FIZYKA BUDOWLI

TEKST: JERZY BOGDAN ZEMBROWSKI

Lekceważenie i pomijanie praw fizyki budowli leży u podstaw rażących, masowych błędów w projektach, powielanych podczas robót. Mimo możliwości dokładnej analizy stanów cieplno-wilgotnościowych oraz energetycznych, jakie dają najnowsze techniki komputerowe, nadal nie jest ona powszechnie praktykowana.

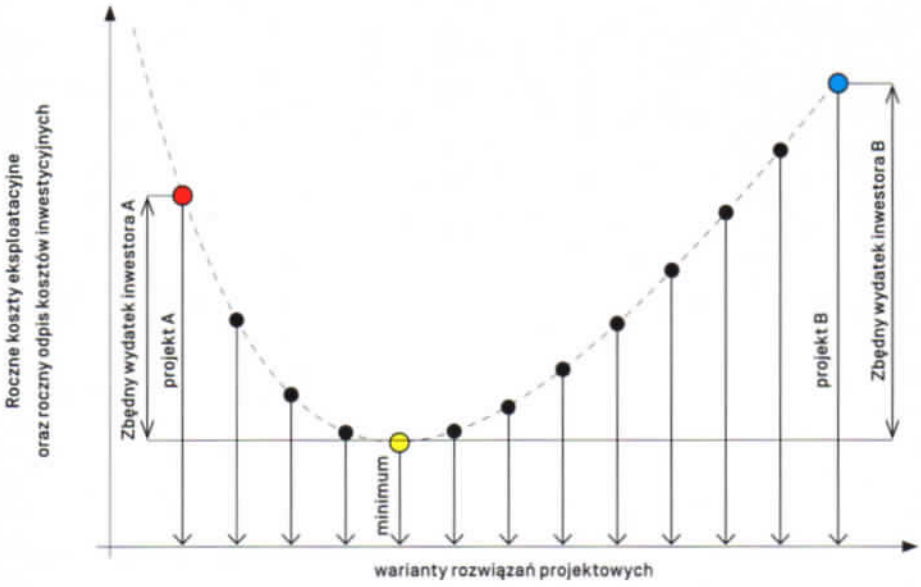
Kiedy pytam, kto rządzi projektem, odpowiedź z reguły brzmi, że w zakresie architektury jest to architekt, konstrukcji – inżynier konstruktor, w obszarze instalacji ogrzewania i wentylacji – inżynier instalacji sanitarnych, zaś instalacji elektrotechnicznych – inżynier elektrotechnik. Jeśli jednak zapytam, co kieruje tymi projektantami, odpowiedzią zwykle jest milczenie. Wynika to z powszechnego lekceważenia faktu, że światem, a więc i projektowaniem, rządzi fizyka, a w budownictwie jej specyficzna gałąź – fizyka budowli. Gdy analizuje się projekty budowlane oraz powstałe na ich podstawie budynki, odnosi się nieodparte wrażenie, że jej zjawisk nie uwzględnia się, tak jakby ich nie było.

Pomijanie praw fizyki budowli leży u podstaw masowych i rażących błędów w projektach, które powielane są potem podczas robót. Często dochodzi do roszczeń inwestorów o odszkodowania za usuwanie ich skutków, co zwykle powoduje ciągnące się latami procesy sądowe mające rozstrzygnąć, kto zawinił: projektant czy wykonawca, a jeśli jeden i drugi, to w jakim stopniu. Zabiera to niepotrzebnie czas, środki, które przeznaczane są na adwokatów i ekspertów oraz „szarpie" nerwy wszystkim uczestnikom procesu. Czy można uniknąć tych problemów i stworzyć budynek bez błędów? To pytanie retoryczne, bo można bez większego trudu – wystarczy stworzyć projekt bez błędów, a potem tylko dopilnować, by podczas budowy ściśle się go trzymano.

TRADYCYJNE A NOWOCZESNE PROJEKTOWANIE

Budynki tworzymy po to, by mieszkańcy mieli dach nad głową. Od zarania cywilizacji wiedziano, że dla dobrego samopoczucia potrzebne jest otoczenie nie za chłodne zimą i nie za ciepłe latem. Z tego właśnie wynikła potrzeba ogrzewania i chłodzenia wnętrz. Już Leonardo da Vinci interesował się zjawiskami przyrodniczymi, a szczególnie powietrzem. W 1500 roku skonstruował pierwszy na świecie higrometr. W następnych wiekach – wraz z rozwojem ludzkości – poznawano i opisywano kolejne zjawiska oraz tworzono prawa rządzące fizyką budowli: Boyle'a-Mariotte'a, Gay-Lussaca, Charles'a, Avogadra, Daltona, Fouriera, Newtona i setki innych.

