

Od redakcji

Już obecnie inżynierowie z obszaru budownictwa są często zmuszeni do rozwiązywania złożonych problemów, które nie mogą być rozstrzygnięte z wykorzystaniem jedynie wiedzy i umiejętności z dyscypliny inżynieria lądowa i transport, lecz wymagają zintegrowanej wiedzy z kilku dziedzin, zwanej wiedzą transdyscyplinarną. Takie problemy stają się obecnie kluczowymi dla przyszłości społeczeństw, a umiejętności ich rozwiązywania są niezwykle ważne w warunkach zaostrzającej się konkurencji między inżynierami, przedsiębiorstwami, nawet całymi przemysłami działającymi w różnych krajach. W opisaney sytuacji wiedza transdyscyplinarna i „inżynieria wynalazczości” stają się kluczowym elementem programu nauczania inżynierów.

W czerwcu 2019 r. z inicjatywy dr. inż. Tomasza Arciszewskiego odbyło się na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej seminarium prof. Boba Kolvoorda, dziekana i założyciela College of Integrated Science and Engineering, James Madison University, USA. Seminarium zostało zorganizowane przez Wydział oraz Komisję Nauki Oddziału Warszawskiego PZITB (organizację koordynowała dr inż. Wioleta Barcewicz). Tematyka seminarium dotyczyła unikatowego programu nauczania, realizowanego w wymienionej uczelni na politechnicznym poziomie licencjackim, który tworzy nową generację inżynierów, przygotowanych do rozwiązywania złożonych interdyscyplinarnych problemów inżynierii i środowiska, będących wyzwaniem naszych czasów i przyszłości.

W niniejszym zeszycie „Inżynierii i Budownictwa”, dedykowanym Profesorowi Jerzemu Ziółko, publikujemy artykuł przygotowany na zaproszenie redakcji przez dr. inż. Tomasza Arciszewskiego, emerytowanego profesora George Mason University w Fairfax, VA, USA, absolwenta specjalności „teoria konstrukcji” na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej i pracownika Zakładu Konstrukcji Metalowych w latach 70. ubiegłego wieku. Autor jest uznanym w świecie badaczem i dydaktykiem z zakresu „inżynierii wynalazczości”, w szczególności w odniesieniu do obszaru wiedzy z zakresu inżynierii lądowej i infrastruktury drogowej oraz zastosowań sztucznej inteligencji w projektowaniu.

Dr inż. TOMASZ ARCISZEWSKI
Successful Education, LLC, USA

Inżynieria wynalazczości kluczem do przyszłości budownictwa

Od czasów egipskich budownictwo było dziedziną, która kształtowała nie tylko materialne środowisko człowieka, ale również odnosiła niezwykle sukcesy, tworząc niepowtarzalne budowle, jak piramidy czy akwedukty rzymskie. Budowle te stawały się pomnikami naszej cywilizacji, inspirowały pokolenia i były widocznymi dowodami kluczowej roli budownictwa w życiu społeczeństw. Tak było jeszcze w XIX wieku, kiedy wieża Eiffla stała się spektakularnym sukcesem. Została ona niemal uznana za kolejny cud świata, a jej budowa za początek nowej epoki, „epoki stali i budownictwa”.

Niestety, obecnie budownictwo nie odnosi wielu sukcesów i nikt nie uważa tej dziedziny za wiodącą w ramach inżynierii, nie mówiąc o znaczeniu w społeczeństwie; tę rolę przejęła informatyka i inżynieria komputerowa. Taka sytuacja jest oczywiście ogromnie niekorzystna dla budownictwa. Społeczna pozycja inżynierów budownictwa nie jest niestety najwyższa, zarobki są również znacznie niższe od zarobków informatyków, a co najgorsze, nawet najlepsze wydziały budowlane nie są w stanie przyciągnąć najlepszych maturzystów. Sytuacja wymaga zmian – podstawowego przemyślenia obecnej sytuacji i znalezienia nowego paradygmatu budownictwa, szczególnie w zakresie edukacji, który stworzy podstawy do odrodzenia budownictwa i drogę do dalszych sukcesów.

Obecnie żyjemy w świecie przechodzącym gwałtowne przeobrażenia w nauce, inżynierii i edukacji. W nauce

jesteśmy świadkami ogromnego postępu, szczególnie w zakresie badań nad projektowaniem, co doprowadziło do wyłonienia się nowej nauki – „inżynierii wynalazczości” [5]. W psychologii wyłoniła się nowa dziedzina – „pozytywna psychologia”, która zajmuje się badaniem ludzi zadowolonych z życia i osiągających sukcesy [20]. W inżynierii obserwujemy niezwykle postępy w zakresie obliczeniowych możliwości komputerów oraz sztucznej inteligencji (AI) i jej zastosowań w projektowaniu, co prowadzi do zupełnie nowego zrozumienia kreatywności inżynierskiej i możliwości osiągania sukcesów poprzez wynalazczość i innowacyjność. Również w zakresie kształcenia inżynierów niedawno została zaproponowana nowa koncepcja skoncentrowana na przygotowaniu inżynierów do osiągnięcia sukcesów – „edukacja sukcesu” [6, 8, 9]. Wyłania się więc unikatowa sytuacja, w której można podjąć próbę odrodzenia się budownictwa poprzez właściwą integrację wiedzy z różnych dziedzin. To powinno stworzyć szanse ponownego odnoszenia sukcesów na miarę budowy piramid lub tuneli kolejowych XIX wieku i doprowadzić do renesansu budownictwa.

Podstawowym celem artykułu jest przedstawienie koncepcji nowego paradygmatu kształcenia i szkolenia w budownictwie, który będzie wykorzystywał „inżynierię wynalazczości” i „edukację sukcesu” w celu przeobrażenia budownictwa w dziedzinę ponownie osiągnącą wielkie sukcesy na miarę przeszłości.

Teoria inteligencji sukcesu [36], znana również pod nazwą „triarchiczna teoria inteligencji”, została rozwinięta przez amerykańskiego psychologa poznawczego *Roberta Sternberga* w latach 80. i 90. ubiegłego wieku. On sam określa inteligencję sukcesu jako umiejętność osiągania sukcesów, zarówno zawodowych, jak i w życiu prywatnym. Sukces jest oczywiście pojęciem względnym i dynamicznym, każdorazowo definiowanym przez daną osobę lub społeczność. Jego miarą dla naukowca może być liczba nagród *Nobla*, wielkość finansowania badań lub indeks *Hirscha*. Miarą sukcesu polskiego budownictwa może być np. liczba patentów lub wartość sprzedanych licencji.

