

# Chemia budowlana – gwarant społecznego zaufania do budownictwa

## Building chemistry – a guarantor of public trust in construction



**prof. dr hab. inż., dr h.c. Lech Czarnecki**

Instytut Techniki Budowlanej  
l.czarnecki@itb.pl  
ORCID: 0000-0003-3340-9075



**prof. dr hab. inż. Paweł Łukowski**

Politechnika Warszawska  
pawel.lukowski@pw.edu.pl  
ORCID: 0000-0002-4636-1034

### Streszczenie

Artykuł omawia rolę chemii budowlanej w kształtowaniu społecznego zaufania do działalności branży budowlanej. Zdefiniowano ją jako stosowaną naukę przyrodniczą ściśle powiązaną z praktyczną działalnością przemysłu budowlanego. Przeanalizowano jej znaczenie i użyteczność w kontekście spełniania podstawowych wymagań stawianych obiektom budowlanym. Wskazano na konieczność zrównoważenia budownictwa, a także wyzwania techniczne wynikające z uwarunkowań termodynamicznych.

Podkreślono znaczenie odpowiedzialności zawodowej inżyniera. Artykuł osadza tematykę w koncepcji tzw. przemiany prometejskiej, polegającej na znalezieniu przełomowego sposobu pozyskiwania energii. Przyszłość upatruje się w działaniach takich jak gospodarka obiegu zamkniętego i stopniowa transformacja przemysłu (np. redukcja emisji CO<sub>2</sub> w produkcji cementu). Wskazano potrzeby i konieczności wynikające z kierunków rozwoju współczesnej chemii budowlanej.

**Słowa kluczowe** chemia budowlana, beton, termodynamika, zrównoważone budownictwo, gospodarka obiegu zamkniętego, zaufanie społeczne

### Abstract

The paper's topic is the role of building chemistry in shaping the public trust in construction activities. Building chemistry was defined as the applied natural science in connection with practical activities in the construction industry. The usability in construction was analysed in the context of the basic requirements for building objects. The need for sustainable construction was emphasised, along with the technical challenges posed by thermodynamic conditions. The professional

responsibility of the construction engineer was underlined. The paper embeds its topic in the concept of the so-called „Promethean transformation”, which consists in finding a groundbreaking way of energy production. The future lies in activities such as the circular economy and the gradual transformation of the industry (e.g., CO<sub>2</sub> emission reductions in cement production). The needs and necessities resulting from the development of modern building chemistry were discussed.

**Keywords** construction chemistry, concrete, thermodynamics, sustainable construction, circular economy, public trust

### WPROWADZENIE

Chemia budowlana stanowi dziś integralną część wiedzy w zakresie budownictwa. Minęło ponad 135 lat od wydania przez prof. Alfredo Cavazziego z Uniwersytetu Bolońskiego pierwszego w Europie podręcznika dotyczącego tej dyscypliny pt. *Lezioni di Chimica Docimastica Fatte Nella R. Scuola di Applica-*

*zione per Gl'ingegneri* [1] (fot. 1), a 30 lat od ukazania się książki pt. *Chemia w budownictwie* [2] (fot. 2). Chemia budowlana jest obecnie wykładana jako przedmiot kształcenia przyszłych inżynierów na kierunku budownictwo we wszystkich polskich uczelniach technicznych.

Stanowi ona stosowaną naukę przyrodniczą, której przedmiotem jest natura

chemiczna materiałów i procesów budowlanych. Obejmuje chemiczne uwarunkowania właściwości materiałów wykorzystywanych w budownictwie oraz zjawisk zachodzących podczas wszystkich etapów ich cyklu życia – od wytwarzania, przez stosowanie i użytkowanie, aż po procesy niszczenia (korozji), w tym w warunkach oddziaływań nadzwyczajnych.



