

# 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.



Druk przestrzenny stwarza nowe możliwości dochodzenia do bardziej wydajnego i środowiskowo zrównoważonego przemysłu budowlanego.

## prof. dr inż. Mirosław Skibniewski

Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Maryland, USA

Redaktor Naczelny „[Automation in Construction](#)” (międzynarodowe czasopismo naukowe)

Członek Rady Recenzentów miesięcznika „*Builder*”

Wytwarzanie przyrostowe (po angielsku: *additive manufacturing*), nazywane także drukowaniem przestrzennym (*three-dimensional/3D printing*), jest jedną z najnowszych technologii wprowadzanych także w przemyśle budowlanym. Obecnie technologia ta używana jest m.in. w produkcji makiet budynków projektowanych w pracowniach architektonicznych oraz w wykonawstwie niektórych nietypowych elementów konstrukcji budowlanych, gdzie tradycyjne technologie byłyby zbyt kosztowne i czasochłonne w praktycznych wdrożeniach na placach budów. Zastosowanie technologii druku przestrzennego ukazuje szereg potencjalnych zalet w porównaniu z tradycyjnymi metodami budowy. Główne atuty tej technologii polegają na możliwości wykorzystania złożonych geometrii elementów i całych obiektów trudnych w realizacji przy użyciu konwencjonalnych narzędzi, maszyn oraz technologii, obniżce kosztów pracy ludzkiej oraz na spodziewanej redukcji marnotrawstwa materiałów. Wiąże się to jednak z dodatkowymi wyzwaniami i ryzykiem związanym ze stosunkowo słabo rozwiniętymi łańcuchami dostaw materiałów oraz urządzeń do realizacji robót budowlanych przy użyciu technologii druku przestrzennego. Główne kwestie dotyczą technologii produkcji materiałów budowlanych do wykorzystania w technologii druku przestrzennego. Do czołowych wyzwań należą także: drukowalność danego materiału, możliwość realizacji procesu produkcyjnego na placu budowy oraz koordynacja robót z wykorzystaniem technologii druku z technologiami tradycyjnymi w ramach tego samego projektu. Dodatkowo trudne są zagadnienia odtwarzalności procesu drukowania przy różnych rozmiarach poszczególnych obiektów, wytrzymałość materiałowa elementów konstrukcji lub całego obiektu drukowanego przestrzennie na obciążenia własne, transportowe i użytkowe, dostępne rodzaje zbrojenia elementów konstrukcji, trwałość materiałów, a także brak zatwierdzonych norm projektowania i związanych z nimi przepisów BHP i kontroli jakości dotyczących realizacji robót budowlanych. Każde z powyższych zagadnień stanowi atrakcyjny temat przyszłych prac badawczo-wdrożeniowych.

Druk przestrzenny, wraz z postępami we wdrażaniu związanych z nim technologii, w sprawnym przepływie danych i informacji oraz w nowej organizacji pracy w ramach „[Budownictwa 4.0](#)” stwarza nowe możliwości dochodzenia do bardziej wydajnego i środowiskowo zrównoważonego przemysłu budowlanego. Kluczem do sukcesu druku przestrzennego w praktyce budowlanej są także dalsze sukcesy w rozwoju robotyki oraz automatyzacji w budownictwie i przyszłe sukcesy w projektowaniu oraz wytwarzaniu nowych materiałów budowlanych zdolnych sprostać wyzwaniom architektów, inżynierów i techników związanych z realizacją inwestycji na placach budów. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w numerach międzynarodowego pisma naukowego „[Automation in Construction](#)”.

## prof. dr hab. inż. Andrzej Cwirzen

Holder of a Chair Building Materials,  
Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering,  
Luleå University of Technology

Budownictwo na świecie, w parze z innymi gałęziami przemysłu, boryka się z problemem nadmiernej emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Problem jest rozwiązywany na wielu poziomach, począwszy od polityki poprzez przepisy i prawo, organizację procesów budowlanych, a kończąc na poziomie doboru odpowiednich materiałów. Właśnie osiągnięcia w dziedzinie materiałów budowlanych, w szczególności w technologii betonu, wydają się jednymi z najbardziej istotnych – także pod względem ekologii.