Według *Sternberga* ludzie osiągają sukcesy dzięki wykorzystaniu trzech właściwie wyważonych umiejętności, składowych inteligencji sukcesu, a ludzie, którzy mają jedynie jedną lub dwie takie umiejętności, nawet jeżeli nadzwyczajnie rozwinięte, nigdy nie osiągną sukcesu. *Sternberg* odkrył również, że ludzie osiągający sukcesy w każdym środowisku próbują się najpierw przystosować do niego, później zmienić je lub, gdy i jedno, i drugie jest niemożliwe, zwyczajnie opuścić je. To odkrycie wyjaśnia, dlaczego wielu ludzi osiągających sukcesy zmienia kraje, uczelnie, a nawet zawody w procesie rozwoju.

Zgodnie ze *Sternbergiem*, inteligencja sukcesu jest wypadkową trzech składowych umiejętności, tj. inteligencji praktycznej, inteligencji analitycznej, inteligencji kreatywnej.

Inteligencja praktyczna jest umiejętnością rozwiązywania prostych problemów dnia codziennego. Wymaga ona wykorzystywania zapamiętanych reguł decyzyjnych i heurystyk. Na przykład dla inżyniera budownictwa może to być umiejętność wybrania odpowiedniego przekroju elementu z tablicy do projektowania.

Inteligencja analityczna jest umiejętnością rozwiązywania problemów analitycznych. Wymaga ona umiejętności myślenia dedukcyjnego, niezbędnego na przykład przy analizie sił wewnętrznych w złożonej ramie poddanej kilku kombinacjom obciążeń.

Inteligencja kreatywna jest umiejętnością rozwiązywania problemów twórczych, czyli w budownictwie problemów wynalazczych. Wymaga ona umiejętności myślenia abdukcyjnego, tzn. umiejętności generowania hipotez z wykorzystaniem posiadanej wiedzy; na przykład umiejętności generowania nowych i patentowalnych koncepcji projektowych węzłów, ustrojów nośnych mostów lub konstrukcji budynków wysokich.

Oczywiście wszystkie te trzy pojęcia są względne i dla inżyniera budownictwa mogą być różnie interpretowane, w zależności od sytuacji. Najważniejsze jest to, że *Sternberg* udowadnia na wielu przykładach, że wszystkich umiejętności składających się na inteligencję sukcesu można się nauczyć. Dotyczy to zarówno poszczególnych jednostek, jak i społeczności, co jest szczególnie ważne w kontekście polskiego budownictwa. Istnieją jednostki, które mają te umiejętności wrodzone lub pozyskały je w wyniku wielu lat pracy, ale ogromna większość ludzi musi się ich nauczyć. W tym tkwi odpowiedź na pytanie, dlaczego większość inżynierów na świecie, posiadających jedynie inteligencję praktyczną i analityczną, nie jest zwyczajnie przygotowana do osiągania sukcesów, a to odkrycie może być również przydatne do stworzenia polskiej drogi do sukcesu przez odpowiednią edukację, zwaną przez autora „edukacją sukcesu”.

Inżynieria wynalazczości jest nauką inżynierską, której przedmiotem są procesy projektowania koncepcyjnego, skoncentrowanego na uzyskaniu wynalazczych koncepcji projektowych. Takie koncepcje charakteryzują się pięcioma cechami: są dotychczas nieznane, użyteczne, możliwe do realizacji, zaskakujące i patentowalne.

Współczesna historia inżynierii wynalazczości zaczęła się w Anglii w latach 60. ubiegłego wieku, gdy grupa naukowców i projektantów rozpoczęła studia nad procesem projektowania (por. [18, 22]). W Polsce pionierem w tej dziedzinie jest *Wojciech Gasparski*, założyciel w 1970 r. pracowni metodologii projektowania przy Zakładzie Prakseologii PAN, która rozpoczęła podstawowe badania nad procesami projektowania, głównie z perspektywy prakseologiczno-psychologicznej. W roku 1973 została założona Sekcja Heurystyki w Polskim Towarzystwie Cybernetycznym, której liderem był *Andrzej Góralski*, a autor niniejszego artykułu był współzałożycielem i pierwszym sekretarzem tej Sekcji. Działania Sekcji były szczególnie ważne dla przyszłości inżynierii wynalazczości, ponieważ od początku prac były one interdyscyplinarne (cybernetyka, inżynieria, sztuczna inteligencja, psychologia, matematyka itd.) i skierowane na stworzenie uniwersalnej i transdyscyplinarnej wiedzy o procesach twórczego rozwiązywania problemów i projektowania wynalazczego [28]. W USA w latach 80. ubiegłego wieku w ramach National Science Foundation (NSF) powstał program „Engineering Design”, który spowodował zainteresowanie badaczy procesami projektowania i początkowy rozwój badań w tym obszarze wiedzy. W latach 90. został stworzony program „Design Engineering” w ramach Defense Advanced Research Administration (DARPA), co dodatkowo przyspieszyło i rozszerzyło w USA badania procesów projektowania. W latach 90. autor artykułu rozpoczął nauczanie nowego przedmiotu „Design and Inventive Engineering” na George Mason University, zarówno na poziomie podstawowym, jak również zaawansowanym, dla doktorantów reprezentujących dziedziny: informatykę, nauki systemowe i różne dyscypliny wchodzące w skład inżynierii. Doświadczenia zdobyte w czasie nauczania tego przedmiotu zostały wykorzystane do opublikowania przez autora książki „Inventive Engineering. Knowledge and Skills for Creative Engineers” [5]. Obecnie podstawy projektowania są nauczane w różnej postaci na kilku uczelniach amerykańskich, przykładowo na Carnegie Mellon University, George Mason University, MIT i Stanford. Również w Azji, przykładowo na National University of Taiwan w Tajpej, wykłady na temat inżynierii wynalazczości są prowadzone przez dr. *Po-Jen Shih*. W Polsce podobne wykłady są prowadzone na Politechnice Wrocławskiej przez dr. *Sebastiana Koziołkę*. Obaj uczestniczyli w wykładach autora na George Mason University, ale oczywiście stopniowo rozwinęli własne oryginalne interpretacje inżynierii wynalazczości, odpowiednio zaadaptowane do kultur ich krajów, tak odmiennych od kultury amerykańskiej.

Obszar wiedzy nazwanej inżynierią wynalazczości można podzielić na cztery zasadnicze części, tj. uzupełniającą wiedzę ogólną; system pojęć i terminów; metodologię ogólną; metodykę.

