

INNOWACJE BUDOWLANE

Część 1.

Piotr D. Moncarz Ph.D., P.E., NAE
Adjunct Professor, Stanford University;
Senior Fellow, Exponent Inc.

Jesteśmy skazani na innowacyjne budownictwo. Które z dzisiejszych eksperymentów staną się regułą w przyszłości, a które będą pamiętane jako nieudane próby na oryginalność, trudno dziś powiedzieć. Budownictwo to podstawowa dziedzina tworzenia warunków rozwoju nowych miast i światowych metropolii, infrastruktury transportowej i przemysłowej, a te rozwijają się w zawrotnym tempie wraz z kolejnymi fazami definiowanymi przełomowymi technologiami z jednej strony i nowymi strukturami socjalnymi z drugiej. Aby za nimi nadążyć, musimy również być innowacyjni, a nawet gotowi na ryzyko wdrażania przełomowych, a zatem jeszcze nie w pełni „gwarantowanych” rozwiązań.

Znana, powszechnie przyjęta na Uniwersytecie Stanforda, czyli w kolebce i sercu Doliny Krzemowej, definicja innowacji jako „nowe rozwiązanie problemu stosowane w użytku” wciąż pozostawia wiele miejsca na interpretację. Tzw. przełomowe wynalazki, dopóki nie zostaną wdrożone w sposób jednoznacznie dowodzący swej wartości dla odbiorcy owego wdrożenia, są wątpliwą innowacją. Zapewne nie ma potrzeby tworzyć odrębnej niż ta definicji innowacji na potrzeby budownictwa. Należy jednak pamiętać o zasadniczej różnicy między rynkiem masowego produktu konsumentskiego a butikowym rynkiem budowlanym. Na arenie budowlanej trudniej zdefiniować wielkoskalowe rozwiązania jako innowacyjne poprzez częstotliwość ich zastosowania (*consumer market*). Nowe, oryginalne rozwiązanie systemu architektonicznego i nośnego systemu mostu jest modnie określane jako innowacyjne. Wręczenie tej laurki należałoby zostawić do czasu, gdy owo rozwiązanie zostanie zaadaptowane w choćby kilku następnych obiektach. W przeciwnym bowiem razie możemy mylnie nazwać innowacją oryginalne dziwadło, które jeszcze do tego zostało opłacone z pieniędzy publicznych, a więc trudno nawet określić jego efektywność ekonomiczną [18]. Na szczęście dla twórczych umysłów branży budowlanej kamień milowy w rozwoju nowych rozwiązań systemowych oparte są na wielu krokach pośrednich, wymagających rozwoju nowych materiałów, technik ich produkcji i wdrażania, nowych, niekiedy rewolucyjnych technologii konstrukcji i związanych z nimi sprzętu budowlanego oraz technologii [4]. Nowe wyzwania stawiane nowoczesnemu budownictwu są w znacznej mierze związane z wymaganym dziś przez rozwinięte społeczeństwa zrównoważonym rozwojem, w którym właśnie budownictwo, największy konsument materiałów i energii, może mieć zasadniczy wpływ na poprawę bilansu w strukturze środowisko – człowiek.

Paradygmat rozwoju budownictwa w aspekcie naukowym i inżynierskim

Niewiele jest dojrzałych dziedzin ludzkiej działalności inżyniersko-twórczej, w których codzienne doświadczenie przeradzało się w definicję problemu do rozwiązania, ta zaś w wyzwania naukowo-badawcze tworzące nowe rozwiązania, które z kolei, nakładając się na siebie, tworzą nowe systemy i otwierają nowe paradygmaty od infrastruktury mediów oraz transportu poprzez tunele do niebotycznych drapaczy chmur. Jeszcze niedawno beton o wytrzymałości 30 MPa uważany był za osiągnięcie połączenia wiedzy chemików i technologów produkcji cementu z technologią produkcji betonu [25]. Obecnie betony o znacznie wyższej wytrzymałości są nieodłączną częścią rozwiązań projektowych zapierających dech konstrukcji [7, 8]. Jakże niedawno szalunki i wspierające je systemy były poważnym wyzwaniem w budowlach betonowych, gdy dziś potężny i technologicznie bardzo zaawansowany przemysł zaspokaja tę potrzebę, dostarczając rozwiązań prawie-z-półki, opartych na nowoczesnych materiałach i rozwiązaniach konstruktorskich. Dzisiejsze budownictwo to ogromny multidyscyplinarny zespół naukowców, inżynierów, konstruktorów, producentów sprzętu i maszyn budowlanych oraz... coraz mniejszy zespół „majstrów” biorących udział w i nadzorujących implementację projektu wraz z objętymi przezeń technologiami i metodami konstrukcji.

