

# 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.



Budownictwo ma przed sobą ciekawą przyszłość jako poligon nowoczesnych rozwiązań współczesnej informatyki, elektroniki i automatyki.

## Prof. dr hab. inż. Zbigniew Zembaty

Dziekan Wydziału Budownictwa i Architektury,  
Politechnika Opolska

Na pytanie dotyczące największych osiągnięć naukowych w budownictwie ciśnie mi się na usta stwierdzenie, że inżynieria lądowa (jako nauka) najlepszy okres ma już za sobą. Były to czasy, gdy projekty powstawały najpierw w głowie inżyniera i na kartkach papieru oraz przedstawiały tryumf wiedzy i umysłu nad materią (np. most Golden Gate z San Francisco, wieża Eiffla, cienkie powłoki żelbetowe Nervi'ego itp.). W tamtych przedkomputerowych czasach na politechnikach wykładali wielcy twórcy mechaniki, a wydziały mechaniki często były wspólnymi wydziałami matematyki i mechaniki. W owych czasach, a nawet do lat 70. XX wieku, tryumfy święciły wspaniałe książki Witolda Nowackiego, a polskie „Archiwum Inżynierii Lądowej” było prenumerowane w czytelniach Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley lub Politechniki w Mediolanie.

Aktualnie budownictwo jest raczej „importerem” myśli technicznej, która powstaje w innych, bardziej rozwojowych obszarach, np. elektroniki, automatyki i informatyki oraz inżynierii materiałowej (nanomateriały). Współcześnie pole spektakularnego rozwoju budownictwa widzimy w postępującej „megalopolizacji” świata. Wielu z nas pamięta porywającą wizję gigantycznego miasta z filmu „Metropolis” Fritz Lange'a. Czy wizja ta jest aktualnie bliska spełnienia? Myślę, że w 100. rocznicę powstania tego filmu (2027) będzie już kilka „kilometryrowych” budynków. Pierwszy z nich (Jeddah Tower, 1008 m) jest już w budowie.

Innym obszarem rozwojowym jest koncepcja tzw. inteligentnego budynku, gdzie integracja systemów taniego i wydajnego ogrzewania, wentylacji oraz systemów przeciwpożarowych będzie generować wiele wyzwań naukowo-technicznych. Aktualnie wzrasta zapotrzebowanie na szeroko rozumiane poczucie bezpieczeństwa człowieka, co widać np. w konstrukcji współczesnych samochodów. W inżynierii lądowej także pojawia się takie zapotrzebowanie i powoduje ono wyzwania *stricte* naukowe. Należą one do obszaru tzw. Structural Health Monitoring (SHM), czyli systemów ostrzegających przed uszkodzeniami. Systemy te są już mocno zaawansowane w awiacji i budowie maszyn, jednak do budownictwa wchodzi z trudnościami. Tak zwane zadania odwrotne mechaniki wykorzystywane w SHM generują atrakcyjne badania naukowe i wiele publikacji. Coraz niższa cena układów elektronicznych powoduje, że także w inżynierii lądowej będzie można wykorzystywać je na dużą skalę – wbudowane w elementy konstrukcji. Inteligentny most będzie wysyłał ostrzeżenia, gdy zostanie przeciążony, i wskaże położenie uszkodzenia, inteligentny budynek będzie redukować drgania wywołane silnym wiatrem i zapobiegać katastrofie, wskazując miejsce uszkodzenia.

Podsumowując: budownictwo ma przed sobą ciekawą przyszłość jako poligon nowoczesnych rozwiązań współczesnej informatyki, elektroniki i automatyki.

## arch. Agnieszka Kalinowska-Sołtys

Architekt, partner w APA Wojciechowski Architekci,  
Wiceprezes SARP do spraw środowiska i ochrony klimatu

