

# Beton

w zrównoważonym  
budownictwie mieszkaniowym





# Beton

w zrównoważonym  
budownictwie  
mieszkaniowym

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być reprodukowana, przechowywana w systemie odzyskiwania danych ani przekazywana w żadnej formie, ani w żaden sposób, drogą elektroniczną, mechaniczną, poprzez kserokopię, nagrywanie albo w inny sposób, bez uprzedniej zgody ze strony Stowarzyszenia Producentów Cementu w Polsce.

Materiał pt. „Beton w zrównoważonym budownictwie mieszkaniowym” został opracowany przez ekspertów Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie, ul. Filtrowa 1, w tym: Artura Piekarczuka, Joannę Babińską, Annę Łzewską, Justynę Tomaszewską, Jarosława Szulca, Michała Piaseckiego na zlecenie Stowarzyszenia Producentów Cementu zgodnie z umową nr 01294/17/Z00NZF

**Zdjęcie na okładce** budynek mieszkaniowy Sprzeczna 4 w Warszawie, projekt Biuro Architektoniczne BBGK Architekci Sp. z o.o., fot. Juliusz Sokołowski

© **Copyright** Stowarzyszenie Producentów Cementu, 2018

**Redakcja** Zbigniew Pilch

**Wydawca** Stowarzyszenie Producentów Cementu



ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków

tel. +48 12 423 33 55

fax +48 12 423 33 45

e-mail: [wydawnictwo@polskicement.pl](mailto:wydawnictwo@polskicement.pl)

<http://www.polskicement.pl>

**DTP** Vena Studio Andrzej Jędrychowski, Kielce  
[www.venastudio.pl](http://www.venastudio.pl)

**Korekta** Katarzyna Standerska

### **Od autorów**

Każdy budynek mieszkalny powinien być zaprojektowany, zbudowany, użytkowany i rozebrany zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Dokument przedstawia ogólne aspekty wykorzystania betonu w zrównoważonym budownictwie mieszkaniowym. Materiały zostały opracowane przez ekspertów ITB, w tym: Artura Piekarczuka, Joannę Babińską, Annę Iżewską, Justynę Tomaszewską, Jarosława Szulca, Michała Piaseckiego na zlecenie SPC.

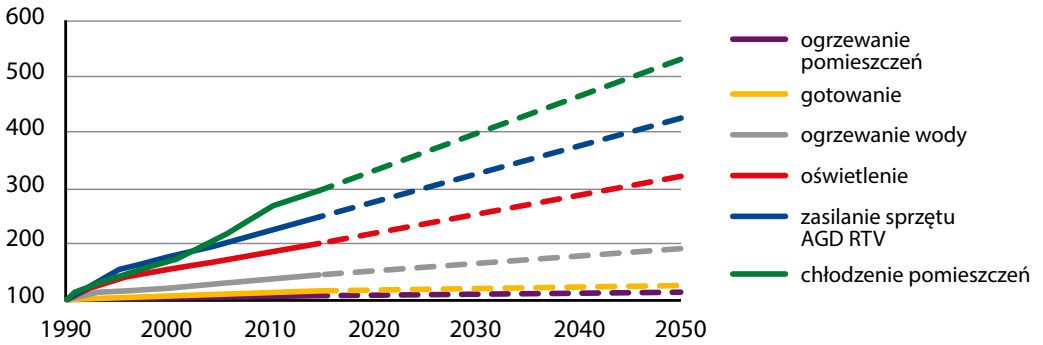
*Kontakt do autorów*  
fizyka@itb.pl

# 1. WSTĘP

Beton to materiał niezwykle popularny, wykorzystywany jest niemal we wszystkich rodzajach konstrukcji budowlanych wznoszonych na całym świecie (rys.1.1). Beton jako materiał wytwarzany zasadniczo z surowców powszechnie występujących w środowisku naturalnym oraz nadający się do ponownego użycia, stanowi od dawna podstawowy materiał budowlany, który doskonale wpisuje się w wizję zrównoważonego budownictwa w Polsce. W ostatnich 10 latach rynek budowlany położył większy nacisk na zrównoważony rozwój, obejmujący m.in.: innowacyjność, wpływ wyrobów i konstrukcji na środowisko, aspekty społeczne (komfort użytkownika i funkcjonalność) i efektywność ekonomiczną w cyklu życia. Koncepcja zrównoważonego rozwoju od ponad 30 lat nawołuje do rozwoju cywilizacyjnego, w którym zaspokajanie potrzeb obecnych oraz potrzeb przyszłych pokoleń będzie traktowane równoprawnie. Stanowi to fundament współczesnego budownictwa i jest wyznacznikiem stale rosnących potrzeb konsumpcyjnych, w tym mieszkaniowych społeczeństwa. Szacuje się, że roczna konsumpcja betonu na świecie wynosi ponad 30 mld ton. Produkcja jednego z głównych składników betonu, czyli cementu, wynosi około 4,6 mld ton rocznie (16-18 mln ton rocznie w Polsce), stając się źródłem blisko 5% światowej produkcji CO<sub>2</sub> pochodzenia antropogenicznego (CSI). Wynika z tego fakt,

Rys. 1.1. Typowy budynek biurowy w technologii żelbetu (fot. Piasecki 2017)





Rys. 1.2. Światowe zużycie energii przez budynki [2]

że produkcja cementów i betonu stanowi ważny element ciągłego doskonalenia się w kontekście gospodarki niskoemisyjnej. W rozwijających się gospodarkach, jak polska, beton jest równie ważny jak paliwa kopalne. Jest on dwukrotnie częściej wykorzystywany niż wszystkie inne materiały budowlane, w tym drewno, stal, tworzywa sztuczne i aluminium.

Mając świadomość takiego zużycia zasobów naturalnych i tego, że ponad 50% masy przetwarzanych materiałów przypada na budownictwo, sektory cementowy i betonowy współpracują przy redukcji wpływu na środowisko poprzez ciągłe doskonalenie technologii produkcji, ulepszone specyfikacje oraz komunikację postępu tych prac z odbiorcami. Systematyczna analiza wpływu produkcji materiałów budowlanych na środowisko pozwala rozpoznawać i ograniczać oddziaływanie aspektów środowiskowych przy uwzględnieniu cyklu życia wyrobu.

Na rysunku 1.2 przedstawiono prognozę, z której wynika, że światowe zużycie energii w budynkach ciągle rośnie. Wykorzystanie betonu w budownictwie, ze względu na jego masę termiczną, ma istotny pozytywny wpływ na redukcję tego zużycia w dwóch przedstawionych na wykresie czynnikach: ogrzewaniu i chłodzeniu budynku.



Nowoczesne specyfikacje betonu mogą pomóc we wznoszeniu budynków spełniających kryteria zrównoważonego budownictwa. Wymagania normatywne, takie jak minimalna zawartość cementu lub stosunek wody do cementu, są jednymi z wielu, które mogą zmniejszyć wpływ betonu na środowisko, mają wpływ na charakter użytkowy i funkcjonalny przegród i konstrukcji, a także na koszty cyklu życia budynku, tj. inwestycyjne, użytkowe i związane z ponownym wykorzystaniem. Pojęcie zrównoważonego betonu, lub betonu spełniającego kryteria zrównoważonego budownictwa, jest dość trudne do zdefiniowania i wymaga uzasadnienia. Istnieje wiele czynników, które mają wpływ na sposób, w jaki beton jest wytwarzany, projektowany, wbudowywany, użytkowany i poddawany recyklingowi i ostatecznie te czynniki wpływają na ślad środowiskowy betonu i konstrukcji z niego wykonanych. Projektanci, architekci, konstruktorzy i wykonawcy mogą wpływać na efektywność wykorzystania betonu w konstrukcji. Beton jest wyjątkowym materiałem, jego możliwości wykorzystania są bardzo szerokie, zarówno pod względem właściwości fizycznych (rozmiar, kształt, wygląd itp.) jak i właściwości mechanicznych (wytrzymałość, sztywność, przepuszczalność itp.). Potencjalnie największy wpływ na efekty środowiskowe, społeczne i ekonomiczne w cyklu życia ma sam projekt budynku. Każda konstrukcja musi być zaprojektowana bezpiecznie, tak aby opierała się siłom grawitacji, wiatru, wody, ziemi, ognia i wybuchu. Jeśli struktura nie spełniałaby tych minimalnych wymagań, zostałaby uznana za niebezpieczną i nietrwałą. Zazwyczaj projektuje się konstrukcję tak, aby spełnić minimalne obciążenia określone w kodzie budowlanym. Ewentualnie inwestor może wybrać większe obciążenia, aby stawić czoło kłębom żywiołowym lub innym obciążeniom ponad wymagania minimalne kodów. Stosunek dodatkowych nakładów do uzyskiwanych parametrów obciążeń jest ważnym elementem oceny efektywności i zrównoważonego podejścia do budownictwa i procesu budowlanego. Niezależnie od obciążenia projektowego innym ważnym celem inżyniera jest zaprojektowanie konstrukcji o optymalnej efektywności wykorzystania materiałów i zminimalizowania ich strat. Przykładowo, nie ma większego sensu zastosowanie mieszanki betonowej o niskim wpływie na środowisko, jeśli element konstrukcyjny jest nadmiarowy o kilkanaście procent. Odpowiednie „zwymiarowanie” konstrukcji ma wpływ na ilość materiałów użytych w kolejnych etapach wznoszenia budynków (np. wysokość podłóg). Kolejną ważną kwestią jest

*Rys. 1.3. Wykorzystanie betonu architektonicznego w celu zwiększenia funkcjonalności obiektu (fot. Piasecki 2016)*





trwałość. Struktura wymagająca ciągłej konserwacji powoduje znaczny wpływ na środowisko. Konstrukcje narażone na trudne warunki środowiskowe muszą być odpowiednio zaprojektowane, aby wytrzymać zwiększony wpływ korozyjny otoczenia. W przypadku betonu bierze się pod uwagę cykle zamrażania i rozmrażania, ścieranie, korozję chlorkową (z soli drogowej lub środowiska morskiego) lub siarczanową (grunt, woda). Połączenie dobrego projektu oraz wybór wytrzymałych mieszanek betonowych może zapewnić trwałość konstrukcji. Decyzje projektowe mogą również wpływać na wykonalność i harmonogram prac wykonawczych. Mniejsze elementy zabierają więcej czasu i energii i są zazwyczaj bardziej kosztowne w konstrukcji. Specyfikacja projektu, która wymaga w betonie minimalnej ilości popiołu lotnego, mogłaby spowodować opóźnienie przyrostu siły, które wpływałoby na harmonogram budowy. Specyfikacja projektu z limitem na cement zużłowy może spowodować, że beton użyty będzie miał wysokie ciepło hydratacji i najprawdopodobniej spowoduje to pęknięcia. Specyfikacja w projekcie może też powodować powstanie betonu, który nie może być skutecznie pompowany. Wszystkie te konsekwencje wymagań specyfikacji mogą powodować, że projekt będzie trudny do wykonania albo opóźni prace.

Budynki o konstrukcji betonowej są zwykle bardziej odporne na ogień oraz mają wyższą izolacyjność akustyczną, co związane jest z tzw. prawem masy. Budynki o konstrukcji betonowej są zwykle bardziej energooszczędne niż lżejsze budynki, ze względu na tzw. masę termiczną. Masywne budynki mają niższe szczytowe obciążenia grzewcze i chłodzące, wymagają mniejszej ogólnej energii grzewczej i chłodniczej, aby utrzymać te same temperatury wewnętrzne, ponieważ wahania temperatur są mniejsze. Ważnym dodatkowym aspektem wykorzystania betonu jako materiału wykończeniowego jest funkcjonalność (rys. 1.3). Inżynier budowlany, ściśle współpracujący z architektem, może pomóc w doborze betonu o kolorze, kształcie i fakturze pasującej do niemal każdej aplikacji i zastosowania. Możliwości kształtowania struktury w architekturze odróżnia beton od większości innych materiałów w tym sensie, że powierzchnia betonowych elementów konstrukcyjnych może być odsłonięta wewnątrz lub na zewnątrz budynku i pełni nowoczesną funkcję ozdobną. Pomaga zmniejszyć zapotrzebowanie na dodatkowy materiał wykończeniowy, zmniejszając w ten sposób wpływ na środowisko.

Proporcje składników stosowanych w przypadku mieszanek betonowych mogą mieć znaczący wpływ na oddziaływanie betonu na środowisko, ale określenie to nie powinno ograniczać się do składu mieszanki, należy również uwzględnić wpływ na wykonalność konstrukcji. Krajowe cementy posiadają zweryfikowaną informację środowiskową. Mieszanka betonowa, która ma spełnić wymagania przepisów oraz inwestora, aby można ją było uznać za „zrównoważoną”, powinna: minimalizować zużycie energii i emisję CO<sub>2</sub> w cyklu życia, minimalizować zużycie wody, minimalizować ilość powstających odpadów, zwiększać wykorzystanie surowców wtórnych z recyklingu. Obecnie taka sytuacja często ma miejsce.

Wdrażane zmiany regulacji europejskich w zakresie sposobu wprowadzania wyrobów budowlanych na rynek (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r.) przewidują szersze niż dotychczas uwzględnienie kryteriów zrównoważonego rozwoju, m.in. w wyniku zmian i uzupełnień wprowadzonych w wymaganiu podstawowym nr 3, które mówi, że budynki nie powinny być źródłem zanieczyszczeń mających wpływ na człowieka. Obejmuje ono obecnie wymagania dotyczące pełnego cyklu życia obiektów budowlanych, uwzględnia minimalizację wpływu na zmiany klimatu. W rozporządzeniu nr 305/2011 zastępującym dyrektywę budowlaną zawarto także dodatkowe, siódme wymaganie podstawowe, mówiące o zrównoważonym wykorzystaniu zasobów naturalnych. Obiekty budowlane muszą być zaprojektowane, wykonane i rozebrane w taki sposób, aby wykorzystanie zasobów naturalnych było zrównoważone i zapewniało: recykling obiektów budowlanych oraz



Rys. 1.4. Widok biurowca  
The Edge w Amsterdamzie  
(Fot. Ronald Tilleman)

wchodzących w ich skład materiałów, trwałość obiektów budowlanych, wykorzystanie w obiektach budowlanych przyjaznych środowisku surowców i materiałów wtórnych. Przykładowo, komitety normalizacyjne do spraw wyrobów budowlanych włączają informację środowiskową do wymaganych ocen właściwości wyrobów (normy zharmonizowane), dotyczy to też wyrobów z betonu.

Budownictwo zrównoważone uwzględnia aspekty środowiskowe, ekonomiczne i społeczne, często nazywane jego „trzech filtrami”. Analiza tych trzech czynników daje holistyczną metodę oceny wdrażania zasad zrównoważonego budownictwa w praktyce. Europejski Komitet Normalizacyjny CEN TC 350 zajmuje się opracowaniem zestawu horyzontalnych Norm Europejskich będących podstawą do oceny zgodności budynku z zasadami rozwoju zrównoważonego związanych z aspektami środowiskowymi, socjalnymi i ekonomicznymi, przy wykorzystaniu podejścia analizy cyklu życia (LCA) i kwantyfikowalnych wskaźników. Komitet opracował system norm określających plan ramowy oceny „zrównoważenia” budynków (EN 15643:2010), metody oceny środowiskowej dla budynku (EN 15978:2011) oraz ocenę środowiskową wyrobów (EN 15804:2012). Normy dotyczące oceny budynku w zakresie spełnienia wymagań zrównoważonego budownictwa zostały włączone w polityki Komisji Europejskiej w zakresie efektywności energetycznej, zielonych zamówień publicznych, wymagań podstawowych w budownictwie oraz etykietowania środowiskowego.

Współczesne budownictwo jest szeroko otwarte na innowacje, zwłaszcza w obszarze rozwiązań opartych na minimalnym zużyciu energii oraz opracowanych przy zachowaniu zasad zielonego budownictwa. Przykładem takiego podejścia jest oddany do użytku w 2015 roku holenderski biurowiec The Edge (rys. 1.4), który według brytyjskiej agencji ratingowej BREEAM jest najnowocześniejszym i najbardziej „zielonym” budynkiem komercyjnym na świecie. Jest to swoisty przykład tego, w jaki sposób wiedza i świadomość wykorzystane podczas fazy wznoszenia budynku mogą zapewnić znaczące oszczędności surowców, energii oraz redukcję dwutlenku węgla przy jednoczesnym utrzymaniu jakości budynku oraz bezpieczeństwa i wygody jego mieszkańców. Budynek posiada szklaną elewację, a jego głównym materiałem konstrukcyjnym jest właśnie beton.

