

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 oraz wyzwań? Oddajemy głos uznanym w swoich dziedzinach, cenionym autorytetom i przedstawicielom branży.



mgr inż. Henryk Kwapisz

Przewodniczący Zarządu MIWO – Stowarzyszenia Producentów Wełny Mineralnej Szklanej i Skalnej

W ostatnich latach nastąpił przełom technologiczny w obszarze wyrobów budowlanych, bo muszą one sprostać trzem niezwykle ważnym wymaganiom nowoczesnego społeczeństwa. Powinny sprzyjać efektywności energetycznej, być przyjazne środowisku i zdrowe.

Industy 4.0 nie jest pojęciem teoretycznym, a przemysł wyrobów budowlanych poddaje się konsekwentnie coraz głębszej cyfryzacji.

Odpowiedź na pytanie dotyczące największego osiągnięcia w budownictwie w zakresie wyrobów budowlanych w ostatnich dziesięcioleciach może okazać się niezwykle karkołomna. Wydaje się, że beton to niezmiennie beton, a wełna mineralna to wełna mineralna. Otóż nic bardziej mylnego! Szczególnie w ostatnich latach nastąpił przełom technologiczny w obszarze wyrobów budowlanych, bo muszą one sprostać trzem niezwykle ważnym wymaganiom nowoczesnego społeczeństwa. Powinny sprzyjać efektywności energetycznej, być przyjazne środowisku i zdrowe.

Jeszcze 40 lat temu mało kto zwracał uwagę na te kwestie, wszak energia była tania, a środowisko i zdrowie były tematami mało istotnymi. W obecnych czasach, gdy zaczynają królować domy zero- czy wręcz plusenergetyczne trudno sobie wyobrazić budynek, który nie byłby doskonale zaizolowany, a izolacja musi wkomponowywać się w coraz lepszą architekturę, zatem gama wyrobów w tym zakresie jest coraz szersza, a ich właściwości niezwykle różnorodne. Zwracamy też obecnie ogromną uwagę na ograniczanie ilości odpadów, a jest to możliwe dzięki stosowaniu trwalszych produktów. Recykling nie jest już tylko modą, a koniecznością, więc chętnie sięgamy po wyroby, w których znacząca część surowca pochodzi z odpadów. I takie też muszą być wyroby do izolacji cieplnej – trwałe i w dużej mierze z surowca z recyklingu. Laikowi może się wydawać, że to żaden problem podczas produkcji zastąpić nieodnawialny surowiec odpadem. Zapewniam, że procesy technologiczne w przypadku niektórych wyrobów budowlanych, a już na pewno w przypadku wełny mineralnej, są na tak wysokim poziomie, że każda zmiana „wsadu do pieca” ma ogromny wpływ na ostateczny rezultat. Dlatego też Industy 4.0 nie jest pojęciem teoretycznym, a przemysł wyrobów budowlanych poddaje się konsekwentnie coraz głębszej cyfryzacji.

No i ostatni element – zdrowie. Jemy zdrowo, uprawiamy sporty, chcemy też mieszkać i pracować w zdrowych budynkach, w których spędzamy przeważającą część naszego życia. Zatem muszą one być zbudowane z wyrobów, które mają niski ślad węglowy, nie emitują szkodliwych związków, ale też, o czym często zapominamy, powinny nam zapewniać komfort akustyczny i bezpieczeństwo pożarowe. I na koniec – wyroby budowlane muszą się wkomponować w projektowanie BIM, bo to ogromna szansa, aby w szybki sposób dostarczyć komplet informacji – nie tylko jak zaprojektować izolację, ale także jak ją zamówić, zainstalować i ewentualnie wymienić.

dr hab. inż. Jadwiga Fangrat, prof. ITB

Sekretarz Rady Naukowej ITB,
Zakład Badań Ogniwych, Instytut Techniki Budowlanej,
Członek Rady Programowej miesięcznika „Builder”

