

Beton a rozwój zrównoważony

Konfrontacja eksplozji demograficznej w ostatnim stuleciu z równie zdumiewającą eksplozją produkcji betonu w tym okresie – daje pierwszą odpowiedź na pytanie „czy beton ma przyszłość”. Jeśli – wyrażając pewien optymizm – uważamy, że ludzkość ma przyszłość, to jest to praktycznie tożsame z rozwojem produkcji betonu. Nie ma wszak żadnych przesłanek co do zastąpienia betonu w masowej skali innym materiałem budowlanym, przynajmniej w przewidywalnej przyszłości – pisze prof. Andrzej Ajdukiewicz. To kolejny głos w toczącej się na łamach naszego kwartalnika dyskusji – „Czy beton ma przyszłość?”.

W trwającej od pewnego czasu dyskusji związanej z ogólnym pytaniem przewodnim „Czy beton ma przyszłość?” – zaprezentowano już wiele stwierdzeń i przemyśleń, a także wyrażono różne uwarunkowania. Ogólnie pozytywny ton odpowiedzi na zasadnicze pytanie był oczywisty, a różne spojrzenia na problem wynikały z prób poszukiwania kolejnych uzasadnień. Wypowiadali się przedstawiciele nauki o różnym stopniu kontaktu z praktyką.

Wydaje się, że tylko możliwie kompleksowe spojrzenia na problem mogą być wolne od subiektywizmu. Łatwo bowiem wyobrazić sobie skrajnie różne stanowiska w tej mierze, gdyby przedstawiali swój punkt widzenia specjaliści z poszczególnych dziedzin – np. producenci składników betonu, wytwórcy betonu towarowego lub wykonawcy konkretnych typów konstrukcji z betonu. Nie byłoby nic dziwnego, że wyrażaliby pogląd przez pryzmat przyszłości swojej branży.

Moje refleksje postaram się skoncentrować na możliwie szerokim problemie – jak ma się przyszłość betonu w stosunku do strategii zrównoważonego rozwoju. Skłoniła mnie do tego i w pewnym stopniu upoważniła współpraca w dwóch komisjach stowarzyszeń międzynarodowych, w których tego typu dyskusje i zespołowe raporty mają miejsce od szeregu lat. Pierwsza to Komisja 3. „Konstrukcje betonowe” IABSE (Międzynarodowe Stowarzyszenie Mostów i Konstrukcji Budowlanych – najstarsze w tej dziedzinie stowarzyszenie międzynarodowe, działające od 1929 r.), a druga – chyba jeszcze bardziej kompetentna – to Komisja 3. FIB (Międzynarodowej Federacji Betonu Konstruktoryjnego) „Środowiskowe aspekty projektowania i wznoszenia konstrukcji z betonu”. Raporty z pracy grup zadaniowych tych komisji mają o tyle obiektywny cha-

rakter, że powstają w zespołach międzynarodowych, a następnie zatwierdzane są przez gremia skupiające specjalistów z kilkudziesięciu krajów.

Choć jest to niezmiernie rozległa tematyka, to jednak stwarza możliwość spojrzenia na beton z bardzo szerokiej perspektywy różnych aspektów zrównoważonego budownictwa. Przypomnę, że przez zrównoważone budownictwo rozumie się [1]: „wznoszenie i użytkowanie budynków, które powodują minimalne oddziaływanie na środowisko, a obiekty mogą być zmieniane i modyfikowane w czasie okresu ich użytkowania. Budynki są zdrowe i bezpieczne dla użytkowników i, nade wszystko, mają długi okres przydatności, a na koniec podlegają utylizacji”. Budownictwo współczesne tak globalnie rozumiane – jako produkcja budowlana i obiekty budowlane razem z ich eksploatacją i likwidacją – jest nazywane „sektorem 40%”, bowiem ocenia się w przybliżeniu, że zużywa 40% energii, emituje 40% CO₂ i produkuje 40% odpadów. Intensywne działania w całym obszarze zrównoważonego budownictwa zmierzają do obniżenia tych liczb.

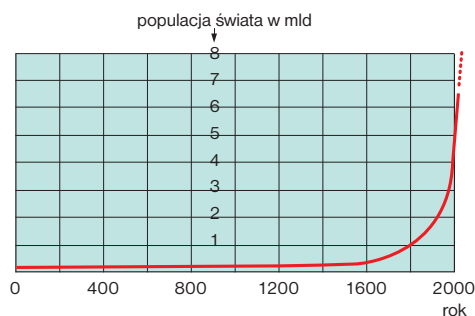
Nie uświadamiamy sobie zwykle, że beton – obok wody i energii – należy do podstawowych czynników materialnych w strategii zrównoważonego rozwoju. Wynika to z faktu, że produkcja betonu w świecie jest ogromna i osiąga średnio rocznie w ostatniej dekadzie masę rzędu 7 mld ton, czyli ponad tonę na każdego mieszkańca Ziemi. Pierwszą odpowiedź na temat przyszłości betonu daje w tej sytuacji prosta ilustracja eksplozji populacji. Jest truizmem stwierdzenie, że beton jest wytwarzany dla jego wbudowania w konstrukcję – czym innym zaspokajając tak masowe zapotrzebowanie? (rys. 1)

Konfrontacja eksplozji demograficznej w ostatnim stuleciu z równie zdumiewającą eksplozją produkcji betonu w tym okresie – daje pierwszą odpowiedź na tytułowe pytanie: jeśli – wyrażając pewien optymizm – uważamy, że ludzkość ma przyszłość, to jest to praktycznie tożsame z rozwojem produkcji betonu. Nie ma wszak żadnych przesłanek co do zastąpienia betonu w masowej skali innym materiałem budowlanym, przynajmniej w przewidywalnej przyszłości.