Problem w stosowaniu praw fizyki budowli wynikał z tego, że opisujące je wzory matematyczne są skomplikowane i przez to trudne do stosowania w praktyce. Wprawdzie co jakiś czas wymyślano różne wykresy i nomogramy, aby ułatwić inżynierom korzystanie z tej wiedzy, ale wspólnym ograniczeniem były liczne uproszczenia konieczne do stworzenia tych pomocy. Prowadziło to do powstawania mało przydatnych, a często nawet błędnych, rozwiązań. Co z tego, że udawało się dokładnie opisywać skomplikowanymi układami równań różniczkowych cząstkowych zjawiska przepływu ciepła czy dyfuzji pary wodnej, skoro analitycznie nie można było ich rozwiązać?



Rysunek 1. Roczne koszty eksploatacyjne i odpisy kosztów inwestycyjnych w zależności od rozwiązań zastosowanych w projekcie budowlanym.

To ograniczenie w stosowaniu praw fizyki budowli podczas projektowania budynków trwało do początku XXI wieku, tj. do czasu, gdy powstały komputery z szybkimi procesorami o dużych mocach obliczeniowych. Odtąd, jak grzyby po deszczu, na całym świecie tworzy się liczne programy, kalkulatory i procedury obliczeniowe, dzięki którym przeanalizowanie zjawisk fizyki budowli, zachodzących w poszczególnych elementach budynków, nie stanowi żadnego problemu. Co ważne, w stadium projektowania można zasymulować rzeczywiście zachodzące zjawiska fizyczne. Jest to absolutna nowość. Wcześniej efekty zaprojektowania można było obserwować dopiero, gdy budynek powstał, a wnioski formułować po obserwacji kolejnych lat jego użytkowania. Było to nie tylko uciążliwe, lecz także szkodziło inwestorom, bo błędy wychodziły na jaw dopiero po okresie gwarancji czy rękojmi. Teraz projektant może wykonać dowolną liczbę symulacji różnych rozwiązań i poszukiwać tak długo, aż uzyska rozwiązanie poprawne pod względem cieplno-wilgotnościowym. Można zatem, bez trudu, uzyskać taki układ warstw w przegrodach, który pozwoli uniknąć szkodliwego zjawiska kondensacji pary wodnej z uwzględnieniem istoty budynku, jego przeznaczenia oraz lokalizacji. Do symulacji ruchu ciepła i dyfuzji pary wodnej korzystamy z rejestrowanych od wielu lat danych meteorologicznych dla dowolnej lokalizacji budynku. Obejmują one: prędkość i kierunek wiatrów, opady atmosferyczne, natężenie promieniowania słonecznego, temperaturę i wilgotność powietrza zewnętrznego, mierzone co godzinę w ciągu całego roku.

Innym aspektem nowoczesnego projektowania budynków jest możliwość wykonywania szeregu analiz optymalizujących koszty. Z wykorzystaniem procedur komputerowych projektant bez trudu może znaleźć taki zestaw materiałowy przegród, dzięki któremu koszt budowy będzie najniższy z możliwych, oraz takie wyposażenie w systemy ogrzewania, wentylacji i ciepłej wody użytkowej, poprzez które koszty inwestycyjne i rocznej eksploatacji budynku będą możliwie najniższe[1]. To właśnie projektowanie budynków w oparciu o racjonalne zużycie energii i związane z nią nakłady finansowe stanowią treść Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (EU)[2]. Wszystkie te działania są korzystne dla inwestorów oczekujących od projektu budowlanego nie tylko bezbłędności, lecz także gwarancji najniższych kosztów budowy i eksploatacji ich obiektów[3].