Fot. 1. Okładka książki Alfredo Cavazzi pt. *Lezioni di Chimica Docimastica Fatte Nella R. Scuola di Applicazione per Gl'ingegneri* [1]

Chemia budowlana jest także dynamicznie rozwijającą się gałęzią przemysłu materiałów budowlanych. W szczególności stanowi ona jeden z fundamentów współczesnej technologii betonu. Występuje tu oczywisty, pozytywny efekt synergiczny: chemia budowlana jako nauka odpowiada na potrzeby rynku, oferując rozwiązania praktycznych problemów, przemysłowa chemia budowlana przekuwa zaś te rozwiązania w sukces rynkowy. Rozwój współczesnych materiałów budowlanych odbywa się przez modyfikację, która musi się opierać na podstawach naukowych. Sztandarowymi produktami chemii budowlanej można określić domieszki do betonu – najczęściej i najpowszechniej stosowane modyfikatory, ale osiągnięcia w tym obszarze obejmują w niemińszym stopniu dodatki polimerowe, dzięki którym uzyskuje się betony polimerowo-cementowe i żywiczne (rys. 1), a także innowacje w obszarze materiałów wykończeniowych, izolacyjnych, naprawczych, przeznaczonych do wzmacniania konstrukcji i ochrony powierzchniowej.

Budownictwo jest działalnością opartą na zaufaniu społecznym. Implikuje to konieczność, aby podejmowane decyzje miały



Fot. 2. Okładki wybranych książek dotyczących chemii budowlanej

zasadnienie w podstawach naukowych. W tej sytuacji chemia budowlana, jako podstawa współczesnej technologii materiałów budowlanych, staje się jednym z gwarantów zaufania społecznego do budownictwa.

### DEFINIOWANIE UŻYTECZNOŚCI BUDOWLANEJ

Obiekty budowlane – budynki i budowle – zaspokajają jedną z najważniejszych potrzeb człowieka. Już od czasów Witruiusza, rówieśnika Chrystusa, przyjmuje się, że obiekt budowlany powinien spełniać wymagania podstawowe (rys. 2) [3].

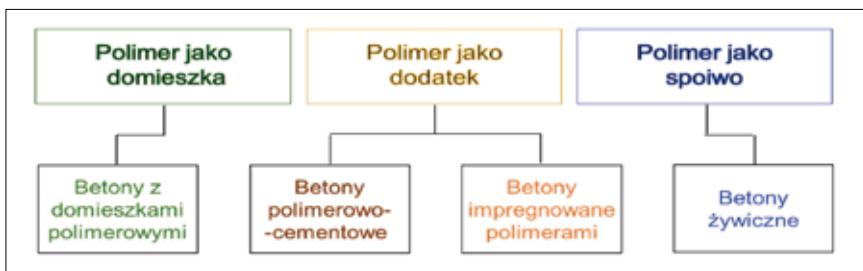
- bezpieczeństwo konstrukcji;
- bezpieczeństwo pożarowe;
- higienę, zdrowie, środowisko;
- bezpieczeństwo użytkowania;
- oszczędność energii i izolacyjność cieplną;
- zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych, w tym trwałość obiektów budowlanych i stosowanie materiałów wtórnych.

Zdecydowanym wyróżnikiem obiektów budowlanych jest fakt, że nie ma drugiej takiej dziedziny działalności inżynierskiej, w której czas użytkowania

## Rozwój współczesnych materiałów budowlanych odbywa się przez modyfikację, która musi się opierać na podstawach naukowych.

Początkowo była to trwałość, użyteczność i estetyka. Obecne wymagania podstawowe są ujęte w dokumencie europejskim CPR 305/2011 i obejmują:

obiekty mógłby być mierzony krotnością życia jego twórcy. W odniesieniu do budynków betonowych jest to ponad 50 lat, zaś w przypadku budowli inżynierskich



Rys. 1. Betony modyfikowane polimerami jako przykład praktycznego wykorzystania wiedzy z zakresu chemii budowlanej

i monumentalnych – 200 lat i więcej. Nakłada to szczególne zobowiązania na działalność inżyniera budownictwa jako reprezentanta zawodu zaufania społecznego. Dopuszczając wyrób do stosowania w budownictwie potwierdzamy, że będzie on spełniał wymagania funkcjonalne (normowe) nie tylko w chwili zastosowania, lecz przez cały okres użytkowania. Nadaje to szczególne znaczenie zagadnieniom trwałości oraz bezpieczeństwa konstrukcji i użytkowania. Należy też zaznaczyć, że wznoszenie i użytkowanie obiektów budowlanych pochłania ok. 50% ogółu masy i energii wytwarzanej w danym okresie. Prowadzi to do bezwzględnie nakazu zrównowżenia budownictwa, to znaczy takiego wznoszenia i użytkowania obiektów

budowlanych, aby bieżąca działalność nie ograniczała możliwości przyszłych pokoleń.