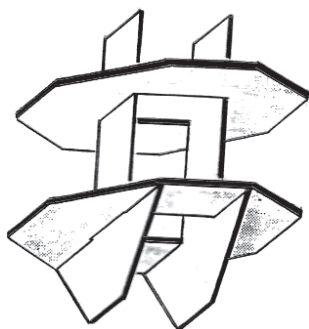
Doświadczenie autora z nauczania inżynierii wynalazczości wskazuje, że pragmatyczne i uproszczone podejście do tej *inżynierii*, czyli nauczanie jedynie metod projektowania wynalazczego, jest niewystarczające i w najlepszym przypadku prowadzi do czysto mechanicznego

i mało skutecznego używania metod. Dlatego przygotowano inżyniera do projektowania wynalazczego wymaga przekazania mu odpowiedniej motywacji oraz wystarczającej uzupełniającej wiedzy ogólnej, która pozwoli zrozumieć projektowanie wynalazcze z różnych perspektyw. Jest tak dlatego, że koncepcyjne projektowanie wynalazcze zasadniczo różni się stopniem złożoności metodologicznej od tradycyjnego projektowania koncepcyjnego, które zazwyczaj sprowadza się do wyboru jednej z doskonale znanych koncepcji projektowych, która będzie następnie wykorzystana w projektowaniu szczegółowym. Takie projektowanie koncepcyjne jest zasadniczo wystarczające w praktyce projektowej, ale jest niewystarczające, gdy jednym z wymagań projektowych jest innowacja rozwiązań lub gdy znane koncepcje projektowe są zwyczajnie niewystarczające do realizacji projektu. Z punktu widzenia budownictwa, jego przyszłość zależy oczywiście od postępu technicznego i technologicznego, a te z kolei są pochodną wprowadzania w życie nowych koncepcji projektowych. Dlatego też ważną częścią inżynierii wynalazczości jest uzupełniająca wiedza ogólna, czyli podstawowa wiedza historyczna, socjologiczna i psychologiczna, niezbędna do holistycznego zrozumienia projektowania wynalazczego. Ogólny zarys inżynierii wynalazczości oraz wiele związanych szczegółowych zagadnień natury teoretycznej i praktycznej, z przykładami zastosowań, przedstawiono w książce [5].

Inżynieria wynalazczości w praktyce

Okoliczności zawodowe kilkakrotnie zmusiły autora artykułu do wykorzystania inżynierii wynalazczości do celów projektowania innowacyjnego. Potwierdza to kilka przedstawionych niżej przykładów.

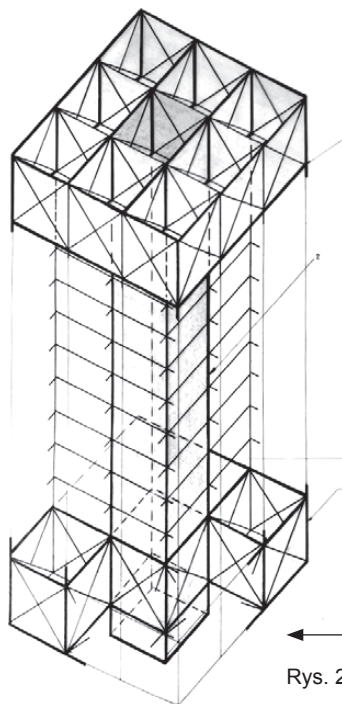
W latach 70. przedsiębiorstwo *Mostostal* ogłosiło konkurs na opracowanie uniwersalnych stalowych systemów konstrukcyjnych do zastosowania w budynkach wysokich o zróżnicowanej wysokości i o przeznaczeniu biurowym lub mieszkalnym. Częścią konkursu było również opracowanie uniwersalnego węzła rygiel – słup w stalowej konstrukcji szkieletowej, który mógłby być zaprojektowany jako sztywny lub przegubowy w zależności od potrzeb. Do rozwiązania tego problemu została wykorzystana analiza morfologiczna w podstawowej wersji manualnej [4, 16, 41]. W wyniku koncepcyjnego projektowania wynalazczego powstało nowe uniwersalne połączenie (rys. 1) w postaci przestrzennego układu tarczowo- płytowych elementów poziomych i pionowych. W węźle sztywnym stosuje się dwa elementy pionowe oraz dwa elementy poziome, które przenoszą momenty zginające z rygli na słup, a w węźle przegubowym – dwa elementy pionowe i jeden element poziomy, który wykorzystuje się jako „stolik” do oparcia rygli. Zaproponowany węzeł został opatentowany w Polsce w roku 1977 [17]. Patent ten nie doczekał się praktycznego wdrożenia, a dopiero w 2011 r. został wykorzystany w USA do celów porównawczych w ramach badań dotyczących zachowania się stalowych ram konstrukcji szkieletowych poddanych wybuchom [40].



Rys. 1. Opatentowany w Polsce uniwersalny węzeł rygiel – słup w konstrukcji szkieletowej

W wyniku przeprowadzonych prac okazało się, że węzeł ma znakomite właściwości pochłaniania i rozpraszania energii w czasie elastoplastycznej pracy konstrukcji szkieletowej poddanej wybuchowi – właściwości porównywalne z opatentowanym węzłem amerykańskim, specyficznym zaprojektowanym na obciążenia związane z wybuchem. Jednocześnie ma znacznie prostsze rozwiązanie, o znacznie mniejszej pracochłonności niż porównywane rozwiązania amerykańskie.

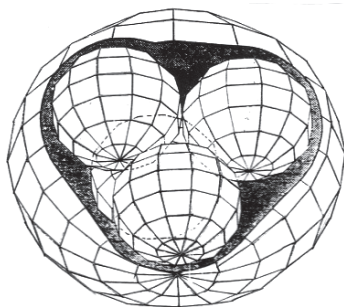
We wczesnych latach 80. autor przebywał w Nigerii, gdzie prowadził prace badawcze w zakresie sztucznej inteligencji w projektowaniu, dotyczące automatycznego projektowania wynalazczego, wykorzystując symulację komputerową analizy morfologicznej [12, 14]. Te prace doprowadziły do stworzenia przez autora programu komputerowego automatycznie generującego koncepcje projektowe. Program ten został wykorzystany do przeprowadzenia wielu eksperymentów projektowych, z których jeden zakończył się wygenerowaniem nieznannej koncepcji projektowej stalowej konstrukcji budynku wysokiego (rys. 2). Koncepcja ta okazała się oryginalna i potencjalnie możliwa do zastosowania w budynkach wysokich w centrach miejskich, gdzie istnieje konieczność „podcięcia” budynków na poziomie parteru w celu stworzenia przestrzeni na chodniki dla pieszych. W tym wypadku konstrukcja budynku wysokiego jest w postaci stalowego trzonu ramowniczowego z dwoma rusztami kratownicowymi, usytuowanymi na szczycie budynku i na poziomie pierwszej kondygnacji. Słupy podpierające stropy są usytuowane pomiędzy rusztami kratownicowymi. W procesie automatycznego koncepcyjnego projektowania wynalazczego zastosowano model matematyczny analizy morfologicznej, a wyniki zostały opublikowane w monografii budynków wysokich [15]. Opracowany w Nigerii program komputerowy do generacji koncepcji projektowych został również wykorzystany w późnych latach 80. w USA w odniesieniu do węzłów w stalowych konstrukcjach przestrzennych. Jego zastosowanie umożliwiło wygenerowanie nowej koncepcji projektowej węzła (rys. 3) opatentowanej w USA i w Kanadzie [10, 11].