Od początku XXI wieku prawa fizyki budowli do tworzenia budynków poparte szerokimi symulacjami komputerowymi procesów cieplnych i wilgotnościowych[4] stosuje się na całym świecie, ale nie w Polsce. Przyczyn takiego stanu jest kilka. Niewątpliwie główny powód stanowi zbyt mały wymiar godzin fizyki budowli w programie studiów na wydziałach budowlanych i architektonicznych. Kolejnym jest brak kształcenia ustawicznego w tym zakresie i propagowania komputerowego wspomagania projektowania. Na pewno znaczenie ma również nieświadomość inwestorów co do obowiązywania Dyrektywy. Z kolei niewystarczająca wiedza o fizyce budowli wśród architektów powoduje, że w jej zakresie projekty budowlane są niedopracowane i zawierają najwięcej błędów.

1 J.B. Zembrowski, *Sekrety tworzenia murowanych domów bez błędów*, BDB, Białystok 2017.

2 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19.05.2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.

3 J.B. Zembrowski, *Rola symulacji fizycznych, energetycznych i ekonomicznych w projektowaniu współczesnych budynków energooszczędnych*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja" 12/2014.

4 International Building Performance Simulation Association, www.ibpsa.org (data dostępu: 30.05.2019).

JAKOŚĆ PROJEKTÓW BUDOWLANYCH

Dla każdego budynku – niezależnie od jego kształtu, wielkości, przeznaczenia i usytuowania – można w aspekcie energochłonności stworzyć wiele wariantów rozwiązań materiałowych oraz systemów wentylacyjnych, ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Zwykle wykonuje się ich od 20 do 40. Każdy z nich niesie za sobą pewne koszty inwestycyjne, a także roczne koszty eksploatacyjne budynku. Każdy z wariantów cechuje się nie tylko tymi dwoma rodzajami kosztów, ale także własnościami użytkowymi. Architekt wraz z projektantem branżowym powinien je przedyskutować z inwestorem. Ponieważ finansuje on projekt oraz realizację i będzie płacić także za eksploatację. Jest więc oczywiste, że projektant dysponujący wynikami analizy energetyczno-ekonomicznej dla planowanej inwestycji, może przedstawić propozycje tak, by inwestor mógł wybrać najbardziej odpowiadający mu wariant materiałowy i zasilenia budynku w energię. Przykładowy wynik takich analiz przedstawia rysunek 1. Widać na nim, że dla danej inwestycji wariant żółty zapewnia minimum kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Inwestor, dzięki tym danym, może świadomie wybrać opcję najlepiej spełniającą jego oczekiwania.

Projekt stworzony bez analiz, na tzw. wyczucie, modę lub przyzwyczajenie autora – np. na rysunku A (czerwony) lub B (niebieski) – naraża inwestora na zbędne wydatki, zarówno inwestycyjne, jak i związane z rocznymi kosztami eksploatacyjnymi. Jak dużymi? Na podstawie swoich doświadczeń mogę powiedzieć, że w przypadku krajowych domów jednorodzinnych średniej wielkości i średniego standardu wynoszą one od 30 do 160 tys. zł, zaś w przypadku budynków kubaturowych – od kilkuset tysięcy do nawet kilku milionów. Są to niebagatelne wartości.

Kiedy w 2000 roku sporządzałem pierwsze analizy tego typu, wśród inwestorów widziałem ogromne niedowierzanie co do takiej potrzeby. Jednak wyniki szokowały, bo pochłonęły zaledwie 1% kosztu budowy domu, zaś zaoszczędzone sumy inwestycyjne były od 6 do 30 razy większe. Jeszcze lepsze rezultaty osiąga się w budynkach kubaturowych. Dzisiaj niemal każdy inwestor, korzystający z mojej książki-poradnika, już wie, że bez analiz nie da się obniżyć kosztów budowy ani uzyskać najmniejszych kosztów eksploatacji.

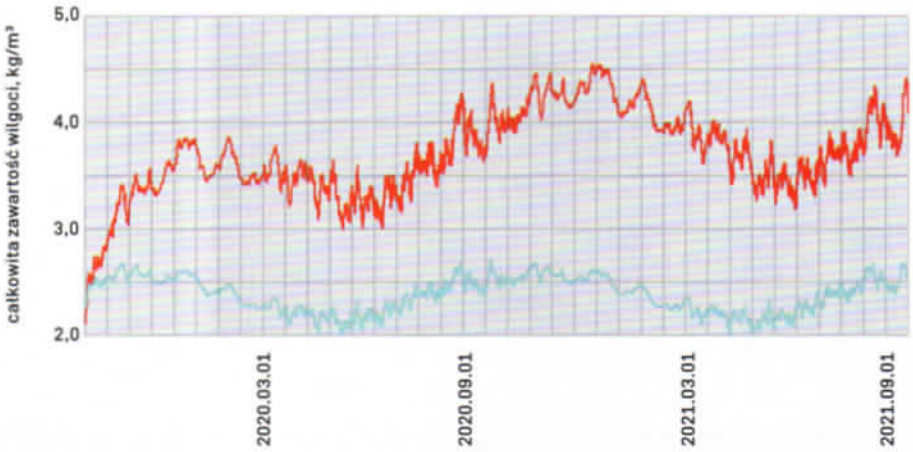
→ Na podstawie swoich doświadczeń mogę powiedzieć, że w przypadku krajowych domów jednorodzinnych średniej wielkości i średniego standardu zbędne wydatki inwestycyjne wynoszą od 30 do 160 tys. zł, zaś w przypadku budynków kubaturowych – od kilkuset tysięcy do nawet kilku milionów zł. ←