Źródła inspiracji innowacji budowlanej

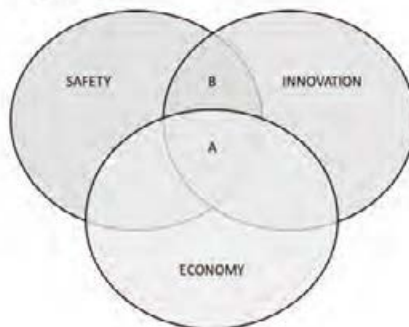
Podobnie jak w każdej innej dziedzinie nowoczesnej współzależności, między wartością produktu a kosztem badań i rozwoju, produkcji i wprowadzenia na rynek, również w budownictwie, a może tym bardziej w budownictwie, poprzez skalę indywidualnego „produktu” wciąż szuka się metod bardziej efektywnego rozwiązania zadania postawio-

nego przez inwestora. To niewątpliwie bardzo zmonetyzowane spojrzenie na proces „inspiracji” [17]. Nie ma w tej monetyzacji jednak nic wstydliviego, bo tylko dzięki ciągłym ulepszeniom, skokowo wzmacnianym innowacyjnymi rozwiązaniami, można dostarczać społeczeństwu lepsze, tj. bardziej niezawodne, trwalsze, bardziej funkcjonalne, estetyczniejsze, bliższe przyjętym ideom ochrony środowiska rozwiązania, które są w swej cenie proporcjonalne do ich użytkowej wartości. Poza tą podstawową inspiracją dążenia do zwiększonego zysku przy zachowaniu niezawodności systemu i konkurencyjnej ceny, istotne inspiracje płyną z innych dziedzin nauki, technologii i przeobrażeń rynku. Drukarki 3D pozwalające tworzyć najbardziej wymyślne kształty bez skomplikowanych urządzeń do obróbki materiału stoją w centrum innowacyjności na różnych polach produkcji urządzeń mechanicznych, elementów ceramicznych, złożonych kompozytów materiałowych. Lecz oto owe doświadczenia zaczynają prowokować eksperymenty w różnych dziedzinach budownictwa: drukowane podzespoły domów i mostów, wymyślne formy do betonu. A żeby stało się zadość dążeniom do inżynierii zrównoważonego rozwoju, formy drukowane są z materiałów, które można rozpuścić (np. wosk) i użyć ponownie.