Beton jest niestety dalej postrzegany jako nieprzyjazny środowisku. Kojarzy się z szarym materiałem, często z rdzawymi, przebijającymi liniami od skorodowanego zbrojenia, tuszującym się i pękającym. Materiałem, którego „nikt nie lubi”, ale musi tolerować i używać, gdyż nie ma innych: lepszych, tańszych i prostszych rozwiązań...

Rzeczywistość jest jednak bardzo daleka od tej powszechnej percepcji. Nowoczesne betony przeszły w ciągu ostatnich kilku dziesięcioleci niesamowitą metamorfozę. Rozwój betonów architektonicznych umożliwia architektom prawie dowolne dobieranie kolorów, które w połączeniu z odpowiednim kruszywem i polerowaniem są w stanie imitować nawet kamienie szlachetne. Właściwości mechaniczne betonów zostały diametralnie ulepszone. Wytrzymałość wzrosła dziesięciokrotnie, co daje możliwość projektowania konstrukcji lekkich, przypominających konstrukcje stalowe. Tradycyjne zbrojenie jest często zastępowane przez różnego rodzaju włókna. Nowoczesne betony są także dużo bardziej ekologiczne. Ilość używanego cementu portlandzkiego jest sukcesywnie zmniejszana poprzez jego częściową zamianę na różnego rodzaju odpady przemysłowe i materiały pucolaniczne. Trwałość zapewnia osiągnięcie 100-letniego i dłuższego okresu użytkowania, oczywiście pod warunkiem właściwego doboru składników mieszanki, a także odpowiedniego projektowania i wykonania konstrukcji. Kolejnym przyszłościowym aspektem nowoczesnego betonu jest coraz bardziej intensywne zastosowanie nanotechnologii i nanomateriałów. Dzięki nim beton może zostać przekształcony w prawdziwie inteligentny materiał, który będzie w stanie sam się regenerować, monitorować, wytwarzać energię, a nawet ją przechowywać.

Beton jest z pewnością materiałem, który aktualnie dominuje i który będzie dominował także w przyszłości. Materiałem, który będzie coraz bardziej przyjazny środowisku i coraz bardziej inteligentny. Z czasem uzyska również dużo większą przychylność społeczeństwa, nawet tej jego części, która jest nastawiona na rozwiązania przyjazne środowisku.

## prof. dr hab. inż. Marek Iwański

Dziekan,  
Wydział Budownictwa i Architektury,  
Politechnika Świętokrzyska

W okresie ostatnich stu lat w budownictwie drogowym było wiele znaczących osiągnięć naukowych, dzięki którym możemy szybko i bezpiecznie podróżować oraz które zapewniły prawidłowy i zrównoważony rozwój wielu regionów na świecie. Wydaje się, że najbardziej znaczące jest opracowanie naukowych podstaw mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych i wbudowywanych w obniżonej temperaturze. Tradycyjne mieszanki mineralno-asfaltowe, z których wykonywane są warstwy konstrukcji nawierzchni, wytwarzane są z reguły w temperaturze od 160°C do 180°C, w zależności od zastosowanego w nich rodzaju asfaltu. Charakteryzują się dużą energochłonnością i są mało przyjazne dla środowiska, ponieważ w procesie produkcyjnym emitowana jest duża ilość gazów cieplarnianych. Powodują także uciążliwości w pracy ludzi. Wzrost wymagań w zakresie ochrony środowiska w drugiej połowie XX wieku spowodował zainteresowanie się wielu naukowców możliwością opracowania nowego rodzaju technologii w zakresie mieszanek mineralno-asfaltowych, które można wytwarzać w sposób bardziej przyjazny dla otoczenia. Pojawiła się koncepcja obniżenia temperatury ich wytwarzania i wbudowywania. Nie była ona łatwa do realizacji, ponieważ w ce-



Nowoczesny beton może być przyjazny środowisku i inteligentny.



