

Zrównoważone budownictwo w technologii betonu

W artykule zostały przybliżone zagadnienia związane z tematyką zrównoważonego rozwoju w kontekście certyfikacji budynków. Na przykładzie systemu certyfikacji budynków LEED, przedstawione zostały zagadnienia związane z oceną rozwiązań konstrukcyjnych w aspekcie materiałowym, a także problemy związane z wdrażaniem proekologicznych rozwiązań w technologii betonu.

Wstęp

Tematyce zrównoważonego rozwoju poświęca się ostatnio coraz więcej uwagi, czemu towarzyszy rozszerzanie definicji tego pojęcia. Zagadnienie zrównoważonego rozwoju zostało określone w 1987 roku przez Światową Komisję Środowiska i Rozwoju przy Organizacji Narodów Zjednoczonych jako proces, który dążąc do zaspokojenia potrzeb obecnego pokolenia w żaden sposób nie zmniejszy potencjału rozwoju przyszłych pokoleń [1]. Komisja wyodrębniła trzy główne obszary zrównoważonego rozwoju: środowisko, ekonomia i społeczeństwo, wzajemnie ze sobą połączone (rys.1). W ciągu kolejnych lat problem zrównoważonego rozwoju był przedmiotem działań wielu światowych organizacji, zarówno rządowych jak również pozarządowych. Wiele projektów i dyrektyw dotyczących tematyki zrównoważonego rozwoju, w tym również dotyczących aspektów zrównoważonego rozwoju w budownictwie, jest ciągle opracowywanych. Dotychczasowe efekty powyższych prac mają już odzwierciedlenie w eurokodach [2, 3] czy biuletynach fib [4, 5, 6]. W rezultacie projektowanym i wykonywanym konstrukcjom stawiane są coraz wyższe wymagania dotyczące wpływu środowiska na konstrukcje, ale również wpływu konstrukcji na środowisko. Jak podkreślił prof. A. Ajdukiewicz

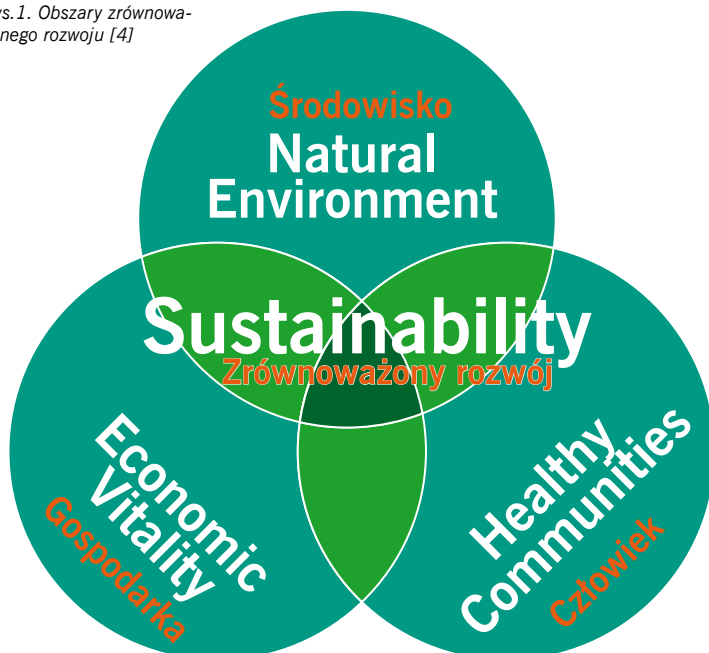
na wykładzie z okazji nadania Mu godności Doktora Honoris Causa Politechniki Łódzkiej w Łodzi w 2011 roku, aspekt wpływu środowiska na konstrukcje żelbetonowe dotyczy głównie ich trwałości, zaś aspekt wpływu konstrukcji na środowisko jest znacznie szerszy, a często zaniedbywany. Obejmuje on między innymi zagadnienia pozyskiwania materiałów, ich transportu, przetwarzania, wytwarzania samej konstrukcji, a następnie jej utrzymania, rozbiórki, utylizacji lub ewentualnie przetworzenia. Według fib [4], przemysł budowlany zużywa prawie 50% naturalnych zasobów i energii przetwarzanej przez przemysł w całości, zaś beton, jako materiał stosowany na największą skalę, ma w tym decydujący udział. Według Takamatsu [4], rocznie produkowana jest 1 tona betonu na jedno mieszkańca (dane z 2004 roku), zaś Ajdukiewicz szacuje, iż obecnie liczba ta sięga 2,5 tony rocznie na mieszkańca. Istotny jest również fakt, iż produkcji 1 tony cementu portlandzkiego towarzyszy emitowanie około 1 tony CO₂ do atmosfery. Uwzględniając nawet, iż około 50% tej ilości CO₂ beton pochłania w kolejnych latach w procesie karbonatyzacji, to bezsprzecznie należy stwierdzić, iż przemysł betonowy w istotny sposób oddziałuje na środowisko.