Z punktu widzenia zaspokajania potrzeb ludzkości decydujące znaczenie ma okres możliwego użytkowania konstrukcji z betonu, przy najbardziej ograniczonych zabiegach remontowych. Jednak w całej strategii zrównoważonego rozwoju równie istotne są okresy powstania konstrukcji, jak i jej racjonalnej likwidacji po zużyciu. To stanowiło podstawę nowego podejścia do procesu inwestycyjnego – kompleksowej analizy całego okresu istnienia konstrukcji. Procedury te nazywane są skrótowo LCA (*Life-Cycle Analysis*) i LCC (*Life-Cycle Cost*). W konstrukcjach betonowych analizy te obejmują następujące aspekty:

- dobór składników z uwzględnieniem wpływu na środowisko sposobu ich pozyskania, a także z możliwie szerokim zastosowaniem materiałów wtórnych lub odpadowych
- racjonalne stosowanie betonu, z dostosowaniem właściwości do wymagań – zwłaszcza pod względem wytrzymałości i trwałości

Rys. 1. Eksplozja populacji u podstaw zapotrzebowania na beton



- poprawność technologiczną w fazie produkcji, układania i pielęgnacji
- poprawność eksploatacyjną w odniesieniu do konstrukcji z betonu
- technologię rozbiórki, zapewniającą w możliwie szerokim zakresie uzyskanie wartościowych materiałów wtórnych, a nawet ponowne użycie całych elementów.

Choć wskazania te nie budzą zastrzeżeń, to jednak trudność stanowi ilościowa analiza we wszystkich wymienionych aspektach i jednoznaczna ocena w analizowanych porównaniach.

W konstrukcjach betonowych dokonuje się wobec tego przede wszystkim analizy relacji środowisko – beton, z podziałem na trzy obszary:

- 1) wpływ produkcji betonu, w tym uzyskiwania jego składników, oraz wznoszenia konstrukcji z betonu na środowisko
- 2) wpływ środowiska na konstrukcje z betonu
- 3) rola konstrukcji z betonu w ochronie zarówno ludzi, jak i środowiska.

Każdy z tych obszarów dostarcza we współczesnej działalności człowieka przykłady pozytywne i negatywne z punktu widzenia zrównoważonego budownictwa. Prześledźmy zatem niektóre aspekty roli betonu w tych trzech obszarach, bowiem każdy z nich może być decydujący co do przyszłości betonu.

Oddziaływania betonu na środowisko

Wszelkie oddziaływania budownictwa na środowisko rozważane są z podziałem na trzy fazy:

- faza realizacji – wytwarzanie materiałów, produkcja wyrobów i proces wznoszenia
- faza eksploatacji – wpływ całego okresu użytkowania i utrzymania obiektów
- faza likwidacji – wpływ rozbiórki i recyklingu materiałów lub elementów budowlanych.

Oddziaływania wynikające w fazie realizacji obiektu są istotne dla kierunków działania w szeroko pojętym przemyśle budowlanym. Mają na nie wpływ wszyscy udziałowcy procesu inwestycyjnego i ważne jest, aby wszyscy oni szukali możliwości ograniczenia oddziaływania na środowisko, jednakże bez pomijania innych aspektów zrównoważonego rozwoju. Można to zilustrować banalnym przykładem – ograniczenie ilości cementu w betonie sprzyja oczywiście obniżeniu oddziaływania na środowisko, ale prowadzi do skrócenia okresu przydatności obiektu, a czasem do zagrożenia bezpieczeństwa.

W fazie realizacyjnej pomocne są w analizach oszacowania dotyczące poszczególnych wyrobów budowlanych. Miary oddziaływania na środowisko są różne – najprostsze to zużycie energii na jednostkę masy wyrobu oraz emisja gazów zanieczyszczających atmosferę, przeliczona na CO₂ (tablica 1). Opracowano szereg różnych metod oceny oddziaływania na środowisko, dostosowanych do dokładniejszych porównań w obszarze poszczególnych grup materiałów.

Zestawienie powyższe bazuje na pomiarach uśrednionych – na przykład beton może mieć składniki istotnie różniące się pod względem oddziaływania na środowisko. Dokonano zatem wielu oszacowań bardziej szczegółowych, odniesionych do składników przeciętnych elementów żelbetowych. Przykładem ocen fińskich [2] jest tablica 2. Łatwiejsze do oceny są wyniki porównań dla konkret-

Wyrób – materiał lub prefabrykat	Zużycie energii [MJ/kg wyrobu]	Emisja CO ₂ [g/kg wyrobu]
Beton towarowy C25/30	0,6	85
Beton towarowy C80/90	1,0	170
Belka żelbetowa C40/50	1,3	110
Płyta stropowa kanałowa C60/70	1,3	120
Beton komórkowy	5,2	350
Dachówka betonowa	1,3	160
Cegła palona pełna	4,1	230
Cegła wapienno-piaskowa	1,7	160
Zaprawa murarska	1,3	120
Wełna szklana	23,2	990
Wełna mineralna	19,8	1620
Drewno	1,6	80
Spawane dźwigary stalowe	11,7	660

