

dr inż. Krzysztof Grygierek
Politechnika Śląska w Gliwicach
Wydział Budownictwa
Katedra Mechaniki i Mostów

Autoreferat

1. Imię i nazwisko

Krzysztof Grygierek

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Stopień doktora nauk technicznych – 2003 r.

Politechnika Śląska w Gliwicach
Wydział Budownictwa

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Wariacyjne metody analizy problemów statycznych kompozytowych prętów cienkościennych o profilu zamkniętym.*

Promotor : *prof. dr hab. inż. Szczepan Borkowski*

Tytuł magistra inżyniera – 1997 r.

Politechnika Śląska w Gliwicach
Wydział Budownictwa

Kierunek studiów: Budownictwo

Specjalność: Metody Komputerowe w Mechanice Konstrukcji

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2018 – obecnie	wykładowca	Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Budownictwa Katedra Mechaniki i Mostów
2003 – 2018	adiunkt	Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Budownictwa Katedra Mechaniki Teoretycznej / Katedra Mechaniki i Mostów
2002 – 2003	asystent	Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Budownictwa Katedra Mechaniki Teoretycznej
1997 – 2002	doktorant	Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Budownictwa Katedra Mechaniki Teoretycznej

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)

a) Tytuł osiągnięcia naukowego

Optymalne kształtowanie zewnętrznej powłoki budynku metodami inteligencji obliczeniowej

b) Autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa

Grygierek K. *Optymalne kształtowanie zewnętrznej powłoki budynku metodami inteligencji obliczeniowej*. Monografia nr 784, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2019, ISBN 978-83-7880-625-7 (udział habilitanta 100%).

Opiniodawcy:

Dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz, prof. PW

Prof. dr hab. inż. Jerzy Wyrwał

c) Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wprowadzenie

W Prawie budowlanym zawarty jest obowiązek projektowania i wznoszenia obiektów budowlanych, tak aby spełniały tzw. wymagania podstawowe w zakresie: bezpieczeństwa konstrukcji, bezpieczeństwa pożarowego, bezpieczeństwa użytkowania, warunków higienicznych i zdrowotnych oraz ochrony środowiska, ochrony przed hałasem i drganiami, oszczędności energii oraz izolacyjności cieplnej przegród budowlanych.

Dodatkowo obiekty budowlane powinny gwarantować właściwe warunki użytkowania zgodnie z ich przeznaczeniem. Proces projektowania i wznoszenia obiektów budowlanych oparty na polskich oraz międzynarodowych normach gwarantuje spełnienie ww. wymagań podstawowych.

Optymalny budynek mieszkalny powinien również spełniać dodatkowe kryteria:

- cechować się niskimi kosztami cyklu życia,
- zapewniać komfort cieplny użytkownikom,
- minimalnie wpływać na środowisko naturalne.

Do niedawna w branży budowlanej o realizacji inwestycji decydowały koszty początkowe. Takie podejście jest niewłaściwe, ponieważ już na tym etapie powinny być uwzględniane koszty późniejszej eksploatacji. Istotny udział w kosztach eksploatacji mają renowacje budynku. Warto więc wybierać materiały o dłuższej żywotności, mimo że w niektórych przypadkach mogą okazać się droższe w początkowej inwestycji. Ogromne znaczenie w całkowitych kosztach eksploatacji ma zużycie energii. W naszym klimacie jest to głównie energia zużyta na ogrzewanie. Zwiększenie grubości termoizolacji ponad minimalne wymagania normowe zmniejsza zapotrzebowanie na ciepło. Jednak inwestor, decydując się na to rozwiązanie, powinien wiedzieć, czy dodatkowe koszty inwestycyjne zwrócą się w okresie eksploatacji budynku. Na zapotrzebowanie na ciepło wpływa też wiele innych parametrów budynku: jego kształt, usytuowanie w stosunku do stron świata, rodzaj i wielkość okien oraz rozmieszczenie ich na elewacji. Najczęściej w procesie projektowania zewnętrznej powłoki budynku są one optymalizowane w niewielkim stopniu lub ich analiza jest całkowicie pomijana. W znaczącej większości przypadków gotowy projekt jest adaptowany do konkretnego umiejscowienia działki budowlanej. Chcąc uwzględnić ww. parametry w optymalnym kształtowaniu budynku, gdzie kryterium optymalizacyjnym byłoby zużycie energii, w pierwszej fazie powinny być określone optymalne parametry konstrukcyjne budynku. W drugiej fazie dla tych parametrów powinien być zrealizowany projekt architektoniczny i budowlany.

Bardzo ważną cechą prawidłowo zaprojektowanego i zrealizowanego budynku jest dobry mikroklimat wewnętrzny, którego jednym z głównych wyznaczników jest komfort cieplny. Zbyt wysoka lub zbyt niska temperatura w pomieszczeniach nie tylko obniża poziom zadowolenia z warunków mieszkalnych, lecz prowadzi także do zmniejszenia wydajności pracy i może mieć konsekwencje zdrowotne. Wszystkie budynki mieszkalne w klimacie chłodnym i przejściowym są wyposażone w systemy grzewcze, których prawidłowa praca gwarantuje właściwy poziom temperatury w okresach zimnych. Tylko niewielka część budynków mieszkalnych jest wyposażona w systemy chłodzenia. W pozostałych obserwuje się duży

dyskomfort cieplny w okresach letnich. Wyposażenie budynków mieszkalnych w systemy chłodzenia zwiększa koszt inwestycji oraz zużycie energii w okresie eksploatacji budynku. W sezonie letnim skutecznym i tanim sposobem poprawy warunków cieplnych może być stosowanie właściwego przewietrzania budynku.

