. Śruby z łbem imbusowym służą do połączenia prętów z węzłem. Możliwe jest również wykonanie prętów z końcówką stożkową (il. 4).

bottom layer with again only one bolt. On the upper layer, the mesh is triangular and three bolts are necessary at each node (Fig. 3). The node’s design must include not only the physical existence of this specific piece, the node, but also all the surrounding constraints, from its industrialization to their implementation by the use of adapted tools for which it is necessary to make way. The “holes” that appear on the top layer are used to introduce the tools that are applied to tighten the bolts.

- Spherical node – Spherobot

Even if Unibat was successful it appeared that du Château’s realizations needed another system with nodes and members, which are easier to transport than pyramids. And all specialists knew the success of the so-called Mero node in those years. Taking advantage of the contest for the Baltimore airport (1975), American architects were willing to use spherical nodes. Du Château designed a drilled sphere that could receive the members. Some time after the research for a spherical node enabling the assembly of members whatever their relative positions, ends in a spherical node assembled in two pieces: one is one third of the sphere, the second one is two-thirds of the sphere.

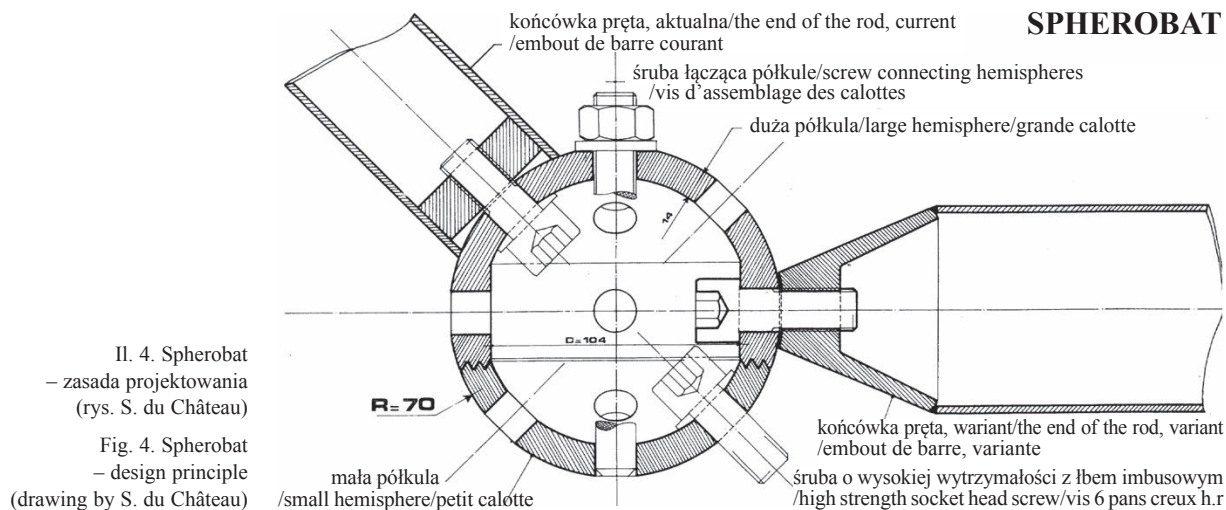
One axial node is used to assemble the two pieces, socket head cap screws are used to assemble the members to the node itself. Conical rod end housings can also be manufactured for some members (Fig. 4).

Industrialization and patents

Stéphane du Château patented many systems. Pyramitec, Tridimatec, Unibat, Spherobot are some of them.

He is also the author of around two hundred and fifty projects based on nodes’ patents. A comprehensive list of these projects can be found in the thesis submitted by Claudia Estrela Porto [5].

- Three constraints governed the design:
- simple manufacturing in factory,

SPHEROBAT

II. 4. Spherobat
– zasada projektowania
(rys. S. du Château)

Fig. 4. Spherobat
– design principle
(drawing by S. du Château)

Uprzemysłowienie i patenty

Stefan du Château opatentował wiele systemów konstrukcyjnych, np. Pyramitec, Tridimatec, Unibat czy też Spherobat. Jest on również autorem około 250 projektów opartych na opatentowanych węzłach. Wyczerpującą listę tych projektów można znaleźć w pracy Claudii Estreli Porto [5].

Istniały trzy wymagania projektowe:

- prosta produkcja w fabryce,
- łatwy transport i składowanie (il. 5),
- uproszczony montaż.

W czasie całego procesu projektowego Stefan du Château współpracował z Zygmuntem Stanisławem Makowskim, który wykonał analizy numeryczne jego struktur oraz w niektórych przypadkach badania eksperymentalne. Ta współpraca była bardzo owocna podczas prac innowacyjnych.

Niestrudzony obrońca struktur przestrzennych

Stefan du Château pracował z najsłynniejszymi inżynierami i architektami na całym świecie. Konsultował się z nim np. Frei Otto w związku ze składaną membraną w Cannes we Francji. Maszt, wykonany w tym obiekcie

- easy transport and storage (Fig. 5),
- simplified implementation.

All along his design process Stéphane du Château worked with Zygmunt Stanisław Makowski, who made numerical analyses of his structures and for some cases experimental tests. This collaboration was very fruitful during this period of innovation.

A tireless defender of spatial structures

Du Château worked with the most famous engineers and architects in the whole world. He was consulted by Frei Otto for a foldable membrane in Cannes, France (Fig. 6), certainly one of the first foldable membrane projects. The first central mast buckled and a new one was designed by Stéphane du Château.

Founder of many associations, Stéphane du Château tried to unify the action of French designers namely in his IRASS (Institut de Recherche et d'Applications des Structures Spatiales) where famous engineers and architects exchanged their ideas. Paul Maymont, Jean Cesselin (for cable nets), Yona Friedman (architecture), Yves Chaperot (policorolles), Robert Lourdin (timber spatial structures) were some of them. We organized together several events in France in order to publicize spatial structures, namely



II. 5. Komponenty przemysłowe: a) elementy warstwy dolnej, b) piramidy tworzące warstwę górną i środkową (fot. R. Motro)

Fig. 5. Industrialized components: a) elements of the bottom layer, b) pyramids composing the upper and middle layer (photo by R. Motro)

według pierwotnego projektu, uległ wyboczeniu i du Château zaprojektował nowy (il. 6).

Założyciel wielu stowarzyszeń, Stefan du Château, próbował zjednoczyć działania francuskich projektantów w swoim Instytucie IRASS (Institut de Recherche et d'Applications des Structures Spatiales), gdzie wymieniali poglądy znani inżynierowie i architekci, tacy jak Paul Maymont, Jean Cesselin (konstrukcje cięgnowe), Yona Friedman (architektura), Yves Chaperot (polycorolles), Robert Lourdin (drewniane struktury przestrzenne). Razem ze Stefanem du Château zorganizowaliśmy kilka imprez we Francji (w Paryżu, Lyonie i Rennes) w celu spopularyzowania struktur przestrzennych. Stefan zaprosił nawet do Paryża Feliksa Candelę i był bardzo dumny z tego, że mógł go uhonorować. Wszystkie regularne spotkania IRASS odbywały się w jego biurze w Paryżu 15 rue Hégésippe Moreau.

Christel Frapier opisał niektóre z jego działań w pracy opublikowanej przez „International Journal of Space Structures” [6].

Grupa ta utrzymywała również kontakty z Robertem Le Ricolais'm (il. 7). Ale on miał specyficzną sytuację. Niestety we Francji nie mógł on znaleźć niezbędnego kontekstu merytorycznego ani wsparcia finansowego dla swoich badań i przeniósł się do Filadelfii.

Robert Le Ricolais nie był w stanie dalej prowadzić badań we Francji, mimo że wiele oddanych mu osób próbowało mu pomóc, jednak z niewielkim sukcesem. Należy tutaj wspomnieć Davida Georges'a Emmericha i jego próby powołania do życia Warsztatu Badań Strukturalnych, gdzie Le Ricolais mógłby kontynuować swoje prace. Kiedy ostatni raz uczestniczył on w działaniach tej grupy zagorzałych zwolenników (IRASS), tak o tym mówił, w relacji Henri Drevona w styczniu 1977 r.:

Le Ricolais, który zabrał ze sobą dwóch swoich uczniów, donosił o zadaniach, które były mu przydzielane



Il. 6. Od lewej: Stefan du Château i Frei Otto (archiwum S. du Château)

Fig. 6. From the left: Stéphane du Château and Frei Otto (S. du Château archive)

in Paris, Lyon and Rennes. He invited to Paris Felix Candela, and was very proud to honor him. All the IRASS regular meetings were held in his office in Paris 15 rue Hégésippe Moreau.

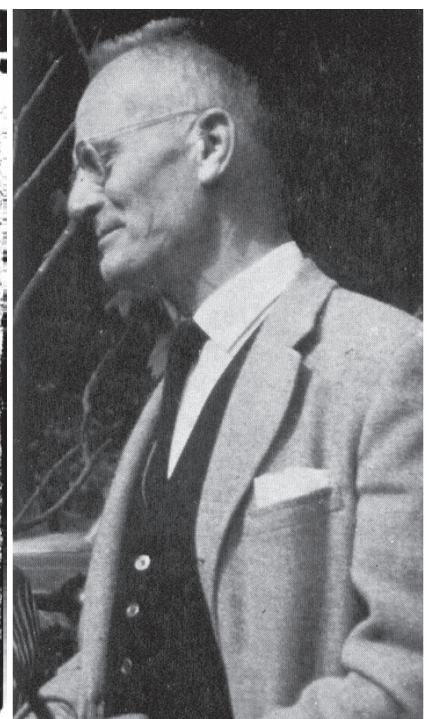
Christel Frapier described some of his activities in a paper published by the “International Journal of Space Structures” [6].

This group was also maintained contacts with Robert Le Ricolais (Fig. 7). But he had a specific role. Unfortunately he could not find the necessary context and the financial support for his researches in France and migrated to Philadelphia.

Robert Le Ricolais was unable to further his research in France, but many of his devotees endeavored to help him to do so, unfortunately with little success. Reference must be made here of the action of David Georges Emmerich who tried to set up a Structural Research Workshop that could have welcomed Le Ricolais. The last time he participated in this fervent group of followers (IRASS)

Il. 7. „Zawsze wradzające się na nowo w siebie” – Le Ricolais (fot. R. Motro)

Fig. 7. “Always reborn into itself” – Le Ricolais (photo by R. Motro)



w USA. Żałuje on, że lekarze nie pozwalają mu więcej pracować i że nie może znaleźć organizacji we Francji, która umożliwiłaby mu realizację tego zadania. Wiąże się to m.in. z przywiezieniem („repatriacją”) wspaniałych modeli wykonanych z jego uczniami w Filadelfii, co umożliwiłoby zorganizowanie wspaniałej wystawy w Centrum Pompidou.

Dalej pisze, że:

Propozycja uhonorowania Le Ricolais’go poprzez przekształcenie IRASS w Le Ricolais Foundation została owacyjnie i jednogłośnie przyjęta [7].

Nie jest niczym dziwnym, że tak zwany „Instytut IRASS” stał się w końcu „Instytutem Roberta Le Ricolais’go”.

Niestrudzony propagator struktur przestrzennych, Stefan du Château, uczył w wielu szkołach architektury, rozbudzając zainteresowanie wśród młodych ludzi, i organizował spotkania naukowe. Miałem szansę razem z nim uczestniczyć w takich wydarzeniach [8].

W związku z tym poprosiłem go, aby został honorowym prezesem seminarium naukowego na temat morfologii strukturalnej, które zorganizowałem na południu Francji (il. 8) [9]. Jednocześnie możliwe było zorganizowanie dwóch wystaw, jednej poświęconej Robertowi Le Ricolais’mu, a drugiej jego bliskiemu przyjacielowi Stefanowi du Château. W obu przypadkach zaprezentowaliśmy modele ich projektów i badań.

Podsumowanie

Stefan du Château był niewątpliwie jednym z liderów w dziedzinie struktur przestrzennych w 2. poł. XX w. Był projektantem, architektem, obrońcą struktur przestrzennych, nauczycielem, człowiekiem o wielkiej fachowej wiedzy. Miałem honor i przywilej pracowania z nim w wielu różnych okolicznościach, a także okazję do poznania jego charakteru, który cechuje jego głęboki humanizm.

Ponadto otrzymałem od jego siostrzeńca wspaniały zbiór slajdów i teraz stoi przede mną zadanie udostępnienia tej kolekcji szerszej publiczności oraz skoordynowania moich działań z działaniami Polaków pracujących w Fundacji Krystyny i Stefana Du Château w Hrubieszowie.

*Tłumaczenie
Tadeusz Szalamacha*



Il. 8. Okładka katalogu wystawy z 1992 r.

Fig. 8. S. du Château Exhibition Catalog 1992

he spoke in these terms, as related by Henri Drevon in January 1977:

Le Ricolais, who had taken two of his students with him, reported on the missions always assigned to him in the USA. He regrets that the doctors do not allow him to do more and that he has been unable to find an organization in France that would enable him to pursue his task. This entails, among other things, repatriating the impressive set of models made with his students in Philadelphia, which would put up a very good show in Pompidou Center.

Further he writes:

The proposal to honor Le Ricolais by transforming the IRASS into a Le Ricolais Foundation is adopted unanimously and with an ovation [7].

It is not surprising that the so-called “IRASS” became at the end the “Robert Le Ricolais Institute”.

Tireless propagator of spatial structures, Stéphane du Château taught in many schools of architecture, increasing the curiosity of young people, organized several scientific meetings. I had the chance to share these experiences with him [8].

Consequently I asked him to be the honorary chairman of a scientific seminar on structural morphology that I organized in the south of France (Fig. 8) [9]. It was simultaneously possible to organize two exhibitions one devoted to Robert Le Ricolais, and one to his close friend Stéphane du Château. In both cases we could exhibit models from their projects and studies.

Conclusion

Stéphane du Château was undoubtedly one of the leaders in the field of space structures during the second half of the 20th century. Designer, architect, space structures defender, teacher, he was a multiple expertise man. I had the honor and privilege to work with him in many circumstances and had the opportunity to discover his deep humanity.

I also received a wonderful collection of slides from his nephew, and my task is now to give access to this collection, and to coordinate my action with Polish people in charge of his foundation in Hrubieszów.

Bibliografia/References

- [1] Du Château S., *L'intégration de la pensée technique dans la création architecturale*, [w:] R.M. Davies (ed.), *Proceedings of the First International Conference on Space Structures*, Blackwell Scientific Publications, London 1966, 1180–1198.
- [2] Barucki T., *Stéphane du Château*, Kanon, Warszawa 1995.
- [3] Motro R., *Optimisation de Structures Spatiales et application à des grilles à double nappe* (2 vol.), Thèse de Docteur Ingénieur. Université Paul Sabatier, Toulouse 1975.
- [4] Motro R. (ed.), *Colloque Recherches en Structures: Bilan et Perspectives*, Université Montpellier II, Montpellier 1976.
- [5] Estrela Porto C., *L'évolution des Structures Spatiales à travers l'œuvre de Stéphane du Château*, Thèse Université Paris 1, Paris 1993.
- [6] Frapier C., *Stéphane du Château*, „International Journal of Space Structures” (Special Issue *The pioneers of Space Structures*), 2006, Vol. 21, No. 1, 53–59.
- [7] Unpublished report of IRASS meeting. Personal correspondence between H. Drevon and R. Motro.
- [8] Motro R., Wester T., *Proceedings of the first International Seminar on Structural Morphology*, Montpellier 1992.
- [9] Motro R. (ed.), *Structural Morphology by R. Le Ricolais and S. du Château*, Katalog wystawy/Catalog of the exhibition, Montpellier 1992.

Streszczenie

Twórczość Stefana du Château jest wyraźnie wpisana w rozwój myśli architektonicznej 2. poł. XX w. Opracował on kilka systemów struktur przestrzennych w oparciu o pomysły projekt węzłów, które wszystkie zostały opatentowane. Ponad 250 jego projektów zostało w pełni zrealizowanych. Oprócz tego Stefan du Château założył kilka stowarzyszeń, aby przyciągnąć projektantów i popularyzować struktury przestrzenne. Jego charyzma i zaangażowanie były kluczem do niebywałego rozwoju struktur przestrzennych. Ten artykuł jest krótkim podsumowaniem oraz przypomnieniem jego osiągnięć i ich znaczenia dla rozwoju konstrukcji przestrzennych.

Słowa kluczowe: struktury przestrzenne, Stefan du Château, węzeł, uprzemysłowienie, Institut Le Ricolais

Abstract

The work of Stéphane du Château is clearly inscribed in the second half of the 20th century. He developed several spatial structures' systems based on a clever design of nodes, which were all patented. More than two hundred and fifty projects were effectively built. Besides this productive work Stéphane du Château founded several associations in order to gather designers and to promote Spatial Structures. His charisma and his commitment were the keys of a remarkable contribution to spatial structures. This paper is a short summary and a reminder of his achievements and importance for the development of spatial structures.

Key words: spatial structures, Stéphane du Château, node, industrialisation, Institut Le Ricolais



Nowe tereny targowe Nuova Fiera di Roma
w Rzymie – główne wejście z przekryciem
membranowym ze stali nierdzewnej
nad kładką dla pieszych o długości 1,8 km
(arch. T. Valle, konstr. M. Majowiecki)
(fot. M. Majowiecki)

New market areas, Nuova Fiera di Roma,
in Rome – main entrance with a membrane
covering made of stainless steel above the foot-
bridge of 1.8 km in length (arch. T. Valle,
structural engineer M. Majowiecki)
(photo by M. Majowiecki)



Cláudia Estrela Porto*

*Strukturalna innowacyjność w pracach Stefana du Château:
od metalowych kratownic do ram przestrzennych*

*The innovative structural conception in Stéphane du Château's work:
from metallic trusses to the development of spatial frames*

Wprowadzenie

Architektura XX w. prezentuje szeroki repertuar innowacyjnych i zarazem niezwykłych systemów konstrukcyjnych. Architekci tworzą wiele konstrukcji, ale niewiele z nich je rozwija. Można powiedzieć, że tworzenie nie jest wynikiem ludzkiej inspiracji, ale wręcz przeciwnie: oryginalne rozwiązanie może powstać jedynie z mozolnej i uporczywej pracy.

Pod koniec lat 40. i na początku lat 50. XX w. pojawiło się na świecie wiele pierwszych systemów struktur przestrzennych, takich jak niemiecki system Mero (1942), angielski system Space Deck (1954), kanadyjski system Triodetic (1955) czy też amerykański system Unistrut (1955). Zastosowane w tych systemach węzły rozkładają działanie skupionych obciążeń i umożliwiają budowanie lżejszych konstrukcji.

Stefan du Château (1908–1999), który urodził się w Solwyczegodzku (na Syberii) w Rosji we francusko-polskiej rodzinie, a studia ukończył w 1936 r. na Politechnice Lwowskiej w Polsce (na terenie dzisiejszej Ukrainy), jest wspaniałym przykładem twórcy tego rodzaju nowatorskich form. Jest on rzadkim przykładem architekta i konstruktora jednocześnie, który wiedział, jak łączyć praktykę z teorią. Szczególnie interesował się pro-

Introduction

The 20th century architecture has a vast repertoire of innovative and extraordinary structures. In every place architects create structures but few develop them. It can be said, that creation is not the outcome of human inspiration but on the contrary: an original structure can only come from a meticulous and constant work.

The end of 1940 and beginning of 1950 presented the outbreak of the first spatial structural systems in the world, such as the German Mero system (1942), the English Space Deck system (1954), the Canadian Triodetic system (1955) and the American Unistrut system (1955). The nodes in these systems distribute the centered load actions and permit a lighter construction.

Continuing in this research line, Stéphane du Château (1908–1999) who was born in Solvychevodsk (present-day Siberia, Russia) in a Franco-Polish family. He graduated in 1936 from the Polytechnic School of Lwow, Poland (present-day Lviv, Ukraine) and is a brilliant example of a creator of such innovatory forms. He is one of the rare engineer-architects who knew how to combine practice and theory and was interested especially in the problems regarding industrialization and pre-fabrication of spatial structures, thus with time he became a leader in the field of spatial module structures.

It may be noticed that the spatial structures' efficiency – due to a new way of placing the tensioned and compressed elements to stabilize the construction – counterbalances the inconvenience of the connections' complexity, which

* Wydział Architektury i Urbanistyki Uniwersytetu w Brasili, Brazylia/Faculty of Architecture and Urbanism, University of Brasilia, Brazil.

blemami dotyczącymi uprzemysłowienia i prefabrykacji struktur przestrzennych i z czasem stał się liderem w dziedzinie przestrzennych struktur modułowych.

Można zauważyć, że efektywność zastosowania struktur przestrzennych – ze względu na nowy sposób rozmieszczania elementów rozciąganych i ściskanych w celu ustabilizowania konstrukcji – jest odpowiednią przeciwwagą dla złożoności ich połączeń, co wpływa na ostateczny koszt produktu. Aby zapewnić stałą obecność na rynku, konieczne jest ciągle rozwijanie istniejących systemów, co realizował Stefan du Château, prowadząc liczne badania.

Stefan du Château, jako pionier w dziedzinie konstrukcji rurowych, rozumiał znaczenie organizacji i rewolucji tej nowej technologii. Tworzył on stale ewoluującą serię opatentowanych systemów, takich jak: trójkierunkowy system SDC (1957), Pyramitec (1960), Circotec (1963), Bacotec (1965), Tridimatec (1965), Unibat (1968), Spherobot (1979), Tridibalu i Flotalu (1984), Pyramibat (1984), Bamboutec (1984) i Dodecavis (1985), które badał pod względem ich przemysłowego wykorzystania.

W szerokiej dziedzinie struktur przestrzennych prace Stefana du Château kwalifikuje się jako konstrukcje metalowe należące do struktur siatkowych¹. W tworzonych systemach przestrzennych dążył on do perfekcji formy, umożliwiającej powstawanie śmiałych konstrukcji, w których technika jest służebna wobec koncepcji przestrzennej. Jego systemy, spełniające wymogi przemysłowych procesów prefabrykacji, spełniają również odpowiednie wymagania dla obiektów architektury publicznej o dużej rozpiętości, na przykład sal gimnastycznych, pawilonów przemysłowych i basenów pływackich. Rozpowszechnienie tych systemów umożliwia również makrostrukturalną organizację przestrzeni miejskiej.

Szkolenia zawodowe i system HBR Tubetal

Działalność Stefana du Château jest naznaczona spotkaniami i wydarzeniami, które w znaczący sposób pokierowały rozwojem jego koncepcji systemów strukturalnych.

Podczas II wojny światowej był on więźniem niemieckiego obozu koncentracyjnego w Hoyerswerda (Oflag IV D), gdzie przebywał do marca 1945 r. Był to obóz dla oficerów francuskich mających jakieś szczególne umiejętności zawodowe.

Stefan du Château korzystał z okazji i współpracował z 42 innymi architektami z Extraterritorial Atelier

reflects on the product's final pricing. In order to be always on the market, a constant evolution of the invented systems is necessary which Stéphane du Château realized through applied study and research.

As a pioneer in tubular construction, Stéphane du Château understood the relevance of this new technology's organization and revolution. He created an evolving series of patents, such as: Tridirectional SDC system (1957), Pyramitec (1960), Circotec (1963), Bacotec (1965), Tridimatec (1965), Unibat (1968), Spherobot (1979), the Tridibalu and Flotalu principles (1984), Pyramibat system (1984), Bamboutec (1984) and Dodecavis (1985), which he studied with regard to their industrial use.

In the vast area of spatial structures, the works of Stéphane du Château are qualified as metallic mesh structures¹. In the created spatial systems he aimed at constructive perfection providing the necessary substance to an audacious construction where the technique is in the service of a new spatial conception. His systems guided by industrialized modular processes answer well the necessity of a public architecture of large spans, as in gyms, industrial pavilions and swimming pools. The proliferation of these systems also allows the urban space's macrostructural organization.

Educational training and the HBR Tubetal System

Stéphane du Château's activity is marked by encounters and facts that will significantly direct the development of his structural systems.

During the II World War he was a prisoner of a German concentration camp in Hoyerswerda (Oflag IV D), where he stayed until March 1945. It was a camp for French officials with the particularity of professional training.

Stéphane du Château took advantage of this opportunity and cooperated along with 42 other architects with the Extraterritorial Atelier of l'ENSB², participating in the École de Beaux-Arts and Institut d'Urbanisme de Paris programs.

When the war was over he continued his specialization at the Institut d'Urbanisme of Paris University and in 1946 by taking part in a competition he received the title of "Urban Plans Composer". He formally completed his qualification as an architect at the Polish University College (PUC) of London where in 1947 he also obtained a diploma that would only be notarized 20 years later.

As his London diploma wasn't valid in France, Stéphane du Château overcame great difficulties in the

¹ Zygmunt Stanisław Makowski (1922–2005), Polak, jeden z największych teoretyków struktur przestrzennych XX w. (z University of Surrey w Guildfordzie, w południowo-wschodniej Anglii) wyróżnia trzy kategorie struktur przestrzennych [1]:

a) struktury siatkowe (trejażowe) wykonane przy użyciu serii prętów połączonych ze sobą w węzłach. Siatki mogą tworzyć wiele układów geometrycznych o różnym stopniu regularności (kopuły z siatek, sklepienia kolebkowe, sieci dwuwarstwowe);

b) wszelkiego rodzaju konstrukcje wiszące (przekrycia na cięgnach);

c) struktury z zastosowaniem metalowych membran, w których elementy pokrycia rozkładają obciążenia (konstrukcje półskorupowe, konstrukcje faldowe).

¹ Zygmunt Stanisław Makowski (1922–2005), Polish, one of the greatest theorist (from University of Surrey located in Guildford, Surrey, in the South East of England) of spatial structures of the 20th century, classifies spatial structures in three categories [1]:

a) the mesh structures (trellis), made by a series of bars united among themselves by nodes. The meshes can be a product of many geometric bodies or the repetition of one of them (domes in meshes, barrel vaults, two layered grids);

b) the suspended constructions of all kinds (covers over cables);

c) the structures in metallic membranes where the cover elements participate in the loads (construction in membranes, pleated constructions).

² École Nationale Supérieure des Beaux-Arts of Paris.

of l'ENSB², uczestnicząc w programach École de Beaux-Arts i Institut d'Urbanisme de Paris.

Po zakończeniu wojny kontynuował swoją specjalizację w Institut d'Urbanisme na Uniwersytecie Paryskim, a w 1946 r., biorąc udział w konkursie, zdobył tytuł „Twórcy planów urbanistycznych”. Formalnie kwalifikacje architekta uzyskał na polskiej uczelni Polish University College (PUC) w Londynie, gdzie w roku 1947 otrzymał też dyplom, który jednak został uznany we Francji dopiero 20 lat później.

Ponieważ jego dyplom londyński nie był ważny we Francji, na początku swojej kariery niezależnego architekta Stefan du Château napotykał olbrzymie trudności. Mimo że French Chambre des Ingénieurs Conseils przyjęła go w poczet swoich członków już w 1958 r., Izba Architektów dopiero w roku 1967, w wyniku nacisków studenckich oraz ze względu na powszechne uznanie jego osiągnięć zawodowych i pedagogicznych, zaprosiła go do złożenia aplikacji członkowskiej, aby definitywnie rozwiązać jego sytuację zawodową.

Początek jego aktywności we Francji nie wskazywał na to, co miała przynieść mu przyszłość. W latach 1945–1949 w biurze Marca Brillauda de Laujardière (laureata Grand Prix de Rome) opracował plan odbudowy miasta Caën i Saint-Malo, co umożliwiło mu przedstawienie innowacyjnych koncepcji urbanistycznych.

W tym samym czasie zaczął badania nad rurami, które były wtedy używane jedynie do rusztowań. Stefan du Château prowadził badania nad metalowymi belkami o przekroju trójkątnym. Podczas swojego pobytu w Londynie w roku 1947 odkrył, że Anglicy znają już ten system i używają go w konstrukcjach w swoich koloniach.

Podczas badań nad patentem rusztowania rurowego, wykupionym przez przyjaciela z obozu koncentracyjnego – Paula Bandowa, Stefan du Château zauważył, że rury połączone tak jak „stawy kolanowe” mogą wytrzymać obciążenie 700 kG każda. Prosta kalkulacja doprowadziła go do wniosku, że wykonując te połączenia jako spawane i wykorzystując cechy charakterystyczne pustych w środku cylindrów, można było dziesięciokrotnie zwiększyć działające obciążenie (czyli do 7 ton!). Zademonstrował to w doświadczeniach przeprowadzonych w Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics (Centrum Doświadczalne Budownictwa i Robót Publicznych).

Ze względu na to, że nie mógł pracować jako architekt (z nieuznanym dyplomem), Stefan du Château musiał opuścić biuro Marca Brillauda de Laujardière w roku 1949. Od tego czasu pracował dalej sam jako niezależny profesjonalista, prowadząc „biuro realizacji projektów architektonicznych”. W roku 1953 uzyskał obywatelstwo francuskie.

W tym czasie współpracował z Paulem Bandowem przy utworzeniu Towarzystwa Tubetal i przez cztery lata (1949–1953) jako dyrektor techniczny rozwijał serię modularnych kratownic z rur metalowych (system HBR Tubetal), które można łatwo dostosowywać, aby otrzymać

beginning of his career as an autonomous architect. Only in 1967 due to student pressure and to the recognition of his professional and pedagogical success, the Chamber of Architects invites him to apply and solve definitively his professional situation although he has been very well accepted at the French Chambre des Ingénieurs Conseils as a member since 1958.

The beginning of his activity in France does not show what the future has prepared for him. From 1945 to 1949 he elaborated, in Marc Briaud de Laujardière's office (Grand Prix of Rome), the rebuilding plan of Caën and Saint-Malo cities which allowed him to show his innovative ideas for urban conception.

At the same time he started to research on tubes, which then, were only used in scaffolding. Stéphane du Château carried out research on metallic triangular beams built with this material. During time spent in London in 1947 he discovered that the English already knew this system and used it in constructions in their colonies.

While examining a tubular scaffolding patent bought by Paul Bandow, also a friend from the concentration camp, Stéphane du Château noticed that the tubes connected by “knee joints” could bear 700 kgf each. A simple calculation led him to the conclusion that welding these connections and exploring the characteristics of hollow cylinders it was possible to multiply by ten (so, up to 7 tons!) the applied load. This he demonstrated by experiments done at the Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics (Experimental Center of Building and Public Works).

By not being able to work as an architect due to his non-notarized diploma, Stéphane du Château was forced to leave Marc Brillaud de Laujardière's office in 1949. From that point he carried out his work alone as an autonomous professional “maintaining an office of architectural projects”. He gained French nationality in 1953.

During this time he associated with Paul Bandow to create the Tubetal Society and during 4 years (from 1949 to 1953) as technical director he developed a series of modular tubular metallic trusses (HBR Tubetal system) easily adaptable to allow diverse construction solutions, as in hangars with two water planes and porticos. This system is able to span along 20 m with 14 kg/m² of steel; the same solution in rough iron (in I-section) would be in 40 kg/m².

The HBR Tubetal and Vitrex (1953) systems, in tubular truss and tensed cover, used by Stéphane du Château to cover a 2000 m² stand at fairs in Paris and Lyon already showed the first satisfactory conclusions for a better usage of the tube: there is a 30 to 40% economy of the material using the tubular profile.

Two projects among many built using the HBR Tubetal system (1950) that allows making trusses by the connection of standard unique elements in welded mesh, are Bungalow Tropical accomplished by Stéphane du Château in 1956 for Cameroon, Africa, and the Chartres Pool, France (1960–1962, architect J. Rédreau) [2].

Projects, studies and test continued to succeed. The Tubetal experience gained during ten years contributed to welded tube credibility as a construction material. Welded tubes only represent one of the phases in the research on direction leading to the tridimensional. To create a mar-

² École Nationale Supérieure des Beaux-Arts w Paryżu.

różnorodne rozwiązania konstrukcyjne np. w hangarach na dwa hydroplany i w portykach. System ten umożliwia uzyskiwanie przęseł o rozpiętości 20 m przy zużyciu stali 14 kg/m²; takie samo rozwiązanie z profili walcowanych (o przekroju dwuteowym) dawałoby zużycie 40 kg/m².

System HBR Tubetal i Vitrex (1953), w formie kratownicy rurowej i rozciąganego pokrycia, wykorzystany przez Stefana du Château do przekrycia stoiska o powierzchni 2000 m² na targach w Paryżu i Lyonie stanowi pierwsze udane zastosowanie konstrukcji rurowych: mniejsze o 30–40% zużycie materiału. Dwa spośród wielu projektów zrealizowanych w systemie HBR Tubetal (1950), który umożliwia wykonanie kratownic przez łączenie standardowych pojedynczych elementów w spawaną siatkę, to Bungalow Tropical wykonany przez Stefana du Château w 1956 r. dla Kamerunu w Afryce oraz Chartres Pool we Francji (1960–1962, architekt J. Rédreau) [2].

Projekty, badania i próby nadal przynosiły pozytywne rezultaty. Doświadczenie zdobyte przez dziesięć lat pracy przy systemie Tubetal spowodowało, że rury spawane sprawdziły się jako materiał konstrukcyjny. Zastosowanie rur spawanych stanowi jedynie jedną z faz badań prowadzących do trójwymiarowości. W celu stworzenia rynku i przekonania klientów do użycia rur przy pracach rekonstrukcyjnych, Stefan du Château stał się wynalazcą, dyrektorem technicznym i przedsiębiorcą. Na początku swoje prace mógł prowadzić dzięki projektom zaprzyjaźnionych architektów. Próbuąc rozwiązać problemy związane z montażem i przęsłami, projektował metalowe struktury składające się z dwóch prostych warstw montowanych ostatecznie w trzech kierunkach.

Systemy przestrzenne

Od roku 1956 du Château tworzył swój pierwszy system struktury przestrzennej – trójkierunkowy system SDC (il. 1a). W 1957 r. uzyskał patent, a niedługo później znalazł dla niego pierwsze zastosowanie: kopułę o średnicy 42 m pokrywającą halę elektrowni przy zaporze Grandval Dam (1957–1958, architekt H. Marty) (il. 1b).

W systemie tym elementem pracującym są stalowe rury, a techniką łączenia jest spawanie wszystkich części składowych. Ma on węzeł składający się z dwóch lekkich powłok odlanych ze stali, do którego wsunięte są

ket and persuade the tube's usage in reconstruction, Stéphane du Château became an inventor, technical director and entrepreneur. At the beginning he could carry out his work due to his architect friends' projects. Trying to solve assemblage problems and overcome spans he designed metallic structures in simple double layers ultimately assembled in three directions.

Spatial systems

Du Château created his first spatial structure system – the Tridirectional SDC (Fig. 1a) – since 1956. He obtained a patent in 1957 and soon after found its first application: a 42 m diameter dome covering the power station hall at the Grandval Dam (1957–1958, architect H. Marty) (Fig. 1b).

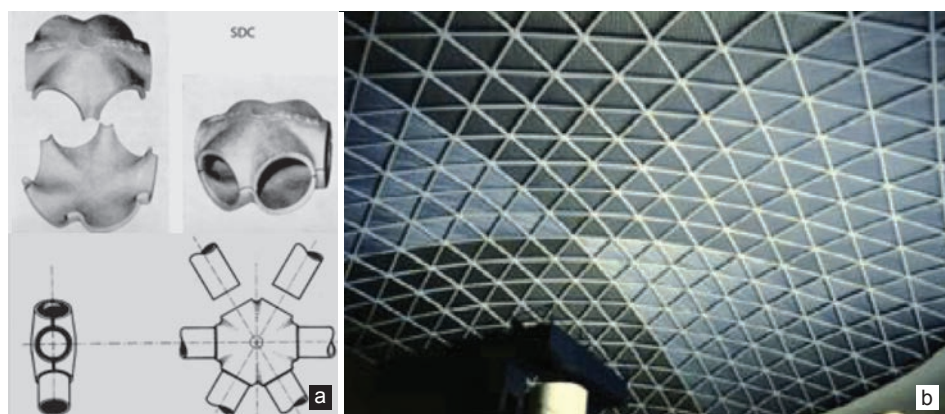
This system uses steel tubes as a working element and the weld as a connection technique of all its components. It has a composite node of two shells, two lightweight shells cast in steel where the tubes penetrate and are then fixed. Having the advantage of not needing the finishing of the tube's extremity, this system is used tridimensionally at the French Stadium's Swimming Pool in Boulogne (Stade Français) (1961–1962, architects H.P. Maillard and P. Ducamp) (Fig. 2).

