

prof. dr hab. inż. Lech Czarnecki<sup>1)</sup>

# Kształtowanie naukowych podstaw rozwoju budownictwa

*Shaping the scientific basis for the development of construction*

DOI: 10.15199/33.2015.11.01

**Streszczenie.** W obszarze budownictwa nauka i inżynieria nawzajem się przenikają. Dzieła inżynierskie o wielkich gabarytach, decydujące o bezpieczeństwie setek użytkowników i trwałości dziesiątek lat, muszą mieć podstawy naukowe. Zestawienie działań budownictwa *versus* wymagania podstawowe pozwala wyznaczyć matrycę nauki budownictwo. Definiowanie użyteczności budowlanej w kategoriach cech wyrobu, to ciągle poszukiwanie relacji modelu materiałowego i modelu użyteczności. Fascynujące badania wyznaczają kierunki badań, takie jak m.in. trwałość, diagnostyka, wymiar zainteresowań a złożoność, nanotechnologia, zrównoważony rozwój, symulacje komputerowe a wynik eksperymentu. Artykuł powstał w związku z 70-leciem działalności Instytutu Techniki Budowlanej.

**Słowa kluczowe:** dyscyplina naukowa budownictwo, inżynieria lądowa, matryca nauki budownictwo, użyteczność budowlana, kryteria użyteczności, metody badań, trwałość, diagnostyka, nanotechnologia, zrównoważony rozwój, symulacje komputerowe.

J ubileusz działalności każdej instytucji skłania do refleksji nad wyzwaniami, jakie stawia dziedzina, w której przyszło jej działać. Dotyczy to też oczywiście Instytutu Techniki Budowlanej (ITB), który w tym roku obchodzi 70 lat swego działania. W obszarze osiągnięć inżynierskich łatwiej się pokusić o mierzalny wymiar dorobku Instytutu jako instytucjonalnego eksperta. Natomiast w obszarze dyscypliny naukowej budownictwo – należałoby się dopatrywać działań, które **prof. W. Radomski** [1] określa jako *ukierunkowanie na odkrywanie nowego i stosowanie, udoskonalanie lub zwiększanie skali i zakresu zastosowań znanego*. Odpowiedź z konieczności będzie nieostra. Prof. W. Radomski często podkreśla, że *Inżynieria Lądowa nie odkrywa praw natury, lecz twórczo je stosuje*. Należy też dodać, że w dyscyplinie naukowej budownictwo, nauka i inżynieria przenikają się i nieraz trudno wyznaczyć linię demarkacyjną. Powstającym dziełom inżynierskim o wielkich gabarytach, decydujących o bezpieczeństwie setek użytkowników i projektowanej trwałości liczącej dziesiątki lat musi towarzyszyć przeświadczenie, że są oparte na podstawach naukowych. Instytut Techniki Budowlanej w współkształtowaniu tych podstaw naukowych uczestniczy wraz z uczelniami wyższymi i innymi instytutami w kraju i na świecie. Stanowi to również wypełnienie postanowień legislacyjnych, ustawowych i statutowych, wymieniających wśród zadań Instytutu m.in. *opracowywanie ocen dotyczących stanu dziedziny nauki lub techniki*. Ponadto, takie są oczekiwania spo-

**Abstract.** Within the area of construction the science and engineering intermingle. Structures of large dimensions which determine the safety of hundreds of users and are designed on long-term durability have to be related to the fundamentals of science. To correlate the civil engineering departments versus the fundamental requirements allows to create the matrix of the construction discipline. To define the building utility still means to look for an outcome of a relation between material and performance models. Whenever possible requirements should be stated in terms of performance based upon test results for service conditions, rather than specific materials. Scientific fascinations generate the areas of the research: durability, diagnostic, interest dimension versus complexity, nanotechnology, sustainability, computer simulations versus the outcome of experiments. The article has been written with reference to the 70th anniversary of the Building Research Institute, ITB.