Kolejnym aspektem, który powinien wpływać na decyzje inwestycyjne jest oddziaływanie budynku na środowisko naturalne. Państwa Unii Europejskiej przyjęły ramy polityki klimatyczno-energetycznej do 2030 r. Jednym z punktów jest ograniczenie gazów cieplarnianych, dla Polski o co najmniej 7% w stosunku do 1990 r. Gospodarstwa domowe w dużej mierze (ok. 30% całkowitego zużycia) zużywają energię, której produkcja jest głównym powodem emisji CO₂, więc ograniczenie zużycia energii ma korzystny wpływ zarówno na ograniczenie kosztów eksploatacji budynku, jak i na środowisko. Istotny ze względów środowiskowych jest również wybór materiałów do budowy. Powinny być stosowane te, które we wszystkich fazach życia (od pozyskania surowców do ich produkcji, po fazę rozbiórki i ostatecznego unieszkodliwienia odpadów) mają najmniejszy wpływ na środowisko. Według idei budownictwa zrównoważonego budynek idealny w minimalnym stopniu odpowiedzialny jest za pogarszanie się stanu środowiska naturalnego.

Przedstawione powyżej wybrane kryteria optymalnego kształtowania budynków pokazują, że przed architektami i inżynierami budownictwa stawiane są nowe cele, które powinny być uwzględniane w procesie projektowania. Do sprawnego ich realizowania projektanci potrzebują jednak właściwych narzędzi. Pierwsze kryterium wymaga określenia zapotrzebowania na ciepło i chłód (dla budynków z systemem chłodzenia) a drugie liczby godzin dyskomfortu cieplnego. Dokładne określenie tych wartości obliguje do szczegółowego dynamicznego modelowania budynku w specjalistycznych programach symulacyjnych (np. EnergyPlus, ESP-r, TRNSYS). Budowa i testowanie takiego modelu są bardzo czasochłonne. Jeśli dodatkowo chce się połączyć taki program z algorytmem optymalizującym to, jak pokazują moje wcześniejsze badania, pojedyncze zadanie może zajmować nawet kilka godzin obliczeń. W takim przypadku otrzymuje się wynik, który traktuje się jako dokładny. Jednak jest to zawsze wynik dla przyjętego szczególnego przypadku użytkowania budynku (np. harmonogram obecności mieszkańców i pracy urzędów, infiltracja powietrza). Jest to tylko część z wielu parametrów niepewnych w obliczaniu funkcji celu przy optymalizacji. Biorąc to pod uwagę można podważać zasadność takich czasochłonnych obliczeń. Wynik, który okazał się optymalny w symulacjach, ze względu na wiele niepewnych parametrów może w efekcie końcowym nim nie być. Te wszystkie problemy oraz wymagania projektantów względem oprogramowania, które powinno być możliwie proste w obsłudze i szybkie w działaniu, przy zachowaniu dobrej jakości wyników, jest powodem podjęcia badań naukowych nad alternatywnymi metodami do czasochłonnych symulacji.

W większości prac naukowych zajmujących się optymalizacją autorzy analizują niewielką liczbę zmiennych projektowych. Bardzo często są one również pogrupowane. Takie wyniki dla projektanta mogą być niewystarczające. Brakuje również odpowiedzi na pytanie do jak szerokich zagadnień mogą być stosowane modele predykcji? Wszystkie prace, w których zastosowano metody przewidywania, używały do tego celu sztucznych sieci neuronowych (ANN). Nie testowano innych rozwiązań np.: adaptacyjnego systemu wnioskowania neuronowo-rozmytego (ANFIS) czy hierarchiczna wersji ANFIS. Najbardziej popularnymi algorytmami stosowanym w obliczeniach są algorytmy genetyczne (GA) i metoda roju cząstek

(PSO) oraz ich wielokryterialne wersje NSGA-II i MOPSO. Warto jednak opracowywać nowe algorytmy, które cechują się lepszą efektywnością w analizowanym tu zadaniu. W przypadku czasochłonnych obliczeń szczególnie istotna jest szybka zbieżność przy zachowaniu dobrej jakości wyniku. W takim przypadku wynik można otrzymać szybciej, co w procesie projektowania jest bardzo istotne.