Rys. 2. Koncepcja konstrukcji szkieletowej wygenerowana komputerowo

W tym przypadku węzeł ma postać pięciu pustych kul o zróżnicowanej średnicy. W tym węźle jedna „duża kula” ma taką średnicę, że jest możliwe umieszczenie w środku czterech identycznych „małych kul” o odpowiednio mniejszej średnicy. Taki układ jest znacznie lżejszy od pełnej „dużej kuli”, a jednocześnie jego sztywność jest tylko nieznacznie mniejsza, ponieważ umieszczone wewnątrz „małe kule” pełnią rolę wewnętrznych stężeń.

Rys. 3. Opatentowany w USA węzeł przestrzennej konstrukcji stalowej wygenerowany komputerowo

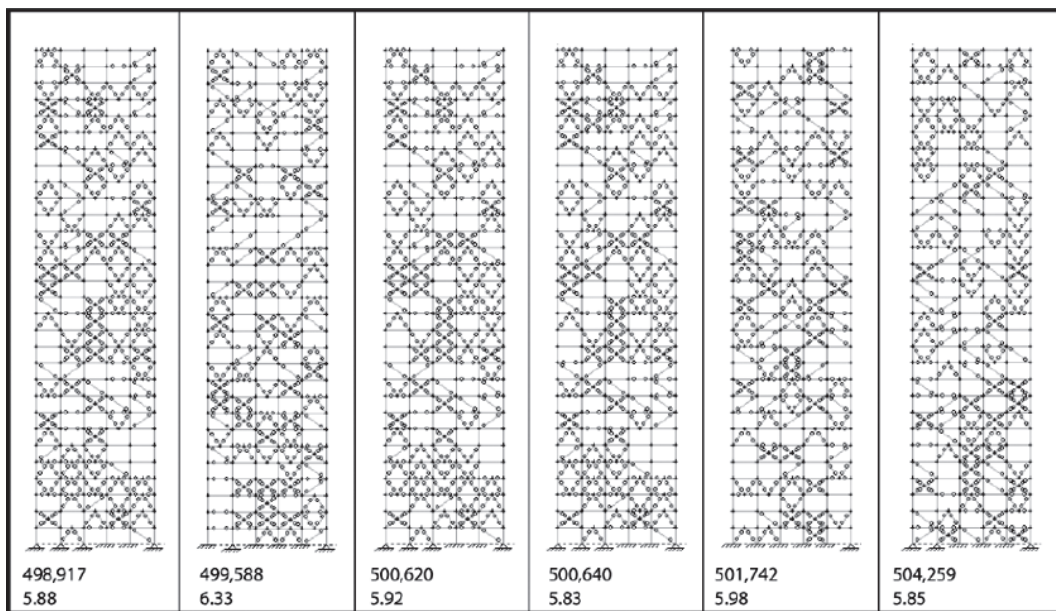


W latach 90. autor prowadził prace badawcze w zakresie automatycznego projektowania, zarówno koncepcyjnego, jak i szczegółowego, ale skoncentrowanego na poszukiwaniu nowych koncepcji projektowych. W tym wypadku do generowania koncepcji projektowych były użyte dwie klasy modeli obliczeniowych wykorzystujących obliczenia ewolucyjne (ang. Evolutionary Computation; por. [19]) oraz obliczenia rozwojowe (ang. Developmental Creativity; por. [26]). Prace te były finansowane przez NASA Langley Research Center.

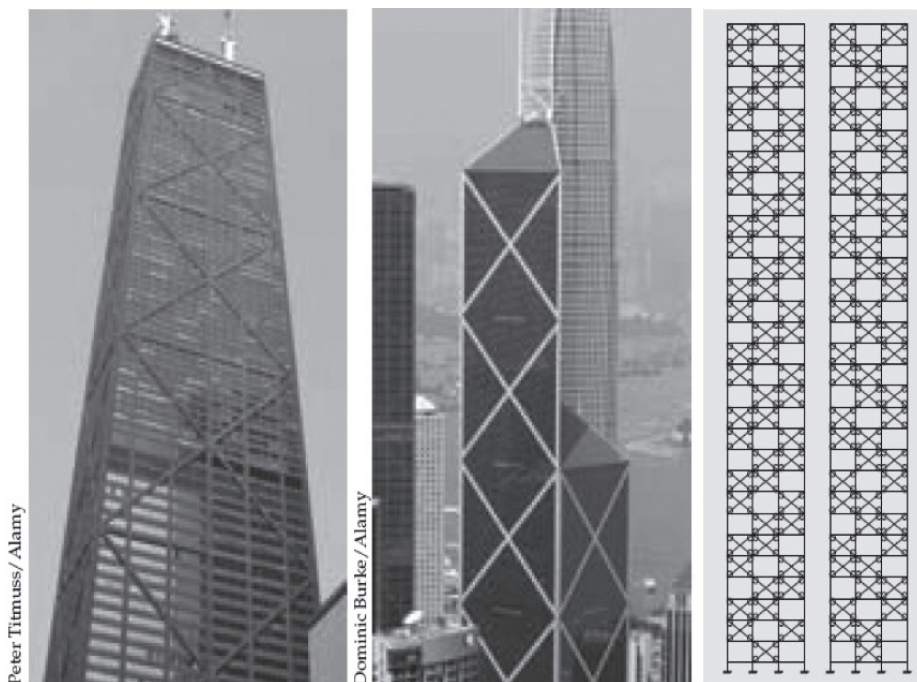
W ramach prac badawczych K. Murawski, stażysta z Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, opracował program komputerowy *Inventor 2000*, przeznaczony do automatycznego projektowania konstrukcji stalowych budynków wysokich (por. [29]). Program ten wykorzystywał obliczenia ewolucyjne do generacji koncepcji projektowych oraz profesjonalny program *SODA* [23] do projektowania szczegółowej konstrukcji stalowych, łącznie z ich optymalizacją. Przykłady koncepcji projektowych wygenerowanych przez *Inventor 2000* pokazano na rys. 4. Wszystkie koncepcje projektowe zostały wygenerowane bez wymagania symetrii konstrukcji. Liczby przy rysunkach poszczególnych koncepcji projektowych oznaczają całkowitą masę konstrukcji w funtach oraz jej maksymalne ugięcia w calach.