The Tridirectional SDC exploiting the welding of nodes enables the building of domes up to a 70 m diameter and proves the auto-stability of the tridirectional layer in spherical surface – due to the node absorption (by penetration) of the geometric irregularities of the dome that are accentuated the more often the farther they are situated from its polar center. The structure's spherical form gives it spatial stability; the circumferential tensioned ring takes on to the circumference the strengths coming from the supported dome, due to which all its rods are compressed.

The SDC system's importance has provided many articles even before the dome was built and raised the curiosity of one of the greatest spatial structure theorists of this century: Prof. Z.S. Makowski.

In 1959 Stéphane de Château participated in a study trip to the United States of America and met Richard Buckminster Fuller at an exhibition in Boston, where Fuller created some spatial structures domes.

Acknowledging the work of Robert Le Ricolais was universally decisive. This permitted Stéphane du Château



Il. 1. System SDC:
a) detale,
b) kopuła w hali elektrowni przy zaporze Grandval Dam

Fig. 1. SDC System:
a) details,
b) dome of the power station hall of the Grandval Dam

Il. 2. Basen przy Stade Français w Boulogne, Francja

Fig. 2. French Stadium's Swimming Pool in Boulogne, France



i następnie połączone rury. Dzięki temu, że niepotrzebna jest obróbka zakończeń rur, system ten wykorzystano w trójwarstwowym ruszcie konstrukcji basenu w Boulogne (1961–1962, architekci H.P. Maillard i P. Ducamp) (il. 2).

Trójkierunkowy system SDC, wykorzystujący spawanie w węzłach, umożliwia konstrukcję kopuły o średnicy do 70 m i zapewnia stabilność trójkierunkowej warstwy na powierzchni sferycznej – dzięki możliwości eliminowania nieregularności geometrycznych kopuły, pojawiających się częściej w miarę oddalania się od jej biegunów, w węzłach (poprzez ich odpowiednie w nich „chowanie”). Sferyczny kształt struktury nadaje jej sztywność przestrzenną; obwodowy pierścień rozciągany przejmując na obwodzie siły pochodzące od podpieranej kopuły, dzięki czemu wszystkie jej pręty są ściskane.

Znaczenie systemu SDC było tematem wielu artykułów nawet przed wybudowaniem kopuły i wywołało zainteresowanie jednego z największych teoretyków struktur przestrzennych tego wieku: profesora Z.S. Makowskiego.

W roku 1959 Stefan du Château uczestniczył w wyprawie badawczej do Stanów Zjednoczonych i poznał Richarda Buckminstera Fullera na wystawie w Bostonie, na której Fuller wykonał kilka kopuł.

Przełomowe znaczenie miało powszechne docenienie prac Roberta Le Ricolais'go. Dzięki temu badania Stefana du Château uzyskały inny wymiar koncepcyjny i operacyjny. W trakcie poszukiwań konkretnych rozwiązań odkrył on nowy system, co w następstwie doprowadziło do uzyskania czterech patentów konstrukcyjnych, wielu realizacji i publikacji w latach 60. XX w.

Zauważwszy trudności związane ze spawaniem konstrukcji na placu budowy, Stefan du Château zaproponował system Pyramitec (il. 3), w którym połączenia są wykonane przy użyciu śrub. System ten, charakteryzujący się wykorzystaniem prefabrykowanych piramid, nadających konstrukcji bezwładność, umożliwił realizację Wystawy Krajowej w Nancy (1963–1964, architekci M. Kruger i M. Pierron): 1700 m² w pięciu pawilonach wystawienniczych wybudowanych w dziesięć miesięcy (zużycie stali w konstrukcji wyniosło 32 kg/m²).

Ze względów transportowych wymiary piramidy nie mogą przekraczać 3 m, więc du Château zaproponował system Tridimatec, składający się z płaskich kratownic

to give another conceptual and operational dimension to his research. While searching for a solution of a particular case, he discovered a new system which led to four construction patents, many realizations and publications in the years of 1960.

Noticing the difficulty of welding at the construction site, Stéphane du Château proposed the Pyramitec system (Fig. 3), where connections are made using bolts. This system which is characterized by applying pre-fabricated pyramids determining the structure's inertia enabled the realization of the National Exhibition Fair in Nancy (1963–1964, architects M. Kruger and M. Pierron): 1,700 m² distributed in five exhibition pavilions built in ten months and having a structure weight of 32 kg/m².

The pyramids cannot exceed three meters due to transport therefore Stéphane du Château proposed the Tridimatec system, constituted by using in-plane beams in meshes, where their extremities are connected in a way to form a crossed beam system³ (Fig. 4).

Some gymnasiums are built using this system, as Caillaillon (1964–1965, architects Grégoire, Choquart and Brodovitch). In order to cover a surface of 20 × 40 m with steel weight of 30 kgf/m², the beams are interspersed in such a way as to have only one node in the middle of the bar, consequently reducing by half the bending moment and the bar's thickness.

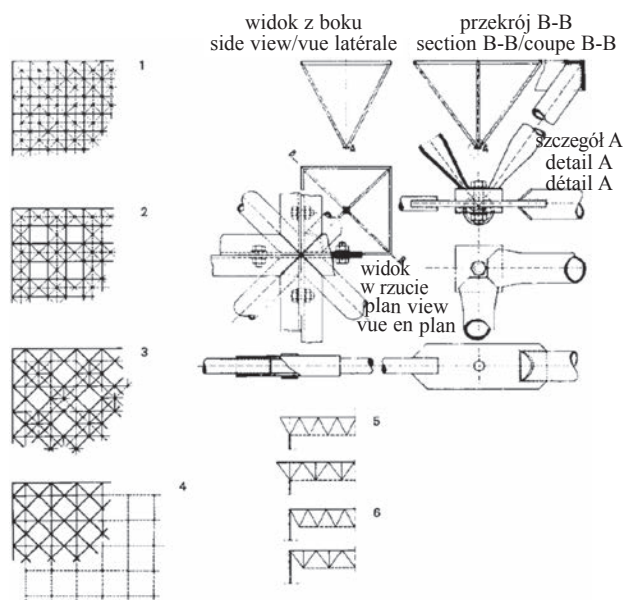
The same crossed beam system can be done by pre-fabrication in a double method allowing the realization of macrostructures in a habitable scale. The Z.U.P. (Priority Urbanization Zone) Social Center in Rennes (1973–1978, architect E. Le Berre) is the first such habitable structure. The structure's pyramids and tetrahedrons are its habitable layers (the modular mesh is of 3.6 m which provides 2.54 m in height) and are perfectly stable.

³ Z.S. Makowski classifies the two layer grids in two types:

a) the meshed grids (*grilles treillis*) – vertical intersection of trussed beams,

b) the spatial grids (*grilles spatiales*) – combination of tetrahedrons, octahedrons or pyramids with squared or hexagon base.

From the structural point of view, the spatial grids are superior to the meshed grilles because of greater rigidity. Although the transport and construction of meshed grilles is simpler because they consist of trussed beam units that can be stocked and transported easily (as in the case of Tridimatec system).



Il. 3. Prostokątny system Pyramitec (piramida o kwadratowej podstawie):
1) struktura ciągła, 2) belki skrzyżowane równoległe,
3) belki przekątniowo skrzyżowane, 4) konstrukcja odwróconej siatki,
5) konstrukcje podparte, 6) konstrukcje zawieszono

Fig. 3. Pyramitec Orthogonal System (pyramid with square base):
1) continuous structure, 2) crossed parallel beams,
3) diagonally crossed beams, 4) structure in inverted mesh,
5) supported structures, 6) suspended structures

połączonych w taki sposób, że tworzą ruszt³ (il. 4). Przy użyciu tego systemu budowane są niektóre sale gimnastyczne, np. Cavaillon (1964–1965, architekci Grégoire, Choquart i Brodovitch). Aby przykryć powierzchnię 20×40 m, przy zużyciu stali 30 kg/m^2 , belki są tak rozstawione, żeby powstał tylko jeden węzeł w środku pręta, co w konsekwencji obniża o połowę moment zginający oraz grubość pręta.

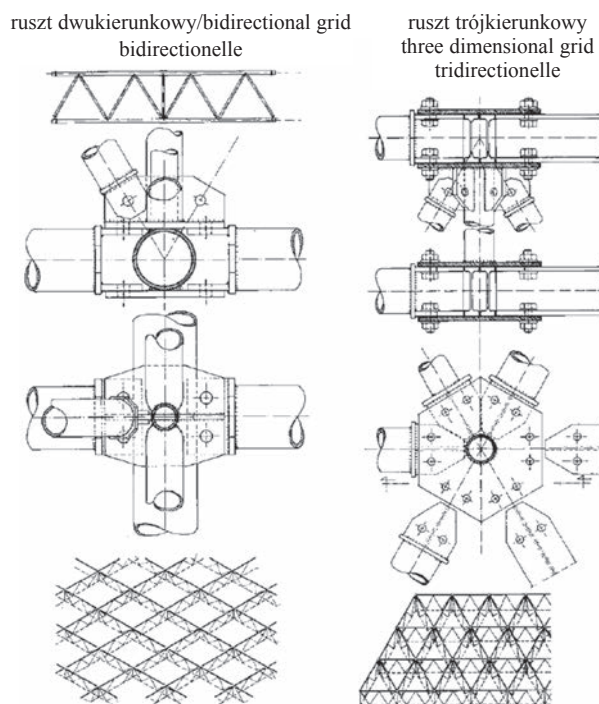
Ten sam system skrzyżowanych belek może być wykonany z prefabrykatów metodą podwójną, umożliwiającą realizację makrokonstrukcji możliwych do zamieszkania. Centrum Socjalne w Z.U.P. (Zone de Urbanisation Priorité – Strefa Urbanizacji Priorytetowej) w Rennes (1973–1978, architekt E. Le Berre) jest pierwszą taką konstrukcją mieszkalną. Piramidy i czworościany są jej warstwami mieszkalnymi (siatka modułarna ma $3,6$ m, co daje $2,54$ m wysokości) i mają one znakomitą stabilność.

Duża elastyczność zastosowania systemu Pyramitec oraz zróżnicowana konfiguracja elementów konstrukcyjnych sprzyjały ewolucji systemu Unibat. W systemie Pyramitec budowa węzła dolnego opiera się na śrubie

³ Z.S. Makowski wyróżnia dwa rodzaje sieci warstwowych:

a) sieci siatkowe (*grilles treillis*) – pionowo przecinające się belki kratownicowe,

b) sieci przestrzenne (*grilles spatiales*) – połączenie czworościanów, ośmiościanów czy też piramid o podstawie kwadratu lub sześcioboku. Ze strukturalnego punktu widzenia sieci przestrzenne są lepsze niż sieci siatkowe ze względu na ich większą sztywność. Transport i konstrukcja sieci siatkowych jest prostsza, ponieważ składają się one z elementów belek kratownicowych, które mogą być układane w stosy i można je łatwo transportować (przykład – system Tridimatec).



Il. 4. Rysunki detali systemu Tridimatec
– widok od strony łącznika w stronę dwu- i trójwymiarowych sieci
Fig. 4. Drawings of details of the Tridimatec system
– view from the connector to the bi- and three dimensional grids

Pyramitec system's great application flexibility along with its different geometries of constructive elements endorsed the evolution to the Unibat system. In the Pyramitec system its bottom node composition is based on a vertical high strength bolt allowing rotary positions on the bottom members and consequently the layer's inversion. Thus constituting a structure with its layers inverted in 45° and so the Unibat system originates. The last structure can be considered as a variant of the Pyramitec system, only differentiated by its fixation mode: usage of bolts on the angles of the base pyramids. It also allows a rational utilization of the high strength bolt ($3,5$ per modular surface), which is not the case in the Pyramitec system using 11 bolts per modular surface.

The Unibat geometry is formed by a board of empty pyramids and squares and it only covers 50% of the surface with pyramids – proving to be more economic. Square based pyramids are connected two by two using one of their base angles and bars connect their tops. This connection corresponds to a tridimensional structure with two parallel layers. The upper layer meshes are constituted by the pyramid bases and are oriented 45° in relation to the bottom layer meshes, constituted by bars uniting the pyramids' tops. This system can serve, according to its scale, to make slabs, covers or urban macrostructures.

The Unibat structure can be crossed in four different directions without encountering any obstacle: the 120 module and 60 of height allows the creation of technical floors necessary to the offices and other accommodations, the 120 module and 38 of height permits sufficient technical

o dużej wytrzymałości pionowej umożliwiającej obroto-we układanie elementów dolnych oraz w konsekwencji odwrócenie warstwy. Powstająca w ten sposób struktura z odwróconymi o 45° warstwami daje początek systemowi Unibat. Tę ostatnią strukturę można uważać za wariant systemu Pyramitec, od którego różni ją tylko sposób montażu: użycie śrub w narożach dolnych piramid. Taki sposób umożliwia również racjonalne wykorzystanie śrub o dużej wytrzymałości na ścinanie (3,5 szt. na moduł powierzchni), co wygląda inaczej w systemie Pyramitec wykorzystującym 11 śrub na moduł powierzchni.

Geometria systemu Unibat, która ukształtowana jest przez warstwę pustych piramid i kwadratów, pokrywa zaledwie 50% powierzchni piramidami – co potwierdza jej większą ekonomiczność. Piramidy o podstawie kwadratowej są łączone w taki sposób, że dwie z nich mają wspólny tylko jeden węzeł podstawy z zastosowaniem dodatkowych prętów łączących ich wierzchołki. Połączenie to odpowiada trójkierunkowej strukturze z dwoma warstwami równoległymi. Siatki warstwy górnej tworzą podstawy piramid ustawione pod kątem 45° do siatek warstwy dolnej, zbudowanej z prętów łączących wierzchołki piramid. System ten, w zależności od swojej skali, służy do wykonywania płyt, przekryć i makrostruktury miejskiej.

Struktura systemu Unibat może być krzyżowana w czterech różnych kierunkach bez żadnych przeszkód: moduł 120 cm o wysokości 60 cm pozwala utworzyć podłogi techniczne niezbędne dla biur i lokali użytkowych; moduł 120 cm o wysokości 38 cm daje wystarczającą przestrzeń techniczną dla mieszkań. Struktura o podwojonym momencie bezwładności (dwie piramidy połączone wierzchołkami) daje rozpiętość 100 do 150 m, przy dwukrotnie mniejszym ugięciu prętów. System ten jest dobrym rozwiązaniem przy projektach wymagających dużej elastyczności i głównie w latach 70. XX w. zdobył dużą popularność, czego dowodem realizacja 50 projektów we Francji i innych krajach.

W roku 1967 Europejska Wspólnota Węgla i Stali (EWWiS) ogłosiła międzynarodowy konkurs, którego celem było zbadanie zastosowania stalowych struktur trójwymiarowych w budownictwie. System Unibat był zastosowany w drugim etapie przy kontynuacji nagrodzonego projektu grupy TETRA z Luksemburga (architekci: Marc Ewen, Paul Kayser, Leonard Knaff, Jean Lanners), która pierwotnie zaproponowała wykorzystanie systemu Mero. Ewolucyjny dom, dający możliwości aglomeracyjne, skonstruowany był na początku w systemie Pyramitec, a następnie wyewoluował w dwupoziomowy prototypowy budynek mieszkalny i biurowy o konstrukcji Unibat.

Momentem kulminacyjnym badań z zakresu uprzemysłowienia budownictwa mieszkalnego wykorzystującego struktury trójwymiarowe było badanie ogniowe przeprowadzone na prototypie. Jego wynik przekroczył wszelkie przewidywania. Płyta Unibat po 4 godzinach oddziaływania temperatur pożarowych wykazała odkształcenie jedynie 9 mm.

Stosując ten system w budynkach, Stefan du Château chciał udowodnić, że uprzemysłowienie nie niszczy architektury, a wręcz przeciwnie – daje architekturze moż-

space for housing. Organized in double inertia (uniting two pyramids by their tops), the structure allows spanning of 100 to 150 m with buckling length of the bars reduced by half. This system responds well to an immense variety of programs and, mainly during the 1970, proved its efficiency by realizing fifty projects in France and other countries.

In 1967 an international competition was released by the European Committee of Coal and Steel (ECSC) aimed at studying the application of steel tridimensional structures in the building industry. The Unibat system was used to continue the second phase of the prized project of the TETRA group from Luxembourg (architects Marc Ewen, Paul Kayser, Leonard Knaff, Jean Lanners), which initially proposed using the Mero system. The evolutionary house that gives agglomeration possibilities, was structured at the beginning in Pyramitec system and subsequently advances to a two-floor prototype building of residential and office structure in Unibat.

The apex of these researches on residential building industrialization using tridimensional structures was the testing by using fire on a prototype, the result of which surpassed any forecast. The Unibat slab during fire conditions only showed of 9 mm after four hours under fire.

Applying this system to buildings, Stéphane du Château wanted to prove that industrialization does not eliminate architecture, but on the contrary, it can give architecture the possibility of adapting and modelling space to answer the program's necessities – now and in the future. With the Unibat system and three facade panels of multiple combinations it is possible for the user to conceive, together with the architect, his own residence. The first two prototypes were proposed for use in national education, thus two HLM (Habitation à Loyer Modéré – Moderate Rental Residences) buildings were built in 1969–1970 (architect F. D'Arcier) in Gonesse and Thiais.

These realizations took Stéphane du Château to think of industrialization in a larger context, that of urbanism. The urbanism concept was widely broadcast in the sixties by the GEAM group (Grupe d'Études d'Architecture Mobile – Mobile Architecture Study Group) when such architects as Yona Friedman, Maymont, Emmerich, Otaka, among others, presented future cities using growing spatial structures.

Using these ideas together with the Unibat system, Stéphane du Château developed some urban space re-ordering proposals in 1973. Along with architect Jean Maneval he researched for the SCIC (Central Real Estate Society for the Bank of Deposits and Assignments) on an urban center structure. He proposed more than industrialized residence cells, but also the skeleton to receive them. Moreover, Stéphane du Château studied urban space organization in macrostructures for the Equipment Ministry (Construction Plan's Project) where he proposed an artificial ground for a city of 2,000 to 2,500 inhabitants where the Unibat geometry allowed organizing the urban space above the natural level surface.

Along with these realizations while trying to put the constructions methods in harmony with new materials, Stéphane du Château showed that spatial structure forms favour the application of plastic on the covers of large

liwość przystosowywania i kształtowania przestrzeni w odpowiedzi na wymagania danego projektu – teraz i w przyszłości. Przy użyciu systemu Unibat i trzech paneli elewacyjnych w różnych kombinacjach możliwe jest stworzenie przez użytkownika (razem z architektem) własnego domu. Pierwsze dwa prototypy zostały zaproponowane do wykorzystania w systemie edukacji narodowej i tak w latach 1969–1970 wybudowano dwa budynki HLM (Habitation à Loyer Modéré) (architekt F. D’Arcier) w Gonesse i Thiais.

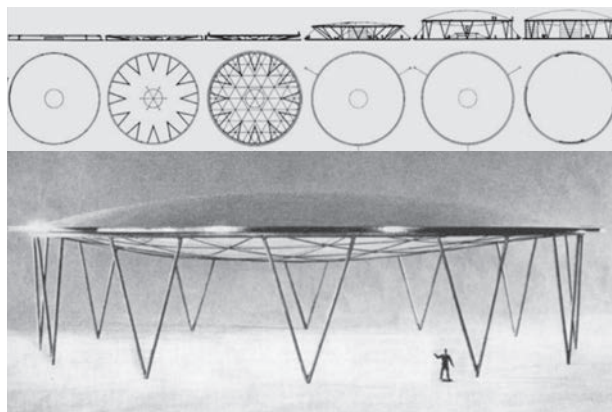
Te realizacje spowodowały, że Stefan du Château zaczął myśleć o uprzemysłowieniu w szerszym kontekście – w skali urbanistycznej. Koncepcja urbanizacji była szeroko propagowana w latach 60. przez grupę GEAM (Grupe d’Études d’Architecture Mobile), kiedy architekci tacy jak Yona Friedman, Maymont, Emmerich, Otaka i inni prezentowali miasta przyszłości, wykorzystując coraz popularniejsze struktury przestrzenne.

Łącząc te pomysły z systemem Unibat, Stefan du Château opracował w 1973 r. pewne propozycje nowego uporządkowania przestrzeni miejskiej. Razem z architektem Jeanem Manevałem prowadził badania dla SCIC (Centralne Towarzystwo Nieruchomości dla Banku Depozytów i Cesji) nad konstrukcją dla centrum miasta. Zaproponował oprócz uprzemysłowionych komórek mieszkalnych także szkielet, na którym miałyby się one opierać. Oprócz tego Stefan du Château badał organizację przestrzeni miejskiej w makrostrukturach dla Ministerstwa Infrastruktury (Projekt Planu Realizacji) i zaproponował sztuczną powierzchnię zabudowy miasta dla 2000–2500 mieszkańców, gdzie geometria systemu Unibat pozwala zorganizować przestrzeń miejską powyżej naturalnego poziomu powierzchni.

Oprócz tych realizacji, próbując dopasować w sposób harmonijny metody budowlane do nowych materiałów, Stefan du Château pokazał, że struktury przestrzenne sprzyjają zastosowaniu tworzywa sztucznego na pokrycia dużych przęseł. W tym kontekście zaproponował system Circotec (il. 5) jako zaokrąglone zamknięcie z sufitem uformowanym z wiszącej struktury utrzymującej element nadmuchiwany, umożliwiające szybki montaż pomieszczeń tymczasowych o średnicy 40 m, bez fundamentu.

Trójkierunkowa siatka cięgien zamontowana do pierścienia ściskanego ze stalowych rur tworzy pokrywę w kształcie nadmuchiwanego, dwustronnie wypukłego ziar na soczewicy. Jej dwie ułożone nad sobą membrany tworzą ściany plastikowej powłoki. Powietrze pod ciśnieniem jest wprowadzane do pokrywy i pomiędzy te dwie membrany, gdy tylko siłowniki pneumatyczne, rozmieszczone na obwodzie, pomiędzy słupami w kształcie litery „V”, podniosą konstrukcję. W celu demontażu konstrukcji trzeba tylko wykonać czynności montażu w odwrotnej kolejności.

Unikatowa jest również pokrywa konstrukcji trybun Laval Stadium (1965–1969, architekt J. Saint Arroman) (il. 6), gdzie pokrycie z polycorolles (półprzezroczyste elementy z wielowarstwowego poliestru w kształcie paraboloidy hiperbolicznej ograniczonej czterema prostoliniowymi brzegami) autorstwa Yves’a Chaperota odpowiada systemowi Tridimatec Stefana du Château [3].



Il. 5. System Circotec

Fig. 5. Circotec System

spans. In this context, he proposed the Circotec system (Fig. 5), as a rounded enclosure with a ceiling formed by a suspended structure bearing an inflatable element and allowing fast assemblage of temporary rooms of 40 m diameter without foundation.

A tridimensional mesh in cables fixed to the steel tube compression ring receives a cover made by an inflatable biconvex lentil, where two membranes superimposed make its walls in plastic canvas. The air under pressure is transferred to the cover and penetrates between the two membranes as soon as the pneumatic actuator that uplifts the structure is positioned under the peripheral “V” pillars. To disassemble the structure only needed is the processes inversion.

Unique is also the cover structure of the tribunes of Laval Stadium (1965–1969, architect J. Saint Arroman) (Fig. 6), where a polycorolles (a trans-lucid stratified polyester cover element with the form of a hyperbolic paraboloid, limited by four rectilinear boundaries) cover developed by Yves Chaperot is corresponds to the structure system in Stéphane du Château’s Tridimatec [3].

Not being able to be called an architect making architecture, Stéphane du Château was obliged to develop structural architecture for an architectural structure. His structures organize the architectural volume, determining its form and definitive character.

Thus he left the established systems, especially flat forms, two layer bi- or tridimensional structures to elaborate more notable projects, unique in their field. In this context, the Exhibition Pavilion in the form of a giant turtle – a housing emblem – was built at the Brussels Hall of Building and Decorative Arts (1970–1971, architects J. Ballenstedt, P. Frebourg, S. du Château) (Fig. 7), and largely surpasses its publicity goal and also to become a technical progress symbol, and a testimony of the architectural structure’s ability.

Steel, aluminum, glass, and neoprene joints are modeled by Stéphane du Château in such a way as to create three different but juxtaposed parts in a metallic skeleton. The Exhibition Pavilion volume, a dome with geodesic divisions (hexagons and pentagons) of 15 m diameter and 14 m in height rests upon a base that ensures stability and

Stefan du Château, który nie mógł siebie nazywać architektem tworzącym architekturę, zmuszony był tworzyć architekturę strukturalną dla struktury architektonicznej. Jego struktury organizują przestrzeń architektoniczną, nadając jej formę i definitywny charakter.

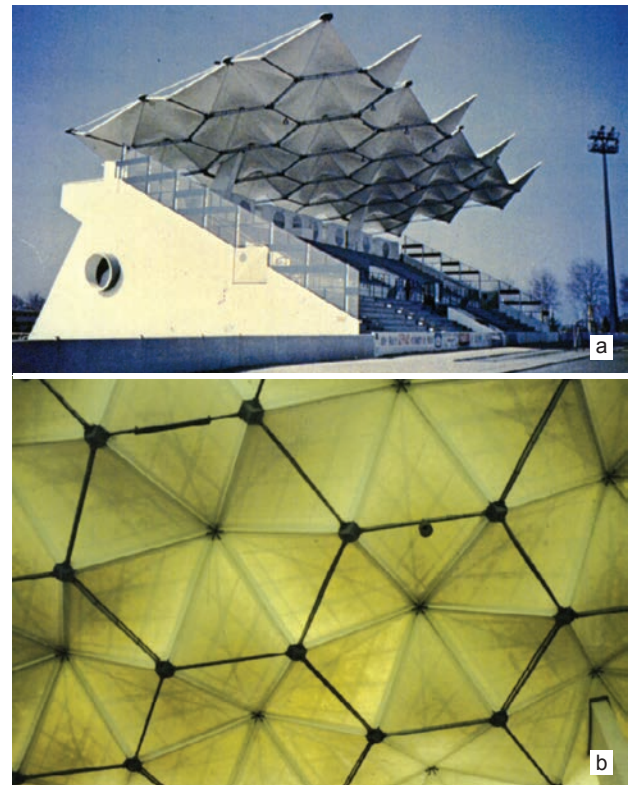
W ten sposób odszedł on od ustalonych systemów, szczególnie form płaskich, dwuwarstwowych struktur dwu- czy też trójwymiarowych, aby opracować bardziej wyraziste i unikatowe w swoim rodzaju projekty. W tym kontekście pawilon wystawienniczy w kształcie gigantycznego żółwia – znaku budownictwa – powstały w Brukseli w Hali Budownictwa i Sztuk Dekoracyjnych (1970–1971, architekci J. Ballenstedt, P. Frebourg, S. du Château) znacznie przekroczył swój cel propagandowy i konstrukcja ta stała się również symbolem postępu technicznego oraz świadectwem możliwości struktury architektonicznej (il. 7). Stal, aluminium i łączniki neoprenowe są kształtowane przez Stefana du Château w taki sposób, że tworzą trzy różne części zestawione w metalowym szkielecie. Pawilon Wystawowy, konstrukcja o podziale geodezyjnym (sześciokąty i pięciokąty), o średnicy 15 m i wysokości 14 m, opiera się na podstawie, która zapewnia jej stabilność i jest przedłużona za pomocą wspornika tworzącego rodzaj wieżyczki widokowej – czoła żółwia [4].

Analizując prace Stefana du Château, można zauważyć, że jego proces twórczy nasilał się, kiedy pojawiała się potrzeba znalezienia nowego rozwiązania. Z rozwiązania technicznego wymyślonego dla Convention Center stworzył on nowy system zwany Spherobat (il. 8). Ta struktura przestrzenna opiera się na koncepcji węzła kulistego zbudowanego z pustej w środku kuli, umożliwiającej dowolną rozbudowę struktury. Pręty łączone są w kuli za pomocą śrub wkręcanych od środka kuli do płaskich zakończeń prętów. W ten sposób proste zasady geometrii, razem z możliwościami danego węzła, pozwalają tworzyć duże przestrzenie bez pośrednich podparć i konstruować rozprzestrzeniające się struktury, dające większą swobodę tworzenia modularnej płaszczyzny.

Dla twórczej duszy Stefana du Château najważniejszym celem w życiu była innowacja. W roku 1984 podczas „Grand Prix des Casques D’Or – Pechiney-Bâtiment” zaprezentował pięć projektów: dźwigary nad peronami na dworcu kolejowym Lyon-Part-Dieu (pierwsze zastosowanie systemu Spherobat Aluminium), Tridibalu i Flotalu, system Bamboutec i Dodecavis (te dwa ostatnie opatentowane) [5].

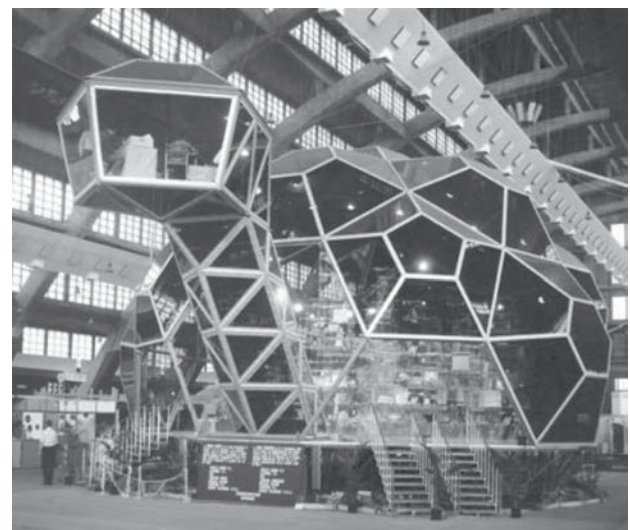
Ważnym momentem stało się utworzenie przez grupę Pechiney-Bâtiment specjalnego działu konstrukcyjnego zajmującego się produkcją systemów nagrodzonych w konkursie. Ta sytuacja dała Stefanowi du Château gwarancję rozwoju i uprzemysłowienia systemu Spherobat Aluminium. Aby uzyskać zwiększoną wytrzymałość i w ten sposób lepiej przenosić obciążenia działające na struktury, Stefan du Château wpadł na pomysł wykonania tych kul węzłowych nie poprzez ich odlewanie, ale poprzez kucie. Aluminium obrabiane na zimno ma wyjątkowe właściwości.

System Tridibalu wykorzystano przy projekcie łodzi o strukturze trójwymiarowej i trójkierunkowej w kształcie równobocznego trójkąta podpartego na trzech pływakach.



Il. 6. Laval Stadium: a) trybuny, b) detal pokrywy

Fig. 6. The Laval Stadium: a) tribunes, b) the cover detail

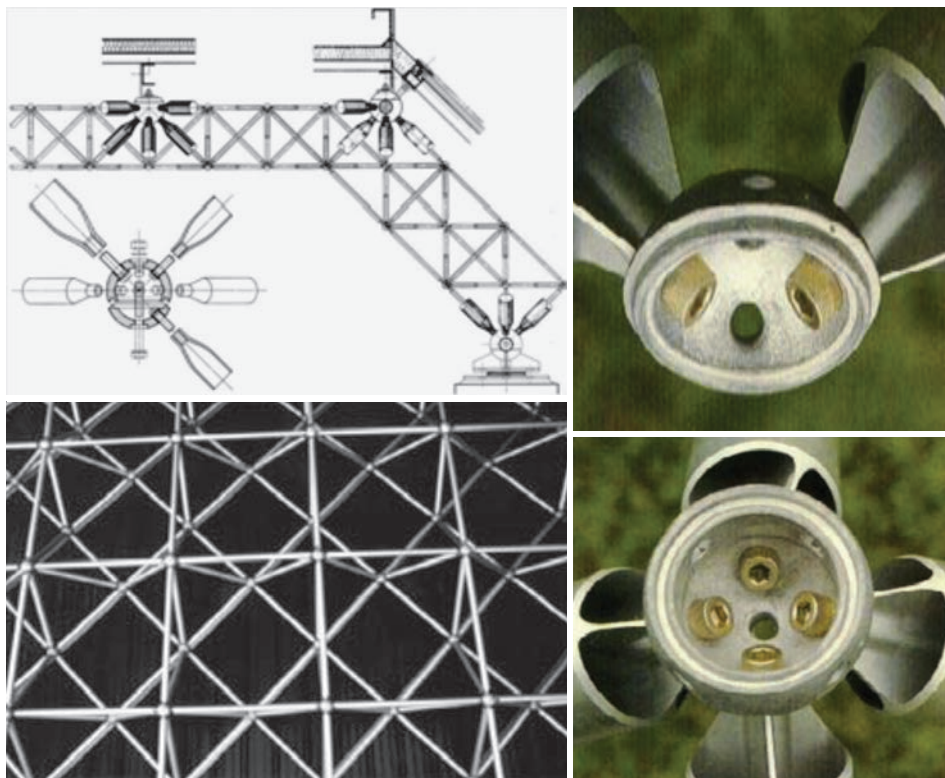


Il. 7. Pawilon wystawienniczy – gigantyczny żółw na wystawie Batibouw w Brukseli, 1970–1971

Fig. 7. Exhibition Pavilion – giant turtle in Brussels on the Batibouw Exhibition in Brussels, 1970–1971

extends with the help of a cantilever creating a sort of a viewing turret-turtle's forehead [4].

While analyzing the works of Stéphane du Château it may be noticed that his creative process was intensified when a new solution was requested. From the technical solution imagined for the Convention Center he created a new system named Spherobat (Fig. 8). This spatial



Il. 8. System Spherobot
– struktura i detale łączenia
w węzłach

Fig. 8. Spherobot System
– structure and fixing details
in the nodes

Ma ona 26 m długości i 22 m szerokości i może być wyposażona w żagle lub silnik. Flotalu to zanurzony prom zbudowany z trójwymiarowej struktury z wieloma warstwami, której pręty o dużej średnicy stanowią pływaki. Oba te projekty to propozycje zastosowania systemu Spherobot Aluminum i mogą być używane jako łodzie rekreacyjne lub sztuczne plaże, a nawet pływające porty.

Ze względu na olbrzymi rynek zastosowania bambusa jako materiału konstrukcyjnego w Azji oraz jego znakomitą odporność na wyginanie, Stefan du Château zaprezentował system Bamboutec (il. 9) – opatentowaną koncepcję wielu małych aluminiowych elementów łączeniowych, umożliwiającą łączenie wielu bambusowych prętów. W systemie Bamboutec pręty są łączone śrubami promieniście w węzle kulistym przy użyciu metalowego



Il. 9. System Bamboutec

Fig. 9. Bamboutec System

structure rests on the spherical connection node concept, built from a hollow ball that allows a free development of the structure. The bars are united with the sphere using bolts from the sphere's inside to flat endings of the bars. Therefore simple geometric principles together with specific node possibilities allow realizing large spaces without intermediary support and constructing expanding structures with plan rotation, providing a larger liberty in creating the modular surface.

With such a creative spirit Stéphane du Château had, as the main goal in his life, that of being innovative. In 1984 during the “Grand Prix des Casques D’Or – Pechiney-Bâtiment” he presented five projects: girders above the platforms of the Lyon-Part-Dieu train station – the first application of the Spherobot Aluminum system, the Tridibalu and the Flotalu, the Bamboutec and the Dodecavis system – the latter two patented [5].

When the Pechiney-Bâtiment group created a specific department of construction, committed to producing the competition's prized systems this gave Stéphane du Château guarantees of Spherobot Aluminum system's development and industrialization. In order to obtain an increased resistance and thus to resist better the structure's loads, Stéphane du Château had the idea of making these connection balls not by modelling but by forging. Worked coldly, the aluminum has exceptional characteristics.

The Tridibalu principle was used in the project of a boat of a tridimensional and three directional structure in form of an equilateral triangle supported on three floats. It is 26 m in length and 22 m wide and can be equipped with sails or an engine. The Flotalu is an immersed ferry built a tridimensional structure with many layers whose large diameter bars are floating devices. Both projects are pro-

urządzenia stożkowego ukierunkowującego obciążenia i umożliwiającego zastosowanie bambusa w siatkach trójwymiarowych.

System Dodecavis, wykorzystujący aluminium, umożliwia obniżenie naprężeń dociskowych, ponieważ ten nowy węzeł zapewnia większe powierzchnie styku z prętami. Dwa elementy, które stanowią czaszę kulistą, są identyczne i łączą się ze sobą pierścieniem. Stosując inną technologię wytwarzania, w celu poprawienia właściwości mechanicznych aluminium, Stefan du Château założył, że wytwarzanie węzłów w procesie kucia czy też tłoczenia mogłoby dwukrotnie zwiększyć nośność struktury w porównaniu z systemem Spherobat z aluminiowymi węzłami odlewanyymi.