Ocena wartości innowacji budowlanej i ryzyko związane z jej wprowadzaniem

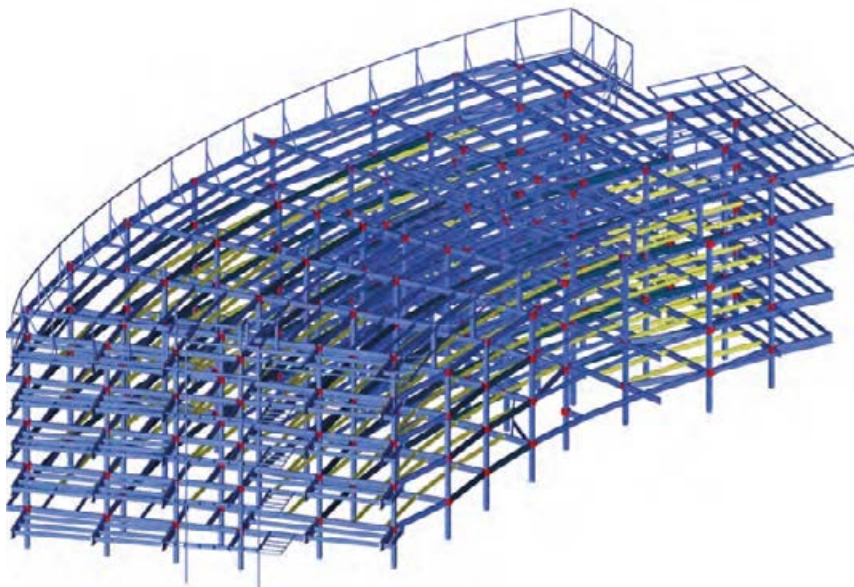
Sektor budowlany postrzegany jest jako bardzo zachowawczy. Nie zagłębiając się w ogrom rozwoju wiedzy i technologii budowlanej, można by się z tym zgodzić. Bo rozmiar rynku innowacji budowlanej jest tak ogromny, że tempo, w jakim ten rynek się zmienia, wydaje się wciąż odstawać od tempa rynku produktu konsumenckiego. Ale czy tak jest rzeczywiście? Czyż nie zaprzeczają takiemu obrazowi dźwigi wznoszące się samoczynnie na dziesiątki pięter, pompy dostarczające beton na szczyty wieżowców, stosowane na co dzień stale budowlane o charakterystykach niedostępnych jeszcze kilka dekad wstecz, nowe materiały konstrukcyjne, izolacyjne, ognioodporne, architektoniczne i dziś już jakże powszechne w krajobrazie nowoczesnych miast „szklane domy” Żeromskiego? Kontrola ryzyka przy wdrażaniu tych nowych rozwiązań i materiałów nie może być zepchnięta na drugi plan [1, 9, 12, 13, 24, 27]. Życie produktu budowlanego zazwyczaj mierzy się w dziesiątkach lat i ta skala jest hamulcem zapobiegającym nadmiernej prędkości akceptacji nowych rozwiązań przez systemy norm i przepisów budowlanych, które nie zostały poddane głębokiej, często długotrwałej analizie i dogłębnym badaniom. Wymóg bezpieczeństwa użytkownika obiektu budowlanego jest postawiony przez społeczeństwo na poziomie dotych-