W ramach projektu został również przygotowany przez R. Kicingera program komputerowy *Emergent Designer* [27]. Program ten miał podobne zastosowania, jak *Inventor 2000*. W tym przypadku koncepcje projektowe mogły być generowane z wykorzystaniem różnych form obliczeń ewolucyjnych, ale również z użyciem obliczeń rozwojowych opartych na różnych modelach morfogenezy. Dwie z wygenerowanych koncepcji projektowych pokazano na rys. 5 [26]. Na tym rysunku pokazano również nowatorski system stężeń

wiatrowych w postaci tzw. makrokrzyżulców umieszczonych w płaszczyznach ścian zewnętrznych budynku, które wcześniej zastosowano w wieżowcu Hancock Center w Chicago, USA oraz w budynku Bank of China w Hongkongu. Jest to więc przykład komputerowo wygenerowanej koncepcji projektowej uważanej obecnie za jedną z najbardziej zaawansowanych i efektywnych w dziedzinie budynków wysokich, co świadczy o ogromnym potencjale innowacyjnym inżynierii wynalazczości. Integracja wiedzy inżynierskiej z dziedziny budynków wysokich z tą



Rys. 4. Przykłady koncepcji projektowych wygenerowanych algorytmami ewolucyjnymi



Rys. 5. Porównanie dwóch koncepcji projektowych wygenerowanych komputerowo z istniejącymi budynkami – stosując obliczenia generatywne

inżynierią i ze sztuczną inteligencją umożliwiły stworzenie programu *Emergent Designer*.

W roku 2018 autor artykułu opatentował tymczasową barierę drogową, przeznaczoną do zatrzymywania poruszających się pojazdów [3]. Główne zastosowania takiej

bariery to ochrona osób pracujących na drodze lub zabezpieczenie grupy ludzi przed atakiem terrorystycznym poruszającym się pojazdem. Wynalazek został opracowany z wykorzystaniem głównie metody TRIZ (Teorii rozwiązywania problemów wynalazczych) [1, 13], a w szczególności zasady wykorzystania dostępnych środków, w tym przypadku – ciężaru poruszającego się pojazdu. Bariera ma postać układu elementów pionowych i poziomych połączonych przegubowo i przez ściągi (rys. 6). Pod spodem elementów poziomych znajdują się kolce lub materiał o bardzo wysokim współczynniku tarcia, na przykład guma używana do produkcji opon stosowanych w samochodach wyścigowych. W czasie najazdu pojazdu na barierę jego działanie przenosi się na elementy poziome, zwiększając ich docisk do nawierzchni. To powoduje następnie złożony proces pochłaniania i rozpraszania energii kinetycznej pojazdu, a istotną częścią tego procesu jest rozpraszanie energii związane z niszczeniem nawierzchni.



Rys. 6. Opatentowana tymczasowa bariera drogowa

Obecnie (listopad 2019 r.) prace rozwojowo-wdrożeniowe są prowadzone w Polsce przez MetalERG w współpracy z Politechniką Wrocławską. Zostały już przygotowane prototypy i niedługo zaczną się eksperymenty prowadzące do uzyskania atestów. Istnieje realna możliwość wprowadzenia bariery na rynek polski i europejski oraz eksportu do USA.

Po-Jen Shih jest jednym z pierwszych badaczy inżynierii wynalazczości, który zapoznał się z tą nauką w czasie stażu na George Mason University, a obecnie kontynuuje prace badawcze i wynalazcze na National University of Taiwan w Tajpej, Tajwan. Jego obecne prace są interdyscyplinarne, wykorzystujące wiedzę z okulistyki i mechaniki (w zakresie wykorzystania fal i wibracji) w celach diagnostycznych. Badania te doprowadziły do trzech wynalazków opatentowanych w USA [33 ÷ 35] oraz do opracowania kilku metod diagnostycznych w okulistyce [30÷32].

Innym przykładem przemysłowych zastosowań inżynierii wynalazczości są prace Kalu Uduma, obecnie zajmującego stanowisko Senior Product Engineer w firmie samochodowej Chrysler. Doktor Uduma dokonał trzech natychmiast wdrożonych opatentowanych wynalazków w zakresie pochłaniania energii zderzenia pojazdów, przyczyniając się do zwiększenia bezpieczeństwa ich użytkowników [37÷39].

W czasie wieloletniego nauczania przez autora artykułu inżynierii wynalazczości na poziomie licencjatu, studenci pracowali w zespołach nad rozwiązywaniem rzeczywistych problemów wynalazczych dostarczanych przez U.S. Army Corps of Engineers lub Chrysler Corporation. Wyniki ich pracy były zawsze oceniane przez panel ekspertów. W przypadku zainteresowania czytelników, autor może dostarczyć więcej informacji.

Edukacja sukcesu

W czasie niemal 50 lat kariery zawodowej autor artykułu zdobył doświadczenie dydaktyczne w Polsce, Nigerii, USA i Tajwanie. W USA był przez wiele lat aktywny w pracach Body of Knowledge Committee, American Society of Civil

Engineers (ASCE), zajmującego się ustalaniem niezbędnej wiedzy dla inżynierów budownictwa. ASCE co kilka lat wydaje „Civil engineering body of knowledge for the 21st century” [2], uważane za podstawę programową nauczania budownictwa w USA i w wielu innych krajach, szczególnie w Azji. Autor artykułu jest też aktywnym badaczem jako członek Center for Intelligent Agents i Center for the Advancement of Well-Being na uniwersytecie George Mason. To interdyscyplinarne doświadczenie autora zostało wykorzystane do przygotowania transdyscyplinarnej koncepcji kształcenia inżynierów, nazwanej „edukacją sukcesu”, której podstawy zostały przedstawione w książce „Edukacja sukcesu. Jak kształcić kreatywnych inżynierów”, opublikowanej w USA, Polsce i Chinach [6, 8, 9].