Stefan du Château wymyślił również system Pyramibat charakteryzujący się osobnym wytwarzaniem elementów składowych piramidy – montowanych śrubami.

System trójwymiarowy wykorzystujący aluminium umożliwia konstrukcję podłóg modułowych w budynkach czy też rezydencjach bez spawania, ale pomimo zalet żaden projekt w tym systemie nie został zrealizowany.

Wnioski

Zastosowanie struktur trójwymiarowych jest przeznaczone szczególnie do budynków użyteczności publicznej, obiektów sportowych i przemysłowych, wymagających większych rozpiętości. Forma struktury wynika z potrzeb obiektu architektonicznego, w którym jest zastosowana, a czasami wpływa na architekturę obiektu tak silnie, że wręcz determinuje jej formę. Rządowe prace budowlane w większości powiązane są z konkursami architektonicznymi i z tego względu Stefan du Château ściśle współpracował z architektami. Na jego pierwsze prace mieli wpływ jego przyjaciele – współwięźniowie obozu koncentracyjnego, młodzi architekci, którzy podziwiali jego szczególne umiejętności konstrukcyjne.

Stefan du Château jawi się jako artysta szukający w swoich rozwiązaniach piękna i prostoty, zwracający jednocześnie uwagę na budżet projektu, a także zawsze starający się łączyć teorię z praktyką.

Opracowując struktury przestrzenne, rozumiał zasadnicze znaczenie węzła jako punktu, w którym zbiegają się wszystkie siły wypadkowe, który musi być prosty i stworzony tak, aby spełnić wymagania statyczne. Jednocześnie chciał pokazać, że spośród wielu wyrobów konstrukcyjnych rura bez wątplenia najlepiej nadaje się do wykonania struktur, w których dominują wypadkowe siły ściskające.

Analizując prace Stefana du Château, zauważyć można, że wiele jego różnych realizacji jest ważnych nie tylko ze względów statycznych, ale również ze względu na specyfikę użytego materiału. Żaden system konstrukcyjny nie jest idealny i każdy ma swoje optymalne zastosowania. Dzięki badaniom używanych przez siebie komponentów Stefan du Château opracował wiele systemów do wykorzystania w architekturze. Jego pierwszy patent – węzeł SDC – jest trójkierunkowy, ponieważ jest to forma idealnie sztywna i dlatego właśnie jak żadna inna sprawdza się w konstrukcji kopuł, podczas gdy ten sam system w układzie dwukierunkowym do tego się nie nadaje.

positions of using the Spherobat Aluminum system and can be used as leisure boats or as artificial beaches or even floating ports.

Because of the enormous market in Asia for the usage of bamboo in construction and its excellent resistance to bending Stéphane du Château presented the Bamboutec system (Fig. 9), the patented conception of many small connection elements in aluminum, allowing the connection of many bamboo rods. In the Bamboutec system the bar fixation is made by radial bolts in a spherical node through a metallic conic device that directs the loads and permits the use of bamboo in tridimensional meshes.

The Dodecavis system in aluminum permits a decrease in compression loads as this new node provides greater contact surfaces with the bars. The two elements that constitute the spherical cap are identical and are connected with each other with a ring. Using a different fabrication technology to improve the aluminum's mechanical qualities, Stéphane du Château assumed that fabricating nodes through forging or stamping process could double the structure's load capacity in comparison to the Spherobat system of molded aluminum nodes.

Stéphane du Château also invented the Pyramibat system characterized by a separate fabrication of the constituent elements of the pyramid – assembled by bolts.

The tridimensional aluminum system allows the construction of modular floors of buildings or residences without welding but despite its advantages no project was executed in this system.

Conclusion

The application of tridimensional structures is specially designated for public, sports and industrial buildings that need larger spans. Thus the structure form results from the architectural needs of the object in which it is used and, in some cases, the structure influences the object's architecture in such a manner that it determines its form. Government construction works are mostly connected with architecture competitions and, because of this, Stéphane du Château closely cooperated with architects. His first works were influenced by his concentration camp friends, young architects who had acknowledged his fine construction competency.

Stéphane du Château presents himself as an artist looking for beauty and simplicity in his solutions and at the same time, with an eye on the project's budget and also always trying to unite theory and practice.

Creating his spatial structures he initially understood the node's importance, a convergence point of all the resultant stresses that must be simple and created in such a way as to fulfil the static requirements; simultaneously, he wanted to show that among many materials, the tube is without doubt the most adequate in the execution of these structures where there is predominance of compression resultant stresses.

Analyzing Stéphane du Château's work, many diverse accomplishments are noticeable not only due to the stability principle but also the nature of the used material. No construction system is ideal and each system has its opti-

Przechodzenie od jednego systemu do drugiego nie jest absolutnie przypadkowe, ale raczej jest odpowiedzią na pewne ograniczenia. Czasami badanie rozwiązania dla jakiegoś konkretnego programu prowadzi do stworzenia koncepcji innego nowatorskiego systemu, a czasami jego zastosowanie wynika z dążenia do ulepszenia wcześniejszego rozwiązania. Na tej zasadzie system Pyramitec (1960) wykorzystujący prefabrykowane piramidy połączone śrubami miał rozwiązać problem systemu SDC i konieczności spawania na placu budowy [6].

Opracowane systemy nie wykluczają się wzajemnie, ale w rzeczywistości odpowiadają na różnorodne potrzeby i mogą być nawet używane razem w celu udoskonalenia danego założenia projektowego. Taka sytuacja występuje w przypadku lotniska w Nicei wybudowanego w roku 1981, gdzie połączono system Spherobat i Unibat. Tam właśnie konstrukcja budynku wykorzystuje system Spherobat (architekci Laugier i Michel), a przy rozbudowie lotniska zastosowano system Unibat (architekci SODETEG-Sud-Est).

Spośród wielu czynników, które wpływają na wybór systemu konstrukcyjnego, istotne jest to, czy może on zrealizować formę strukturalną, oraz jego koszt, co wpływa na okres jego eksploatacji. Przy konstrukcji nowego budynku Thomson-CSF Society (architekci J. Willerval, L. Deleu) w Bagneux w roku 1998 wybrano system Spherobat ze względu na jego jakość architektoniczną, wymagania techniczne (prześła ponad 70 m), bezpieczeństwo zastosowania i oczywiście ze względu na jego bezkonkurencyjną cenę w porównaniu z innymi dostępnymi systemami.

Od roku 1982 organizacja produkcji sprawiła, że konstrukcje wykonywane są wyłącznie w systemie Spherobat. Z jednej strony grupa Pechiney-Bâtiment zupełnie zintegrowała jego produkcję, gwarantując swoim użytkownikom bezpieczeństwo zapasów i jakość produktu; z drugiej zaś strony Unibat International (z inżynierem Jean-Yves Morineau), stosując wyłącznie system Spherobat, prowadzi do masowego użycia tego systemu w projektach architektonicznych. Konieczne należy dodać, że reklamy w publikacjach wydawanych przez Pechiney-Bâtiment intensywnie namawiały do stosowania takiego rozwiązania. Podawane informacje o systemie Spherobat są jasne: nie jest on przeznaczony wyłącznie do nowych konstrukcji, raczej w oryginalny sposób zaspokaja on wymagania projektów przestrzennych.

Trójwymiarowe struktury są zróżnicowane, a ich użycie poprawia wygląd wielu uprzemysłowionych systemów, czego dowodzi fakt, że niektóre z nich, zaprojektowane 50 lat temu, są nadal używane (szczególnie system Mero, Unistrut, Triodetic i Space Deck).

Stefan du Château nie zdobył całego francuskiego rynku, choć w latach 80. XX w. ciągle zajmował ważną pozycję. To spowodowało, że ze względu na wydajność jego systemów Framatec Society (francuskie towarzystwo technik i materiałów powstałe w roku 1988) postanowiło zainteresować się systemem Spherobat i wybudować wspólnie z Unibat International otwierany dach o powierzchni 4000 m² dla meczetu Hassana II w Casablance.

Szerokie rozumienie zagadnień struktur przestrzennych u Stefana du Château wyrażało się w nieustającym

num in relation to the given situation. Therefore through research on the components used Stéphane du Château developed many systems for architecture. His first patent, the SDC node, is three directional, for this form is perfectly rigid and is best for the dome while the same bidirectional system is unstable.

Passing from one system to another is by no means accidental but responds to certain factors. Sometimes researching for a solution of a specific program leads to the conception of a new system or even its application can come also from the will to improve the last system. Due to this principle the Pyramitec system (1960) using prefabricated pyramids united by bolts aimed at solving the problem of the SDC system and the necessity of welding at the construction site [6].

The invented systems do not exclude one another, but do respond to different necessities and can even be used together to improve a project's goal. That is the case of Nice's airport built in 1981 where a mixed solution of Spherobat and Unibat was used. The building itself is in the Spherobat system (architects Laugier and Michel) and the airport's extension (architects SODETEG-Sud-Est) is in the Unibat system.

Among many factors that influence the system's choosing, the main is its ability to solve the structural form and also its cost – which determine the perennial of its usage. The choosing of the Spherobat system for the construction of the new Thomson-CSF Society building (architects J. Willerval, L. Deleu) in the city of Bagneux in 1998 is for its architectural quality, its technical performances (spans of over 70 m), security of its many applications and, of course, its unrivalled price in relation to other systems available.

From 1982 constructions are made exclusively in Spherobat due to its production organization. On the one hand the power of the Pechiney-Bâtiment group had totally integrated its production and transformation line guaranteeing its users stock safety and product quality; on the other, Unibat International with engineer Jean-Yves Morineau using only the Spherobat system structures leads to a massive usage of this system in architecture projects.

It is necessary to say also that advertisements in publications issued by Pechiney-Bâtiment were a strong calling for this type of accomplishment. In fact, information on the Spherobat system is clear: it is not reserved only for new constructions, but it allows answering in an original way many spatial projects.

Tridimensional structures are varied and their use improves the appearance of many industrialized systems which is proved by the fact that some of these systems, designed 50 years ago are still used, in particular Mero, Unistrut, Triodetic and Space Deck systems.

Stéphane du Château did not conquer the entire French market, although during the eighties he still occupied a prominent place due to his systems' performance. These qualities induced the Framatec Society (French society of techniques and materials which originated in 1988) to gain interest in the Spherobat system and to build together with Unibat International the 4000 m² roof of the mosque of Hassan II in Casablanca.

dążeniu do wykorzystania w praktyce coraz bardziej konkurencyjnych systemów. W tym obszarze nie można nic zrobić bez zagłębienia się w świat przemysłu, w którym rządzi ekonomia. Badania w przemyśle na rzecz architektury wymagają ścisłej współpracy wielu stron, przy czym decydującą rolę odgrywa partnerstwo naukowców i biznesu [7].

Na początku lat 90. minionego stulecia Stefan du Château poprzez Unibat International Society posiadał światową licencję na poszukiwanie patentów. Towarzystwo to zlecało wyspecjalizowanym firmom produkcję elementów struktury, takich jak węzły, pręty i odpowiednie śruby. Unibat Society zapewniało obliczenia wymiarów struktur z architektami oraz kontrolowany montaż przeprowadzany przez firmy zajmujące się konstrukcjami metalowymi i było ono odpowiedzialne za jakość wykonania i elementów.

Podczas rozwoju struktur przestrzennych Stefan du Château stale nastawiony był na ich uprzemysłowienie i jednocześnie wzmacniał swój image inżyniera kreatora form i przestrzeni. Dla niego *myśleć strukturami to mieć umysł otwarty na badania i nową przyszłość, to znaczy myśleć o przyszłości poprzez wyobraźnię i obliczenia. Ta ewolucja jest możliwa i konieczna. Jest to część domeny teraźniejszości* [8].

W dziedzinie konstrukcji stalowych doświadczenia Stefana du Château są szeroko znane na całym świecie i w pełni uzasadniają opinię, że jego prace będą uznawane przez przyszłe pokolenia architektów i inżynierów za najważniejsze dokonania dotyczące rozwoju struktur przestrzennych.

Stefan du Château będzie zawsze pamiętany w świecie nauki jako ktoś, kto wiedział, jak ożywić zainteresowanie pięknymi i funkcjonalnymi konstrukcjami, opracowując wyjątkowe modele struktur. Ten człowiek o wyjątkowej osobowości i talencie oraz szczególnych zdolnościach wiedział, jak przewidywać przyszłe trendy, jak badać i znajdować wewnętrzny potencjał w materiałach i nowoczesnej technologii. Dlatego w dziedzinie struktur przestrzennych *Du Château jest wyjątkowy*.

Tłumaczenie
Tadeusz Szalamacha
Romuald Tarczewski

The effort to put in practice even more competitive systems shows Stéphane du Château's comprehension about the vast structures' area. In this field nothing can be done without diving into the industrial universe governed by the economy. Architecture research in the industry requires a close collaboration among many protagonists, where scientific partners in research and businesses have a dominant role [7].

During the beginning of 1990 Stéphane du Château through the Unibat International Society had a universal license for patent searching. The structure elements (nodes, bars and proper bolts) were fabricated by specialized firms through this society. The Unibat Society assured the dimension calculation of the structures with the architects and controlled the assemblage done by metallic structure firms and was responsible for the execution and the elements quality.

During the development of the spatial structures, Stéphane du Château constantly aimed at their industrialization and at the same time that he reinforced his image of engineer the creator of forms and spaces. For him to *think structures is having the mind open to research and a new future, that is, thinking the future by imagination and calculation. This evolution is possible and necessary. It is a sector on the present's domain* [8].

In the domain of steel constructions, Stéphane du Château's experiences are widespread in the entire world and fully justify the opinion that his work will be recognized by future generations of architects and engineers as the most important accomplishments in spatial structure development.

Stéphane du Château will always be remembered in the academic world as someone who knew how to awake the interest in beautiful and functional constructions, developing exceptional structure models. This man of an exceptional personality and talent and particular capabilities knew how to forecast future tendencies, how to investigate and find the intrinsic potential in materials and modern technology. That is why in the domain of spatial structures *Du Château is unique*.

Bibliografia/References

- [1] Makowski Z.S., *Constructions spatiales en acier*, Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier, Brussels 1964.
- [2] Du Château S., *Structures Spatiales – Stéphane du Château*, „Cahiers du centre d'études architecturales de Brussels”, Belgium 1968.
- [3] Chaperot Y., *Les Polycorolles*, „Techniques et Architecture”, 1971, No. 3.
- [4] Mainstrone R.J., *Developments in structural form*, Hazell, Watson & Viney Ltd., Great Britain 1975.
- [5] Heller R., Salvadori, M., *Structures et Architecture*, Eyrolles, Paris 1976.
- [6] Pompei D., *Structures Tridimensionnelles, bibliographic essay*, INSA, Toulouse 1978.
- [7] Ragon M., *Histoire de l'architecture et de l'urbanisme modernes*, Casterman, Paris 1991.
- [8] Porto C.E., *L'évolution des structures spatiales à travers l'oeuvre de Stéphane du Château*, PhD Thesis from Université de Paris I – Panthéon-Sorbonne, Paris 1993.

Źródła ilustracji

Wszystkie zdjęcia są częścią archiwum Stefana du Château.

Illustration credits

All the images are part of Stéphane du Château's archive.

Streszczenie

Polski inżynier Stefan du Château, który rozpoczął swoje badania w Paryżu niedługo po II wojnie światowej, był jednym z pionierów rozwoju lekkich struktur w myśli architektonicznej XX w. W niniejszej pracy przedstawiono ewolucję struktur przestrzennych na przykładach jego projektów i pokazano, jak opracowane przez niego systemy wpłynęły na nową architekturę.

Słowa kluczowe: struktury przestrzenne, ramy stalowe, badania i rozwój, uprzemysłowienie, rozpowszechnienie struktur przestrzennych, Stefan du Château

Abstract

Stéphane du Château, a Polish engineer, was one of the pioneers in the development of light structures in the 20th century, beginning his researches in Paris soon after the II World War. This article aims at presenting the evolution of spatial structures on the example of his projects and shows how systems invented by him influenced a new architecture.

Key words: spatial structure, steel frame, research and development, industrialization, spatial proliferation, Stéphane du Château



John F. Abel*

Struktury projektowane przez Stefana J. Medwadowskiego

Structures by Stefan J. Medwadowski

Wprowadzenie

Stefan J. Medwadowski jest wybitnym amerykańskim, polskiego pochodzenia, inżynierem konstrukcji budowlanych, posiadającym znaczący dorobek zarówno projektowy, jak i akademicki. W trakcie swojej ponad pięćdziesięcioletniej pracy zawodowej zaprojektował ponad 300 obiektów o łącznej wartości ponad 1,6 miliarda USD (według cen z roku 2000). Projekty te obejmują różne systemy konstrukcyjne. Są wśród nich struktury cienkopowłokowe wykonane z betonu i drewna, a także przestrzenne systemy sieciowe ze stali, betonu i drewna. Poza działalnością projektową prof. Medwadowski był przez ponad trzydzieści lat (1958–1989) adiunktem na Wydziale Inżynierii Budownictwa (Department of Civil Engineering) na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley. Od 1960 r. był aktywny w IASS – Międzynarodowym Stowarzyszeniu Struktur Powłokowych i Przestrzennych (International Association for Shell and Spatial Structures), gdzie przez trzy kadencje piastował stanowisko prezydenta (1991–2000).

Krótką biografia

Stefan Medwadowski urodził się w Polsce w 1924 r. jako najmłodsze z trojga dzieci w rodzinie generalskiej. Jego brat był inżynierem konstrukcji budowlanych i pro-

Introduction

Stefan J. Medwadowski, a distinguished American structural engineer of Polish origin, has excelled both in design practice and academia. In over 50 years of practice, he designed over 300 projects with a total construction cost (in 2000 US dollars) of more than US\$ 1.6 billion. These projects have involved a variety of structural systems, including thin shells in concrete and wood, and spatial or grid systems in steel, concrete, and timber. In



Il. 1. Stefan J. Medwadowski (fot. N.K. Srivastava) [1]

Fig. 1. Stefan J. Medwadowski (photo by N.K. Srivastava) [1]

* Cornell University, Ithaca, New York, USA.

Copyright © 2014 by John F. Abel

Published in English and Polish translation by "Architectus" with permission.

fesorem nadzwyczajnym na Politechnice Łódzkiej, a jego siostra autorką tekstów dla teatrów muzycznych. Medwadowski był chorążym w polskiej armii podziemnej, brał udział w Powstaniu Warszawskim, był dwa razy ranny. Przez sześć miesięcy – do kwietnia 1945 r. – był także jeńcem wojennym. Po wojnie służył w 2. Korpusie Polskim we Włoszech.

Podczas pełnienia służby wojskowej nadal się kształcił, studiując na Politechnice Warszawskiej (1943–1944) oraz na Uniwersytecie w Rzymie (1945–1946). Po jej zakończeniu w roku 1946 zapisał się na polską uczelnię (Polish University College) na Uniwersytecie Londyńskim, gdzie w roku 1949 otrzymał stopień inżyniera (C.E.). Później zrobił doktorat na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley (1954–1956).

Swoje pierwsze doświadczenia zawodowe zdobył jako inżynier konstrukcji budowlanych i inżynier projektu, pracując dla przedsiębiorstw w Londynie (1950–1952), Toronto i Montrealu (1953–1956) oraz w San Francisco (1956–1957). Od roku 1958 aż do momentu, gdy zaczął stopniowo przechodzić na emeryturę w pierwszych dziesięciu latach XXI w., kierował swoim własnym biurem projektowym w Kalifornii, które działało przez wiele lat, najpierw w San Francisco, a później w Oakland.

Projekty

W swoich pracach Stefan Medwadowski świadomie dążył do kreacji spełniających założone funkcje, a jednocześnie estetycznych form konstrukcyjnych. Zazwyczaj projektował budowle, ściśle współpracując z architektami, ale niekiedy był ich głównym projektantem (np. kładka dla pieszych i teleskopy optyczne). Wszystkie prezentowane przykłady zastosowania i rodzaje struktur przestrzennych wyszczególniono w pracy [2]. Poniżej znajduje się podsumowanie zaprezentowanych przykładów, z uwzględnieniem podziału na kategorie i rodzaje zastosowania.

W swoich ostatnich projektach Medwadowski zmierzył się ze szczególnym wyzwaniem stworzenia ogromnych konstrukcji podtrzymujących jedne z największych teleskopów optycznych na świecie. Gigantyczne konstrukcje przestrzenne podpierające te urządzenia wymagają wyjątkowo wysokiej sztywności w stosunku do ciężaru.

Obiekty sportowe

Cechą charakterystyczną projektowanych przez Medwadowskiego obiektów sportowych i innych budynków powstałych na czterech uniwersytetach jest ich wielofunkcyjność. Pierwszy z tych budynków to Athletic Center zbudowany w 1964 r. na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Cruz. Dach hali głównej stanowi stalowa rama o wyjątkowym kształcie nadającym jej lekkość. Wykonany został w systemie jednowarstwowym, przy czym jego mocno pofałdowana powierzchnia zwiększa sztywność i stabilność. Architektem w tym projekcie był Warren Callister.

Architektem innego budynku – Maples Pavilion – na Uniwersytecie Stanforda w Palo Alto wybudowanym

addition, Professor Medwadowski served as an adjunct member of the faculty of the Department of Civil Engineering at the University of California at Berkeley for over thirty years, 1958 to 1989. He became active in the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) in 1960 and served three terms as IASS President from 1991 to 2000.

Biographical sketch

Stefan Medwadowski was born in Poland in 1924, the youngest of three children of an army general. His brother was a structural engineer and an associate professor of Lodz Technical University, while his sister became a playwright of musical theater. Medwadowski served as an ensign in the underground Polish Army, participated in the Warsaw Uprising, was twice wounded, and was a prisoner of war for six months until April 1945. After the war, he served with the Polish Second Corps in Italy.

During the years of his military service, he also advanced his education by studying at the Warsaw University of Technology, 1943–1944, and the University of Rome, 1945–1946. Upon his release from the military in 1946, he enrolled at the Polish University College of the University of London, where he received his C.E. degree in 1949. Later, he earned a Ph.D. from the University of California at Berkeley in 1954–1956.

His earliest professional experience was as a structural engineer and project engineer for firms in London (1950–1952), Toronto and Montreal, Canada (1953–1956), and in San Francisco (1956–1957). From 1958 until his gradual retirement during the first decade of the 21st century, he was the principal in his own design office in the California Bay Area, for many years in San Francisco and later in Oakland.

Design practice

The structures designed by Stefan Medwadowski are characterized by the conscious effort to define space and fulfill function in an aesthetically pleasing manner. In most cases, the buildings were designed in close collaboration with architects, but in other cases (e.g., pedestrian bridge and optical telescopes) Medwadowski has been the lead designer. The examples presented are drawn from a spectrum of applications and types of spatial structures, and all are illustrated in Reference [2]. Following is the summary of examples presented, categorized by the type of application.

Medwadowski's most recent designs have entailed the particular challenge of creating structural supports for some of the largest optical telescopes in the world. The huge spatial structures that support these instruments require an exceptionally high ratio of stiffness to weight.

Arenas

Facilities at four universities are representative of Medwadowski's projects for multipurpose or athletic facilities. Chronologically, the first of these is the Athletic

w 1968 r. był John Carl Warnecke. Ta wielofunkcyjna hala sportowa, mieszcząca 5500 widzów, wykorzystywana jest przede wszystkim podczas meczów koszykówki. Dach tego obiektu, zbudowany ze stalowej sieci kratownicowej wspartej na czterech kolumnach, jest niezależny od znajdujących się poniżej betonowych stopni na ławki.

Inne rozwiązania niż dotychczas przedstawione stalowe konstrukcje hal sportowych pojawiły się w budowach Medwadowskiego w latach 80. XX w. Były to konstrukcje wykonane z drewna klejonego. Wielofunkcyjna hala Spanos Center na Uniwersytecie Pacyfiku w Stockton (1981), mieszcząca 6000 widzów, to radialna sieć drewnianych kratownic. Stopnie na ławki wykonano z betonu.

Kolejna, wybudowana w 1984 r., wielofunkcyjna hala sportowa Multipurpose Center na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Barbara mieści 6000 widzów. Jej dach stanowi ruszt kratownic z drewna klejonego, przy czym obciążenia poprzeczne przenoszone są za pomocą pionowego systemu takich właśnie kratownic.

Teatry i kościoły

Medwadowski wykonywał projekty teatrów i kościołów budowanych zarówno z betonu, jak i z drewna. Kościół United Church w Squaw Valley, nad którym pracował wspólnie z architektem Royem Watanabe, wybudowano na zimowe igrzyska olimpijskie w 1960 r. Ten niewielki kościół ma betonowy cienkościenny, powłokowy dach siodłowy oparty na dwóch betonowych przyporach. Ściany zaprojektowano tak, aby podpierały jedynie witrażowe okna, wypełniające prawie cały obwód budynku.

Jednym z przykładów współpracy z biurem architektonicznym Demi and Wells jest kompleks budynków Zellerbach Theater i Playhouse na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley z roku 1968. Te dwa budynki, z których każdy ma w pełni wyposażone proscenium, wykonano ze sprężonego żelbetu. Zellerbach Theater mieści 2000 widzów, a Playhouse 600 widzów. Obiekty te są cały czas używane przy wystawianiu sztuk, spektakli baletowych, operowych, odbywają się w nich koncerty.

Mills College Chapel w Oakland i Unitarian Church w San Francisco to dwa drewniane kościoły zaprojektowane z architektem Warrenem Callisterem. Pierwszy z tych obiektów wyróżnia struktura radialna z centralną latarnią, a drugi – wyjątkowe detale.

Budynki z betonu

Inny projekt zrealizowany z architektem Johnem Carlem Warneckem to budynek magazynowo-biurowy z roku 1960, który jest przykładem wykorzystania w pełni możliwości materiałowych betonu. Cały budynek zakładu Calaveras Cement Company w Redding, włącznie z belkami podsuwnicowymi, zbudowany jest z prefabrykowanego betonu sprężonego, a jego dach zaprojektowano z cienkościennych powłokowych elementów modułarnych [3].

Kolejny budynek The Summit przy 999 Green Street w San Francisco to 32-kondygnacyjny apartamentowiec zaprojektowany we współpracy z architektem Neillem Smithem, wykonany w 1965 r. Zbudowany ze sprężone-

Center at the University of California at Santa Cruz, dating from 1964. The roof of the main hall is a steel space frame of a unique design that conveys lightness – a single-layer system but with the surface of this layer containing many folds to improve the stiffness and stability. The architect for this project was Warren Callister.

John Carl Warnecke was the architect for the Maples Pavilion of Stanford University in Palo Alto (1968). This multipurpose arena seats 5,500 and is used primarily for basketball. The roof is a steel grid of trusses supported on four columns and is independent of the concrete bleachers below.

In contrast to the arenas with steel structures, Medwadowski's designs in the 1980's utilized glued-laminated timber. The multipurpose Spanos Center at the University of the Pacific in Stockton (1981) seats 6,000 and has a radial grid of wood trusses. The bleachers are concrete.

The Multipurpose Center at the University of California at Santa Barbara, completed in 1984, seats 6,000. The roof is a grid of glued-laminated wood trusses, while lateral load transfer is provided by a vertical system of such trusses.

Theaters and churches

Medwadowski has executed designs of theaters and churches in both concrete and wood. The United Church of Squaw Valley, undertaken with architect Roy Watanabe, was completed for the 1960 Winter Olympic Games. This small church has a concrete thin-shell saddle roof supported on two concrete buttresses. The walls are designed to support only the stained glass windows that extend over almost the entire perimeter of the building.

One example of several collaborations with the architects Demi and Wells is the Zellerbach Theater and Playhouse at the University of California at Berkeley, completed in 1968. This complex of two buildings of reinforced and prestressed concrete houses a 2,000-seat theater and a 600-seat playhouse, each fully equipped with stage proscenium. The facilities are used regularly for performances of plays, ballet, concerts, and opera.

Two timber churches designed with architect Warren Callister are the Mills College Chapel in Oakland and the San Francisco Unitarian Church. The former has a radial structure with a central lantern, while the latter has details that delight.

Concrete buildings

Another project with architect John Carl Warnecke is a warehouse and office building designed in 1960 to showcase the potential of concrete. The facility of the Calaveras Cement Company in Redding is entirely precast and prestressed, including the crane girders. The roof consists of thin-shell modular elements [3].

The Summit at 999 Green Street in San Francisco is a 32-level apartment building designed in collaboration with architect Neill Smith and completed in 1965. This building of reinforced and prestressed concrete takes advantage of the mouldability of the material. This was one

go żelbetu wykorzystuje stosunkowo łatwą formowalność tego materiału. Jest to jeden z pierwszych wysokościowców, którego dynamikę analizowano za pomocą komputerów.

Budynek The Mount Angel Abbey Library w Saint Benedict w stanie Oregon jest jedną z dwóch budowli w USA zaprojektowanych przez Alvara Aalto [4]. Widać tu wyjątkowe wyrafinowanie chętnie stosowanego przez Aalto rozwiązania problemu rozplanowania biblioteki. Medwadowskiemu zostawiono dużą swobodę przy projektowaniu schematu strukturalnego tej budowli, a jego propozycja ustawienia kolumn parami została zaakceptowana przez architekta. Dzięki temu przestrzeń wewnętrzna uzyskuje pewien rytm i wyrazistość. Medwadowski przywołuje ten projekt jako jeden z tych, które sprawiły mu największą satysfakcję, ponieważ główny wysiłek projektu konstrukcyjnego skierowano bardziej na zdefiniowanie przestrzeni niż na samo rozwiązanie trudności technicznych.

Kładka dla pieszych

W roku 1966 Medwadowski został poproszony o zaprojektowanie kładki dla pieszych z długim na 200 stóp prześłem biegnącym nad leśnym kanionem na terenie kampusu na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Barbara. Dwa podstawowe ograniczenia projektowe dotyczyły zastosowania drewna już wykorzystywanego na kampusie oraz kosztu wybudowania kładki. W konsekwencji kładka została wykonana z impregnowanego drewna klejonego, drewna ciętego oraz elementów połączonych śrubami z pozostałymi elementami. W krótkim czasie, pod wpływem warunków atmosferycznych, wygląd kładki tak się zmienił, że odnosiło się wrażenie, jakby od dawna była częścią tego krajobrazu.

Warto przytoczyć anegdotę związaną z tą kładką: otóż po śmierci znanego architekta krajobrazu Thomasa Churcha czasopismo „Sunset” opublikowało artykuł wychwalający jego dorobek i talent. Artykuł ten ilustrowało tylko jedno zdjęcie – zdjęcie kładki zaprojektowanej przez Medwadowskiego – ponieważ wydawcy założyli, że tak atrakcyjna konstrukcja na pewno została zaprojektowana przez Churcha.

Struktury przestrzenne dla teleskopów optycznych

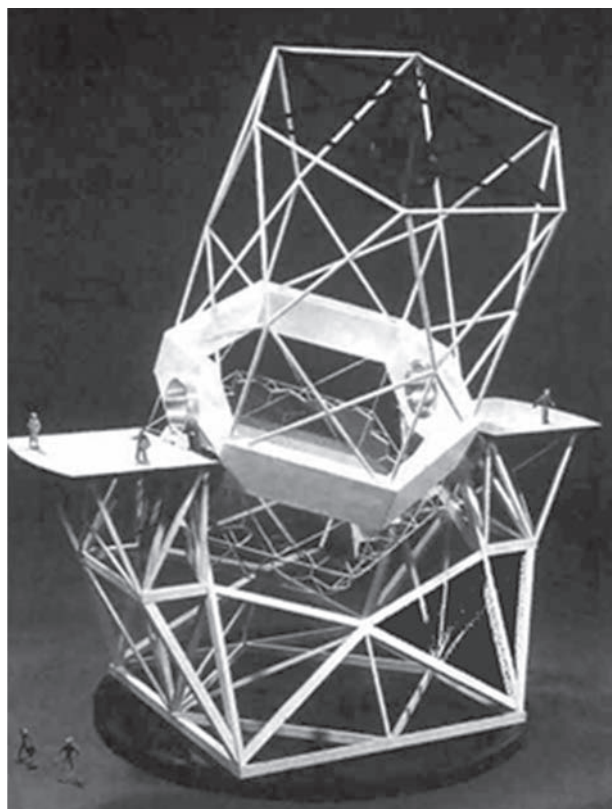
Od 1979 r. Medwadowski był zaangażowany przy projekcie konstrukcji kilku wielkich teleskopów optycznych. Pierwszym z nich był teleskop Kecka (typu ALT-AZ z nowatorskim segmentowym zwierciadłem o średnicy 10 m) w Mauna Kea na Hawajach, zbudowany w roku 1991. Jest to struktura przestrzenna o wyjątkowo dużej sztywności w stosunku do ciężaru. Konstrukcja teleskopu razem ze wszystkimi zwierciadłami i oprzyrządowaniem waży zaledwie 270 ton – dla porównania teleskop Hale ze zwierciadłem o średnicy 5 m waży dwa razy tyle. Konstrukcja teleskopu Kecka jest schowana pod kopułą, a model struktury przestrzennej pokazano na ilustracji 2. Teleskop Kecka okazał się tak wielkim sukcesem, że w tym samym obserwatorium wybudowano drugi taki teleskop. Teleskop Kecka zapoczątkował też erę nowoczesnych dużych

of the first high-rise structures to be analyzed dynamically with the aid of computers.

The Mount Angel Abbey Library at Saint Benedict, Oregon is one of only two projects in the U.S.A. designed by Alvar Aalto [4]. This represents a significant refinement of Aalto's well-known solution of the problem of library layout. Medwadowski was given considerable leeway in designing the structural scheme, and his proposal for arranging the columns in pairs was accepted by Aalto. This arrangement has a pronounced effect on the rhythm and the definition of the interior space. Medwadowski cites this as one of his most satisfying projects because the main structural design effort was directed toward the definition of space rather than toward just solving the technical difficulties.

A pedestrian bridge

In 1966, Medwadowski was asked to design a pedestrian bridge for a 200-foot span across a wooded canyon on the campus of the University of California at Santa Barbara. The two primary design requirements were that the bridge fit the wooded character of the campus and that it be economical to construct. Accordingly, it is made of treated glued-laminated timber and sawn lumber and consists of bolted elements and subassemblies. Within a short time, it had weathered to an appearance that suggested it had long been a part of the landscape.



Il. 2. Model stalowej przestrzennej konstrukcji wsporczej teleskopu Kecka (źródło: [2], zdjęcie dzięki uprzejmości S.J. Medwadowskiego)

Fig. 2. Model of the steel spatial supporting structure of the Keck Telescope (Credit: [2], figure courtesy of S.J. Medwadowski)

teleskopów, takich jak niedawno wybudowane teleskopy Gemini i Subaru, z nieco mniejszymi niż teleskop Kecka zwierciadłami głównymi.

Kolejnym projektem Medwadowskiego dotyczącym konstrukcji pod teleskopy była konstrukcja teleskopu Hobby-Eberly (SST) w Obserwatorium McDonalda w Teksasie. Ten przyrząd zbudowany w roku 1997 ma segmentowe zwierciadło o średnicy prawie 10 m.

Medwadowski pracował również nad koncepcyjną fazą projektu konstrukcyjnego teleskopu CELT w Kalifornii, którego segmentowe zwierciadło ma średnicę 30 m – trzy razy większą niż średnica największego zwierciadła głównego teleskopu Kecka. Aby sobie wyobrazić wielkość tej konstrukcji, wystarczy uświadomić sobie, że jest ona trochę szersza u podstawy niż katedra w Reims i trochę wyższa niż jej wieże.

Kariera akademicka

W latach 1958–1989 Medwadowski uczył konstrukcji budowlanych na Wydziale Inżynierii Lądowej (Department of Civil Engineering) na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley. Na podstawie decyzji Uniwersytetu Medwadowski został profesorem kontraktowym (Adjunct Professor). Był on pierwszą w historii osobą mianowaną na to stanowisko na tym wydziale. Na tej uczelni Medwadowski uczył mechaniki budowli, projektowania konstrukcji stalowych, konstrukcji o dużych rozpiętościach, teorii płyt, teorii powłok oraz projektowania systemów konstrukcyjnych. Oprócz tego był opiekunem magistrantów i doktorantów.

Podczas swojej kariery naukowej prof. Medwadowski opublikował ponad sto artykułów w renomowanych czasopismach naukowych i prezentował je na wielu konferencjach. Prace te można podzielić na trzy główne grupy:

- 1) wyniki badań w dziedzinie teorii struktur, teorii płyt i teorii powłok, np. [5] i [6],
- 2) artykuły na temat niektórych aspektów projektowych struktur, np. [7] i [8],
- 3) artykuły na temat niektórych swoich projektów, np. [3].