Niewiele prac zajmuje się równoczesnym optymalizowaniem z uwzględnieniem wszystkich trzech kryteriów, do tego w Polsce publikacji z tej tematyki jest bardzo mało. Należy zauważyć, że optymalne parametry zewnętrznej powłoki budynku mają charakter bardzo lokalny i przełożenie badań zagranicznych na warunki polskie może prowadzić do błędnych wniosków, zwłaszcza, że znakomita większość autorów prac analizuje budynki klimatyzowane, które są rzadkością w naszym kraju. Takie budynki są łatwiejsze w modelowaniu ponieważ można dla nich założyć w przybliżeniu stały strumień powietrza wentylacyjnego. Ten parametr jest trudny do modelowania w budynkach z wentylacją naturalną. Badania polskie obejmują najczęściej wybrane aspekty, np. koszty życia czy koszty środowiskowe, jednak brak jest w nich aspektów optymalizacyjnych. Są to raczej analizy porównawcze. Lukę tę częściowo wypełniły badania, których jestem współautorem obejmujące jednokryterialną optymalizację okien, czy wielokryterialne optymalizacje termoizolacji i rodzaju okien przy uwzględnieniu komfortu cieplnego i kosztów cyklu życia (Załącznik 3, II.E.b.1, II.E.c.1, II.A.4-6). Wyniki otrzymane w ww. badaniach wstępnych oraz pojawienie się nowych interesujących wątków naukowych stały się inspiracją do kontynuowania badań w tym zakresie i zostały przedstawione w postaci opracowania monograficznego. Opracowując monografię powołałem się na wiele najnowszych doniesień literaturowych, w tym na ponad 100 artykułów naukowych opublikowanych po 2014 r.

Omówienie celu naukowego i zrealizowanych badań

Celem przeprowadzonych prac było poszerzenie wiedzy na temat możliwości zastosowania algorytmów inteligencji obliczeniowej we wspomaganie procesu optymalnego kształtowania zewnętrznej powłoki budynku dla wybranych kryteriów. W rezultacie powstał system oparty na najbardziej efektywnych metodach. Ich skuteczność do optymalizacji przetestowano na kilku przypadkach wybranego budynku.

W ramach przeprowadzonych badań zrealizowano dwa główne zadania:

- 1) opracowanie, opierającej się na efektywnych technikach inteligencji obliczeniowej, uproszczonej metodologii obliczeń optymalnych parametrów budynku,
- 2) optymalizacja zewnętrznej powłoki budynku mieszkalnego.

Celem zadania pierwszego było opracowanie systemu obliczeniowego opierającego się na metodach inteligencji obliczeniowej, który pozwala efektywnie rozwiązać zadanie optymalnego kształtowania zewnętrznej powłoki budynku. Ta część analiz dała również odpowiedź na pytanie: czy i w jakim zakresie można zastosować odpowiednio przygotowane (nauczone) techniki inteligencji obliczeniowej w oprogramowaniu inżynierskim służącym do szczegółowej optymalizacji wybranych elementów budynku? Badania w tym zadaniu były prowadzone z zastosowaniem wybranych metod inteligencji obliczeniowej:

- sztucznych sieci neuronowych, ANFIS oraz hierarchicznej wersji ANFIS (HANFIS),
- metod metaheurystycznych,
- logiki rozmytej.

Na bazie pierwszych trzech technik zostały zbudowane modele prognozowania (przewidywania, predykcji) godzin dyskomfortu cieplnego i zapotrzebowania na ciepło i chłód budynku. Do nauczania modeli przewidywania zastosowano bazę wyników z dokładnych obliczeń symulacyjnych programem EnergyPlus, w którym został zbudowany sparametryzowany model budynku. Reprezentatywna próbka przykładów uczących została wygenerowana w programie MATLAB. W dalszej kolejności przetestowano efektywność metod predykcji w realizacji zadania prognozowania. Opracowano półautomatyczną metodę optymalizacji hierarchicznego ANFIS. Zastąpienie szczegółowego modelowania budynku metodami prognozowania miało za zadanie uprościć i przyspieszyć proces optymalizacji.

Ze względu na charakter zmiennych, które mogą w badaniach przyjmować wartości ciągłe i dyskretne, zdecydowano, że do poszukiwań optymalnych rozwiązań zostaną zastosowane metody metaheurystyczne. Te inspirowane naturą algorytmy są proste w implementacji, jednak wymagają często tysięcy obliczeń funkcji celu, zanim znajdą optimum. W przypadku czasochłonnych obliczeń bardzo istotną cechą tych algorytmów jest dobra zbieżność do wyniku optymalnego. W badaniach opracowano własne metody hybrydowe JAYA-ACO (hybryda algorytmu bazującego na „zwycięstwie” JAYA oraz algorytmu mrówkowego ACO) i JAYA-SA (hybryda JAYA i symulowanego wyżarzania SA) dla optymalizacji jednokryterialnej oraz MO-JAYA-ACO do optymalizacji wielokryterialnej. Efektywność tych metod została porównana z popularnymi algorytmami GA, PSO, SA, JAYA, TLBO (algorytm bazujące na nauczaniu i nauce) oraz NSGA-II, MO-JAYA odpowiednio dla optymalizacji jedno- i wielokryterialnej.

W badaniach logika rozmyta została zastosowana do symulowania zachowania mieszkańców przy sterowaniu ilością powietrza wentylacyjnego, które ma bardzo istotny wpływ na wartości funkcji celu analizowanych kryteriów. W tej części zdefiniowano dane wejściowe i wyjściowe sterownika opartego na architekturze Sugeno i zoptymalizowano jego parametry wewnętrzne metodą NSGA-II, tak aby budynek zapewniał komfort cieplny przy niskim zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania i chłodzenia.

Celem zadania drugiego było określenie optymalnych zewnętrznych powłok wybranego typu budynków mieszkalnych. Optymalizowanymi zmiennymi projektowymi były: kształt i kąt obrotu budynku, rodzaj okien i szyb, wielkość okien, rodzaj i grubość materiałów izolacyjnych. Kryteriami optymalizującymi były opisane wcześniej:

- koszt cyklu życia budynku,
- liczba godzin dyskomfortu cieplnego,
- koszty środowiskowe.