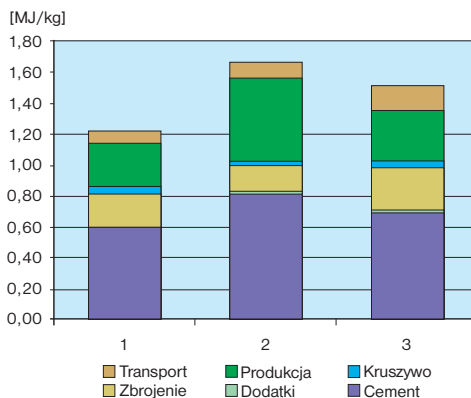
Tablica 1. Oszacowania oddziaływania na środowisko podstawowych wyrobów budowlanych, wg [2]

nych elementów konstrukcyjnych. Doświadczenia i pomiary skandynawskie zużycia energii przy produkcji różnych typowych prefabrykatów przedstawiono z uwzględnieniem poszczególnych procesów – produkcji, transportu, montażu. (rys. 2.)

Składnik	Zużycie energii [MJ/kg wyrobu]	Emisja CO ₂ [g/kg wyrobu]
Cement (szybkosprawy)	5,19	708
Popiół lotny	0,08	5
Mielony żużel wielkopiecowy	1,31	71
Kruszywo – żwir, piasek	0,04	3
Kruszywo łamane	0,06	4
Zbrojenie (z recyklingiem złomu)	3,70	94

Tablica 2. Oddziaływanie na środowisko poszczególnych surowców do konstrukcji z betonu

Wprawdzie oddziaływania na środowisko są określane w przeliczeniu na masę (kg) lub objętość (m³) wyrobu, to jednak do praktycznych porównań analizy powinny być prowadzone na jednostkę powierzchni (np. na m² powierzchni użytkowej). Taki przykład porównania dla żelbetowych międzykondygnacyjnych stropów płytowych – prefabrykowanych i wykonywanych na budowie – przedstawia według danych skandynawskich tablica 3. Porównanie dotyczy współczesnych rozwiązań, a zatem uwzględnia zarówno nowoczesne metody produkcji prefabrykatów, jak i nowoczesne metody wykonawstwa konstrukcji monolitycznych.



Rys. 2. Porównanie składników zużycia energii przy produkcji trzech typów prefabrykatów: 1 – kanałowe płyty stropowe, 2 – elementy elewacyjne, 3 – elementy szkieletu

Tablica 3. Porównanie zużycia energii dla stropów prefabrykowanych i wykonanych na budowie – oszacowanie na jednostkę powierzchni stropu

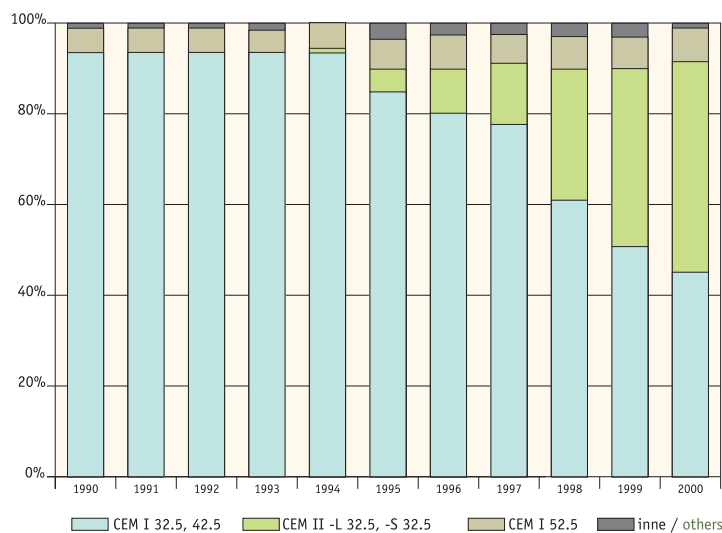
	Strop prefabrykowany z płyt kanałowych [MJ/m ²]	Strop monolityczny płytowy [MJ/m ²]
Cement	186	389
Zbrojenie	45	60
Inne surowce	15	23
Proces wytwarzania	128	32
Transport i montaż	28	42
Łączne zużycie	401 (72%)	560 (100%)

W rozważaniach na temat fazy realizacyjnej należy podkreślić istotne dla oddziaływania na środowisko współczesne kierunki produkcji cementu. Jest to temat wielokrotnie poruszany, ale warto zauważyć, jak gwałtowny był proces zastępowania czystego cementu portlandzkiego cementami mieszanymi. Przykład tego procesu według statystyk szwajcarskich wskazuje na tempo zmian. (rys. 3)

W fazie eksploatacji bezpośrednie oddziaływanie wbudowanego betonu na środowisko jest zwykle niewielkie. Są jednak przykłady, zwłaszcza w budownictwie hydrotechnicznym, komunikacyjnym, przemysłowym, w których z jednej strony destrukcja betonu prowadzi do zanieczyszczeń, a z drugiej – konieczne są naprawy powierzchniowe lub poważniejsze zabiegi rekonstrukcyjne. Konieczne jest wtedy dodatkowe zużycie materiałów.