Role of the Builder



Przykłady innowacji budowlanych

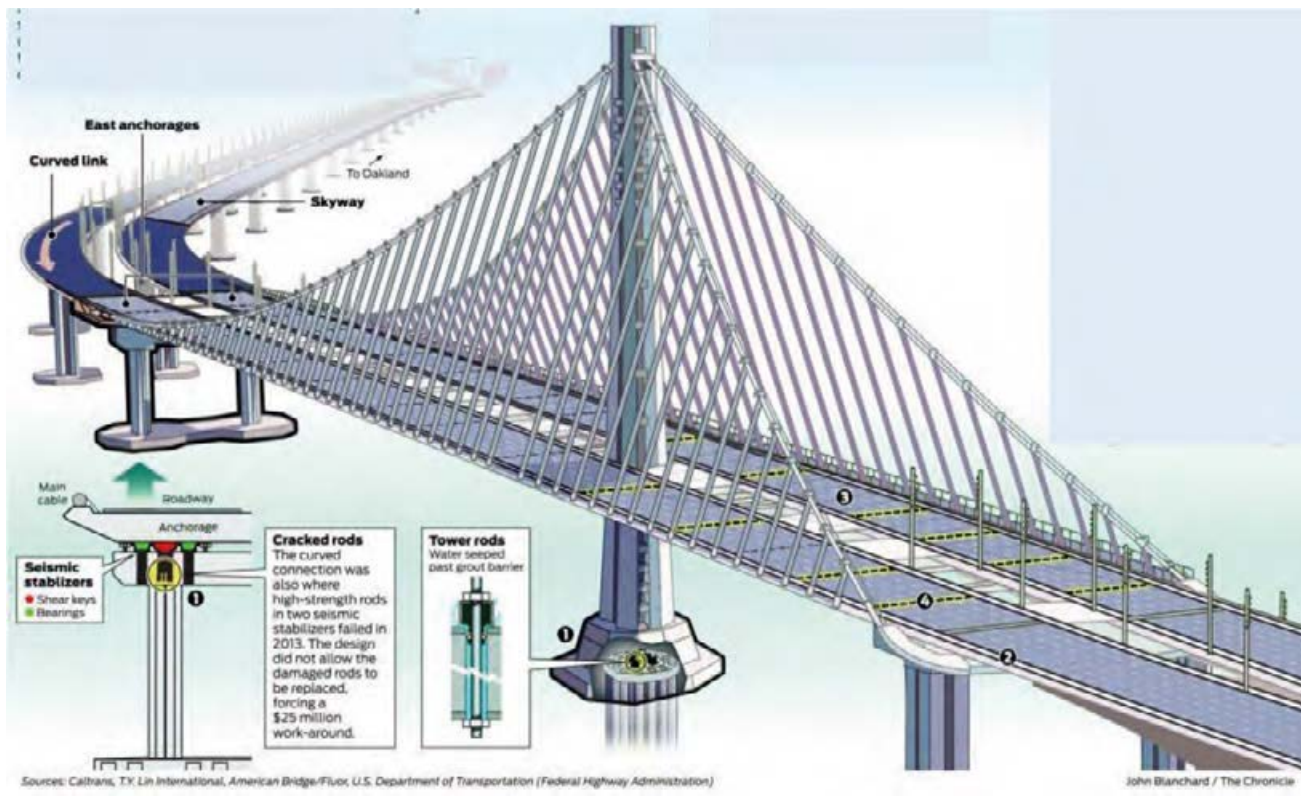
Betony samozagęszczające, cementy produkowane z wielokrotnym obniżeniem produkcji CO₂, betony przewodzące światło, pochłaniające CO₂, szalunki usuwalne bez usuwania podparcia młodej konstrukcji, systemy monitoringu obciążenia mostów i ich reakcji, budynki produkowane w systemie prefabrykacji osiągającej tolerancje produktu przemysłowego.



czas nieosiągalnym przez żadną inną branżę produktu i usług konsumenckich [24]. Wprowadzenie nowych rozwiązań materiałowych czy architektonicznych, które w momencie lokalnej awarii czy początku pożaru powodują kaskadowe przejście do katastrofy pochłaniającej życia ludzkie, są rzadkim, lecz mocno dyscyplinującym sektor budownictwa systemem ostrzegawczym przed nowalijkowymi eksperymentami [5]. Być może wynika to ze specyficznej roli mieszkalnego produktu budowlanego: symbolizuje on ciepło i bezpieczeństwo domowe.

Czy symultaniczne modelowanie konstrukcji i kompozytów do jej wykonania (sprężenie zwrotne) jest możliwe?

Jeszcze niedawno podstawowym wyzwaniem stojącym przed konstruktorem była definicja przepływu sił w planowanym obiekcie. Geometryczne uproszczenia, że wspomnę metodę Cremony opartą na idealizacji systemu czy późniejsze, bardziej zbliżone do rzeczywistego zachowania konstrukcji obliczenia metodą Hardy-Cross, a dalej systemy



plytowe obliczane metodą elementów skończonych, aż po dzisiejsze zaawansowane techniki obliczeń obejmujące nie tylko przepływ sił, lecz stochastykę ich powstawania, wytrzymałości materiałów i elementów im się przeciwstawiających [22, 23, 24]. Do tego dochodzą zadania związane z energochłonnością procesu budowy, a potem procesu eksploatacji, z komfortem i estetyką. Wkraczamy w erę, którą nieśmiało zapoczątkowały wcześniejsze rozwiązania systemu BIM, w które coraz bardziej integrowane są wszystkie funkcje i charakterystyki materiałowe oraz konstrukcyjne procesu projektowania, budowy i użytkowania rozważanego obiektu [10, 11]. Nie ma potrzeby opierać się możliwościom, jakie daje nam zaawansowana wiedza materiałowa, konstrukcyjna, technologiczna, zintegrowana przez wręcz nieograniczony potencjał narzędzi informatycznych. Przykładem coraz dalej sięgającej roli narzędzi informatycznych w innowacyjnym budow-