**Keywords:** scientific discipline construction, civil engineering, matrix of construction science, construction performance, performance criteria, utility criterion, methodology of research, durability, diagnostics, nanotechnology, sustainability, computer simulations.

łeczne [1], dotyczące zarówno odczytywania potencjalnych kierunków rozwoju dziedziny, jak i ich współkształtowania. Oddziaływanie to w przypadku ITB ma nie tylko charakter bezpośredni przez publikacje, wydawnictwa, w tym o charakterze wytycznych i zaleceń, promowanie doktoratów [3], ale także przez formułowanie ocen technicznych, czyli działalność aprobacyjną i certyfikacyjną, która wyznacza akceptowalny poziom rozwiązań technicznych, przyczyniając się do rozwoju techniki budowlanej.

## Matryca dyscypliny naukowej budownictwo










Budownictwo jest ze swej istoty wieloaspektowe. Zestawienie 10 dziedzin *versus* 7 wymagań podstawowych można przyjąć za archetyp nauki o budownictwie (tabela). Ze względu na funkcje, jakie spełniają i odpowiedzialność, jaką mają obiekty budowlane, od czasów Hammurabiego były formułowane wymagania podstawowe w budownictwie. W czasach Chrystusa w sposób bezpośredni sformułował je Witruwiusz w swoich 10 księgach, jako: **użyteczność-trwałość-piękno**. W matrycy (tabela) zastosowano wymagania sformułowane wg Rozporządzenia Komisji Europejskiej [4]. Na wielu istotnych polach Instytut Techniki Budowlanej jest aktywny; na kilku zyskał pozycję lidera.

## Definiowanie użyteczności budowlanej

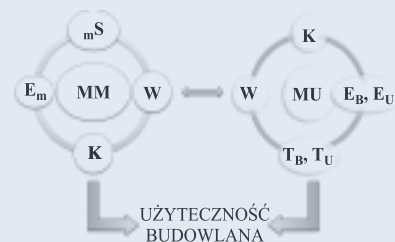
Głównym zadaniem naukowym w działalności Instytutu jest nieustające definiowanie użyteczności budowlanej (*building performance*) w sposób odpowiadający współczesnemu stanowi wiedzy i techniki. Oznacza to permanentne po-

<sup>1)</sup> Instytut Techniki Budowlanej, Sekretarz Naukowy; e-mail: l.czarnecki@itb.pl

## Archetyp nauki o budownictwie Archetype of the science of construction

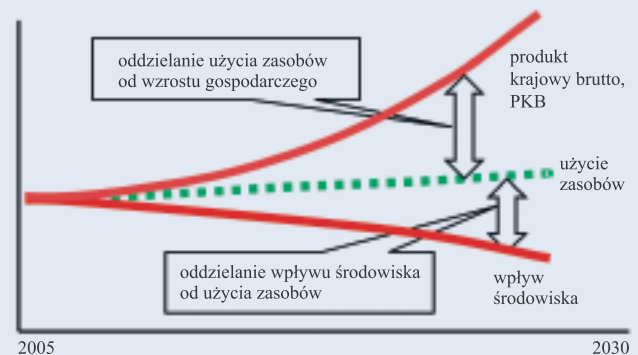
Sekcje Podstawowe wymagania	Geotechnika/ fundamen- towanie	Mechanika konstrukcji i materiałów	Inżynieria materiałów budowlanych	Fizyka budowli	Konstrukcje budowlane i inżynierskie	Inżynieria sanitarna	Inżynieria bezpie- czeństwa pożarowego	Inżynieria oddziaływań środowis- kowych	Inżynieria przedsię- wzięć bu- dowlanych	Inżynieria komuni- kacyjna
Nośność i stateczność	 Instytut Techniki Budowlanej									
Higiena i zdrowie, środowisko	 Instytut Techniki Budowlanej									
Bezie- czeństwo użytkowania	 Instytut Techniki Budowlanej									
Bezie- czeństwo pożarowe							 Instytut Techniki Budowlanej			
Ochrona przed hałasem			 Instytut Techniki Budowlanej							
Oszczędność energii			 Instytut Techniki Budowlanej					 Instytut Techniki Budowlanej		
Zrównoważone wykorzystanie zasobów	 Instytut Techniki Budowlanej									
Trwałość	 Instytut Techniki Budowlanej									