Ponadto, znaczenie elementów konstrukcyjnych, w tym betonowych, dotyczy pośrednio także całego okresu użytkowania, w aspekcie ogrzewania. Elementy te, z uwagi na swą masę, mają dużą pojemność cieplną. Dzięki temu w sposób naturalny wpływają na złagodzenie dobowych zmian temperatury we wnętrzu i w ten sposób redukują zużycie energii przy zachowaniu odpowiedniego komfortu pomieszczeń. Przy tradycyjnym podejściu do tej dodatkowej roli elementów konstrukcyjnych – mamy oddziaływanie pasywne. Są jednak już badane, na etapie pierwszych wdrożeń w prototypowych obiektach, zastosowania elementów konstrukcyjnych aktywnie włączanych do oddziaływania na bilans energetyczny obiektu – poprzez gromadzenie, przekazywanie i magazynowanie energii w ustroju konstrukcyjnym. Wymaga to integracji ustroju konstrukcyjnego z systemem ogrzewania, a zatem zupełnie nowego podejścia do projektowania.

Rys. 3. Wzrost stosowania cementów mieszanych w Szwajcarii



W fazie likwidacji konstrukcji betonowych dominuje rola recyklingu materiałów i elementów budowlanych. Jest to obecnie bardzo propagowana i w wielu krajach rozwijająca się dziedzina. (fot. 1) Dotąd zdecydowanie większe znaczenie ma odzyskiwanie materiałów, w tym przede wszystkim kruszywa do betonu, a na razie niewielkie – odzyskiwanie całych elementów przydatnych w innych obiektach. Wynika to stąd, że w przeszłości, przy projektowaniu i wznoszeniu obiektów zupełnie pomijano przyszłą konieczność rozbiórki i ewentualnego wtórnego stosowania elementów. Jak wielkie są to masy, pokazuje zestawienie i prognoza dla Japonii – przedstawiono zużycie nowego kruszywa do betonu, całkowite odpady betonu (z uwzględnieniem rozbiórek i odpadów produkcyjnych) i recykling betonu (rys. 4). Rozbiórka konstrukcji betonowych nie może być bezmyślna, z przemieszaniem materiałów i utrudnieniem dostępu – dotyczy to zarówno obiektów budownictwa miejskiego (gdzie są różnorodne materiały i należy je jeszcze przed wyburzeniem selekcjonować), jak i obiektów komunikacyjnych lub przemysłowych. (fot. 2)

Fot. 1. Niezbędny kierunek działań – możliwie pełny recykling betonu



Warto w tym miejscu nadmienić, że recykling kruszywa jest pod względem zużycia energii znacznie korzystniejszy niż wykorzystanie złomu stali zbrojeniowej, a to przecież od dawna nie budzi wątpliwości co do celowości. W uzupełnieniu problemu recyklingu kruszywa warto także dodać informację, że w Holandii (kraj ubogi w kruszywo naturalne) od połowy lat 90. istnieje obowiązek stosowania przy produkcji betonu co najmniej 20% wtórnego kruszywa grubego [3].

Oddziaływanie środowiska na beton

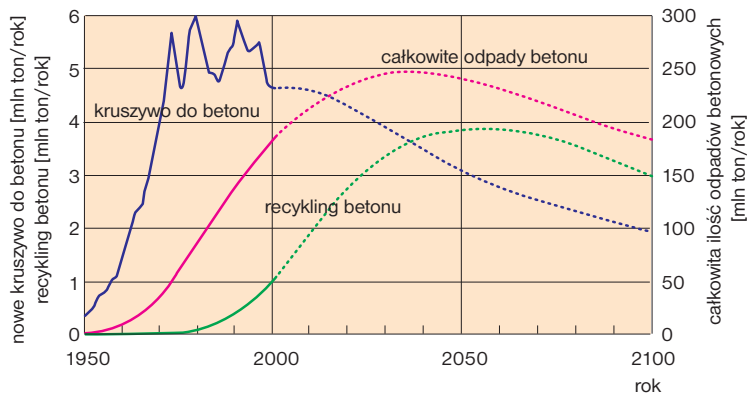
Jedną z podstawowych zalet betonu jest jego trwałość po stwardnieniu w odpowiednich warunkach. Z drugiej strony produkcja betonu wymaga odpowiedniej wiedzy, staranności i zabiegów pielęgnacyjnych. Potoczne powiedzenie, że „zajmowanie się betonem w ciągu pierwszego tygodnia od jego powstania decyduje o tym, czy jego trwałość będzie wynosiła 5 lat czy 50 lat” wskazuje na istotne znaczenie znajomości sposobu wytwarzania i pielęgnacji.

O ile w warunkach budowy występuje szereg utrudnień w całkowicie poprawnym procesie realizacji konstrukcji z betonu, o tyle prefabrykacja pozwala na szczegółową kontrolę produkcji pod kątem właściwości decydujących o trwałości. Warunki możliwe do zapewnienia przy nowoczesnej produkcji prefabrykatów pozwalają na stawianie bardzo wysokich wymagań i osiąganie bardzo wysokiej jakości w całej masie elementu, a przede wszystkim na powierzchni. Osiąga się w rezultacie cechy znacznie korzystniejsze niż możliwe do uzyskania w warunkach budowy.