Jednym z największych osiągnięć w architekturze i budownictwie niewątpliwie są materiały konstrukcyjne, które pozwalają na wznoszenie coraz wyższych, trwałych i bezpiecznych budynków o różnorodnych formach. Już w starożytności do łączenia kamiennych bloków używano mieszaniny piasku z zaprawą wapienną. Po dodaniu popiołu wulkanicznego powstawał swego rodzaju rzymski beton, który był wodoodporny. Wiele budowli powstałych przy użyciu rzymskiego cementu zachowało się w doskonałym stanie aż do dzisiejszych czasów, np. monolityczna kopuła Panteonu w Rzymie. Beton i stal to dziś materiały bardzo szeroko wykorzystywane do realizacji budynków, szczególnie wielokondygnacyjnych. Trzeba sobie jednak uświadomić, że konstrukcje żelbetowe związane są z dużym nakładem pracy, częstymi transportami półproduktów, a także emisją bardzo dużej ilości dwutlenku węgla. Wyprodukowanie jednej tony cementu to uwolnienie do atmosfery nawet 800–900 kg CO<sub>2</sub>. Zakładając, że każdego roku powstaje na świecie ponad 6 mld metrów kwadratowych powierzchni w nowych budynkach z użyciem ogromnych ilości cementu, dochodzimy do niepokojących danych związanych z olbrzymią emisją gazów cieplarnianych, za które odpowiedzialny jest sektor budowlany. Alternatywą dla technologii żelbetowej jest drewno – znane i wykorzystywane w budownictwie również od setek lat. Do wznoszenia domów, kościołów, obiektów gospodarczych, mostów czy budowli obronnych stosowano kiedyś drewno lite, jedynie wstępnie obrobione. Wysoka wilgotność tego materiału skutkowałą niestabilnością wymiarową w trakcie użytkowania. Budownictwo drewniane kojarzy nam się również niestety z wielkimi pożarami miast, chociażby Londynu w 1666 roku, Chicago w 1871 roku czy Tokio w 1923 roku, kiedy ogień z łatwością przenosił się z jednego budynku na drugi. Na świecie widać dziś jednak wyraźny trend powrotu do tego materiału, ale nie jest to już ta sama forma drewna, którą pamiętamy z przeszłości. Za jedno z istotnych osiągnięć konstrukcyjnych ostatnich dekad uważam opracowanie technologii płyt drewnianych warstwowych zwanej CLT (cross-laminated timber lub X-LAM). Jest to drewno klejone warstwowo z cienkich wyselekcjonowanych desek, najczęściej naprzemiennie pod kątem 90 stopni w 3–9 warstwach. Tak powstaje bardzo stabilny i lekki materiał konstrukcyjny o parametrach wytrzymałościowych porównywalnych do żelbetu. Drewno jest bowiem materiałem odnawialnym o znacznie mniejszym negatywnym oddziaływaniu na środowisko, w tym emisji CO<sub>2</sub> i innych gazów cieplarnianych, niż beton i stal. Sam przemysł emituje mniej spalin i odpadów podczas produkcji komponentów oraz ich instalacji na placu budowy. Obecnie mówi się o tym materiale jako nowym rodzaju budulca, w formie wysoko przetworzonych – struganych, suszonych i klejonych lub mechanicznie łączonych elementów o wyższej wytrzymałości oraz szerszej gamie przekrojów w porównaniu do tradycyjnego drewna litego. Warto wspomnieć o licznych zaletach związanych z funkcjonowaniem budynków wznoszonych z drewna klejonego. Stabilna i przewidywalna w zachowaniu konstrukcja charakteryzuje się dużą wytrzymałością oraz nośnością. Ognioodporność, uzyskana przy zastosowaniu technologii drewna krzyżowo lub warstwowo laminowanego, pozwala na osiągnięcie bardzo dobrych parametrów. Budownictwo drewniane to być może architektura przyszłości – nie narusza równowagi ekologicznej oraz zapewnia odpowiednią izolację termiczną i wilgotność, a więc zdrowy mikroklimat we wnętrzach. Niewielka waga budynków z drewna pozwala na ograniczenie kosztów związanych z budową fundamentów, a dobrze przemyślana konstrukcja umożliwi przeprowadzenie w prosty sposób przebudowy, modernizacji lub rozbioru obiektu. Trwają badania, które mają prowadzić do zastąpienia tworzyw sztucznych właśnie drewnem. Jako materiał ekologicznie zrównoważony, ograniczający emisję CO<sub>2</sub>, może być ono wykorzystywane nie tylko w architekturze, ale i na przykład w konstrukcjach pojazdów. W Japonii opracowywany jest projekt auta, którego konstrukcja ma zostać wykonana w całości z drewna.



Za jedno z istotnych osiągnięć konstrukcyjnych ostatnich dekad uważam opracowanie technologii płyt drewnianych warstwowych zwanej CLT (cross-laminated timber lub X-LAM).