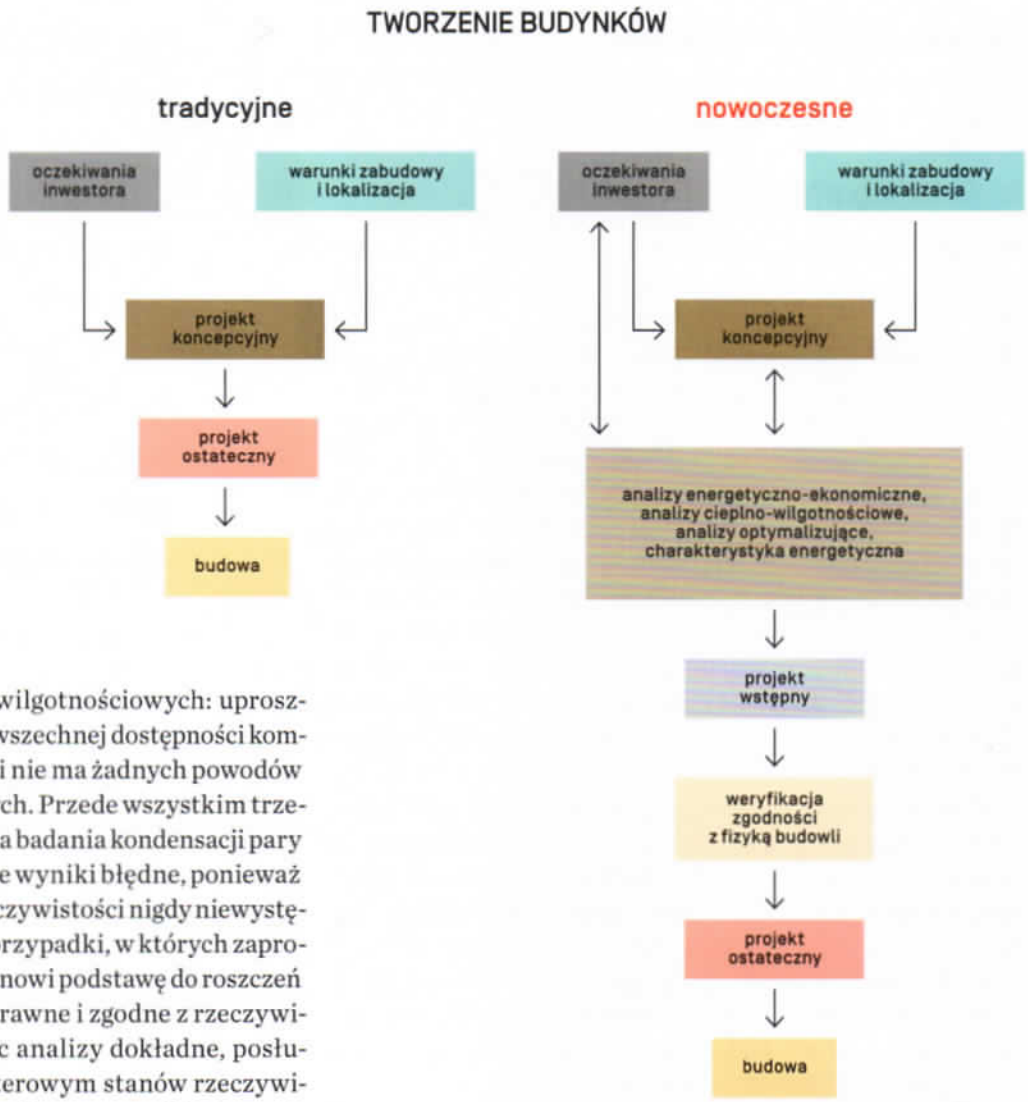
ANALIZY CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWE

Projektant powinien również zadbać, by w każdej przegrodzie tracącej ciepło (ścianie, dachu, stropodachu, podłodze na gruncie, posadowieniu czy stolarce okienno-drzwiowej) podczas eksploatacji budynku nie doszło do kondensacji pary wodnej ani na powierzchniach, ani wewnątrz przegród. Wymagają tego WT[5], które pozostawiają projektantowi wybór metody

5 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 12.04.2002 r. z późniejszymi zmianami.

Rysunek 2. Całkowita zawartość wilgoci w ocieplonej styropianem ścianie w łazience przed optymalizacją cieplno-wilgotnościową i po niej.





Rysunek 3. Tradycyjny i nowoczesny model tworzenia budynków.

przeprowadzenia analiz cieplno-wilgotnościowych: uproszczonej lub dokładnej. W obliczu powszechnej dostępności komputerów z wydajnymi procesorami nie ma żadnych powodów do stosowania metod uproszczonych. Przede wszystkim trzeba wiedzieć, że uproszczona metoda badania kondensacji pary wodnej Glasera niestety często daje wyniki błędne, ponieważ dotyczy stanu stacjonarnego w rzeczywistości nigdy niewystępującego. W efekcie mamy częste przypadki, w których zaprojektowana tą metodą przegroda stanowi podstawę do roszczeń z powodu błędów w projekcie. Poprawne i zgodne z rzeczywistością wyniki osiąga się, stosując analizy dokładne, posługujące się modelowaniem komputerowym stanów rzeczywistych dla danej lokalizacji budynku i jego przegród[6]. Rysunek 2 przedstawia przykładową zawartość wilgoci w ścianie łazienkowej, wykonanej z bloczków betonu komórkowego grubości 24 cm, pokrytej od wewnątrz glazurą, zaś od zewnątrz ocieplonej styropianem. Linia czerwona pokazuje zawartość wilgoci w ścianie zaprojektowanej metodą uproszczoną, zaś linia niebieska zawartość wilgoci powstałej w wyniku zastosowania metody dokładnej. Stan według linii czerwonej jest niedopuszczalny, bo kumuluje kondensat w ścianie, a linia niebieska to rozwiązanie poprawne.

W wyniku wykorzystywania analiz cieplno-wilgotnościowych z uwzględnieniem warunków zewnętrznych, rzeczywistych w danej lokalizacji budynku, można bez trudu określić wymagany opór dyfuzyjny wobec pary wodnej dla paroizolacji czy farby wewnętrznej, a także dopuszczalne opory dyfuzji warstwy szpachlowej na termoizolacji oraz wyprawy elewacyjnej czy farby – wszystko po to, by wykluczyć kondensację pary wodnej w warstwach ściany. Nie wszyscy wiedzą, że o ile w przegrodach murowanych dopuszcza się niewielką zawartość kondensatu, jeśli zdąży on odparować przed kolejnym sezonem grzewczym, o tyle w przegrodach zawierających drewno lub płyty drewnopochodne kondensacja pary wodnej jest niedopuszczalna! Dlatego w domach szkieletowych drewnianych, domach z bali, domach ze słomą, a także na dachach zawierających elementy drewniane należy uwzględniać wyłącznie analizę cieplno-wilgotnościową dokładną, a nie uproszczoną. Brak tej świadomości wśród projektantów jest przyczyną wielu nieporozumień, rozczarowań i roszczeń ze strony inwestorów.

Identyczne zalecenia dotyczą obliczania mostków cieplnych w budynkach. Stosowana dotąd uproszczona metoda oparta na katalogach została zdyskwalifikowana i wycofana, ponieważ powoduje błędy sięgające nawet 50% w stosunku do rzeczywistej wartości przenikającego ciepła w obrębie mostka. Przegrody projektowane w oparciu o uproszczone obliczenia w rzeczywistości prowadzą do pleśni oraz zagrzybienia w strefach liniowych i punktowych mostków cieplnych. Jeden z budynków wielorodzinnych w Warszawie jest tego dobitnym przykładem. Jego ściana zewnętrza, granicząca z bal-