Jest on także długoletnim członkiem ACI-ASCE – Wspólnego Komitetu Amerykańskiego Instytutu ds. Betonu i Amerykańskiego Towarzystwa Inżynierów Budowlanych (Joint Committee of the American Concrete Institute and the American Society of Civil Engineers) ds. Projektowania i Realizacji Powłok Betonowych, któremu przewodniczył w latach 1978–1982. Występując w tej roli, aktywnie uczestniczył w organizacji wielu specjalnych sesji na konferencjach ACI i ASCE oraz angażował się przy redakcji i współredakcji kilku publikacji komitetu, np. [9] i [10].

Działalność organizacyjna

Znaczną część swojego życia zawodowego Stefan Medwadowski poświęcił na działalność w Międzynarodowym Stowarzyszeniu Struktur Powłokowych i Przestrzennych (International Association for Shell and Spatial Structures). Członkiem IASS został w roku 1960, rok

An anecdote associated with this bridge: When famed landscape architect Thomas Church died, the magazine “Sunset” published an article praising his contributions and his design talents. The article was illustrated by only one photograph, that of this bridge, because the editors assumed that a structure so attractive must have been designed by Church.

Spatial structures for optical telescopes

Starting in 1979, Medwadowski was involved with the design of the structure of several great optical telescopes. The first of these, completed in 1991, was the Keck Telescope at Mauna Kea, Hawaii, an alt-az telescope with a 10-meter mirror of novel, segmented design. The structure is spatial, with an exceptionally high stiffness to weight ratio. The telescope structure plus all mirrors and instruments weighs only 270 tons – for comparison, the Hale Telescope with a 5-meter mirror weighs twice as much. The Keck telescope structure is hidden under the dome within which it was constructed; a model of the spatial structure alone is shown in Figure 2. The Keck Telescope has proven so successful that a second one was built as part of the same observatory. The Keck also began the era of modern great telescopes, with the Gemini and the Subaru recently completed, each with primary mirrors somewhat smaller than the Keck’s.

Medwadowski’s next telescope project was the Hobby-Eberly Spectroscopic Survey Telescope (SST) for the McDonald Observatory in Texas. This instrument has a nearly 10-meter segmented mirror and was completed in 1997.

Finally, Medwadowski worked on the conceptual structural design of the California Extremely Large Telescope (CELT), with a segmented mirror of 30 meters in diameter – three times the diameter of the largest extant primary mirror, that of the Keck. To envision the magnitude of this structure, one must realize that it will be slightly wider at the base than the Reims Cathedral and nearly as tall as the Cathedral’s towers.

Academic career

From 1958–1989, Medwadowski taught structural engineering in the Department of Civil Engineering at the University of California at Berkeley. The Regents of the University appointed him Adjunct Professor, and he was the first ever appointed to this position in the College of Engineering. His courses included structural mechanics, design of steel structures, long span structures, theory of plates, theory of shells, and design of structural systems. In addition, he co-directed thesis work by graduate students.

As part of his scholarly career, Professor Medwadowski published over a hundred papers in refereed journal as well as a number of conference papers that appeared in proceedings. These papers fell into three general categories:

- 1) results of research in the field of theory of structures, theory of plates, and theory of shells, e.g., [5] and [6],
- 2) articles on the design of some aspects of structures, e.g., [7] and [8], and
- 3) articles on some of the projects he designed, e.g., [3].

po założeniu Stowarzyszenia. Jedną z najwcześniejszych funkcji, jakie w nim pełnił, była funkcja Przewodniczącego Komitetu Naukowego Światowej Konferencji na temat Struktur Powłokowych (Editorial Committee of the World Conference on Shell Structures) zorganizowanej w 1962 r. w San Francisco [11]. W roku 1970 został członkiem Grupy Roboczej 5: Powłoki Żelbetowe, której przewodniczył w latach 1971–1983, włącznie z okresem, kiedy opublikowano Rekomendacje IASS [12].

Najpierw wybrano go do Rady Wykonawczej (1972), a w latach 1983–1991 był wiceprezydentem stowarzyszenia i redaktorem naczelnym „Biuletynu IASS”. W roku 1991 został prezydentem na Sympozjum Kopenhaskim i stanowisko to piastował przez trzy kadencje, łącznie przez dziewięć lat. Podczas swojej prezydentury uczestniczył w kilku dodatkowych grupach roboczych – 4: Maszty i Wieże, 6: Rozciąganie i Struktury Membranowe, 8: Metalowe Struktury Przestrzenne i 13: Metody Numeryczne w Strukturach Powłokowych i Przestrzennych. Podróżował po całym świecie jako przedstawiciel IASS oraz uczestniczył w wielu kolokwium IASS i innych konferencjach towarzystw zawodowych, jak również w rocznych sympozjach IASS.

Podczas prezydentury Medwadowskiego, dzięki jego osobistym wysiłkom i inicjatywie, powstał nowy komitet ds. członkostwa, liczba członków IASS rosła, a działalność stowarzyszenia swoim zasięgiem objęła nowe państwa – utworzono oddziały IASS w takich krajach, jak Czechy, Indie, Rumunia, Rosja i Polska. W 1997 r. z inicjatywy Medwadowskiego zorganizowano w Madrycie specjalne kolokwium IASS w celu omówienia stosowanych współcześnie, a także dopiero pojawiających się nowych technologii struktur powłokowych i przestrzennych [13]. Prace i dyskusje podczas tego kolokwium pomogły wyznaczyć nowe kierunki prac grup roboczych stowarzyszenia.

Uwagi końcowe

Niniejsza praca jest próbą podsumowania zawodowej kariery Stefana Medwadowskiego – wybitnego amerykańskiego (polskiego pochodzenia) inżyniera konstrukcji budowlanych na reprezentatywnych przykładach jego projektów. W pracy tej sięgano prawie wyłącznie do źródeł [12], uwzględniając dodatkowe informacje opublikowane w [13] oraz ich uaktualnionych wersjach od pierwszego wydania w roku 2000. Działalność projektowa Medwadowskiego związana była najpierw z zastosowaniem betonowych powłok oraz przestrzennych konstrukcji ramowych ze stali i drewna, a także struktur betonowych, a później z wyjątkowo nowoczesnymi stalowymi konstrukcjami przestrzennymi teleskopów optycznych.

Thumaczenie
Tadeusz Szalamacha

He is also a long-time member of the Joint Committee of the American Concrete Institute and the American Society of Civil Engineers (ACI-ASCE) on Concrete Shell Design and Construction, and chaired this committee 1978–1982. In this capacity, he was active in the organization of a number of special sessions at ACI and ASCE conferences and in the editing or co-editing of several committee publications, e.g. [9] and [10].

Organizational activity

Stefan Medwadowski devoted much of his professional life to activities within the International Association for Shell and Spatial Structures. He became a member of IASS in 1960, the year after the founding of the Association. One of his earliest roles was as Chairman of the Editorial Committee of the World Conference on Shell Structures held in San Francisco in 1962 [11]. He became a member of Working Group 5: Reinforced Concrete Shells in 1970 and served as chair of this working group from 1971 to 1983, including the period during which the IASS Recommendations [12] were published.

He was first elected to the Executive Council in 1972, and was a Vice President of the Association and Editor-in-Chief of the *Bulletin of the IASS* from 1983 through 1991. He was elected President at the Copenhagen Symposium in 1991, and served three terms totaling nine years. While president, he participated in several additional Working Groups, including WG 4: Masts and Towers, WG 6: Tension and Membrane Structures, WG 8: Metal Spatial Structures, and WG 13: Numerical Methods in Shell and Spatial Structures. He traveled all over the world representing the IASS, including attendance and participation at many IASS Colloquia and other professional society conferences as well as at the annual IASS Symposia.

During President Medwadowski's tenure, thanks to his individual efforts and his initiative in forming a new committee on membership, the membership of the IASS grew and spread to additional countries, especially by the formation of IASS chapters in such nations as the Czech Republic, India, Romania, Russia, and Poland. Another of his initiatives was the organization of a special IASS Colloquium called to identify current and emerging technologies of shell and spatial structures and held in Madrid in 1997 [13]. The contributions and discussions at this colloquium helped to set new directions for the Association's Working Groups.

Concluding remarks

This paper is an attempt to summarize the professional career of a distinguished American structural engineer of Polish origin by describing a representative sample of his projects. It is based almost exclusively on Reference [12] but with additional information published in Reference [13] and updates since the original publication in 2000. Medwadowski's design activities earlier included concrete shells, steel and timber space frames, and concrete structures and continued in the exciting modern direction of steel spatial structures for optical telescopes.

Bibliografia/References

- [1] Mungan I., Abel J.F. (eds.), *Fifty Years of Progress for Shell and Spatial Structures*, IASS (2011).
- [2] Abel J.F., *Structures by Stefan J. Medwadowski*, „Journal of the IASS” 2000, Vol. 41, No. 3, 137–146.
- [3] Medwadowski S.J., Dawson W.R., *Design and Construction of Precast/Prestressed Thin Shell Roofs for a Cement Plant at Redding, California, Proceedings*, [w:] *IASS International Colloquium on Precast Shell Structures*, Dresden, 1961, Paper No. D3.
- [4] Anonymous, *Aalto's Second American Building: An Abbey Library for a Hillside in Oregon*, „Architectural Record” 1971, May, 111–116.
- [5] Medwadowski S.J., *A Refined “Theory of Elastic, Orthotropic Plates”*, „Journal of Applied Mechanics, ASME” 1958, Vol. 25, 437–443.
- [6] Medwadowski S.J., Popov E.P., *Membrane Stresses in Hyperbolic Paraboloidal Shells Circular in Plan*, Publications of IABSE, Vol. 20, 1960, 283–297.
- [7] Medwadowski S.J., *Design and Construction of Northlight Barrel Shells*, „ACI Journal” 1962, Vol. 59, 1903–1905.
- [8] Medwadowski S.J., *Lateral Force Distribution in a Random System of Shear Elements*, „ACI Journal” 1969, Vol. 66, 589–591.
- [9] Medwadowski S.J., Schnobrich W.C., Scordelis A.C. (eds.), *Concrete Thin Shells*, ACI SP-28, Detroit, 1971 and 1981.
- [10] Popov E.P., Medwadowski S.J. (eds.), *Concrete Shell Buckling*, ACI CP-67, Detroit, 1981.
- [11] Medwadowski S.J. (chair of the editorial committee), *Proceedings. World Conference on Shell Structures, San Francisco, 1962*, National Academy of Sciences–National Research Council, Washington, DC, Publication No. 1187, 1964.
- [12] IASS Working Group 5, *Recommendations for Concrete Shells and Folded Plates*, IASS, Madrid 1979.
- [13] Abel J.F., Astudillo R., Srivastava N.K. (eds.), *Current and Emerging Technologies of Shell and Spatial Structures*, [w:] *Proceedings of the LASS Colloquium held in Madrid, April 1997*, LASS, Madrid 1998.

Streszczenie

W swoich pracach Stefan Medwadowski, Amerykanin polskiego pochodzenia, stawiał sobie za cel świadomą kreację spełniających założone funkcje, a jednocześnie estetycznych form konstrukcyjnych. W swoich projektach wykorzystywał różnorodne systemy konstrukcyjne, takie jak cienkie powłoki z betonu i drewna, jak również systemy przestrzenne czy siatkowe ze stali, betonu i drewna. Przedstawione przykłady obejmują wiele różnorodnych projektów takich jak długoprzęsłowe hale sportowe, kościoły i teatry, betonowe budynki, kładkę dla pieszych oraz stalowe konstrukcje przestrzenne podtrzymujące teleskopy optyczne.

Słowa kluczowe: Medwadowski, struktury sieciowe, teleskopy optyczne, struktury powłokowe, struktury przestrzenne

Abstract

The structures designed by Stefan J. Medwadowski, an American of Polish origin, are characterized by the conscious effort to define space and fulfill function in an aesthetically pleasing manner. His projects have involved a variety of structural systems, including thin shells in concrete and wood, and spatial or grid systems in steel, concrete, and timber. Examples presented include long-span arenas, churches and theatres, concrete buildings, a pedestrian bridge, and steel spatial structures to support optical telescopes.

Key words: Medwadowski, grid structures, optical telescopes, shell structures, spatial structures



Kładka dla pieszych na autostradzie A13
koło Bolonii – węzeł podwieszenia cięgien
(fot. M. Majowiecki)

The foot-bridge over A13 highway near
Bologna – the node of tension members
suspension (photo by M. Majowiecki)



Kazimierz Flaga*

*Przygoda mojego życia.
Studium projektowe głównych obiektów sportowych
XXI Igrzysk Olimpijskich w Montrealu*

*An adventure of my life.
A design study of the main sports objects
of the 21st Olympic Games in Montreal*

Wprowadzenie

Obiekty sportowe wybudowane na Igrzyska XXI Olimpiady w Montrealu w 1976 r. były przełomowe pod wieloma względami. Przede wszystkim ze względu na pierwszy stadion olimpijski z rozkładanym dachem (w dodatku w strefie bardzo dużych obciążeń śniegiem), po raz pierwszy tak konsekwentne zastosowanie konstrukcji powłokowych, po raz pierwszy wykorzystanie na taką skalę prefabrykacji. Zostaną one zapamiętane także ze względu na niezwykle efekt wizualny, jaki wywierały na obserwatorach i uczestnikach. Wydawało się, że nic nie przewyższy wrażenia, jakie zrobiły dachy membranowe wykorzystane na wcześniejszych igrzyskach w Monachium. A jednak architektowi, który zaprojektował montreali kompleks, Rogerowi Taillibertowi [1], sztuka ta się udała. Miałem niezwykle okazję uczestniczyć w opracowaniu systemu konstrukcyjnego dla tych obiektów. Przygotowując projekt studialny zespołu olimpijskiego, przeżyłem „przygodę mojego życia”.

Introduction

The construction of sports facilities built for the 21st Olympic Games in Montreal in 1976 was seminal in many respects. Primarily because the Olympic stadium was the first stadium ever built with a retractable roof (in spite of heavy snowfall in the region), a highly consistent use of shell structures, and the use of prefabrication for the first time on such a scale. The facilities will be remembered also for their amazing visual effects on the viewers and participants. It seemed that nothing would ever surpass the effect of the membrane roofs built earlier for the Olympic Games in Munich. However, what seemed impossible was successfully executed by the architect who designed them – Roger Taillibert [1]. I was extremely lucky to participate in developing the construction system applied in those facilities. The work on the pre-investment design for the Olympic team was for me “an adventure of my life”.

An adventure of my life

I spent the year 1972 in Paris, France. I was then a professor of the Cracow University of Technology, Poland; I came to France to do, as a civil engineering designer, an upgrading scientific and professional training. I did one course at the Centre Experimental d'Études du Bâti-ments et des Travaux Publics, the second one, by lucky

* Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej/Faculty of Civil Engineering, Cracow University of Technology.

Przygoda mojego życia

Rok 1972 spędziłem w Paryżu, we Francji. Byłem wówczas pracownikiem Politechniki Krakowskiej. Przyjechałem do Francji jako projektant budownictwa lądowego na szkolenie naukowe i zawodowe. Odbyłem jeden kurs w Centre Experimental d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics, a drugi, szczęśliwym trafem, w Agence de Taillibert – biurze projektowym znakomitego architekta francuskiego – Rogera Tailliberta. W owym czasie biuro było zaangażowane w fazę badań nad projektowaniem obiektów sportowych na XXI Igrzyska Olimpijskie w Montrealu [2]. Otrzymałem stanowisko głównego konstruktora budowlanego, idąc w ślady Krzysztofa Zamenhoffa-Zaleskiego, wybitnego francuskiego inżyniera polskiego pochodzenia, wnuka twórcy języka esperanto. Niespodziewanie dla mnie, musiałem stawić czoło skomplikowanym zagadnieniom natury naukowej, technicznej i technologicznej – problemom, które musiały zostać uwzględnione w projekcie architektonicznym i budowlanym tych obiektów [3]–[5].

Dziedzictwo obiektów olimpijskich w Montrealu

Naturalne wydaje się pytanie, dlaczego dzisiaj, w XXI w., mielibyśmy wracać do projektów i ich realizacji sprzed 38 lat. Czyżby niektóre kwestie wówczas rozwiązywane okazały się ponadczasowe i są nadal aktualne? Wydaje się, że tak właśnie jest i – pomimo widocznego postępu cywilizacyjnego w dziedzinie budownictwa – wiele rozwiązań tradycyjnych nie straciło swojego znaczenia, np. kształt stadionu olimpijskiego w formie amfiteatru nawiązującego do starożytnych budowli tego typu, takich jak Koloseum. Bardziej aktualne problemy obejmują zastosowanie w omawianych obiektach betonu jako podstawowego materiału budowlanego. Wydawałoby się, że wykorzystanie betonu, materiału pierwszej połowy XX w., ciężkiego i „starego”, nie może wróżyć sukcesów. Tymczasem dostał się on w ręce Rogera Tailliberta – Francuza, który nigdy nie zapomniał, że jego ojczyzna jest kolebką betonu i konstrukcji z betonu zbrojonego, w szczególności z betonu sprężonego. Francja to kraj, w którym stawiano pierwsze tego typu konstrukcje, i w którym zastosowanie tego materiału doprowadzono do perfekcji – doskonałość tę wyraźnie widać na przykład w montreal-skich obiektach sportowych [1].

Projekty obiektów olimpijskich

Roger Taillibert wykorzystał fakt, że jedną z podstawowych cech tego materiału jest łatwość kształtowania go w niemal dowolny sposób. Dodatkowo uwielbiał on krzywe linie i powierzchnie, działając zgodnie z zasadą że „wszystko, co piękne w naturze, jest krzywe”. Łącząc te dwa aspekty w swoich betonowych konstrukcjach, osiągnął wrażenie płynności i ruchu, ale dostojnego ruchu, które razem z szorstką strukturą i „ciężarem” betonu dało efekt stabilności i trwałości (il. 1).

Nie zapomniał również o tym, że podstawowe właściwości tego materiału to jego wysoka wytrzymałość na

coincidence, at the Agence de Taillibert – a design office of an outstanding French architect, Roger Taillibert. At the time the office was engaged in the studies phase of designing the sports objects for the 21st Olympic Games in Montreal. I was given the position of the chief structural engineer following Krzysztof Zamenhoff-Zaleski, an eminent French engineer of Polish origin, the grandson of the creator of Esperanto. Unexpectedly for me, I was faced with challenging problems of scientific, technical and technological nature, problems that had to be solved in the architectural and structural design of these objects [3]–[5].

Legacy of Olympic facilities in Montreal

A question arises why today, in the 21st century, should we return to the designs and their execution from 38 years before. Have some of the matters considered then proved timeless, still up-to-date? So it seems, and despite evident civilization progress in the construction field, many issues within the sphere of tradition have not lost their significance, for example the shape of the Olympic Stadium in the form of an amphitheatre, referring to the amphitheatres of the ancient world, with the Colosseum heading the list. Among more current problems there is application in the objects discussed of concrete as the fundamental construction material. It would seem that concrete, the material of the first half of the 20th century, apparently heavy, “old”, cannot augur well for success. However, it got in the hands of Roger Taillibert, a Frenchman who never forgot that France is the cradle of concrete and structures built from reinforced concrete, prestressed concrete in particular. France is the country where progress in these structures commenced, the country which reached perfection in using this building material, perfection which was expressed in the Montreal sports objects, to name but a few [1].

Design of the Olympic objects

Roger Taillibert made use of the fact that one of the basic features of this material is the ease of nearly arbitrary shaping it. He also loved the curved lines and surfaces, following the principle that “anything that is pretty in nature is curved”. And combining the two, in his concrete structures he achieved an impression of floating, movement, but dignified movement, which together with the rough texture and “weight” of concrete produced the effect of stability and durability (Fig. 1).

He did not forget, either, that the essential property of this material is high compressive strength and low tensile strength, which prompted solutions in the shape of convex shells in compression. This idea was used in the shell of roofing of the Olympic Velodrome and Pools. In the Velodrome shell, at the span of $l = 172$ m, the equivalent thickness of the shell was $d = 0.65$ m, which gives the ratio of $d/l = 1/265$. This value does not fully reflect efficiency of the solution from the constructional point of view [2].

In the nature produced eggshell this ratio is 1/65. In man-made convex shells, rotary-symmetrical under ro-



Il. 1. Kompleks Stadionu Olimpijskiego i Wieża: a) ogólny widok (fot. Tolivero; http://en.wikipedia.org/wiki/Olympic_Stadium_%28Montreal%29#mediaviewer/File:Le_Stade_Olympique_3.jpg, CC BY SA 3.0), b) widok pochyłej Wieży Olimpijskiej oraz wiodromu z przezroczystymi, plastikowymi osłonami tworzącymi świetliki (fot. storem; http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Biodome_de_Montreal.jpg, CC BY SA 2.0)

Fig. 1. Complex of the Olympic Stadium and Tower: a) general view (photo by Tolivero; http://en.wikipedia.org/wiki/Olympic_Stadium_%28Montreal%29#mediaviewer/File:Le_Stade_Olympique_3.jpg, CC BY SA 3.0), b) view of the inclined Olympic Tower and Velodrome with transparent plastic covers, forming its skylights (photo by storem; http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Biodome_de_Montreal.jpg, CC BY SA 2.0)

ściskanie i niska wytrzymałość na rozciąganie, które to cechy podsunęły rozwiązania w kształcie ściskanych wypukłych powłok. Ten pomysł został wykorzystany w powłoce dachu wiodromu i basenów. Odpowiednia grubość powłoki wiodromu, przy rozpiętości $l = 172$ m, wynosiła $d = 0,65$ m, co daje stosunek $d/l = 1/265$. Z konstrukcyjnego punktu widzenia ta wartość nie oddaje w pełni skuteczności tego rozwiązania [2].

W stworzonej przez naturę skorupce jajka stosunek ten wynosi $1/65$. W stworzonych przez człowieka wypukłych powłokach obrotowo-symetrycznych, pod obciążeniem obrotowo-symetrycznym, które jest korzystne z punktu widzenia analizy statycznej, ten stosunek jest różny i wynosi np. $1/10$ w kopule Panteonu w Rzymie (o rozpiętości 43,5 m), $1/20$ w kopule Bazyliki Św. Piotra w Rzymie (o rozpiętości 41,5 m), $1/160$ w żelbetowej kopule Hali Stulecia we Wrocławiu (o rozpiętości 65 m), $1/480$ w żelbetowej kopule Hali w Lipsku (o rozpiętości 80 m). Stosunek $1/265$ uzyskany przez Roberta Tailliberta w bardzo smukłej, o dużej rozpiętości, asymetrycznej powłoce wiodromu należy więc uznać za bardzo korzystny (il. 1b).

Kolejnym elementem „operacji” przeprowadzonej przez Roberta Tailliberta na budowlach olimpijskich, oprócz zastosowania betonu, jest wprowadzenie asymetryczności. Uważał on, że symetryczne konstrukcje betonowe osiągnęły swój szczyt w projektach Feliksa Candeli czy Piera Luigiego Nerviego, a dalszy ich rozwój jest możliwy w zakresie ich asymetryczności. Taki właśnie kształt został zastosowany nie tylko przy dachu wiodromu, lecz także przy konstrukcji dachu stadionu oraz wieży z pływalnią. Te trzy obiekty zostały zintegrowane w jeden kompleks, którego poszczególne elementy mają pewną symbolikę, nawiązując do czasów współczesnych i obecności Francji na kontynencie amerykańskim (il. 2). Kiedy spojrzy się na kompleks z boku, stadion przypomina latający spodek, Wieża Olimpijska nad pływalnią, z powłokami na bokach – najnowocześniejszy wówczas samolot Concorde, a widziana z lotu ptaka – kwiat lilii, godło monarchii francuskiej. Można też zauważyć świadomie użytą symbolikę

tary-symetryczal load, which is favorable in view of static analysis, this ratio ranges from $1/10$ in the cupola of the Pantheon in Rome (span 43.5 m), $1/20$ in the cupola of St. Peter's basilica in Rome (span 41.5 m), $1/160$ in the reinforced cupola of Hala Stulecia (Centennial Hall) in Wrocław (span 65 m), $1/480$ in the reinforced concrete of the cupola of the Hall in Leipzig (span 80 m). The ratio of $1/265$ reached by R. Taillibert in the very slender, large span asymmetric shell of the Olympic Velodrome should be recognized as very favorable (Fig. 1b).

Another element of Robert Taillibert's "operation" on Olympic structures from concrete is their asymmetry. He thought that concrete symmetrical structures reached their peak in the designs by Felix Candela or Pier Luigi Nervi and further development is possible in the field of asym-



Il. 2. Dynamika wizualna kształtu Wieży Olimpijskiej wraz z przyległymi powłokami żebrowymi, kryjącymi we wnętrzu pływalnię olimpijską (fot. Acarpentier; http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Le_Stade_Olympique_de_Montr%C3%A9al_Nuit_Arriere_Edit_1.jpg, CC BY 3.0)

Fig. 2. The dynamics of the visual shape of the Olympic Tower and adjacent ribbed shells, concealing inside the Olympic swimming pool (photo by Acarpentier; http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Le_Stade_Olympique_de_Montr%C3%A9al_Nuit_Arriere_Edit_1.jpg, CC BY 3.0)



Il. 3. Widok welodromu z lotu ptaka: żebra są widoczne zarówno z wewnątrz, jak i na zewnątrz, podkreślając kształt „liścia klonu” (fot. PtitLutin; http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Biodome_Montreal.jpg, CC BY SA 2.5)

Fig. 3. Bird's eye view of the Velodrome: ribs are visible both from inside and outside, emphasizing the “maple leaf” shape (photo by PtitLutin; http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Biodome_Montreal.jpg, CC BY SA 2.5)

o charakterze politycznym; na przykład dach welodromu w kształcie liścia, który miał „spaść” z Wieży Olimpijskiej, przypominający liść klonu – symbol Kanady (il. 3).

Jeżeli połączymy odwagę i rozmach ukształtowania przestrzennego tych obiektów, zamiłowanie do krzywych linii i powierzchni, wykorzystanie cech wytrzymałościowych, przekrojów zamkniętych, takich jak rura czy skrzynka, skalę wykorzystania prefabrykacji i najnowszych technik budowlanych (np. metodę betonowania wspornikowego), uzyskamy przednie rozwiązania technologiczne wykorzystujące cechy wytrzymałościowe materiału dostępnego od ręki, czyli w tym przypadku betonu.

Prefabrykacja w procesie przygotowania obiektów olimpijskich

Charakterystyczną cechą rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych w obiektach olimpijskich jest bardzo wysoki stopień prefabrykacji. Zarówno stadion, jak i welodrom mają konstrukcję, której głównymi elementami są potężne prefabrykowane żebra. Zamysłem architekta było pozostawienie ich wyeksponowanych, tak aby nadawały konstrukcji bardzo wyraźny charakter, tworząc rodzaj swoistego egzoszkieletu. Żebra w początkowej fazie montażu były ustawiane jako elementy wspornikowe, a następnie łączone eliptycznym pierścieniem górnym, dzięki czemu tworzyły układ przestrzenny. Elementy pierścienia również były prefabrykowane. Wysoka jakość wykonania elementów i dokładność prac montażowych pozwalała nie tylko na znaczne przyspieszenie robót, ale także na ograniczenie prac wykończeniowych. Oczywiście bardzo dużo było również elementów wykonywanych jako monolityczne, które betonowano na placu budowy. Jednakże prefabrykacja głównych elementów była niezmiernie ważna dla efektywności zastosowanego rozwiązania.

metrical structures. And this design shape was adopted for, besides the Velodrome roof, also roofing of the Stadium, Pool and Tower. The three objects were integrated into a single compositional entity in which individual components have certain symbolic representation, referring to modern times and the presence of France on the American continent (Fig. 2). When looked at from the side, the Stadium resembles a “flying saucer”, Olympic Tower above the pool, with shells on both sides – the most modern then aircraft *Concorde*, and seen from a bird's eye – the flower of a lily, the emblem of royal France. In this symbolic scheme some deliberate elements of political nature are noticed. Also the shape of a leaf in the Velodrome roof projection, which “fell off” the Olympic Tower, as it were, resembling the maple tree leaf – the symbol of Canada, should be added (Fig. 3).

If we add the courage and flair in spatial shaping of these objects, the love of curved lines and surfaces, the use of strength characteristics, closed cross-sections such as a pipe or a box, nearly full use of prefabrication and the latest construction techniques (including balanced cantilever method), we achieve a superior technological solution of a high degree of making use of strength characteristics of the material at disposal, concrete in this case.

Prefabrication in the preparation construction of the Olympic facilities

What was a characteristic feature of the construction solutions used in the Olympic facilities was a high degree of prefabrication. Huge prefabricated ribs are the main structural elements of both the stadium and the Velodrome. The original idea of the architect was to leave them exposed so they would make the whole structure look distinctive, creating a kind of exoskeleton. The ribs at the initial erection stage were used as brackets and then they were connected with an elliptical upper ring, thus creating a spatial structure. The elements of the ring were also prefabricated. Due to the high quality of workmanship of the elements and the precision of erection works all structures could be built much faster and they required less finish work. Obviously, there were also many monolithic site-cast concrete elements. However, the prefabrication of main elements was extremely important for the efficiency of that solution.

Conclusions

Have the objects in question proved successful solutions? It is hard to say today. In the French press these objects were called “a symphony of concrete”. The American and Canadian press regarded them as heavy, expensive and a failure. The reason for this dislike was revealed by a British businessman of Polish origin. He said, “There is one thing we cannot forgive R. Taillibert, that he did something so great, so splendid that he completely undercuts our businesses”. There seems to be a lot of truth in this statement. It is true that today, 38 years later, these objects have aged, undergone unavoidable corrosion and gradual degradation in severe conditions of the Montreal

Podsumowanie

Czy w obiektach, o których mowa, zastosowano dobre rozwiązania? Ciężko dzisiaj odpowiedzieć na to pytanie. We francuskiej prasie obiekty te zostały nazwane „symfonią betonu”. Natomiast prasa amerykańska i kanadyjska uważała je za ciężkie, drogie i ogólnie za nietrafione. Przyczynę tej antypatii ujawnił pewien brytyjski biznesmen polskiego pochodzenia słowami: „Rogerowi Taillibertowi nie możemy wybaczyć jednej rzeczy – że zrobił coś tak wielkiego, tak wspaniałego, że kompletnie podkopuje on nasze interesy”. Wydaje się, że w tym stwierdzeniu jest dużo prawdy. Rzeczywiście dzisiaj, 38 lat później, te obiekty się postarzały, uległy nieuniknionej korozji i stopniowej degradacji w surowych warunkach montrealskiego klimatu. Przez wiele lat były one jednak odbiciem odważnej wizji i wykorzystania naukowych metod zastosowania betonu w kształtowaniu głównych obiektów XXI Igrzysk Olimpijskich w Montrealu, zarówno jako poszczególne elementy, jak i całe bryły przestrzenne. To kształtowanie było zrealizowane na wielu równoległych płaszczyznach – architektonicznej, projektowej i funkcjonalnej; nie zaniedbano nawet aspektu politycznego.

Tłumaczenie
Tadeusz Szalamacha

climate. However, for years they have been a manifestation of a brave vision and employing scientific methods for the application of concrete to shape the main sports objects of the 21st Olympic Games in Montreal, in the sense of their particular elements and whole spatial solids as well. This shaping was done on many parallel planes – architectural, design and functional – even the political aspect was not left neglected.

Bibliografia/References

- [1] Emery M., *The Architecture of Roger Taillibert*, Editions Metropolis, Paris 1974.
- [2] Flaga K., Bogoria-Buczowski S., *Gènes et développement de la conception des installations sportives projetées pour les Jeux Olympiques de Montreal par Roger Taillibert*, [w:] P. Fazio, G. Haider, A. Biron, *Proceedings of the WCOSE-76: IASS World Congress on Space Enclosures, Concordia University, Montreal, Canada, July 4–9*, Building Research Centre, Concordia University, Montreal 1976.
- [3] Flaga K., *On the design and construction of the main sports objects of the 21st Olympic Games in Montreal*, „Inżynieria i Budownictwo” 1990, No. 8–9, 328–331.
- [4] Flaga K., *Przypadki na mojej drodze życia*, „Nasza Politechnika. Miesięcznik Politechniki Krakowskiej” 2014, Nr 3 (127), 21–24.
- [5] Pyrak S., Włodarczyk W., *Rozmowa z prof. dr hab. inż. Kazimierzem Flagą*, „Inżynieria i Budownictwo” 1993, Nr 4/5, 192–197.

Streszczenie

Praca przedstawia wspomnienia inżyniera konstruktora kierującego opracowaniem studium projektowego głównych obiektów Igrzysk XXI Olimpiady w Montrealu: stadionu, wieży z basenami oraz wiodromu. Przedstawiono w niej historię zaangażowania autora w tym projekcie, a także najważniejsze cechy przyjętego rozwiązania. Ujęto w niej też przyczyny wykorzystywania w tych obiektach betonu sprężonego jako głównego materiału konstrukcyjnego.

Słowa kluczowe: obiekty olimpijskie, powłoka betonowa, asymetria, prefabrykacja

Abstract

The paper presents reminiscences of a structural engineer, in charge of the development of the design study of the main objects of the 21st Olympic Games in Montreal: the Tower, the Pool and the Velodrome. It presents the story of the author's involvement in this project, as well as the main features of the solution reached. It includes also the reasons for use in these facilities prestressed concrete as the main structural material.

Key words: Olympic facilities, concrete shell, asymmetry, prefabrication



Zadaszenie „Vela” przy wieżowcu Torre Unipol w Bolonii – szczegół zamocowania cięgien (arch. Open Project Office, konstr. M. Majowiecki) (fot. M. Majowiecki)

“Vela” roof by the Torre Unipol skyscraper in Bologna – detail of securing the tension members (arch. Open Project Office, structural engineer M. Majowiecki) (photo by M. Majowiecki)



Massimo Majowiecki*

Osobiste doświadczenia z architekturą strukturalną: od poszukiwania formy do projektowania „free form”

Personal experiences in Structural Architecture: from form finding to free form design

Wprowadzenie

Metoda empiryczna w poszukiwaniu formy konstrukcyjnej została powszechnie uznana za skuteczną, w miarę jak masywne formy budownictwa rozwijały się na przestrzeni dziejów. Stosując materiały kamienne, pracujące w jednorodnym stanie naprężenia, projektanci mogli – kierując się „intuicją statyczną” – kształtować skomplikowane konstrukcje, których stateczność zapewniał ciężar własny konstrukcji (il. 1a, b).

Od czasów drugiej rewolucji przemysłowej, kiedy upowszechniło się już stosowanie materiałów umożliwiających przenoszenie naprężeń rozciągających, wciąż poszukiwano form konstrukcyjnych i tworzone je, traktując prawa statyki jako gwarancję uzyskania estetycznego rezultatu. Dla konstrukcji membranowych i cięgnowych, których morfologia musi spełniać warunki równowagi w początkowym stanie naprężenia, poszukiwanie wstępnej formy konstrukcji jest koniecznością i stąd niezbędne jest przeprowadzenie procedury identyfikacji geometrii początkowej¹.

Współcześnie, zarówno architekci, jak i inżynierowie pochlōnięci są nowym wyzwaniem: projektowaniem nazywanym „Free Form Design” (FFD) – nową modą podkreślającą przewagę efektu wizualnego nad

Introduction

The empirical method in structural form finding has achieved world-wide efficiency and recognition as massive forms’ building tradition has continued to expand in history. Through direct involvement of lithoid materials, working under unilateral state of stress, designers driven by “static intuitions” have largely succeeded in giving shape to complex constructions, stabilized by gravity acting on the structural dead load mass (Fig. 1a, b).