Służebna rola nauki wobec gospodarki to imperatyw, chociaż nieczęsto się o tym mówi czy pisze. Szczególnie w odniesieniu do nauk inżynieryjno-technicznych taka rola jest nieuchronna. Inżynieria lądowa i transport, dawniej budownictwo, wypełniają tę misję od lat w stopniu najwyższym. Wyzwania, jakim należy sprostać, nigdy nie były, nie są i nie będą blahe. Użyteczność nauki wobec inżynierii staje się niekiedy pułapką dla rozwoju naukowego badaczy, zwłaszcza młodych, uprawiających działalność naukową w tym zakresie. Aplikacyjność wpisana niejako w genotyp tej dyscypliny naukowej staje się nierzadko obciążeniem w dialogu ze światem nauki, a sformułowanie problemu naukowego w oparciu o rzeczywisty problem inżynierski jest dużym wyzwaniem, któremu nie wszyscy badacze potrafią sprostać. Doświadczamy tego również w Instytucie Techniki Budowlanej w Warszawie, gdzie u podstaw naszej działalności leży bliskość z codziennymi praktycznymi problemami budownictwa. Jak sprostać wyzwaniom naukowym i inżynierskim jednocześnie to umiejętność, którą należy zdobyć, a cenne wskazówki w tym zakresie podał prof. Wojciech Radomski w swoim wystąpieniu zatytułowanym *Nauka w inżynierii lądowej a rola Instytutu Techniki Budowlanej*, wygłoszonym z okazji jubileuszu siedemdziesięciolecia ITB w 2015 roku. Wielkim wsparciem jest tu również wydana przez ITB w 2017 r. w związku z organizacją 63. Konferencji Krynickiej praca zbiorowa pod redakcją prof. Lecha Czarneckiego pt. *Innowacyjne wyzwania techniki budowlanej* zawierająca cenne inspiracje badawcze. Współczesne wyzwania środowiskowe i związane z bezpieczeństwem publicznym bardzo poszerzyły wachlarz zagadnień ważnych dla dyscypliny naukowej inżynieria lądowa i transport, ramowo nakreślony przez wymagania podstawowe, jakie powinny spełniać obiekty budowlane (obecnie wymienione w Rozporządzeniu UE nr 305/2011 a dawniej w Dyrektywie 89/106/EWG): (1) nośność i stateczność konstrukcji; (2) bezpieczeństwo pożarowe; (3) higiena, zdrowie i środowisko; (4) bezpieczeństwo użytkowania i dostępności obiektów; (5) ochrona przed hałasem; (6) oszczędności energii i izolacyjność cieplna; (7) zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych. Trudno dociec, czy tu szukają problemów badawczych pracownicy naukowcy wydziałów budownictwa polskich uczelni.

Drugą cechą charakterystyczną budownictwa jest jego regionalność, a nawet lokalność. Nie jest to okoliczność sprzyjająca w dobie parametryzacji i oczekiwanego umiędzynarodowienia polskiej nauki, których od kilku lat doświadczamy i którym to wyzwaniom staramy się sprostać. Nie wszystkie problemy naukowe konieczne do rozwiązania w kraju będą interesujące i ważne dla naukowców, w tym recenzentów publikacji naukowych w USA, Chinach, Japonii, a nawet w innych częściach Europy. Tym samym publikacje takie nie zostaną wysoko ocenione, minimalizując szanse na ukazanie się czy późniejsze cytowania.

Można zaryzykować stwierdzenie, że sprostanie wymogom parametryzacji i konieczność konkurowania ze środowiskiem międzynarodowym przy kilkukrotnie mniejszych nakładach krajowych na naukę to obecnie największe wyzwanie polskiej nauki, również w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport.

Co do największych osiągnięć w budownictwie, to trafnie zostały one odczytane przez wszystkich uczestników debaty, chociaż w czasie terroru koronawirusa, który zmienił i przewartościował naszą optykę, można uznać, że największym osiągnięciem budownictwa jest zapewnienie podstawowej potrzeby oraz możliwości realizacji najbardziej od marca br. aktualnego i popularnego hasła #zostańwdomu.