Celem tradycyjnego kształcenia inżynierów jest przekazanie im niezbędnego zakresu wiedzy praktycznej i analitycznej oraz związanych z tym umiejętności. Z punktu widzenia teorii inteligencji sukcesu te umiejętności to głównie inteligencja praktyczna i analityczna. Oznacza to, że kształcenie inżynierów jest skoncentrowane na przygotowywaniu ich do rozwiązywania problemów praktycznych i analitycznych, które wymagają głównie wykorzystania pamięci i myślenia analitycznego, dedukcyjnego. W dużym uproszczeniu to lewa półkula mózgu specjalizuje się w myśleniu dedukcyjnym, a prawa – w myśleniu kreatywnym, abdukcyjnym, które generuje nowe wynalazki. To obrazowo oznacza (rys. 7), że w czasie tradycyjnego kształcenia



Rys. 7. Mózg „tradycyjnego inżyniera”

Cel edukacji sukcesu jest inny niż w przypadku tradycyjnego kształcenia inżynierów; jest to przygotowanie inżynierów do osiągania sukcesów zawodowych. Oznacza to zasadnicze różnice, szczególnie ważne w przypadku kształcenia polskich inżynierów budownictwa, którzy powinni być zdolni do osiągania sukcesów kształtujących społeczeństwo i ich przyszłość. Takich inżynierów można nazwać „polskimi inżynierami sukcesu”, ponieważ oprócz wiedzy i umiejętności tradycyjnych inżynierów będą oni również mieli umiejętność osiągania sukcesów, czyli inteligencję sukcesu. Obrazowo można powiedzieć, że celem jest wykształcenie inżynierów wykorzystujących potęgę całego mózgu, tzn. posiadających obie półkule rozwinięte w podobnym stopniu.

Podstawowe założenia edukacji sukcesu to:

- teoria inteligencji sukcesu jest koncepcyjną i naukową podstawą;
- inteligencja sukcesu może być nauczona;
- istnienie różnych stylów myślenia jest uznawane i uwzględniane w nauczaniu;
- nauczanie jest procesem złożonym z wykładów, zajęć grupowych i indywidualnych o charakterze teoretycznym i praktycznym;
- szczególne miejsce w nauczaniu należy do inżynierii wynalazczości, która jest nauczana na różnych poziomach w czasie całych studiów;

– nauczanie jest realizowane w środowisku inspirującym i wspomagającym nauczanie inteligencji sukcesu, nazwanym „szkołą sukcesu”;

– miarą efektywności nauczania są zawodowe sukcesy absolwentów.

Porównanie edukacji sukcesu z dotychczas szeroko używanym w nauczaniu tzw. podejściem naukowym oraz z modelem renesansu mistrz – czeladnik przedstawiono w tablicy. Z punktu widzenia teorii inteligencji sukcesu jedynie edukacja sukcesu zawiera nauczanie wszystkich składników inteligencji sukcesu. Model mistrz – czeladnik, czyli nauczanie z przykładów (indukcyjne pozyskiwanie wiedzy), jest efektywny w nauczaniu inteligencji twórczej, a podejście naukowe, dedukcyjne, jest znakomite w nauczaniu inteligencji analitycznej, ale oba te paradygmaty są niekompletne z punktu widzenia teorii inteligencji sukcesu. Istotą edukacji sukcesu jest przekształcenie maturzystów w inżynierów sukcesu. Ta transformacja wymaga oczywiście pozyskania przez studentów wiedzy i umiejętności wymaganych dla tradycyjnych inżynierów, ale również jest konieczne nauczenie inteligencji kreatywnej, tzn. jej specyficznej wiedzy i umiejętności.

Porównanie trzech paradygmatów nauczania

Paradygmat nauczania	Inteligencja praktyczna	Inteligencja analityczna	Inteligencja kreatywna
Mistrz – czeladnik	tak		tak
Podejście naukowe	tak	tak	
Edukacja sukcesu	tak	tak	tak

Tradycyjnej wiedzy inżynierskiej i umiejętności można nauczać w każdych warunkach, wykorzystując wykładowców będących naukowcami, praktykującymi projektantami lub pracownikami wykonawstwa. Takie tradycyjne podejście jest jednak niewystarczające do nauczania inteligencji kreatywnej; do tego potrzebna jest szkoła sukcesu, czyli takie środowisko, zarówno intelektualne, jak i fizyczne, w którym wystąpi efekt medyceuszy [25]. Szkoła sukcesu to celowo stworzone środowisko składające się z odpowiednio dobranych instruktorów nauczających w otoczeniu fizycznym, które działa inspirująco zarówno na instruktorów, jak i na studentów. Dlatego nie jest przypadkiem, że najlepsze uczelnie na świecie, na przykład Stanford University w USA, celowo budują bardzo kosztowne nowe obiekty akademickie, wypełnione kolorami, zielenią, muzyką i sztuką. Chiny są krajem myślącym strategicznie o przyszłości, innowacyjności i kształceniu inżynierów i dlatego prowadzą od kilku lat systematyczne prace badawcze na temat wpływu otoczenia fizycznego uczelni na kształcenie inżynierów (por. [24]). Szkoła powinna być w postaci kompleksu urbanistycznego, czyli kilku budynków o różnym przeznaczeniu, które są usytuowane dookoła centralnie położonego placu i mają razem swoją terytorialną osobowość. Takie rozwiązanie stwarza przestrzeń używaną przez wszystkich członków społeczności, którzy są niemal zmuszeni często się spotykać, co prowadzi do integracji danej społeczności i sprzyja wytworzeniu efektu medyceuszy. Poszczególne budynki, np. administracja, laboratoria, komputerownia, raj wynalazców, powinny być również zaprojektowane w formie odpowiadającej ich funkcji. Szczególnie ważne są wnętrza budynków, które powinny być zaprojektowane zgodnie z zasadami tworzenia „kreatywnych przestrzeni.” Powinny one zawierać wiele ogólnodostępnej przestrzeni, z wnętrzami wypełnionymi jasnymi kolorami i różnego rodzaju sztuką, ale również z wieloma roślinami, a nawet powinna zostać

wprowadzona muzyka. Ostatecznym celem jest przecież stworzenie odpowiedniego klimatu szkoły, wynikającego z działania wielu pozornie nieważnych elementów, które dopiero razem dają oczekiwany efekt.

