

**Beton, najważniejszy współcześnie materiał budowlany, jest produkowany w olbrzymich ilościach. Jest oczywiste, że ma to wieloraki wpływ na środowisko i nie jest obojętne, jakie przepisy, zasady i ograniczenia są skutecznie egzekwowane zarówno przy produkcji lub pozyskiwaniu składników oraz przy całym procesie produkcji i zastosowania mieszanki, jak też w okresie eksploatacji konstrukcji z betonu, ich napraw, a wreszcie rozbiórki.**

#### Zrównoważony rozwój

Końcowe dekady XX wieku były okresem narastającej troski o środowisko w warunkach ingerencji ludzkości w naturalne warunki na naszym globie. Po „Szczycie Ziemi” w Rio de Janeiro (1992) powstała wreszcie ideologia „zrównoważonego rozwoju” (sustainable development), mająca u podstaw symbol  $e^3$ , czyli energia x ekologia x ekonomia. Choć początkowo dominowały problemy poszanowania energii, to jednak stopniowo coraz szersze obszary objęto badaniami i konkretnymi działaniami w praktyce. Świadomość tych problemów w świecie znacznie wzrosła, a z ekonomicznych względów najwyższą rangę nadano im w krajach rozwiniętych. Wiele firm spotyka się z rosnącymi wymaganiami z zakresu ochrony środowiska ze strony klientów lub władz. Rozważania i argumenty z tej dziedziny stały się istotnym czynnikiem konkurencyjności, a zarządzanie środowiskiem to dziś wyspecjalizowana dziedzina wysoko cenionego konsultingu bazującego na systemie norm ISO 14000. Przykładem porządkowania tej tematyki, a zarazem wyznaczenia zadań w całej dziedzinie zrównoważonego rozwoju budownictwa są „Wytyczne zrównoważonego budownictwa” opublikowane w Niemczech w trzech językach [1].

#### Programy badawcze

Ujmowanie zagadnień wpływu na środowisko jest dziś miarą nowoczesności budownictwa, tak na etapie planowania i projektowania, jak wykonawstwa, eksploatacji, modernizacji i ostatecznie – rozbiórki. Wyrazem takiego rozumienia nowoczesności w budownictwie i międzynarodowego zainteresowania

# Beton a środowisko

tymi problemami są między innymi ustanowione niemal jednocześnie w roku 2001 duże projekty badawcze i sieci tematyczne w ramach 5. Programu Unii Europejskiej „Konkurencyjny i zrównoważony wzrost” (Competitive and Sustainable Growth). Są to projekty: INVESTIMO – narzędzia decyzyjne dla długoterminowej strategii efektywnego inwestowania w aspektach utrzymania i modernizacji budynków EUROLIFEFORM – przewidywanie kosztów i funkcjonalności w całym cyklu istnienia budynków i infrastruktury LIFECON – postępowanie z infrastrukturą betonową w jej całym cyklu istnienia dla poprawy efektywności. Wreszcie sieć tematyczna popularyzująca na bieżąco wyniki tych projektów: LIFETIME – inżynieria całego okresu istnienia budynków i infrastruktury budowlanej.

W tej nasilonej działalności badawczej w Europie biorą udział także partnerzy z Polski, choć zapewne w niezadawalającym stopniu.

#### Beton a środowisko

Beton, najważniejszy współcześnie materiał budowlany, jest produkowany w olbrzymich ilościach. W najbogatszych krajach jest to średnio masa rzędu 1,5 tony na mieszkańca rocznie. Jest oczywiste, że ma to wieloraki wpływ na środowisko i nie jest obojętne, jakie przepisy, zasady i ograniczenia są skutecznie egzekwowane zarówno przy produkcji lub pozyskiwaniu składników oraz przy całym procesie produkcji i zastosowania mieszanki, jak też w okresie eksploatacji konstrukcji z betonu, ich napraw, a wreszcie rozbiórki.

Tej problematyce poświęcono doroczne Sympozjum Międzynarodowej Federacji Konstrukcji Betonowych (fib) w Berlinie,

w październiku 2001 [2]. Trzy główne tematy tego sympozjum, to:

- oddziaływanie konstrukcji betonowych na człowieka i środowisko
- wpływ środowiska na czas użytkowania konstrukcji betonowych
- zdolność konstrukcji betonowych do zabezpieczania człowieka i środowiska przed zagrożeniami.