## Agnieszka Strzezińska

Prezydent Polskiego Stowarzyszenia Budownictwa Ekologicznego PLGBC

Budowanie w obiegu zamkniętym, wykorzystywanie energii ze źródeł odnawialnych, upowszechnianie się BIM oraz biofilia – to obecnie najbardziej innowacyjne rozwiązania.

Budownictwo stoi przed ogromnymi wyzwaniami – zarówno klimatycznymi, jak i higienicznymi. I nie wszystkie rozwiązania, o których chciałam wspomnieć, są rewolucyjne w rozumieniu technologii, ale na pewno są innowacyjne. Nie widzę jednego rewolucyjnego produktu czy technologii w tym obszarze, które mogłyby kompletnie przemodelować ten rynek. W wielu obszarach ważny jest powrót do korzeni (czasem literalnie) – trochę tak jak największą rewolucją na rynku samochodów osobowych jest powrót do używania rowerów.

Budowanie w obiegu zamkniętym (*circular economy*), czyli rewolucja na poziomie paradygmatu, nie technologii – pierwsze takie budynki już powstają, jak choćby CRKL w Amsterdamie, i chociaż jest to po prostu powrót do budowania zdroworozsądkowego, dalszy rozwój tej idei będzie przynosił coraz to nowe rozwiązania. Jednym z możliwych kierunków rozwoju jest „wynajmowanie” części budynków czy np. systemu HVAC, ogrzewania itp., które potem mogą być ponownie wykorzystane. To także dalszy rozwój budownictwa modularnego/gótownego. Teraz ta technologia pozwala na szybki montaż, fabryczną jakość wykonania modułów. Kolejnym etapem będzie demontaż i przebudowywanie z wykorzystywaniem takich modułów.

Wykorzystywanie energii ze źródeł odnawialnych, w tym także w domach jednorodzinnych. Widzimy to także w Polsce: wielki sukces programu „Mój Prąd” i upowszechnienie paneli fotowoltaicznych to dopiero początek tej rewolucji. Kolejnym krokiem może stać się powszechne wykorzystywanie ogniw fotowoltaicznych z perowskitu, którą to innowacyjną technologię opracowała firma polskiej wynalazczyni Olgi Malinkiewicz, Saule Technologies. Upowszechnianie się BIM (Building Information Modelling) w budynkach wymagających zarządzania: ten nowy sposób projektowania nie tylko pozwala na unikanie błędów projektowych (jak np. konflikty różnych rodzajów instalacji), ale zaczyna wymuszać pełną transparentność w produkcji materiałów, stosowanie materiałów z odzysku, źródeł odnawialnych. Jednocześnie pozwala zarządzać dużymi budynkami w sposób najbardziej oszczędny i znów: rozsądny.

No i obszar niezwykle ważny, bo odpowiadający na wiele wyzwań klimatycznych – drzewa oraz rośliny, modnie nazywane biofilia. Gdy chodzi o retencję wody, eliminację wysp ciepła czy nawet zanieczyszczenie powietrza, wydaje się panować zgoda – to duże drzewa są rewolucją. A za nimi także dachy i fasady zielone czy po prostu łąki kwietne. Najbardziej rewolucyjny pomysł, jaki ja widziałam ostatnio, to inicjatywa magistratu w Rotterdamie zachęcająca mieszkańców do likwidowania części chodników z płyt i zamieniania ich na zieleń. Rewolucyjny, bo zmieniający sposób, w jaki myślimy o mieście i stosowanych w nim rozwiązaniach.

## Dr. sc. ETH. Dipl.-Ing. Architekt SIA Oskar Zięta

Head of Industrialdesign SOF,  
Zięta Prozessdesign

Spoglądając na ważne osiągnięcia w architekturze i budownictwie ostatniej dekady, nie sposób uciec od zagadnień kształtujących również inne dziedziny życia i przestrzeni ludzkiej kreacji. Rozwój nowych technologii wiąże się bezpośrednio z rosnącą potrzebą zrównoważonego wykorzystywania zasobów, jak i dążenia do indywidualizacji. To działa też w drugą stronę – nowe technologie związane z cyfryzacją oraz informatyzacją życia sprawiają, że zmienia się podejście do projektowania, materiału, formy.

