

MOTORY ROZWOJU

czyli największe osiągnięcia naukowe w budownictwie i architekturze

Powszechnie wiadomo, że siłą napędową wszelkich przemian cywilizacyjnych jest nauka. Jak wykorzystywana jest w budownictwie i architekturze? Z jakich dążeń oraz potrzeb się rodzi? Co oferuje wykonawstwu budowlanemu? Jakie przełomowe rozwiązania i dokonania inżynierskie są wynikiem badań naukowych? Które z nich odegrały największą rolę w rozwoju budownictwa, a w jakich dziedzinach wciąż są przedmiotem poszukiwań i wyzwań? Oddajemy głos uznanym w swoich dziedzinach nauki, cenionym autorytetom i zapraszamy do dyskusji również przedstawicieli branży.



Największe osiągnięcia nauki w budownictwie są przed nami

dr inż. Andrzej Stańczyk

Pasjonat budownictwa, mostowiec
 Członek Rady Programowej miesięcznika „Builder”

Zapytany, co – według mnie – jest „największym osiągnięciem naukowym w budownictwie” – zachowam się jak zaskoczony student, który wyrwany do tablicy, by zyskać czas na zastanowienie – powtarza pytanie, a nie znajdując nań odpowiedzi, po chwili odwraca je: „czy w ogóle jest coś takiego jak największe osiągnięcie naukowe w budownictwie”? – prowokując pytającego do dyskusji.

Niewątpliwie współczesny stan nauki w budownictwie: dogłębne poznanie fizykalnych cech materiałów budowlanych, a nawet tworzenie nowych materiałów o żądanych cechach, komputerowe udogodnienia analizy konstrukcji i sporządzania projektów, przemysłane – nowoczesne technologie wykonywania budowli, których bez postępu nauki nie dałoby się wypracować – to wspaniałe osiągnięcia ułatwiające powstawanie dogłębnie przemyślanych i pięknych budowli. Ale czy – „największe”? Gdyby tak było, to największym osiągnięciem naukowym, warunkującym tworzenie budowli doskonałych, byłoby powstanie statycznej analizy budowli w epoce renesansu? „Składanie i równoważenie” sił przez Leonarda da Vinci (w tajemnicy przed współczesnymi), upowszechnione dopiero przez Galileusza i tak wspaniałe rozwinięte przez dzisiejszych inżynierów-informatyków?

Ale czy w czasach, gdy nie było statyki budowli, nie powstawały obiekty podobnie złożone i nie mniej piękne? Jak wspaniałe konstrukcje budowano w średniowieczu, gdy nie umiano obliczać sił w budowlach i nie sprawdzano wytrzymałości materiałów – wystarczy spojrzeć na konstrukcję katedry, z której czas usunął elementy drugorzędne i pozostawił tylko te stanowiące ustrój nośny.

Jeśli naukę „w budownictwie” definiować jako sumę doświadczeń i przemysłów twórców budowli, to czemu by nie docenić wcześniejszych osiągnięć, do których nawiązujemy współcześnie?

Czy „największym osiągnięciem naukowym w budownictwie” nie mogłoby być wynalezienie łukowego sklepienia przed ponad czterema tysiącami lat? – ustroju nośnego przenoszącego wyłącznie ściskanie – odpowiadającego warunkom istniejącym w Mezopotamii, gdzie jedynym, łatwo dostępnym materiałem budowlanym były spoiste namuty aluwialnej niecki nadrzecznej. Z utworzonych z nich cegieł suszonych na słońcu, niezbyt odpornych na rozciąganie, wymurowano sklepienia bram Babilonu, a nawet tunel pod Eufratem, intuicyjnie wykorzystując przy tym „współpracę” gruntu i wody, powodujących ściskanie obudowy tunelu.