szukiwanie prawdziwego [5] rozwiązania – relacji dwóch odpowiadających sobie modeli [6]: modelu materiałowego i modelu użytkowania, czyli zależności: właściwości-wymagania (oddziaływania), co pokazano na rysunku 1. Rozwiązanie powinno się zawierać w ramach E<sup>3</sup> (Energia × Ekologia × Ekonomia), tzn. w granicach wyznaczonych przez minimum zużycia energii w ciągu całego cyklu od „kołyski po grób”, minimum oddziaływania na środowisko, racjonalność ekonomiczną przy zapewnieniu funkcjonalności i komfortu użytkowania oraz spełnianiu wymagań podstawowych (tabela). Innymi słowy rozwiązanie musi odpowiadać [7] wymaganiom zrównoważonego rozwoju (rysunek 2). Argumentacja ta w 2015 r. została wzmocniona transcendentnymi rozważaniami. Stolica Apostolska wydała encyklikę „W trosce o wspólny dom” (18.06.2015 r.), w której podnosi się konieczność nowego dialogu o kształ-



**Rys. 1. Modele definiujące użyteczność budowlaną:** MM – Model Materiałowy: *m* – mikrostruktura, *E<sub>m</sub>* – energia pozyskania, *K* – komponenty, *W* – właściwości; MU – Model Użytkowania: *W* – wymagania, *K* – konstrukcja, *E<sub>B</sub>* – energia wznoszenia, *E<sub>U</sub>* – energia użytkowania, *T<sub>B</sub>* – technologia wznoszenia, *T<sub>U</sub>* – technologia użytkowania

*Fig. 1. Models that define the performance of construction: MM – Material Model: *m* – microstructure, *E<sub>m</sub>* – energy acquisition, *K* – components, *W* – properties, MU – Performance Model, *W* – requirements, *K* – structure, *E<sub>B</sub>* – energy of construction, *E<sub>U</sub>* – energy of exploitation, *T<sub>B</sub>* – construction technology, *T<sub>U</sub>* – technology of using*



**Rys. 2. Ideowe przedstawienie zrównoważonego rozwoju:** zapewnienie wzrostu PKB (udział budownictwa >10%); tylko niewielki wzrost zużycia zasobów; zmniejszenie oddziaływania na środowisko. Wzorowane wg Illomaki [8]

*Fig. 2. Idealistic representation of sustainable development: ensuring growth of PKB (participation of construction >10%); only a slight increase in the use of resources; reduced environmental impact. Inspired by Illomaki [8]*

towaniu przyszłości naszej planety i zalecenie unikania grzechu ekologicznego. Ważne są tu dwa zasadnicze założenia: nadrzędność wymagania użyteczności oraz minimalizacja cech kryterialnych (rysunek 1) [8].

Rozwiązanie materiałowe powinno być formułowane w kategoriach cech wyrobu (funkcjonalność i estetyka), a nie jego składników, czyli – jaki?, ale nie, z czego? Przyświeca temu 90-letnia, wyprzedzająca działalność Instytutu, idea zaczerpnięta z US Building Code, 1925: *Wszędzie, gdzie to możliwe, wymagania powinny być formułowane w kategoriach użyteczności, opartych na wynikach badań odniesionych do warun-*

ków użytkowania, a nie w kategoriach materiałowych odniesionych do składników i metody wytwarzania. W przeciwnym razie nowe materiały lub nowe systemy materiałowe (nowe zestawy materiałów znanych), które mogłyby spełniać wymagania techniczne i są zadowalające pod względem ekonomicznym, będą napotykały bariery hamujące postęp techniki.