W kontekście wybudowania „zrównoważonego budynku” należy rozważyć szereg aspektów związanych z właściwościami technicznymi betonów, tj. właściwości mechaniczne, trwałość, parametry ciepło-wilgotnościowe, odporność ogniową, izolacyjność akustyczną, środowiskowe i inne. W kontekście globalnego zrównoważonego budownictwa należy mieć na uwadze uwarunkowania prawne (przepisy budowlane),

społeczne, ekonomiczne i środowiskowe wykorzystania betonu w budownictwie mieszkaniowym oraz trendy na rynku. Podsumowując, każdy obiekt budowlany powinien być zaprojektowany, zbudowany, użytkowany i rozebrany zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju (Golda i Giergiczy, 2009). Działalność sektora cementowego i betonowego jest więc niezwykle istotna dla polityki zrównoważonego rozwoju i konsumpcji, jako że wiąże się z użyciem zasobów naturalnych oraz istotnie oddziałuje na bilans energetyczny kraju.

Źródła:

- [1] <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MediumTermEnergy-efficiencyMarketReport2015.pdf>
- [2] UNEP, Toward zero-emission efficient and resilient buildings. Global Status report 2016
- [3] <https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures/>
- [4] SPC <http://www.polskicement.pl/>



## BETON W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM

**Beton w budownictwie mieszkaniowym**  
towarowy • prefabrykowany

**Zastosowanie betonu w budownictwie mieszkaniowym:**



**dachy** (dachówki, stropodachy)

**elementy konstrukcyjne**  
(fundamenty, piwnice, belki, płyty, stropy, ściany działowe)

**posadzki**  
(na poziomie terenu i wyższych kondygnacjach)

## Funkcjonalność:



łatwość kształtowania, montażu i demontażu elementów



gwarancja ponadprzeciętnej trwałości



odporność na warunki środowiskowe



niska przesiąkliwość i znaczna wodoodporność



obojętność dla środowiska i zdrowia użytkowników



niewielkie potrzeby konserwacyjne



odporność na korozję



odporność na ogień

## 2. PROCES WYTWARZANIA BETONU

Mówiąc o betonie w zrównoważonym budownictwie mieszkaniowym, należy odpowiedzieć na pytanie, w jaki sposób beton może wpływać na właściwości użytkowe i funkcjonalne budynku. Beton to, zgodnie z normą PN-EN 206+ A1:2016-12 [1], materiał powstały ze zmieszania cementu, kruszywa grubego i drobnego, wody oraz ewentualnych domieszek, dodatków lub włókien, który uzyskuje swoje właściwości w wyniku hydratacji cementu. W zależności od wykorzystanych składników i proporcji pomiędzy nimi beton może uzyskiwać różne parametry i wygląd, od porowatych betonów o niskiej wytrzymałości (tzw. chudych betonów) do wysokowartościowych, architektonicznych wyrobów. Jego zastosowanie teoretycznie nie ma limitów. W praktyce zastosowanie betonu zależy w dużej mierze od jego przeznaczenia, tj. fantazji architekta, umiejętności projektanta i doświadczenia konstruktora. Aby zrozumieć możliwości wynikające z zastosowania betonu w budownictwie mieszkaniowym, należy przyjrzeć się ABC betonu, czyli jego składnikom oraz samemu procesowi wytwarzania.

### 2.1. Cement

Cement [2] jest spoiwem hydraulicznym (rys. 2.1), tj. drobno zmielonym materiałem nieorganicznym, który po zmieszaniu z wodą daje zaczyn, wiążący i twardniejący w wyniku reakcji i procesów hydratacji, który po stwardnieniu pozostaje wytrzymały i trwały także pod wodą. Do betonów towarowych i prefabrykowanych, najczęściej wykorzystywanych w budownictwie mieszkaniowym, stosuje się zazwyczaj tzw. cementy powszechnego użytku [2], w których twardnienie następuje głównie przez hydratację krzemianów wapnia. W ich skład wchodzi przede wszystkim klinkier portlandzki (w cementach portlandzkich) i/lub granulowany żużel wielkopiecowy (w cementach hutniczych), ale oprócz nich stosowane są i inne materiały mające właściwości wiążące. Są to: pucolany (czyli takie substancje, które nie wiążą same z siebie, tylko do wiązania potrzebują wodorotlenku wapnia, np. niektóre kwaśne skały wulkaniczne), popiół lotny, łupek palony, pył krzemionkowy oraz wapień.

Rys. 2.1 Cement

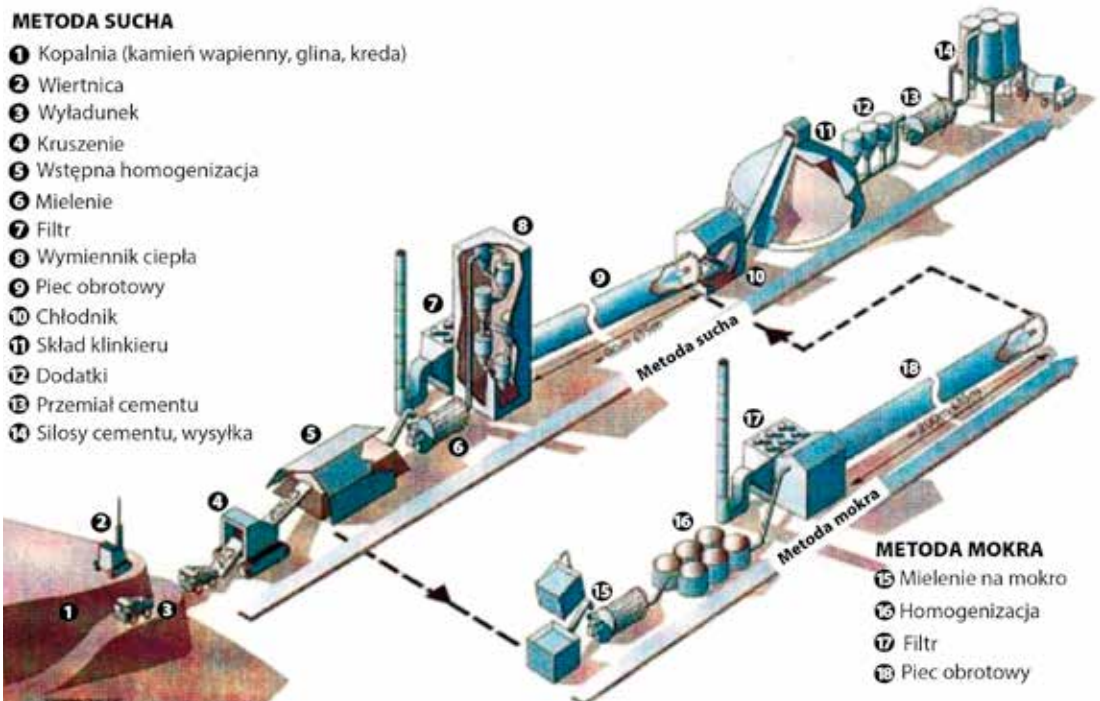


W zależności od zawartości i rodzaju składnika głównego można wydzielić obecnie 5 głównych grup cementów powszechnego użytku, oznaczanych symbolami: CEM I (cement portlandzki), CEM II (cement portlandzki wieloskładnikowy), CEM III (cement hutniczy), CEM IV (cement pucolanowy) oraz CEM V (cement wieloskładnikowy).

Produkcja cementu ma zwykle charakter lokalny, cementownie powstają w pobliżu złóż głównych surowców: kopalni odkrywkowych margla, wapienia i gliny. Poglądowy schemat produkcji cementu przedstawiono na rys. 2.2. Klinkier portlandzki, podstawowy składnik większości cementów, jest produkowany poprzez ich wypalenie w specjalnych piecach obrotowych. Produkcję klinkieru można prowadzić dwoma metodami: metodą moką (gdy do mączki surowcowej jest dodawana woda) lub suchą (bez takiego dodatku). Pierwsza z nich, historycznie starsza, jest bardziej energochłonna (5230-5660 kJ/kg klinkieru), druga, młodsza, znacząco mniej (3140-3780 kJ/kg klinkieru). W cyklu życia cementu wytwa-

**METODA SUCHA**

- 1 Kopalnia (kamień wapienny, glina, kreda)
- 2 Wiertnica
- 3 Wyladunek
- 4 Kruszenie
- 5 Wstępna homogenizacja
- 6 Mielenie
- 7 Filtr
- 8 Wymiennik ciepła
- 9 Piec obrotowy
- 10 Chłodnik
- 11 Skład klinkieru
- 12 Dodatki
- 13 Przemiał cementu
- 14 Silosy cementu, wysyłka

**METODA MOKRA**

- 15 Mielenie na mokro
- 16 Homogenizacja
- 17 Filtr
- 18 Piec obrotowy

Rys. 2.2. Schemat produkcji cementu

rzanie klinkieru jest procesem mającym największy wpływ na środowisko naturalne. Wpływ oddziaływania na środowisko cementu w cyklu życia maleje znacząco wraz ze zmniejszającym się udziałem klinkieru: od 0,875 dla CEM I do 0,578 dla CEM III [kg CO<sub>2</sub>/kg cementu] [3].

Od lat inwestuje się w przemyśle cementowym, tak aby jak najmniej wpływał on na środowisko, a produkcja cementu przynosiła jak najwięcej korzyści. Obecnie „zielona” produkcja cementu to m.in.:

- 1) wypalanie klinkieru metodą suchą,
  - 2) stosowanie w jego wypale paliw alternatywnych: jako paliwo jest stosowany nie tylko pył węglowy, ale też opony, biomasa czy niektóre przebadane odpady komunalne, tj. paliwa alternatywne. Ich spalanie jest bezpieczne: zapewnia to bardzo wysoka temperatura w piecu obrotowym (dochodząca do 2000°C), silnie zasadowe środowisko oraz nadmiar tlenu w komorze pieca,
  - 3) zmniejszenie ilości klinkieru na rzecz innych materiałów wiążących: granulowanego żużla wielkopieczowego, pyłu krzemionkowego, popiołu lotnego czy pucołan naturalnych i wapienia,
  - 4) inwestowanie w nowoczesne instalacje pochłaniania gazów spalinowych i pyłów.
- „Zielona” produkcja cementu polega na redukcji energochłonności całego procesu oraz ograniczeniu powstawania NOx oraz CO<sub>2</sub>.

## 2.2. Kruszywa

Kruszywo to ziarnisty materiał stosowany w budownictwie [4]. Ze względu na pochodzenie może być naturalne, sztuczne lub z recyklingu. Naturalne kruszywo to wyrób pochodzenia mineralnego, który poza obróbką mechaniczną nie został poddany żadnej innej obróbce, kruszywo sztuczne uzyskuje się w wyniku procesu przemysłowego obejmującego termiczną lub inną modyfikację, a kruszywo z recyklingu to materiał powstały w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio

w budownictwie. Wśród kruszyw można wydzielić dwie główne grupy, dla których utworzono odrębne normy: kruszywa zwykłe i ciężkie o gęstości objętościowej powyżej  $2000 \text{ kg/m}^3$  [4] oraz kruszywa lekkie o gęstości poniżej  $2000 \text{ kg/m}^3$  [5]. Większość kruszyw naturalnych i z recyklingu to kruszywa o gęstości zwykłej, natomiast kruszywa sztuczne to przeważnie (ale nie tylko) kruszywa lekkie. Kruszywa dzieli się na różne wyroby w oparciu o wymiary. Tzw. uziarnienie to podstawowa cecha kruszywa. Ze względu na wymiary wyróżnia się: kruszywa drobne (ich wymiary zawsze zaczynają się od 0, a kończą się na 1, 2 lub 4 mm), kruszywa grube (pomiędzy 2 a 63 mm), kruszywa o uziarnieniu ciągłym (jest to mieszanina kruszyw drobnych i grubych), kruszywa wypełniające (poniżej 0,63 mm) i tzw. kruszywa o uziarnieniu naturalnym (kruszywa o uziarnieniu 0-8 mm, z polodowcowych złóż). Kruszywem drobnym jest piasek, gruby żwir, grys, kliniec czy tłuczeń, kruszywo o uziarnieniu ciągłym to pospółka lub mieszanka.

Kruszywo naturalne stanowi największą grupę obecnie stosowanych kruszyw. Jest pozyskiwane w dwojaki sposób, w zależności od skały, z której pochodzi:

- kruszywa pochodzące ze skał luźnych (takich jak piasek, pospółka lub żwir) są pozyskiwane bezpośrednio, poprzez wydobywanie sypanego urobku z kopalni odkrywkowych bądź z dna rzek, jezior czy morza. Następnie kruszywa takie w zależności od zastosowania i procesu wydobywania są płukane oraz przesiewane przez odpowiednie sita. Przykłady różnych rodzajów kruszyw przedstawiono na rys. 2.3 – 2.9.

Rys. 2.3. Kruszywo drobne, piasek (z lewej)  
Rys. 2.4. Kruszywo grube, grys, gabro (z prawej)



Rys. 2.5. Kruszywo grube, grys dolomitowy (z lewej)  
Rys. 2.6. Kruszywo grube, sztuczne, keramzyt (z prawej)



Rys. 2.7. Kruszywo grube, grys bazaltowy (z lewej)  
Rys. 2.8. Kruszywo grube, grys granitowy (w środku)  
Rys. 2.9. Kruszywo grube, żwir (z prawej)



- kruszywa pozyskiwane ze skał zbitych (np. wapieni czy granitów) powstają poprzez wstępne skruszenie litej skały macierzystej, następnie urobek jest dokruszany na kruszarkach szczękowych lub stożkowych, następnie zwykle jest odpylane bądź przemywane, a na końcu rozsiewa się je na poszczególne frakcje. W ten sposób powstaje wyrób nazywany kiedyś grysem (gdy ziarna były kubiczne) bądź kliniec, mieszanką i tłuczniem (gdy większość ziarn była nieforemna)

Kruszywa sztuczne są zazwyczaj zagospodarowanymi odpadami z przemysłu hutniczego (jak żużle wielkopiecowe czy łupki pomiedziowe), wypalaną gliną lub ekspandowaną skałą (jak keramzyt, perlit, wermikulit), albo spiekanymi różnym technologiami odpadami popioło-żużłowymi pochodzącymi z różnych gałęzi przemysłu (popiołoporyt, elporyt, LSA). Ostatnio próbuje się także z powodzeniem zagospodarowywać jako kruszywo spiekane także odpady komunalne czy odsączone ścieki.

Kruszywa z recyklingu są ostatnim wyróżnionym w normach typem kruszyw. Zwykle są to materiały powstałe z rozbiórki starych budowli lub dróg. W związku z tym w ich składzie może być obecny beton, asfalt, ceramika itp. oraz różnego rodzaju zanieczyszczenia. Norma PN-EN 933-11 klasyfikuje ich skład następująco:

- Rc – beton, wyroby betonowe
- Ru – kruszywo niezwiązane hydraulicznie
- Rb – ceramika, silikaty, beton napowietrzony
- Ra – materiały bitumiczne
- Fl – materiał pływający w wodzie
- Rg – szkło
- X – inne składniki.

Im więcej jest w kruszywie recyklingowym przeznaczonym do betonu składników Rc, Ru i im mniej Fl, X i Rg tym kruszywo jest lepszej jakości.

### 2.3. Domieszki, dodatki i włókna do betonu

Domieszki, dodatki i włókna to materiały dodawane do mieszanki betonowej w celu znaczącej modyfikacji jej właściwości lub właściwości stwardniałego betonu.