Kluczowymi elementami zrównoważonego budownictwa są obecnie gospodarka obiegu zamkniętego oraz obniżanie śladu węglowego materiałów budowlanych, zwłaszcza cementu i betonu. W obu tych obszarach chemia budowlana odgrywa bardzo istotną rolę, umożliwiając racjonalną, opartą na podstawach naukowych modyfikację betonu i innych materiałów stosowanych w budownictwie.

Gospodarka obiegu zamkniętego obejmuje w szczególności skuteczne zagospodarowanie odpadów przemysłowych, np. pochodzących z rozbiórki konstrukcji betonowych, jako składników nowo wytwarzanych materiałów budowlanych

(recykliczacja). Jednym z problemów jest zapewnienie kompatybilności nowego i starego betonu. Odpowiednie rozwiązania w tym zakresie oferuje chemia budowlana [4].

Dążenie do obniżenia emisyjności materiałów stosowanych w budownictwie skupia się m.in. na coraz szerszym wprowadzaniu do praktycznego użytku cementów niskoklinkierowych – innych niż CEM I [5]. Jednak zwiększona zawartość w układzie nieklinkierowych składników cementu (popiołu lotnego, żużla wielkopieczowego, wapienia itp.) może znacząco wpływać na niektóre właściwości technologiczne i użytkowe betonu. Przykładowo, pogorszeniu może ulegać urabialność mieszanki betonowej, wczesna wytrzymałość mechaniczna czy też mrozoodporność. Chemia budowlana, identyfikując mechanizmy tych zjawisk, umożliwia ich skuteczną kompensację przez zastosowanie odpowiednich modyfikatorów. Poprawiając jakość i trwałość betonu, produkty oferowane przez chemię budowlaną przyczyniają się również bezpośrednio do zmniejszenia śladu węglowego betonu – według niektórych oszacowań nawet o 20% [6, 7].

<p>Kodeks Hammurabiego, 1772 p.n.e.</p>  <p>Art. 228–232</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoi</li> <li>• Ściany proste</li> </ul>	<p>Witruwiusz: O Architekturze, 10 p.n.e.</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trwałość</li> <li>• Użyteczność</li> <li>• Piękno</li> </ul>	<p>Wymagania dot. wyrobów budowlanych</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="510 1263 709 1864"> <p>EPD 89/106/EEC, 1988</p>  <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nośność i stateczność</li> <li>2. Bezpieczeństwo pożarowe</li> <li>3. Higiena, zdrowie środowiska</li> <li>4. Bezpieczeństwo użytkowania</li> <li>5. Ochrona przed hałasem</li> <li>6. Oszczędność energii</li> </ol> </td> <td data-bbox="713 1263 931 1864"> <p>CPR 305/2011, 2011</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych                             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Ponowne wykorzystanie lub recykling</li> <li>b. Trwałość</li> <li>c. Surowce przyjazne środowisku/materiały wtórne</li> </ol> </li> </ol> </td> </tr> </table>		<p>EPD 89/106/EEC, 1988</p>  <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nośność i stateczność</li> <li>2. Bezpieczeństwo pożarowe</li> <li>3. Higiena, zdrowie środowiska</li> <li>4. Bezpieczeństwo użytkowania</li> <li>5. Ochrona przed hałasem</li> <li>6. Oszczędność energii</li> </ol>	<p>CPR 305/2011, 2011</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych                             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Ponowne wykorzystanie lub recykling</li> <li>b. Trwałość</li> <li>c. Surowce przyjazne środowisku/materiały wtórne</li> </ol> </li> </ol>
<p>EPD 89/106/EEC, 1988</p>  <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nośność i stateczność</li> <li>2. Bezpieczeństwo pożarowe</li> <li>3. Higiena, zdrowie środowiska</li> <li>4. Bezpieczeństwo użytkowania</li> <li>5. Ochrona przed hałasem</li> <li>6. Oszczędność energii</li> </ol>	<p>CPR 305/2011, 2011</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych                             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Ponowne wykorzystanie lub recykling</li> <li>b. Trwałość</li> <li>c. Surowce przyjazne środowisku/materiały wtórne</li> </ol> </li> </ol>				

Rys. 2. Wymagania podstawowe dla obiektów budowlanych w ujęciu historycznym i współczesnym