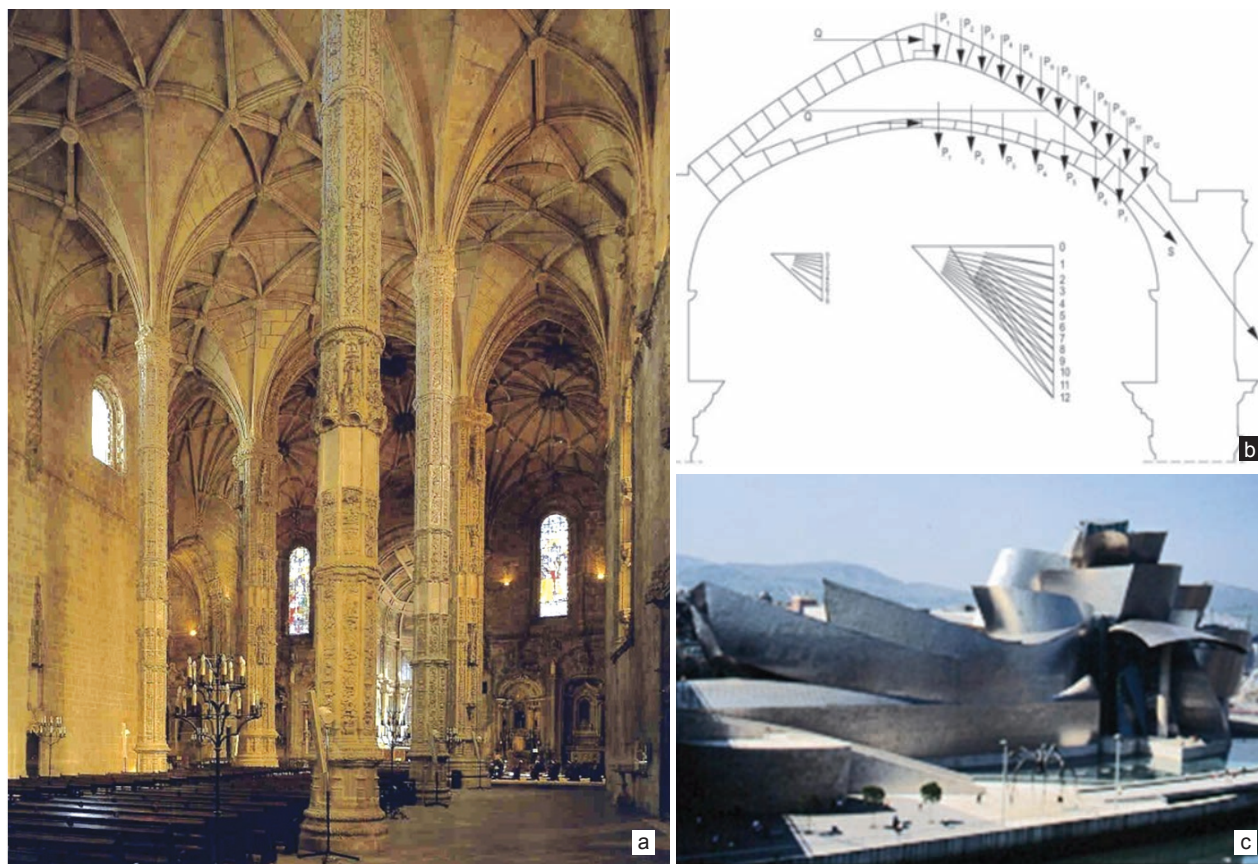
Ever since the second industrial revolution, with the help of materials able to carry tensile stresses, still the form of the structures have nevertheless been conceived and found observing the laws of statics, as a guarantee of an aesthetic result achieved. For membrane and cable structures, where the morphology must satisfy equilibrium conditions under an initial state of stress, finding the form of the structure is a “must” and, hence, a form finding procedure is required to identify the initial geometry.

Nowadays, architects and engineers alike are immersed in a new challenge: the Free Form Design (FFD): a new fashion with the prevalence of aesthetics over static rationality where the role played by the structures is merely to support the architectural design. This is a trend whose excellent illustration and one of the first examples is the Guggenheim Museum in Bilbao – hence often referred to as a “Bilbao effect” (Fig. 1c).

Many novel projects attempt to extend the “state of the art” but, according to personal experiences, new structural

* Uniwersytecki Instytut Architektury w Wenecji, Włochy/Venice University Institute of Architecture, Venice, Italy.

¹ Procedura ta nazywana jest w języku angielskim „form-finding process”.



Il. 1. a, b) architektura gotycka (klasztor Hieronimitów, Lizbona, 1517), c) „efekt Bilbao”

Fig. 1. a, b) Gothic architecture (Jerónimos Monastery, Lisbon, 1517), c) The “Bilbao effect”

styczną racjonalnością, w której jedyną rolą konstrukcji jest wsparcie projektu architektonicznego. Jest to kierunek, którego doskonałą ilustracją i jednym z pierwszych przykładów jest Muzeum Guggenheima w Bilbao – stąd często zjawisko to określane jest jako „efekt Bilbao” (il. 1c).

Wiele nowatorskich projektów próbuje rozszerzyć dotychczasowy poziom osiągnięć, jednakże zgodnie z moimi osobistymi doświadczeniami, nowe morfologie strukturalne zastosowane w rzeczywistych metodologiach projektowania koncepcyjnego prowadzą do wątpliwości w ocenie niezawodności obiektów [1].

Morfologia i analiza strukturalna

Konstrukcje lekkie miały wielki wpływ na moje badania akademickie i działalność projektową. Byłem pod wrażeniem formy konstrukcji przestrzennych i prowadzących doń badań naukowych od czasu uczestnictwa (jako student) w kongresie IASS (International Association for Shell and Spatial Structures – Międzynarodowego Stowarzyszenia Konstrukcji Powłokowych i Przestrzennych) odbywającym się w Madrycie w 1969 r. W rzeczy samej, poszukiwanie formy i nieliniowa praca cięgien, membran i konstrukcji pneumatycznych stanowiły tematy, na których się skupiałem najpierw jako inżynier, a następnie jako adiunkt na Uniwersytecie w Bolonii. Na początku lat 70. XX w. w ogólnym zarysie opracowane zostało inte-

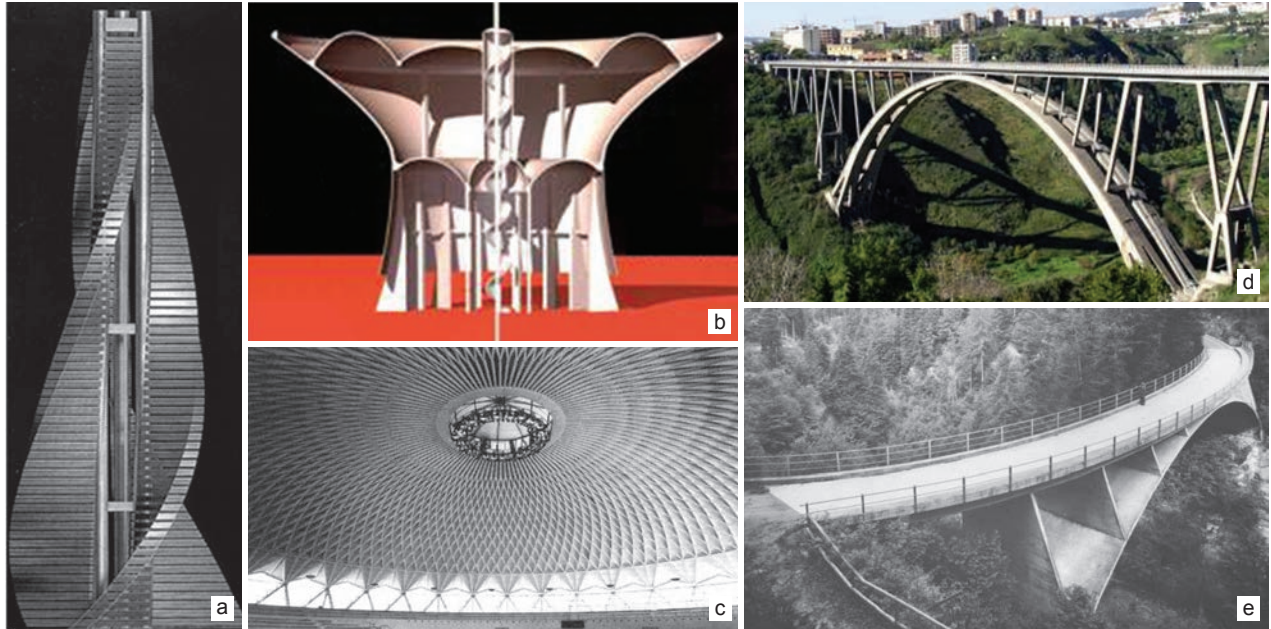
morphologies adopted in actual conceptual design methodology generate uncertainties in reliability assessment [1].

Morphology and structural analysis

Lightweight structures strongly influenced my personal academic investigations and design activities. I was truly impressed by spatial structures’ design and the research that led to them since my participation (as a student) in IASS (International Association for Shell and Spatial Structures) Congress, held in Madrid in 1969. As a matter of fact, form finding and nonlinear behaviour of cables, membranes and pneumatic structures were the subjects I focused on, at first, as an engineer and then as an assistant professor at the University of Bologna. An interactive graphic software was developed on main frames in the early 1970^s, that was then extended to mini and personal computers, as a natural consequence of those early studies [2].

Of course, the information technology revolution has influenced structural engineering as well. During the 1950^s and the 1960^s the design methodology of the structural engineer has been remarkably influenced by two major developments: the harmonization of the various theories of structural mechanics and the introduction of electronic processors accompanied by symbolic and matrix languages and finite element methods.

My generation bridged the era between approximated methods of analysis and the advent of FEM (Finite Ele-



Il. 2. Wspólny „język strukturalny”: a) S. Musmeci – spiralny drapacz chmur, b) E. Torroja – zbiornik wodny w Fedala², c) P.L. Nervi – Palazetto dello Sport (Rzym), d) R. Morandi – Most Catanzaro, e) R. Maillart – Schwandbachbrücke

Fig. 2. Common “structural language”: a) S. Musmeci – Helicoidal Skyscraper, b) E. Torroja – water tank in Fedala¹, c) P.L. Nervi – Palazetto dello Sport (Rome), d) R. Morandi – Catanzaro bridge, e) R. Maillart – Schwandbachbrücke

raktywne oprogramowanie graficzne, początkowo na duże komputery stacjonarne, a następnie na minikomputery i komputery osobiste, jako naturalna konsekwencja wcześniejszych badań [2].

Oczywiście rewolucja technologii informacyjnej miała również wpływ na inżynierię budowlaną. W latach 50. i 60. XX w. na metodologię projektowania inżyniera budowlanego znaczny wpływ wywarły dwa główne trendy: harmonizacja różnych teorii mechaniki konstrukcji i wprowadzenie elektronicznych procesorów wraz z zapisem symbolicznym i macierzowym oraz metodą elementów skończonych (MES).

Moje pokolenie przeszło od epoki przybliżonych metod analizy do pojawienia się automatycznej analizy MES, jednakże z punktu widzenia projektowania koncepcyjnego korzystamy z dziedzictwa takich indywidualności jak Gustave Eiffel, Antoni Gaudí, Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi, Robert Maillart i inni (il. 2), którzy używali wspólnego „języka strukturalnego”, jak to określił Sergio Musmeci: *Poprzez swoją formę, konstrukcja natychmiast ujawnia przepływ wewnętrznych sił przez nią przechodzących, które nie są zamknięte i ukryte w przestrzeni abstrakcyjnie poczętej morfologii, narażonej na estetyczne i statyczne uprzedzenia, w której większość materii i przestrzeni jest zbędna* [3].

Obecnie żyjemy w epoce „metamorfozy języka”, jak zostało to określone przez Edoarda Benvenuto w jego niedawnym dziele *Historia nauki budowlanej (La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico)*, w której język

(ments Method) automatic analysis but, from the point of view of the conceptual design we get an inheritance from Gustave Eiffel, Antoni Gaudí, Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi, Robert Maillart and others (Fig. 2), all using a common “structural language” as stated by Sergio Musmeci: *Through its form, the structure immediately reveals the flow of internal forces that cross it, which is not enclosed and hidden within the volume of an abstractly conceived morphology, prone to aesthetic and static prejudice, in which most part of matter and space is superfluous* [3].

Now we live in the era of “language metamorphosis”, as it was called by Edoardo Benvenuto in his recent *History of Building Science (La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico)*, in which symbolic language and mathematical formalism have gone beyond the mechanics of structures putting it at the service of automatic calculus. Therefore the “mentality” on which scientific empiricism was based has changed radically.

J.T. Oden and K.J. Bathe see in this change the beginning of a new era of “computational empiricism”. One of their interesting articles reads as follows:

The engineers’ community of 40 years ago was aware that the use of classical analytic methods offered limited tools for the study of mechanical behaviour and, as a consequence, the engineer had to enrich his analysis with a great deal of judgment and intuition achieved after many years of expertise. Empiricism played a crucial role in design: despite some general theories that were available, the methods to apply them were still under development and using

² Ilustracja jest fragmentem okładki pozycji: Levi F., Chiorino M.A., Bertolini Cestari C. (eds.), *Eduardo Torroja – From the philosophy of structures to the art and science of building: International Seminar*, Politecnico di Torino, Franco Angeli, Turin 2003.

¹ Illustration is a fragment of the cover of: Levi F., Chiorino M.A., Bertolini Cestari C. (eds.), *Eduardo Torroja – From the philosophy of structures to the art and science of building: International Seminar*, Politecnico di Torino, Franco Angeli, Turin 2003.

symboliczny i formalizm matematyczny wyszły poza mechanikę konstrukcji, umieszczając ją w służbie obliczeń automatycznych. Dlatego też „mentalność”, na której bazował empiryzm naukowy, uległa radykalnej zmianie.

J.T. Oden i K.J. Bathe widzą w tej zmianie początek nowej ery „empiryzmu obliczeniowego”. W jednym z ich ciekawych artykułów czytamy:

Spółeczność inżynierów żyjących 40 lat temu zdawała sobie sprawę, że użycie metod analizy klasycznej oferowało ograniczone narzędzia do badania mechanicznych zachowań i w konsekwencji inżynier musiał wzbogacać swoją analizę za pomocą wielu opinii i intuicji, które uzyskiwał po wielu latach doświadczeń. Empiryzm odgrywał kluczową rolę w projektowaniu: pomimo pewnych ogólnych teorii, które były dostępne, metody ich zastosowania znajdowały się wciąż w fazie rozwoju, stąd korzystanie z przybliżonych schematów i uciekanie się do wskazań pozyskanych z licznych prób i potwierdzeń było nieuchronne.

Obecnie powszechnie uważa się, że rachunek automatyczny położył kres temu pół-empirycznemu okresowi inżynierii: w dzisiejszych czasach zaawansowane modele matematyczne mogą być budowane dla najbardziej skomplikowanych zjawisk fizycznych, a jeżeli procesor jest wystarczająco skuteczny, w oparciu o odpowiedź badanego systemu można otrzymać wiarygodne wyniki liczbowe.

Jednocześnie korzyści płynące z zastosowania elektronicznych procesorów powodują niekontrolowaną gloryfikację automatycznej analizy i dają fałszywe wrażenie, że maszyny mogą prześcignąć człowieka, a logika musi ustąpić automatyzacji [4].

Korzyści oferowane przez informatykę i automatyzację były bardzo ważne dla projektowania konstrukcyjnego w ogóle, a szczególnie istotne w przypadku specjalnych systemów konstrukcyjnych. Możliwe stało się analizowanie znacznie bardziej złożonych modeli teoretycznych, unikając, z jednej strony, nadmiernych uproszczeń, które ogałają model teoretyczny, takich jak schematyczna redukcja wszelkich istotnych aspektów rzeczywistości, a z drugiej strony, zagubienia w wyczerpujących obliczeniach faktów naprawdę istotnych, a przez to zniechęcenia projektantów do rozpatrywania różnych rozwiązań konstrukcyjnych.

W takich pozornie sprzyjających okolicznościach wykryto i udokumentowano wiele awarii konstrukcji, w których błędy dotyczące niewłaściwego rozpoznania pracy konstrukcji były spowodowane zawodną interakcją człowiek–maszyna oraz iluzją, że komputery, te potężne narzędzia analizy, są w stanie zastąpić projekt koncepcyjny i ekspercką syntetyczną ocenę wyników.

Udokumentowane błędy modelowania metodą elementów skończonych (MES) zostały zilustrowane w materiałach wydanych po I Międzynarodowej Konferencji na temat Technologii Obliczeniowych Konstrukcji [5].

Wnioski z teoretycznej i eksperymentalnej analizy konstrukcji przestrzennych

Podczas pracy nad projektami, w których projektowanie i analizę systemów konstrukcyjnych byłem bezpośrednio zaangażowany, zgromadzono wiele doświadczeń,

approximate schemes and resorting to indications derived from numerous tests and confirmations was inevitable.

Today the common belief is that automatic calculus has put an end to this semi-empirical age of engineering: by now sophisticated mathematical models can be built on some of the most complicated physical phenomena and if the processor is sufficiently powerful, reliable numerical results can be obtained based on the response of the examined system.

The advantages brought by electronic processors may, on the other hand, create an uncontrollable exaltation of the automatic calculus and give the false impression that man can be outshined by machines and the logic by the automation [4].

The advantage offered by informatics and automation has been very important in the field of structural design in general and particularly significant in the case of special structural systems. It was possible to examine more rigorous theoretical models avoiding, on the one hand, excessive simplifications that deprive the theoretical model, like a schematic reduction of the reality, of all significance and, on the other hand, that exhausting calculations lead to the loss of facts with a true influence, thus discouraging designers from trying out different structural solutions.

Under such apparently favourable circumstances, many documented structural failures have been detected in which mistakes regarding the inadequate evaluation of structural behaviour were caused by unreliable man/machine interaction and the illusion that computers, those powerful instruments of analysis, could replace conceptual design and the expert synthetic criticism of results.

Documented FEM modelling errors are illustrated in the proceedings of the First International Conference on Computational Structures Technology [5].

Conclusions from theoretical and experimental analysis of spatial structures

While working on the projects in which the author was directly involved in design and analysis of structural systems, accumulated were some experiences that today may be part of the knowledge base. Considering the statistical results of the – in service – observed behaviour, the unusual typologies, the new materials and, specially, the “scale effect” of long span structures, several special design aspects arise. Uncertainties, in reliability assessment, principally due to loading experimental identification and analytical modelling simulation of structural response, have been identified:

A. The nonlinear geometric and material behaviour under internal volume restraint fluid interaction and follower loading. The wind induced response of the cable-membrane original supported stadium roof was analysed by a nonlinear model and a field of multi correlated artificial generated wind loading time histories. Wind tunnel tests have been carried out at the BLWT Lab. of UWO on a model of 1:200.

B. The snow distribution and accumulations on large covering areas in function of statistically correlated wind direction and intensity. During the design of a new cable stayed roof for the Montreal Olympic Stadium, a special analysis was made considering three roof geometries

obecnie mogących stanowić część podstawowej wiedzy projektanta. Na podstawie wyników statystycznych obserwacji – w trakcie eksploatacji – pracy niezwyklej typologii, nowych materiałów, a zwłaszcza „efektu skali” konstrukcji o dużej rozpiętości, ustalono kilka szczególnych aspektów projektowania. Zidentyfikowano następujące niejasności przy ocenie niezawodności, głównie z powodu eksperymentalnej identyfikacji działających obciążeń i analitycznego modelowania odpowiedzi konstrukcji:

A. Nieliniowe geometrycznie i materiałowo zachowanie przy oddziaływaniu cieczy o ograniczonej objętości przy obciążeniu śledzącym. Analizowano odpowiedź dachu stadionu o konstrukcji membranowo-ciężnowej na działanie wiatru za pomocą modelu nieliniowego i pola wielokrotnie skorelowanych sztucznie wytworzonych historii obciążenia wiatrem w czasie. Testy w tunelu aerodynamicznym zostały przeprowadzone w BLWT Lab. w UW O na modelu w skali 1:200.

B. Rozkład i nagromadzenie śniegu na dużych obszarach pokrycia w funkcji statystycznie skorelowanego kierunku i intensywności wiatru. Podczas projektowania nowego podwieszonego do ciężn dachu Stadionu Olimpijskiego w Montrealu przeprowadzono specjalną analizę, rozpatrując trzy różne warianty geometrii ugięcia dachu w zakresie 10 m, 11,5 m i 13 m, w celu ustalenia minimalnego nagromadzenia śniegu przy interakcji wiatru. Badanie eksperymentalne przeprowadzono w RWDI [6], aby określić obciążenie śniegiem zgodnie z metodą FAE (elementów o skończonej powierzchni) z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć techniki w tym zakresie.

C. Wrażliwość parametryczna systemu konstrukcyjnego w zależności od typu i stopnia niewyznaczalności statycznej i hybrydowej współpracy pomiędzy poszczególnymi podkonstrukcjami – sztywnymi i podatnymi. Przeanalizowano niezwykle wiszący dach stadionu w Montrealu, biorąc pod uwagę wrażliwość na tolerancję długości systemu podwieszonego do ciężn.

D. Rozkład ciśnienia wiatru na dużych obszarach w odniesieniu do teoretycznych i eksperymentalnych skorelowanych widm gęstości mocy lub historii czasowych [7]. Uzyskano następujące wyniki i dane techniczne:

- 1) współczynniki ciśnienia (maksymalne, minimalne i średnie) dla każdego 10° kierunku wiatru,
- 2) ciśnienia szczytowe i siły całkowite są podane jako „ostateczna” wartość obliczeniowa,
- 3) historie czasowe ciśnień lokalnych dla każdego 10° kierunku przepływu wiatru; wyznaczono maksymalne, minimalne i średnie wartości ciśnienia wiatru, jak również średnią kwadratową jego części zmiennej,
- 4) aerodynamiczne pomiary ciśnienia,
- 5) pomiary sił całkowitych za pomocą miernika dynamometrycznego,
- 6) wyznaczenie ciśnienia i przepływu w obrębie podwójnej fasady.

Wykryto także pewne problemy podczas pomiarów sił całkowitych:

- 1) część zmienna była całkowicie różna,
- 2) wyniki bilansu pomiarów miernikiem dynamometrycznym zdają się „rozmyte”,

varying the sag of the roof from 10 m, 11.5 m and 13 m, in order to find a minimization of snow accumulation by wind interaction. The experimental investigation was carried out by RWDI [6] to provide design snow according to FAE (Finite Area Element) method, representing up to day a state of the art on the matter.

C. The parametric sensibility of the structural system depending on the type and degree of static indeterminacy and hybrid collaboration between hardening and softening behaviour of substructures. The unusual suspended roof of the Montreal Stadium has been analysed being sensitive to the tolerances in length of the cable stayed system.

D. The wind pressure distribution on large areas considering theoretical and experimental correlated power spectral densities or time histories [7]. Results and specifications obtained:

- 1) pressure coefficients (maxima, minima and average) for every 10° of incoming direction,
- 2) peak pressures and global forces are given as a “final” design value,
- 3) time histories of the local pressures for every 10° of incoming flow direction; the maximum, minimum and average values of the wind pressure have then been evaluated, as well as the root mean square of its fluctuating part,
- 4) aerodynamic pressure measurements,
- 5) measurement of global forces by dynamometric balance,
- 6) evaluation of pressures and flow within the double skin facade.

And some problems detected during global forces measurements:

- 1) the fluctuating part was completely different,
 - 2) the balance results seem to be “fuzzy”,
- as it appeared from the correlation loci between the force F_x (in the global structure reference system) and the corresponding base moment M_z .

The aerodynamic behaviour shows a clear shedding phenomenon. The external border of the structure, constituted of the trussed compression ring with triangular section and tubular elements and by the roofing of the upper part of the stands, disturbs the incoming horizontal flow in such a way so that vortex shedding is built up. This causes the roofing structure to be subjected to a set of vortices with a characteristic frequency. This is confirmed by the resulting Power Spectra Density Function of the fluctuating pressures, which shows a peak at about 0.15 Hz even if the values rapidly decrease with increasing distance.

E. Rigid and aeroelastic response of large structures under the action of cross-correlated random wind action considering static, quasi-static and resonant contributions. This allows defining and changing a-priori the (mean) angle of attack; it also allows a large reproducibility of the tests. On the other hand, the inverse method consists in measuring the forces on the deck during a free motion. This procedure allows investigating the vortex shedding mechanism and flutter derivatives.

F. Reliability and safety factors of new hi-tech composite materials.

G. The necessity to avoid and short-circuit progressive collapse of the structural system due to local secondary structural element and detail accidental failure. A fluid-

jak wynika z korelacji *loci* pomiędzy siłą F_x (w globalnym strukturalnym systemie odniesienia) a odpowiadającym momentem bazowym M_z .

Zachowanie aerodynamiczne wykazuje wyraźne zjawisko odrywania się wirów. Zewnętrzna granica konstrukcji, którą stanowi wsparty kratownicowy pierścień ściskany o przekroju trójkątnym i elementach rurowych, poprzez zadaszenie górnej części trybun zakłóca przychodzący przepływ poziomy w taki sposób, że tworzą się ścieżki wirów. Powoduje to, że konstrukcja dachu jest poddana działaniu serii wirów z charakterystyczną częstotliwością. Potwierdza to wynikowa widmowa funkcja gęstości mocy zmieniającego się ciśnienia, wykazująca wartość szczytową przy około 0,15 Hz, nawet jeśli wartości gwałtownie spadają w miarę wzrostu odległości.

E. Sztywna i aeroelastyczna odpowiedź dużych konstrukcji pod losowym obciążeniem wzajemnie skorelowanymi oddziaływaniami wiatru, biorąc pod uwagę składowe statyczne, quasi-statyczne i rezonansowe. Pozwala to na zdefiniowanie i zmianę przyjętego *a priori* (średniego) kąta natarcia; umożliwia to także wysoką powtarzalność prób. Jednocześnie metoda odwrotna polega na pomiarze sił na pomoście podczas ruchu wolnego. Procedura ta umożliwia badanie mechanizmu powstawania ścieżki wirów i pochodnych trzepotania (flutter).

F. Niezawodność i czynniki bezpieczeństwa najnowocześniejszych materiałów kompozytowych.

G. Konieczność unikania progresywnej awarii systemu konstrukcyjnego z powodu wad lokalnych drugorzędnych elementów konstrukcyjnych i przypadkowych awarii. Nieliniowa analiza oddziaływania cieczy w dziedzinie czasu, wykonana przy sprawdzaniu projektu stadionu w La Placie [5] w warunkach symulowanej awarii progresywnej wykazuje większą zgodność między modelem teoretycznym a wartościami eksperymentalnymi.

H. Kompatybilność wewnętrznych i zewnętrznych ograniczeń i szczegółów projektowych wraz z hipotezą modelującą i reakcją rzeczywistego systemu konstrukcyjnego. Szczególną uwagę poświęcono analizie głównego węzła podwieszenia nowego stadionu Juventus w Turynie (il. 3a, b). Zastosowano dedykowany model matematyczny 3D FEM do analizy rozkładu naprężeń i ich miejscowych koncentracji (il. 3c).

I. W przypadku konstrukcji ruchomych wiedza podstawowa obejmuje głównie ruchome dźwigi, a odpowiedni proces projektowania koncepcyjnego musi brać pod uwagę istniejące obserwacje, testy i specyfikacje opisujące zachowanie podobnych systemów konstrukcyjnych. W celu wypełnienia tej luki, Grupa Robocza IASS Nr 16 przygotowała najnowszy raport o rozkładanych konstrukcjach dachowych [8], zawierający zalecenia dla projektowania konstrukcyjnego oparte na obserwacjach usterek i awarii.

Niektóre doświadczenia w koncepcyjnym projektowaniu konstrukcji oraz realizacjach

Synergia panująca pomiędzy badaniami naukowymi a projektowaniem została syntetycznie wyrażona przez Davida I. Blockleya następująco: „Aby zrobić, musisz

interaction nonlinear analysis in time domain, made for the checking of La Plata stadium design [5] under simulated progressive collapse, shows a better agreement between theoretical model and experimental values.

H. The compatibility of internal and external restrains and detail design, with the modelling hypothesis and real structural system response. Special attention was dedicated to the analysis of main suspending joint of the new Juventus Stadium in Turin (Fig. 3a, b). A dedicated 3D FEM mathematical model was implemented to analyse the stress distribution and peak concentrations (Fig. 3c).

I. In the case of movable structures, the knowledge base concerns mainly the moving cranes and the related conceptual design process has to consider existing observations, tests and specifications regarding the behaviour of similar structural systems. In order to fill the gap, the IASS Working Group No. 16 prepared a state of the art report on retractable roof structures [8] including recommendations for structural design based on observations of malfunction and failure.

Some experiences in conceptual design of structures and realizations

The synergy between research and design was synthetically expressed by David I. Blockley as: “To do you must know, and to know you must do”. From this synergy resulted several designs of structural architecture in the field of spatial structures. They can be grouped according to the typologies of the IASS tradition:

1. Space structures:
 - a) single layer grids,
 - b) double and multi-layer grids (Fig. 4),
 - c) single and double curvature space frames.
2. Cable structures (Fig. 5):
 - a) cable stayed roofs,
 - b) suspended roofs,
 - c) cable trusses,
 - d) single and multilayer nets.
3. Membrane structures (Fig. 6).
4. Hybrid structures:
 - a) tensegrity systems,
 - b) beam-cable systems (Fig. 7).
5. Convertible roofs:
 - a) overlapping sliding system (Fig. 8),
 - b) pivoted system,
 - c) folding system.

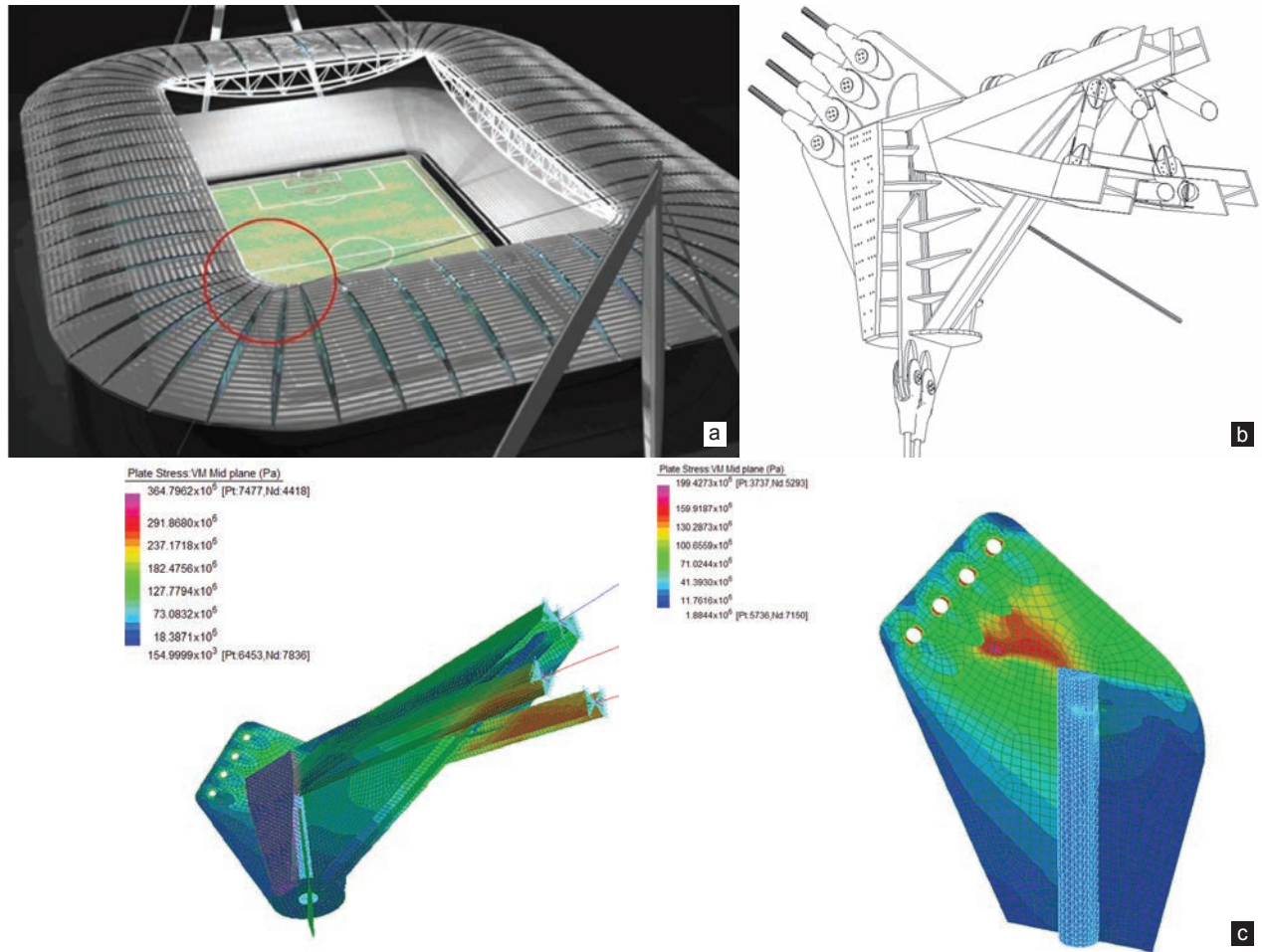
Actual trends in structural architecture: the free form design

As written in the *Divina Comedia*:

*Halfway through the journey we are living
I found myself deep in a darkened forest,
For I had lost all trace of the straight path².*

At this time, more than half way through my journey, I find myself in the “Wave Fashion” Comedy, with no ac-

² Dante Alighieri, *The Divine Comedy, Inferno, Canto I.*



Il. 3. Nowy stadion Juventusu w Turynie:

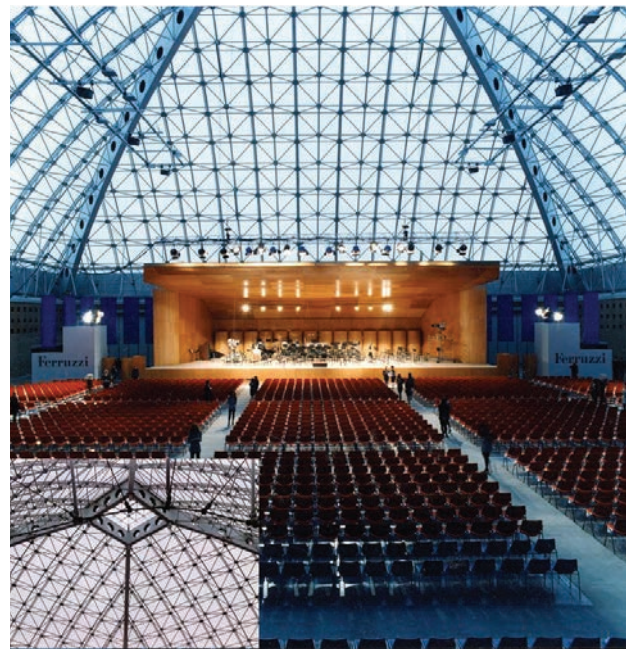
a) dach, b) model bryłowy głównego węzła podwieszenia, c) graficzne przedstawienie rozkładu naprężeń

Fig. 3. New Juventus Stadium in Turin:

a) roof, b) solid view drawing of main suspension joint, c) graphic representation of stresses

wiedzieć, aby wiedzieć, musisz zrobić”. W wyniku tej synergii powstało kilkanaście projektów architektury strukturalnej w dziedzinie konstrukcji przestrzennych. Można je pogrupować zgodnie z typologiami według tradycji IASS:

1. Konstrukcje przestrzenne:
 - a) ruszty jednowarstwowe,
 - b) ruszty dwu- i wielowarstwowe (il. 4),
 - c) ramy przestrzenne o pojedynczej i podwójnej krzywiznie.
2. Konstrukcje cięgnowe (il. 5):
 - a) dachy podwieszane do cięgien,
 - b) dachy wiszące,
 - c) kratownice cięgnowe,
 - d) siatki jedno- i wielowarstwowe.
3. Konstrukcje membranowe (il. 6).
4. Konstrukcje hybrydowe:
 - a) systemy tensegrity,
 - b) systemy belkowo-cięgnowe (il. 7).
5. Dachy rozkładane:
 - a) system przesuwany nakładkowy (il. 8),
 - b) system obracany,
 - c) system składany harmonijkowo.



Il. 4. Przestrzenna muszla Pala D'Andrè w Rawennie

Fig. 4. Space shell of Pala D'Andrè in Ravenna

Aktualne trendy w architekturze strukturalnej: projektowanie „free form”

Jak napisano w *Boskiej komedii*:

*W życia wędrowce, na połowie czasu,
Straciwszy z oczu szlak niemyślnej drogi,
W głębi ciemnego znalazłem się lasu*³.

W obecnym czasie, dalej niż na połowie czasu w mojej życia wędrowce, odnajduję się w Komedii „Fala Mody” bez godnych zaufania przewodników. Prawdziwie wątpię, aby FFD mogło pokazać nam drogę, jak wznieść się do Nieba. Pomocnicze w zamyśle zasoby IT (technologii informacyjnej) wydają się pokonywać ludzki rozum, w miarę jak „nowoczesne tendencje” zbaczają z prostej drogi [9] z:

³ Dante Alighieri, *Boska komedia, Piekło, Pieśń pierwsza*, w. 1–3, przeł. E. Porębowicz, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1986, s. 3.