Systemy certyfikacji

W celu określenia wpływu konstrukcji na środowisko stworzono wiele narzędzi; można ocenić wpływ poszczególnych materiałów, procesów budowlanych lub ocenić wpływ całego budynku na środowisko.

Wśród systemów certyfikacji budynków najpopularniejszymi są: LEED, BREEAM, HQE czy DGNB. Nie są one na razie obligatoryjne w krajach Unii Europejskiej, jednak zainteresowanie inwestorów jest bardzo duże i z każdym rokiem rośnie liczba budynków certyfikowanych według różnych systemów certyfikacji. Każdy z tych standardów inaczej definiuje zasady zrównoważonego rozwoju, a także przykłada inną wagę do poszczególnych zagadnień. Jak wykazały wyniki duńskiego testu porównawczego metod certyfikacji budynków przeprowadzonego przez SBI Danish Building Research Institute [7] na dwóch budynkach biurowych, cechą wspólną jest to, iż wszystkie systemy odnoszą się do takich problemów jak: energia, woda, materiały, odpady, środowisko lokalne, transport, klimat pomieszczeń, jednakże z uwagi na różnice w podejściu do poszczególnych aspektów budynki uzyskały różne oceny w zależności od przyjętego systemu certyfikacji. W zakresie oceny energii system BREEAM jest bardziej restrykcyjny niż na przykład LEED, zaś niemiecki system DGNB, jako nieliczny, a do tego bardzo rygorystycznie, ocenił LCC (Life Cycle Costing), czyli całkowity koszt budynku, przez cały czas użytkowania, w tym planowania i projektowania.

Rys.1. Obszary zrównoważonego rozwoju [4]



W Polsce jednym z najpopularniejszych systemów certyfikacji budynków jest LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). System ten został opracowany w Stanach Zjednoczonych przez U.S. Green Building Council w 1998 roku i od tego czasu liczba budynków certyfikowanych według różnych systemów oceny wynosi ponad 47 tysięcy na całym świecie (głównie w Stanach Zjednoczonych) [8]. Systemy oceny dzieli budynki pod kątem kategorii na:

- nowe konstrukcje i gruntowne renowacje (new construction & major renovations)
- utrzymanie i eksploatacja istniejących budynków (existing buildings operations and maintenance)
- wykończenie przestrzeni komercyjnych (commercial interiors)
- stan deweloperski (core and shell development)
- szkoły (schools)
- domy (homes)
- osiedla (neighborhood development)
- budynki opieki zdrowotnej (healthcare).

W zależności od stopnia spełnienia określonych kryteriów i przyznanych punktów oraz oceny kategorii, budynek może być klasyfikowany jako (dla stanu deweloperskiego [Shell & Core] wg [8]):

- Certyfikowany (od 23 punktów do 27)
- Srebrny (od 28 punktów do 33)
- Złoty (od 34 punktów do 44)
- Platynowy (od 45 punktów).

System LEED wymaga dwuetapowej certyfikacji. Pierwszym etapem jest precertyfikacja polegająca na zgłoszeniu projektu do certyfikacji i ocenie projektu przez zespół certyfikatorów. Kolejnym etapem jest certyfikacja budynku na etapie jego realizacji. Budynek uzyskuje certyfikat w systemie LEED dopiero wtedy, gdy jest wykonany i spełni wszystkie zakładane założenia będące przedmiotem oceny.

W porównaniu do innych systemów, cechą charakterystyczną LEED są wymagania podstawowe (punkty obligatoryjne) w poszczególnych zakresach certyfikacji, które budynek musi spełnić.

Jak podkreśla Bochen [9], budynki certyfikowane w systemie LEED odznaczają się mniejszym zużyciem energii o 1/3, oszczędnością wody, a także kosztów zarządzania odpadami (nawet o 90%).

Innym popularnym systemem certyfikacji budynków jest system PREEAM opracowany w Wielkiej Brytanii w 1990 roku. W zależności od lokalizacji obiektu, system przewiduje różne podziały na kategorie. Dla polski, gdzie obowiązuje jeszcze kryterium International (Międzynarodowe), system dzieli budynki na etapy ich cyklu życia na:

- Nowe konstrukcje (BREEAM International New Construction)
- Remonty (BREEAM International Refurbishment)
- Obiekty użytkowane (BREEAM In – Use International)
- Okolice (przestrzenie) i społeczności (BREEAM Communities Bespoke International).