## WYZWANIE TECHNICZNE A ODPOWIEDZIALNOŚĆ ZAWODOWA

Wyjątkowość i swoistość działalności budowlanej ma nie tylko wymiar wyzwania technicznego i odpowiedzialności zawodowej. Już w Kodeksie Hammurabiego (§ 229) były przewidziane okrutne kary: „jeśli zbudował dom, a nie umocnił go odpowiednio i dom zbudowany zawalił się i spowodował śmierć właściciela domu, murarz ten zostanie zabity” [8]. Jednakże również w wymiarze czysto ludzkim codziennego dnia: wjeżdżając na most, mamy nadzieję bezpiecznie przedostać się na drugą stronę, a układając dziecko do snu, jesteśmy przekonani, że strop nad nim przetrwa. Wynika to zarówno z dobrej praktyki, jak i społecznego przekonania, że działalność budowlana jest oparta na zasadach naukowych. Jest to szczególnie ważne, ponieważ

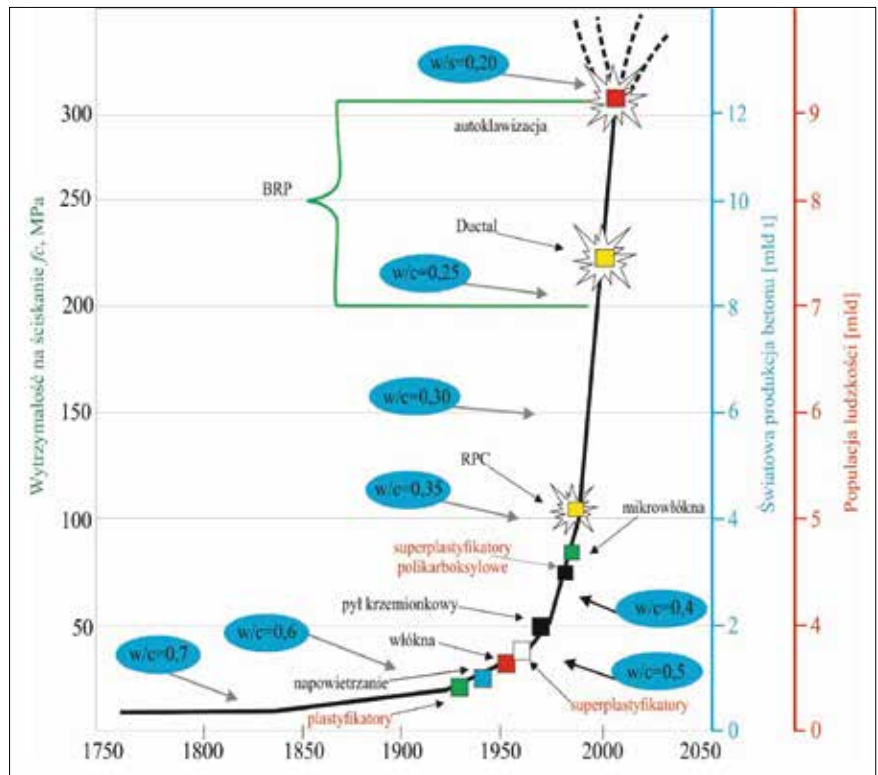
Rys. opracowanie autorów

znakomita większość wyrobów, w tym zwłaszcza beton – podstawowy obecnie materiał budowlany – to kompozyty, a więc wyroby wysoce złożone. Do ich modyfikacji w dużym stopniu wykorzystuje się zjawisko synergii. Oznacza to, że właściwości wyrobu nie są prostą sumą właściwości jego składników i bardzo niewielka (nawet poniżej 1%) zawartość domieszki może powodować istotne zmiany cech wyrobu końcowego [9] – przykładowe zależności przedstawiono na rys. 3 [10, 11]. Sytuację dodatkowo komplikuje fakt, że synergia może mieć nie tylko skutki pozytywne, ale powodować również degradację mikrostruktury materiału [12].

Druga zasada termodynamiki jednoznacznie wskazuje na nieuchronność przemiany od porządku do chaosu. W kontekście budownictwa oznacza to także nieuchronność procesów korozyjnych oraz destrukcji materiałów i konstrukcji budowlanych. Chemia budowlana daje inżynierowi wiedzę i narzędzia pozwalające skutecznie opóźniać te zjawiska, tak aby zapewnić bezpieczne użytkowanie obiektów, jest więc szczególnie gwarantem zapewnienia zaufania społecznego do budownictwa. Umożliwia określenie mikrostruktury materiału, jego stabilności wczesnej oraz odporności na działanie środowiska, a także analizę szybkości i przebiegu procesów, w tym procesów niekorzystnych, takich jak starzenie. Pozwala również identyfikować środki zaradcze, przy czym druga zasada termodynamiki wskazuje na nieuchronność degradacji mikrostruktury.