Sformułowanie problemu naukowego w oparciu o rzeczywisty problem inżynierski jest dużym wyzwaniem, któremu nie wszyscy badacze potrafią sprostać.

Sprostanie wymogom parametryzacji i konieczność konkurowania ze środowiskiem międzynarodowym przy kilkukrotnie mniejszych nakładach krajowych na naukę to obecnie największe wyzwanie polskiej nauki, również w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport.





Odnotowujemy nieprawdopodobny postęp w dziedzinie inżynierii materiałów budowlanych. Zarówno z uwagi na nowe technologie, właściwości materiałów, wpisywanie się w strategię zrównoważonego rozwoju oraz recykling i zmianę skali z makro na nano poprzez zastosowanie nanokompozytów.

Teraz jesteśmy na etapie pokonywania i rozwiązywania trudności wynikających z technologii druku 3D.



Budownictwo na przełomie 100 lat zmieniło się zdecydowanie, ale to, co jest kluczowe, to wszelkiego rodzaju rozwinięta prefabrykacja.

prof. dr hab. inż. Maria Kaszyńska

Dziekan Wydziału Budownictwa i Architektury,
 Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
 Członek Rady Programowej miesięcznika „Builder”

W toczącej się na łamach „Buildera” dyskusji dotyczącej osiągnięć naukowych w budownictwie oraz architekturze wymieniano wiele innowacyjnych rozwiązań wpływających na tak wielki rozwój budownictwa i architektury ostatnich lat. I trudno tu wskazać pojedyncze przykłady, bo jedne innowacyjne rozwiązania przenikają się z innymi oraz wpływają na ich rozwój. Na pewno są to: komputery, zaawansowane metody obliczeniowe, automatyzacja i robotyzacja, nowe technologie (BIM, 4.0 i 5.0), ale ja zwróciłabym uwagę na swoją dyscyplinę, czyli inżynierię materiałów budowlanych. Musimy odnotować nieprawdopodobny postęp w tej dziedzinie, zarówno z uwagi na nowe technologie, nowe właściwości materiałów, wpisywanie się w strategię zrównoważonego rozwoju, zagospodarowanie odpadów, recykling, zmianę skali z makro na nano poprzez zastosowanie nanokompozytów. To wszystko zrewolucjonizowało dzisiejszą technologię materiałów budowlanych. Kiedyś wystarczały nam betony o wytrzymałości 20–30 MPa, dziś jesteśmy już na poziomie 200–300 MPa. To, co kiedyś było niemożliwe, dziś jest zupełnie realne, właśnie dzięki nauce, dzięki intensywnie prowadzonym na całym świecie badaniom naukowym, dzięki poszukiwaniu nowych materiałów o znacznie lepszych parametrach i nowych technologii realizacji konstrukcji. Jak nigdy wcześniej hasło „czas to pieniądz” znajduje odzwierciedlenie w budownictwie. „Stare” technologie betonów natryskowych, prefabrykowanych, monolitycznych, na skutek nowych rozwiązań materiałowych, nowoczesnych systemów deskowań i zautomatyzowanych procesów wytwarzania wracają do łask. A także rozwijają się nowe technologie, jak choćby technologia druku 3D betonem. Dwa lata temu odbyła się pierwsza światowa konferencja Digital Concrete w Zurychu, podczas której nieliczne światowe ośrodki przedstawiały swoje badania w tej dziedzinie, a po dwóch latach technologia ta zapanowała na całym świecie. Praktycznie w każdym kraju rozpoczęto próby, obecnie prowadzi się badania lub się do nich przygotowuje. I znowu następuje połączenie automatyzacji oraz robotyzacji procesów z najważniejszymi osiągnięciami inżynierii materiałowej. Analizując nieprawdopodobny rozwój technologii betonu, a właściwie lepiej to nazwać kompozytów betonowych, której początkiem było dążenie do poprawy trwałości, żywotności i bezpieczeństwa obiektów budowlanych, można stwierdzić, że przy każdym nowoczesnych rozwiązaniach najpierw była euforia, że coś niemożliwego staje się realne, aby przy bliższym „rozpoznaniu” zdefiniować problemy i wątpliwości oraz przejść do badań i analiz naukowych, by te problemy rozwiązać. Tak było z betonami wysokowartościowymi, samozagęszczalnymi, samoczyszczącymi, a teraz jesteśmy na etapie pokonywania i rozwiązywania trudności wynikających z technologii druku 3D. Kwestii dotyczących pielegnacji, skurczu, zbrojenia, trwałości, przemysłowej produkcji. Wierzę, że uda się je wszystkie naukowo rozwiązać, bo to też jest przyszłość architektury i budownictwa.