Domieszka do betonu wg [6] to materiał dodawany podczas wykonywania mieszanki betonowej, w ilości nie większej niż 5% masy cementu w betonie. Większość domieszek obecnych na rynku to domieszki płynne, tworzone przez chemików w laboratoriach przykładowych, często z wykorzystaniem substancji będących odpadami z innych gałęzi przemysłu (np. spożywczego czy papierniczego). Domieszki chemiczne mogą m.in. upłynniać lub uplastyczniać mieszankę betonową, opóźniać lub przyspieszać wiązanie i twardnienie betonu, napowietrzać go lub uszczelniać. Dzięki nim możliwe jest betonowanie w warunkach zimowych, osiąganie betonów o wysokich wytrzymałościach, tworzenie skomplikowanych form przy użyciu betonów samo-

Rys. 2.10. Domieszki do betonu  
(fot. ITB)



zagęszczalnych, betonowanie podwodne, transport betonu na duże odległości czy transport betonu w zakorkowanych miastach.

Domieszki do betonu (przykłady na rys. 2.10) to jedna z najszybciej rozwijających się gałęzi przemysłu budowlanego. Obecnie, we wszystkich typach betonu, najczęściej stosowane są domieszki upłynniające lub uplastyczniające (umożliwiające długi transport mieszanki betonowej bez utraty konsystencji), a w betonach narażonych na mroz – także domieszki napowietrzające. Cały czas jednak powstają nowe generacje poszczególnych domieszek oraz nowe ich rodzaje, takie jak np. domieszki przeciwskurczowe, domieszki do betonów wibroprasowanych czy domieszki oparte o związki litu, które zapobiegają reakcji alkalia-krzemionka (czyli tzw. rakowi betonu).

Dodatki [1], w przeciwieństwie do domieszek, są drobnoziarnistymi nieorganicznymi składnikami dodawanymi zwykle do betonu w ilości większej niż 5%. Dodatki do betonu dzielą się na dodatki typu I, czyli takie, które nie reagują z zaczynem cementowym, oraz dodatki typu II, reaktywne. Pierwsze z nich to wszelkiego rodzaju wypełniacze wpływające głównie na wygląd powierzchni betonu, drugie to m.in. popioły lotne, żużle wielkopieczowe czy pyły krzemionkowe biorące udział w twardnieniu betonu i wpływające na jego strukturę. W wielu przypadkach betony z dodatkami są dużo lepszym rozwiązaniem niż betony bez dodatków (np. budowle masywne, gdy zachodzi konieczność ograniczania wydzielanego ciepła).

#### 2.4. Zwiększanie wytrzymałości betonu

Beton jest materiałem o stosunkowo niewielkiej wytrzymałości na zginanie i dużej na ściskanie. Ten pierwszy mankament niweluje się poprzez stosowanie w budownictwie betonowym stali, która wraz z betonem tworzy tzw. żelbet. W tym prawie idealnym zespolonym materiale zbrojenie przenosi wszystkie siły związane z rozciąganiem, natomiast wypełniający konstrukcję beton jest odpowiedzialny za przenoszenie sił ścisających.

Włókna, najczęściej stalowe lub polimerowe (rys. 2.11), są dodawane do betonu w celu poprawy jego wytrzymałości na zginanie i skurcz. Stanowią one rodzaj mikro-zbrojenia, dzięki któremu beton wykazuje pękanie elastyczne, charakterystyczne dla materiałów quasi-plastycznych, i odporność na wczesne zarysowanie.

Rys. 2.11. Polimerowe i stalowe włókna stosowane do wzmacniania betonu (fot. ITB)





# 3. BETON I JEGO PRODUKCJA



Rys. 3.1. Wytwórnia betonu  
(fot. SPC)

Obecnie beton jest produkowany najczęściej albo w wytwórniach betonu (rys. 3.1), albo w zakładach prefabrykacji betonowej. Wytwórnie betonu są profesjonalnymi zakładami produkcyjnymi, w których wytwarza się beton i dostarcza na plac budowy w postaci niezwiązanej mieszanki betonowej. Współczesne wytwórnie (węzły betoniarskie) to w pełni skomputeryzowane zakłady przemysłowe, które mogą pracować przez cały rok, niezależnie od pogody, bo często posiadają instalacje podgrzewające poszczególne składniki. Ich centralną częścią jest zawsze mieszalnik, do którego jest podawane precyzyjnie odważone kruszywo, cement, dodatki, domieszki i woda. Po wymieszaniu składników mieszanka betonowa jest zwykle transportowana na miejsce przeznaczenia betonowozami (popularnie zwanymi gruszkami – rys. 3.2) i podawana na miejsce przeznaczenia skipami, pompami do betonu, taczkami lub np. taśmociągami.

Produkcja betonu to jednak nie tylko mieszanie składników i dostarczanie na miejsce mieszanki betonowej. To także wcześniejsze specyfikowanie wymagań i projektowanie receptur oraz późniejsze układanie, zagęszczanie i pielęgnacja. Bez poprawnie wykonanych tych wszystkich etapów nie uzyska się betonu dobrej jakości. W ten sposób za wyprodukowany beton są odpowiedzialne pospołu trzy strony: projektant betonu, wytwórnia betonu oraz wykonawca robót budowlanych.

Rys. 3.2. Betonowóz,  
popularnie zwany gruszką  
(fot. SPC)



Beton towarowy jako wyrób budowlany ma pewne ograniczenia:

- jego właściwości narzucają dobre zaplanowanie prac budowlanych. Beton zaczyna zwykle wiązać po upływie ok. 1,5 godziny (chyba że zostały do niego dodane domieszki opóźniające wiązanie) i do tego czasu powinien zostać wyładowany i ułożony
- jego rozszalowywanie i obciążanie następnymi kondygnacjami wymaga czasu. Pielęgnacja betonu powinna trwać minimum jeden do 7 dni, a przyjmuje się, że jego pełne dojrzewanie trwa 28 dni
- jest wrażliwy na warunki atmosferyczne, na opady, na wilgotność, temperaturę zewnętrzną i na błędy ludzkie. Beton bywa także materiałem stosunkowo niepowtarzalnym, zależnym od dostaw cementu, domieszek, dodatków i kruszyw oraz stosowanych środków antyadhezyjnych.

Alternatywą niwelującą te wszystkie wady jest prefabrykacja betonowa, w której zakład produkcyjny opuszcza nie mieszanka betonowa, a gotowy, stwardniały prefabrykat betonowy.

W zakładach prefabrykacji wytwarzanie betonu odbywa się na miejscu, w formach, w ściśle kontrolowanych warunkach. Twardnienie i wiązanie betonu w podwyższonej, wilgotnej atmosferze panującej w pomieszczeniach, gdzie dojrzewa beton (dojrzewalniach), zachodzi szybciej, powtarzalne elementy mogą być wykonywane wcześniej i w większej ilości niż w trakcie trwania budowy. Często 70% wytrzymałości na ściskanie wyrób osiąga po kilku godzinach od zaformowania. Produkcja jest całkowicie zmechanizowana, od wykonania zarobu, poprzez zaformowanie, do dojrzewania, układania na palety handlowe lub transport. Nierzadko wyroby prefabrykowane są wibroprasowane: używa się wtedy mieszankę betonową o konsystencji suchej lub półsuchej, osiągając bardzo wysokie wytrzymałości. Obiekty prefabrykowane (np. rys. 3.3) łatwo się wznosi, modyfikuje i rozbiiera. Prefabrykaty mogą być później wykorzystane do wznoszenia nowych obiektów budowlanych.

Źródła

- [1] PN-EN 206+ A1:2016-12 Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [2] PN-EN 197-1:2012 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku
- [3] Deklaracja Środowiskowa Wyrobu ślad węglowy dla cementów CEM I, CEM II i CEM III produkowanych w Polsce
- [4] PN-EN 12620+A1:2010 Kruszywa do betonu
- [5] PN-EN 13055-1:2003 Kruszywa lekkie – Część 1: Kruszywa lekkie do betonu, zaprawy i rzadkiej zaprawy
- [6] PN-EN 934-2+A1:2012 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Część 2: Domieszki do betonu – Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie

*Rys. 3.3. Przykładowy budynek wybudowany w technologii prefabrykatów betonowych (fot. ITB)*

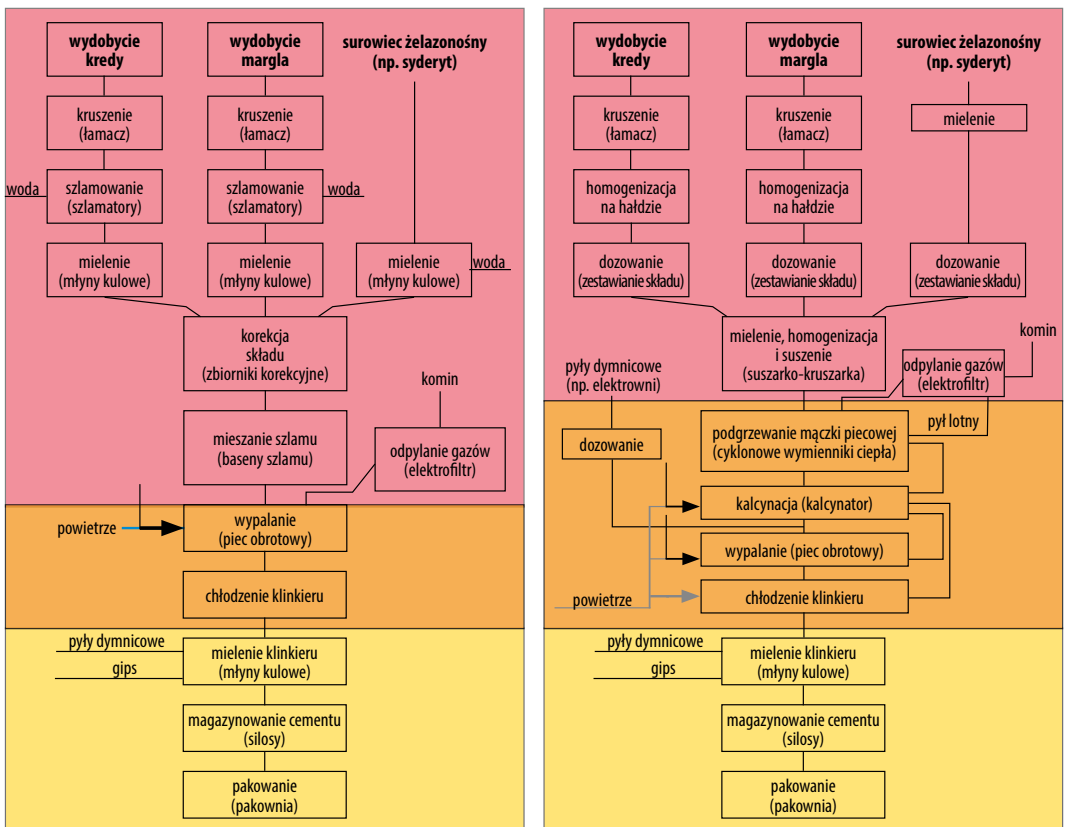


# 4. DEKLARACJA ŚRODOWISKOWA DLA POLSKICH CEMENTÓW

Cement jest materiałem mającym szereg zastosowań w budownictwie, dlatego jego właściwości środowiskowe istotne są w projektowaniu budynków zrównoważonych i są często deklarowane przez producentów w celu budowania świadomości ekologicznej konsumenta lub w celu projektowania budynków niskoemisyjnych. Stowarzyszenie Producentów Cementu w 2014 roku we współpracy z ITB opracowało deklarację środowiskową cementów produkowanych w Polsce. Deklaracje środowiskowe wyrobów są ważnym elementem ocen środowiskowych budynków, np. w systemie brytyjskim BREEAM deklaracje środowiskowe wyrobów stosowanych w budynku podnoszą ocenę budynku. Ślad węglowy dla cementów CEM-III produkowanych w polskich zakładach przygotowano w oparciu o metodykę cyklu życia LCA, w tym w szczególności normę PN EN 15804 *Zrównoważone obiekty budowlane – Środowiskowe deklaracje wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych* oraz normę ISO 14067 *Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification*. Ślad węglowy jest to całkowita suma emisji gazów cieplarnianych wywołanych bezpośrednio przez produkcję cementu, z uwzględnieniem procesów: wydobycia surowców, produkcji i zużycia energii, transportu i samych procesów produkcji. Jednostką deklarowaną, czyli jednostką odniesienia, jest 1 tona cementu. Główne etapy procesu produkcji to:

- wydobycie i zakup surowców
- produkcja mączki surowcowej

Rys. 4.1. Schemat produkcji cementu metodą suchą i moką (wg ITB/SPC)



- wypał klinkieru
- przemiał cementu
- składowanie cementu / dystrybucja.

Procesy te zostały przedstawione na rysunku 4.1 procesu technologicznego dla produkcji mokrej i suchej.

Surowcami naturalnymi do produkcji cementu są przede wszystkim materiały wapienne, jak wapień lub margiel, piasek, materiały glinowe, takie jak glina lub łupek, które występują powszechnie. W procesie stosowane są surowce alternatywne, takie jak popioły, żużle, jako substytuty surowców naturalnych. Zastosowanie zamienników klinkieru ma znaczny wpływ na zmniejszenie śladu węglowego cementu. Zgodnie z deklaracją i statystykami udział masowy surowców do produkcji CEM I-III został przedstawiony w tablicy 4.1. Udział masowy CEM I w produkcji krajowej cementów to ok. 39%, CEM II to 53% oraz CEM III to 8%.

Tablica 4.1. Surowce użyte do produkcji CEM I, CEM II i CEM III w Polsce

Cement/skład	Udział masowy	tys. ton
<b>CEM I</b>	<b>39%</b>	<b>5828,3</b>
Klinkier	92%	5362,04
regulator wiązania	7%	378,84
składniki drugorzędne	1%	87,42
<b>CEM II</b>	<b>53%</b>	<b>7843</b>
Klinkier	69%	5372,5
regulator wiązania	4%	313,72
popiół	11%	901,95
żużel	8%	611,9
kamień wapienny	8,60%	624,6
składniki drugorzędne	0,1%	11,76
<b>CEM III</b>	<b>8%</b>	<b>1121,3</b>
Klinkier	43%	476,55
regulator wiązania	4%	44,85
żużel	53,00%	598,77
składniki drugorzędne	0,1%	1,12

Przykładowo roczna produkcja klinkieru dla produkcji cementu wyniosła w 2010 roku: 11500,6 tys. ton metodą suchą oraz 202,4 tys. ton. Roczna produkcja cementu wyniosła 15518,6 tys. ton w roku 2010.

Produkcja mączki przeprowadzana jest zarówno w procesie metodą mokrą jak i suchą (rys. 1). W metodzie mokrej szlam z mączki jest produkowany przed wypałem. Szlam jest homogenizowany i pompowany do pieca. W metodzie suchej z reguły przygotowuje się żądaną mieszankę w jednostopniowym procesie mielenia. Do procesu suszenia stosuje się ciepło z gazów procesowych. Ilość cementu produkowanego metodą mokrą zmniejsza się w każdym roku. Mączka surowcowa jest wstępnie podgrzewana z wykorzystaniem gazów surowcowych, a następnie wypalana w piecu obrotowym w temperaturze ok. 1450°C. Głównymi paliwami stosowanymi w procesie są węgiel kamienny, brunatny (60,3%, tablica 4.2). Najistotniejsze paliwa alternatywne pochodzą

Tablica 4.2. Rodzaje paliw biorących udział w procesie produkcji klinkieru w Polsce

Rodzaj paliwa na wypał klinkieru	Zużycie energii GJ	Udział w produkcji %	GJ/tonę klinkieru	Współczynnik emisji Mg CO <sub>2</sub> /GJ	Współczynnik emisji paliwowej Mg CO <sub>2</sub> /tonę kl.
Węgiel+petcoke	26002859	60,3	2,22	0,095	0,21
Oleje opałowe	63378	0,15	0,0054	0,075	0,0004
Oleje opałowe ciężkie	62068,8	0,14	0,0053	0,078	0,0004
Paliwa alternatywne/RDF	16998611	39,4	1,45	0,055	0,079
Suma	43126916	3,69	3,68		0,29

Tablica 4.3. Elementy w analizie śladu węglowego cementów wraz z ich śladami węglowymi

Element składowy oceny	Ślad węglowy Mg CO <sub>2</sub> /Mg lub MWh	Źródło	CEM I kg CO <sub>2</sub> /kg	CEM II kg CO <sub>2</sub> /kg	CEM III kg CO <sub>2</sub> /kg
Produkcja surowców	-	ITB/CEMBUREAU	0,084	0,097	0,11
Klinkier	0,798	SPC stat.	0,73	0,55	0,39
regulator wiązania	0,002	Ecoinvent	0,00014	0,00008	0,00008
popiół	0,002	ITB	0,00	0,00022	0
żużel	0,002	ITB	0,00	0,00016	0,00106
kamień wapienny	0,028	Górzyński	0,00	0,0024	0
składniki drugorzędne	0,01	ITB	0,00015	0,00001	0,00001
Przemiał	0,812	KOBIZE	0,037	0,037	0,037
Transport		NFOŚ/Eurostat	0,02	0,03	0,04
<b>Suma</b>			<b>0,875</b>	<b>0,715</b>	<b>0,578</b>

z odpadów. Duża część paliw alternatywnych charakteryzuje się dużą zawartością biomasy o niskim współczynniku śladu węglowego (średnio w Polsce 0,055 Mg CO<sub>2</sub>/GJ). Zastosowanie paliw alternatywnych zmniejsza ślad węglowy cementu. Stopień zastosowania paliw alternatywnych różni się znacząco na obszarze Polski. Biorąc pod uwagę ilość ciepła produkowanego z paliw przy produkcji cementu paliwa alternatywne to 39,4% całości energii.