**CHEMIA BUDOWLANA W POSZUKIWANIU PRZEMIANY PROMETEJSKIEJ**

Analiza wymagań podstawowych (rys. 4) wskazuje, że prawa mechaniki są znacznie mniej uświadamiane niż prawa termodynamiki. Niemniej prawa natury działają nieuchronnie, niezależnie od naszej świadomości ich istnienia i sposobu działania. Z pierwszej zasady termodynamiki wynika, że całkowita energia świata nie zmienia się – działają tu prawa zachowania masy i energii. W tej sytuacji zrów-



Rys. 3. Krzywa rozwoju betonu (BRP – betony na proszkach reaktywnych) [11]

noważony rozwój budownictwa, które jest największym konsumentem materii – masy i energii – staje się termodynamicznym imperatywem [13]. Wynika stąd również ograniczoność surowców kopalnych, w tym energetycznych (węgiel, ropa, gaz ziemny). W konsekwencji konieczna jest racjonalizacja energetyczna przy pozyskiwaniu środków energii. Oznacza to,

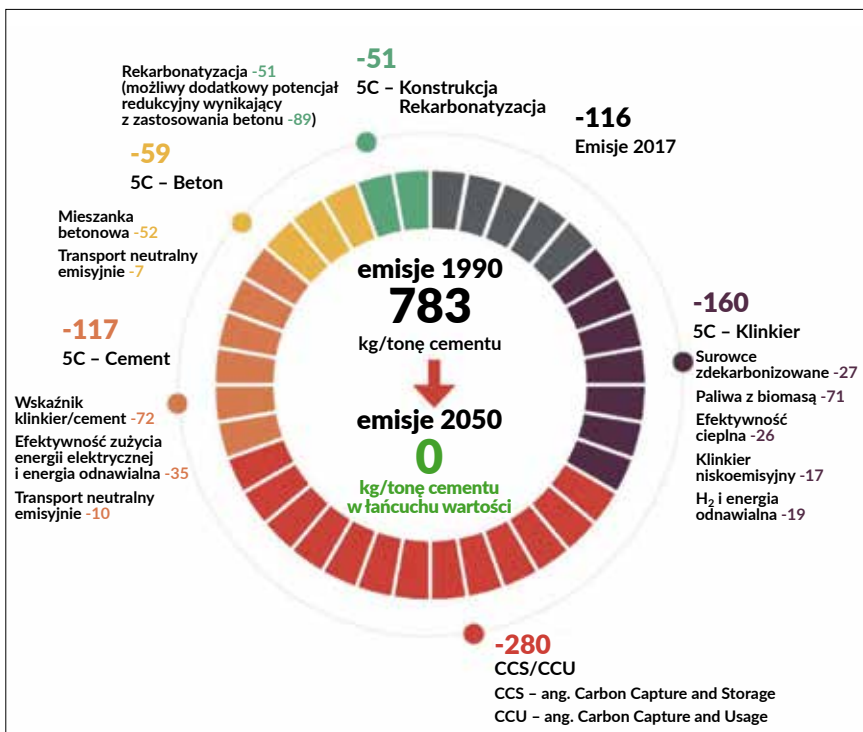
że nakłady energii na pozyskanie nowych jej ilości (nowe źródła energii) powinny być istotnie mniejsze od ilości nowo pozyskiwanej energii. Wskaźnik Benefit/Cost, wyrażany w tych samych jednostkach, powinien być zdecydowanie większy od jedności. Przykładowo, w przypadku fotowoltaiki wynosi on powyżej 4, a w przypadku elektrowni wodnych – powyżej 40.