Wywodzące się z tamtejszych doświadczeń ustroje nośne podlegające tylko ściskaniu: łuki i sklepienia trafiły do Europy wraz z powrotem armii Aleksandra Macedońskiego i zrewolucjonizowały budownictwo, przemieniając grecką architekturę „tysiąca kolumn” podporządkowanych ciężkie i nietrwale belki kamienne – w cienkie, filigranowe przekrycia rozporo-

we, kopuły i akwedukty Cesarstwa Rzymskiego, kopiowane w Europie przez stulecia. W mezopotamskich zikkuratach – wieżach o stromych ścianach, uskokowo zmniejszanych tarasami, osiągających kilkudziesięcio-, a nawet stumetrową wysokość – cegły z gliny suszonej na słońcu układano w murach na zakładkę – „z przewiązaniem” i co kilka warstw wzmacniano łodygami trzciny – jedynym dostępnym tam materiałem budowlanym przenoszącym rozciąganie. Z przewiązanych cegieł – przeciwdziałających „rozpetzaniu” murów – budowano Europę od co najmniej dwóch tysiącleci, a wzmocnienia w postaci wkładek rozciąganych – prętów zbrojeniowych – stosuje się do dziś w żelbecie.

O osiągnięciach wiedzy budowlanej sprzed czterech tysiącleci świadczy posadowienie zikkuratu Etemenaka w Babilonie, wzniesionego przy skarpie Eufratu – domniemanej biblijnej Wieży Babel. W odróżnieniu od starożytnych piramid nad Nilem, posadowionych na skale – oparto ją na słabych gruntach w pobliżu łożyska rzeki. Forma i wymiary masywnej budowli o stumetrowej wysokości powodowały wielkie oraz dość równomierne naciski pod fundamentem, malejące do zera w poziomie terenu, na obwodzie podstawy. Taka różnica nacisków w poziomie terenu wymaga odpowiednio głębokich i rozległych fundamentów, by uniknąć wypierania spod nich gruntu – i to fundamentów odsuniętych od podnóża skarpy poza „klin odłamu” niestatecznego podłoża. Z wymiarów zagłębienia pozostałego po wybraniu cegieł zikkuratu – użytych na późniejsze budowle Babilonu – łatwo udowodnić, że zostały spełnione wymogi mechaniki gruntów: dziedziny wiedzy, która powstała dopiero w świecie nowożytnym.

Przykład powiększenia fundamentów – tu częściowo wyniesionych ponad poziom terenu – widać na przykładzie innej budowli znad Eufratu: minaretu w Samarze z połowy IX wieku (dzisiejszy Irak).

Systemy odwadniające, stosowane dziś do pokrycia dachów i w mostownictwie, wykonywano już kilka tysiącleci przed naszą erą! „Wiszące ogrody Semiramidy” zbudowane w VI lub VII wieku p.n.e. w Babilonie, z roślinnością na tarasach wymurowanych z cegieł suszonych na słońcu, zabezpieczano ołowiem i powłoką asfaltową, wbudowując warstwę odsączającą, by – wskutek podlewania roślin wodą z Eufratu – cegły nie uległy rozmiękczeniu.

Jeszcze wcześniej, trzy tysiąclecia p.n.e., w mezopotamskich zikkuratach stosowano sączi drenujące wodę spod izolacji tarasów, co kopiujemy w mostownictwie dopiero od kilkudziesięciu lat.

Rzymianie budowali ulice o nawierzchni z kamiennych płyt układanych lekko skośnie względem osi drogi, by zmniejszyć wstrząsy dwukołowych wózków na stykach płyt – pokonywanych przez koła niejednocześnie – i przez to uniknąć pęknięcia przewożonych amfor z winem lub co gorsze – z olejem z oliwek. Dziś wykonujemy dylatacje prostopadłe do osi mostów: „z podskokiem”.