Rodzaje i ilości paliw przedstawiono w tablicy 4.2. Kaloryczność paliw dobrano za pomocą danych literaturowych.

Ilość CO<sub>2</sub> wylczonego zgodnie z MRV wynosiła w 2010 roku 9345527,5 ton. W przeliczeniu na produkcję klinkieru jest to 0,798 Mg CO<sub>2</sub>/tonę klinkieru. Współczynnik emisji paliwowej przeliczony zgodnie z tabelą 4.2 wynosi 0,29 Mg CO<sub>2</sub>/tonę klinkieru. Współczynnik emisji procesowej wynosi 0,51 Mg CO<sub>2</sub>/tonę klinkieru.

Klinkier jest mielony wraz z dodatkami. Zużycie energii na przemiał cementu wynosi średnio statystycznie 45,7 kWh/tonę. Całkowite zużycie energii elektrycznej w produkcji cementu wynosi 100,1 kWh/tonę. Emisyjność węglowa produkcji energii elektrycznej w Polsce wynosi 0,812 g/kWh, czyli 226 g CO<sub>2</sub>/MJ. W analizie LCA wzięto pod uwagę fazę wyrobu (A1-A3 – patrz tabela 4.3) i następujące procesy/moduły: A1 Wytwarzanie surowców: wydobywanie paliw, wydobywanie surowców, produkcja energii elektrycznej, produkcja paliw alternatywnych, A2 Transport: transport surowców, A3 Produkcję wyrobu: produkcja mączki surowcowej, zużycie paliw na wpał, zużycie energii elektrycznej na przemiał. W tablicy 4.3 przedstawiono wpływ poszczególnych elementów analizy na ślady węglowe CEM I, CEM II oraz CEM III.

Uśredniony ślad węglowy cementu CEM I produkowanego w Polsce i wyznaczonego za pomocą metody LCA i normy ISO 14067 – Carbon Footprint of Products wynosi 0,875 kg CO<sub>2</sub>/tonę wyrobu.

Ślad węglowy cementu CEM II produkowanego w Polsce i wyznaczonego za pomocą metody LCA i normy ISO 14067 – Carbon Footprint of Products wynosi 0,715 kg CO<sub>2</sub>/tonę wyrobu.

Ślad węglowy cementu CEM III produkowanego w Polsce i wyznaczonego za pomocą metody LCA i normy ISO 14067 – Carbon Footprint of Products wynosi 0,578 kg CO<sub>2</sub>/tonę wyrobu.

Deklaracja śladu węglowego cementów CEM I-III produkowanych w Polsce dostarcza informacji dotyczących procesu produkcji cementu – fazy wyrobu wg normy EN 15804. Informacja ta może zostać wykorzystana jako element przygotowania oceny dla specyficznego zastosowania cementu w odniesieniu do jego całego cyklu życia w budynku. Produkcja cementu objęta jest krajowymi i europejskimi przepisami, które

regulują efekty oddziaływania na środowisko, takie jak wydobycie surowców naturalnych, rekultywacja kopalni, odzysk energii i materiałów z odpadów, emisja hałasu, pyłów i innych substancji niebezpiecznych (NOX, SO<sub>2</sub>, metale ciężkie itd.).

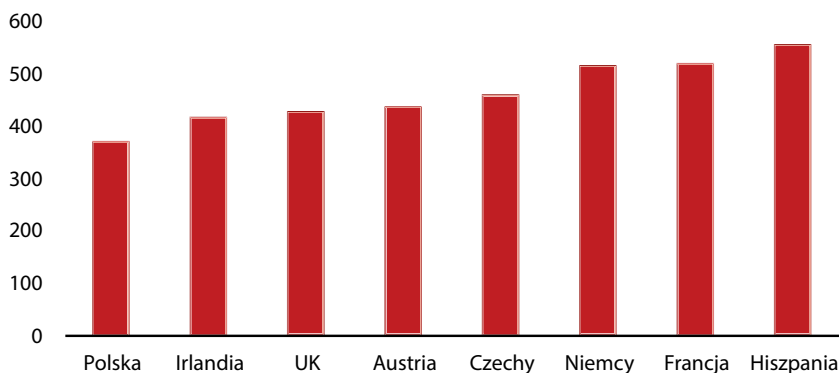
Ślad węglowy dla klinkieru liczony zgodnie z wytycznymi IPCC (MRV) jest teoretycznie niższy od śladu węglowego liczonego zgodnie z ISO 14067, ponieważ uwzględnia tylko emisje paliwowe i emisje procesowe bez uwzględniania śladów węglowych surowców, ich wydobycia i transportu.

Cement CEM I-III uwzględniony do obliczeń w deklaracji zgodny jest z wymaganiami ze zharmonizowaną normą europejską np.: EN 197-1. Zharmonizowana norma europejska określa istotne kryteria określone w rozporządzeniu 305 CPR zastępującym dyrektywę budowlaną, w tym łącznie z wymaganiami dotyczącymi higieny, zdrowia i środowiska w cyklu życia. Wykorzystanie cementu w betonie musi być również zgodne z warunkami określonymi w krajowych i/lub europejskich standardach, które również dotyczą substancji w produktach budowlanych. Deklaracja Środowiskowa Produktu dotycząca śladu węglowego może odgrywać ważną rolę jako narzędzie komunikacji w ramach Zintegrowanej Polityki Środowiskowej KE.

# 5 UWARUNKOWANIA BUDOWNICTWA MIESZKANIOWEGO W POLSCE

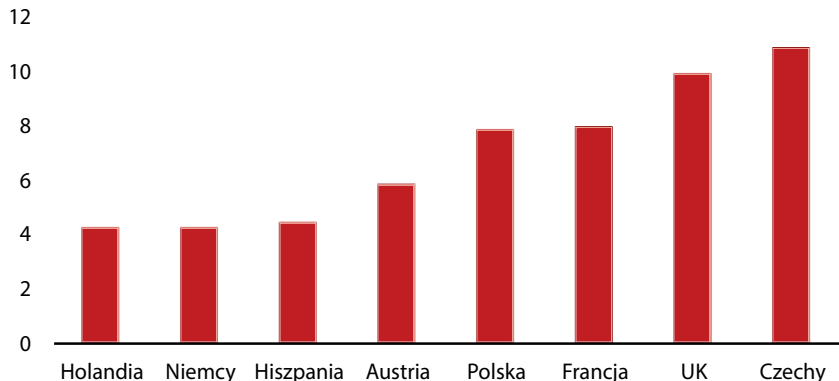
Istotnym wskaźnikiem charakteryzującym budownictwo mieszkaniowe w Polsce i Europie jest liczba mieszkań przypadająca na 1000 mieszkańców (rys. 5.1). Jak wskazują statystyki dotyczące Polski, 372 mieszkania na 1000 mieszkańców to wynik dla mniej bogatych krajów UE, znacznie gorszy od krajów takich jak Niemcy czy Francja, Czechy czy Węgry, z którymi często porównuje się Polskę w wielu rynkowych aspektach. Z raportu „Property Index. Overview of European Residential Markets” opracowanego w 2016 roku przez firmę Deloitte [1] wynika, że Polska jest na ostatniej pozycji. W rankingu od lat przewodzi Portugalia i Hiszpania. Być może czynnikiem do zmiany tego wskaźnika w przyszłości będzie rozwój programu Mieszkanie+. Ze względu na to, że rozwój budownictwa w Polsce ma charakter ekonomiczny, należy się spodziewać wykorzystania tradycyjnych technologii budowlanych.

Rys. 5.1. Liczba mieszkań na 1000 mieszkańców w UE, przygotowano na podstawie [1]



Istotna jest też dostępność mieszkań, czyli ocena relacji cen mieszkania do wynagrodzenia (rys. 4.2). Okazuje się, że na 15 sklasyfikowanych europejskich krajów Polska zajmuje 10. miejsce. Holendrzy czy Niemcy pracują na własne mieszkanie (nowe 70 m<sup>2</sup>) ok. 4-5 lat. Istotnym czynnikiem do zmniejszenia tego wskaźnika w Polsce może być pozytywne kształtowanie się cen materiałów budowlanych produkowanych lokalnie, czyli tańszych niż w Europie Zachodniej, przykładowym materiałem jest beton konstrukcyjny, płyty żelbetowe czy prefabrykaty.

Rys. 5.2. Ilość rocznych wynagrodzeń potrzebna do kupna nowego mieszkania 70 m<sup>2</sup> wg [1]



W najgorszej sytuacji są mieszkańcy dużych miast, bo tam popyt na mieszkania jest największy. Firma Deloitte [1] podaje, że w Polsce średnia cena transakcyjna na metra kwadratowego wynosiła ok. 1,2 tys. euro (w 2016 r. wzrosła o 9,7 proc.), a w Warszawie już ponad 1,7 tys. euro. Jednak w pewnym oddaleniu od centrum mieszkania są już sporo tańsze. Optymistyczne są dane, które wskazują, że w pewnych wskaźnikach Polska zbliża się do średniej europejskiej. W 2016 r. oddano u nas do użytkowania w Polsce ok. 163,4 tys. mieszkań. Więcej powstało ich tylko we Francji, Niemczech i Wielkiej Brytanii, a więc w krajach o wiele od Polski liczniejszych i bogatszych. Deloitte [1] policzył, ile nowych mieszkań przypadało na tysiąc mieszkańców. W tym rankingu Polska i Belgia zajęły drugie miejsce z wynikiem 4,3. Wśród analizowanych krajów lepsza jest jedynie Francja. Ale np. w Portugalii, Hiszpanii i na Węgrzech oddano do użytkowania niespełna jedno mieszkanie na tysiąc mieszkańców. W ścisłej czołówce europejskiej jesteśmy także pod względem zaczynanych inwestycji mieszkaniowych. Według GUS, w 2016 r. inwestorzy w Polsce zaczęli budowę ok. 173,9 tys. mieszkań, czyli mniej więcej tyle, co łącznie w Hiszpanii, Portugalii, Irlandii, Czechach i na Węgrzech. W tym rankingu wyprzedziły Polskę tylko Francja i Niemcy. Analizy wskazują na dalszy rozwój budownictwa mieszkaniowego w Polsce i co za tym idzie oczekiwany zwiększony popyt na materiały budowlane. Warto też wspomnieć o programie Mieszkanie+ mogącym mieć wpływ na rynek mieszkaniowy w Polsce w najbliższych latach. Program Mieszkanie+ powstaje w założeniu ekonomicznego budownictwa społecznego i spółdzielczego. Koszt budowy lokalu mieszkalnego, wg twórców programu, ma nie przekraczać kwoty 2-3 tys. zł za 1 metr kwadratowy. Aktualnie cena ta jest bardzo atrakcyjna

## BUDOWNICTWO MIESZKANIOWE - WYZWANIA I CELE



### Wyzwania i cele

stojące przed budownictwem mieszkaniowym w Polsce



wzrost liczby mieszkańców w miastach



ponowne wykorzystanie materiałów



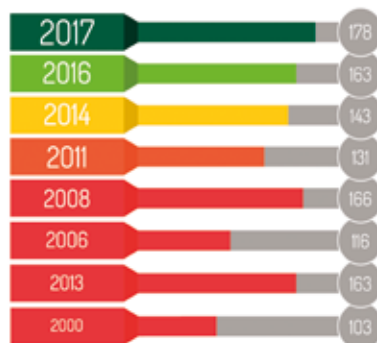
zaspokojenie potrzeb mieszkaniowych



ograniczenie zużycia energii

### Liczba mieszkań

oddanych w Polsce w tys.



Źródło: GUS

178 258 - łączna liczba mieszkań oddanych w 2017 r.



rynkowo, bo średnia cena mieszkania w Polsce wynosi ok. 1,2 tys. euro, a w Warszawie ok. 1,7 tys. euro. Koszt i później cena planowanych nieruchomości zależy od wielu czynników. Największym kosztem przy realizacji inwestycji jest zakup gruntu. W rządowym programie nieruchomości będą budowane na gruntach publicznych, więc główny koszt odpada, zatem największej oszczędności będzie się poszukiwać w ekonomicznym i optymalnym wyborze materiałów budowlanych. Liczącymi się zatem kosztami jest zakup materiałów na wykonanie konstrukcji, przegród oraz zakup stolarki. To właśnie te koszty bardzo mocno wpływają na cenę za 1 m<sup>2</sup>. Oczywiście jest, że ze względu na cenę beton będzie stosowany w programie Mieszkanie+ jako podstawowy materiał konstrukcyjny i budowlany.

Źródła:

[1] Property Index. Overview of European Residential Markets

# 6. BETON JAKO MATERIAŁ KONSTRUKCYJNY W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM

## 6.1. Wstęp

Beton w budownictwie mieszkaniowym jest materiałem powszechnie stosowanym z uwagi na jego niewątpliwe zalety; współpraca betonu i stali pozwala na szerokie możliwości zastosowań w elementach ustrojów konstrukcyjnych. Ze względu na właściwości beton nie powinien być stosowany w elementach pracujących, np. poddawanych zginaniu, w takich przypadkach konieczne jest wprowadzenie do betonu wkładek zbrojeniowych przejmujących występujące naprężenia rozciągające. Z uwagi na uwzględnienie możliwych efektów współpracy elementów w przestrzennych ustrojach nośnych budynków, nierzadko występuje konieczność zastosowania stali o podwyższonej ciągliwości. Również bezpieczeństwo konstrukcji, np. w przypadku potencjalnych lokalnych zjawisk (w wyniku pożaru, uderzeń, deformacji i wstrząsów parasejsmicznych na terenach eksploatacji górniczej), zależne jest od przyjętej klasy ciągliwości stali, która zapobiega niekontrolowanym uszkodzeniom, wykazując jednocześnie odporność na zmęczenie i obciążenia cykliczne. We współczesnej inżynierii budowlanej stal ciągliwa znajduje również zastosowanie w konstrukcjach o wysokim współczynniku konsekwencji zniszczenia z uwagi na możliwość dysypacji energii oddziaływań przy możliwych deformacjach ustroju, ale bez katastrofy globalnej.

Zapewnienie bezpieczeństwa i trwałości konstrukcji z betonu związane jest ze wszystkimi etapami procesu budowlanego.

Konstrukcję należy zaprojektować i zrealizować (wykonać) w taki sposób, aby w czasie zamierzonego okresu użytkowania, z odpowiednim poziomem niezawodności i w sposób ekonomiczny: przenosiła wszystkie prawdopodobne oddziaływania i wpływy w czasie wznoszenia i użytkowania, spełniała określone kryteria użytkowania zgodnie z wymaganiami.

Wszystkie elementy konstrukcyjne ustrojów nośnych budynków mieszkaniowych powinny być zaprojektowane tak, aby miały odpowiednią: nośność, użyteczność, trwałość.