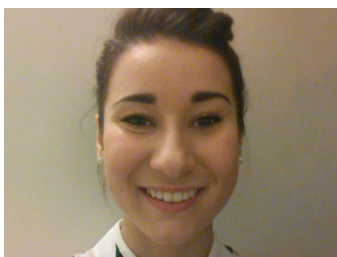
Najbardziej znaczącym osiągnięciem w budownictwie drogowym jest opracowanie naukowych podstaw mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych i wbudowywanych w obniżonej temperaturze.





### prof. dr inż. Andrzej Nowak

Department of Civil Engineering, Auburn University



### mgr inż. Sylwia Stawska

Department of Civil Engineering, Auburn University

Do rewolucyjnych zmian należą Building Information Modelling (BIM), Big Data oraz drony.

lu uzyskania trwałości nawierzchni asfaltowych nieodzowne jest, aby asfalt z konsystencji stałej został doprowadzony do konsystencji, a zabieg tego typu wymaga jego podgrzania do temperatury około 180°C oraz podgrzania i wysuszenia kruszywa, co odbywa się w jeszcze wyższej temperaturze. Opracowane zostały specjalne rodzaje materiałów nazywane dodatkami niskowiskozowymi, które umożliwiły wykonywanie mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii „na ciepło” (ang. Warm Mix Asphalt – WMA). Zastosowanie ich do asfaltu umożliwiło obniżenie temperatury produkcji w zakresie od 30°C do 50°C. W tego rodzaju mieszankach mineralno-asfaltowych wykorzystano też lepszycze spieniane za pomocą zeolitu naturalnego lub sztucznego. Przełomowym osiągnięciem było jednak opracowanie naukowych podstaw produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii „na półciepło” (ang. Half Warm Mix Asphalt – HWMA) z wykorzystaniem lepszycza spienianego za pomocą wody. Technologia ta umożliwia ich produkcję w temperaturze około 100°C, czyli o 60°C do 80°C niższej niż tradycyjnych mieszanek mineralno-asfaltowych przy zapewnieniu wymaganej ich normatywnej jakości. Obecnie wytwarzanie mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze produkcji w niektórych krajach osiągnęło ponad połowę produkcji ogółem.

Zmiany zachodzące w budownictwie mogą zrewolucjonizować jedną z najstarszych profesji na świecie. Inżynieria budowlana nabiera zupełnie innego wymiaru. Kluczowa jest niezawodność obiektów budowlanych. Konstrukcje budowlane muszą spełniać swoją funkcję, ale jednocześnie być bezpieczne oraz zapewniać komfort użytkownikom. Nowa generacja norm i prawa budowlane regulują margines bezpieczeństwa dla projektowanych obiektów. Jedną z rewolucyjnych zmian jest Building Information Modelling (BIM) – innowacja, która może być wykorzystywana w projektowaniu oraz zarządzaniu projektami. BIM usprawnia procesy budowlane, zwiększa powtarzalność, optymalizację oraz wydajność projektów budowlanych. Następną rewolucją jest Big Data, czyli wykorzystywanie gigantycznej ilości danych do wyodrębnienia istotnych informacji. Postęp technologiczny oraz zwiększenie komputerowej mocy obliczeniowej umożliwiły gromadzenie i przechowywanie dużych ilości danych pozwalających na przeprowadzanie analiz z niespotykaną dotąd dokładnością. Kolejną innowacją są drony – wykorzystywane do przeprowadzania inspekcji obiektów budowlanych czy kontroli na placu budowy. Drony przyspieszają procesy, ułatwiają kontrolę jakości, ocenę problemów oraz zmniejszają obciążenie pracą. Nowoczesne budownictwo cechuje globalizacja, która przejawia się rosnącą ekspansją usług inżynierskich na rynkach międzynarodowych, co stwarza zarówno ogromne możliwości, jak i wyzwania dla przyszłości inżynierii lądowej oraz transportu. Globalizacja zawodu inżyniera doprowadzi do lepszego dostępu do rynków światowych, konkurencji i swobodnego przepływu usług, kapitału oraz wiedzy.