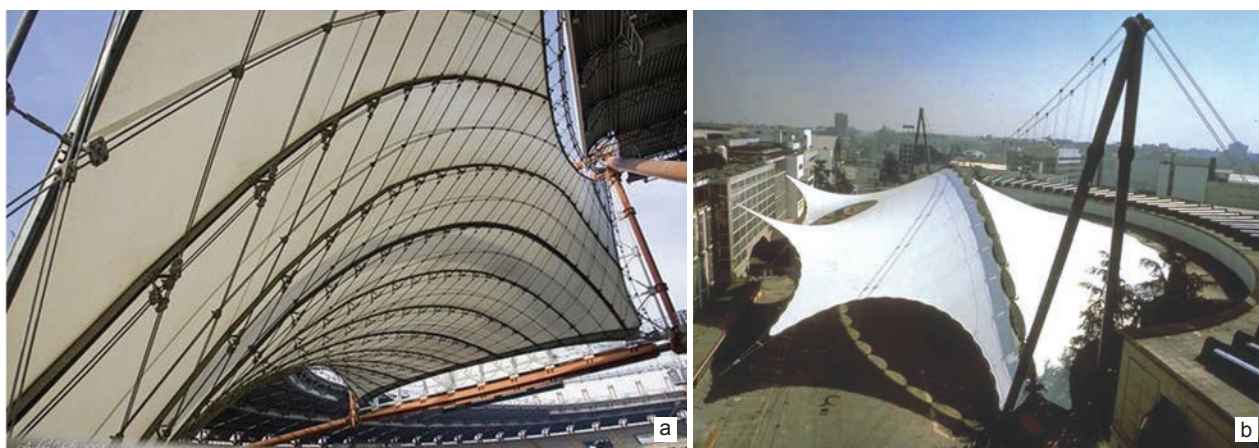
countable guides. I truly doubt that FFD, in architecture, shows the way to ascend into Heaven. Auxiliary IT (Informatics Technology) resources seem to overcome human reason, as “modern tendencies” diverge from the straight path [9] with:

- 1) the prevalence of aesthetics over static rationality,
- 2) stringent search for structural efficiency to solve a more complex issue than reality, in order to achieve an original solution,
- 3) the categorical rhetoric of structural actions that translate into design languages,
- 4) the structure as a sculpture,
- 5) mechanistic impressionism,
- 6) the metaphorical transposition, into architecture, of Nature and other foreign elements,
- 7) the rhythmic and monotonous repetition of an architectural motif,
- 8) the emphatic representation of a typical element’s detail, to identify the overall scale.



Il. 5. Kładka dla pieszych nad autostradą A-13, Włochy

Fig. 5. Footbridge over A-13 highway, Italy



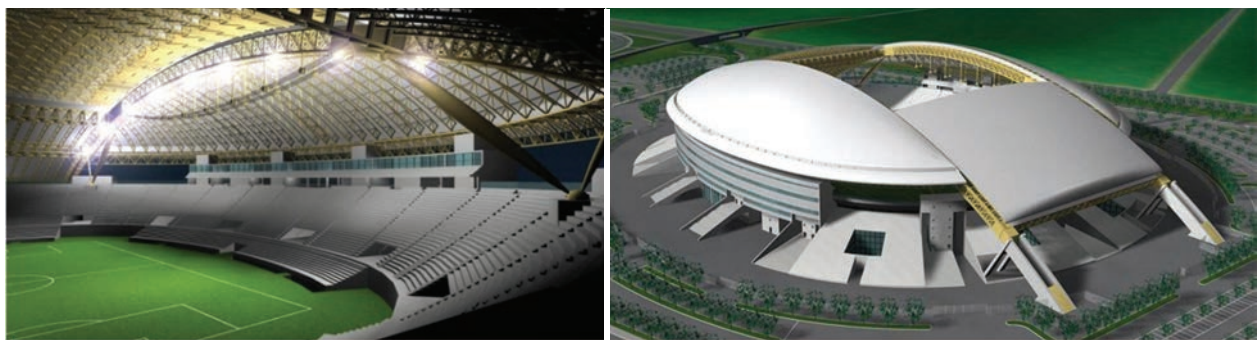
Il. 6. Konstrukcje membranowe: a) Stadion Alpejski, Turyn, b) Targi w Mediolanie

Fig. 6. Membrane structures: a) Stadium of the Alps, Turin, b) Milano Fair



Il. 7. Konstrukcje hybrydowe na terenach targowych w Bolonii: a) pawilon 16-18, b) pawilon 19-20

Fig. 7. Hybrid structures (cable string beams) at Bologna fair: a) Pavillion 16-18, b) Pavillion 19-20



Il. 8. Stadion Marco Polo, Wenecja

Fig. 8. Marco Polo Stadium, Venice

1) przewagą efektu wizualnego nad statyczną racjonalnością,

2) rygorystycznym poszukiwaniem konstrukcyjnej efektywności, aby rozwiązać problem bardziej złożony niż w rzeczywistości, w celu uzyskania oryginalnego rozwiązania,

3) kategoryczną retoryką działań strukturalnych, które przekładają się na języki projektowania,

4) strukturą jako rzeźbą,

5) mechanistycznym impresjonizmem,

6) metaforyczną transpozycją Natury i innych elementów obcych w architekturę,

7) rytmicznym i monotonnym powtarzaniem motywu architektonicznego,

8) emfaticzną reprezentacją szczegółu typowego elementu w celu identyfikacji skali ogólnej.

Możemy uznać, że powstaje fenomenologiczna niepewność, zawsze kiedy forma konstrukcji lub technika projektowania generuje niepewność co do jakiegokolwiek aspektu możliwego zachowania konstrukcji będącej w budowie, eksploatacji i warunkach ekstremalnych.

Niepewności te zostają wprowadzone do projektów, które usiłują rozszerzyć „stan techniki”, włączając nowe koncepcje i technologie. W rzeczywistych realizacjach fenomenologiczne niepewności projektu odgrywają bardzo ważną rolę; dzisiaj widzimy wolną formalną ekspresyjność, która tworzy takie obiekty architektury, jak krzywe wieże, rzeźbione mosty, przekrycia „free form” itp.,

Phenomenological uncertainty may be considered to arise whenever the form of construction or the design technique generates uncertainty about any aspect of the possible behaviour of the structure under construction, service and extreme conditions.

Those uncertainties are introduced in designs which attempt to extend the “state of the art”, including new concepts and technologies. In actual realizations, phenomenological design uncertainties play a very important role; today we see free formal expressiveness originating such architectural objects as leaning towers, sculptured bridges, free form enclosures and the like, whose shape sometimes has no connection whatsoever with structural principles.

According to the technical and scientific philosophy taken from Eiffel, Torroja, Nervi and others, who designed by looking first and foremost at the construction, quite sure that observing the laws of static engineering would be seen, per se, as a guarantee of aesthetic results achieved, they are no more than structural forgeries.

On the contrary, many of these new architectural objects amaze us and they are appreciated in the name of the very definition of the word architecture, as an intellectual and technical exercise directed at adapting our physical environment to the needs of social life. It cannot be denied that some works achieve the level of architectural and sculptural art and the role played by structures is merely to support architectural design.

których kształt niejednokrotnie nie ma jakiegokolwiek związku z zasadami konstrukcyjnymi.

Według filozofii technicznej i naukowej przejętej po Eiffelu, Torroi, Nervim i innych – którzy projektowali, patrząc przede wszystkim na konstrukcję, w przekonaniu, że przestrzeganie zasad statyki budowli samo przez się będzie gwarancją osiągnięcia efektów estetycznych – nie są one niczym innym jak strukturalnymi fałszerstwami.

Wręcz przeciwnie, wiele z tych nowych obiektów architektonicznych zadziwia nas i są one doceniane w imię samej definicji słowa architektura jako intelektualne i techniczne ćwiczenie mające na celu zaadaptowanie naszego środowiska fizycznego dla potrzeb życia społecznego. Nie można negować faktu, że niektóre dzieła osiągają poziom sztuki architektonicznej i rzeźbiarskiej, a rola konstrukcji ogranicza się jedynie do wspierania projektu architektonicznego. W tych okolicznościach Torroja przewidział, wyrokując etycznie, sposób zachowania w przypadku projektowania FFD, które stanowi nowe wyzwanie zarówno dla Architektów, jak też i Inżynierów:

Jeśli bycie kreatywnym oznacza po prostu, że ktoś nie daje się prowadzić sensownym argumentom, jeżeli kreatywność nie następuje jako bezpośredni rezultat zastosowania wiarygodnych i precyzyjnych zasad do nowych zadań, w takim razie, oryginalne idee rozdarte pomiędzy mylną interpretacją a niespójnym manieryzmem przechodzą od geniuszu do próżności, przekształcając sztukę w oportunizm. Sama innowacja nigdy nie przejmie instrumentalnej roli w promowaniu artysty; przede wszystkim umiejętności artysty powinny zasługiwać na szacunek i pochwałę i w końcu skupiać zainteresowanie publiczne na swoim innowacyjnym potencjale [10, cap. XVII].

W tym momencie musimy powiedzieć, że ze statycznego punktu widzenia ludzkie błędy w dziedzinie projektowania i budownictwa mają tendencje do znacznego wzrostu, gdy innowacja nie jest ciągła i jest niespodziewana, i kiedy nie wydarza się stopniowo z pomocą naukowej wiedzy [11], [12]. Swobodna strukturalna morfologia, która wywodzi się z aktualnych trendów FFD, stanowi jednocześnie wyzwanie i obawę w nauce i technice budowlanej, które zazwyczaj są zakotwiczone w konwencjonalnych typologiach i geometriach (ramy, łuki, powłoki itp.). To pociąga za sobą radykalną zmianę w formie psychicznej i metodologii pracy inżyniera konstruktora, zwłaszcza w odniesieniu do interpretacyjnej kontroli odpowiedzi konstrukcji w rozumieniu stanu naprężenia i odkształcenia pod działaniem stałych i zmiennych obciążeń, którą uzyskuje się na drodze zaawansowanej analizy przeprowadzonej za pomocą metody elementów skończonych.

Dlatego też FFD wymaga od inżynierów budowlanych nowego zaangażowania. Jest ono wypracowywane indywidualnie i wykorzystywane przy konkretnych projektach. Na przykład:

– Wykorzystanie konwencjonalnych profili stalowych przewidzianych do łączenia przede wszystkim pod kątem 90° nie jest celowe, gdy geometria konstrukcji również jest typu „free form”. Pierwsze Międzynarodowe Koloquium FFD poświęcone roli nowych technologii w ułatwianiu procesu produkcyjnego i konstrukcyjnego odbyło się w TU Delft w 2006 r.

Under those circumstances Torroja anticipated, with an ethic judgement, how to behave under the FFD which constitutes a new challenge for Architects and Engineers alike:

If being creative simply stands for emerging driven by no sensible arguments, if creativity fails to happen as a direct result of reliable and accurate principles applied to new issues, then original ideas, torn between misrepresentation and inconsistent mannerism, move from genius to vanity, converting art into expediency. Innovation alone shall never take an instrumental role in promoting the artist; the skills of the artist should deserve respect and praise first and, eventually, focus the public interest on their innovatory potential [10, cap. XVII].

At this point we have to say that from a statistical viewpoint, human errors in the fields of design and construction tend to increase remarkably when innovation is discontinuous and sudden and when it does not take place gradually with the aid of scientific knowledge [11], [12]. The free structural morphology that stems from the current FFD trends represent, at the same time, a challenge and makes us apprehensive in building science and technique, which are traditionally anchored to conventional -typologies and geometries (frames, arches, shells, etc.). This entails a radical change in the civil structural engineer's mental form and methodology, especially with regard to the interpretative control of the structural response in terms of state of stress and deformation under the action of permanent and live loads, obtained through sophisticated analysis carried out according to the finite elements method.

Therefore, the FFD needs from structural engineering some new contributions. They are usually worked out individually for use in specific projects. For instance:

– The use of conventional steel profiles, conceived to be connected mainly at 90° , is not appropriate when the structural geometry is also involved into the FFD. A first International Colloquium of FFD, addressed to a new technologic contribute to facilitate the production and construction process, was held at TU Delft in 2006.

– An interesting contribute to generate structural composite steel plated elements able to follow a free form is Wetkamp Delta rib-system.

– ULS verification of free form member steel sections.

When using the plated box sections as in the under construction High Speed Train Station in Florence (originally designed by Foster and Arup, with final design for construction by STM – Studio Tecnico Majowiecki), a special method of ULS verification of the steel members and sections named “reduced stress method” is illustrated in [13]. The method:

1) allows to take into account direct stresses σ_x , shear stresses τ , stresses σ_z acting parallel to cross-section plane,

2) allows to define the acceptability of cross-section stresses distribution from the combined point of view of resistance and instability by means of the acceptability of stresses distribution of single cross-section plates,

3) allows to adopt as reference the stresses distribution derived from gross cross-section without iterative procedure and without additional eccentricity e_N ,

– Interesującym rozwiązaniem w wytwarzaniu konstrukcyjnych kompozytowych elementów stalowych, które mogą być kształtowane jako „free form”, jest system Wetkamp Delta.

– Weryfikacja ULS (stanu granicznego nośności) prętów stalowych o złożonych przekrojach typu „free form”.

Wykorzystując profilowane przekroje skrzynkowe, takie jak w budowanej stacji szybkiej kolei we Florencji (oryginalnie zaprojektowanej przez Foster and Arup, gdzie projekt wykonawczy został przygotowany przez STM – Studio Tecnico Majowiecki), specjalna metoda weryfikacji ULS prętów i przekrojów stalowych zwana „metodą zredukowanego naprężenia” została zilustrowana w [13]. Metoda ta:

1) pozwala na wzięcie pod uwagę naprężeń podłużnych σ_x , naprężeń stycznych τ , naprężeń σ_z działających równoległe do płaszczyzny przekroju poprzecznego,

2) pozwala na określenie dopuszczalności rozkładu naprężeń w przekroju poprzecznym z punktu widzenia wytrzymałości i niestabilności za pomocą dopuszczalności rozkładu naprężeń poszczególnych ścianek przekroju poprzecznego,

3) pozwala na zastosowanie jako wartości referencyjnej rozkładu naprężeń otrzymanego dla przekroju poprzecznego brutto bez procedury iteracyjnej i bez dodatkowego mimośrodru eN,

4) jest uogólnieniem poprzedniej metody efektywnych przekrojów poprzecznych,

5) jest konstrukcyjną metodą optymalizacyjną w celu zwiększenia niezawodności w FFD. Metoda optymalizacji oparta na algorytmie genetycznym została przedstawiona w [14] (il. 9),

6) obejmuje zaawansowane metody analizy niekonwencjonalnych wrażliwych systemów konstrukcyjnych z niepewnościami obejmującymi tolerancje budowlane.

4) is the generalization of the previous effective cross-sections method,

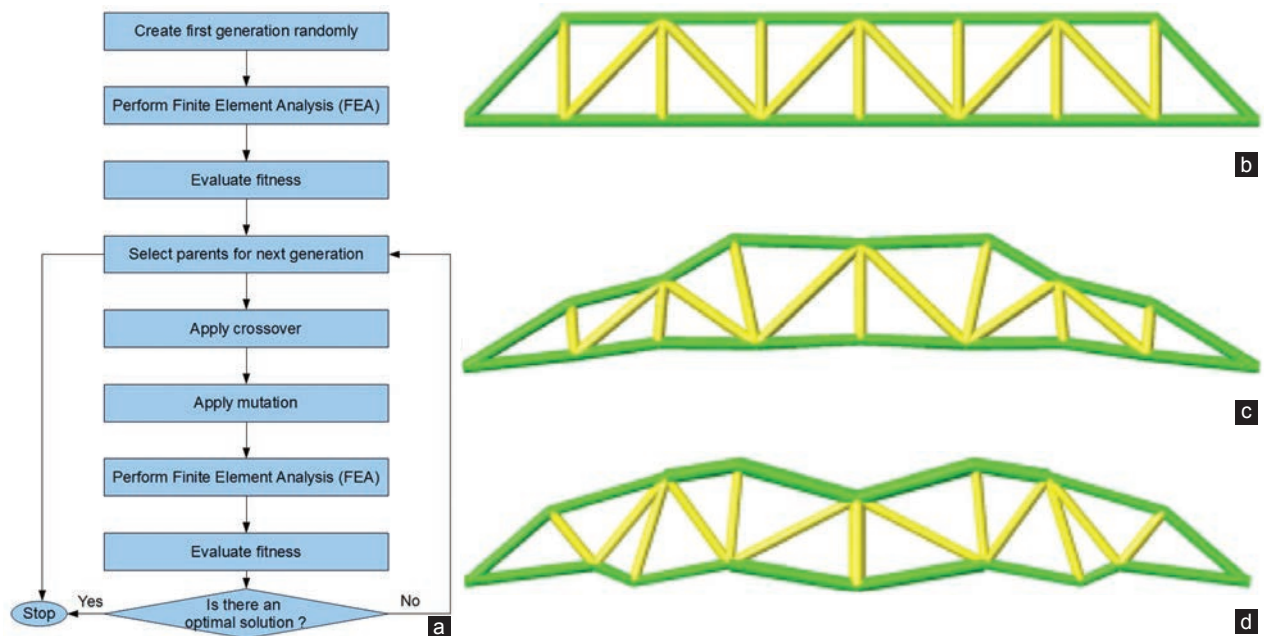
5) structural optimization methods to increase reliability in FFD. An optimization method based on genetic algorithm is presented in [14] (Fig. 9),

6) advanced methods of analysis for unconventional sensitive structural systems with uncertainties including construction tolerances.

In the case of a new suspended cable roof of Braga Stadium in Portugal, reliability analysis under random wind loads was performed (Fig. 10), [15]. The following results are obtained: a) the sensibility of the failure probability of the roof to the spatial random distribution of wind loads, b) the wind direction that drives the structure to fail with most probability (considering all wind direction with a uniform distribution), c) the points of the roof that will fail with most probability, and d) the spatial distribution of wind loads that drive the structure to fail with most probability.

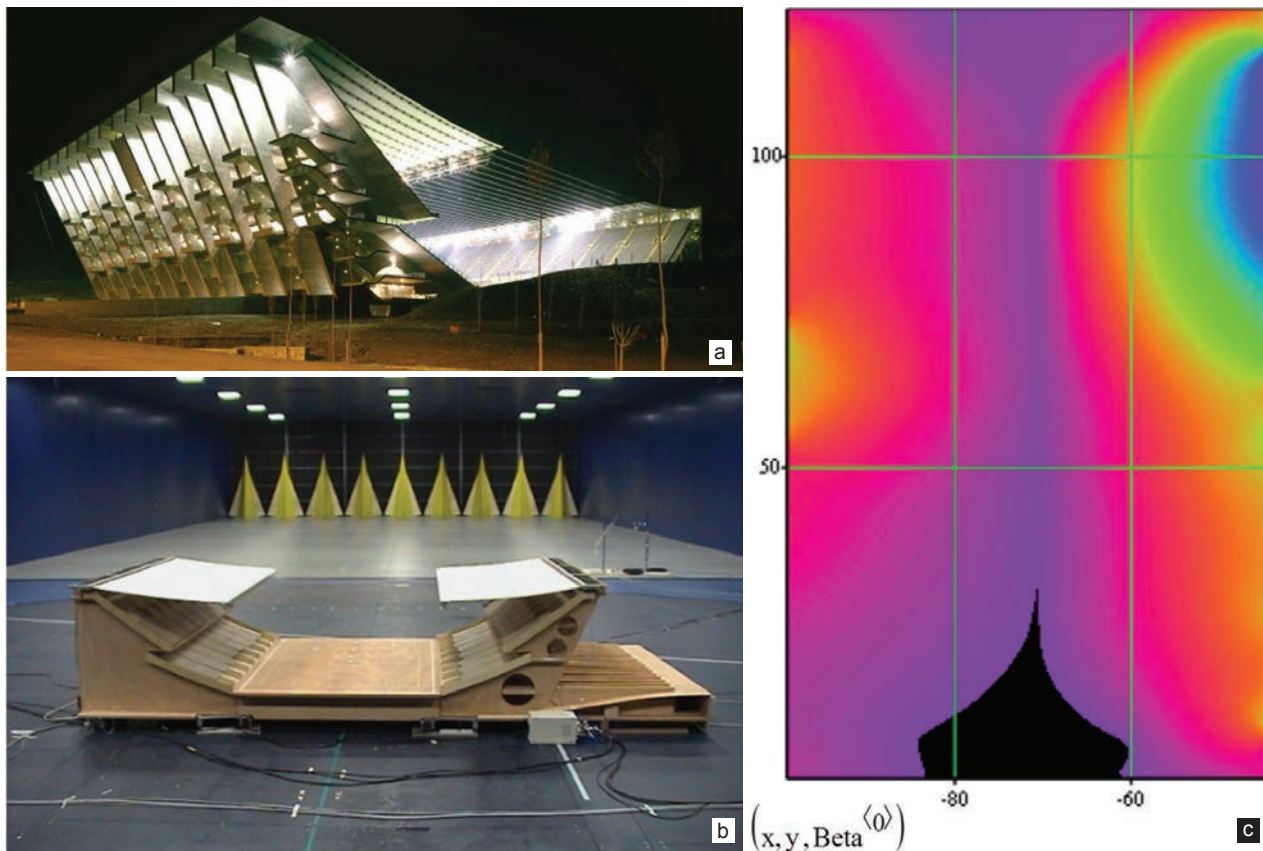
The time dependent effect of coactive indirect actions as pre-stressing, short and long term creeping and temperature effects; furthermore, when rheological uncertainties (as creep differential column shortening in high rise buildings or construction time history incremental state of deformation and stress, etc.) involve modelling uncertainties, it would be necessary to have adequate and systematic feedback on the response of the design by monitoring the subsequent performance of such structures so that the long term sufficiency of the design can be evaluated.

Some actual, FFD objects elaborated under the structural consultancy of the author, are shown in Figure 11.



II. 9. Metoda optymalizacji oparta na algorytmie genetycznym: a) algorytm optymalizacji, b) optymalizacja typologii – rozwiązanie wstępne, c) optymalizacja typologii – wynik końcowy, d) optymalizacja łączona – wynik końcowy

Fig. 9. Optimization method based on genetic algorithm: a) optimization algorithm, b) topology optimization – initial solution, c) topology optimization – final result, d) combined optimization – final result



Il. 10. Inżynieria dachu wiszącego na cięgnach na stadionie w Bradze w Portugalii:
 a) widok ogólny, b) analiza w tunelu aerodynamicznym, c) rozkład współczynnika bezpieczeństwa β wykazujący wrażliwość SLU (stanu granicznego użyteczności) na obszarze czarnym ($\beta = 3,798$) [16]

Fig. 10. Engineering of suspended cable roof of Braga Stadium, Portugal:
 a) general view, b) wind tunnel analysis, c) β -Safety Index distribution, evidencing SLU sensibility on the black region ($\beta = 3.798$) [16]

W przypadku nowego dachu wiszącego na nowym stadionie w Bradze w Portugalii przeprowadzono analizę niezawodności w warunkach losowych obciążeń wiatrem [15] (il. 10). Uzyskano następujące wyniki: a) wrażliwość prawdopodobieństwa awarii dachu na przestrzenny losowy rozkład obciążeń wiatrem, b) kierunek wiatru powodujący awarię konstrukcji z największym prawdopodobieństwem (biorąc pod uwagę równomierny rozkład wszystkich kierunków wiatru), c) te punkty dachu, które są najbardziej narażone na awarię, oraz d) przestrzenny rozkład obciążeń wiatrem powodujących awarię konstrukcji z największym prawdopodobieństwem.

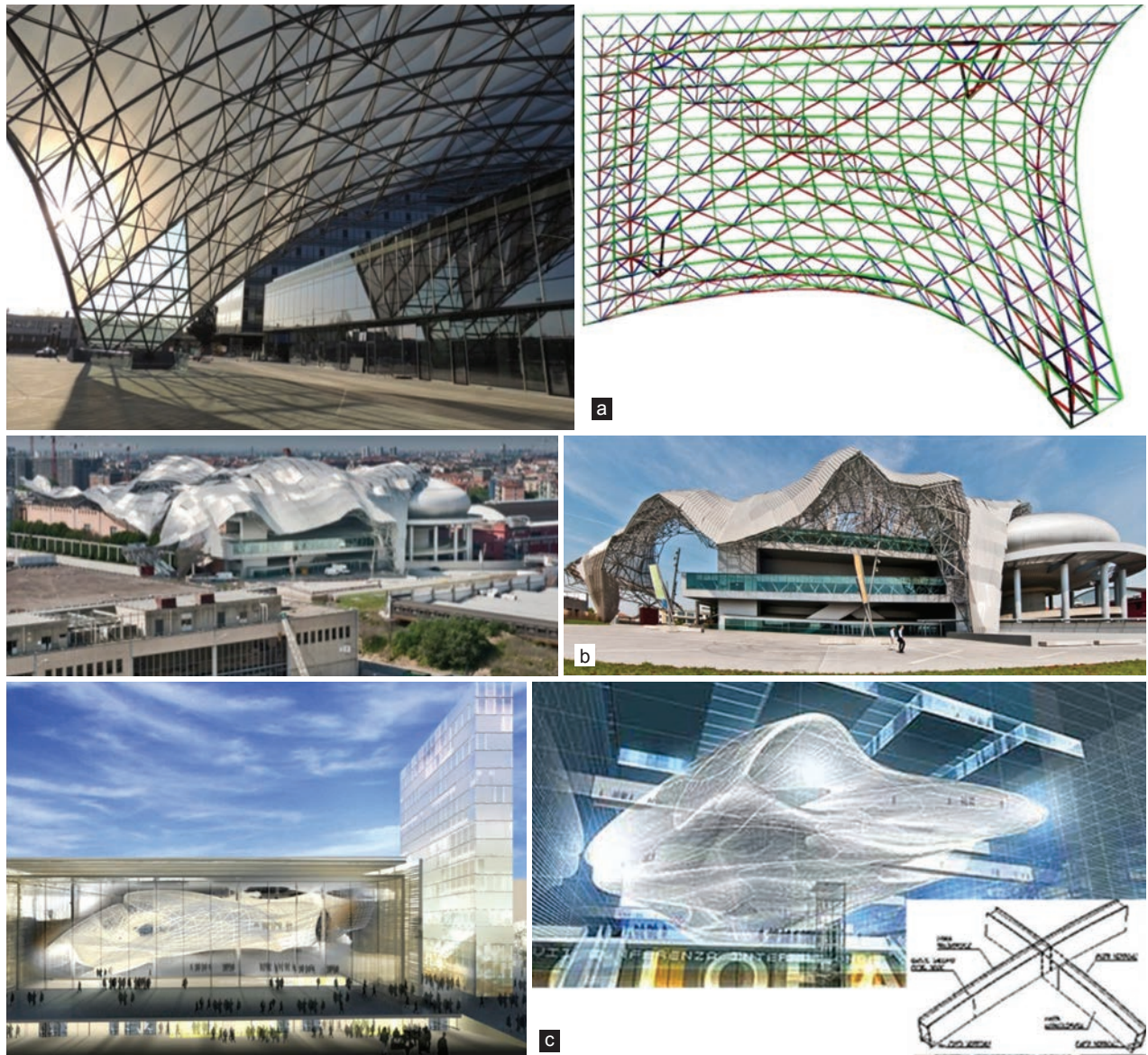
Zależny od czasu efekt jednoczesnego działania czynników pośrednich, takich jak wstępne sprężenie, pełzanie i działanie temperatury; ponadto, gdy niepewności reologiczne (jak zróżnicowane skrócenie pod wpływem pełzania słupów w wieżowcach lub przyrost w historii okresu budowy stanu deformacji i naprężeń itp.) obejmują niepewności modelowania, w takim przypadku istnieje konieczność zdobycia odpowiedniej informacji zwrotnej na temat odpowiedzi projektowanej konstrukcji poprzez monitorowanie jej kolejnych zachowań w celu dokonania ewaluacji długoterminowej rozwiązań projektowych.

Niektóre rzeczywiste obiekty FFD opracowane przy konstrukcyjnej konsultacji z autorem zostały przedstawione na ilustracji 11.

Concluding remarks

Free Form Design is a challenge for architects and engineers alike but, after the first's impressive realizations, the ethic and aesthetic repercussions of FFD's appeal on the social context must be carefully considered, to avoid the inclination to view innovation, of any kind, as positive merely because it is innovative, irrespective of its real merits or its contribution to knowledge.

From the structural point of view, in order to guarantee the required reliability level, special expertise is needed in the design and construction of free structural morphologies involved in FFD. Considering that modern design & construction activities are part of a complex, holistic, trans-multi and inter-disciplinary process that must achieve a required reliability level a Value Analysis is also highly recommended, even in the preliminary design phase, in order to find the most suitable and compatible solution in accordance with the expected function worth, focusing from the "know-how" to the "know-why", in designing and constructing the "what" or – better – the "what for".



Il. 11. Kilka przykładów projektów FFD:

- a) Vela nad Unipol Tower Plaza w Bolonii (arch. OPO & STM), b) „Cometa” Milano Portello Fair (Targi w Mediolanie), (arch. M. Bellini), c) „The Cloud” – Nowe Centrum Kongresowe w EUR, Rzym (arch. M. Fuksas)

Fig. 11. Some examples of FFD projects:

- a) Vela over the Unipol Tower Plaza in Bologna, arch. OPO and STM, b) “Cometa” Milano Portello Fair, arch. M. Bellini), c) “The Cloud” – New Congress Centre in EUR, Rome (arch. M. Fuksas)

Uwagi końcowe

Projekty free form stanowią wyzwanie zarówno dla architektów, jak i inżynierów, jednakże po pierwszych imponujących realizacjach etyczne i estetyczne reperkusje oddziaływania FFD na kontekst społeczny muszą zostać starannie przeanalizowane w celu uniknięcia tendencji do osądzania innowacji, jakiegokolwiek rodzaju, jako zjawiska pozytywnego tylko dlatego, że jest ono innowacyjne, niezależnie od rzeczywistych zalet tej innowacji bądź jej wkładu do stanu wiedzy.

Z konstrukcyjnego punktu widzenia konieczne są specjalne kompetencje w projekcie i budowie konstrukcji o morfologii FFD, aby zagwarantować odpowiedni poziom niezawodności. Biorąc pod uwagę, że nowoczes-

ne projektowanie i działalność budowlana stanowi część kompleksowego, holistycznego, trans-, wielo- oraz interdyscyplinarnego procesu, który musi osiągnąć wymagany poziom niezawodności, zaleca się również przeprowadzenie *analizy wartości*, nawet we wstępnej fazie projektu, w celu znalezienia najodpowiedniejszego i najbardziej kompatybilnego rozwiązania zgodnie z oczekiwaną funkcją, stąd należy skupić się na przejściu z „know-how” (wiedzieć jak) do „know-why” (wiedzieć dlaczego), w projektowaniu i budowaniu „what” (co) lub – lepiej – „what for” (po co).

Tłumaczenie
Bogusław Setkowicz
Romuald Tarczewski

Bibliografia/References

- [1] Majowiecki M., *Architecture & Structures: "Ethics in Free Form Design, New Shell and Spatial Structures"*, [w:] *New olimpics, new shell and spatial structures. Proceedings of the International Symposium IASS-APCS 2006*, Committee on Spatial Structures, China Civil Engineering Society, Association for Spatial Structures, China Steel Construction Society, Beijing University of Technology, Beijing, China, October 16–19, 2006.
- [2] Majowiecki M., *Tensostrutture*, „INARCOS – Rivista Tecnica e di Informazione dell'Associazione Ingegneri e Architetti della Provincia di Bologna” 1972, No. 313, 1, 1–17.
- [3] Musmeci S., *La statica e le strutture. Collana Poliedro*, Edizioni Cremonese, Roma 1971.
- [4] Majowiecki M., Trevisan R., *A graphic interactive software for structural modelling analysis and design*, Space Structures 4, Thomas Telford, London 1993.
- [5] *Proceedings of the First International Conference on Computational Structures Technology*, Heriot-Watt University, Edinburgh, U.K., 20–22 August 1991, „Structural Engineering Review” 1991, 3, 2.
- [6] RWDI – Roof snow loading study-roof re-design Olympic Stadium Montreal, Quebec. Report 93-187F-15, 1993.
- [7] Majowiecki M., *Observations on theoretical and experimental investigations on lightweight wide span coverings*, [w:] *Atti del 1° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento*, Firenze, Ottobre 1990.
- [8] Ishii K. (ed.), *Structural Design of Retractable Roof Structures*, WIT Press, Southampton 2000.
- [9] de Moisset N.G., Moisset de Espanes D., *Diseñar con la estructura*, INGRESO, Cordoba (R.A.) 2002.
- [10] Torroja Miret E., *Razón y Ser de los tipos estructurales*, Instituto de la Construcción y del Cemento. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 1957.
- [11] Carper K.L., *Construction Pathology in the United States. Lessons from structural failures*, „Structural Engineering International” 1996, Vol. 6, No. 1, 57–60.
- [12] Carper K.L., *Lessons architects can learn from failures*, [w:] *Proceedings of the National Convention on Structural Failures and Reliability of Civil Structures. IUAV, Venice 6–7 December 2001*.
- [13] Majowiecki M., Pinardi S., *Reduced stress method for Class 4 steel section*, [w:] A. Steffen (ed.), *Large Structures and Infrastructures for Environmentally Constrained and Urbanised Area. Proceedings of the 34th International Symposium on Bridge and Structural Engineering, Venice, Italy, September 22–24, 2010*. Zürich, International Association for Bridge and Structural Engineering, (IABSE Reports; No. 97).
- [14] Majowiecki M., Petrucci M., *Structural optimization and free form design*, [w:] A. Steffen (ed.), *Large Structures and Infrastructures for Environmentally Constrained and Urbanised Area. Proceedings of the 34th International Symposium on Bridge and Structural Engineering, Venice, Italy, September 22–24, 2010*. Zürich, International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE Reports; No. 97).
- [15] Cosentino N., Majowiecki M., Marini M., *Dynamic characterization of the New Braga Stadium large span suspension roof*, [w:] Ch. Cremona (ed.), *EVACES 05: experimental vibration analysis for civil engineering structures = analyse vibratoire expérimentale des structures de génie civil. Proceedings of the International conference on experimental vibration analysis for civil engineering structures, 26–28 October 2005, Bordeaux, France*, Laboratoire central des ponts et chaussée, Paris 2005.
- [16] Saitoh M., *Conceptual Design of Hybrid Structures*, [w:] I. Mungan (ed.), *Proceedings of the IASS 1993 Symposium*, Istanbul 1993.

Źródła ilustracji

Wszystkie ilustracje pochodzą z archiwum prof. M. Majowieckiego.

Illustration credits

All illustrations are from the archive of Prof. M. Majowiecki.

Streszczenie

Artykuł prezentuje doświadczenie autora i jego osobiste poglądy na wyzwania, które wynikają z nowych trendów w projektowaniu – Free Form Design (FFD). W oparciu o uzyskane doświadczenie można było zidentyfikować zagrożenia dla systemu konstrukcyjnego, jakie niesie ze sobą nieskrępowane tworzenie formy architektonicznej. Implikuje to potrzebę rozszerzenia zakresu i zmiany standardowego podejścia w analizie konstrukcyjnej.

Słowa kluczowe: architektura strukturalna, konstrukcje o dużej rozpiętości, niezawodność, analiza eksperymentalna, monitorowanie

Abstract

The paper presents the author's experience and his personal views on the challenges that arise from the new trend in design – Free Form Design (FFD). Based on the experience gained it was possible to identify the hazards that unfettered creation of architectural form poses for the structural system. This implies the need for extension of range and change of the standard approach in the structural analysis.