dr inż. Jan Gierczak

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego,
 Politechnika Wrocławska,
 Członek Rady Programowej miesięcznika „Builder”

Trudno jest jednoznacznie odpowiedzieć na pytanie, co jest w ostatnim stuleciu największym osiągnięciem w dziedzinie budownictwa czy też architektury. Specjaliści z różnych dziedzin inżynierii lądowej swoje zapatrywania na przełomowe osiągnięcia będą przedstawiać w różnych aspektach. Miara poszczególnych osiągnięć będzie obarczona błędem wynikającym z przywiązywania innej wagi do poszczególnych przemian w zależności od preferowanej dziedziny inżynierii. Widać to przede wszystkim po różnorodności wypowiedzi specjalistów z dziedziny budownictwa i architektury. Budownictwo na przełomie 100 lat zmieniło się zdecydowanie, ale to, co jest kluczowe, to wszelkiego rodzaju rozwinięta prefabrykacja. Począwszy od domu mieszkalnego do dużych obiektów publicznych i przemysłowych. Prefabrykacja nie tylko skróciła czas inwestycji, ale także obniżyła

koszty inwestycji oraz poprawiła jakość wykonania. Firmy wykonawcze, które mogą uniezależnić część produkcji od zmian pogodowych, podnieść jakość wykonywanych elementów – wyprzedzają konkurencję. Przez to także mogą w ostatecznym rachunku obniżyć cenę za usługę, nie rezygnując ze swoich zysków. Takim dobrym przykładem obrazującym skalę postępu prefabrykacji obiektu mogą posłużyć lata 90. XX wieku. Polska wychodziła z kryzysu, z ekonomią sterowaną centralnie przeobrażała się w ekonomię rynkową. Polskie firmy bez rozwiniętej technologii, bez zaplecza finansowego, ze słabą prefabrykacją nie były w stanie sprostać konkurencji zachodnich przedsiębiorstw. Polskie firmy budowały długo i drogo, co przedsiębiorstwa zachodnie potrafiły wykorzystać i opanować polski rynek budowlany. Okazywało się, że zachodnie firmy wygrywały przetargi na wykonywanie obiektów przemysłowych, pomimo że prefabrykacja była wykonywana ponad 1000 km od miejsca budowy. Wygrywali, bo byli lepsi i zdecydowanie tańsi mimo zatrudnienia swoich inżynierów i opłacania ich parokrotnie lepiej niż polskie przedsiębiorstwa płaciły lokalnym inżynierom. Obecnie polskie firmy odrobiły zaległości i dostosowały swój produkt do potrzeb rynkowych, rozwijając właśnie prefabrykację półproduktów. Prefabrykacja elementów budowlanych wymusiła także rozwój maszyn i urządzeń synchronizowanych z programami budowlanymi. Większość prefabrykatów wytwarza się przez zczytanie dokumentacji elektronicznej rysunkowej przez maszynę z udziałem robotnika kontrolującego pracę urządzenia. Prefabrykacja rozwinęła się nie tylko w konstrukcjach żelbetonowych, ale również w konstrukcjach stalowych, geotechnicznych. Im bardziej obiekt jest sprefabrykowany, tym szybciej się go wykonuje przy równoczesnym obniżeniu kosztów. Proszę zwrócić uwagę, że rozwój oprogramowania budowlanego i wykorzystywania go w procesie budowlanym nie przyczynił się do zwiększonej jakości projektów. Dalej kluczową rolę pełni inżynier, projektant, który ma doskonałe i lepsze narzędzia. Ale czy ten inżynier sprzed 100 lat był gorszy od obecnego?