Można przypomnieć różne inne osiągnięcia nauki budowania w przeszłości. Niektóre z nich przewyższają współczesne nakazy normowe. A co uznałbym za „największe osiągnięcie nauki w budownictwie”? Chyba to, że tak wielu dobrze przygotowanych inżynierów kończy studia i nadal rozwija budownictwo. Dzięki temu „największe osiągnięcia nauki w budownictwie” są przed nami.

prof. dr hab. inż. Krzysztof Stypuła

Wydział Inżynierii Lądowej

Politechnika Krakowska

Członek Rady Recenzentów miesięcznika „Builder”

Kiedy zastanawiamy się nad największymi osiągnięciami w budownictwie, to z reguły, w myśl znanej dewizy ruchu olimpijskiego *Citius – Altius – Fortius* (łac. „szybciej, wyżej, silniej”), rozważamy obiekty największe, budowle najwyższe, mosty najdłuższe itd. A przecież u podstaw wielu takich osiągnięć leżą badania naukowe, które nie są znane szerokiej opinii publicznej z uwagi na swój „niemedialny” charakter. Jednym z takich wielkich osiągnięć współczesnego budownictwa są prace związane z wielkimi przekryciami. W latach 1949–52 powstaje w Raleigh (Karolina Północna, USA) pierwsza na świecie arena z dachem o konstrukcji cięgnowej (w formie siatki linowej), zaprojektowana przez architektów Macieja (Matthew) Nowickiego i Williama H. Deitricka. Potem pojawia się koncepcja układu *tensegrity*. Wynalazek przypisywany Richardowi B. Fullerowi i Kennethowi Snelsonowi



Jednymi z wielkich osiągnięć współczesnego budownictwa są prace związane z wielkimi przekryciami, m.in. koncepcja układu *tensegrity*





Wybitne dzieła inżynierii powstają przy wykorzystaniu dostępnych w danym okresie narzędzi, dziś komputerowych

to ustrój przestrzenny złożony z elementów wiotkich oraz sztywnych prętów, w którym następuje wzajemna stabilizacja elementów rozciąganych i ściskanych (zasada koła rowerowego). W Polsce pionierem takich konstrukcji był inż. Wacław Zalewski (1917–2016), konstruktor w BISTYP-ie, a potem profesor zwyczajny w Massachusetts Institute of Technology (1965–1988). Był konstruktorem powstałych w Polsce, jednych z pierwszych na świecie, obiektów z zadaszeniami w koncepcji *tensional integrity*: wiszącego dachu nieistniejącego już budynku „Supersamu” w Warszawie oraz hali widowiskowo-sportowej „Spodek” w Katowicach (1971). Dzięki takim osiągnięciom powstają obecnie na świecie przekrycia licznych obiektów wielkometryrowych, takich jak jeden z najpiękniejszych stadionów świata – Stadion Olimpijski w Monachium (1972).

Zdarza się też, że osiągnięcia wynikają z wyzwań związanych z realizacją znaczących inwestycji. W Polsce taką rolę stymulatora osiągnięć w budownictwie odegrała niewątpliwie budowa metra w Warszawie. Przykładowo to na budowie metra zaczęto realizować pierwsze w Polsce ściany szczelinowe, które dzisiaj są powszechnie stosowane. Metro było także poligonem naszych doświadczeń z wprowadzaniem nowoczesnych rozwiązań wibroizolacyjnych. Budowa metra w Warszawie była zatem nie tylko osiągnięciem samym w sobie, ale także miejscem wykuwania większych lub mniejszych osiągnięć naukowych. A jest okazja, by o tym wspomnieć, bo właśnie niepostrzeżenie, w cieniu epidemii wirusa, mija 25. rocznica uruchomienia pierwszego odcinka warszawskiego metra. Był to moment, w którym ziściło się wielkie marzenie prof. Jana Józefa Podoskiego (1904–1998), orędownika budowy metra w Warszawie. Zakończę słowami tego wielkiego patrioty: „...budowa metra przywróci Warszawie rolę wielkiej europejskiej metropolii, która się nam, Polsce, należy...”.