Obecnie, dzięki wyspecjalizowanemu oprogramowaniu i precyzyjnym maszynom, jesteśmy w stanie dokładnie obliczyć, optymalizować i kontrolować procesy projektowe oraz produkcyjne przy uwzględnieniu różnorodnych parametrów. W rezultacie powstaje *digital chain*, cyfrowy łańcuch. Za jego pomocą można opisać nieprzerwany proces od momentu zaprojektowania poprzez inżynierię aż po produkcję, transport, montaż *on time*.

W przypadku Zięta Studio wytwarzanie form ze stalowych blach bazujące na informacji (rozumianej jako dane, ale także in-formowanie, czyli procesualne nadawanie określonego kształtu materiałowi) pozwala na jednoczesne kreowanie obiektów bardziej złożonych, a przy tym w znacznie mniejszych seriach – nawet w jednym egzemplarzu, czyli *one-of-a-kind*. Jest to szczególnie rozwojowe właśnie w dziedzinie architektury, gdyż stwarza możliwość przemysłowej produkcji elementów konstrukcyjnych w sposób zrównoważony i ekonomiczny, a co najważniejsze mierzalny, czyli bezpieczny.

W naszej działalności wykorzystujemy autorską metodę FIDU, którą opracowujemy od 2004 roku. Technologia ta może mieć również zastosowanie w architekturze, co udowadniamy m.in. projektami takimi jak warszawski WIR czy wrocławska NAWA. Wytrzymałość i dopasowanie do strzałki sił elementów wyprodukowanych metodą FIDU daje niesamowite możliwości optymalizacji użyteczności systemów konstrukcyjnych i dopasowywania ich do aktualnych warunków zewnętrznych. W dobie szukania coraz bardziej ekologicznych rozwiązań ma to kluczowe znaczenie.

Ponadto komputerowe modelowanie czy też projektowanie parametryczne daje nam możliwość pracy w schemacie *bottom-up*, a nie tradycyjnie *top-down*. Metoda *bottom-up* polega na oddolnym przetwarzaniu dostarczonych danych w celu stworzenia modelu, a następnie jego udoskonalania w zapętłonym procesie, w którym następuje porównanie efektów i weryfikacja danych. Wszystko, co jest tworzone w ten sposób, musi uwzględniać zasady ergonomii, ekologii i ekonomii. Co istotne, strategia *bottom-up* różni się drastycznie od tradycyjnego modelu projektowania. Zakłada ona znaczny udział cyfrowego łańcucha w kształtowaniu efektu końcowego, co paradoksalnie daje większe możliwości kreacji. Dzięki temu możemy tworzyć kształty, które do tej pory wydawały się jedynie wytworem wyobraźni futurystów – przy jednoczesnym zrównoważonym zużyciu materiału.

Słowem-wytrychem, które będzie coraz bardziej istotne w architekturze przyszłości, są dane. Dzięki „modelowaniu informacji o budowaniu” (BIM) możemy obecnie przetwarzać ich ogromne ilości, które w formie parametrycznej służą jako źródło dla technologicznych procesów CNC w „in-formowaniu” materiału. Mówiąc o formie, mam natomiast na myśli nie tylko to, co widać, ale też właściwości, jakie zyskuje materiał podczas procesu modelowania. W jego trakcie kształtujemy materiał tak, aby otrzymać pożądaną wytrzymałość konstrukcyjną i odporność na warunki środowiskowe.

Opisując to na przykładzie NAWY – wyszliśmy w niej od koncepcji konstrukcji opartej na łukach, jednak ostateczny kształt poszczególnych elementów i sposób ich łączenia powstał w wyniku testowania licznych możliwości oraz prototypowania. Rozmiar każdego elementu musiał być dopasowany do wielkości barki, którą go przewożono, a całość konstrukcji musiała być lekka, a przy tym stabilna i wytrzymała m.in. na silne wiatry wiejące na Wyspie Daliowej we Wrocławiu. Można zatem powiedzieć, że NAWA to architektoniczna rzeźba, która zawdzięcza swoją formę kreatywności wspartej znajomością materiału i zaawansowaną technologią.



Dzięki wyspecjalizowanemu oprogramowaniu i precyzyjnym maszynom jesteśmy w stanie dokładnie obliczyć, optymalizować oraz kontrolować procesy projektowe i produkcyjne przy uwzględnieniu różnorodnych parametrów.







## Tadeusz Wasąg

Prezes Zarządu

Stowarzyszenia Producentów Chemii Budowlanej

Do największych osiągnięć naukowych z różnych dziedzin budownictwa należą: wybudowanie w technologii betonu najwyższego budynku świata – Burj Khalifa, nowoczesne tarcze zmechanizowane, mosty podwieszane o rozpiętości przęsła prawie dwa kilometry oraz technologia TBM w tunelach.