Rys. 4. opracowanie autorów

**Dyrektywa europejska, 2011**

- 1. Nośność i stateczność
  - 2. Bezpieczeństwo pożarowe
  - 3. Higiena, zdrowie środowiska
  - 4. Bezpieczeństwo użytkowania
  - 5. Ochrona przed hałasem
  - 6. Oszczędność energii
  - 7. Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych
    - a. Ponowne wykorzystanie lub recykliczacja
    - b. Trwałość
    - c. Surowce przyjazne środowisku/materiały wtórne
- Zasady mechaniki Newtona + bezpieczeństwo użytkowania*
- I zasada termodynamiki*
- II zasada termodynamiki (dyskretnie)*
- L. Czarnecki, ITB

Rys. 4. Wymagania podstawowe według Dyrektywy europejskiej w świetle praw fizyki

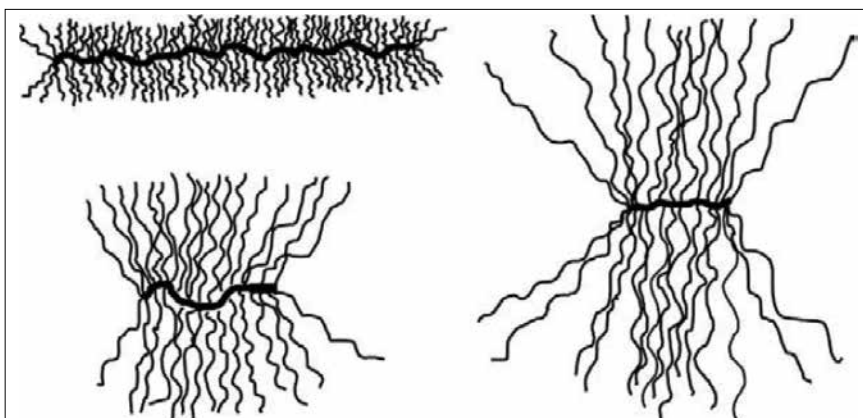


Rys. 5. Mapa drogowa rozwoju przemysłu cementowego do 2050 r. według Cement Europe (dawniej Cembureau) [15]

Druga zasada termodynamiki głosi, że procesy samorzutne nieodwracalnie przebiegają w kierunku zwiększenia stopnia nieuporządkowania – chaosu mikrostrukturalnego. Z zasady tej wynika naturalność degradacji materiałów budowlanych (starzenie). Są to procesy z reguły bardzo powolne, lecz nieuchronne. Przykład katastrofy mostu Morandiego w Genui w 2019 r. pokazuje, jak tragiczne mogą być tego skutki. Termodynamiczna nieuchronność niszczenia konstrukcji ma inną skalę czasową niż pogwałcenie zasad mecha-

niki. Chemiczne badania odporności materiałów budowlanych pozwalają wskazać sposoby spowalniania tych procesów i w konsekwencji zwiększenia trwałości.

Postulat konieczności opracowania „przemiany prometejskiej”, tzn. takiej technologii, która pozwalałaby pozyskać znaczne nadmiary energii i zarządzać nimi, sformułował uczony amerykański Nicholas Georgescu-Roegen w 1983 r. [14]. Od tego czasu minęło ponad 40 lat i takie nowe otwarcie się nie wydarzyło. W przeszłości do przemian



Rys. 6. Różne możliwości kształtowania struktury polimerów polikarboxylanowych (domieszek upłynniających mieszanek betonową) według [16]