prof. dr hab. inż. Zdzisław Hejducki

Prodziekan Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego
Politechnika Wroclawska
Członek Rady Programowej miesięcznika „Builder”

Opracowana metodologia harmonogramowania z uwzględnieniem Metod Sprzężeń Czasowych pozwala na prowadzenie prac badawczych w ramach nurtu zagadnień Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych, prezentowanych w wielu publikacjach. Mogą być oraz są aktualnie uzupełnieniem procesu dydaktycznego przedmiotów organizacji i zarządzania wielu specjalności na studiach inżynierskich, magisterskich oraz kursach podyplomowych. Wyposażeni w wiedzę i umiejętności obliczeniowe, absolwenci mogą stosować ją w praktyce do rozwiązania szczególnych zagadnień praktycznych.

Istotnym elementem Metod Sprzężeń Czasowych jest ich algorytmizacja i możliwość wykorzystania programu Microsoft Excel do przeprowadzenia obliczeń optymalizacyjnych, wyznaczenia cykli realizacyjnych i parametrów czasowych robót budowlanych.

Metody sprzężeń czasowych (ang. Time Couplings Method, TCM) uwzględniają przyjętą strukturę podziału prac WBS (ang. Work Breakdown Structures) realizowanych na frontach roboczych. Harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych metodą sprzężeń czasowych (Time Couplings Method, TCM – sprzężenia czasowe to wewnętrzne powiązania czasowe pomiędzy procesami budowlanymi i frontami roboczymi, z uwzględnieniem ograniczeń zasobowych oraz technicznych) polega na planowaniu realizacji przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem ww. uwarunkowań oraz optymalizacji kolejnościowej (np.: B&B i innych algorytmów).

Aktualnie prowadzone prace badawcze dotyczą modelowania przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem narzędzi sztucznej inteligencji. W szczególności obejmują zastosowanie teorii szeregowania zadań, optymalizację zależności czasowo-kosztowych z zastosowaniem algorytmów ewolucyjnych, Tabu Search i in., harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych z rozmytymi czasami wykonania zadań, optymalne planowanie przedsięwzięć budowlanych z zależnościami typu czas/koszt/zasoby z użyciem algorytmów genetycznych i hybrydowego algorytmu ewolucyjnego. Zagadnienia tego typu, np. dla kryterium minimalizacji czasu zakończenia wszystkich obiektów, należą do klasy problemów

Obecnie polskie firmy odrobiły zaległości i dostosowały swój produkt do potrzeb rynkowych, rozwijając prefabrykację półproduktów. Ta z kolei wymusiła rozwój maszyn i urządzeń synchronizowanych z programami budowlanymi.



Jednym z istotnych kierunków rozwoju metod harmonogramowania procesów budowlanych jest zastosowanie teorii sprzężeń czasowych.

Aktualnie prowadzone prace badawcze dotyczą modelowania przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem narzędzi sztucznej inteligencji.





Rozwój komputerów i metod numerycznych umożliwił powstanie oraz eksploatację dużych i skomplikowanych obiektów budowlanych.