Rys.6.1. Zalety konstrukcji z betonu - zapewnienie bezpieczeństwa i trwałości konstrukcji przy niskim koszcie użytkowania (wg ITB)



W przypadku pożaru nośność konstrukcji powinna być odpowiednia dla wymaganego przedziału czasu trwania pożaru. Obliczenia odporności pożarowej konstrukcji powinny być oparte na schemacie obliczeniowym wskazanym w normie PN EN 1991-1-2 i uwzględniać modele zmian temperatury wewnątrz konstrukcji, a także zachowanie się mechaniki konstrukcji poddanej wysokim temperaturom. Zaleca się, aby wymagane zachowanie się konstrukcji w warunkach pożaru sprawdzić albo analizując zachowanie się całej konstrukcji, podzespołu konstrukcji lub elementu konstrukcji – albo posługując się danymi zawartymi w tablicach lub wynikami badań. Zaleca się, aby zachowanie się konstrukcji w warunkach pożaru oceniać, uwzględniając alternatywnie nominalne warunki pożaru albo modele warunków pożaru, a także inne możliwe oddziaływania towarzyszące.

Na skutek zdarzeń losowych, takich jak wybuch, uderzenie czy konsekwencje ludzkich błędów, konstrukcja nie może zostać zniszczona w zakresie nieproporcjonalnym do początkowej przyczyny.

Podstawowym warunkiem osiągnięcia niezawodności konstrukcji jest właściwa kontrola wszystkich procesów budowlanych.

W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu niezawodności obiektów budowlanych wprowadzono w normach europejskich różnicowanie wymagań odnośnie niezawodności konstrukcji.

Metodyka projektowania i wymagania odnośnie wykonawstwa elementów ustrojów konstrukcyjnych uzależniono m. in. od.: konsekwencji zniszczenia, niezawodności budynku, poziomu nadzoru w trakcie projektowania, poziomu inspekcji w trakcie wykonywania.

Wszystkie teorie dotyczące poziomu niezawodności opisują powyższe zjawiska w znacznym uproszczeniu i są jedynie ogólnymi wytycznymi, które powinny być uwzględnione przez uczestników procesu budowlanego.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji należy unikać lub ograniczać ewentualne jej zniszczenie poprzez odpowiedni dobór jednego lub kilku następujących zabezpieczeń: wyeliminowanie lub redukcja zagrożenia, na które konstrukcja może być narażona, selekcja ustroju konstrukcyjnego pod kątem wrażliwości na możliwe zagrożenie, zaprojektowanie ustroju konstrukcyjnego, który umożliwi jego stabilizację w wyniku przypadkowego usunięcia pojedynczego elementu lub pewnej części konstrukcji – zapobiegnięcie powstaniu tzw. katastrofy rozprzestrzeniającej się, powiązanie wzajemne elementów konstrukcji (wieńce, połączenia, węzły).

Podstawą projektowania bezpiecznych, trwałych i niezawodnych konstrukcji z betonu jest metoda stanów granicznych nośności i użyteczności z zastosowaniem częściowych współczynników bezpieczeństwa.

Stany graniczne sprawdza się dla wszystkich istotnych sytuacji obliczeniowych, które należy ustalać z uwzględnieniem okoliczności, w których konstrukcja spełniać powinna swoje zadanie.

Sytuacje obliczeniowe dzielą się na: trwałe, odnoszące się do zwykłych warunków użytkowania, przejściowe, które odnoszą się do chwilowych warunków konstrukcji (np. wznoszenie lub remonty budynków), wyjątkowe (np. pożar, wybuch, uderzenia pojazdów), sejsmiczne.

Stan graniczny nośności związany jest z sytuacją, w której może dojść do katastrofy lub innych postaci zniszczenia konstrukcji i zagrożenia bezpieczeństwa ludzi. Sprawdzenie stanów granicznych nośności konstrukcji z betonu polega na wykazaniu, że w każdym miarodajnym przekroju elementu, pod wpływem każdej z możliwych kombinacji obciążeń obliczeniowych spełniony jest warunek, że nośność obliczeniowa jest większa lub równa od wartości obliczeniowych efektów oddziaływań (stałych i zmiennych).

Stan graniczny użyteczności związany jest z określonymi wymaganiami użytkowymi (nadmierne nieakceptowalne deformacje, przemieszczenia, ugięcie czy zarysowania), czyli związany jest z zachowaniem funkcji konstrukcji i jej elementów oraz komfortu użytkowników i wyglądu obiektów. W stanach granicznych użyteczności wartości

obliczeniowych efektów obciążeń występujących w konstrukcjach z betonu (szerokości rys, ugięcia itp.) są mniejsze bądź równe wartościom granicznym efektów oddziaływań będących funkcją odpowiednich właściwości geometrycznych i materiałowych ustroju.

Współczynniki bezpieczeństwa są określone w taki sposób, że obliczeniowe wartości właściwości betonu i stali zbrojeniowej określa się na podstawie wartości charakterystycznych i współczynników materiałowych ustalonych z uwzględnieniem wpływu niekorzystnych odchyień wartości w wyniku stosowania niepewnych danych i niedoskonałych modeli obliczeniowych przy ustaleniu danych cech.

Sprawdzonym przykładem prawidłowego podejścia projektowego są konstrukcje budynków wielkopłytowych. W przypadku pożaru lub wybuchu gazu w większości istniejących konstrukcji z wielkiej płyty dochodzi do wytworzenia się wtórnego schematu nośnego lub wystąpienia w przestrzennym ustroju redystrybucji sił wewnętrznych. Znaczne przeszytwnienie konstrukcji wielkopłytowych gwarantuje wysoki poziom bezpieczeństwa w przypadku wystąpienia zdarzeń losowych, w przeciwieństwie do innych tradycyjnych konstrukcji budownictwa mieszkaniowego, w którym decydują niestandardowe i jeszcze niesprawdzone przez wieloletnią eksploatację rozwiązania architektoniczne, zakładające np. ograniczenie do niezbędnego minimum elementów nośnych (podporowych) lub brak analizy projektów pod względem trwałości.

Konstrukcje należy projektować w taki sposób, aby zmiany następujące w projektowym okresie użytkowania, z uwzględnieniem wpływów środowiska i przewidywanego poziomu utrzymania, nie obniżały właściwości użytkowych konstrukcji poniżej zamierzonego poziomu.

Trwałość konstrukcji jest prawidłowa, gdy przez okres zamierzonego użytkowania spełnione są wymagania dotyczące przepisów stanów granicznych, (czyli nośności i stateczności) bez przerw w użytkowaniu oraz wykonywania ciągłej konserwacji, a co gorsza napraw, które generują znaczne koszty. Wymaga się, aby konstrukcja spełniała warunki niezawodności w założonym okresie użytkowania – tabela 6.1.

Tablica 6.1. Projektowe okresy użytkowania

Kategoria	Projektowy okres użytkowania (lata)	Przykłady
1	10	Konstrukcje tymczasowe
2	10÷25	Wymienialne części konstrukcji np. belki podsuwnicowe, łożyska
3	15÷30	Konstrukcje rolnicze i podobne
4	50	Konstrukcje budynków i inne konstrukcje zwykłe
5	100	Konstrukcje budynków monumentalnych, mosty i inne konstrukcje inżynierskie

W celu zapewnienia założonego poziomu niezawodności konstrukcji projektant powinien zastosować beton o odpowiedniej klasie i jakości, wykazać spełnienie stanów granicznych oraz prawidłowo określić klasy ekspozycji/ogniodporność i związane z nimi grubości otuliny zbrojenia.

## 6.2. Wymagania krajowe dotyczące przegród budowlanych

Podstawowe wymagania i zalecenia krajowe dotyczące konstrukcji z betonu zostały określone w dokumentach normatywnych, tj. PN EN 1990 i PN-EN 1992-1-1.

Głównymi podstawowymi wymaganiami projektowymi dla wszystkich przegród i elementów budowlanych z betonu jest spełnienie stanów granicznych nośności i użyteczności. Dodatkowo normy podają ogólne zalecenia odnośnie konstruowania elementów w ustrojach betonowych/żelbetowych, dotyczących m. in.: minimalnego stopnia zbrojenia konstrukcyjnego, otuliny zbrojenia i dopuszczalnych odstępów między prętami, sposobu kształtowania zbrojenia w elementach (strefy ich lokalizacji, łączenia prętów i in.).

Konstrukcje z betonu należy wykonywać zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 13670, w której określono podstawowe wymagania projektowe i wykonawcze. W nomie przedstawiono zbiór znormalizowanych wymagań technicznych dotyczących wykonywania konstrukcji z betonu bezpośrednio na budowie oraz z wykorzystaniem prefabrykowanych elementów z betonu, np. w odniesieniu do tolerancji montażowych.

### 6.3. Eksploatacja betonowych konstrukcji budynków

Podstawową właściwością betonu jest związana z długim okresem bezproblemowej eksploatacji jego trwałość zapewniająca właściwości użytkowe konstrukcji powyżej zamierzonego poziomu podczas eksploatacji budynków. W celu zapewnienia odpowiedniej trwałości konstrukcji zaleca się uwzględniać

- zamierzone lub przewidywane użytkowanie konstrukcji
- wymagane kryteria projektowe
- oczekiwane warunki środowiskowe
- skład, właściwości i zachowanie się materiałów i wyrobów
- właściwości gruntu
- rodzaj ustroju konstrukcyjnego, kształt elementów i szczegóły konstrukcyjne
- jakość wykonania i poziom kontroli
- szczególnie środki zabezpieczające
- zamierzone utrzymanie w projektowym okresie użytkowania.

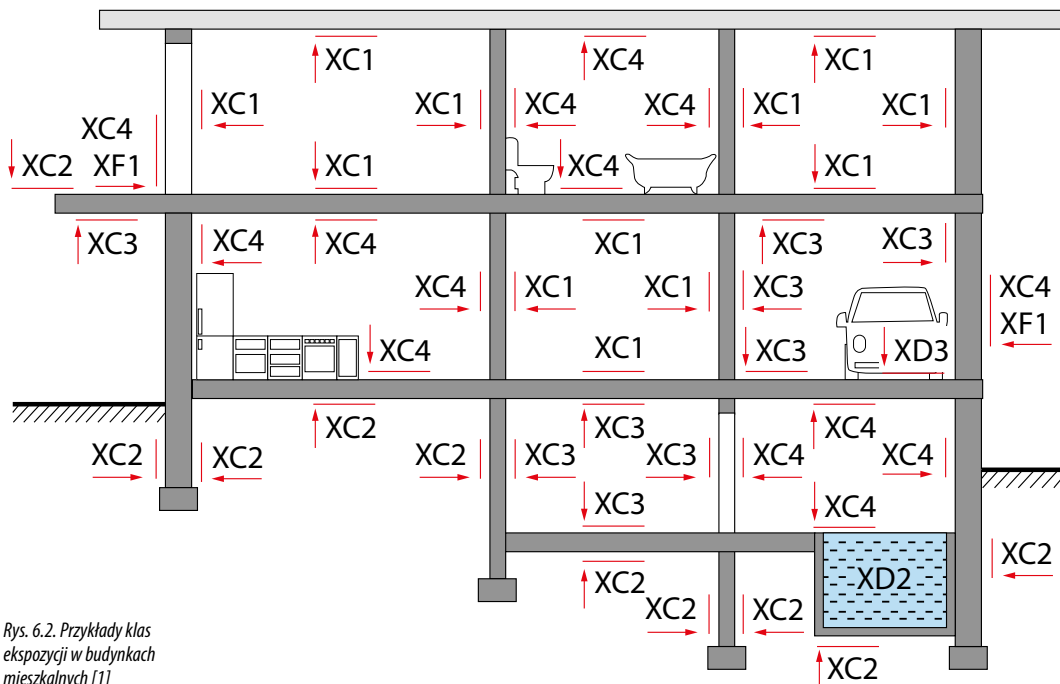
Tabela 6.2. Klasy ekspozycji w zależności od warunków środowiskowych

Klasa	Opis środowiska	Przykłady występowania klas ekspozycji
<b>1. Brak zagrożenia korozją i agresją chemiczną</b>		
X0	Dotyczy betonu niezbrojonego i niezawierającego wbudowanych elementów metalowych. Wszystkie środowiska z wyjątkiem występowania zamrażania/rozmarzania, ścierania lub agresji chemicznej. W przypadku betonów zbrojonych lub zawierających wbudowane elementy metalowe: bardzo suche	Beton wewnątrz budynków o bardzo niskiej wilgotności powietrza
<b>2. Korozja spowodowana karbonatyzacją</b>		
XC1	Suche lub stale mokre	Beton we wnętrzach o niskiej wilgotności powietrza lub stale zanurzony w wodzie
XC2	Mokre, sporadycznie suche	Powierzchnie betonu narażone na długotrwały kontakt z wodą, np. fundamenty
XC3	Umiarkowanie wilgotne	Beton wewnątrz budynków o umiarkowanej lub wysokiej wilgotności powietrza Beton na zewnątrz osłonięty przed deszczem
XC4	Cyklicznie mokre i suche	Powierzchnie betonu narażone na kontakt z wodą, ale nie jak w klasie ekspozycji XC2
<b>3. Korozja spowodowana chlorkami</b>		
XD1	Umiarkowanie wilgotne	Powierzchnie betonu narażone na działanie chlorków z powietrza
XD2	Mokre, sporadycznie suche	Baseny pływackie Beton narażony na działanie wody przemysłowej zawierającej chlorki
XD3	Cyklicznie mokre i suche	Elementy mostów narażone na działanie rozpuszczonych cieczy zawierających chlorki, nawierzchnie dróg, płyty parkingów
<b>4. Korozja spowodowana chlorkami z wody morskiej</b>		
XS1	Narażenie na działanie soli zawartych w powietrzu, ale nie na bezpośredni kontakt z wodą morską	Konstrukcje zlokalizowane na wybrzeżu lub w jego pobliżu
XS2	Stale zanurzenie	Elementy budowli morskich
XS3	Strefy wpływów, rozbryzgów i aerozoli	Elementy budowli morskich
<b>5. Agresywne oddziaływanie zamrażania/rozmarzania</b>		
XF1	Umiarkowanie nasycone wodą bez środków odladzających	Pionowe powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamarzanie

Klasa	Opis środowiska	Przykłady występowania klas ekspozycji
XF2	Umiarkowanie nasycone wodą ze środkami odładzającymi	Pionowe powierzchnie betonowe konstrukcji drogowych narażonych na zamarzanie i działanie z powietrza środków odładzających
XF3	Silnie nasycone wodą bez środków odładzających	Poziome powierzchnie betonowe narażone na deszcz i zamarzanie
XF4	Silnie nasycone wodą ze środkami odładzającymi lub wodą morską	Płyty dróg i mostów narażone na działanie środków odładzających. Powierzchnie betonowe narażone bezpośrednio na opryskiwanie środkami odładzającymi i na zamarzanie. Strefy narażone na ochlapywanie i zamarzanie w konstrukcjach morskich
<b>6. Agresja chemiczna (na podstawie EN 206-1)</b>		
XA1	Środowisko chemiczne mało agresywne	Naturalne grunty i woda gruntowa
XA2	Środowisko chemiczne średnio agresywne	Naturalne grunty i woda gruntowa
XA3	Środowisko chemiczne silnie agresywne	Naturalne grunty i woda gruntowa

Konstrukcje betonowe są narażone na oddziaływanie otaczającego je środowiska (tab. 6.2). Przykład zróżnicowania klas ekspozycji w budynku przedstawiono na rys 6.1. Trwała konstrukcja charakteryzuje się spełnieniem wymagań z zakresu użyteczności, stateczności i nośności przez cały określony okres użytkowania bez znacznych nakładów finansowych na konserwacje i remonty. W celu długoletniej eksploatacji każdy element konstrukcji z betonu powinien być zabezpieczony przed oddziaływaniem środowiska. Trwałość konstrukcji z betonu zależy od prawidłowego określenia warunków ekspozycji środowiska, czyli oddziaływania chemicznego i fizycznego, na jakie narażone są konstrukcje z betonu.

Klasy ekspozycji określa się na podstawie warunków/grup środowiskowych związanych z korozją stali zbrojeniowej, degradacją betonu (karbonatyzacja, działanie chlorów) oraz czynników agresywnych prowadzących do uszkodzenia struktury betonu – tablica 6.2.