nictwie jest coraz szerzej adaptowany system Building Information Modeling – BIM [6, 14, 15]. Ten nowoczesny integrator wiedzy technicznej, zarządzania projektem i wielowymiarowego, cyfrowego modelowania procesu projektowania i konstrukcji otwiera coraz to szerszy potencjał przeobrażenia cyklu powstawania obiektu w jeden płynny system zarządzania wszystkimi fazami projektowania i budowy.

Nadrzędność wymagań zrównoważonego rozwoju i jego skutki dla rozwoju budownictwa

Już dziś trudno dociec, czy to tylko odosobniony przypadek, czy też wielki efekt nadgorliwości zwolenników zrównoważonego rozwoju leżą u podłoża opowiadania rodem z zamożnych Niemiec lat 80., gdzie bez dostatecznych badań jako dodatku do betonu użyto makulatury przetworzonej na kruzywopodobny granulowany materiał. Efekt był znakomity: obniżona przewodność cieplna, poprawa izolacji akustycznej, zutilizowana makulatura. Pozornie pełen sukces, gdyby nie mikroorganizmy zainteresowane wartością odżywczą rzekomych mocno zabezpieczonych przez zaprawę cementową smakołyków celulozowych. Tradycyjnie nieorganiczne ściany betonowe budynków mieszkalnych zamieniały się w producenta szkodliwych dla zdrowia gazów i mikroorganizmów. To ważne doświadczenie przyhamowało na jakiś czas tempo wdrażania innowacyjnych,

prozrównoważonych rozwiązań, integrując w ten proces również badania ekologiczne związane ze stabilnością nowego produktu czy rozwiązania [18]. Poszukiwania coraz to nowszych, bardziej przychylnych środowisku w pełnym znaczeniu całego cyklu życia danego obiektu i używanych przezeń materiałów jest już dziś nieodłączną częścią działania inżyniersko-twórczego i choć rola ta nie może obniżyć odpowiedzialności za bezpieczeństwo obiektu, jest ona nowym, nierozłącznym elementem zawodu architekta i inżyniera budowlanego [3, 10, 11].

Poszukiwanie doskonałości w nauce i inżynierii budowlanej

Uniwersytety techniczne kształcące naukowców i praktyków inżynierii budowlanej coraz mniej przypominają swymi programami szkoły techniki konstruktorskiej, technologii materiałów budowlanych i laboratoriów badawczych. Symulacje komputerowe, zintegrowane systemy wiedzy naukowej i wymogów normalizacyjnych, pozwalają na „stanie się inżynierem” bez fizycznego kontaktu z materiałami i ich integracją w produkt budowlany. To wielka oszczędność czasu studenta czy młodego naukowca, która pozwala mu zrozumieć system obiektu poprzez informatyczne narzędzia symulacyjne. Ich coraz sprawniejsze użytkowanie przez młodego adepta branży budowlanej powoduje, że absolwenci wielu nawet znakomitych uczelni bardziej przypominają swą wiedzą informaty-

Polska myśl techniczna otwarta na świat, mocno już dziś powiązana z ekonomią rynku jakości i wartości dodanej, daje Polsce szansę na poczesne miejsce w światowym rankingu innowacyjnego budownictwa.