prof. dr hab. inż. Jan Biliszczyk,

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Politechnika Wrocławska

Zespół Badawczo-Projektowy MOSTY-WROCŁAW

Znaczącą rolę w rozwoju nowoczesnej inżynierii odegrała kopuła zwieńczająca bazylikę św. Piotra w Rzymie, której projekt opracował Michał Anioł (1475–1564). W roku 1590 ukończono jej budowę, którą prowadzili Giacomo della Porta (ok. 1540–1602) i Domenico Fontana (1543–1607). Konstrukcja kopuły, zaprojektowana w oparciu o doświadczenie, w czasie eksploatacji ulegała licznym zarysowaniom oraz spękanom. Papież Benedykt XIV (1675–1758) zaniepokojony stanem kopuły zlecił wykonanie dwóch ekspertyz. Postąpił niekonwencjonalnie, gdyż zlecenie skierował nie do ówczesnych budowniczych, ale do uczonych. Jedną z ekspertyz przygotowywał zespół, który stanowili trzej mniisi matematycy z Rzymu, a drugą Giovanni Poleni (1683–1761) – profesor matematyki, fizyki i astronomii z Padwy. W obydwu ekspertyzach po raz pierwszy zastosowano naukowe teorie do oceny nośności istniejącej budowli, stwierdzając, że pierwotnie zastosowane żelazne obręcze obejmujące podstawę kopuły mają niewystarczającą nośność, w związku z czym kopułę należy wzmocnić dodatkowymi żelaznymi pierścieniami. Obie ekspertyzy dotyczące oceny stanu kopuły bazyliki św. Piotra wykonane w roku 1743 były bez wątpienia pierwszym przykładem na to, na jakich podstawach będzie się rozwijać inżynieria lądowa w przyszłości. Historycy inżynierii lądowej uważają, że od tego momentu można mówić o zawodzie inżyniera, specjalisty budowlanego tworzącego swoje dzieła na podstawie teorii naukowych.

Impulsem do podjęcia badań naukowych jest zawsze potrzeba wynikająca z praktyki budowlanej, np. intensywne budowanie linii kolejowych w drugiej połowie XIX wieku spowodowała dynamiczny rozwój mechaniki budowli. To budowniczowie mostów opracowali teorię kratownic, dźwigarów łukowych czy konstrukcji wiszących. August Wöhler odkrył i opisał zagadnienie zmęczenia materiałów.

Potrzeba szybkiej odbudowy Europy po II wojnie światowej wyzwoliła wielki potencjał badawczy ukierunkowany na poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych oraz technologicznych. Nowe rozwiązania konstrukcyjne, jak np. pomosty z płyt ortotropowych czy konstrukcje zespolone, wymusiły rozwój istniejących teorii (teoria płyt ortotropowych Maksymiliana T. Hubera) czy powstanie nowych, opisujących zachowanie się pod długotrwałym obciążeniem konstrukcji zespolonych. Z kolei nowe technologie w obszarze konstruk-



Wybitne dzieła inżynierii powstają przy wykorzystaniu dostępnych w danym okresie narzędzi, dziś komputerowych

to ustrój przestrzenny złożony z elementów wiotkich oraz sztywnych prętów, w którym następuje wzajemna stabilizacja elementów rozciąganych i ściskanych (zasada koła rowerowego). W Polsce pionierem takich konstrukcji był inż. Wacław Zalewski (1917–2016), konstruktor w BISTYP-ie, a potem profesor zwyczajny w Massachusetts Institute of Technology (1965–1988). Był konstruktorem powstałych w Polsce, jednych z pierwszych na świecie, obiektów z zadaszeniami w koncepcji *tensional integrity*: wiszącego dachu nieistniejącego już budynku „Supersamu” w Warszawie oraz hali widowiskowo-sportowej „Spodek” w Katowicach (1971). Dzięki takim osiągnięciom powstają obecnie na świecie przekrycia licznych obiektów wielkometryrowych, takich jak jeden z najpiękniejszych stadionów świata – Stadion Olimpijski w Monachium (1972).