Rys. 6.2. Przykłady klas ekspozycji w budynkach mieszkalnych [1]

Minimalną grubość otuliny zbrojenia, ze względu na zapewnienie trwałości konstrukcji, należy wyznaczyć przy założeniu: bezpiecznego przeniesienia sił przyczepności, zabezpieczenia stali przed korozją, zapewnienia odpowiedniej ognioodporności.

Trwałość i związany z nią okres eksploatacji konstrukcji betonowych ulega skróceniu, w przypadku gdy dochodzi do korozji zbrojenia i ubytku jego przekroju, który to z reguły wpływa na pogorszenie nośności i użytkowania konstrukcji. Penetracja substancji agresywnej przez zarysowane otulenie betonowe, a w późniejszym okresie znaczna korozja zbrojenia i odłupywanie się, w wyniku tego odspajanie się otuliny zbrojenia, skraca w sposób znaczący trwałość konstrukcji i wymaga jak najszybciej wykonania naprawy lub nawet wzmocnienia. Odpowiednio dobrana otulina zbrojenia nie gwarantuje jeszcze długiego okresu eksploatacji konstrukcji betonowych, równie ważne jest ograniczenie do minimum ilości zarysowań skurczowych, jak również zapewnienie szczelności powierzchni betonu.

Długi okres eksploatacji betonowych konstrukcji uzyskuje się m.in. poprzez zapewnienie ochrony antykorozyjnej zbrojenia i betonu. Aby wydłużyć okres bezproblemowej eksploatacji obiektów z betonu, należy zapewnić prawidłową szczelność, jakość i grubość otulenia zbrojenia oraz ograniczyć szerokość zarysowań lub je wyeliminować/zabezpieczyć, np. poprzez zewnętrzne powłoki. Szczelność i jakość otuliny można zapewnić poprzez ograniczenie maksymalnej wartości wskaźnika  $w/c$ ; minimalnej zawartości cementu (klasy) oraz nadzór i kontrolę nad wytwarzaniem, wbudowaniem i pielęgnacją mieszanki betonowej (zabezpieczenie przed przesuszeniem wierzchnich warstw, nadmiernym odparowaniem wody, kontrola temperatury mieszanki, zabezpieczenie przed mrozem, wibracjami i uderzeniami). Prawidłowa pielęgnacja betonu polega na utrzymywaniu określonych warunków cieplno-wilgotnościowych niezbędnych do osiągnięcia przewidywanej szybkości wzrostu wytrzymałości.

Prognoza trwałości, jak widać, jest trudnym zadaniem i wymaga udziału i zaangażowania wszystkich uczestników procesu budowlanego.

Źródła:

- [1] A. Zybura i in. Diagnostyka konstrukcji żelbetonowych. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu, PWN, Warszawa 2011.

# 7. BETON A EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA

## 7.1. Wprowadzenie

Mówiąc o efektywności energetycznej „konstrukcji betonowych” w krajowym budownictwie mieszkaniowym należy odpowiedzieć na pytanie, w jaki sposób beton może przyczynić się do oszczędności energii. Przepisy wprowadzonej w życie przekształconej dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (dyrektywa EPDB 2010/31/EU) wyznaczają kierunki zmian w zakresie wprowadzania rozwiązań odnośnie promowania budownictwa niskoenergetycznego. Położenie wielkiej wagi na zmniejszenie energochłonności budynków zmusza do poszukiwania nowych, innowacyjnych rozwiązań lub każe na nowo pochylić się nad tymi wykorzystywanymi przez wieki pomysłami, które jeszcze kilka lat temu nie były specjalnie brane pod uwagę w branży. Przepisy te przyczyniły się do wprowadzenia konieczności wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków, co wpływa w istotny sposób na projekt oraz eksploatację budynku. Aby móc wdrożyć dyrektywę, powołany został szereg norm, między innymi norma PN

## BETON A ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ



### Beton, dzięki dużej masie termicznej,

działa jak magazyn, absorbując ciepło, przechowując je i uwalniając z odpowiednią prędkością



**Dzień** – pochłanianie nadmiaru ciepła z pomieszczeń (nagrzewających się od słońca lub innych źródeł wewnętrznych)



**Noc** – masa termiczna betonu powoli uwalnia nagromadzone ciepło

### Efekt

utrzymanie stabilnego i **komfortowego** poziomu temperatury i wilgotności wewnątrz pomieszczeń

obniżenie emisji **CO<sub>2</sub>** ↓  
poprzez zmniejszenie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia

zmniejszenie ilości energii potrzebnej do chłodzenia o **50%**  
(w przypadku połączenia z klimatyzacją)

zmniejszenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania nawet o **15%**

możliwość lepszego **wykorzystania** niskotemperaturowych źródeł ciepła (np. gruntowych pomp ciepłych)

obniżenie **temperatury** szczytowej (klimatyzacja staje się zbędna)



EN ISO 13790:2006 Ciepłne właściwości użytkowe budynków – obliczenia zużycia energii do ogrzewania. Norma ta pozwala na wyznaczenie przewidywanego zużycia energii w budynku w oparciu o obliczenia dynamiczne jak i uproszczoną metodę „stanu quasi-stacjonarnego”, dzięki czemu staje się ona idealna do stosowania w fazie projektowej procesu inwestycyjnego, kiedy podejmowane są decyzje dotyczące materiałów budowlanych oraz zastosowania rozwiązań, w których wykorzystuje się wysoką zdolność do akumulacji ciepłej. W dotychczasowych obliczeniach charakterystyki energetycznej, opartych na gotowych parametrach, takich jak opór cieplny (wartości R) i współczynnik przenikania ciepła (współczynnik U), nie uwzględniano wpływu masy termicznej na ilość energii zużywanej przez budynek. Nowe przepisy to zmieniły i spowodowały, iż na rynku zaczęły pojawiać się programy komputerowe do obliczeń zużycia energii przez budynek, uwzględniające wytyczne normy PN-EN ISO 13790 (ESP-r, TRNSYS, Energy Plus, DOE2). W celu potwierdzenia korzystnego wpływu betonu na stabilność termiczną i efektywność energetyczną budynku przeprowadzonych zostało w wielu ośrodkach badawczych szereg badań z wykorzystaniem modeli teoretycznych. Autorzy [4] przeprowadzili szczegółową analizę porównawczą efektywności energetycznej budynku zeroenergetycznego, wykonanego w dwóch wariantach, jako budynek ciężki i lekki. Wariant ciężki obejmował przegrody wykonane z betonu, natomiast wariant lekki przegrody wykonane w oparciu o szkielet drewniany, za wyjątkiem podłóg. Potwierdzono, że temperatura ścian wewnętrznych w budynku tradycyjnym zmienia się wolniej niż w budynku o konstrukcji lekkiej, co wpływa na utrzymywanie bardziej stabilnej temperatury wewnętrznej oraz obniżenie zużycia energii na ogrzewanie budynku. Podobne analizy porównawcze charakterystyki energetycznej lekkich i masywnych systemów ścian zaprezentował inny zespół [5]. Przedstawione badania pokazują, że w niektórych lokalizacjach wymagania dotyczące ogrzewania i chłodzenia budynków o masywnych ścianach, o stosunkowo wysokich wartościach oporu cieplnego, mogą być niższe niż w podobnych budynkach zbudowanych przy użyciu lekkich technologii. Przydatną z punktu widzenia inżynierskiego pracę dotyczącą oceny wpływu masy termicznej na komfort cieplny i efektywność energetyczną w betonowych budynkach biurowych przedstawił dr Ghoreishi [7]. Zawarte w niej wnioski mogą posłużyć wielu architektom i inżynierom jako wytyczne projektowe. Autor odpowiedział w niej na pytanie, w jaki sposób wykorzystać potencjał masy termicznej betonu, aby uzyskać optymalny efekt końcowy w postaci budynku charakteryzującego się niskim zużyciem energii, z jednoczesnym zapewnieniem komfortowego środowiska wewnętrznego, w różnych strefach klimatycznych. Ilość energii, którą możemy zaoszczędzić dzięki dużej masie termicznej budynków betonowych, jest uzależniona od klimatu zewnętrznego. W niektórych klimatach budynki masywne mają lepszą charakterystykę cieplną niż budynki o małej masie, niezależnie od poziomu ich izolacyjności cieplnej. Masa termiczna budynku o wiele lepiej sprawdza się w klimacie o dużych dziennych wahaniami temperatury (w tym w Polsce). Rodzaj obudowy zewnętrznej i sposób użytkowania budynku znacząco wpływają na oszczędność energii uzyskiwaną dzięki dużej masie termicznej. W niskich budynkach mieszkalnych (domach i apartamentach) obciążenia cieplne i chłodnicze są przede wszystkim uwarunkowane charakterystyką cieplną obudowy. W budynkach biurowych na obciążenia o wiele większy wpływ mają wewnętrzne zyski ciepła od użytkowników, światła i sprzętu. W budynkach, w których masa termiczna jest bezpośrednio wystawiona na oddziaływanie powietrza wewnętrznego, absorbując bezpośrednio wewnętrzne zyski ciepła, jej oddziaływanie jest bardziej skuteczne.

## 7.2. Beton a masa termiczna budynku

W literaturze nie występuje jednoznaczna definicja terminu „masa termiczna”, należy jednak nadmienić, iż jest to pewnego rodzaju skrót myślowy, za którym stoi cały szereg różnych właściwości i zachowań materiałów budowlanych. Właściwości termiczne

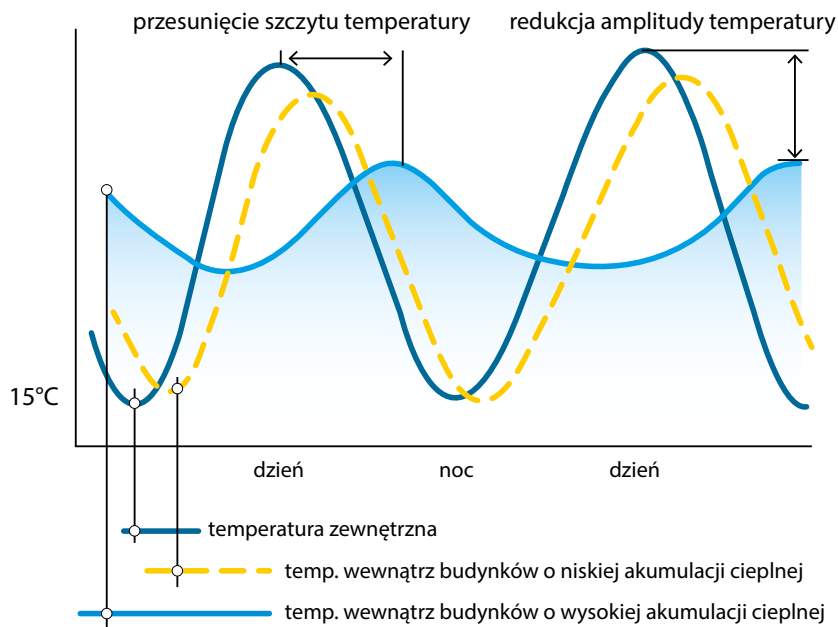
materiału są funkcją jego gęstości, przewodności cieplnej i ciepła właściwego. Masa termiczna stanowi optymalne połączenie tych cech. A zatem odpowiednie materiały do budowy masy termicznej to te, które mają wysokie ciepło właściwe, wysoką gęstość i niską przewodność cieplną. Nie nadają się do tego materiały izolacyjne, które charakteryzują się wprawdzie niską przewodnością cieplną, ale ich gęstość i ciepło właściwe są zbyt niskie, aby zapewnić masę termiczną. Z drugiej strony metale mają wysokie ciepło właściwe i gęstość, ale dyskwalifikuje je wysokie przewodnictwo cieplne. W grupie typowych materiałów konstrukcyjno-budowlanych optymalnym materiałem pod tym kątem jest beton. Materiał taki jak beton, dzięki swojej wysokiej masie termicznej, działa jak bufor, tj. magazyn, łącząc w sobie trzy właściwości przypisane masie termicznej: absorpcję, przechowywanie i prędkość uwalniania ciepła. W ciągu dnia, gdy robi się ciepło, pochłania nadmiar ciepła, które może pochodzić np. od słońca lub ze źródeł wewnętrznych, takich jak oświetlenie, komputery czy ludzie. Po spadku temperatury otoczenia masa termiczna betonu powoli uwalnia nagromadzone ciepło do otaczającej przestrzeni. Skutkuje to wygładzeniem maksimum i minimum temperatury wewnętrznej, utrzymując w ten sposób bardziej stabilne, komfortowe środowisko wewnętrzne. Drugim istotnym efektem działania masy termicznej jest przesunięcie w czasie wystąpienia szczytowych temperatur, czyli bezwładność termiczna. Dzięki niej, ciepło, które przenika przez przegrodę, zostaje spowolnione. W momencie, w którym strumień energii termicznej zmienia kierunek przepływu (z uwagi na dobowe wahania temperatury), część z tego ciepła może zostać „zawrócona” i odzyskana. Oba efekty schematycznie obrazuje rysunek 7.1.

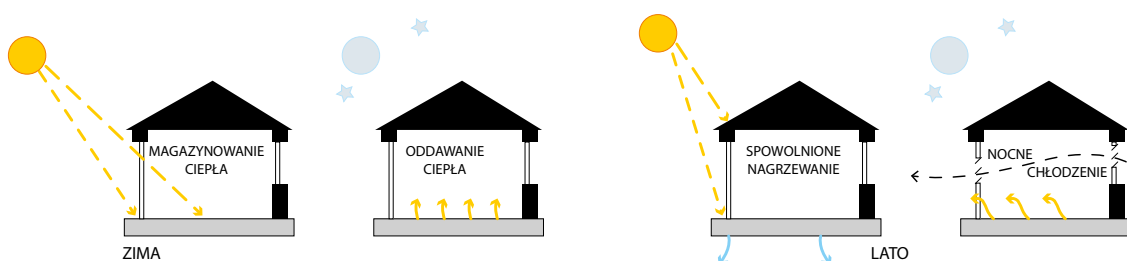
Da się zauważyć, że sposób, w jaki masa termiczna oddziałuje na środowisko wewnętrzne budynku, ulega zmianie w cyklu sezonowym, a nawet dobowym. Latem ma za zadanie chłodzić, zimą natomiast ogrzewać pomieszczenia, schematycznie zostało to objaśnione również na rys. 7.2.

Oprócz opisanego powyżej korzystnego wpływu masy termicznej betonu na stabilizację temperatury wewnętrznej w budynku, z wysokiej masy termicznej betonu wynikają też inne korzyści, takie jak:

- optymalizacja zysków ciepła od nasłonecznienia, tym samym zmniejszenie zapotrzebowania na paliwo do ogrzewania

Rys. 7.1. Wpływ masy termicznej na temperaturę wewnątrz budynku [1]





Rys. 7.2. Schemat działania masy termicznej. Pasywne chłodzenie latem, magazynowanie i oddawanie zysków zimą. [1]

- zmniejszenie zużycia energii do ogrzewania o 2-15%
- zmniejszenie wahań temperatury wewnątrz budynku
- opóźnienie szczytowych temperatur w biurach i innych budynkach użytkowych do czasu opuszczenia ich przez użytkowników
- obniżenie temperatury szczytowej, co powoduje, że klimatyzacja staje się zbędna
- wyeliminowanie potrzeby chłodzenia w ciągu dnia, w przypadku zastosowania jej razem z nocnym chłodzeniem
- zmniejszenie ilości energii użytej do chłodzenia do 50%, w przypadku połączenia z klimatyzacją
- zmniejszenie kosztów ogrzewania budynków
- możliwość lepszego wykorzystania niskotemperaturowych źródeł ciepła, takich jak gruntowe pompy ciepłe
- zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>, głównego gazu cieplarnianego, poprzez zmniejszenie zużycia energii zarówno dla ogrzewania, jak i chłodzenia.