Chociaż produkcja betonu stała się w ostatnich dekadach znacznie bardziej przyjazna środowisku – dzięki redukcji kompleksowego zużycia energii i nieodnawialnych surowców w całym procesie produkcji i dzięki zwiększeniu zużycia szeroko rozumianych surowców wtórnych – to jednak ciągle dąży się do poprawy jego oddziaływania na środowisko. Potocznie nazywa się to dążeniem do bardziej „zielonego” betonu, w ana-

Tab. 1. Zużycie energii i materiałów oraz emisja gazów przy produkcji 1 kg masy sprężonych prefabrykatów betonowych (Szwecja, 1999)

Elementy procesu produkcji	Energia	Surowce	Emisja gazów
	[MJ]	[kg]	[g]
<b>SKŁADNIKI / MATERIAŁY</b>			
Kruszywo – wydobycie, kruszenie, frakcjonowanie	elektr. 0,006 paliwo 0,027	żwir 0,56 piasek 0,21	CO <sub>2</sub> 2,18 NO <sub>x</sub> 0,02 SO <sub>2</sub> 0,0067
Kruszywo – transport	paliwo 0,014		CO <sub>2</sub> 0,87 NO <sub>x</sub> 0,02 SO <sub>2</sub> 0,0007
Cement – produkcja	elektr. 0,07 paliwo 0,70	kamień wapienny 0,26	CO <sub>2</sub> 142 NO <sub>x</sub> 0,18 SO <sub>2</sub> 0,31
Cement – transport	paliwo 0,07		CO <sub>2</sub> 0,54 NO <sub>x</sub> 0,007 SO <sub>2</sub> 0,0004
Stal – zbrojenie + akcesoria – produkcja	elektr. 0,126 paliwo 0,165	żelazo 0,017 ruda 0,032 inne 0,014	CO <sub>2</sub> 33,5 NO <sub>x</sub> 0,07 SO <sub>2</sub> 0,052
Stal – transport	paliwo 0,008		CO <sub>2</sub> 2,18 NO <sub>x</sub> 0,02 SO <sub>2</sub> 0,0067
Domieszki/dodatki – produkcja	elektr. 0,0003 paliwo 0,02	różne 0,0004	CO <sub>2</sub> 1,64 NO <sub>x</sub> 0,007 SO <sub>2</sub> 0,0004
Domieszki/dodatki – transport	paliwo 0,001		CO <sub>2</sub> 0,54 NO <sub>x</sub> 0,007 SO <sub>2</sub> 0,0004
<b>PRODUKCJA ELEMENTÓW</b>			
Procesy w zakładzie prefabrykacji	elektr. 0,11 paliwo 0,26	olej do form 0,0004	CO <sub>2</sub> 22,22 NO <sub>x</sub> 0,066 SO <sub>2</sub> 0,052
<b>TRANSPORT ELEMENTÓW</b>			
Dowiezienie na budowę	paliwo 0,150		CO <sub>2</sub> 11,4 NO <sub>x</sub> 0,15 SO <sub>2</sub> 0,009
<b>ŁĄCZNIE</b>	elektr. 0,31 paliwa 1,37		CO <sub>2</sub> 218,6 NO <sub>x</sub> 0,52 SO <sub>2</sub> 0,43

logii do działań „zielonych” obrońców środowiska.

W większości krajów Unii Europejskiej wszyscy wytwórcy betonu na skalę przemysłową, czyli ponad 20.000 ton rocznie, zarówno producenci betonu towarowego, jak i zakłady prefabrykacji, muszą uzyskać uprawnienia środowiskowe i podlegają surowym przepisom prawnym w szerokim zakresie ochrony środowiska. Wystąpienie o takie uprawnienia musi zawierać szczegółowy opis produkcji i jej wpływu na środowisko w zakresie emisji do atmosfery, zużycia wody oraz ilości i zagospodarowania produktów odpadowych. Dane z tych ocen są porównywane z dobrze rozpoznanyymi wynikami poprawnie prowadzonej produkcji. Przykład takich bazowych danych ze Szwecji przedstawia tablica 1 wg [3], na podstawie wyników opracowanych dla wytwórni prefabrykatów sprężonych, należącej do jednego z największych w Europie producentów prefabrykatów ADDTEK (40 wytwórni w 7 krajach).