6 J.B. Zembrowski, *Rola symulacji fizycznych, energetycznych...*, dz. cyt.

→ Od początku XXI wieku na całym świecie, poza Polską, do tworzenia budynków stosuje się prawa fizyki budowli poparte szerokimi symulacjami komputerowymi procesów cieplnych i wilgotnościowych. ←

fot. shutterstock.com

Przykład skutków zaprojektowania ściany z balkonem w oparciu o uproszczoną metodę obliczania mostka cieplnego.

konem wspornikowym, została zaprojektowana na podstawie obliczeń mostka cieplnego metodą uproszczoną, jednak wynik metody dokładnej wykluczył poprawność takiego rozwiązania. Efektem jest przemarzanie ściany tuż nad płytą balkonu.

NOWY MODEL SPORZĄDZANIA PROJEKTÓW BUDOWLANYCH

Nowoczesne projektowanie budynków oparte na analizach optymalizujących koszty oraz cieplno-wilgotnościowych wymusza na projektancie wdrożenie nowej metodyki postępowania. W modelu tradycyjnym architekt sporządza projekt koncepcyjny spełniający wymagania inwestora oraz uwzględniający warunki zabudowy i daną lokalizację budynku. Po zatwierdzeniu tej propozycji przez inwestora sporządzany jest projekt ostateczny, który stanowi podstawę uzyskania pozwolenia na budowę oraz jej realizacji. Przedstawia to rysunek 3.

Proponowany model różni się od tradycyjnego, bowiem po zatwierdzeniu przez inwestora projekt koncepcyjny stanowi podstawę do przeprowadzenia opisanych wyżej analiz w formie koncepcji wielobranżowej. Ich wyniki projektanci przedstawiają inwestorowi wraz z komentarzem oraz interpretacją. Na bazie tego, w porozumieniu z architektem, inwestor dokonuje wyboru konkretnych wariantów do zastosowania w projekcie budowlanym wielobranżowym. Następnie należy go przekazać specjaliście fizyki budowli, aby zweryfikował poprawność rozwiązań w zakresie hydroizolacji, termoizolacji, ruchów termicznych, ogrzewania i wentylacji oraz akustyki, czyli w całym zakresie jego dziedziny. Po naniesieniu ewentualnych poprawek i zmian projekt jest gotowy do przekazania inwestorowi. Podczas wznoszenia obiektu w ramach nadzoru autorskiego nie należy wyrażać zgody na zamienniki i odstępstwa mające znaczenie dla fizyki budynku. Do kierownika budowy należy dopilnowanie, by wykonawcy ściśle trzymali się projektu i nie wprowadzali zmian ani zamiennych rozwiązań, ponieważ każde odstępstwo może doprowadzić do powstania błędów. Ponadto zmiany wpływające na charakterystykę energetyczną budynku wymagają weryfikacji charakterystyki zawartej w projekcie budowlanym. Dzięki temu powstanie budynek bez błędów, w dodatku o najniższych kosztach budowy i eksploatacji – marzenie każdego inwestora.

Sporządzenie takiej zoptymalizowanej dokumentacji będzie droższe od tradycyjnej, ale zwróci się dzięki zaoszczędzonym kosztom inwestycji i eksploatacji. Wyższa cena umożliwia poświęcenie pracy więcej czasu i zapewnia powstanie projektu bez błędów, co z kolei pozwala uniknąć dziesiątek i setek tysięcy złotych wydawanych na ich usuwanie. Są to ważne wartości – należy tylko uświadomić to inwestorom. Wszystko wskazuje na to, że taka metodyka projektowania będzie przyszłością. Świadczy o tym trend światowy, a u nas w kraju potwierdza to ponad 100 tys. użytkowników internetowego serwisu bdb.com.pl, zaledwie rok po jego uruchomieniu.

Jeśli architekci nie będą samodzielnie sporządzać wspomnianych wyżej analiz, tylko zlecać je specjalistom fizyki budowli, powinni poszerzyć swoją wiedzę z tej dziedziny na tyle, by potrafili znaleźć z nimi wspólny język. Z przyjemnością będę przybliżać meandry fizyki budowli oraz jej praktycznego zastosowania przy nowoczesnym sporządzaniu projektów budowlanych na łamach Z:A. ●

JERZY BOGDAN ZEMBROWSKI

fizyk budowli, autor książki *Sekrety tworzenia murowanych domów bez błędów*, wydawca serwisu BDB Baza Doradztwa Budowlanego