Key words: structural architecture, wide span structures, reliability, experimental analysis, monitoring



Michał Pelczarski*

*Strumienie sił w teorii Wacława Zalewskiego
jako narzędzie projektanta w kształtowaniu architektury konstrukcji.
Podstawowe zasady, metody dydaktyczne, przykłady realizacji*

*Streams of forces in Wacław Zalewski's theory
as a designer's instrument in forming constructional architecture.
Basic principles, didactic methods, examples of realisations*

Wprowadzenie

Metody przedstawione w poniższym opracowaniu mogą stanowić narzędzie pozwalające na lepsze zrozumienie sposobu zachowania się formy pod obciążeniem. Graficzny oraz fizyczny charakter metod może lepiej trafić do wyobraźni projektanta i rozbudować w nim intuicyjne „czucie konstrukcji” oraz wzmocnić możliwości przeprowadzenia samodzielnej analizy wytworów własnej wyobraźni. Celem artykułu jest przedstawienie metod tworzenia formy oraz jej systemu konstrukcyjnego odpowiedniego do zadanych warunków projektowych i zgodnego z warunkami „poprawnej” statyki. Omówiono w nim proste narzędzia do uniwersalnej uproszczonej analizy konstrukcji przydatnej podczas podejmowania szybkich decyzji projektowych [1]–[3], kiedy to w umyśle projektantów decyzje kształtowania formy muszą być nieustannie i natychmiastowo weryfikowane przy użyciu narzędzi inżynierskich oraz architektonicznych. Opracowanie stanowi istotne uzupełnienie obecnego rozumienia pracy konstrukcji przekazywanego w sposób

Introduction

The methods presented in this article may constitute an instrument which makes it possible to understand better the way forms behave under a load. A graphic and physical character of methods can appeal to designers' imagination in a better way and help them develop an intuitive “feeling of a construction” as well as enhance possibilities of carrying out an independent analysis of products of their own imagination. The purpose of this article is to show methods of creating a form and its constructional system which is adequate to designing conditions and in accordance with conditions of “correct” statistics. The article discussed simple tools to be used in an universal simplified analysis of a construction, which is useful when making quick design decisions [1]–[3], especially when decisions concerning a form shaping must be continually and instantly verified by means of engineering as well as architectural instruments in the minds of designers. The article constitutes an important complement of current understanding of the construction work, which is transmitted in a traditional way. A more inquisitive reader will find fuller explanations of the discussed issues in books on statistics and material strength. The article was based on numerous phone calls and two scientific trips to Boston where Professor Zalewski lives (Fig. 1).

* Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej/Faculty of Architecture, Wrocław University of Technology.

tradycyjny. Bardziej dociekliwy czytelnik znajdzie głębsze wyjaśnienia poruszanych tu zagadnień w książkach dotyczących statyki i wytrzymałości materiału. Artykuł oparto na licznych rozmowach telefonicznych oraz dwóch wyjazdach naukowych do Bostonu, gdzie mieszka obecnie Profesor Zalewski (il. 1).

Zalety metody strumieni sił

Dzięki zastosowaniu metody strumieni sił modele przepływu sił w konstrukcji sprowadzane są do czytelnego i sugestywnego zapisu graficznego, a rozwijanie rozumienia pracy konstrukcji może pozwolić młodym projektantom na krytyczne spojrzenie na wyniki analiz komputerowych. Siła metody leży również w dobrej wizualizacji pracy konstrukcji, albowiem – jak mówi W. Zalewski – „Geometria też przecież jest matematyką”, a ponieważ obraz lepiej trafia do wyobraźni, warto geometrię stosować w kształtowaniu wstępnym.

Tradycyjne podejście realizowane w obliczeniach inżynierskich, polegające na mierzeniu naprężeń w przekrojach prostopadłych i równoległych do krawędzi badanej konstrukcji, fałszuje często obraz pracy konstrukcji i nie daje syntetycznego spojrzenia projektującemu. Metoda strumieni sił pozwala natomiast na obserwację realnych przepływów sił, w przeciwieństwie do obrazu trudnych do interpretacji naprężeń generujących się w zadanym punkcie konstrukcji. Znajomość realnych przepływów sił daje również możliwość intuicyjnego kształtowania konstrukcji, nawet mniej wtajemniczonym projektantom.

Zasady ogólne metody strumieni sił

Metoda jest szczególnie wartościowa w obszarach, gdzie zastosowanie ma podstawowe ujęcie prawa Hooke'a¹ i liniowy rozkład naprężeń na wysokości przekroju. Metoda operuje strumieniami sił, reprezentującymi działania określonych strumieni naprężeń. Jak bowiem wiadomo, w każdym ciele poddanym działaniu sił tworzy się sieć linii zwanych trajektoriami naprężeń głównych².

W związku z powyższym, wzór dróg, którymi obciążenie przenoszone może być do podpór, może być zbliżony do przebiegu trajektorii naprężeń głównych. Znając te drogi, projektant może obserwować, jak konstrukcja „działa” i „pracuje”. W metodzie każdy kanał transmisji sił wewnętrznych symbolizowany jest za pośrednictwem pręta przenoszącego określoną siłę jednostkową, a grubość pręta informuje o intensywności siły w nim panującej.

Idea metody polega więc na graficznym obrazowaniu sił wirtualnych, będących wypadkową naprężeń głównych panujących w danym punkcie. Łączenie sił wirtualnych prowadzi do powstawania łańcuchów sił obrazowo



Il. 1. Pracownia Wacława Zalewskiego.
Autor w trakcie wizyty naukowej u Profesora

Fig. 1. Wacław Zalewski's Studio.
The author on his scientific trip visiting Professor Zalewski

Advantages of the streams of forces method

Thanks to the application of the streams of forces method, models of a force flow in a construction are expressed as a readable and suggestive graphic record and developing the understanding of the structure work may allow young designers to view results of computer analyses more critically. According to W. Zalewski, who says that “geometry is still mathematics as well”, the power of the method also lies in a good visualisation of the construction work and because an image much better appeals to imagination, geometry is worth applying in the initial shaping.

A traditional approach, which is used in engineering calculations and consists in measuring stress in sections perpendicular and parallel to the edge of the examined structure, often falsifies the structural work image and does not provide a designer with a synthetic view. On the other hand, the method of streams of forces makes it possible to observe real flows of forces as opposed to an image of difficult to interpret stresses which are generated at a given point of the structure. The knowledge of real flows of forces also gives a possibility of intuitive shaping of a structure even for designers who are not so privy to secrets of the art of designing.

General rules of the streams of forces method

This method is particularly valuable in cases where the basic Hooke's law¹ and a linear distribution of stresses at the height of the section are applied. This method operates with streams of forces which represent actions of specified streams of stresses. As it is known, in each body

¹ Obszar pracy sprężystej materiału, kiedy odkształcenia wybranego obszaru są proporcjonalne do naprężeń w nim panujących.

² Największych w danym punkcie naprężeń (ciśnień) normalnych, występujących na kierunkach wzajemnie prostopadłych i działających pod takim kątem do układu odniesienia, że naprężenia styczne są w nim zerowe.

¹ Region of resilient work of the material when deformations of a chosen region are proportional to stresses existing in it.

nazywanych strumieniami sił. Łańcuchy zwykle tworzą układy kratownicowe z prętami ściskanymi i rozciągany-
mi, zbiegającymi się we wspólnych węzłach. Spośród
wielu strumieni sił wyszukać można powtarzające się
motywy: równoległe, wachlarzowe i obszary przejściowe
(„D”). Szkice z ilustracji 2 oraz 3 przedstawiają takie
kratownice stworzone przez W. Zalewskiego. Modele
z ilustracji 4, 5 oraz 6 demonstrują natomiast wyobraże-
nia studentów o możliwym przebiegu strumieni sił w za-
danym obszarze materii tworzącej ścianę pracującą w okre-
ślonych warunkach obciążeniowych.

Analiza jakościowa, a nie ilościowa

Metoda strumieni sił, jako metoda jakościowa, daje
wystarczająco dokładne wyniki pozwalające na racjonal-
ne, świadome kształtowanie formy, która w kolejnym
etapie projektowania poddana może zostać gruntownej
analizie statycznej, przy zastosowaniu dowolnego progra-
mu komputerowego MES³. Programy te, z dużą obecnie
dokładnością, naśladują zachowanie się realnego materia-
łu, lecz wymagają znacznego doświadczenia podczas we-
ryfikacji otrzymanych wyników. Istnieje więc wysokie
prawdopodobieństwo, iż stosując metodę strumieni w fazie
kształtowania formy konstrukcji, wyniki szczegółowej
już analizy cyfrowej będą znacznie zbliżone do przewidy-
wanych wcześniej wartości i nie wpłyną znacząco na
zmianę zasadniczych założeń projektu początkowego.
Metoda daje również spory zakres pewności architektowi
i umożliwi świadome jej kształtowanie i otworowanie.

Zasadnicze etapy metody strumieni sił

Podczas stosowania metody projektant powinien
przejsć przez kilka zasadniczych etapów:

1. Zdefiniowanie obszaru obiektu i dopuszczalnego
zarysu materiału konstrukcyjnego.
2. Budowa optymalnego wiazara (złożonego z wirtual-
nych strumieni sił) w ograniczonym obszarze zdefiniowa-
nym. Przy czym za optymalny uznaje się tu układ zuży-
wający minimalne objętości materiału, przy założeniu
maksymalnego (bezpiecznego) wyężenia jego elemen-
tów.
3. „Pokrycie” materiają poszczególnych linii, reprezen-
tujących pręty, w zależności od ich wyężenia.
4. Usunięcie materiału z miejsc, gdzie siły nie wystę-
pują lub są pomijalnie małe.
5. Przewidywanie, jak „natura” skierowałaby przepły-
wy sił w danych warunkach i poszukiwanie, czy zbudow-
wany model odpowiada takim kierunkom oraz jak bardzo
od nich odbiega.

Model kratownicowy

Jak już wspomniano, łańcuchy sił tworzą zwykle ukła-
dy kratownicowe. Większość ustrojów można bowiem
przedstawić za pomocą wirtualnego układu prętów.

which is exposed to an action of forces a network of lines
called main stress trajectories are created².

Accordingly, a pattern of ways along which loads may
be transferred to supports can be similar to the main stress
trajectories. Having the knowledge of these ways a de-
signer is able to observe how a construction “operates”
and “works”. In this method each transmission channel of
internal forces is symbolised via a rod carrying a specified
unit force and the rod’s thickness gives the information
about the intensity of a force existing in it.

Therefore, the idea of the method consists in a graphic
representation of virtual forces being a resultant of main
stresses which are present at a given point. Joining virtual
forces creates chains of forces which are figuratively
called streams of forces. The chains usually form truss
systems with compressed and stretched rods which con-
verge at common junctions. Among many streams of
forces we can distinguish repeating motives, i.e. parallel,
fan and transitional regions (“D”). Sketches in Figures 2
and 3 present this type of trusses created by W. Zalewski.
On the other hand, models in Figures 4, 5 and 6 demon-
strate students’ ideas about a possible streams of forces
course in a given region of matter which forms a wall
working in specified loading conditions.

Qualitative analysis, not a quantitative one

The method of streams of forces as a qualitative meth-
od gives sufficiently accurate results making it possible to
shape a rational and conscious form which in the next
stage of designing may undergo a thorough statistic analy-
sis by applying an optional computer program FEM³.
These programs, with high accuracy at present, imitate
behaviour of a real material but they require a consider-
able experience while verifying obtained results. There-
fore, there is a high probability that by using the method
of streams in the phase of shaping a structure form, the
results of a detailed digital analysis will be very similar to
the previously anticipated values and will not signifi-
cantly influence the change of basic assumptions of the
initial design. This method also offers a designer a con-
siderable scope of certainty and enables its conscious
shaping and creating the openings.

Basic stages of the method of streams of forces

During the application of the method a designer should
go through several fundamental stages:

1. Defining the region of an object and a permissible
outline of the constructional material.
2. Building structure of an optimal truss (consisting of
virtual streams of forces) in the limited defined region.
And the optimal system is considered to be the one which
uses a minimum volume of the material assuming the
maximum (safe) effort of its elements.

² The greatest normal stresses (pressures) in a given point existing
in directions mutually perpendicular and operating under such an angle
to a reference system that tangential stresses have a zero value there.

³ Finite element method.

³ Metoda elementów skończonych.

Kształtując te układy w metodzie strumieni, należy znaleźć takie ich konfiguracje, by „naśladowały” one kierunki głównych sił wewnętrznych. Układy takie dają bowiem minimalną objętość materiału, są z reguły najsztwytniejsze i często posiadają znaczne walory estetyczne.

Chcąc stworzyć nową konstrukcję, buduje się w określonym obszarze przestrzeni kratownicę, której zadaniem będzie transmisja obciążenia od punktu jego przyłożenia do punktów podparcia. Stworzyć można wówczas niezliczoną liczbę poprawnych statycznie modeli kratownicowych przenoszących siły w konstrukcji, jednakże istnieje tylko jedna taka konfiguracja, która bliska będzie przebiegowi strumieni sił, jaki powstałby naturalnie w takim obszarze konstrukcji. Będzie to konfiguracja prętowa o minimalnej objętości materiału, kształtowana przy założeniu, że materiał wszystkich elementów wykorzystany jest całkowicie i naprężenia w elemencie równe są naprężeniom granicznym dla danego materiału.

Projektowanie W. Zalewskiego ogniskowało się właśnie wokół tej zasady, by w elementach struktury minimalizować, na ile to możliwe, kosztowne materiałowo zginanie, a strumieniom sił dać „ujście” drogą najbardziej naturalną z możliwych absorbującą minimalną ilość energii wewnętrznej. Taką więc, jaką wybrałaby natura w cieple sprężystym wypełniającym dostępną przestrzeń.

Modelowanie przy zastosowaniu metody strumieni sił

Ponieważ każdy z nas ma intuicyjne wyczucie z obszaru statyki, w które zostaliśmy niejako od urodzenia wyposażeni, modelowanie fizyczne jest bardzo pomocnym narzędziem projektowania, wzmacniającym i rozbudowującym te wrodzone umiejętności. Stosując metodę strumieni sił, „pracujemy na obrazach, a nie słowach i liczbach” – jak mówi Profesor.

Modelowanie graficzne oraz fizyczne daje możliwość obserwacji procesu projektowego „oczyma wyobraźni” i pozwala uruchomić zmysły – wzroku, dotyku oraz wyczucia równowagi. Zmysły te nie są niestety uruchamiane podczas stosowania ścisłych metod matematycznych, przy czym przez modelowanie graficzne rozumie się tu stosowanie m.in.: metody strumieni sił i jej kalibrację⁴, oraz metod graficznych w statyce, pozwalających na obserwację i kontrolę gry sił w konstrukcji.

Metoda strumieni sił może być bardzo pomocna architektom, ponieważ zwykle pozwala na generowanie konstrukcji inspirowanych rozwiązaniami natury, zawierającymi w sobie pierwiastek piękna „naturalnego”, a – jak powiada W. Zalewski – „poszukiwanie tych inspiracji rodzi często formy «sympatyczne»”.

Na tym etapie projektant musi więc zadawać sobie pytanie, jak „natura” zorganizowałaby przebieg sił w danym obszarze materii, i tworzyć równocześnie otwory (jeśli to potrzebne) tam, gdzie wyciężenie jest minimalne.

Na każdej mapie naprężeń można wyszukać trzy powtarzalne motywy – „patterns”, a znając podstawowe wzory

3. “Covering” particular lines representing rods with matter, depending on their effort.

4. Removing the material from places where forces are not present or are negligible.

5. Anticipating how “nature” would direct flows of forces under given circumstances and investigating whether a designed model corresponds to such directions or how much it differs from them.

Truss model

As it was mentioned above, the chains of forces usually create truss systems. Most structures can in fact be presented by means of a virtual system of rods. Shaping these systems in the method of streams such configurations should be found so as they could “imitate” directions of the main internal forces. These systems give a minimum volume of the material, they are generally stiffest and they often have considerable aesthetic values.

If a new structure is to be created, a truss whose task is to transmit the loading from the point of its application up to support points is built in a given region of space. Then it is possible to create an unlimited number of statistically correct truss models transferring forces in the construction, however, there is only one configuration which will be close to the course of streams of forces that would be created naturally in this region of the construction. This will be a rod configuration with a minimum volume of the material and shaped on the assumption that the material of all elements is used completely and stresses in the element are equal to the yield strengths for a given material.

W. Zalewski’s designing focused on this principle in order to minimise, if possible, expensive material bending in the elements of the structure and give the streams of forces an “outlet” through the most natural way possible absorbing a minimum amount of internal energy. The way that would be chosen by nature in an elastic body which fills the available space.

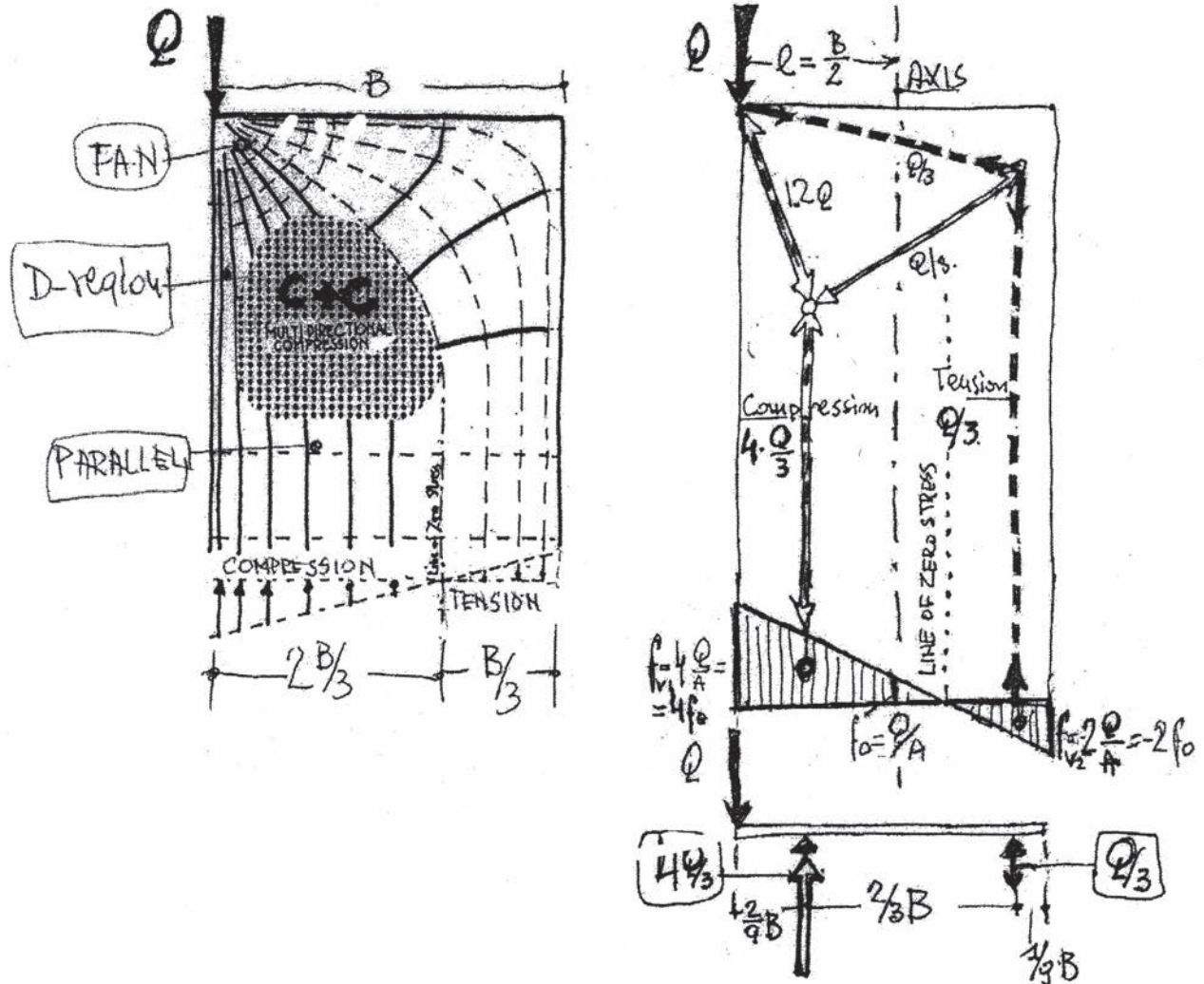
Modelling with the use of the method of stream of forces

Since each of us has an intuitive sense of statics, which we were somehow equipped with from birth, physical modelling is a very helpful instrument of designing which reinforces and develops these congenital skills. Professor Zalewski says that by applying the method of stream of forces “we work with images, not with words or numbers”.

Graphic and physical modelling gives a possibility of observing a designing process with “eyes of imagination” and allows us to activate our senses – sight, touch and a sense of balance. Unfortunately, these senses are not launched when using strict mathematical methods and by graphic modelling we understand the application of, among other things, the method of streams of forces and its calibration⁴ as well as graphic methods in statics which

⁴ Pod względem minimalnego ciężaru własnego kratownicy wirtualnej.

⁴ With regard to a minimum dead weight of the virtual truss.



Il. 2. Autorskie szkice prof. Zalewskiego przedstawiające strumienie sił, jakie powstają w ścianie obciążonej w narożu, na dużym mimośrodzie. Po lewej – regiony typowych wzorów strumieni sił: *Fan* (wachlarzowe), *Parallel* (równoległe), *D-region* (od *disturbance*; obszar zakłóceń). W obszarze zakłóceń występuje strefa wielokierunkowego ściskania „C+C”. Po prawej – model prętowo-ciężnowy operujący wewnętrznymi siłami wypadkowymi, reprezentującymi poszczególne obszary strumieni sił. Na dolnej krawędzi ściany zobrazowano wartości i lokalizację wypadkowych reakcji powstających u jej podstawy⁵ [4]

Fig. 2. Original sketches by Professor Zalewski presenting streams of forces which are created in the loaded wall in the corner on the big eccentricity. On the left – regions of typical patterns of streams of forces: *Fan*, *Parallel*, *D-region* (*disturbance*).

In the disturbance region there is a zone of multidirectional compressing “C+C”. On the right – a rod-cable model operating with internal resultant forces that represent particular regions of streams of forces. Values and the location of resultant reactions produced at its base were presented on the lower edge of the wall [4]

geometryczne transmisji sił, jesteśmy w stanie budować je na obszarach pośrednich i następnie kalibrować⁶ w zależności od wielkości sił wewnętrznych w nich panujących.

W rozumieniu pracy konstrukcji bardzo pomocne jest również uproszczone rozumowanie fizyczne, gdzie skomplikowane zespoły elementów rozcina się wirtualnie i poszukuje w tych rozcięciach wartości sił zapewniających równowagę sił w badanym przekroju. Dla lepszego zobrazowania tych działań zamieszczono szkice prof. Zalewskiego przedstawiające wybrane etapy metody strumieni sił (il. 2, 3).

⁵ *Tension* – rozciąganie, *compression* – ściskanie, *axis* – oś, *line of zero stress* – linia naprężeń zerowych.

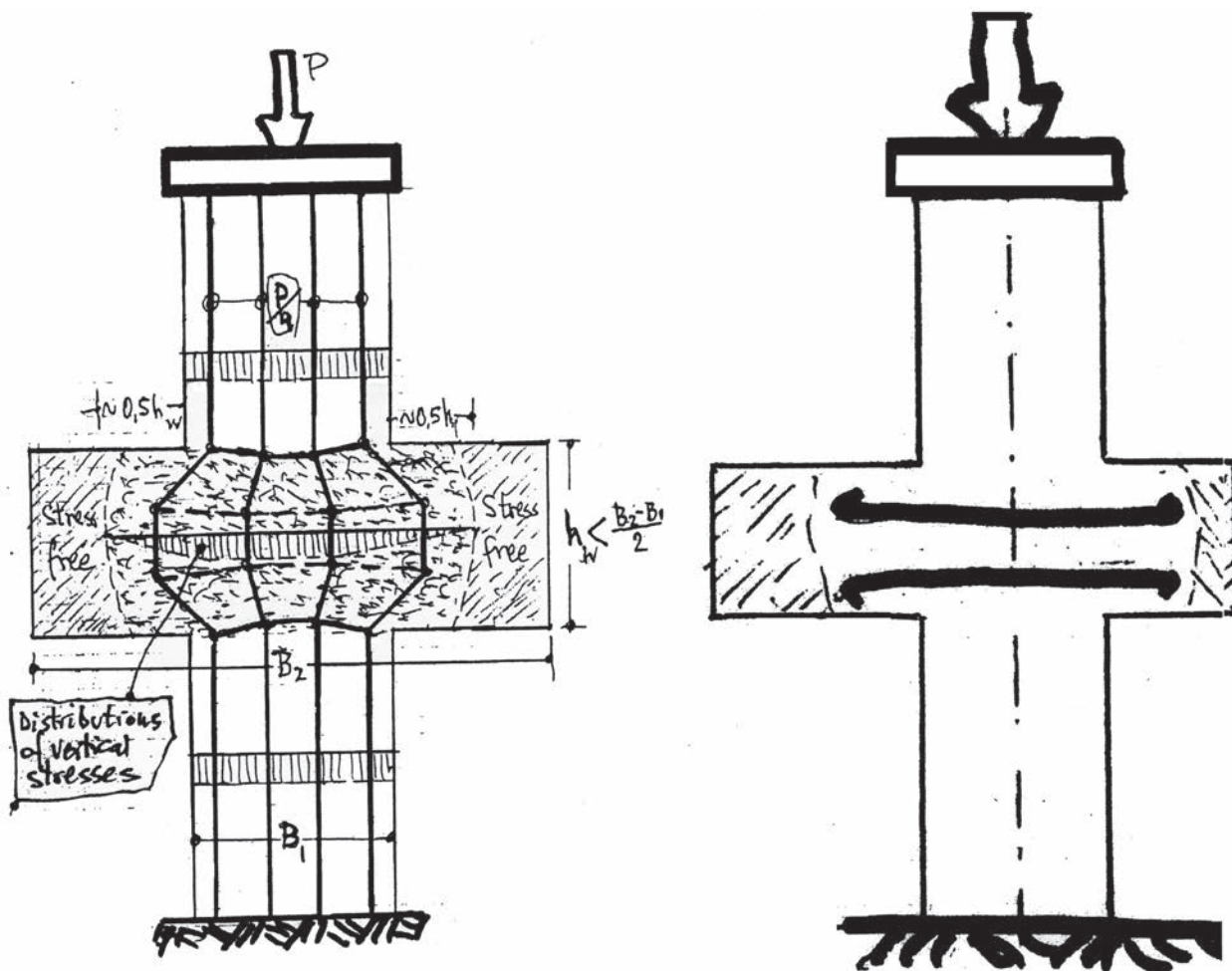
⁶ Nadając im grubość lub szerokość.

make it possible to observe and control the play of forces in the construction.

The method of streams of forces may be very helpful for architects because it allows them to generate constructions inspired by solutions of nature which include an element of “natural” beauty and according to W. Zalewski “a search for these inspirations often results in «sympathetic» forms”.

Hence, a designer at this stage must ask himself how “nature” would organise the course of forces in a given region of matter and at the same time create openings (if necessary) in places where effort is minimum.

On each map of stresses we can find three repeatable motives, i.e. “patterns” and knowing the basic geometrical formulas of the force transmission we are able to construct them in indirect regions and then cali-



Il. 3. Autorskie szkice prof. Zalewskiego. Po lewej – przedstawiający strumienie sił, jakie powstają w ścianie z dwoma krótkimi wspornikami, obciążonej osiowo oraz – po prawej – schemat jej niezbędnego zbrojenia⁷ [4]

Fig. 3. Original sketches by Professor Zalewski. On the left – presenting streams of forces which are produced in the axially loaded wall with two short supports and – on the right – a scheme of its necessary reinforcement [4]

W przykładzie przedstawionym na ilustracji 3 obciążenie do ściany przykładane jest osiowo za pośrednictwem stalowej płyty nieodkształcalnej. Po lewej widoczne są cztery obszary pracy ściany: górna i dolna strefa ściany, gdzie występują strumienie równoległe, środkowa strefa wachlarzowa i wolny obszar niepracujący. W strefie środkowej ściskane strumienie górne wnikają do obszaru wspornikowego po liniach krzywych i spotykają się z takimi samymi strumieniami dolnymi. Zakrzywienie strumieni ściskanych możliwe jest dzięki ciągnom znajdującym się w dwusiecznych kąta załamania strumieni ściskanych. Po prawej przedstawiono lokalizację niezbędnego zbrojenia pełniącego funkcję ciągnów spinających „wybrzuszone” się strumienie ściskane.

Przedstawione na fotografiach (il. 4–6) modele pokazują, jak różne i ciekawe, w detalach, może być studenckie wyobrażenie kształtowania i pracy wirtualnych kratownic tworzących systemy strumieni sił. Modele obejmują zarówno systemy płaskie, jak i przestrzenne. Niezależnie jednak od technologii ich wykonania zawsze mają intrygującą archi-

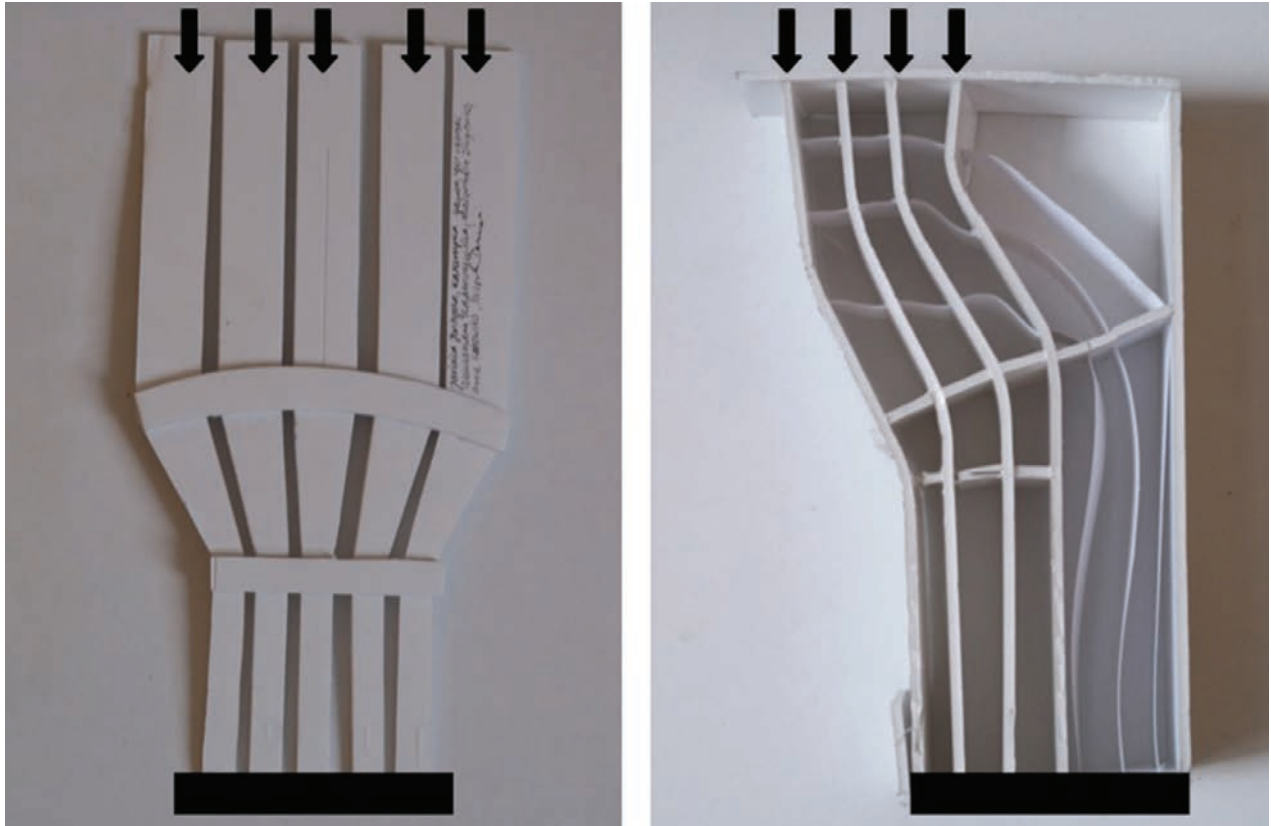
brate⁵ them depending on the size of the internal forces existing in them.

In terms of the construction work, a simplified physical understanding is also very helpful where complicated complexes of elements are virtually cut through and afterwards those cuts are searched for values of forces that ensure a balance of forces in a studied section. In order to depict these actions, see sketches drawn by Professor Zalewski and presented illustrating selected stages of the method of streams of forces (Fig. 2, 3).

In the example presented in Figure 3 a load is axially applied to the wall by means of a steel non-deformable plate. On the left four regions of the wall work can be seen, i.e. upper and lower zones of the wall where parallel streams appear along with a fan central zone and a free non-working region. In the central zone compressed upper stream penetrate into the support region along curved lines and come across the same lower streams. The curvature of the compressed streams is possible due to cables in bisectors of the angle of refraction of com-

⁷ Distribution of vertical stresses – rozkład naprężeń normalnych.

⁵ Giving them thickness and width.



Il. 4. Z lewej – interpretacja studentów płaskiego modelu strumieni sił generujących się w ścianie o geometrii typu „butelka”⁸. Z prawej – przestrzenny model ściany obciążonej mimośrodowo. Strumienie rozciągane wykonano z pasm papieru. Modele realizowane były na zajęciach z konstrukcji żelbetonowych⁹. Strumienie sił oparto na mapach krzyży naprężeń głównych, pozyskanych z programu wykorzystującego metodę elementów skończonych (por. il. 7)

Fig. 4. On the left – a students' interpretation of the flat model of streams of forces generated in the geometry type walls called a “bottle”⁶. On the right – a spatial model of the wall loaded eccentrically. Stretching streams were made of paper strips. The models were prepared during classes in reinforced concrete structures⁷. Streams of forces were based on maps of main stress crosses obtained from the program which uses a finite element method (see Fig. 7)

tekturę. Modele tworzone były w oparciu o wyniki uzyskane z programu MES, przykładowo przedstawione na ilustracji 7. Długości ramion, krzyży naprężeń informują tu o intensywności naprężeń w danym punkcie. Po prawej stronie ilustracji 7 widoczna jest równomiernie obciążona ściana o geometrii typu „butelka”. Przekroje A-A1 oraz A-A4 obrazujące wykresy naprężeń normalnych¹⁰ pozwalają na obserwację obszarów najbardziej intensywnie rozciąganych oraz ściskanych, a wyznaczenie ich pola powierzchni pozwala na wyznaczenie wypadkowej ogólnych rozciągnięć oraz ściskania w danym obszarze przekroju. Fizyczne modele tego typu pozwalają na weryfikację ich poprawności poprzez obserwację zachowania modelu pod obciążeniem. Obserwacja daje również obraz pracy wirtualnej kratownicy i dobrze wskazuje jej elementy ściskane i rozciągane.

pressed streams. On the right we can see the location of indispensable reinforcement performing the function of cables coupling “bulging” compressed streams.

Models presented in photographs (Fig. 4–6) show how different and interesting in details students' images of formation and work of virtual trusses creating systems of streams of forces can be. The models comprise flat and spatial systems as well. However, regardless of the technology they always have intriguing architecture. These models were made on the basis of the results obtained from FEM program, which was presented as an example in Figure 7. The lengths of arms and crosses of stresses give us information about intensity of stresses at a given point. On the right side of Figure 7 we can see an evenly loaded wall with “bottle” type geometry. Sections A-A1

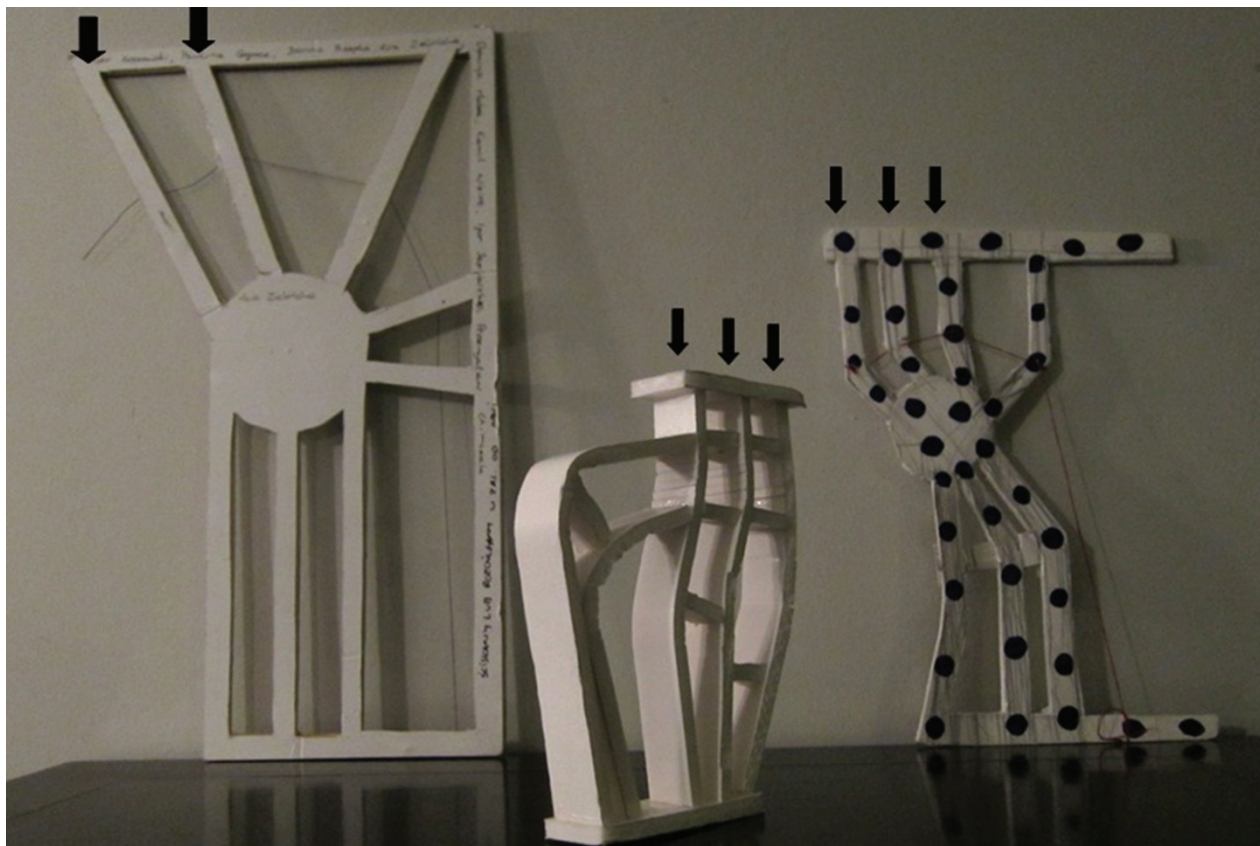
⁸ Model płaski jest znacznie łatwiejszy do wykonania, ponieważ nie musi uwzględniać zjawiska wyboczenia oraz utraty stateczności prętów. Modele tego typu mogą być kontrolnie obciążane w momencie, gdy leżą na stole.