Faza wykonawstwa – od składników betonu aż po gotową konstrukcję – jest dziś tylko pierwszym etapem rozważań z obszaru e<sup>3</sup>. Znacznie trudniejsze są oceny koncentrujące się na kompleksowej tematyce – analizie całego okresu istnienia obiektu (LCA – Life Cycle Analysis). W nawiązaniu do tego kierunku badań rozszerzeniu ulegają też działania projektowe, których przedmiotem jest „projektowanie spełniające wymagania całego okresu istnienia obiektu” (lifetime performance-based design). W tak rozbudowanej problematyce zasadnicze obszary to utrzymanie obiektów w czasie eksploatacji, kwestie socjo-funkcjonalne, remonty i modernizacje, a także demontaż zużytego obiektu.

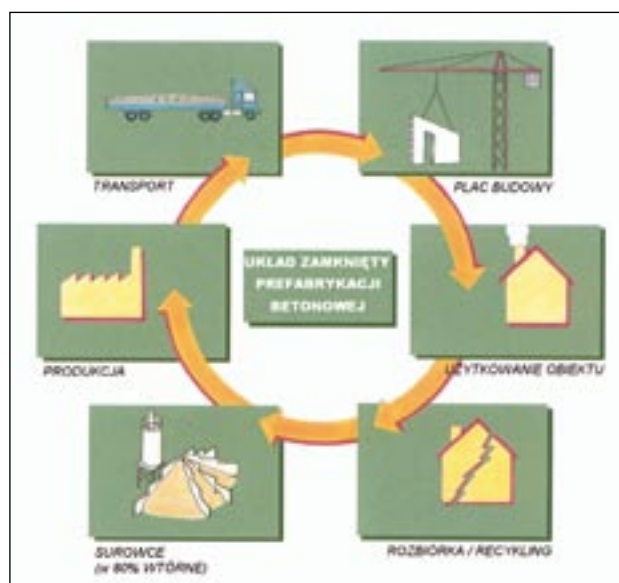


Czy takie widoki znikną?

Kompleksowe analizy [4] wskazują na znaczne korzyści dla środowiska wynikające z nowoczesnej prefabrykacji betonowej. Wysoka jakość, mała liczba wadliwych elementów i niemal pełny recykling odpadów produkcyjnych prowadzi w porównaniu z konstrukcjami monolitycznymi do następujących korzyści:

- redukcja zużycia materiałów do 45% (liczona wagowo)
- obniżenie zużycia energii do 30%
- obniżenie ilości odpadów przy rozbiórce obiektów nie podlegających recyklingowi do 40%.

Uzasadnione są oczekiwania, że w zakresie nowoczesnej prefabrykacji betonowej uda się w niedalekiej przyszłości uzyskać w około 80 procentach zamknięty układ (patrz rysunek).



Docelowy, niemal zamknięty układ prefabrykacji betonowej

### Diagnostyka

Dla wielu odpowiedzialnych konstrukcji z betonu, np. mostów, tuneli, zapór, rurociągów lub zbiorników, powstały specjalne systemy monitoringu stanu konstrukcji, uwzględniające wzajemne oddziaływanie obiektów i środowiska. Systemy te posługują się ciągłą rejestracją sygnałów, np. z czujników światłowodowych (Bragga) lub akustycznych, umieszczonych na

stałe na powierzchni lub wewnątrz konstrukcji. Najbardziej zaawansowane takie systemy w Europie to stosowane od 1994 r. SoundPrint i ScanPrint francuskiej firmy Advitam, eksploatowane już na 60 różnych obiektach.

Następnym etapem kompleksowego podejścia do bezpieczeństwa i trwałości konstrukcji betonowych, a zarazem ochrony środowiska, w którym te konstrukcje są eksploatowane, będą administracyjne przepisy obowiązkowego monitoringu, wraz z obowiązkiem utrzymania obiektu w należyłym stanie. Zniszczone konstrukcje (patrz fotografia), zwłaszcza te mniej widoczne lub trudniej dostępne, z reguły stanowią zagrożenie i w aspekcie bezpieczeństwa powszechnego, i w aspekcie środowiska, które zanieczyszczają.

prof. dr inż. Andrzej Ajdukiewicz  
Politechnika Śląska

[1] Guideline for Sustainable Building (wyd. ang.) BMVBV – Bundesministerium für Verkehr, Bau – und Wohnungswesen, 2001

[2] fib – Symposium „Concrete and Environment”, 3-5 October 2001. Proceedings - tom streszczeń 62 referatów + CD; DBV-Deutscher Beton – und Bau-technik-Verein, Berlin 2001

[3] ADDTEK Environmental Report. 2001.

[4] Environmental Design fib – Report. Commission 3: Environmental aspects of design and construction – Task Group 3.3. Second draft. Takamatsu-Lausanne-Berlin, October 2001