Wymagania i wyzwania wobec inżynierów budownictwa zmieniają się tak, aby dostosować się do aktualnych potrzeb oraz możliwości technologicznych. Wyzwania wobec inżynierii budowlanej dotyczą wpływu procesów budowlanych na środowisko, ustanowienia praw regulujących działalność przemysłu budowlanego i nacisku na edukację oraz zwiększenie świadomości inżynierów w celu spowolnienia procesu degradacji Ziemi. Nowoczesne budownictwo ma zapewnić ochronę i wytrzymałość istniejącej infrastruktury. Jednocześnie, na podstawie ewaluacji istniejących problemów, ma zmienić stosowane techniki oraz materiały na bardziej niezawodne i optymalne, aby zapobiegać problemom w przyszłości. Promowanie rozwoju zrównoważonych energetycznie konstrukcji, które redukują zużycie energii, w obliczu niedoboru zasobów i globalnego ocieplenia jest niezbędne.

Obecne wyzwania i trendy polegają na kształtowaniu infrastruktury w sposób, który przyniesie korzyści dzisiaj oraz spełni wymagania przyszłych pokoleń, wspierając ochronę środowiska, wytrzymałość i bezpieczeństwo obiektów budowlanych.

## dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. PW

Prodziekan ds. Ogólnych i Nauki,  
Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska  
Politechnika Warszawska

Nie będę odkrywczą, jeżeli wskażę, że za największe osiągnięcie ostatnich lat w budownictwie uważam wprowadzenie rozbudowanych metod obliczeniowych, które pozwalają na przeprowadzenie zaawansowanych analiz w budynkach i optymalizację rozwiązań. Programy analityczne i symulacyjne pomagają znaleźć najlepsze rozwiązania z ograniczeniem konieczności przeprowadzenia drogich oraz czasochłonnych badań doświadczalnych. Zaawansowane metody obliczeniowe (np.: CFD, BIM) stały się praktycznie ogólnodostępne dla konstruktorów, twórców technologii oraz projektantów.

Celem projektowania instalacji budowlanych jest stworzenie w środowisku wewnętrznym jak najlepszych warunków, które będą tworzyć bezpieczne (np. rozwój bezpieczeństwa pożarowego), zdrowe i komfortowe warunki przebywania dla wszystkich użytkowników lub też wspierać realizację procesów produkcyjnych. Jednocześnie należy zawsze myśleć o minimalizacji zużycia energii i wody na cele eksploatacji budynków. Kolejnym aspektem jest coraz szerzej rozumiany nacisk na racjonalne korzystanie z zasobów naturalnych, jak również dążenie do gospodarki cyrkularnej.

Połączenie tych wszystkich, często sprzecznych ze sobą, aspektów możliwe jest wyłącznie przy prowadzeniu zaawansowanych analiz obliczeniowych umożliwiających doprecyzowanie i weryfikację założeń projektowych, a w konsekwencji odniesienie ich do warunków środowiska wewnętrznego, zużycia energii, jak również oceny cyklu istnienia budynku.

W nauce modelowanie numeryczne umożliwia między innymi dokładną analizę warunków środowiska wewnętrznego kształtowanego przez różnego rodzaju rozwiązania techniczne. Jest znane od wielu lat, jednakże dopiero niedawno rozpoczęto wdrażanie tej praktyki również w proces projektowania budynków. Ze względu na fakt, że oszczędność energii na cele eksploatacji budynków nie może być realizowana bez zapewnienia najlepszych warunków środowiska wewnętrznego, do programów obliczeniowych zaczęto wprowadzać coraz bardziej zaawansowane modele umożliwiające symulację zachowań użytkowników, począwszy od ich ruchu aż do procesów podejmowania decyzji. Trwają również prace badawczo-rozwojowe nad możliwościami indywidualnego kształtowania środowiska wewnętrznego w celu jak najlepszego dopasowania się do wymagań użytkowników. Wszystkie te działania są wykonalne wyłącznie dzięki możliwościom oceny poszczególnych wariantów w fazie koncepcji – bez ich czasochłonnego i kosztownego wykonywania.