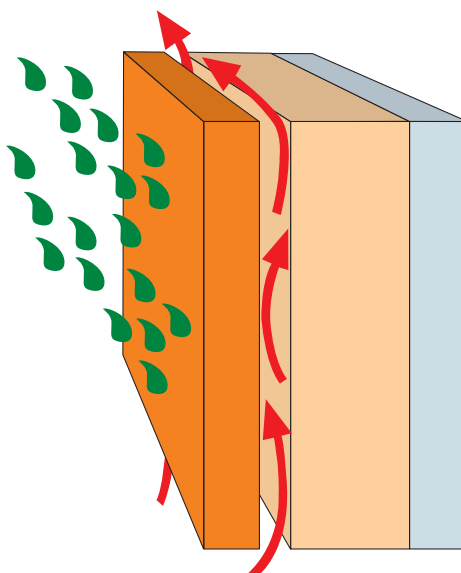
Współczesna prefabrykacja betonowa pozwala także na produkcję nowych typów elementów, w których aspekty zrównoważonego budownictwa mogą być znacznie bardziej kompleksowo wzięte pod uwagę. Przykładem mogą być wentylowane elementy elewacyjne.

W odróżnieniu od tradycyjnych elementów warstwowych mają one wentylowaną pustkę powietrzną, a zewnętrzna warstwa z napowietrzonego betonu zbrojonego włóknami polipropylenowymi (PP) i stalą nierdzewną ma wysoką odporność na korozję chemiczną i wysoką mrozoodporność. Dla elementów takich zakłada się okres użytkowania 100 lat, a w szczególnych przypadkach nawet 200 lat. A więc to, co uważaliśmy za „błąd w sztuce budowlanej”, czyli wielka płyta, doczekało się odrodzenia, ale z uwzględnieniem zasad fizyki budowli i trwałości materiałów. (rys. 5)

Kwestia wymagań związanych z trwałością jest ściśle związana z projektowanym okresem użytkowania obiektu. W trwałych obiektach jest to zwykle od 50 lat (budynki mieszkalne, niektóre obiekty przemysłowe i infrastruktury miejskiej), do 100 lub 200 lat (budowle monumentalne, obiekty komunikacyjne). Należy tu podkreślić, że okres użytkowania jest rozumiany jako okres, w którym z określonym prawdopodobieństwem (np. 95%) nie będzie potrzebna wymiana lub naprawa znaczących elementów – nie jest to zatem równoznaczne z planowanym okresem istnienia obiektu. Decyzje w sprawie okresu użytkowania rzutują istotnie na koszty wzniesienia i utrzymania budynku; stąd obecnie rozwijane problemy analizy kosztów w całym okresie użytkowania i w planowanym okresie istnienia obiektu. Decyzje te



Rys. 4. Zestawienia i prognozy japońskie dotyczące zużycia kruszywa nowego i wtórnego



Rys. 5. Przykład nowoczesnych prefabrykatów ścian zewnętrznych

mają duże znaczenie przy projektowaniu nowoczesnych konstrukcji z betonu, w tym zwłaszcza w stosunkowo nowej dziedzinie „projektowania na trwałość”. Niestety, mamy wiele przykładów obiektów, których w żadnym stopniu nie projektowano z uwzględnieniem trwałości. (fot. 3)

Niestety także obecnie powstają obiekty, przy których zawodzi projektantów, inwestorów i wyko-

Fot. 2. Rozbiórka utrudniająca utylizację jest niezgodna z prawem





fot. Archiwum

Fot. 3. Słupy uzwojone konstrukcji wsporczej chłodni kominowej – czy nie należało uwzględnić problemu trwałości?

Fot. 4. Słupy wiaduktu, w których zadbano o estetykę, ale nie przewidziano ataku korozyjnego wody, soli i piasku pochodzącego z jezdnii

nawców wyobraźnia co do oddziaływań lokalnych, wywołujących bardzo szybkie zniszczenie (fot. 4). Wiele zupełnie nowych konstrukcji betonowych wznosi się bez zachowania elementarnych zasad układania i zagęszczania betonu – nie może być wtedy mowy o jakiegokolwiek trwałości. Ukrycie takich wad pod natychmiastową naprawą powierzchniową doprowadzić może do stanu awaryjnego już po pierwszym sezonie zimowym. Przypomina się truizm, że „dobry i zły beton robi się najczęściej z tych samych składników”. (fot. 5)



fot. Archiwum

Aspekty zdrowotne konstrukcji z betonu

Zdrowotność budynków, rozumiana jako wpływ na zdrowie użytkowników, jest również jednym z aspektów zrównoważonego budownictwa. Podnoszone w przeszłości kwestie wpływu materiałów budowlanych, w tym także prefabrykatów na warunki zdrowotne w budynkach są w niektórych obszarach nadal aktualne, ale w dużym stopniu zdezaktualizowały się zastrzeżenia w stosunku do wyrobów z betonu.

Problem ten wzbudza z oczywistych względów zainteresowanie społeczne, które koncentruje się na następujących obszarach:

- emisja substancji z materiałów budowlanych do atmosfery wewnątrz pomieszczeń
- podatność na rozwój pleśni i grzybów wewnątrz i na powierzchni materiałów
- przenikalność radonu emitowanego z podłoża
- wydzielanie niebezpiecznych gazów w wypadku pożaru.