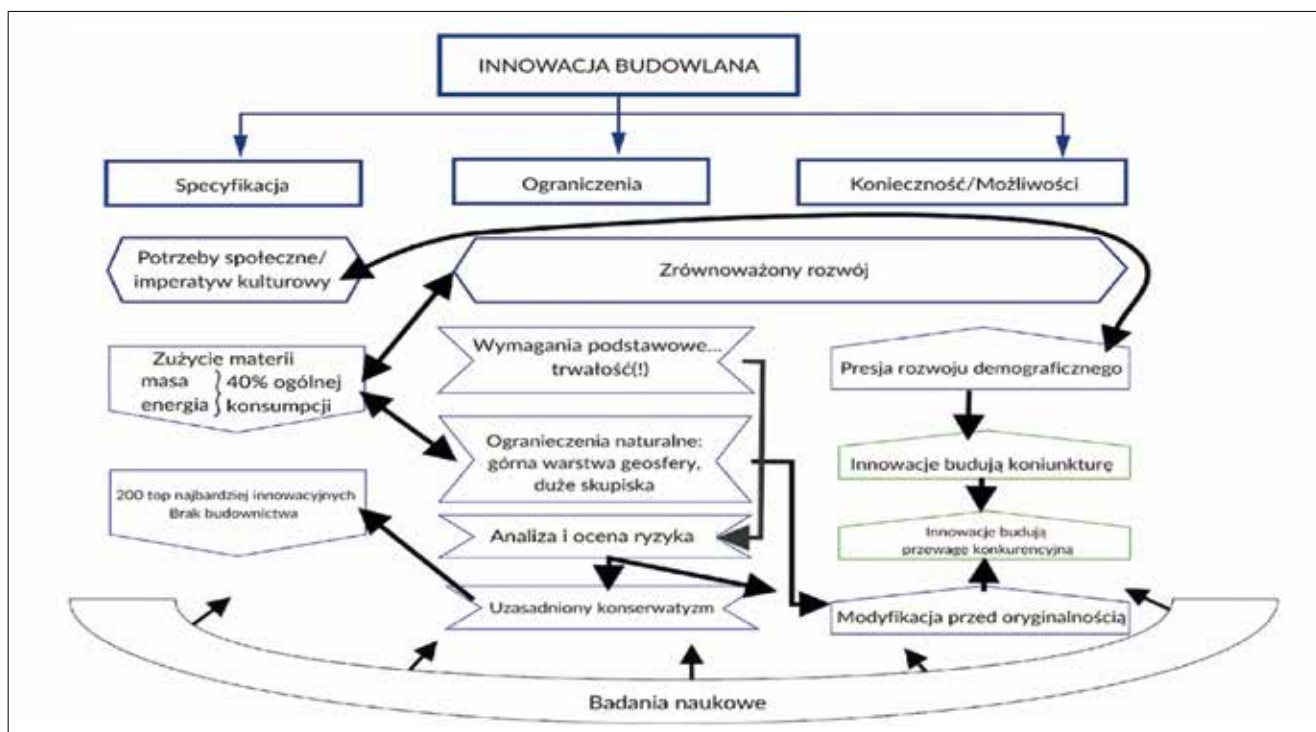
prometejskich zaliczało się m.in. wprowadzenie maszyny parowej i silnika spalinowego jako adekwatnych środków dystrybucji dostępnej wówczas energii. Nadzieje związane z energetyką jądrową czy fotowoltaiką, jak dotychczas, nie spełniły się. Nowa przemiana będzie przemianą horyzontalną, wykorzystującą efekt synergistyczny wielu działań. Być może taką rolę spełni gospodarka obiegu zamkniętego. Działanie to nie będzie podporządkowane jednej uniwersalnej idei, jak w przypadku elektryfikacji i sieci dystrybucji energii elektrycznej, lecz wielu mniejszym, współdziałającym ze sobą inicjatywom. Przykładem może tu być mapa drogowa rozwoju przemysłu cementowego według Cembureau [15], która osiągnięcie produkcji całkowicie bez emisji CO<sub>2</sub> zakłada do 2050 r. (rys. 5).

## ROZWÓJ, POTRZEBY I KONIECZNOŚCI

Stały wzrost populacji oraz rosnące aspiracje użytkowników napędzają rozwój budownictwa, a chemia budowlana kreuje jego naukowe podstawy, umożliwiając wdrażanie do praktyki budowlanej coraz doskonalszych materiałów. Dobrym przykładem może być projektowanie i optymalizacja (tailoring) struktur nowych generacji polikarboxylanowych domieszek upłynniających [16, 17] (rys. 6). Równocześnie budownictwu, z natury rzeczy, przypisuje się pewien konserwatyzm. W świetle przytoczonych rozważań jest to całkowicie uzasadnione. Zaufanie społeczne jest decydującym czynnikiem w budownictwie [18]. Innowacje w tej branży nie mogą być wprowadzane spontanicznie. Konieczne jest uprzednie przeprowadzenie badań sprawdzających i naukowe podsumowanie (rys. 7).

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Ponad 135 lat od wydania pierwszego podręcznika chemii budowlanej i przeszło 30 lat od ukazania się fundamentalnej na polskim rynku *Chemii w budownictwie* (książka ta jest wciąż wznawiana i wykorzystywana jako podstawowy podręcznik



Rys. 7. Badania naukowe a innowacje w budownictwie według [12]

przez studentów budownictwa) znaczenie tej gałęzi wiedzy jest niezmiennie istotne. Chemia budowlana daje inżynierowi wiedzę i narzędzia pozwalające kształtować podstawowe właściwości materiałów stosowanych w budownictwie, tak aby optymalizować ich techniczną i społeczną użyteczność.