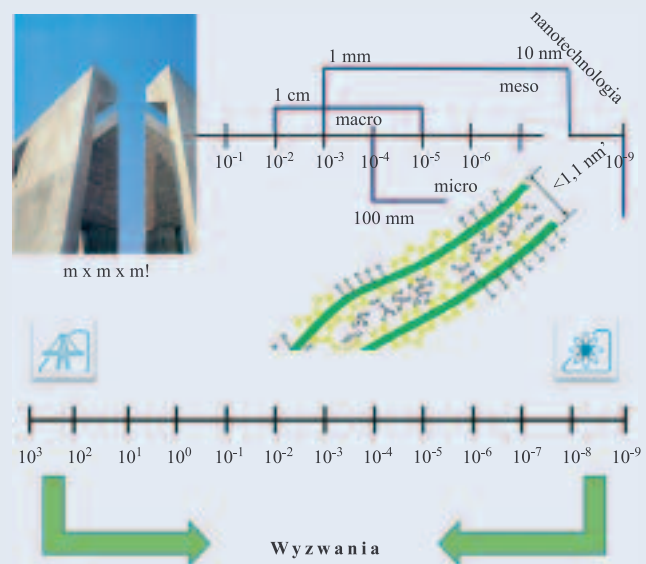
Ta zasada w budownictwie europejskim bardzo wolno zyskuje obywatelstwo. Dopiero 10 lat temu w normie betonowej PN-EN 206 zostało zaakceptowane definiowanie betonu wg właściwości, tzn. *beton projektowany* alternatywnie do betonu wg składu, tzn. *beton recepturowy*. Minimalizacja cech kryterialnych oznacza konieczność wyciągnięcia wniosków z faktu, że za cechy niewykorzystane zarówno odnośnie do jakości (cechy niepotrzebne), jak i wartości (nadmiarowy zakres) zapłaci użytkownik.

Racjonalne kryteria użyteczności to dobór zarówno cech (wielkości), jak i liczb/zakresów kryterialnych (wartości). Nie wszystkie jednak wymagane cechy będą wymagały sprawdzenia. Mogą występować cechy zagregowane i dopiero po stwierdzeniu ich spełnienia lub nie, zapada decyzja dotycząca dalszego programu badawczego. Kryterium użyteczności podporządkowane są metody oceny. Należy wyróżnić kategorię **wiarygodności**, a więc niepewność, jaką może być opatrzony wynik [9], w ślad za tym liczba powtórzeń, a w konsekwencji koszt badania. Stałe definiowanie aktualnie obowiązującej użyteczności budowlanej stymuluje postęp techniczny budowania i propaguje innowacje.

## Fascynacje badawcze

Mniej formalnym, ale istotnym oczekiwaniem wobec instytucji i jej zespołów badawczych jest wskazywanie kierunków rozwoju dziedziny. W tak wieloaspektowej dyscyplinie naukowej jak budownictwo, z natury rzeczy przewidywania są ograniczone przez ramy działalności instytucji, a także w sposób oczywisty przez profesjonalne zainteresowania autora inżynierię materiałów budowlanych. Ten drugi wzgląd można potraktować jako okoliczność łagodzącą, jako że wszystkie obiekty są z materiałów budowlanych. Fascynacje badawcze to najczęstsza i najmocniejsza siła napędzająca rozwój dziedziny.