ków niż inżynierów według definicji jeszcze sprzed kilku dekad. Czy jednak w erze wkraczania w trójwymiarowe „drukowanie” pełnoskalowych elementów możemy kształcić inżyniera, który będzie całkowicie zdany na wiedzę i chęć kooperacji ze strony twórców narzędzi informatyczno-produkcyjnych? Zapewne nie, choć odpowiedź na to pytanie nie jest całkiem oczywista. Następną dziedziną nieodzowną w warsztacie inżyniera budowlanego jest coraz szersza wiedza materiałowa. Jeszcze do niedawna włókna węglowe były rewolucją wniesioną do kompozytów przemysłu lotniczego, a dziś już stosujemy w budownictwie inteligentne materiały zmieniające swe charakterystyki zgodnie z potrzebami, np. szkło o przepuszczalności światła sterowanej elektronicznie, aktywne systemy ocieplania, chłodzenia, ocieniania i nasłoneczniania obiektów, zaawansowany monitoring i kontrola obciążenia obiektu oraz jego reakcji. Stąd też, być może później niż w wielu innych dziedzinach nowoczesnych nauk inżyniersko-technologicznych, inżynieria budowlana przechodzi przez okres multidyscyplinacji, gdzie już nie tylko architekci, inżynierowie budowlani i technolodzy wykonawstwa współpracują ze sobą, lecz gdzie dołączają do nich elektrycy, eksperci od robotyki, ekologii i psychologii. Nasze uczelnie przechodzą od systemu samowystarczalnych wydziałów do systemu koordynacji programu studenta czerpiącego wiedzę z całej uczelni. To znacznie trudniejsza rola dla profesora prowadzącego przez meandry wiedzy młodych przyszłych praktyków czy naukowców, lecz jest to rola, której nikt w znanym dziś systemie za pedagogów uniwersyteckich i liderów naukowych nie odegra. To przejście od autorytetu nauczającego *ex cathedra* do mentora i partnera w odkrywaniu nowych horyzontów [28]. ■

Artykuł powstał na bazie referatu wygłoszonego podczas 63. Konferencji Naukowej KLIW PAN oraz KN PZITB „KRYNICA 2017”. Autor kieruje szczególne podziękowania do prof. Lecha Czarneckiego.

Bibliografia

- [1] Burton Henry V., Deierlein Gregory, Lallemand David and Lin Ting (2016), "Framework for Incorporating Probabilistic Building Performance in the Assessment of Community Seismic Resilience". JSE, 142(8), ASCE p.C4015007.
- [2] Chorowski Maciej, „Świata-nie-dogonimy, zaproponujmy-wlasne-innowacje” wywiad do „Pulsu Biznesu”, 05.10.2016.
- [3] Czarnecki Lech, Kaproń Marek: "Sustainable construction as a research area"; International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources, 99-106, 2010.
- [4] Czarnecki Lech; Van Gemert D., "Scientific basis and rules of thumb in civil engineering: conflict or harmony?" Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, 4/64, 665-673.
- [5] Czarnecki Lech, Sokolowska J.J., "Material model and revealing the truth", Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, 1/63, 7-14.
- [6] Fruchter Renate, Schrottenboer Tim, Luth Gregory P., "From Building Information Model to Building Knowledge Model", Proceedings, International Workshop on Computing in Civil Engineering, 2009.
- [7] Kaszyńska Maria, "Effect of curing conditions on mechanical properties of high-performance concrete and self-consolidating concrete" – RILEM Proceedings PRO 46, "Concrete Durability and Service Life Planning (ConcreteLife'06)", 2006.
- [8] Kaszyńska Maria, "Effect of aggregate mix composition on light-weight self consolidating concrete", 6-th International RILEM Symposium on SCC and 4th North American Conference on the Design and Use of SCC, SCC2010 Montreal, 26-29 sept. 2010.
- [9] Krawinkler Helmut, Deierlein Gregory G. (2014), "Challenges Towards Achieving Earthquake Resilience Through Performance-Based Earthquake Engineering", Chapter 1 of Performance-Based Seismic Engineering: Vision for an Earthquake Resilient Society, M. Fischinger, Ed., Springer, ISBN 978-94-017-8874-8.
- [10] Lepech Michael D., Geiker M., Michel A. and Stang H. (2016), "Probabilistic Design and Management of Sustainable Concrete Infrastructure Using Multi-Physics Service Life Models", First International Conference on Grand Challenges in Construction Materials. Eds. Bauchy, M., Sant, G.N., and DeShazo, J.R. March 17-18, 2016. Los Angeles, California, USA.