Do realizacji tego zadania wybrano najbardziej efektywne metody otrzymane w zadaniu 1. Opracowane modele prognozowania godzin dyskomfortu cieplnego oraz zapotrzebowania na energię opierającą się na sztucznych sieciach neuronowych. Modele prognozowania połączono z autorskimi metodami metaheurystycznymi. Taki system generował optymalne parametry powłoki budynku dla różnych konfiguracji kryteriów optymalizujących. Otrzymane wyniki posłużyły do opracowania ogólnych wytycznych optymalnego kształtowania bryły budynku dla przypadku analizowanych w pracy kryteriów.

W badaniach zrealizowano następujące cele cząstkowe:

- opracowano i przetestowano modele budynku jednorodzinnego w programie EnergyPlus; zbudowano wersję parametryczną modelu, którą zastosowano w połączeniu z programem MATLAB do wygenerowania wyników referencyjnych,
- opracowano i zbadano efektywność modeli prognozowania godzin dyskomfortu cieplnego i zapotrzebowania na energię budynku opartych na sztucznych sieciach neuronowych, ANFIS i HANFIS; opracowano półautomatyczną metodę budowania struktury HANFIS; opracowano wskazówki i zalecenia dotyczące możliwości stosowania ww. metod do predykcji,
- opracowano trzy nowe hybrydowe metody metaheurystyczne JAYA-SA, JAYA-ACO, MO-JAYA-ACO do optymalizacji jednokryterialnej i wielokryterialnej,
- zaprogramowano wszystkie metody metaheurystyczne w programie MATLAB i przetestowano ich efektywność w analizowanym zagadnieniu optymalizacji powłoki zewnętrznej budynku,
- opracowano sterownik rozmyty kontrolujący strumień powietrza nawiewanego do budynku i imitujący działania mieszkańców polegające na regulowaniu stopnia otwarcia okna; zdefiniowano jego budowę, dane wejściowe i wyjściowe i zaprogramowano go w części EMS programu EnergyPlus; zoptymalizowano jego parametry wewnętrzne algorytmem NSGA-II, tak aby uzyskać komfort cieplny w pomieszczeniach przy niskim zapotrzebowaniu na energię całego budynku,
- opracowano i napisano program w języku MATLAB do optymalizacji jedno- i wielokryterialnej parametrów powłoki zewnętrznej wybranego typu budynku jednorodzinnego, którego działanie jest oparte na połączeniu najbardziej efektywnych metod prognozowania i optymalizacji,
- zbudowano bazę danych obejmującą właściwości fizyczne, ceny oraz wpływy środowiskowe materiałów budowlanych,
- przeprowadzono optymalizację parametrów zewnętrznej powłoki budynku dla dwóch przypadków wybranego domu jednorodzinnego; optymalizację zrealizowano dla różnych konfiguracji kryteriów optymalizujących,
- opracowano ogólne wytyczne do optymalnego kształtowania bryły budynku dla przypadków analizowanych w pracy kryteriów.

Odpowiednio nauczone modele prognozowania oparte na ANN – połączone z algorytmem optymalizującym JAYA-ACO dla wersji jednokryterialnej i MO-JAYA-ACO dla wersji wielokryterialnej – stworzyły system, który jest bardzo efektywny w optymalizowaniu wybranego typu budynków. Rozbudowany system, uzupełniony o modele predykcji dla większej liczby typów budynków mógłby z powodzeniem stanowić wsparcie pracy architektów w początkowej fazie projektu.

Omówienie osiągniętych wyników i ich możliwego zastosowania w praktyce

W zakresie możliwości, dokładności oraz efektywności metod inteligencji obliczeniowej we wspomaganie procesu optymalizacji można sformułować następujące główne wnioski:

- Z przebadanych metod prognozowania komfortu cieplnego i zapotrzebowania na ciepło i chłód mających przyspieszyć obliczenia przez zastąpienie czasochłonnych symulacji

w programie EnergyPlus, najlepsza okazała się ANN. Średnie błędy w stosunku do programu symulacyjnego wyniosły 2%, 4% i 8% odpowiednio w prognozowaniu zapotrzebowania na ciepło, chłód i liczby godzin dyskomfortu cieplnego. W pozostałych metodach: ANFIS i HANFIS, otrzymano gorsze wyniki (szczególnie dla szacowania komfortu cieplnego). Można przypuszczać, że w metodach tych jakość wyników mocniej spada wraz ze wzrostem liczebności danych wejściowych.

- Sterownik rozmyty opierający się na architekturze Takagi-Sugeno, kontrolujący strumień powietrza zewnętrznego nawiewanego do budynku, znacznie poprawia komfort cieplny w budynku w miesiącach letnich. Implementacja takiego rozwiązania nie wymaga montażu drogich urządzeń systemu mechanicznego chłodzenia i jest stosunkowo mało energochłonne.
- Metody metaheurystyczne są efektywne w poszukiwaniu optymalnych rozwiązań. Otrzymane wyniki pokazują, że najbardziej popularna metoda algorytmów genetycznych nie jest najbardziej efektywna w rozwiązywaniu analizowanego zagadnienia. W autorskiej hybrydowej metodzie JAYA-ACO otrzymano lepszą jakość wyników przy mniejszej liczbie obliczeń w stosunku do innych testowanych algorytmów: GA, PSO, SA, TLBO, JAYA. Jest to szczególnie istotne przy czasochłonnych obliczeniach cieplnych budynku w programie symulacyjnym. Również wielowariantowa autorska metoda MO-JAYA-ACO w najbardziej istotnych aspektach dała lepsze wyniki niż NSGA-II.