W specyfice budownictwa jest zakłęte fascynujące wyzwanie badawcze odnośnie do czasu – trwałość i do przestrzeni – od nano- do kilometrów. Nie ma drugiej takiej dziedziny, aby czas życia dzieła inżynierskiego mógł być mierzony krotnością życia twórcy. Wymaganie trwałości – oznacza za reguły powyżej 50 lat, a często oczekiwania są wielokrotnie większe (budowle monumentalne). Oznacza, że nie wystarczy stwierdzić, że w chwili badania obiekt spełnia wymagania. Należy zapewnić, że będzie spełniał je w przyszłości: jak długo? Stąd jesteśmy świadkami (uczestnikami) ogromnego rozwoju metod diagnostycznych. W 2015 r. w Biuletynie PAN: Nauki Techniczne ukazało się specjalne wydanie poświęcone diagnostyce i trwałości obiektów budowlanych [10]. Zamieszczone w tym wydaniu publikacje: K. Flaga (PK); Z. Owsiak et al. (PŚ); Z. Rusin et al. (PŚ); L. Czarniecki (ITB) i P. Woyciechowski (PW), B. Goszczyńska et al. (PŚ); K. Wilde et al. (PŚ), A. Garbacz (PW), J. Hoła (PWr), M. Iwański (PŚ), A. Szydło (PWr), A. Piekarczyk et al. (ITB i PW); M. Kolbrecki (ITB); D. Kowalski et al. (PL i PW) świadczą o osiągnięciach i ambicjach badawczych w tym obszarze. W inżynierii lądowej urzeka również wymiar zainteresowań badawczych obejmujący 15 rzędów wielkości (rysunek 3). Na pozo-



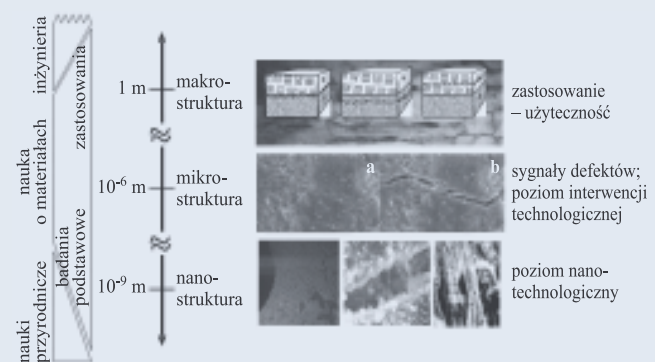
Rys. 3. Schematyczne przedstawienie wymiaru zainteresowań badawczych w inżynierii lądowej

Fig. 3. A schematic illustration of “the dimension of interest” in the Civil Engineering

mie nano ( $10^{-9} - 10^{-7}$  m) kształtujemy właściwości materiału, na poziomie mikro ( $10^{-7} - 10^{-5}$ ) – tworzymy mikrostrukturę i rozpoznajemy wady warunkujące użyteczność i trwałość, a na poziomie inżynierskim (makro  $> 10^{-1}$  m) wnosimy i użytkujemy obiekt (rysunek 4). Wymiar versus złożoność wyznacza stopień skomplikowania zagadnień badawczych, z jakim się spotykamy w inżynierii lądowej (rysunek 5).

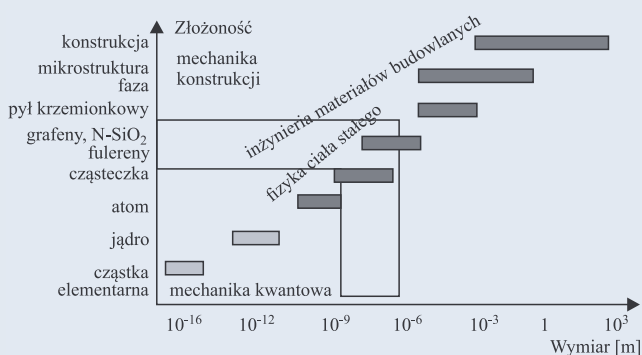
Rozpatrując relację: budownictwo – środowisko, należy zauważyć, że:

- 70% użytkowanej materii (przede wszystkim energii) jest pochłaniane nie w trakcie wznoszenia, lecz użytkowania obiektu. Z tego też powodu wynika postulat oceny całościowej, od „kołyski do rozbiórki”, a także powtórnego użycia, recyklicacji, stosowania materiałów wtórnych i odpadowych, działania przyjaznego środowisku. Podkreśla to raz jeszcze, jak ważne jest definiowanie użyteczności wg cech, a nie wg składu;
- budownictwo zużywa ponad 40% produkowanej energii; ok. 50% masy przetwarzanych materiałów; ponad 30% ogólnego zużycia wody (7% bezpowrotnie); emituje 35% gazów cieplarnianych; wytwarza 30% odpadów.