- [11] Lepech Michael D., Geiker M., Stang H., "Probabilistic design and management of environmentally sustainable repair and rehabilitation of reinforced concrete structures", Cement and Concrete Composites 47:19-31, 2014.
- [12] Liel Abbie B., Deierlein Gregory G., "Using Collapse Risk Assessments to Inform Seismic Safety Policy for Older Concrete Buildings," Earthquake Spectra, 28(4), 1495-1521, 2012.
- [13] Liel Abbie B., Deierlein Gregory G., "Cost-Benefit Evaluation of Seismic Mitigation Alternatives for Older Reinforced Concrete Frame Buildings", Earthquake Spectra, 29(4), 1391-1411, 2013.
- [14] Luth Gregory P., "VDC and the Engineering Continuum", Journal of Construction Engineering and Management, Volume 137, Issue 10, 906-915. October 2011.
- [15] Luth Gregory P., "Dramatic Cost and Schedule Control & Reduction, Using HD BIM, Complete Design, Case Studies", BIM Conference 2017.
- [16] Moncarz Piotr D., Bishop Cliff D., "The San Francisco-Oakland Bay Bridge: Innovation or blunder?", Proceedings, Awaria Budowlane, 27th Engineering Conference on Construction Failures, Szczecin – Międzyzdroje, Poland, May 20–23, 2015.
- [17] Moncarz Piotr D., Krstulovic-Opara Neven, "Tougher concrete structures for LNG facilities. Project Facilities and Construction, Society of Petroleum Engineers; 1(2), June 2006.
- [18] Moncarz Piotr, Emami Neysan, Wren Jon, "Micro-biological attack on deep foundation concrete"; Proceedings, 9th Internat. Conference on Piling and Deep Foundations, Nice, France, June 2002.
- [19] Moncarz Piotr, McDonald Brian, Caligiuri Robert, "Earthquake failures of welded building connections"; Proceedings, 6th Pan-American Congress of Applied Mechanics and 8th International Conference on Dynamic Problems in Mechanics, Applied Mechanics in the Americas, Vol. 7, Rio de Janeiro, Brazil, January 4–8, 1999.
- [20] Moncarz Piotr, McDonald Brian, Caligiuri Robert, "Earthquake failures of welded building connections", International Journal of Solids and Structures, Elsevier Science Ltd.; 38:2025–2032, January 2000.
- [21] Moncarz Piotr, Lahner Brant, Hooley Roy, Osteraas John, "Analysis of stability of L'Ambiance Plaza lift-slab towers", American Society of Civil Engineers Journal of the Performance of Constructed Facilities, Vol. 6, No. 4; 232–245, November 1992.
- [22] Noakowski Piotr, Lahne Jense, Rost Marcus, "Innovative Strengthening of an Old Concrete Chimney", CICIND Report, 84th CICIND Conference, Gdansk, September 2015.
- [23] Noakowski Piotr, Harling Andreas, "The crack width prediction, Background, Method, Reliability, Application", CICIND Report, Spring Meeting 2017, Singapore.
- [24] Nowak Andrzej S.; Latsko Olga, "Revised load and resistance factors for AASHTO LRFD Bridge Design Specifications", PCI Journal, May-June 2017.
- [25] Radlinski Mateusz, Harris Nathan and Moncarz Piotr, "Sustainable concrete: impacts of existing and emerging materials and technologies on the construction industry", Proceedings, 2011 Architectural Engineering National Conference, Oakland, CA, March 30–April 2, 2011.
- [26] Staub-French S., Khanzode A., "3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned", ITCON, 12, 381–407, 2007.
- [27] Swensen Scott, Bishop Cliff, Moncarz Piotr D., "Risk-Based Analysis for Life-Safety Decisions", Proceedings, Awaria Budowlane, 28th Engineering Conference on Construction Failures, Szczecin – Międzyzdroje, Poland, May 22-26, 2017.
- [28] Tatum C.B., "Core Elements of Construction Engineering Knowledge for Project and Career Success", Journal of Construction Engineering and Management. 137(10), 745-750, 2011.