Do obliczenia wartości funkcji celu muszą być przyjęte parametry, które są bardzo trudne do oszacowania w długoletnim okresie użytkowania budynku. Są to przykładowo: w zakresie komfortu cieplnego – sposób użytkowania budynku przez mieszkańców oraz klimat zewnętrzny; w zakresie wpływów środowiskowych – producent materiałów (emisja CO₂ przy produkcji tego samego materiału może różnić się w zależności od producenta) czy emisja CO₂ przypadająca na wyprodukowanie 1 kWh energii elektrycznej w długim okresie użytkowania; w zakresie kosztów użytkowania – wzrost cen energii elektrycznej. Zmiany tych parametrów wpływają na wartości funkcji celu oraz na optymalne rozwiązania. Analizy optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych pokazują jednak, że nawet dla różnych parametrów zostają zachowane pewne tendencje rozwiązań.

Na podstawie wyników obliczeń otrzymanych dla wybranych typów budynków mieszkalnych jednorodzinnych w zakresie optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych można sformułować następujące wnioski ogólne:

- W klimacie polskim korzystne jest bardzo dobre ocieplenie przegród zewnętrznych (ponad wymagania stawiane w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie); wyjątkiem jest izolacja podłogi na gruncie w przypadku budynku wyposażonego w systemem chłodzenia. Mniejsza izolacyjność tej przegrody jest korzystna w okresie letnim – stanowi darmowe źródło chłodu.
- Chłodzenie budynku powietrzem zewnętrznym (np. przez dodatkowe przewietrzanie pomieszczeń w nocy, kiedy temperatura zewnętrzna jest niższa od temperatury wewnętrznej) jest korzystne z punktu widzenia oszczędności energii oraz komfortu cieplnego. Maksymalna wartość nawiewanego strumienia powietrza powinna być jednak ograniczona ze względu na możliwość wystąpienia przeciągów. W przypadku mechanicznego chłodzenia budynku (przy stałym minimalnym strumieniu powietrza)

zapotrzebowanie na chłód w intensywnie użytkowanych budynkach może stanowić nawet 85% zapotrzebowania na ciepło. W większości optymalnych rozwiązań badanego domu jednorodzinnego roczne zapotrzebowanie na ciepło było mniejsze w budynku bez dodatkowego chłodzenia mechanicznego.

- Ze względu na większe zyski słoneczne przez dach oraz okna dachowe warunki na piętrze budynku zawsze są mniej korzystne z uwagi na komfort cieplny, pomimo że zwykle są tam generowane mniejsze zyski wewnętrzne niż na parterze, gdzie występują zyski od urządzeń kuchennych.
- Optymalnym oknem jest okno z tańszą ramą PVC. Tylko przy założonym dużym wzroście cen energii w całym okresie eksploatacji budynku i optymalizacji, w którym jednym z celów jest cykl życia emisji węgla optymalnym jest okno drewniane (korzystne z punktu widzenia środowiskowego). Okno drewniane nie było opłacalne w żadnym innym omówionym w tych badaniach przypadku; okna dachowe (zdecydowanie droższe od okien ściennych) w żadnym wypadku nie są rozwiązaniem optymalnym.
- W przypadku budynku z mechanicznym chłodzeniem, jeśli nie wprowadzono żadnych ograniczeń co do lokalizacji okien, najlepszą lokalizacją jest strona południowa, a w przypadku osiągnięcia w tej lokalizacji maksymalnej dopuszczalnej powierzchni – dodatkowo strona północna.
- Ze względu na niekorzystny rozkład zysków od Słońca lokalizacja okien od strony zachodniej nie jest zalecana. W lecie zyski są większe niż na ścianie południowej (wzrasta zapotrzebowanie na chłód), natomiast w zimie mniejsze (wzrasta zapotrzebowanie na ciepło). Warto więc nie projektować dużych okien tarasowych po stronie zachodniej, co jest często spotykane.
- W polskim klimacie ma znaczenie nie tylko współczynnik przenikania ciepła okna (na co głównie zwracają uwagę inwestorzy), ale także (w niektórych przypadkach nawet bardziej) współczynnik przepuszczalności energii słonecznej; w budynku z systemem chłodzenia korzystne są okna o większej wartości tego współczynnika nawet pomimo tego, że te okna mają zwykle wyższą wartość współczynnika przenikania ciepła i są najdroższe.
- W budynku z mechanicznym chłodzeniem nie jest korzystne zwiększanie powierzchni okien ponad wymagania normowe; w przypadkach bez chłodzenia mechanicznego korzystna może być większa sumaryczna powierzchnia okien, tym większa, im mniejsze znaczenie ma komfort cieplny przy optymalizacji. Przy maksymalizowaniu okresu komfortu cieplnego optymalne rozwiązania dążą do minimalizowania zysków słonecznych – dobierane są okna o mniejszej wartości współczynnika przepuszczalności energii słonecznej; maleje też wtedy powierzchnia okien po stronie południowej.
- Założenia wstępne dotyczące wzrostu cen energii mają wpływ na optymalne rozwiązania. Przy założonym większym wzroście cen energii (5%) optymalne rozwiązania dążą do zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło (którego wytworzenie dla przyjętych w tym badaniu źródeł energii jest ok. 2-krotnie droższe) kosztem zapotrzebowania na chłód.
- Emisja CO₂ budynku w jego cyklu życia jest w znaczącej większości spowodowana zużyciem energii, wartość cyklu życia emisji węgla ze zużytej energii do ogrzewania i chłodzenia jest kilkunastokrotnie większa od wartości wytworzonej w produkcji materiałów budowlanych.