Modele powstające w wyniku prowadzonych badań są obecnie dostępne dla budynków biurowych czy też obiektów mieszkalnych, jednak należy mieć nadzieję, że w kolejnych latach, wraz z dalszym wzrostem mocy obliczeniowej komputerów, obniżeniem kosztów oprogramowania oraz kolekcjonowaniem doświadczeń, również w projektowaniu pozostałych obiektów o szczególnych wymaganiach (szpitale, szkoły, przedszkola itp.) będzie można z nich korzystać. Równoległe należy pamiętać, że rozwinięte programy obliczeniowe i analityczne na dzisiaj nie zastąpią człowieka, jego wiedzy oraz doświadczenia. Tylko człowiek wykształcony i świadomy jest zdolny do prawidłowego wykorzystania nowoczesnych rozwiązań. Przygotowanie ludzi do zawodu to wciąż duże wyzwanie nauki. Wysoko wykwalifikowana kadra inżynierska to nadal największe wyzwanie nauki w budownictwie.



Rozbudowane metody obliczeniowe pozwalają na przeprowadzenie zaawansowanych analiz w budynkach i optymalizację rozwiązań.





Do największych historycznych osiągnięć budownictwa należy zaliczyć wdrożenie innowacyjnych rozwiązań z zakresu technologii spoiw budowlanych przy budowie obiektów hydrotechnicznych Kanału Augustowskiego.

## dr hab. inż. Marta Kosior-Kazberuk, prof. PB

Prorektor ds. Współpracy Międzynarodowej,  
Politechnika Białostocka

To niezwykle osiągnięcie polskiej myśli inżynierskiej do dzisiaj stanowi inspirację dla technologów oraz konstruktorów. Kulisy powstania, budowa i dzieje Kanału Augustowskiego są fascynujące, pełne zaskakujących zmian oraz paradoksów, którymi sterowała nie tylko historia, ale również słabostki ludzkie. Opracowanie projektu Kanału Augustowskiego powierzono ppłk. I. Prądzyńskiemu, który nie był specjalistą od prac hydrotechnicznych, ale wobec braku takowych w Królestwie Polskim podjął się tego zadania. Jadąc w Augustowskie, uczył się „sztuki zakładania kanałów, prostowania rzek”.

Projekt realizowano w latach 1824–39. Przy budowie kanału w okresie największego nasilenia prac zatrudniano od 5 do 7 tysięcy pracowników. Kanał Augustowski był w chwili ukończenia budowy nowoczesnym, śródlądowym szlakiem wodnym, który stworzył podstawy do rozwoju gospodarczego całego regionu, stanowiąc dogodną oś komunikacyjną i umożliwiając, poprzez powstałe spiętrzenia, wykorzystanie energii spadku wody do napędu różnych urządzeń. Trudno nie mówić o rekordzie: stało się to w 6 lat od przybycia Prądzyńskiego na Augustowszczyznę. Całkowita długość kanału wynosi 101,2 km. Na jego trasie wybudowano 18 śluz, 23 upusty, 14 mostów zwodzonych i 65 mostów zwykłych. Obiekty hydrotechniczne zostały wykonane bardzo starannie, a rozmiary urządzeń nie ustępowały ówczesnym drogom wodnym na świecie.