Zdarza się też, że osiągnięcia wynikają z wyzwań związanych z realizacją znaczących inwestycji. W Polsce taką rolę stymulatora osiągnięć w budownictwie odegrała niewątpliwie budowa metra w Warszawie. Przykładowo to na budowie metra zaczęto realizować pierwsze w Polsce ściany szczelinowe, które dzisiaj są powszechnie stosowane. Metro było także poligonem naszych doświadczeń z wprowadzaniem nowoczesnych rozwiązań wibroizolacyjnych. Budowa metra w Warszawie była zatem nie tylko osiągnięciem samym w sobie, ale także miejscem wykuwania większych lub mniejszych osiągnięć naukowych. A jest okazja, by o tym wspomnieć, bo właśnie niepostrzeżenie, w cieniu epidemii wirusa, mija 25. rocznica uruchomienia pierwszego odcinka warszawskiego metra. Był to moment, w którym ziściło się wielkie marzenie prof. Jana Józefa Podoskiego (1904–1998), orędownika budowy metra w Warszawie. Zakończę słowami tego wielkiego patrioty: „...budowa metra przywróci Warszawie rolę wielkiej europejskiej metropolii, która się nam, Polsce, należy...”.

prof. dr hab. inż. Jan Biliszczuk,

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Politechnika Wrocławska

Zespół Badawczo-Projektowy MOSTY-WROCŁAW

Znaczącą rolę w rozwoju nowoczesnej inżynierii odegrała kopuła zwieńczająca bazylikę św. Piotra w Rzymie, której projekt opracował Michał Anioł (1475–1564). W roku 1590 ukończono jej budowę, którą prowadzili Giacomo della Porta (ok. 1540–1602) i Domenico Fontana (1543–1607). Konstrukcja kopuły, zaprojektowana w oparciu o doświadczenie, w czasie eksploatacji ulegała licznym zarysowaniom oraz spękanom. Papież Benedykt XIV (1675–1758) zaniepokojony stanem kopuły zlecił wykonanie dwóch ekspertyz. Postąpił niekonwencjonalnie, gdyż zlecenie skierował nie do ówczesnych budowniczych, ale do uczonych. Jedną z ekspertyz przygotowywał zespół, który stanowili trzej mniisi matematycy z Rzymu, a drugą Giovanni Poleni (1683–1761) – profesor matematyki, fizyki i astronomii z Padwy. W obydwu ekspertyzach po raz pierwszy zastosowano naukowe teorie do oceny nośności istniejącej budowli, stwierdzając, że pierwotnie zastosowane żelazne obręcze obejmujące podstawę kopuły mają niewystarczającą nośność, w związku z czym kopułę należy wzmocnić dodatkowymi żelaznymi pierścieniami. Obie ekspertyzy dotyczące oceny stanu kopuły bazyliki św. Piotra wykonane w roku 1743 były bez wątpienia pierwszym przykładem na to, na jakich podstawach będzie się rozwijać inżynieria lądowa w przyszłości. Historycy inżynierii lądowej uważają, że od tego momentu można mówić o zawodzie inżyniera, specjalisty budowlanego tworzącego swoje dzieła na podstawie teorii naukowych.

Impulsem do podjęcia badań naukowych jest zawsze potrzeba wynikająca z praktyki budowlanej, np. intensywne budowanie linii kolejowych w drugiej połowie XIX wieku spowodowała dynamiczny rozwój mechaniki budowli. To budowniczowie mostów opracowali teorię kratownic, dźwigarów łukowych czy konstrukcji wiszących. August Wöhler odkrył i opisał zagadnienie zmęczenia materiałów.

Potrzeba szybkiej odbudowy Europy po II wojnie światowej wyzwoliła wielki potencjał badawczy ukierunkowany na poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych oraz technologicznych. Nowe rozwiązania konstrukcyjne, jak np. pomosty z płyt ortotropowych czy konstrukcje zespolone, wymusiły rozwój istniejących teorii (teoria płyt ortotropowych Maksymiliana T. Hubera) czy powstanie nowych, opisujących zachowanie się pod długotrwałym obciążeniem konstrukcji zespolonych. Z kolei nowe technologie w obszarze konstruk-