W wszystkich tych obszarach beton jest całkowicie lub zadowalająco bezpiecznym materiałem. Od wielu materiałów różni się korzystnie dzięki niewielkiej nasiąkliwości i małej wrażliwości na obecność wilgoci. Stwierdzenia te nie oznaczają propagowania betonu jako materiału uniwersalnego – brak przepuszczalności musi być czynnikiem ograniczającym stosowanie lub narzucającym szczególne podejście do klimatu wnętrza.

Elastyczność funkcjonalna

Podchodząc z wyobraźnią do okresu użytkowania obiektów trzeba się liczyć z przynajmniej parokrotnymi znacznymi zmianami funkcji niektórych, czasem istotnych pomieszczeń lub elementów. Dotyczy to wprawdzie najczęściej instalacji, ale często także podziału pomieszczeń, dróg komunikacyjnych itp. Wszelkie zmiany lub remonty generują znaczne koszty, a także – z uwagi na procesy rozbiórkowe i odpady – nie są obojętne dla środowiska.

Elastyczność funkcjonalna, a zatem możliwości adaptacji nie były do niedawna zupełnie brane pod uwagę w projektowaniu. Problemy te w poszczególnych przypadkach przedstawiają się różnie, ale w budownictwie powszechnym wskazuje się na cechy budynków, które poprawiają możliwości w tym zakresie:

- stosowanie możliwie dużych rozpiętości, czyli ograniczonej liczby podpór
- możliwie gładkie konstrukcje stropów, o niewielkiej wysokości konstrukcyjnej
- wyodrębnienie elementów instalacyjnych z konstrukcji
- zaprojektowanie konstrukcji na obciążenia stwarzające pewną rezerwę.

Łatwo zauważyć, że wskazania te wpływają na podniesienie kosztów realizacji i dlatego ważne jest przewidywanie przyszłości tak dalece, jak to na wstępie możliwe.

Nowoczesne konstrukcje z betonu pozwalają na zwiększenie elastyczności funkcjonalnej i możliwości adaptacji. Uzyskuje się to dzięki wysokiej wytrzymałości betonu i sprężeniu głównych elementów konstrukcyjnych. Mogą wtedy być, przy stosunkowo niewielkiejwyżce kosztów, realizowane postulaty większych rozpiętości i płaskości stropów, a także zwiększonej nośności i sztywności.

Beton niezastąpiony w konstrukcjach ochronnych

Ta funkcja betonu jest najbardziej spektakularna i w wielu sytuacjach wręcz oczywista. Dzięki

swej wysokiej odporności na wpływy mechaniczne beton znalazł już dawno podstawowe zastosowanie jako materiał do wznoszenia konstrukcji nośnej. Chroni zatem ludzi przed skutkami obciążeń różnego typu. Często ochrona ludzi jest połączona z ochroną środowiska. Przykładowo, zapory wodne zbiorników retencyjnych spełniają te obydwa zadania. W tej właśnie dziedzinie zużywa się dzisiaj ogromne ilości betonu na wszystkich kontynentach, bowiem dawne masywne zapory ustępują miejsca zaporom znacznie mniej masywnym, wręcz powłokowym – żelbetowym lub sprężonym. (fot. 6)

Tam, gdzie nie potrafimy jeszcze zadowalająco wyeliminować niekorzystnego wpływu działalności człowieka na środowisko, beton też często przychodzi z pomocą, jak chociażby przy bardzo wysokich kominach energetycznych, zmniejszających koncentrację zanieczyszczeń.

Cała domena obiektów ochronnych w inżynierii wojskowej, podobnie jak w obronie cywilnej, to również ogromne pole zastosowań betonu. Podobnie wystarczy tylko krótko wspomnieć wielkie znaczenie betonu w budownictwie hydrotechnicznym, komunikacyjnym – zarówno naziemnym, jak i podziemnym.

Od stosunkowo niedawna włączono do ochrony ludzi i środowiska działania w dziedzinie ochrony przed hałasem. Problematyka ta rozwija się w różnych kierunkach. Wspomnijmy dwa z nich. Trwałe nawierzchnie betonowe, obok niewątpliwych zalet, miały istotną wadę – generowały zwiększony hałas. Podjęto wobec tego w różnych krajach opracowania „cichszych” betonów, z odpowiednimi dodatkami, co pozwala pogodzić znacznie zwiększoną trwałość z ograniczeniem hałasu. Z drugiej strony, już dziś konstrukcje betonowe trwałych ekranów wzdłuż szlaków komunikacyjnych są coraz powszechniejszym zabezpieczeniem. (fot. 7)

Mniej obecnie eksponowana, ale niezmiernie ważna jest funkcja betonu w obudowach bezpieczeństwa reaktorów jądrowych. Znaną są wyjątkowo korzystne właściwości betonu jako materiału skutecznie pochłaniającego promieniowanie radioaktywne. Dzięki swej szczególnej strukturze beton jest korzystny pod względem równoczesnego osłabiania wszystkich podstawowych rodzajów promieniowania fotonowego i korpuskularnego. To właśnie tym zaletom zawdzięczamy skuteczność „sarkofagu” w Czernobylu lub pojemników na odpady radioaktywne.

Z funkcji ochronnej, jaką z powodzeniem pełni beton – zwłaszcza w połączeniu ze zbrojeniem – nie w pełni sobie zdajemy sprawę. Każdy nowoczesny budynek ma fundamenty, które bez betonu trudno sobie wyobrazić. Wielkie ściany oporowe, podobnie jak niewielkie bariery lub słupki ochronne, to jedne z wielu typów konstrukcji ochronnych, w których beton jest coraz powszechniej w ciągu minionego stulecia stosowany.