Wznoszenie budowli hydrotechnicznych w rejonach pozbawionych dobrej jakości wapieni i pucolan lub surowców umożliwiających wyprodukowanie naturalnego wapna hydraulicznego stanowiło w początkach XIX wieku duży problem. Budowniczowie Kanału Augustowskiego pokonali te trudności, uruchamiając produkcję „wapna wodotrwałego” (cementu augustowskiego) z odpowiednio przygotowanych mieszanin wapna gaszonego i surowców ilastych. Było to na owe czasy znaczące osiągnięcie techniczne i organizacyjne, gdyż od opublikowania przez Louis-Josepha Vicata w 1818 roku pionierskich prac z tej dziedziny minęło zaledwie kilka lat i nie było przykładów produkcji tego typu spoiw w tak wielkiej skali, a słynny patent Josepha Aspdina, opisujący sposób wytwarzania cementu portlandzkiego, został zarejestrowany w 1824 roku.

Opis produkcji wapna wodotrwałego zawarty jest w pracy Feliksa Pancera wydanej w Warszawie w 1829 roku. Wapno wodotrwałe stosowano do łączenia cegieł i kamieni w konstrukcjach murowych oraz do produkcji prefabrykatów (kolejne *novum*), które wykorzystywano do budowy śluz i elementów mostów przeprowadzonych nad kanałem.

Kanał przetrwał niemal w niezmienionej formie do obecnych czasów. Spośród 14 śluz znajdujących się w granicach Polski dziewięć posiada oryginalną XIX-wieczną konstrukcję, a w większości pozostałych zostały zachowane autentyczne trzony ścian. Do dzisiaj stosowane są oryginalne i wciąż skuteczne rozwiązania służące napełnianiu oraz opróżnianiu komór. Wyrazem uznania dla polskiej myśli inżynierskiej XIX wieku było uznanie Kanału Augustowskiego za pomnik historii w 2007 r.



Zmiana świadomości projektantów, którzy przestają uważać komputer za narzędzie, jest największym przełomem w obszarze projektowania.

## dr hab. inż. arch. Aleksander Asanowicz, prof. PB

Dziekan Wydziału Architektury,  
Politechnika Białostocka

Obecny rozwój cybernetyki, elektroniki i informatyki wzbogacił nasz arsenał środków projektowania o instrument niemający analogii w całej historii rozwoju projektowania. Jednakże wbrew utartym poglądom przełomem w projektowaniu architektonicznym nie jest powstanie nowoczesnych narzędzi technicznych – systemów CAD. Nie jest też przełomem ich wykorzystywanie do kreślenia i wizualizacji rozwiązań projektowych. To nie technologia ma największe znaczenie.

Za Heideggerem możemy powiedzieć, że istota technologii w żadnym wypadku nie jest niczym technicznym. Zwykle rozpatrujemy tylko jej aspekt techniczny, a obecnie technika wykracza poza swój instrumentalny charakter. Jest nie tyle środkiem do celu, instrumentem powodującym konkretne efekty, co medium determinującym sposób odkrywania.

„Technę należy do Poiesis – jest czymś poetyckim” – stwierdza Heidegger. Jest ona nieodłącznie związana z poznaniem, które prowadzi do odkrywania. A jeśli tak, to najważniejszym jej aspektem staje się jej udział w procesach kreacji i poszukiwanie odpowiedzi na pytanie: „Jak w twórczych działaniach stosować komputer, który przyjęło się uważać za maszynę liczącą?”. Powinniśmy wykorzystać narracyjny, poetycki potencjał cyfrowych mediów. Zasadnicze staje się pytanie – kto w systemie projektowania architektonicznego jest na pozycji kreującego projekt i w którym momencie? Wydaje się, że właśnie ta dyskusja zaczyna wywierać coraz większy wpływ na proces tworzenia architektury, w którym proste, oczywiste rozumowanie nie uzasadnia już żadnej konkretnej formy.