Powyższe wnioski powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu i budowie domów w umiarkowanym klimacie polskim. Wybór optymalny powinien być jednak przeprowadzony z zastosowaniem np. zaproponowanych tutaj narzędzi sztucznej inteligencji.

Zrealizowane badania nie wyczerpują w całości zagadnień związanych z problemami optymalnego kształtowania zewnętrznej powłoki budynku, jednak dzięki kompleksowemu podejściu pogłębiają istniejącą wiedzę w tej dziedzinie. Przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat kształtowania budynków z uwzględnieniem ww. trzech kryteriów pokazuje, że w dostępnej literaturze brak jest syntetycznych wyników badań dla polskich warunków klimatycznych. Moje badania mogą wypełnić tę lukę.

Otrzymane wyniki są cennymi wskazówkami dla architektów, którzy oczekują jasnych procedur w zakresie optymalnego kształtowania budynków. Przedstawione rezultaty badań mogą być również wykorzystane przez programistów w procesie konstruowania algorytmów do projektowania budynków.

Przeprowadzone analizy nie wyczerpują wszystkich możliwych scenariuszy optymalnego kształtowania budynków. Prace nad optymalizacją powłoki zewnętrznej budynków i systemów ogrzewania wentylacji i klimatyzacji są nadal prowadzone na świecie. W monografii zaproponowano kierunki dalszych badań.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moja pozostała działalność naukowo-badawcza koncentrowała się wokół kilku zagadnień, które zostały przedstawione poniżej.

Obecnie jestem autorem lub współautorem 38 publikacji (w tym 6 artykułów z listy JCR). Mój sumaryczny IF wynosi 17,72, natomiast sumaryczna liczba punktów MNiSW zgodnie z rokiem publikacji – 315. Indeks Hirscha według bazy Web of Science wynosi 3. Liczba cytowań według bazy Web of Science wynosi 30.

Optymalne kształtowanie wybranych elementów budynku

Te badania stały się inspiracją do przeprowadzenia badań stanowiących moje osiągnięcie naukowe. Były to badania wstępne, w których testowano możliwości stosowania różnych zaawansowanych programów do symulowania przepływu masy i energii w budynku (ESP-r, EnergyPlus, TRNSYS) oraz niezbędne połączenia tych programów z programem MATLAB w zadaniach optymalizacyjnych. Przeprowadzone badania pokazały szeroki zakres możliwości obliczeniowych testowanych programów symulacyjnych do analiz optymalizacyjnych budynku. W badaniach tych optymalizowane były rodzaje i wielkość okien (Załącznik 3, II.E.b.1, II.E.c.1) oraz dodatkowo inne parametry wpływające na zapotrzebowanie na ciepło i chłód budynku, w tym izolacja przegród budowlanych, strumień powietrza wentylacyjnego, kąt obrotu budynku (Załącznik 3, II.A.6, II.A.4). Przebadano również możliwości poprawy komfortu cieplnego mieszkańców przez zastosowanie optymalnego sterowania systemem wentylacji (tzw. „free cooling”). Wyniki badań pokazały, że taki system sterowany sterownikiem rozmytym znakomicie sprawdza się w naszym klimacie (Załącznik 3, II.A.5). W wymienionych w tym punkcie badaniach funkcje celu (zapotrzebowanie na ciepło i chłód i komfort cieplny) każdorazowo były obliczane w programach symulacyjnych, co niestety

mocno wpływało na czasochłonność obliczeń. Problem ten został rozwiązany w wyniku badań stanowiących moje osiągnięcie naukowe.