Projektowanie i realizacja każdego elementu najwyższego budynku świata – wymagały wykorzystania najnowszych osiągnięć nauki oraz techniki.

silnie NP-trudnych. Są to zatem zagadnienia o dużej złożoności obliczeniowej mieszczące się w aktualnym nurcie harmonogramowania, typu LSM (Linear Scheduling Methods), LOB (Line of Balance) i innych, występujących w literaturze światowej. Opracowana metodyka stanowi uzupełnienie treści przedmiotów nauczania oraz wyposaża absolwentów uczelni w praktyczną wiedzę i umiejętności dotyczące optymalnego, bezkolizyjnego planowania oraz prowadzenia robót budowlanych.

doc. dr inż. Marek Kapela

Politechnika Warszawska,
Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii,
Członek Rady Recenzentów miesięcznika „Builder”

Budownictwo jest nauką stosowaną, więc jego efektem powinno być dzieło – obiekt budowlany. Dla mnie takim wybitnym obiektem jest najwyższy budynek świata Burj Khalifa, którego wysokość wynosi 828 m. Rozwój konstrukcji budynków wysokich obserwowałem już w latach 80. XX wieku – wtedy wysokość ta wydawała się nieosiągalna. Pamięć wewnętrzna dostępnych wówczas komputerów mierzona była w kilobajtach i analiza trójwymiarowych modeli budynków wysokich była niemożliwa do przeprowadzenia. Stosowane były uproszczenia sprowadzające przestrzenną konstrukcję budynku do modeli płaskich. Zaprojektowanie tak wysokiego budynku wymagało przeprowadzenia wielowariantowych analiz statycznych i dynamicznych dla przestrzennego modelu budynku. Model taki powstaje przez dyskretyzację konstrukcji (podział na węzły i elementy). W modelu przestrzennym występuje 6 stopni swobody w każdym węźle i liczba równań do rozwiązania jest 6-krotnie większa niż liczba węzłów. Tworzy to wręcz niewyobrażalną wielkość zadania. Specjalistyczne programy redukują tę wielkość przez pomijanie nieistotnych stopni swobody i wykorzystanie powtarzalności kondygnacji.

Projektowanie oraz realizacja każdego elementu budynku wymagały wykorzystania najnowszych osiągnięć nauki i techniki. Budynek narażony jest na działanie dużych sił poziomych od wiatru. Jego konstrukcja składa się z centralnego trzonu oraz trzech „ramion”. W miarę zwiększania się wysokości budynek 26 razy zmniejsza stopniowo przekrój poprzeczny, co nadaje mu smukłość i odpowiada zasadzie konstruowania dla schematu wspornika. Dla budynku przeprowadzono ponad 40 testów w tunelu aerodynamicznym w celu zbadania wpływu wiatru na budynek i jego mieszkańców.

Posadowienie budynku na żelbetonowej płycie o grubości 3,7 m, podpartej wielkośrednicowymi palami o średnicy 1,5 m i długości 45 m poniżej spodu płyty, było poprzedzone licznymi badaniami i analizami numerycznymi. Płytę wykonano z betonu samozagęszczalnego klasy C50. Do realizacji ścian i słupów budynku użyto betonu wytrzymałości kostkowej C80 i C60. Ponieważ temperatura w Dubaju jest bardzo wysoka, istniało ryzyko pęknięć z powodu skurczu. Proces betonowania odbywał się w nocy i do mieszanki betonowej dodawano lód, aby ułatwić osiągnięcie pożądanej temperatury. Podczas budowy mieszanka betonowa była pompowana z poziomu gruntu na wysokość 601 m, czym ustanowiony został kolejny rekord.

Dla uzyskania wysokiego standardu użytkowania budynku stworzono inteligentny system wirtualnego zarządcy, który odpowiada za bezpieczeństwo oraz komfort użytkownika budynku. Ustala on priorytet pierwszeństwa dla 24 wind, optymalizując czas oczekiwania. Wszystko to wymaga stosowania wydajnych systemów komputerowych. To rozwój komputerów i metod numerycznych umożliwił powstanie oraz eksploatację dużych i skomplikowanych obiektów budowlanych, w tym najwyższych budynków na świecie.