Postęp materiałowo-technologiczny sprawia, że funkcje ochronne są spełniane obecnie przez elementy znacznie mniej masywne. Widać to najbardziej w konstrukcji wielkich zapór wodnych, ale wysokowytrzymałe i wysokotrwałe betony wchodzą do praktyki coraz powszechniej. (fot. 8)



fot. Archiwum

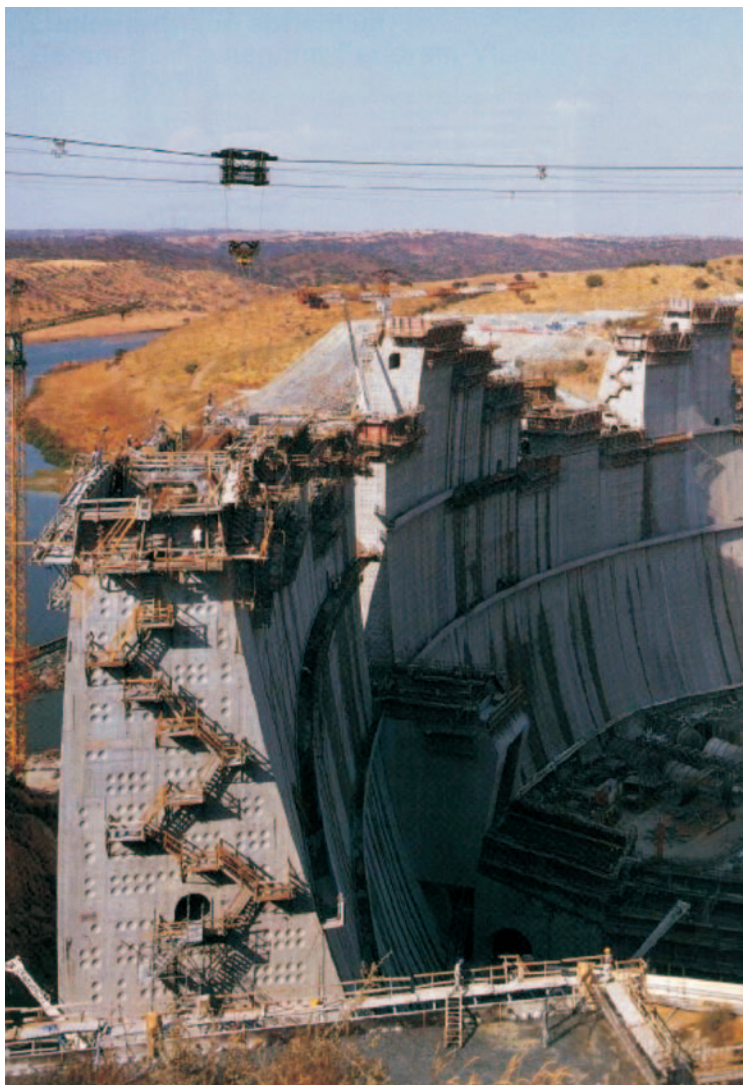
Podsumowanie

Powszechność stosowania betonu, obok wielorakiego znaczenia tego materiału dla ludzkości, ma decydujący wpływ na strategię zrównoważonego budownictwa. Istotą bieżących i przyszłych działań powinno być dążenie do minimalizacji niekorzystnych wpływów na środowisko – w całym okresie od powstania do likwidacji konstrukcji.

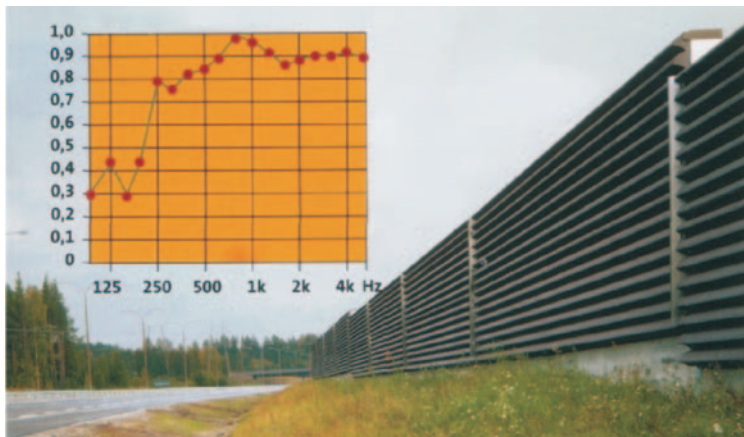
Zaprezentowane tu refleksje – zapewne we fragmentach oczywiste dla wielu czytelników – stanowią pewien wrywkowy zbiór, mający

Fot. 5. Powierzchnia betonu w filarze wiaduktu autostrady A4 („osiągnięcie” z 2004 roku)

Fot. 6. Wielkie zapory wodne niemożliwe do realizacji bez betonu (Hiszpania)



fot. Archiwum



Fot. 7. Trwałe ekrany betonowe wzdłuż dróg, o projektowanym współczynniku tłumienia hałasu.

uzmysłowić, jak ważnym współcześnie materiałem jest beton, a także jak ważne jest racjonalne jego wytwarzanie i stosowanie. W wielu dziedzinach – w budownictwie lądowym (naziemnym, wysokim i podziemnym) czy w budownictwie wodnym (morskim i śródlądowym) – już nie potrafimy obejść się bez betonu. Warunkuje on możliwość realizacji wielu śmiałych obiektów, a także ich szeroko rozumiane bezpieczeństwo i trwałość.