Modelowanie mikroklimatu w budynkach muzealnych

W Polsce większość muzeów ulokowana jest w starych budynkach, często o wartości historycznej, w których mikroklimat kształtowany jest jedynie przez działanie centralnych systemów ogrzewania i wentylacji naturalnej. Systemy te były projektowane w celu zapewnienia komfortu dla zwiedzających, a takie warunki nie zawsze pokrywają się z optymalnymi warunkami do przechowywania zbiorów. Złe warunki mikroklimatu, zwłaszcza duże zmiany wilgotności względnej i temperatury, mogą prowadzić do poważnego pogorszenia stanu eksponatów. Wymagane są odpowiednio zaprojektowane systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji do precyzyjnej kontroli parametrów powietrza. Jednak ze względu na ograniczenia finansowe muzeów, często nie jest możliwe zastosowanie rozbudowanych systemów klimatyzacji w tych budynkach. Biorąc to pod uwagę, zaproponowałem i przetestowałem nowatorskie metody ograniczania krótko- i długoterminowych wahań wilgotności względnej w salach wystawowych polskiego muzeum. Metody obejmują strategie kontroli temperatury wewnętrznej i przepływu powietrza wentylacyjnego w prostych systemach klimatyzacyjnych. Analiza opierała się na symulacjach z wykorzystaniem programu EnergyPlus. Dodatkowo badania pokazały wpływ proponowanych strategii sterowania na zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia. Połączenie kontroli temperatury i odpowiedniego strumienia powietrza zewnętrznego pozwoliło na radykalną poprawę warunków mikroklimatu, zwłaszcza w okresie letnim. Badania przeprowadzono dla jednego przypadku muzealnego, jednak wyniki można uogólnić na podobnie, naturalnie wentylowane muzea w umiarkowanym klimacie. Dodatkowo badania potwierdziły, że zaproponowane systemy z dodatkowym strumieniem powietrza wentylacyjnego nie są bardzo wrażliwe na liczbę zwiedzających, dlatego metody mogą być wykorzystywane w różnych warunkach użytkowania budynków muzealnych. Wyniki badań zostały opublikowane w dwóch czasopismach z listy JCR (Załącznik 3, II.A.1, II.A.2).

Metoda algorytmów genetycznych w optymalizacji konstrukcji

Algorytmy genetyczne są najpowszechniej stosowaną metodą metaheurystyczną w optymalizacji. Zasada ich działania oparta jest na mechanizmach doboru naturalnego, dziedziczności oraz ewolucyjnej zasadzie przeżycia najlepiej przystosowanych osobników. Wykorzystują one przy tym doświadczenia poprzednich pokoleń do określenia nowych obszarów poszukiwań o spodziewanej wyższej wydajności. Mimo, że nie gwarantują otrzymania globalnego optimum, stały się zaawansowanym narzędziem optymalizacji dla szerokiego spektrum zagadnień inżynierskich. Algorytmy genetyczne, ze względu na ich bardzo powolną zbieżność, są bardzo czasochłonne zwłaszcza w przypadku złożonych problemów. Efektywność algorytmu można poprawić właściwym sterowaniem jego parametrami. Moje prace badawcze związane były głównie z tym aspektem pracy algorytmu. Opracowałem połączenie kodowania całkowitoliczbowego z metodą samoadaptacyjną opartą na logice rozmytej do sterowania prawdopodobieństwem krzyżowania, mutacji oraz parametru liczbowego dodawanego do mutowanego genu. Metoda ta znacząco podniosła efektywność

optymalizacji konstrukcji kratowych (Załącznik 3, II.L.a.4, II.E.c.2). Następnie opracowałem i przetestowałem rozszerzenie tego narzędzia o samoadaptacyjną rankingową metodę koła ruletki wraz ze skalowaniem potęgowym, wyniki przedstawiłem w kolejnych artykułach (Załącznik 3, II.L.a.1, II.E.b.2). Takie rozwiązanie okazało się lepsze od pierwotnej propozycji. W badaniach dotyczących optymalizacji kratownic zajmowałem się również optymalizowaniem topologii, które jest szczególnie trudnym zagadnieniem. Opracowałem autorskie połączenie: generowania stabilnych początkowych topologii, naprawę niestabilnych kinematyczne konstrukcji, identyfikację osobników oraz samoadaptacyjnego sterowania parametrami algorytmu (Załącznik 3, II.L.a.3), a w artykule zaproponowałem nową samoadaptacyjną metodę generowania topologii (Załącznik 3, II.L.a.2).

Analiza konstrukcji o parametrach niepewnych

W praktyce inżynierskiej często występuje sytuacja, w której charakterystyki wytrzymałościowe elementów konstrukcji i obciążenia zewnętrzne nie są znane z absolutną dokładnością. Mówi się wówczas, że rozpatrywany system jest niepewny. W celu zapewnienia niezawodności konstrukcji niepewności próbuje się uwzględnić w analizach inżynierskich. Jeszcze do niedawna w analizach tych dominowało przede wszystkim podejście probabilistyczne. W swoich badaniach skupiłem się na alternatywnych metodach, w których założyłem, że niepewności są reprezentowane przez liczby interwałowe (wartości ograniczone z dołu i z góry). Moje początkowe badania dotyczyły możliwości zastosowania liczb perturbacyjnych do modelowania niepewności w kompozytowych prętach cienkościennych (Załącznik 3, III.B.a.13, II.E.d.1, II.E.a.2). Metody perturbacyjne oparte na liczbach perturbacyjnych zależnych i niezależnych porównałem z klasycznymi interwałami oraz wynikami dokładnymi na przykładzie konstrukcji kratowej (Załącznik 3, II.L.a.9). Wyniki otrzymane algebrą interwałową oraz liczbami perturbacyjnymi niezależnymi znacząco przeszacowują zbiór rozwiązań. Najdokładniejsze wyniki otrzymano w przypadku zastosowania liczb perturbacyjnych zależnych. Wadą tego podejścia jest to, że zbiór rozwiązań nie zawierał w całości przedziału dokładnego. W kolejnych badaniach nad uwzględnieniem niepewności w analizie konstrukcji stosowałem liczby interwałowe. W celu ograniczenia przeszacowania otrzymywanych wyników w analizie prętów cienkościennych o niepewnych parametrach opracowałem rozszerzenie interwałowej metody elementów skończonych z funkcją kary na te ustroje (Załącznik 3, II.L.a.8). Zmodyfikowałem również wersję element po elemencie z funkcją kary interwałowej metody elementów skończonych dla sprężystych układów (Załącznik 3, II.E.a.1).