Rys. 4. Poglądowe przedstawienie współzależności użyteczności wyrobu od poziomu struktury

Fig. 4. An illustrative representation of interdependence product performance of the level of structure



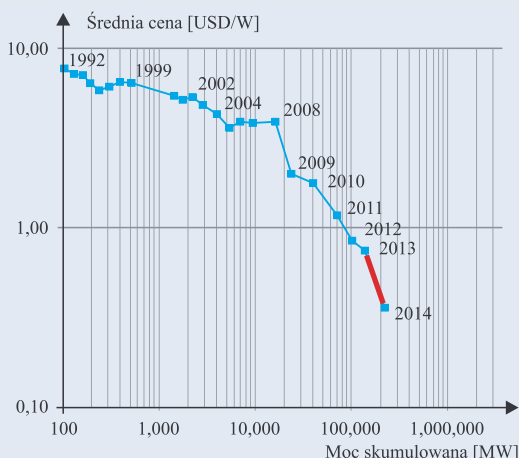
**Rys. 5. Schematyczne przedstawienie skomplikowania zagadnień badawczych na płaszczyźnie „wymiar-złożoność”**

*Fig. 5. A schematic illustration of the “complexity vs dimension”*

Przyporządkowanie budownictwa zasadom zrównoważonego rozwoju [11] jest więc koniecznością cywilizacyjną. Stwierdzenie to otwiera prawie nieograniczony obszar zadań badawczych [12]. Obecnie po technologii ciała stałego i biotechnologii dominującym nurtem technologicznym staje się nanotechnologia. Zapewne zrównoważony beton będzie nanobetonem lub przynajmniej betonem nanomodfikowanym [13].

W kontekście zastosowania w budownictwie, w tym np. modyfikacji betonu nanofulerenami: nanorurkami i nanosiatkami, podnosi się jako ograniczenie – koszt materiałowy. Z uwagi na masowość zastosowania betonu, „aby mógł być zastosowany, powinien być tani”. Natomiast koszt nanorurek wynosi ok. 1000 zł za 1 g, czyli jest niewyobrażalnie większy niż cementu. Zależność „masowość – koszt” może mieć jednak również inne rozwiązanie. Doskonały przykład stanowią ogniwa fotowoltaiczne (rysunek 6). W przypadku ich zastosowania w obszarze 100 – 1000 MW koszt 1 W kształtował się nieco poniżej 10 \$. Obecnie przy zastosowaniu w obszarze powyżej 100 000 MW koszt 1 W wynosi ok. 25 centów i maleje.

Jest jakaś nostalgia i poczucie inżynierskiej nieracjonalności w sytuacji, gdy badany obiekt jest poddany badaniom niszczącym i po zakończeniu badania okazuje się, że to był dobry obiekt. To uczucie rozżalenia jest pogłębione w odniesieniu do dużych obiektów i kosztownych badań eksperymentalnych. Należy więc tak modelować i symulować, aby móc prze-



**Rys. 6. Ilustracja zależności ceny od ilości na przykładzie ogniw fotowoltaicznych**

*Fig. 6. An illustration of relation: price vs amount on the example of photovoltaics*

widzieć z odpowiednim stopniem pewności, że projektowany obiekt/wyrób będzie użyteczny, że sprosta oddziaływaniom.