Wybór największego osiągnięcia w budownictwie to trudne zadanie, ponieważ jest on związany z emocjonalnymi powiązaniem z poszczególnymi dziedzinami budownictwa. Dla mnie jednym z największych osiągnięć w technologii betonu jest wybudowanie, w tej właśnie technologii, najwyższego budynku świata – Burj Khalifa. Było to wybitne połączenie myśli inżynierskiej, technologicznej, organizacyjnej i odwagi inwestora. Dzięki zastosowaniu technologii monolitycznej oraz samonośnych systemów deskowań możliwe jest wznoszenie budynków wysokich w tempie nawet kilku dni na kondygnację. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom samoczynnego wspinania oraz zewnętrznych schodni i pomostów rozładunkowych, nastąpiło zwiększenie efektywności, ale zarazem bezpieczeństwa osób realizujących budynki wysokie. Aby powstająca konstrukcja obiektu mogła unieść system deskowań dla kolejnych kondygnacji, wymaga się od nowo wbudowanego betonu wysokiej wytrzymałości na ściskanie w bardzo krótkim czasie. Nie bez znaczenia jest również transport mieszanki betonowej na znaczne wysokości. Sprawia to problem ze względu na wysoką gęstość mieszanki i ilość energii potrzebną do wytworzenia ciśnienia umożliwiającego jej wyniesienie na znaczną wysokość. Aby to ułatwić, należy zagwarantować odpowiednie właściwości reologiczne mieszanki betonowej. Nad tak sformułowanymi zadaniami, często sprzecznymi, pracują technologowie betonu i firmy skupione w Stowarzyszeniu Producentów Chemii Budowlanej, projektując mieszanki betonowe charakteryzujące się znaczną wytrzymałością w krótkim czasie po wbudowaniu. Warto wskazać, że nowe technologie są obecne w naszym kraju. W Warszawie powstaje obecnie najwyższy budynek Unii Europejskiej – Varso. Ma mieć 310 m wysokości łącznie z iglicą.

Za moim nauczycielem akademickim prof. Anną Siennicką-Lewandowską powtórzę, że w budownictwie podziemnym nowoczesne tarcze zmechanizowane są cudem myśli techniki inżynierskiej („Builder”, maj 2020). Umożliwiają one prowadzenie prac w terenie wysoko zurbanizowanym bez potrzeby zatrzymywania ruchu na powierzchni. Przy zastosowaniu odpowiednich rozwiązań możliwe jest drążenie nawet pod istniejącymi budynkami. Możliwość jednoczesnego drążenia tunelu i układania szczelnych tubingów (prefabrykowane betonowe elementy tunelu) pozwala na wysokoefektywne prace w terenie podmokłym lub niestabilnym, jak było w przypadku II linii warszawskiego metra czy tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku. Obecnie z wykorzystaniem tarcz drążących TBM realizowany jest tunel kolejowy pod śródmieściem Łodzi. Ze względu na duży przekrój tunelu oraz zażytkową, gęstą zabudowę na powierzchni będzie to duże wyzwanie. Na sukces w pracach TBM składa się ciąg działań wielu przedsiębiorstw, poczynając od projektantów, producenta tarcz przez dostawcę prefabrykowanych tubingów po obsługę czuwającą nad pracą maszyny. Dzięki odpowiedniej współpracy wykonawców podczas robót łódzka TBM będzie poruszać się z prędkością nawet do 15 metrów dziennie.

Wielkim szacunkiem darzę również inżynierów, którzy wybudowali mosty podwieszane o rozpiętości przęsła prawie dwa kilometry. Pracując w młodości na budowie mostu, wiem, jak skala trudności rośnie wraz wysokością i rozpiętością.

Podzielam pogląd dra inż. Andrzeja Stańczyka, że „największe osiągnięcia nauki w budownictwie” są przed nami („Builder”, czerwiec 2020). Cieszy mnie bardzo fakt, że obecnie młodzi inżynierowie w Polsce mają dostęp do najnowszych technologii i mogą pracować przy tak ambitnych projektach jak drążenie łódzkiego tunelu czy budowa najwyższego budynku w Unii Europejskiej, który powstaje w Warszawie – i trochę zazdroścę im tej dostępności.