W klimatach, gdzie przez dłuższy czas występują bardzo wysokie lub niskie temperatury, pasywne sposoby wykorzystywania masy termicznej budynków mogą okazać

się niewystarczające, wówczas istnieje możliwość wykorzystania tzw. systemów aktywnych. Przykładem takiego rozwiązania mogą być:

- stropy aktywowane termicznie z niemieckiego BKT (rys. 7.3), które od tradycyjnych ogrzewań płaszczyznowych odróżnia fakt, że wykorzystują akumulacyjność masywnych elementów konstrukcji żelbetonowej do odbierania ciepła z pomieszczeń latem lub oddawania ciepła zimą, dzięki zamontowanym na wysokości zbrojenia rurom z wodą chłodzącą lub grzewczą.
- grzewcze płyty fundamentowe (rys. 7.4), w których ciepłe powietrze zostaje rozprowadzone w kanałach zatopionych w płycie fundamentowej. Kanały te tworzą obiegi zamknięte pod całą powierzchnią budynku. Nagrzana płyta działa na zasadzie „akumulatora” ciepła, który oddaje tyle energii cieplnej, ile wynika z zapotrzebowania w danej chwili.



Rys. 7.3. Moduły stropów aktywowanych termicznie – system Rehau [2]



Rys. 7.4. Etapy budowy grzewczej płyty fundamentowej [3]



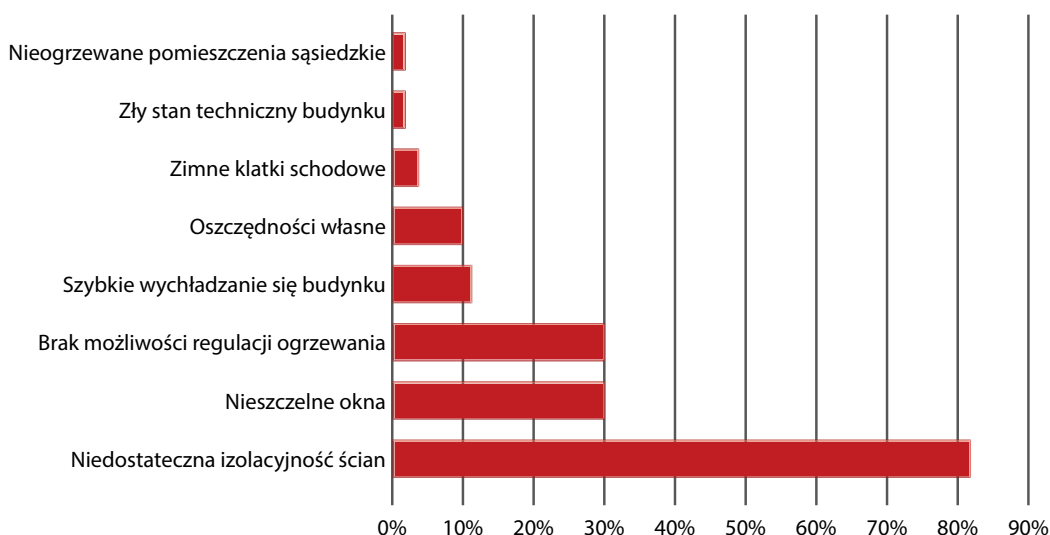
- Innym, innowacyjnym rozwiązaniem aktywnego systemu grzewczego z dodatkową opcją magazynowania energii mogą być betonowe słupy stanowiące element konstrukcyjny budynku, badania na ten temat przedstawili w swojej pracy Ozrahat i Unalan [6].

### 7.3. Beton a komfort termiczny w okresie grzewczym w mieszkaniach

ITB w roku 2015 w ramach prac statutowych przeprowadziło ankietę wśród użytkowników budynków mieszkalnych w Warszawie. Ankieta dotyczyła określenia przyczyn braku komfortu termicznego w mieszkaniach w okresie zimowym/grzewczym. Zidentyfikowano 8 głównych przyczyn „zimnych mieszkań” (rys. 7.5). Głównymi przyczynami wskazanymi przez osoby ankietowane są: niedostateczna izolacyjność ścian i nieszczelne okna. Wśród innych istotnych przyczyn podano: szybkie wychładzanie się budynku oraz zły stan techniczny budynku. Szybkie wychładzanie się budynku, może być spowodowane nieszczelnościami, mostkami cieplnymi oraz też niską masą termiczną budynku. Na zły stan techniczny budynku ma wpływ jakość i trwałość zastosowanych wyrobów budowlanych i instalacyjnych.

W kontekście eliminacji wytypowanych w ankiecie przyczyn można postawić tezę, że właściwie izolowane termicznie przegrody, mogą się przyczynić do zmniejszenia dyskomfortu termicznego przynajmniej w trzech zidentyfikowanych obszarach.

Rys. 7.5. Przyczyny braku komfortu termicznego zimą wskazywane przez użytkowników budynków mieszkalnych w Warszawie wg. ankiety ITB



## 8. BETON W KONTEKŚCIE DZIAŁAŃ DEWELOPERÓW NA RZEC ENERGOOSZCZĘDNEGO BUDYNKU

Anonimową ankietę przeprowadzono wśród pracowników 9 deweloperów aktualnie wznoszących budynki w Warszawie. Zapytano ich o to, co deweloper czy inwestor zazwyczaj planuje w kontekście zmniejszenia energochłonności budynku. Niektóre odpowiedzi wskazane w tabeli są interesujące. Jak wnioskować można z analizy wyników, pojawia się główny trend. Deweloper budujący mieszkania na sprzedaż interesuje się spełnieniem wymagań podstawowych stawianych przez przepisy budowlane, tak aby budynek został odebrany, ale już mniej interesuje się rzeczywistym funkcjonowaniem budynku po jego odbiorze i sprzedaży. By osiągnąć zysk, często stosuje się materiały producentów, którzy oferują najniższą cenę i akceptowalne parametry techniczne. Najwięksi deweloperzy celujący w klienta, nie tylko ekonomicznego, wiedzą, że za lepszy produkt klient może więcej zapłacić. Orientacyjnie 30% deweloperów poszukuje ponadprzeciętnych rozwiązań energooszczędnych w swoich budynkach nie tylko ze względu na spełnienie wymagań przepisów (warunki techniczne). W kontekście wykorzystania betonu w budownictwie mieszkaniowym w najbliższych latach można przyjąć następujące wnioski. Beton, ze względu na dobrą cenę, będzie dominującym masowo materiałem budowlanym. Beton dobrze łączy się z większością rozwiązań energooszczędnych: łatwo go docieplić, modyfikować, kształtować, jest trwały, łatwy w montażu i akumuluje ciepło. Beton, ze względu na jego właściwości może być wykorzystywany w budownictwie ekonomicznym oraz dedykowanym klientowi zamożniejszemu, wiedzącemu, czego oczekuje od swojej inwestycji, w tym oczekującego niskich rachunków za energię.

Co planuje inwestor/deweloper Zagadnienia	Odsetek deweloperów	Czy właściwości betonu mają wpływ na efekt	Komentarz
Rozważyć „za i przeciw” zastosowania różnych technologii budynku	90%	tak	Dominuje podejście ceny, inwestorzy, którzy budują dla siebie (wynajem), wybierają „lepiej” i świadomiej. Beton jest lubiany jako łatwy w budowie i trwały. Panuje też podejście eliminacji potencjalnych zagrożeń trudności w odbiorze budynku lub reklamacji klienta. Wybierane są rozwiązania prostsze.
Rozważyć rodzaj izolacji (policzyć opór termiczny przegród)	90%	tak	Prawie każdy deweloper wylicza izolacyjność przegród prostymi metodami, nie wszyscy jednak obliczają wartości faktyczne z uwzględnieniem detali cieplnych i realnych właściwości technicznych wyrobów (bazują na deklaracjach producenta). Beton jest materiałem, który bardzo łatwo można docieplić.
Rozważyć stosunek jakości przegród do ceny	60%	tak	Dominuje podejście ceny. Beton jest materiałem o znacznej trwałości i konkurencyjnej cenie.
Uwzględnić masę termiczną	30%	tak	Pojawia się coraz częściej zrozumienie zysków związanych z masą termiczną budynku. Niemniej zagadnienie nie zakorzeniło się jeszcze w świadomości inżynierów, konstruktorów i architektów.
Rozważyć łatwość wybudowania/montażu	40%	tak	Zależy, czy inwestor będzie sam budował, czy zlecał wykonawcy. Zastosowanie betonu jest zazwyczaj „mniej skomplikowane” i beton jest lubiany.
Określić rzeczywisty stosunek ceny izolacji do jej jakości	50%	nie	Deweloperzy często bardzo pobieżnie wybierają producentów izolacji. Prowadzi to do wyborów wątpliwych producentów, którzy zawyżają parametry swoich wyrobów, a są tańsi.
Policzyć realne zapotrzebowanie na ciepło	50%	tak	Istnieje częsty problem polegający na tym, że teoretyczne założenia obliczeniowe nie sprawdzają się później w eksploatacji budynku. Wyniki obliczeń zazwyczaj mają wymiar teoretyczny i jest to kosztowym błędem.

Uwzględnić zachowanie wilgotnościowe przegród	70%	tak	Choć jest to wymagane, to inwestorzy i wykonawcy mają z tym spory problem i wiele budynków ma później problemy z przemarzaniem i wilgocią na przegrodach (np. poddasza i klatki schodowe).
Policzyć koszty zwrotu dla technologii oszczędzającej energię	40%	tak	Tylko świadomy inwestor/deweloper, często mały. Duży inwestor inwestuje w OZE tylko gdy „mocno” się to opłaca. Mało kto jest przygotowany na wymagania 2021, gdy OZE będzie niezbędne.
Podzlecić ekspertyzę lub dodatkowe badania	20%	tak	Dodatkowe koszty są raczej nieakceptowalne
Obliczyć realne koszty użytkowania związane z energią	40%	tak	Często są obliczone koszty nierzeczywiste, które się później różnią.
Przyjąć najtańsze możliwe źródło ciepła	60%	nie	Najczęstsza opcja.
Uwzględnić kierunki świata i orientację obiektu (wiatr, nasłonecznienie, ukształtowanie terenu)	30%	nie	Często nie jest to możliwe. Niska świadomość wpływu kierunków świata na energooszczędność budynku.
Wykorzystać OZE	30%	nie	Pojawia się wschodzący trend ze względu na spełnienie wymagań przepisów WT21. Czasem na potrzeby własne inwestor stosuje OZE. OZE aktualnie nie jest jeszcze standardem.
Ograniczenie mostków cieplnych	30%	tak	Rzadko. Niskie zrozumienie tego problemu i wpływu na charakterystykę energetyczną. Istnieją technologie, które łatwo eliminują mostki cieplne w budynkach wzniesionych w technologii betonu.
Planuje rozważyć ilość przeszkleń, stosunek do powierzchni nieszklnych	60%	nie	Głównie ze względu na cenę okien. Rzadziej ze względu na wpływ na zapotrzebowanie na energię.
Ocenić wpływ rozwiązań architektonicznych na energochłonność budynku	40%	tak	Nie jest to popularne. Niska świadomość wpływu kształtu budynku na jego właściwości techniczne. Dominuje prosty i tani projekt (nieosadzony w specyfice lokalizacji)
Spełnić wymagania przepisów, w tym warunków technicznych WT dla przegród	100%	tak	Wszyscy chcą spełnić choć teoretycznie - bo jest to wymagane. Spełnienie często jest tylko formalnie „na papierze”.
Pochylić się nad sprawnością instalacji	50%	nie	Deweloper budujący na wynajem interesuje się sprawnością instalacji. Inny umiarkowanie.
Wykorzystać celowe okna o optymalnych parametrach	30%	nie	Raczej stosuje najtańsze możliwe spełniające teoretycznie wymagania, często niespełniające wymagań w praktyce
Poszukać dofinansowania, kredytu z dopłatą	40%	tak	Niska świadomość istniejących programów, świadomość nieopłacalności kredytów z bonusem, za niskie sumy, dodatkowe nakłady pracy biurokratycznej. Niska społeczna ocena takich programów.
Poszukiwać świadomych użytkowników, którzy są w stanie zapłacić więcej za jakość budynku	50%	tak	Pewna część deweloperów nastawiona jest na klienta o „szerszym portfelu” i większych oczekiwaniach.

Główną przewagą wykorzystania betonu w budynkach mieszkalnych w kontekście komfortu termicznego, w porównaniu do innych wyrobów budowlanych, jest wysoka masa termiczna. Drugim ważnym aspektem, jak wynika z praktyki, jest to, że ściany z betonu zazwyczaj nie posiadają tak wielu nieszczelności powietrznych czy mostków cieplnych, jak ściany o konstrukcjach lekkich ramowych. Beton tworzy integralną ścia-

nę; ciąglą, masywną i szczelną. Każde złącze konstrukcji lekkich, połączenie jest potencjalną nieszczelnością lub mostkiem cieplnym. Dzisiejsze konkretne korzyści dla domów mieszkalnych w dużej mierze wynikają z postępów dokonanych w materiałach izolacyjnych w ciągu ostatnich 20 lat. Obecnie betonowe technologie budynków mieszkalnych w Polsce wykorzystują sprawdzoną, ekonomiczną i skuteczną izolację termiczną, aby utrzymać dom przez cały rok w komforcie cieplnym. Wiele izolowanych systemów ścian betonowych wykorzystuje bloki lub płyty z polistyrenu. Różne formy i materiały izolacyjne mogą dać domowi dobrą wartość oporu cieplnego ścian i co za tym idzie wymierne korzyści ekonomiczne podczas użytkowania budynku.

Prefabrykowane budynki betonowe można łatwo ocieplić na wiele sposobów. Izolacja termiczna może być zintegrowana z prefabrykatowym elementem betonowym lub zamontowana na dowolnej powierzchni elementów – technologii jest bardzo wiele. Domy nisko i bardzo niskoenergooszczędne a nawet pasywne, są często budowane z prefabrykatów betonowych. Łatwość produkcji oraz samego zastosowania ocieplanych prefabrykatów betonowych może okazać się czynnikiem mającym główny wpływ na dominujące wykorzystanie takich technologii w budownictwie mieszkaniowym w najbliższych latach w Polsce.

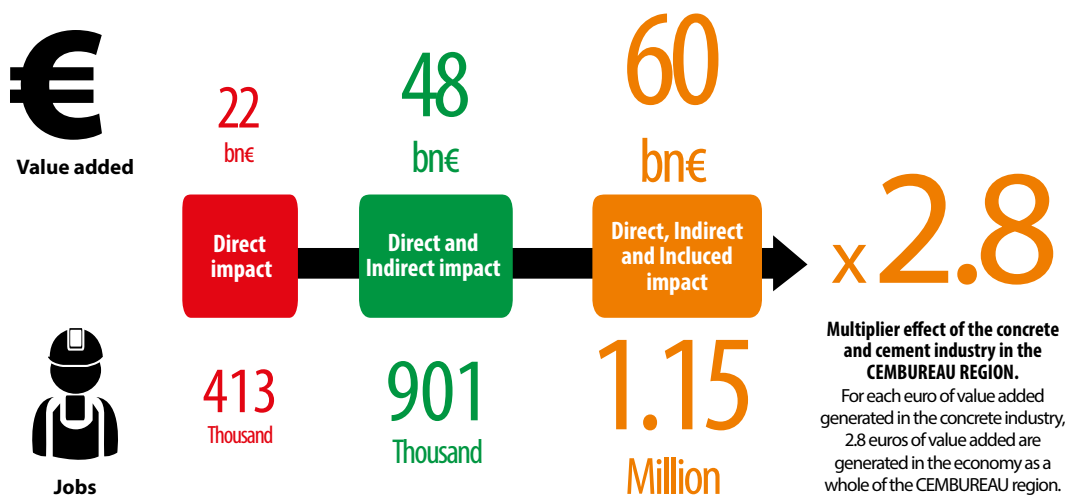
#### Źródła:

- [1] Stowarzyszenie Producentów Cementu, 2007
- [2] Materiały informacyjne firmy Rehau [www.rehau.com](http://www.rehau.com) (stan na 22.06.17).
- [3] Materiały informacyjne firmy Legalett [www.legalett.com.pl](http://www.legalett.com.pl) (stan na 6.07.2017)
- [4] L. Zhu, R. Hurt, D. Correia, et al. Detailed energy saving performance analyses on thermal mass walls demonstrated in a zero energy house. *Energy Build.*, 41 (3) (2009), pp. 303–310
- [5] J. Kosny, T. Petrie, D. Gawin, et al. Energy Benefits of Application of Massive Walls in Residential Buildings. *Conference Proceeding by ASHRAE*, 2001
- [6] Ozrahat E., Unalan S., Thermal performance of concrete column as a sensible thermal energy storage medium and a heater. *Renewable Energy* 111 (2017) 561-579
- [7] Ghoreishi Amirhossein. Assessment of thermal mass property for energy efficiency and thermal comfort in concrete office buildings. *University of Illinois at Urbana-Champaign*, 2015.