Przy certyfikacji nowych konstrukcji system BREEAM w zależności od stopnia spełnienia wymagań w 10 kategoriach (zarządzanie, zdrowie i dobre samopoczucie, energia, transport, woda, materiały, odpady, użytkowanie gruntów i ekologia oraz zanieczyszczenie) klasyfikuje budynki jako:

- Certyfikowany (Certificated) $\geq 30\%$
- Dobry (Good) $\geq 45\%$
- Bardzo dobry (Very good) $\geq 55\%$
- Doskonały (Excellent) $\geq 75\%$
- Wybitny (Outstanding) $\geq 85\%$

W celu certyfikacji budynku niezbędne jest zatrudnienie niezależnego licencjonowanego członka BREEAM, posiadającego stosowną licencję – w tym przypadku New Construction.

Konstrukcje żelbetowe w procesie certyfikacji

Należy zauważyć, iż aspekt wykorzystania innowacyjnych i ekologicznych rozwiązań konstrukcyjnych w systemie certyfikacji LEED jest sprowadzony do jedynie kilku zagadnień, za spełnienie których można maksymalnie uzyskać od 2 do 4 punktów w całym procesie certyfikacji. Biorąc pod uwagę, iż jeden z nich dotyczy wykazania, iż 10% lub 20% łącznego udziału kosztów materiału pochodzi z recyklingu, to w przypadku konstrukcji żelbetowych uzyskanie 2 punktów nie powinno stanowić problemu. Obecnie udział materiału pochodzącego z recyklingu używanego do produkcji stali zbrojeniowej jest bardzo duży (szacuje się, iż nawet około 80%), zaś w budownictwie kubaturowym najczęściej stosowany beton oparty jest na cementach CEM II i CEM III oraz zawiera dodatki mineralne, takie jak popiół lotny czy pył krzemionkowy. Należy jednakże podkreślić, iż uzyskanie oceny w tym aspekcie dotyczy wszystkich materiałów użytych w trakcie realizacji, z wyłączeniem materiałów instalacyjnych.

Zagadnienie małej wagi wykorzystania innowacyjnych i ekologicznych rozwiązań konstrukcyjnych w ogólnej ocenie nie dotyczy jedynie systemu LEED, ale ma miejsce w innych systemach certyfikacji. Powyższy problem był przedmiotem kilku dyskusji podczas niedawnej międzynarodowej konferencji RILEM w Paryżu, poświęconej reologii mieszanek betonowych i betonowi samozagęszczalnemu. Wyniki badań zaprezentowane przez Faleschini [10], nad zastąpieniem kruszywa żużlem z EAF (elektrycznego pieca łukowego, tabela 1), lub Wciśło [11], nad wykorzystaniem betonu

Tabela 1. Receptury mieszanek z zastąpieniem kruszywa żużlem z EAF [10]

	Trad	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5	Mix 6
Żwir [%]	100	100	100	50	-	-	-
Piasek [%]	100	50	-	50	50	-	100
Średni/Gruby EAF [%]	-	-	-	50	100	100	100
Drobny EAF [%]	-	50	100	50	50	100	-
Maksymalny wymiar ziarna D [mm]	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4
Cement [kg]	330	335	340	340	350	355	310
Woda [l]	155	158	167	180	185	195	164,3
w/c	0,47	0,47	0,49	0,53	0,53	0,55	0,53
Objętość kruszywa [l]	682	678	673	675	662	658	763
Łącznie EAF [kg]	-	514	1019	1278	1894	2508	2041
Łącznie kruszywa naturalnego [kg]	1861	1480	1102	920	456	-	617,24
Domieszka upłynniająca [kg]	1,31	1,33	1,36	1,36	1,39	1,42	1,24
Domieszka napowietrzająca [g]	56	56	56	56	56	56	49,6

Tabela 2. Porównanie emisji CO₂ do atmosfery przy wytwarzaniu betonu samozagęszczalnego [11]

	C25/30 Green – SCC	C25/30 SCC	C30/37 Green – SCC	C30/37 SCC
Produkcja materiałów (kg eq. CO₂/m³)				
Cement	223,20	279,01	265,06	316,21
Kruszywo	3,31	2,87	3,27	3,04
Pozostałe składniki	0,05	0,05	0,05	0,05
Suma	226,57	281,93	268,38	319,30
Transport materiałów (kg eq. CO₂/m³)				
Cement	8,23	10,29	9,78	11,66
Kruszywo	30,63	26,53	30,19	28,08
Pozostałe składniki	2,15	4,19	2,29	3,73
Suma	41,02	41,02	42,25	43,47
Produkcja betonu na WBT (kg eq. CO₂/m³)				
Energia elektryczna	2,08	2,08	2,08	2,08
Olej napędowy	0,83	0,83	0,83	0,83
Olej opałowy	0,98	0,98	0,98	0,98
Suma	3,89	3,89	3,89	3,89
Całkowity współczynnik emisji CO₂ (kg eq. CO₂/m³)				
Suma	271,48	326,83	314,51	366,65

samozagęszczalnego z niską zawartością cementu (tabela 2), dowiodły, iż prowadzone prace badawcze i zaprezentowane przykłady aplikacji znacząco wykraczają poza ramy oceny stosowane w systemach certyfikacji budynków.