Oczekiwany czas eksploatacji budowli mierzy się krotnością życia ich twórców, a bezpieczeństwo użytkowania ma tu szczególne znaczenie. Nakłada to zobowiązania na inżyniera budownictwa jako przedstawiciela zawodu zaufania społecznego. Istnieje konieczność zrównoważenia budownictwa, gdyż wznoszenie i użytkowanie obiektów budowlanych pochłaniają wielkie ilości masy oraz energii. Kluczowa jest tu recykliczacja materiałów budowlanych oraz zmniejszanie emisji CO<sub>2</sub> podczas ich wytwarzania i stosowania. W obu tych obszarach chemia budowlana odgrywa kluczową rolę.

Zaufanie społeczne jest decydującym czynnikiem w budownictwie zarówno w odniesieniu do typowego użytkownika konstrukcji, jak i wprowadzania innowacji, które wymagają rzetelnych podstaw naukowych oraz starannych i wiarygodnych badań sprawdzających. Tym samym

chemia budowlana jako podstawa współczesnej technologii materiałów budowlanych staje się jednym z gwarantów zaufania społecznego do budownictwa. ■

#### Literatura

[1] Cavazzi A., *Lezioni di Chimica Docimastica Fatta Nella R. Scuola di Applicazione per Gl'ingegneri*. Bologna: Societa Tipografica Azzoguidi, 1890.  
 [2] Czarnecki L., Broniewski T., Henning O., *Chemia w budownictwie*. Warszawa: Arkady, 1994.  
 [3] Czarnecki L., Van Gemert D., „Scientific basis and rules of thumb in civil engineering: conflict or harmony?” w: *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, t. 64, nr 4, 2016, s. 665–673.  
 [4] Owczarska K., Kępniak M., Panek R., „Trudności w kształtowaniu mrozoodporności betonu z kruszywem z recyklingu” w: *Inżynier Budownictwa*, nr 6, 2025, s. 31–36.  
 [5] Scrivener K., John V., Gartner E., „Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry” w: *Cement and Concrete Research*, t. 114, 2018, s. 2–26.  
 [6] Cheung J., Roberts L., Liu J., „Admixtures and sustainability” w: *Cement and Concrete Research*, t. 114, 2018, s. 79–89.  
 [7] „Admixtures enable massive CO<sub>2</sub> reduction in concrete” w: *BFT International*, nr 06, 2024.

[8] *Kodeks Hammurabi*, Warszawa: Alfa, 1996.  
 [9] Łukowski P., „Rola chemii budowlanej w kształtowaniu współczesnego betonu” w: *Materiały Budowlane*, nr 11, 2013, s. 96–97.  
 [10] Czarnecki L., „Nanotechnologia w budownictwie” w: *Przegląd Budowlany*, nr 82, 2011, s. 40–53.  
 [11] Czarnecki L., Deja J., „Zrównoważone budownictwo; w poszukiwaniu przemiany prometejskiej” w: *Inżynieria i Budownictwo*, nr 7, 2021, s. 300–308.  
 [12] Wang R. i in., „Chemical interaction between polimer and cement in polymer-cement concrete” w: *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, t. 64, nr 4, 2016, s. 785–792.  
 [13] Czarnecki L., „Zrównoważone wyroby budowlane – piękna idea, konieczność cywilizacyjna czy też imperatyw termodynamiczny” w: *Materiały Budowlane*, nr 1, 2022, s. 64–67.  
 [14] Georgescu-Roegen N., „The Promethean condition of viable Technologies” w: *Materials and Society*, t. 7, nr 3/4, 1983, s. 425–435.  
 [15] [www.cementeuropa.eu](http://www.cementeuropa.eu) (dostęp: 4.05.2026).  
 [16] Marchon D. i in., „Molecular design of comb-shaped polycarboxylate dispersants for environmentally friendly concrete” w: *Soft Matter*, nr 9(45), 2013.  
 [17] Plank J., Sachsenhauser B., de Reese J., „Experimental determination of the thermodynamic parameters affecting the adsorption behaviour and dispersion effectiveness of PCE superplasticizers” w: *Cement and Concrete Research*, t. 40, nr 5, 2010, s. 699–709.  
 [18] Flaga K., „Nauki techniczne w służbie człowieka” w: *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Budownictwo*, nr 18 (168), 2012, s. 35–40.