⁹ Autorzy modeli: J. Jańska, K. Gawor, I. Sikorski, A. Adamczewska, M. Długiewicz, A. Siekowska, D. Szczęch, P. Rynowicka, K. Jurkanis, M. Eisler, S. Żybert, A. Guderska, A. Haligowska.

¹⁰ Prostopadłych do tych przekrojów.

⁶ A flat model is much easier to make as it does not have to take into account a buckling phenomenon and loss of stability of rods. Models of this type can be loaded in a controlled way when they are placed at a table.

⁷ Authors of the models: J. Jańska, K. Gawor, I. Sikorski, A. Adamczewska, M. Długiewicz, A. Siekowska, D. Szczęch, P. Rynowicka, K. Jurkanis, M. Eisler, S. Żybert, A. Guderska, A. Haligowska.



Il. 5. Modele fizyczne strumieni sił generujących się w ścianach obciążonych silnie mimośrodowo w interpretacji studentów architektury. Dwa tylnie modele są typu płaskiego, jako że ten typ łatwiej zbudować i zanalizować bez zjawiska utraty stateczności¹¹

Fig. 5. Physical models of streams of forces that are generated in walls eccentrically strongly loaded, as interpreted by students of architecture. Two rear models are flat because this type is easier to be built and analysed without a phenomenon of a loss of stability⁸

Hotel w Kołobrzegu

Znakomitą polską realizacją i bardzo interesującym przykładem zastosowania metody strumieni sił konstrukcja hotelu w Kołobrzegu (il. 8–11), zaprojektowanego w latach 1960–1962 przez zespół konstruktorów w osobach: J. Draguły, W. Panorskiego, W. Zalewskiego, oraz architektów: J. Łowińskiego, J. Góreckiego, J. Zarembskiego.

Zasadniczą siłą motywującą prof. Zalewskiego do poszukiwań nowych form i rozwiązań konstrukcyjnych było tworzenie konstrukcji poprawnej, zgodnej z prawami fizyki materii i jednocześnie ściśle odpowiadającej zadanym potrzebom użytkowym. Szybko okazało się, iż takie podejście dawało również ciekawe wyniki architektoniczne. To właśnie środowisko architektów dostrzegło bowiem w jego projektach „ożywcze” intrygujące formy, które były wynikiem synergii i czystej często syntezy funkcji z prawami zachowania się materii pod obciążeniem. Wyjątkowość konstrukcji tego budynku polega na śmiałej idei podwieszenia powtarzalnych komórek pokoi

and A-A4 which present graphs of normal stresses⁹ allow us to observe regions most intensively stretched and compressed and determining their surface area makes it possible to designate a resultant of general stretches and compressions in a given region of the section. Physical models of this type allow us to verify their correctness through observation of a model's behaviour under a load. Observation also gives an image of virtual work of the truss and shows its compressed and stretched elements in a good way.

Hotel in Kołobrzeg

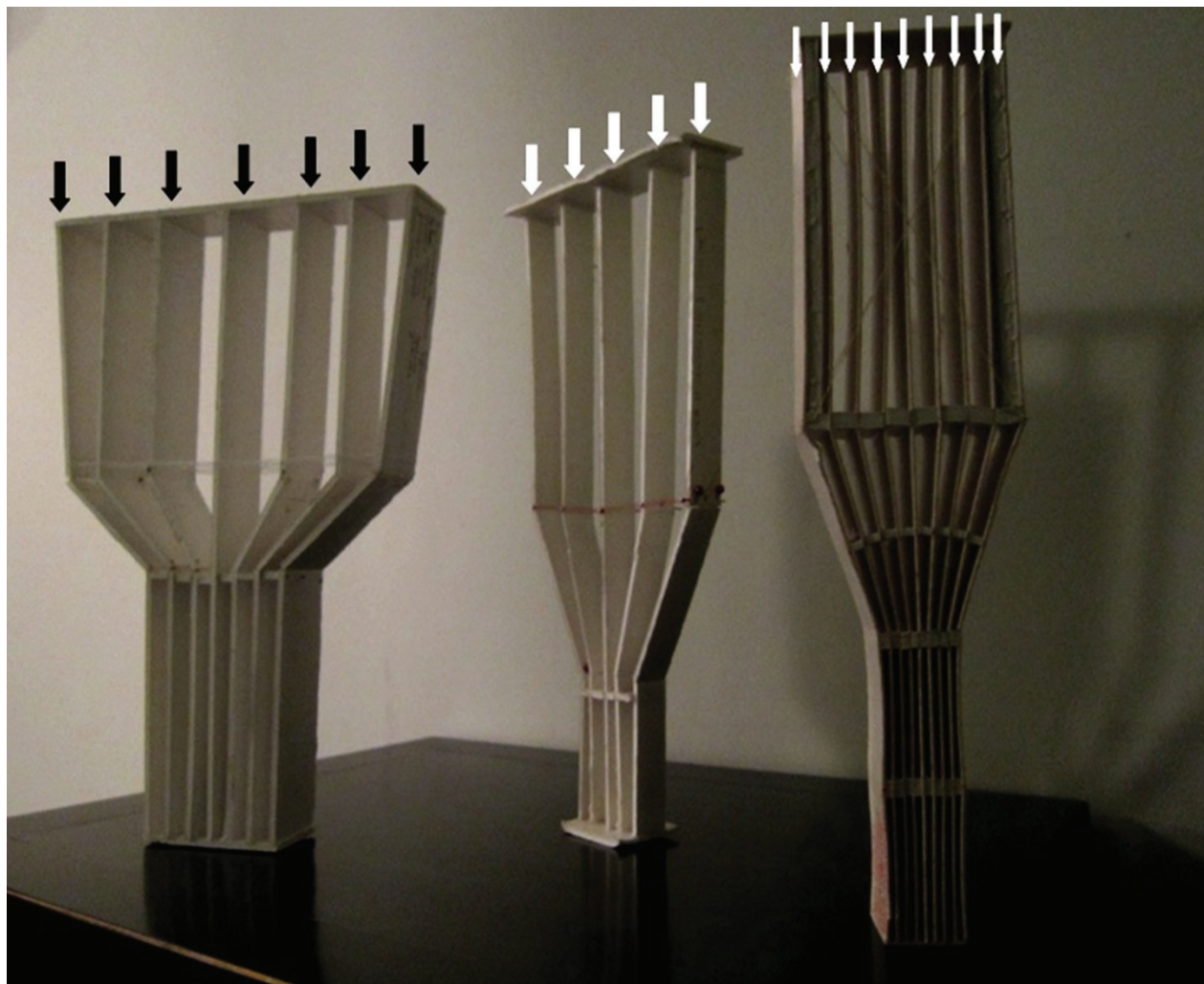
A hotel construction in Kołobrzeg (Fig. 8–11), which was designed by a team of constructors J. Draguła, W. Panorski, W. Zalewski and architects J. Łowiński, J. Górecki, J. Zarembski in the years 1960–1962, constitutes a Polish remarkable realisation and a very interesting example of applying a method of streams of forces.

A fundamental force which motivated Professor Zalewski to search for new forms and constructional solutions was the formation of the correct construction

¹¹ Autorzy – model lewy: P. Koszowski, P. Gogacz, J. Rzepka, A. Zielińska, D. Małek, K. Nizioł, I. Sapijaszko, P. Chimczak; model środkowy: L. Trochanowska, A. Zgraja; model prawy: M. Szydłowska, J. Sielska, A. Sawicka, J. Żyłowska, J. Woś, K. Kołodziejska, N. Ladzińska.

⁸ Authors – left model: P. Koszowski, P. Gogacz, J. Rzepka, A. Zielińska, D. Małek, K. Nizioł, I. Sapijaszko, P. Chimczak; central model: L. Trochanowska, A. Zgraja; right model: M. Szydłowska, J. Sielska, A. Sawicka, J. Żyłowska, J. Woś, K. Kołodziejska, N. Ladzińska.

⁹ Perpendicular to these sections.



Il. 6. Modele fizyczne strumieni sił generujących się w ścianach o geometrii typu „butelka” w interpretacji studentów architektury. Cechą szczególną przedstawionych tu modeli jest ich budowa przestrzenna¹²

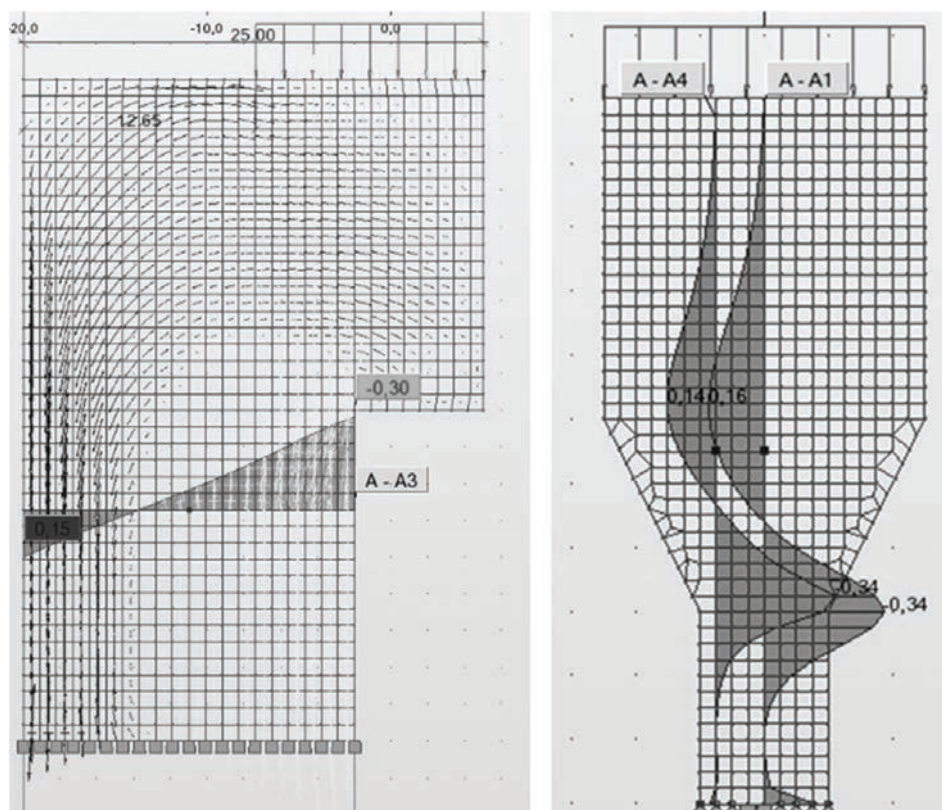
Fig. 6. Physical models of streams of forces generated in the geometry type walls called a “bottle” interpreted by students of architecture. A special feature of the models presented here is their spatial structure¹⁰

do dwóch tarcz – ścian podłużnych widocznych na ilustracji 10 i 11. W celu uwolnienia cennej przestrzeni parterowej, główne podłużne ściany nośne oparte zostały na rozbudowanych przestrzennie podporach typu „A” oraz „X”. Dzięki zastosowaniu podpór tego typu możliwe było otwarcie dla usług atrakcyjnej przestrzeni parterowej. Niestety, mimo tych zabiegów, widok fasady tylko w nieznaczny sposób sygnalizuje interesującą konstrukcję parteru i warto, by w przyszłości jego architektura pozwalała na ekspozycję tej ciekawej konstrukcji. Przykładowo, na ścianach szczytowych mogłyby pojawić się odpowiednie pilastry sygnalizujące układ dwóch tarcz podłużnych budynku oraz zasadę podwieszenia poszczególnych komórek pokoi, a przeszklenie strefy parteru mogłoby mieć mniejsze optycznie szprosny. Poza tym budynki par-

which was in accordance with the laws of physics of matter and at the same time closely corresponded to the specified usable requirements. It soon turned out that such an approach also gave interesting architectural results. It was the architects' environment that saw “refreshing” and intriguing forms in his designs, which resulted from synergy and often a pure synthesis of function with laws of matter behaviour under a load. Uniqueness of this building structure consists in a bold idea of suspending repeatable cells of rooms to two “shields” – longitudinal walls presented in Figures 10 and 11. In order to release a valuable ground floor space, the main longitudinal bearing walls were based on spatially developed supports of “A” and “X” types. Thanks to the application of this type of supports it was possible

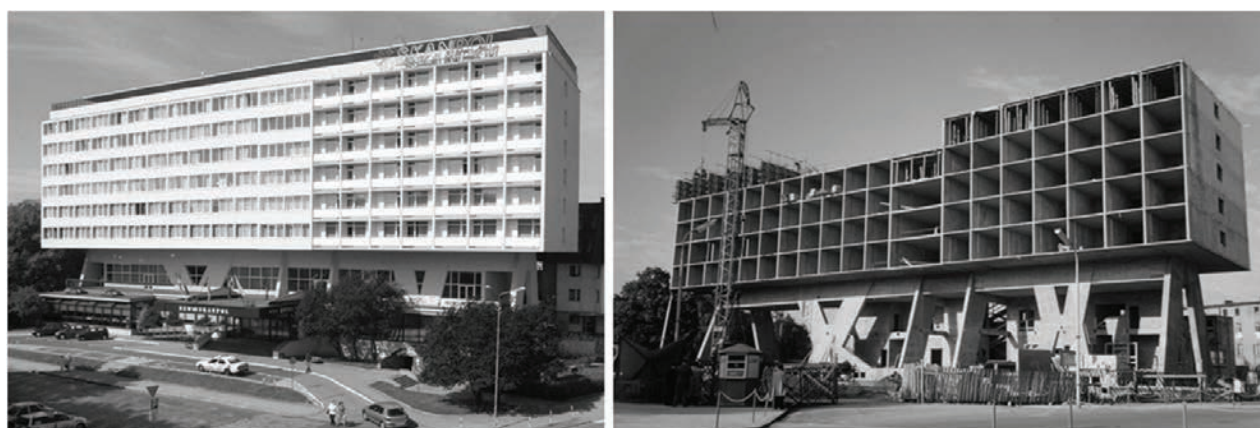
¹² Autorzy – model lewy: P. Rynowiecka, A. Haligowska, M. Bober, S. Żybort, K. Jurkanis, M. Eisler, A. Guderska; model środkowy: M. Szydłowska, J. Sielska, A. Sawicka, J. Żyłowska, J. Woś, K. Kołodziejka, N. Ladżyńska; model prawy: A. Jezierska, M. Mstowska, A. Kozieł, M. Leśniowska, E. Marciniak, J. Serwadcak.

¹⁰ Authors – left model: P. Rynowiecka, A. Haligowska, M. Bober, S. Żybort, K. Jurkanis, M. Eisler, A. Guderska; central model: M. Szydłowska, J. Sielska, A. Sawicka, J. Żyłowska, J. Woś, K. Kołodziejka, N. Ladżyńska; right model: A. Jezierska, M. Mstowska, A. Kozieł, M. Leśniowska, E. Marciniak, J. Serwadcak.



Il. 7. Wykresy krzyży naprężeń głównych oraz przekroje naprężeń normalnych wykonane za pomocą programu MES. Po lewej widoczne są krzyże naprężeń głównych oraz wykres naprężeń normalnych w przekroju A-A3 ściany wspornikowej obciążonej mimośrodowo

Fig. 7. Graphs of crosses of main stresses and sections of normal stresses made by means of FEM program. On the left we can see crosses of main stresses and a graph of normal stresses in section A-A3 of the support wall loaded eccentrically



Il. 8. Po lewej – widok elewacji hotelu z lat 90. Po prawej – aksonometryczny widok jego konstrukcji. Widoczne są komórki pokoi zawieszono do dwóch ścian podłużnych (por. il. 9 i 11) wspartych na podłużnej belce skrzynkowej wspartej z kolei na podporach o geometrii typu „A” oraz „X” [4]

Fig. 8. On the left – view of the hotel facade from the 1990s. On the right – axonometric view of its construction. Cells of rooms suspended to two longitudinal walls can be seen (cf. Fig. 9 and 11) based on a longitudinal box beam that leans on supports of “A” and “X” of geometry types [4]

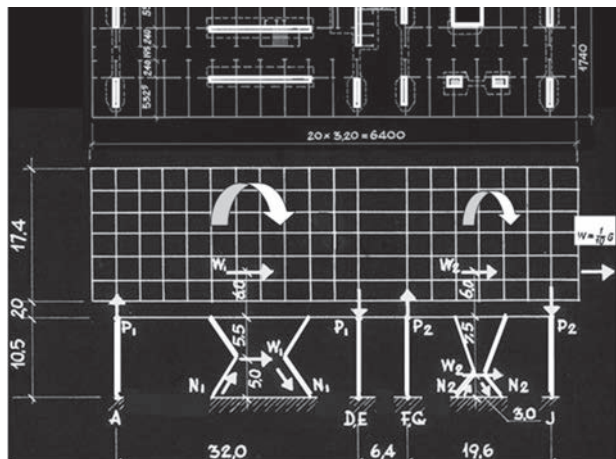
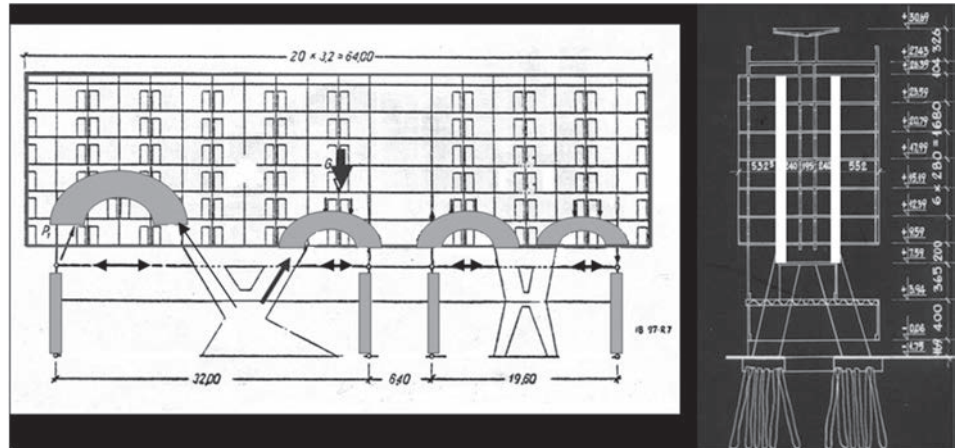
terowe powinny zostać tak ulokowane, by nie przysłaniały efektywnych podpór typu „A” i „X”.

Między ścianami podłużnymi zrealizowano ciągi komunikacyjne, a otwory drzwiowe w podłużnych ścianach głównych rozmieszczono zgodnie z zasadami przepływu strumieni sił (il. 9) w taki sposób, by mogły się one odpowiednio uformować, przekazując obciążenia ciężarem własnym oraz obciążeniami zewnętrznymi na podpory. Konfiguracja ta pozwala na likwidację „zgięciowej” pracy belek nadpróżowych, a łuki strumieni sił spięte są ściągami przebiegającymi w belce skrzynkowej wspiera-

to open functionally an attractive ground floor space. Unfortunately, in spite of these procedures, a view of the facade signals an interesting structure of the ground floor only in a slight way and it is advisable that its future architecture should allow the exposition of this interesting construction. For example, on gable walls there could appear suitable pilasters signalling a system of two longitudinal shields of the building and a rule of suspending the particular cells of rooms, whereas the ground floor glazing could have had optically smaller muntins. Apart from that, the one-storey building ought

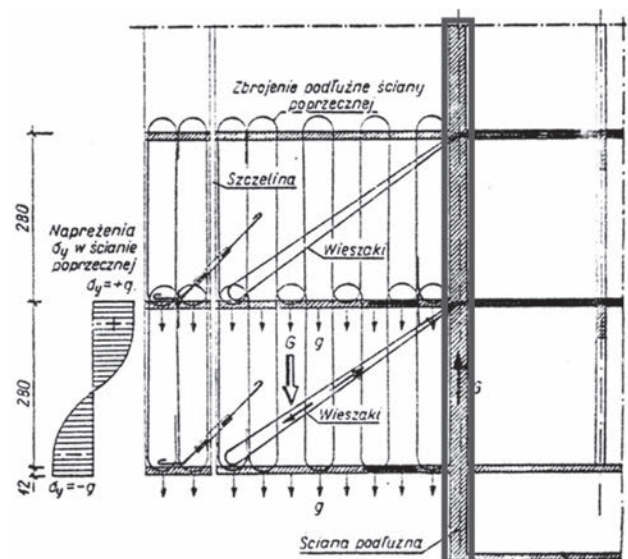
II. 9. Schemat konstrukcji hotelu. Widoczny jest przekrój podłużny oraz poprzeczny budynku. Schematy obrazują analizę pracy tarczy oraz systemu podpór pod wpływem ciężaru własnego budynku [na podst. 4]

Fig. 9. Scheme of the hotel construction. Longitudinal section and cross-section of the building can be seen. The schemes depict an analysis of work of shield and support system under the building's own weight [based on 4]



II. 10. Schemat konstrukcji hotelu. Widoczny jest rzut przyziemia oraz widok podłużny budynku. System podpór analizowany był również na działanie wstrząsu sejsmicznego, generującego siłę poziomą na wysokości środka ciężkości o wartości $0,1 G^{13}$. Siła ta rozłożona została proporcjonalnie do sztywności podpór¹⁴ na składowe siły poziome W_1 oraz W_2 , a także na momenty: większy – M_1 oraz mniejszy – M_2 , generujące siły prostopadłe P_1 oraz P_2 w wahaczach (A, D-E, F-G, J) na ramionach 32 m oraz 19,6 m [na podst. 4]

Fig. 10. Scheme of the hotel construction. We can see a projection of the basement and a longitudinal section of the building. The support system was also analysed with regard to the seismic shock activity that generates a horizontal force at the height of the centre of gravity of $0,1 G^{11}$. This force was distributed proportionally to the stiffness of supports¹² to component horizontal forces W_1 and W_2 , as well as moments: greater – M_1 and smaller – M_2 , generating perpendicular forces P_1 and P_2 in rockers (A, D-E, F-G, J) at the arms at 32 m and 19,6 m [based on 4]



II. 11. Przekrój poprzeczny konstrukcji hotelu. Widoczne są wieszaki, za pośrednictwem których komórki żelbetowe podwieszane są do głównej ściany podłużnej. Interesujące jest również odizolowanie szczeliny części balkonowej od głównego budynku. Zapobiega ono przenikaniu ciepła wewnętrznego na zewnątrz oraz wyciębianiu płyt podłogowych i stropowych [4]

Fig. 11. Longitudinal section of the hotel construction. We can see hangers by means of which reinforced concrete cells are suspended to the main longitudinal wall. It is interesting that the balcony part is separated by fissure from the main building. This prevents penetration of internal heat outside and chilling of the floor and ceiling plates [4]¹³

jącej krawędzie dolne ścian podłużnych widocznych na ilustracji 8.

Wnioski

W artykule przedstawiono metody przybliżonego określenia „prawidłowego” przebiegu sił w materii, w obszarze i granicach wyznaczonych warunkami i potrzebami danego projektu. Cele te można realizować przy

to be located in a way that does not cover impressive supports of “A” and “X” types.

Between longitudinal walls transportation routes were situated, while doors in longitudinal main walls were placed in accordance with rules of flow of streams of forces (Fig. 9) in a way that enabled their correct for-

¹¹ G – building's own weight.

¹² Type “X” and the neighbouring pairs of rockers.

¹³ *Szczelina* – dilatation, *Wieszaki* – hangers, *Ściana podłużna* – longitudinal wall, *Napężenia normalne w ścianie poprzecznej* – normal tension in the perpendicular wall, *Zbrojenie podłużne ściany poprzecznej* – longitudinal reinforcement of the perpendicular wall.

¹³ G – ciężar własny budynku.

¹⁴ Typu „X” i sąsiadujących z nimi par wahaczy.

zastosowaniu trzech sposobów: programu wykorzystującego metodę elementów skończonych, metody strumieni sił wraz z metodą prętowo-cięgnową oraz metody budowy fizycznych modeli wirtualnych kratownic.

Będącą tematem artykułu metoda dotyczy rzadko omawianych zasad praktycznych, których znajomość wydanie może skrócić proces projektowania i przyspieszyć podejmowanie decyzji. Może ona również pomóc w całościowym zrozumieniu zagadnień rządzących kształtowaniem konstrukcji i skupić uwagę projektanta na zasadniczych zależnościach, których rozumienie może zostać przesłonięte zbyt wielką liczbą szczegółów. Metoda może także przybliżyć przyszłym projektantom techniki wykorzystywane przez prof. Zalewskiego podczas projektowania jego szczególnych obiektów, symbiotycznie łączących w sobie walory architektoniczne i konstrukcyjne.

Uzupełniając powyższe, można również zanotować, iż bardzo pozytywne doświadczenia autora wyniesione z pracy z przyszłymi architektami dowodzą łatwej aplikacji i wysokiego potencjału „twórczo-kontrolnego” metody, jako narzędzia kształtowania nowej architektury konstrukcji.

mation transferring loads with their deadweight and external loads on supports. This configuration makes it possible to get rid of “flexion” work of lintels whereas arches of streams of forces are coupled with tie-beams placed in a box beam supporting the lower edges of longitudinal walls presented in Figure 8.

Conclusions

The article presents methods of approximate determination of “correct” course of forces in matter, in the area and within the borders designated by conditions and needs of a particular design. These objectives can be pursued with the use of three methods, i.e. a program using a finite element method, a streams of forces method along with a strut and tie method and a method of building physical models of virtual trusses.

The method discussed here refers to rarely tackled practical rules whose knowledge can significantly shorten a designing process and speed up a decision making process. It can also be useful in the overall understanding of issues managing construction formation and focus designer’s attention on basic dependencies which are hard to understand if obscured by too many details. This method may also familiarise the future designers with techniques used by Professor Zalewski while designing his special structures which symbiotically combine architectural and constructional values.

Apart from the above, the author’s positive experiences of working with future architects prove easy application and a high “creative-controlling” potential of the method as an instrument shaping new architecture of construction.

Translated by
Bogusław Setkiewicz

Bibliografia/References

- [1] Allen E., Zalewski W., *Form and Forces, Designing efficient expressive structures*, John Wiley & Sons, Hoboken 2010.
- [2] Kuś S., *Szybkie metody sprawdzania sił wewnętrznych w konstrukcjach*, [w:] A. Reichhart (red.), *Kształtowanie konstrukcji, konstrukcje cięgnowe, konstrukcje z blach faldowych. Nowe osiągnięcia nauki i techniki w budownictwie, materiały konferencyjne*, Oficyna Wydawnicza PR, Rzeszów 2005, 135.
- [3] Kuś S., *Ogólne zasady kształtowania konstrukcji*, [w:] L. Lichołai (red.), *Budownictwo ogólne. T. 3: Elementy budynków – podstawy projektowania*, Arkady, Warszawa 2008, 11–71.
- [4] Rękopisy Profesora Wacława Zalewskiego [w posiadaniu autora].

Streszczenie

Celem artykułu jest przybliżenie metody strumieni sił – fragmentu warsztatu prof. Wacława Zalewskiego, służącego do jednoczesnego tworzenia atrakcyjnych form architektonicznych wraz z ich systemem konstrukcyjnym, kształtowanym odpowiednio do zadanych warunków projektowych, zgodnym z warunkami naturalnego przepływu sił oraz zasadami minimum energii. Metoda ta może lepiej przemówić do młodego projektanta i zobudować w nim intuicyjne „czucie konstrukcji” oraz wzmocnić możliwości przeprowadzenia samodzielnej analizy wytworów własnej wyobraźni.

Słowa kluczowe: strumienie sił, przepływ sił, tarcza, kształtowanie konstrukcji, metoda prętowo-cięgnowa

Abstract

The article focuses on a method of streams of forces – a fragment of Professor Wacław Zalewski’s work aimed at simultaneous creation of attractive architectural forms along with their constructional system which is shaped in accordance with given design conditions and according to conditions of a natural flow of forces and energy minimum principles. This method can appeal to young designers and help them develop an intuitive “feeling of a construction” as well as enhance possibilities to carry out an independent analysis of products of their own imagination.

Key words: stream of forces, flow of forces, load bearing walls, shaping structures, strut and tie method

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

Redakcja pisma Wydziału Architektury Politechniki Wrocławskiej „Architectus”, chcąc usprawnić prace redakcyjne i edytorskie, prosi wszystkich Autorów o przestrzeganie zaproponowanych zasad w przygotowywaniu tekstów i materiałów ilustracyjnych. Zasady te należą do powszechnie obowiązujących.

Informacje ogólne

Redakcja przyjmuje niepublikowane wcześniej prace dotyczące teorii architektury, urbanistyki, kształtowania zieleni, estetyki itp. z następujących dziedzin:

- a) Dziedzictwo i współczesność
- b) Prezentacje
- c) Nasi mistrzowie
- d) Sprawozdania.

Czasopismo ukazuje się w dwóch wersjach językowych, dlatego Redakcja przyjmuje prace w języku polskim, angielskim lub innym języku kongresowym. Artykuł powinien liczyć od 0,5 do 1 arkusza wydawniczego w języku polskim.

Po akceptacji artykułu do druku Wydawca nabywa ogół praw do druku i rozpowszechniania na wszystkich polach eksploatacji. Publikacje mają wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część publikacji nie może być reprodukowana żadnymi dostępnymi środkami, publikowana ani udostępniana bez zgody Wydawcy i właścicieli praw autorskich.

Wersją pierwotną czasopisma jest wersja on-line.

Recenzje

Autorzy, przysyłając pracę, wyrażają zgodę na proces recenzji. Procedury recenzowania są zgodne z wytycznymi MNiSW zamieszczonymi na jego stronie (www.nauka.gov.pl). Wszystkie nadesłane prace są poddawane ocenie w pierwszej kolejności przez Redakcję, a następnie przez Recenzenta. Obowiązuje zasada dwustronnej anonimowości (double-blind). Autor jest informowany o wyniku recenzji. Ostateczną decyzję w sprawie przyjęcia do druku podejmuje Redaktor Naczelny.

Zapobieganie nierzetelności naukowej

Redakcja nie przyjmuje artykułów, w których występują zjawiska „ghostwriting” i „guest authorship”, a wszelkie wykryte nieprawidłowości będą ujawniane przez Redakcję.

Odpowiedzialność cywilna

Redakcja stara się dbać o merytoryczną zawartość pisma, jednak za treść artykułu odpowiada Autor. Redakcja i Wydawca nie ponoszą odpowiedzialności za ewentualne nierzetelności wynikające z naruszenia przez Autora praw autorskich.

Autorzy otrzymują 1 egzemplarz pisma, w którym zamieszczono artykuł.

Artykuł

Do Redakcji należy dostarczyć jeden wydruk całego artykułu (wydruk komputerowy na stronie A4, z zachowaniem podwójnej interlinii i marginesem równym 3 cm

przynajmniej z jednej strony). Koniecznie trzeba do niego dołączyć osobny wydruk wszystkich rycin i tabel.

1. Na pierwszej stronie należy podać:

- tytuł pracy w języku polskim i angielskim
- tytuł skrócony, który będzie umieszczony w żywej paginie (w obu wersjach językowych)
- pełne imię i nazwisko Autora/Autorów pracy *

* w przypisie dolnym: pełną nazwę ośrodka/ośrodków, z którego pochodzą Autorzy (w oficjalnym brzmieniu).

2. **Streszczenie** – do artykułu należy dołączyć streszczenie w dwóch wersjach językowych (polskiej i angielskiej). Streszczenie nie może liczyć więcej niż 300 słów.

3. **Słowa kluczowe** w języku polskim i angielskim (3–5 słów).

4. **Przypisy** – zaleca się stosowanie przypisów rzeczowych (komentujących i uzupełniających fragmenty tekstu), a nie będących li tylko powołaniami na bibliografię.

5. **Skróty, symbole, terminy obcojęzyczne** – należy używać tylko standardowych skrótów czy symboli, przy czym należy pamiętać o podaniu pełnej nazwy przy pierwszym pojawieniu się terminu w tekście.

6. Bibliografia

Bibliografia powinna być uporządkowana według kolejności cytowań. Nie może zawierać więcej niż 30 pozycji. Do każdej z tych pozycji powinien znaleźć się stosowny odnośnik w tekście (numer pozycji w nawiasie kwadratowym). Bibliografię należy umieścić na końcu tekstu. Obowiązuje następujący zapis adresów bibliograficznych:

• książki:

nazwisko i inicjał imienia autora, tytuł pracy, tom, nazwę wydawcy, miejsce i rok wydania, np.:

[1] Huntington S.P., *Zderzenie cywilizacji i nowy kształt ładu światowego*, MUZA, Warszawa 2008.

• artykuły z czasopisma:

nazwisko i inicjał imienia autora, tytuł pracy, nazwę czasopisma w cudzysłowie, rok, tom, strony, np.:

[1] Norberg-Schulz Ch., *Heideggera myśli o architekturze*, „Architektura” 1985, Nr 1(243), 18–21.

• prace zbiorowe:

nazwisko i inicjał imienia autora, tytuł pracy, [w:] inicjał imienia i nazwisko redaktora, tytuł pracy, tom, nazwę wydawcy, miejsce i rok wydania, strony np.:

[1] Butters Ch., *Housing and timber construction in Norway: status, trends and perspectives for sustainability*, [w:] K. Kuismanen (red.), *Eco-House North*, Pohjois-Pohjanmaan Litto/Econo projekti, Oulu 2007, 138–147.

7. Ilustracje i tabele

W pracy można zamieścić do 10 ilustracji (w zależności od objętości pracy). Wszystkie ilustracje i tabele muszą być ponumerowane (zgodnie z kolejnością ich omawiania/pojawiania się w tekście) i opatrzone podpisami (w dwóch wersjach językowych – polskiej i angielskiej). W tekście należy umieścić powołania na wszystkie ilustracje i tabele (w odpowiedniej kolejności, w nawiasach okrągłych).

8. Załączniki:

- adres Autora odpowiedzialnego za korespondencję, zawierający tytuł naukowy, imię i nazwisko, adres

ośrodka, numer telefonu, adres e-mail (do wiadomości Redakcji)

- podpisane odręcznie oświadczenie, że praca powstała zgodnie z zasadami etyki obowiązującymi w nauce (wzór dostępny na stronie www czasopisma)
- pisemną akceptację artykułu przez promotora (doktoranci).

9. Wersja elektroniczna

Wraz z wydrukiem należy dostarczyć wersję elektroniczną pracy na nośnikach CD, DVD lub mailowo. Tekst w wersji ostatecznej (dokładnie tej samej co na wydruku) powinien być wpisany z rozszerzeniem rtf lub doc (docx). Ilustracje mogą być zapisane w powszechnie stosowa-

nych formatach graficznych TIFF, PCX, BMP, JPG (niekompresowany). Rozdzielczość takich plików musi wynosić 300 dpi.

Prace przygotowane niezgodnie z przedstawionymi zaleceniami będą odsyłane Autorom w celu uzupełnienia.

Korekta autorska

Po opracowaniu redakcyjnym artykułu i akceptacji tekstów przeznaczonych do druku Autorzy nie dokonują zmian w tekście, można jedynie poprawić błędy, które wynikają z formatowania i nanoszenia koniecznych poprawek redakcyjnych w tekście.

Autorzy są zobowiązani do wykonania korekty autorskiej w ciągu 3 dni od jej otrzymania.