W przypadku szkoły sukcesu szczególnie ważny jest dobór nauczycieli akademickich. Oczywiście powinni oni dysponować wystarczającą wiedzą i umiejętnościami, ale powinni być też zatrudnieni zgodnie z zasadą „różnorodności i równowagi” w celu stworzenia odpowiedniej kadry [6]. Szeroko rozumiane różnicowanie kadry jest konieczne do stworzenia sytuacji, w której studenci mają szansę zrozumienia inżynierii z wielu perspektyw. Przykładowo, może to być zrozumienie z perspektywy naukowca wizjonera, prowadzącego ezoteryczne badania podstawowe, ale również z perspektywy nauczyciela akademickiego skoncentrowanego na współpracy z przemysłem i wykonującego prace rozwojowe, a nawet wdrożeniowe. Szczególnie istotne jest stworzenie zespołu nauczającego, którego członkowie mają różnorodne pochodzenie kulturowe. To gwarantuje nauczanie w różnym kontekście kulturowym, co zmusza studentów do nauczania się umiejętności zmiany kontekstu w procesie pozyskiwania wiedzy. Ta umiejętność jest również kluczowa w wynalazczości, kiedy wykorzystuje się wiedzę interdyscyplinarną pochodzącą z różnych dziedzin, czyli o zróżnicowanym kontekście.

Stworzenie zróżnicowania kulturowego kadry w USA jest stosunkowo proste, ponieważ o pozycje akademickie ubiegają się kandydaci z całego świata, absolwenci wielu uczelni i obowiązuje zasada niezatrudniania własnych absolwentów. W Polsce uczelnie zatrudniają głównie własnych absolwentów, co prowadzi do wielu niekorzystnych zjawisk np. do zjawiska „bunkra” i jest niewystarczające z perspektywy innowacyjności i kształcenia inżynierów sukcesu. Jest to zresztą istotną przyczyną tego, że uczelnie polskie wymagają wprowadzenia zasadniczych zmian.

Szkoła sukcesu nigdy nie spełni oczekiwań, jeżeli będzie oceniana w sposób tradycyjny, tzn. na podstawie jedynie liczby absolwentów. Ponieważ celem szkoły jest kształcenie inżynierów sukcesu, powinna ona być oceniana na podstawie różnych miar sukcesu jej absolwentów. Ta ocena powinna być względna, tzn. w stosunku do porównywalnej wielkością tradycyjnej szkoły inżynierskiej. Przykładowo, jednym z kryteriów oceny może być liczba wynalazków dokonanych przez absolwentów w założonym okresie czasu w stosunku do takiej liczby dotyczącej porównawczej szkoły. Znacznie więcej szczegółów na temat szkoły sukcesu podano w pracy [6].

Budownictwo w XXI wieku

Przyszłość budownictwa zaczyna się dzisiaj. Jest ona kształtowana przez całą społeczność inżynierów lądowych – od badaczy i nauczycieli akademickich począwszy, przez projektantów i administratorów, aż do pracowników wykonawstwa. Każda zmiana zaczyna się od wizji, a w naszym przypadku wizja jest prosta i może być przedstawiona jako przyszła misja polskiego budownictwa, czyli osiągnięcie sukcesów w czterech obszarach:

– zaspokajanie potrzeb społeczeństwa w zakresie fizycznej infrastruktury z jednoczesnym spełnieniem wszystkich wymagań bezpieczeństwa i odnawialności środków;

– przyspieszonego wzrostu dochodu narodowego przez innowacyjność;

– stałego postępu technicznego mierzonego liczbą wynalazków;

– tworzenia niepowtarzalnych i inspirujących obiektów będących demonstracją wiodącej roli budownictwa w społeczeństwie.

Osiąganie sukcesów we wszystkich obszarach wymaga nowego rodzaju polskiego inżyniera lądowego, który będzie miał wiedzę i umiejętności tradycyjnego inżyniera, ale również – inteligencję sukcesu, czyli będzie inżynierem sukcesu. Praktycznie oznacza to, że inżynier będzie miał wiedzę z obszaru nazwanego inżynierią wynalazczości z odpowiednimi umiejętnościami.

Należy wyraźnie rozróżnić kształcenie przyszłych inżynierów lądowych i szkolenie już praktykujących inżynierów. W pierwszym przypadku studenci powinni być kształceni już teraz w szkołach sukcesu. Znacznie trudniejszym wyzwaniem jest przekształcenie tradycyjnych, praktykujących inżynierów w inżynierów sukcesu, zakładając oczywiście, że jest to możliwe ze względu na ogromną negatywną rolę „wektora bezwładności psychologicznej” [1, 6].

Prawdopodobnie najlepszym rozwiązaniem całościowym jest wykorzystanie już istniejącego programu „Krajowy system innowacji”, który został przygotowany przez Krajową Izbę Gospodarczą (por. [7]). Celem wdrożenia programu jest przyspieszenie rozwoju innowacyjności w Polsce przez stworzenie systemu nauczania i szkolenia w zakresie inżynierii innowacyjności, tzn. zarówno w obszarze inżynierii wynalazczości, jak i w obszarze inżynierii przedsiębiorczości. W ramach wdrażania programu przewidziano kilka ścieżek, łącznie z nauczaniem akademickim i szkoleniami certyfikowanymi dla inżynierów. Program ma charakter systemowy i przewiduje również szereg działań dodatkowych, które będą miały wpływ na procesy nauczania i szkolenia. Przykładowo, zaproponowano realną ochronę własności intelektualnej w odniesieniu do materiałów nauczania i szkoleniowych, budowę krajowej świadomości innowacyjności przez różnorakie działania propagujące inżynierów i wynalazców jako nowych „bohaterów narodowych” oraz rozszerzenie koncepcji parków technologicznych do koncepcji wiosek innowacyjnych projektowanych z wykorzystaniem zasad tworzenia „przestrzeni kreatywnych”.

Program „Krajowy system innowacji” powinien zostać odpowiednio zaadaptowany do potrzeb budownictwa i dostosowany do kultury środowiska inżynierów lądowych. Jego realizacja może być trudna, kosztowna i długotrwała. Niestety, nie istnieje jednak żadne inne rozwiązanie, jeżeli rzeczywiście zamierza się przekształcić budownictwo z obecnego tradycyjnego w budownictwo XXI wieku, zdolne do osiągnięcia sukcesów przez innowacyjność.

* * *

Autor serdecznie dziękuje Profesorowi *Marianowi Giżejowskiemu* za zachęcenie do napisania artykułu, a także za pomoc merytoryczną i językową w przygotowaniu go do druku.