Wzmacnianie elementów drewnianych taśmami CFRP i GARP

Wiele starszych obiektów o konstrukcji drewnianej wymaga renowacji, w tym wzmocnienia elementów konstrukcyjnych w celu umożliwienia ich dalszej eksploatacji. Wzmocnienia metodami tradycyjnymi często kolidują z zaleceniami konserwatorów. Jednym z rozwiązań w takich przypadkach może być wzmacnianie konstrukcji drewnianych taśmami CFRP. Przeprowadzone badania dotyczyły zginanych belek oraz słupów wzmacnianych kompozytami włóknistymi CFRP (Załącznik 3, III.B.a.10, III.B.a.12). Pierwsza część badań obejmowała badania przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych, a druga symulacje

numeryczne. W przypadku zginanych belek zaobserwowano wzrost nośności o 15-28%, zaś w przypadku słupów o 21% w stosunku do niezbrojonych modeli porównawczych. Zbrojenie taśmami zniwelowało również wady drewna zlokalizowane w pobliżu ich przymocowania. Dodatkowo badania zostały rozszerzone na wzmacnianie zginanych belek z drewna klejonego taśmami z włókien szklano-aramidowych nie dochodzących do podpór (Załącznik 3, III.B.a.11). W tym przypadku zaobserwowano niewielki wzrost sztywności (ugięcia zmalały o 15%) oraz znaczny wzrost nośności (nawet o 68%).

Analiza kompozytowych prętów cienkościennych

W latach 1997-2003 byłem doktorantem oraz asystentem w Katedrze Mechaniki Teoretycznej. Pod kierunkiem Profesora Szczepana Borkowskiego zajmowałem się modelowaniem kompozytowych prętów cienkościennych o profilu zamkniętym. Przedmiotem moich badań było zagadnienie wyznaczania pól przemieszczeń, odkształceń i naprężeń w prętach poddanych działaniom pól sił. Sformułowane z tymi problemami zadanie brzegowe zostało rozwiązane metodami wariacyjnymi, z zastosowaniem opisu dyskretnego, opierającego się – w części numerycznej – na metodzie elementów skończonych. W przypadku złożonego stanu naprężeń pręt został zamodelowany powłoką warstwową Timoshenki. Uwzględnienie czterech składowych odkształcenia dla przypadku laminatów poprawiło dokładność otrzymywanych wyników. Rozwiązanie numeryczne zagadnienia uzyskano stosując MES, gdzie zastosowano izoparametryczny, belkowy element skończony. W czasie badań powstało siedem publikacji (Załącznik 3, II.E.d.3-8, II.E.a.3). Ostatecznym efektem była rozprawa doktorska pt. „Wariacyjne metody analizy problemów statycznych kompozytowych prętów cienkościennych o profilu zamkniętym”.

5. Działalność dydaktyczna i organizacyjna, wyróżnienia

Pracę dydaktyczną rozpocząłem w czasie studiów doktoranckich na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej oraz wydziale zamiejscowym w Rybniku. Kontynuuję ją do dnia dzisiejszego na stanowisku wykładowcy. Moja działalność dydaktyczna obejmowała i obejmuje przedmioty o charakterze ogólnym. Są nimi na I stopniu studiów: informatyka, AutoCad, mechanika teoretyczna, wytrzymałość materiałów, metody obliczeniowe, metody matematyczne, matematyka (w języku polskim i angielskim) oraz programowanie w języku MATLAB na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki, a na II stopniu: zaawansowane zagadnienia matematyki, matematyka, statystyka dla inżynierów. Jestem autorem wykładów z następujących przedmiotów: matematyka (SI), metody obliczeniowe (SI), metody matematyczne (SI), matematyka (SII), zaawansowane zagadnienia matematyki (SII). Dla części zajęć przygotowałem materiały dydaktyczne dla studentów. Ukończyłem kurs obejmujący przygotowanie i prowadzenie zajęć dydaktycznych w trybie zdalnym z wykorzystaniem metod i technik kształcenia na odległość (SCP).

W trakcie pracy na Wydziale Budownictwa pełniłem następujące funkcje organizacyjne: członek komisji rozkładu zajęć (2 lata), członek komisji dydaktycznej (opracowującej nowe plany studiów, 6 lat), członek komisji Systemu Zapewnienia Jakości Kształcenia (od 2011 r.), audytor wewnętrzny Systemu Zapewnienia Jakości Kształcenia (od 2013 r.), koordynator ds. obciążeń dydaktycznych (8 lat), członek Wydziałowej Komisji ds. Akredytacji.

Moja praca magisterska pt. „Analiza komputerowa problemów skręcania cienkościennych belek ciągłych” wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Szczepana Borkowskiego otrzymała wyróżnienie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji. Otrzymałem również zespołową nagrodę II stopnia Rektora Politechniki Śląskiej za osiągnięcia organizacyjne.