To zestawienie „experimental – numerical study” kreuje serię prac badawczych [14,15], które prowadzą do bardzo potrzebnych narzędzi inżynierskich, a w aspekcie naukowym przynoszą odpowiedź na pytanie: ile prawdy w modelu [5].

## Podsumowanie

Tekst ten napisałem w związku z siedemdziesięcioleciem działalności ITB. Instytucji, z którą współpracowałem od zawsze, a z którą od kilku lat się utożsamiam. W tej sytuacji – mimo starań – nie mogłem ustrzec się od subiektywizmu. Już po napisaniu artykułu zorientowałem się, że nie zawiera on elementów podsumowania – retrospekcji. Począwszy od tytułowych „podstaw rozwoju” cała treść wydaje się być ukierunkowana ku przyszłości i raczej otwiera, niż podsumowuje. Niech ten optymizm będzie dobrym prognostykiem na dalsze lata działalności Instytutu, a moim najlepszym życzeniem, do którego zrealizowania chciałbym się przyczynić.

## Literatura

- [1] Radomski W.: Nauka w inżynierii lądowej a rola Instytutu Techniki Budowlanej. Strategia instytutów badawczych budownictwa, Wydawnictwo ITB, 2015.
- [2] Radomski W.: Nauka w inżynierii lądowej – meandry rozwoju i relacje z praktyką. Wiedza i eksperymenty w budownictwie. Praca zbiorowa pod redakcją Joanny Bzówki, Gliwice, 2014, str. 19 – 49.
- [3] Brunarski L.: Sto dwa doktoraty obronione w ITB. Strategia instytutów badawczych budownictwa. Wydawnictwo ITB, 2015.
- [4] Fangrat J.: Jak zagadnienia środowiskowe zmieniają wymagania podstawowe dotyczące obiektów budowlanych. Podsumowanie. Materiały Budowlane 2012 nr 10, str. 38 – 39.
- [5] Czarniecki L., Sokołowska J. J., Material model and revealing the truth. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, Vol. 63, No. 1, 2015.
- [6] Czarniecki L., Hager I., Tracz T.: Material problems in civil engineering: ideas-driving forces-research arena. Procedia Engineering, 108, 3 – 12, 2015.
- [7] Czarniecki L., Kaproń M.: Definiowanie zrównoważonego rozwoju. Materiały Budowlane, 2010 nr 1, str. 69 – 71.
- [8] Illomaki A.: European horizontal standards for sustainability of building – one system in Europe. ftp.cen.eu/cen.
- [9] Szewczak E.: Ryzyko związane z niepewnością wyników badań i oceną zgodności wyrobów budowlanych. Materiały Budowlane, 2011 nr 10, str. 73 – 75.
- [10] Czarniecki L., Trąmpczyński W.: Diagnostics and durability estimation of civil structures. Bulletin PAN; Technical Sciences. 63 (1), 3 – 5; 2015
- [11] Czarniecki L., Kaproń M., Piasecki M., Wall S.: Budownictwo zrównoważone budownictwem przyszłości. Inżynieria i Budownictwo 68 (1), str. 18 – 21.
- [12] Nurzyński J.: Ochrona przed hałasem w zrównoważonym budownictwie. Wydawnictwo ITB, Warszawa 2013.
- [13] Czarniecki L.: Sustainable concrete: is nanotechnology the future of concrete polymer composites? Advanced Material Research, 687, 3 – 11, 2013.
- [14] Piekarczyk A., Malowany K., Więch P., Kujawińska M., Sulik P.: Stability and bearing capacity of arch-shaped corrugated shell elements: experimental and numerical study. Bull. PAN; Technical Sciences 63 (1), 113 – 124, 2015.
- [15] Węgrzyński W., Krajewski G., Sulik P.: Narzędzia numeryczne w kreowaniu bezpieczeństwa pożarowego obiektów. Materiały Budowlane, 2015 nr 11, str. 56 – 58, DOI: 10.15199/33.2015.11.17.

*Przyjęto do druku: 29.09.2015 r.*