PIŚMIENNICTWO

- [1] *Altshuller G.*: And suddenly the inventor appeared, TRIZ, the theory of inventive problem solving. Technical Innovation Center, US, Worcester, Massachusetts, 1996.
- [2] *Anderson R.* et al.: Civil engineering body of knowledge for the 21st century, Second Edition. American Society of Civil Engineers, US, Reston 2008.
- [3] *Arciszewski T.*: Vehicle Barrier. US Patent nr US 9,951,488 B2. 2018.
- [4] *Arciszewski T.*: Morphological analysis in inventive engineering, Special Section on General Morphological Analysis: Modeling, Forecasting, Innovation, Editors: *Ritchey T., Arciszewski T.* „Journal of Technological Forecasting and Social Change”, Vol. 126, No 1/2018.
- [5] *Arciszewski T.*: Inventive engineering. Knowledge and skills for creative engineers. Taylor and Francis, US, Boca Raton 2016.

- [6] *Arciszewski T.*: Edukacja sukcesu. Jak kształcić kreatywnych inżynierów. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2013.
- [7] *Arciszewski T., Jednoralski M.*: Krajowy system innowacji. Krajowa Izba Handlowa, Warszawa 2013.
- [8] *Arciszewski T.*: Successful education. How to educate creative engineers (in Chinese). China Machine Press, China, Beijing 2012.
- [9] *Arciszewski T.*: Successful education. How to educate creative engineers. Successful Education LLC, US, Fairfax 2009.
- [10] *Arciszewski T.*: Joint for Space Frame. Canada, Patent nr 1,291,626, 1991.
- [11] *Arciszewski T.*: Joint for Space Frame. USA, Patent nr 4,866,902, 1989.
- [12] *Arciszewski T.*: Stochastic form optimization. „Journal of Engineering Optimization”, Vol. 13, No 1/1988.
- [13] *Arciszewski T.*: ARIZ 77 – an innovative design method. „Journal of Design Methods and Theories”, Vol. 22, No 2/1988.
- [14] *Arciszewski T.*: Mathematical modelling of morphological analysis. „International Journal of Mathematical Modelling”, Vol. 8, No 1/1987.
- [15] *Arciszewski T.*: Decision making parameters and their computer-aided analysis for wind bracings in steel skeleton structures. [In:] „Advances in Tall Buildings”, Van Nostrand Publishing Company, US, New York 1985.
- [16] *Arciszewski T., Kisielnicka J.*: Analiza morfologiczna. [W:] „Problem, metoda, solution. Techniki twórczego myślenia”, część I. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1977.
- [17] *Arciszewski T., Pancewicz Z.*: Nowy rodzaj połączenia w konstrukcjach szkieletowych. Polska, Patent nr 171367, 1976.
- [18] *Cross N.*: Developing design as a discipline. „Journal of Engineering Design”, Vol. 29, No 2/2018.
- [19] *De Jong K.*: Evolutionary computation: a unified approach. MIT Press, Boston 2005.
- [20] *Fredrickson B.L.*: Positivity. Three Rivers Press, New York 2009.
- [21] *Gelb M.J.*: How to Think like Leonardo da Vinci. Random House. New York 1998.
- [22] *Gregory A.S.*: The Design Method, Springer Verlag, New York 1966.
- [23] *Grierson D.E., Cameron, G.E.*: SODA-Structural Optimization Design and Analysis. Release 3.0, User Manual, Waterloo Engineering Software. Canada, Waterloo 1990.
- [24] *Hou Y., Ji L.*: Stimulating design creativity by public places in academic buildings. International Journal “Structure”, 2011.
- [25] *Johansson F.*: The Medici Effect. Harvard Business School Press, Cambridge 2004.
- [26] *Kicinger R., Arciszewski T.*: Breeding better buildings. Engineers design improved structures by borrowing from genetics. „American Scientist”, No 6/2007.
- [27] *Kicinger R., Arciszewski T., De Jong K.A.*: Emergent designer: an integrated research and design support tool based on models of complex systems. „International Journal of IT in Architecture, Engineering and Construction”, No 2/2005.
- [28] *Kisielnicka J., Arciszewski T.*: Analiza morfologiczna i algorytmy quasi-heurystyczne. Proceedings of 1st Conference on Heuristic Methods, Warsaw 1974.
- [29] *Murawski K., Arciszewski T., De Jong K.A.*: Evolutionary computation in structural design. „Journal of Engineering with computers”, Vol. 16, 2000.
- [30] *Shih P., Wang I., Cai W., Yen J.*: Biomechanical simulation of stress concentration and intraocular pressure in corneas subjected to myopic refractive surgical procedures. Scientific Reports, 7: 13906; DOI:10.1038/s41598-017-14293-0. 2017.
- [31] *Shih P., Guo Y.*: Resonance frequency of fluid-filled and prestressed spherical shell-A model of the human eyeball. „J. Acoust.Soc.Am.”, Vol. 139, No 4/2016.
- [32] *Shih P., Cao H., Huang C., Wang I., Shih W., Yen J.*: A corneal elastic dynamic model derived from Scheimpflug imaging technology. „Ophthalmic & Physiological Optics”, Vol. 35, No 6/2015.
- [33] *Shih P.*: Acoustic wave intraocular pressure detecting device and method thereof. US patent nr US 10194886 B2, 2019.
- [34] *Shih P.*: Corneal dynamic model algorithm and system using the same. US patent nr US 10,394, 928 B2, 2016.
- [35] *Shih P.*: Corneal Young's modulus algorithm and system using the same. US patent nr US 10332636B2, 2016.
- [36] *Sternberg R.J.*: Successful intelligence. Simon & Shuster, 1996.
- [37] *Uduma K.*: Method and apparatus for absorbing crash impact energy: a pillar assembly for motor vehicles includes a frame portion, an interior trim panel attached to one of the frame portions and the interior trim panel. US Patent nr US 6199907B1, 2001.
- [38] *Uduma K.*: Side Impact Bolster – A Deployable Side Door Trim energy-management device for occupant protection during side impact events – barrier and pole. The energy-management device is designed to be part of a side door trim panel. US patent nr US 0152849A1, 2008.
- [39] *Uduma K.*: Vehicular Crash Impact Sensing Device. US patent nr US 710439US1, 2017.
- [40] *Urgessa G.S., Arciszewski T.*: Blast Response comparison of multiple steel frame connections. „Journal of Finite Elements in Analysis and Design”, Elsevier, Vol. 47, No 6/2011.
- [41] *Zwicky F.*: The morphological method of analysis and construction. Courant, Anniversary Volume, Interscience Publishers, New York 1948.