Zmiana świadomości projektantów, którzy przestają uważać komputer za narzędzie, jest największym przełomem w obszarze projektowania. Już dwadzieścia lat temu Ben van Berkel traktował komputer jako pośrednika, maszynę abstrakcyjną, generator. Komputer to nie narzędzie, a medium. Jaka jest różnica między narzędziem a medium? Różnica polega na tym, że narzędzie robi to, co chcemy, wzmacniając w pewnym sensie nasze nawykowe możliwości. Medium natomiast sugeruje inne sposoby użycia, może nie działać tak jak chcemy, ale ukazuje nam nowe, nieoczekiwane i niezamierzone zastosowania. Ranulph Glanville, uczeń Gordona Paska, ironicznie pisze, że „komputer jest kreatywny, kiedy robi źle”. Medium wpływa na nas w takim samym stopniu, jak my wpływamy na nie. Co jest bez wątpienia jego zaletą, gdyż jak twierdził Ranulph Glanville: „Człowiek może sobie wyobrazić tylko to, co może sobie wyobrazić”.

## **mgr inż. arch. Krystyna Ilmurzyńska**

Wydział Architektury,  
Politechnika Warszawska,  
Członek Rady Recenzentów miesięcznika „Builder”

Historycznym osiągnięciem nauki w architekturze było z pewnością jej wprowadzenie na szeroką skalę do architektury przez modernizm w pierwszej połowie XX wieku. Naukowe metody przewidywania potrzeb i ich zaspokajania uitorowały drogę uprzemysłowieniu budownictwa oraz nieodwracalnie zmieniły jego oblicze. Dziedzictwo Bauhausu w tej dziedzinie jest inspiracją dla architektów również dzisiaj. Drugim przełomem „unaukowiania” architektury było moim zdaniem włączenie do niej nauk humanistycznych i społecznych na przełomie lat 60. i 70. XX wieku. Naukowe rozważania na temat oddziaływania form przestrzennych na psychikę człowieka i zachowania społeczne (m.in. E.T Hall „Ukryty wymiar”, Yi Fu Tuan „Miejsce i przestrzeń”) były odpowiedzią na dramatyczne uproszczenia i redukcjonizm naukowo-technicznego podejścia do przekształcania przestrzeni w poprzednich dekadach. Filozoficzne nawiązania do fenomenologii, pojawiające się w pracach np. Juhani’ego Pallasmy czy Petera Zumthora, zastępują duchowy wymiar naturalny dla historycznego budownictwa. Rola nauki wciąż polega na racjonalizowaniu wartości, które były obecne w architekturze historycznej, w celu świadomego włączania ich w proces budowania. Obecnie nauka dostarcza możliwości budowy coraz bardziej złożonych i elastycznych modeli, zbliżając się do rzeczywistości budynku. Symulacje np. bezwładności cieplnej, cyrkulacji powietrza czy różnych scenariuszy użytkowania budynku podbudowują nowe idee przestrzenne. Paradoksalnie zaawansowane symulacje cyfrowe pozwalają na eliminację XX-wiecznych technologii z budynków i świadome włączanie naturalnych procesów w ich funkcjonowanie, jak to robi np. pracownia Baumschlager Eberle Architekten, projektując biurowce bez instalacji wentylacji, chłodzenia oraz ogrzewania. Początkiem kolejnego przewartościowania w architekturze może stać się wspólne zaangażowanie nauki i budownictwa w badanie oddziaływania środowiska zbudowanego na klimat oraz biosferę w skalach lokalnej i globalnej. Częścią tego zaangażowania są badania nad włączeniem organizmów żywych w strukturę budynku. Naukowe badania efektywności zielonych ścian i dachów czy budowa nowych materiałów budowlanych i ścian produkujących energię w oparciu o kolonie alg (budynek BIQ w Hamburgu) otwierają nowe rozumienie środowiska zbudowanego. Być może po tym, jak postęp naukowy i techniczny doprowadziły nas do przekształcenia środowiska naturalnego w kulturowe, teraz uczynią z przyrody ożywionej niezbywalną część środowiska zbudowanego.



Zaawansowane symulacje cyfrowe pozwalają na eliminację XX-wiecznych technologii z budynków i świadome włączanie naturalnych procesów w ich funkcjonowanie.