Nie tylko systemy certyfikacji budynków nie są w stanie w pełni nadążyć za innowacyjnymi oraz ekologicznymi rozwiązaniami w technologii betonu. Na jednej z sesji Wallewick zaprezentował beton samozagęszczalny o ekstremalnie niskiej zawartości cementu, poniżej 250 kg/m³. Beton ten został opracowany w Zjednoczonych Emiratach Arabskich, a jednym z powodów, dla których nie mogła być to Unia Europejska, był fakt, iż obowiązujące eurokody, poprzez określenie minimalnej zawartości cementu w betonie, uniemożliwiają rozwój zastosowania betonu o wyjątkowo niskim śladzie karbonowym (carbon footprint).

Podsumowanie

Wprowadzenie idei zrównoważonego rozwoju do technologii betonu staje się nie tylko nobliwą ideą, ale w najbliższym czasie stanie się kolejnym kryterium, które projektowane i wznoszone konstrukcje będą musiały spełniać.

Obecnie stosowane systemy certyfikacji budynków są bardzo dobrym narzędziem służącym do promocji proekologicznych rozwiązań i zasad zrównoważonego rozwoju, jednakże w przypadku stosowanych materiałów budowlanych takich jak beton, konieczna będzie pewna rewizja przyjętych sposobów oceny. Dla porównania, wspomniany system LEED, w odróżnieniu od doceniania głównie proekologicznych rozwiązań materiałów konstrukcyjnych, w dużym zakresie przykładą wagę do promocji proekologicznych systemów np. wentylacji czy systemów wodno-kanalizacyjnych. Najnowsze tendencje w rozwoju technologii betonu pokazują, że zarówno jednostki badawcze i rozwojowe jak i przemysł są w stanie w pełni nadążyć za ideą zrównoważonego rozwoju. Jednym z największych ograniczeń mogą jednak okazać się regulacje prawne, choć to właśnie one powinny być bodźcem do dalszego rozwoju i promocji zasad zrównoważonego rozwoju.

mgr inż. Hubert Witkowski

**Politechnika Łódzka, Katedra Budownictwa Betonowego
Skanska SA Oddział Budownictwa Ogólnego w Łodzi**

Bibliografia

- 1 *Our Common Future, The World Commission on Environment and Development (WCED), Oxford U.P., 1987*
- 2 *PN – EN 1990:2004 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji*
- 3 *PN – EN 1992:2008 Eurokod: Projektowanie konstrukcji z betonu*
- 4 *fib Bulletin 28, Environmental design, State – of – art report, Lausanne, Switzerland, 2004*
- 5 *fib Bulletin 34, Model Code for Service Life Design, Model Code, Lausanne, Switzerland, 2004*
- 6 *fib Bulletin 47, Environmental design of concrete structures – general principles, Technical report, Lausanne, Switzerland, 2008*
- 7 *Birgsdottir Harpa, Klaus Hansen, Test of BREEAM, DGNB, HQE and LEED on two Danish buildings; World Sustainable Building Conference, Proceedings, Helsinki 2011, p. 879 – 887, [red.] Huovila Pekka*
- 8 *LEED Green Building Rating System™ For Core & Shell Development; 2006, U.S. Green Building Council; ver. 2.0*
- 9 *Bochen Jacek, LEED przejawem nowych tendencji w budownictwie kubaturowym; „Inżynier Budownictwa”, wrzesień 13 (109), Wydawnictwo Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa, Warszawa 2013*
- 10 *Faleschini Flora, Pellegrino Carlo; An experimental study about the possibility of substituting natural aggregates with EAF slag in concrete production. [red.] Nicolas Roussel i Bessaies-Bey Hela. Paryż : RILEM Publications, 2013. Proceedings of the 7th RILEM International Conference on Self-Compacting Concrete and of the 1st RILEM International Conference on Rheology and Processing of Construction Materials*
- 11 *Wcisło Aldona i Kuniczuk Krzysztof, Self-compacting concrete with low binder - the new beginning for self-compacting concretes used in Poland. [red.] Nicolas Roussel i Hela Bessaies-Bey. Paryż : RILEM Publications, 2013. Proceedings of the 7th RILEM International Conference on Self-Compacting Concrete and of the 1st RILEM International Conference on Rheology and Processing of Construction Materials*



foto: Zbigniew Pich