W dążeniu do racjonalnego wytwarzania i stosowania często odżywa dyskusja na temat „konstrukcje prefabrykowane czy monolityczne”. Dotyczy to wielu typów konstrukcji z betonu, w których obydwie podstawowe technologie mogą być stosowane. Kiedyś dyskusja ta dotyczyła innej prefabrykacji i innego budownictwa monolitycznego. Współcześnie, do dyskusji tej wchodzi aspekty bardzo ważne i wielowątkowe, z obszaru zrównoważonego budownictwa. W kontekście dawnych przekonań, wyniesionych z odległych w czasie obserwacji, trzeba propagować wyniki kompleksowych analiz współczesnych. Są w budownictwie mieszkaniowym lub przemysłowym obszary, w których zalety prefabrykacji są niepodważalne – w innych może oczywiście być odwrotnie. Do tych niewątpliwych należą jednokierunkowo zginane stropy. Kanałowe płyty stropowe pochłaniają do 40% mniej betonu i do 50% mniej zbrojenia w porównaniu z żelbetową płytą monolityczną o tej samej nośności i sztywności. Według standardów holenderskich na jedno mieszkanie w budynku wielorodzinnym na samych tylko stropach oszczędza się beton o masie rzędu 14 ton i stal o masie 275 kg. Kompleksowo oszczędzane zużycie energii na realizację stropów wskazuje oszczędność rzędu 30% na korzyść prefabrykatów. To nie wymaga komentarzy, zwłaszcza że oceny te nie uwzględniają szeregu pozostałych czynni-

Fot. 8. Przyobiektowa produkcja elementów nowoczesnej konstrukcji ochronnej: prefabrykaty dwukrzywiznowej powłoki zadaszania wjazdu na odcinek autostrady, z ultrawysokowartościowego włóknobetonu (165 MPa), przystosowane do sprężenia (Francja, 2004)



ków z zakresu zrównoważonego budownictwa (redukcja wymiarów konstrukcji wsporczej, fundamentów itd.).

W kontekście unifikacji przepisów europejskich dochodzi tu cała nowa sfera formalna. Dotąd nie dziwiły nas ograniczenia w pozwoleniu na budowę, jakie wynikają z przepisów architektoniczno-urbanistycznych lub ochrony przeciwpożarowej. Ale w niedalekiej przyszłości mogą nas początkowo zaskakiwać podobne ograniczenia wynikające z oceny, czy projektowany obiekt lub produkcja mieści się w zasadach zrównoważonego rozwoju. Temu będą służyć deklaracje dla każdej inwestycji lub nowej produkcji, przygotowywane przez projektantów. Oczywiście muszą to poprzedzać odpowiednie przepisy i normy. Powstają one w krajach europejskich na podstawie dużych projektów badawczych finansowanych przez Komisję Europejską w ramach priorytetowego tematu „Konkurencyjny i zrównoważony wzrost”. Ważnym krokiem w tej dziedzinie było opublikowanie w roku 2001 w trzech językach „Wytycznych zrównoważonego budownictwa” [1]. W dokumencie tym, oprócz wielu ogólnych zasad, wskazano pola otwarte, które powinny być dostosowane do warunków różnych krajów.

W kwietniu 2002 roku Komisja Europejska rozpowszechniła publikację „Schemat deklaracji oceny produktu pod względem wpływu na środowisko” [4]. Stanowi on próbę ujednoczenia deklaracji w zakresie, w którym zasady wynikają z pakietu norm ISO-14020 i europejskiej Dyrektywy (EPD). Wykazano na przykładach budownictwa z Francji i Skandynawii, jak trudne i rozbieżne są niektóre oceny i wskazano drogi przewyżczenia tych różnic.

W obszarze produkcji i stosowania betonu wydaje się bardzo celowe podjęcie i w naszym kraju prac w tym zakresie, niezależnie od dokumentów, które w ramach Unii Europejskiej zostaną przyjęte. Unifikacja w tym obszarze ma bowiem określone ograniczenia, z uwagi na specyfikę surowcową, klimatyczną i lokalne tradycje wykonawstwa.

Czy beton ma przyszłość? Niewątpliwie tak, i należy czynić wysiłki, aby stosując go i unowocześniając pod wieloma względami – mieć na uwadze zasady zrównoważonego rozwoju.

prof. Andrzej Ajdukiewicz
Politechnika Śląska

Literatura

- 1 *Guideline for Sustainable Building* (wydanie angielskie). Federal Ministry of Transport, Building and Housing, Berlin, 2001; 124 s
- 2 Punkki J., *Sustainable Prefabrication. Materiały Sympozjum FIB 2001, Concrete and Environment*, Berlin, 2001
- 3 Alexander S., *Precast Concrete Construction Seen From an Ecological Point of View. Proc. FIB Symposium 1997 The Concrete Way to Development, Johannesburg, 9-12 March 1997; Vol. 3, s. 901-907*
- 4 *Evaluation of environmental product declaration schemes. Interim report. European Commission DG: Environment, Environmental Resources Management, Oxford 2002*