# 9. SPOŁECZNE ASPEKTY PRODUKCJI BETONU

Polskie przedsiębiorstwa z branży produkcji materiałów budowlanych, w tym cementu i betonu, coraz częściej realizują politykę zarządzania strategicznego w oparciu o standardy społecznej odpowiedzialności biznesu (z ang. CSR – Corporate Social Responsibility). Dzięki parametryzacji aktywności przedsiębiorstw nie tylko w kwestiach ekonomicznych, ale także środowiskowych, zatrudnienia i praw człowieka możliwe jest uzyskanie szerszego obrazu wpływu przemysłu na kwestie zrównoważonego rozwoju. Przestrzeganie wartości korporacyjnych i odpowiedzialności za prowadzoną strategię są źródłem pozytywnej motywacji dla pracowników, a spójność działań przedsiębiorstw pozwala pracownikom silniej identyfikować się ze swoim zakładem pracy. Realizacja celów przedsiębiorstw w oparciu o troskę i poszanowanie okazane pracownikom znajduje swoje odzwierciedlenie w dużym zainteresowaniu społeczeństwa aktywnością zawodową w gałęzi przemysłu budowlanego.

Rys. 9.1. Schemat obrazujący efekt mnożnikowy w sektorach cementowym i betonowym w krajach EU28 (na podstawie danych za lata 2008-2011) [1]



BIPE 2015 - CEMBUREAU - Multiplier Effect Study

Wyniki analizy przeprowadzonej przez The Concrete Initiative – inicjatywę zrzeszającej organizacje promujące zrównoważone budownictwo w Europie, powołanej przez CEMBUREAU (the European Cement Association), BIBM (the European Federation for Precast Concrete) i ERMCO (the European Ready Mixed Concrete Organization) jednoznacznie wskazują na istotny wpływ przemysłu budowlanego na wzrost poziomu zatrudnienia oraz gospodarkę niskoemisyjną. Z przedstawionych szacunków wynika, że każde euro wytworzone w tym sektorze pozwala na wygenerowanie 2,8 euro w innych gałęziach gospodarki [1]. W 2012 roku sektory cementowy i betonowy wygenerowały 20 mld euro wartości dodanej, zatrudnienie wynosiło 384 tysiące miejsc pracy w Unii Europejskiej. W regionie funkcjonowania CEMBUREAU bezpośrednia wartość dodana to 22 mld euro oraz 413 tysięcy miejsc pracy. Wartość dodana w ramach zakupów oraz wydatków na zatrudnienie bezpośrednio i pośrednio osiągnęła w UE-28 poziom 56 mld euro oraz pozwoliła na stworzenie 1,08 mln miejsc pracy. W regionie CEMBUREAU wartość dodana wynosiła 60 mld euro oraz stworzono 1,15 mln miejsc pracy.



Przemysł tworzą ludzie, a sektory cementowy i betonowy doskonale zdają sobie z tego sprawę. Zgodnie z danymi Stowarzyszenia Producentów Cementu (SPC), przemysł cementowy w Polsce tworzy bezpośrednio 4 tysiące miejsc pracy, a pośrednio – około 25 tysięcy. W związku z tym podejmowane są liczne inicjatywy mające na celu ochronę zdrowia pracownika w miejscu pracy oraz wpływające na poprawę komfortu pracy. Przedsiębiorstwa stale dążą do zminimalizowania narażenia pracowników i podwykonawców na czynniki szkodliwe, takie jak hałas, zapylenie i wibracje. Jednym z przykładów takich działań jest porozumienie zawarte w 2006 roku, dotyczące ograniczenia ekspozycji pracowników na działanie pyłu krzemionki krystalicznej podczas procesu produkcji (NEPSI). Celem tego porozumienia jest zminimalizowanie narażenia pracowników na potencjalne czynniki chorobotwórcze oraz promowanie dobrych praktyk z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy.

Sektory cementowy i betonowy z obszaru UE również chętnie włączają się w realizację prac badawczych ukierunkowanych na optymalizację procesu produkcji cementu i betonu oraz redukcję śladu węglowego [2], co przyczynia się do wymiernych korzyści społecznych i środowiskowych. Dzięki podjętym działaniom, udało się obniżyć emisję CO<sub>2</sub> wynikającą z produkcji cementu aż o 13% pomiędzy rokiem 1990 a 2013. Należy też dodać, że firmy produkujące cement i beton w Polsce uczestniczą w wielu aktywnościach badawczych, których celem jest ograniczenie wpływu na środowisko oraz osiągnięcie pozytywnych rezultatów w wymiarze społecznym (np. rekultywacja terenów poprzemysłowych).

Źródła:

- [1] Cement and concrete industry: Multiplier effect on the economy and their contribution to a low carbon economy. The Concrete Initiative, 2015
- [2] SPC <http://www.polskicement.pl/>

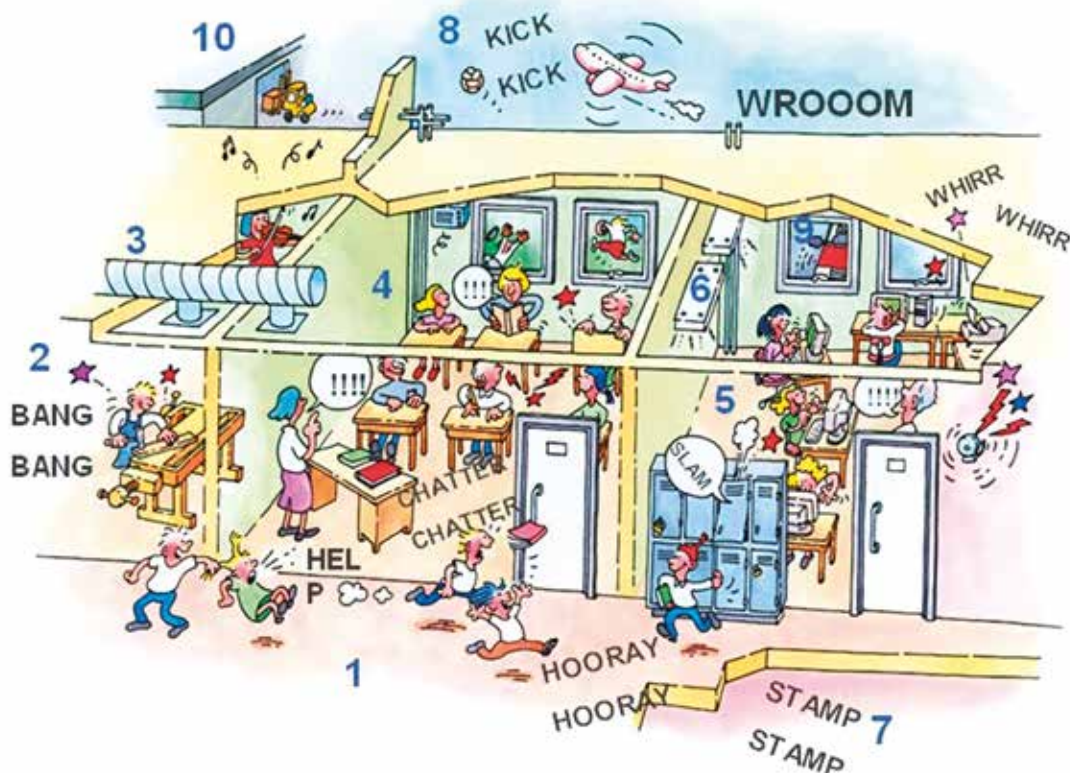
# 10. BETON A KOMFORT AKUSTYCZNY

## 10.1. Wstęp do akustyki betonu

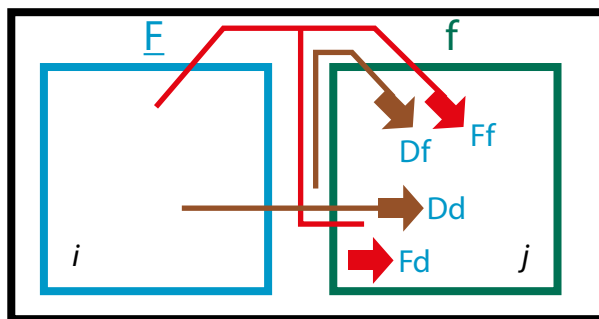
Zapewnienie komfortu akustycznego w budynkach związane jest z respektowaniem wymagań normowych, zróżnicowanych w zależności od przeznaczenia użytkowego poszczególnych pomieszczeń. Wymagania te formułowane są za pomocą wskaźników oceny izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami (w odniesieniu do hałasów powietrznych i uderzeniowych) oraz izolacyjności od dźwięków powietrznych między otoczeniem zewnętrznym a wnętrzem budynku. Obecny poziom wymagań normowych w Polsce nie należy do najwyższych, co związane jest przede wszystkim z możliwościami ekonomicznymi użytkowników mieszkań. Zapewnia on komfort akustyczny na poziomie podstawowym, co nie oznacza, że występujące w budynku hałasy będą całkowicie niesłyszalne lub nieuciążliwe, niezależnie od indywidualnej wrażliwości na ich subiektywną ocenę.

Dlatego z tym większą starannością wymagania normowe powinny być przestrzegane poprzez odpowiednią realizację procesu inwestycyjnego – od projektu budowlanego do kontroli jakości wykonawstwa. Przy doborze odpowiednich przegród budowlanych konieczna jest znajomość nie tylko izolacyjności akustycznej określonej na podstawie wyników pomiarów laboratoryjnych bądź wyników obliczeń, ale również uwzględnienie, za pomocą metody obliczeniowej wg PN EN 12354 [1,2], przenoszenia

Rys. 10.1. Poglądowe źródła hałasu w budynkach



Rys. 10.2. Schemat dróg transmisji dźwięków między pomieszczeniami; Dd – droga bezpośrednia, Ff, Fd, Df – drogi boczne (przy jednej krawędzi), i – pomieszczenie nadawcze, j – pomieszczenie odbiorcze



dźwięku przez konstrukcje boczne w stosunku do przegrody oddzielającej dane pomieszczenie (tzw. przeniesienie boczne – patrz rys.10.2).

W przypadku przegród betonowych można przyjąć, że przenoszenie boczne dźwięków powietrznych, w zależności od wielkości powierzchni przegrody rozdzielającej pomieszczenia i rodzaju przegród bocznych, obniża izolacyjność między pomieszczeniami [3,4] przeciętnie:

- 2 ÷ 4 dB – dla ścian międzymieszkaniowych
- 3 ÷ 5 dB – dla stropów
- ok. 0 dB – dla ścian zewnętrznych (pomijalnie małe)

Przeniesienie boczne dźwięków uderzeniowych jest nieco mniejsze i wynosi ok. 2 dB.

Innym czynnikiem mającym wpływ na izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami jest często jakość wykonawstwa (brak szczelności akustycznej na powierzchni i obwodzie danej przegrody, niewłaściwy sposób wykonania węzłów). W tabelicy 10.1 zestawiono parametry oceny akustycznej przegród stosowane w warunkach laboratoryjnych i w budynkach, wyrażone w postaci wskaźników izolacyjności od dźwięków powietrznych oraz wskaźników poziomu uderzeniowego, charakteryzującego izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropów.

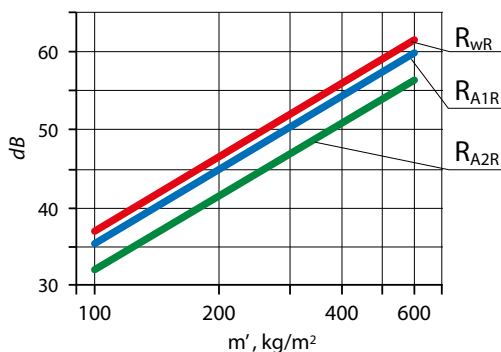
## 10.2. Właściwości akustyczne ścian i stropów z betonu

Izolacyjność akustyczną od dźwięków powietrznych przegród płytowych pełnych z betonu zwykłego (wyrażoną we wskaźnikach laboratoryjnych  $R_{A1R'}$ ,  $R_{A2R}$  lub  $R_{wR}$ ) można oszacować na podstawie empirycznego „prawa masy” [8,9,10], które określa zależność wartości tych wskaźników od masy powierzchniowej  $m'$  przegrody, przy czym  $m' \geq 100 \text{ kg/m}^2$  (Rys.10.3).

Tablica 10.1. Parametry oceny akustycznej przegród w warunkach laboratoryjnych i budynkach [5, 6, 7]

Przegroda	Rodzaj	Wskaźniki określające izolacyjność akustyczną przegrody w laboratorium, dB	Wskaźniki określające izolacyjność akustyczną przegrody w budynku, dB	Wymagania normowe [7], dB
ściana wewnętrzna	powietrzne	$R_w(C;C_{tr})$ $R_{A1} = R_w + C$	$R_w(C;C_{tr})$ $R'_{A1} = R'_{A1R} - K_a$	$R'_{A1} \geq 50$
strop	powietrzne	$R_w(C;C_{tr})$ $R_{A1} = R_w + C$	$R_w(C;C_{tr})$ $R'_{A1} = R'_{A1R} - K_a$	$R'_{A1} \geq 51$
	uderzeniowe	$L_{n,w}$ (dot. stropów z podłogami) $L_{n,w,eq}$ (dot. stropów bez podłóg)	$L'_{n,w} = L'_{n,wR} + K_1$	$L'_{n,w} \leq 58$
ściana zewnętrzna	powietrzne	$R_w(C;C_{tr})$ $R_{A2} = R_w + C_{tr}$	$R'_{A2} = R'_{A2R} - K_a$	w zależności od poziomu hałasu zewnętrznego
Uwaga: $R'_{A1R} = R_{A1} - 2$ , $R'_{A2R} = R_{A2} - 2$ , $L'_{n,wR} = L_{n,w} + 2$ (wskaźniki projektowe) $K_a$ – przenoszenie boczne dźwięków powietrznych $K_1$ – przenoszenie boczne dźwięków uderzeniowych				

Rys 10.3. „Prawo masy” dla przegród płytowych pełnych z betonu zwykłego [3]



$$R_{A1R} = 30,9 \lg(m') - 26,1 \text{ [dB]}$$

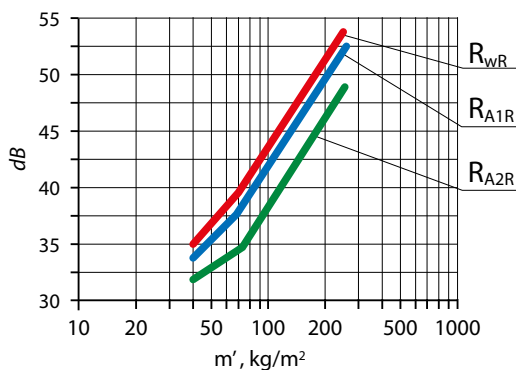
$$R_{A2R} = 30,9 \lg(m') - 29,6 \text{ [dB]}$$

$$R_{WR} = 30,9 \lg(m') - 24,6 \text{ [dB]}$$

Podane wzory stosuje się do przegród (ścian i stropów) monolitycznych oraz prefabrykowanych, pod warunkiem że nie

występują w nich kanały do prowadzenia instalacji elektrycznych oraz nieszczelności w złączach. Podobnie jak w przypadku przegród z betonu zwykłego, izolacyjność akustyczną od dźwięków powietrznych ścian z betonu komórkowego w warunkach laboratoryjnych można oszacować na podstawie empirycznego „prawa masy” [6,8,9,10], wyznaczonego na podstawie wielu wyników badań uwzględniających: odmianę betonu – od 300 do 700, grubość ściany – od 60 mm do 430 mm, technologię wznoszenia muru (przy użyciu różnego typu zapraw, na zamek typu „pióro-wpust”). Przedstawione na rys.10.4 zależności są „wspólne” dla wszystkich rozpatrywanych odmian betonu, niezależnie od sposobu łączenia elementów, z wyjątkiem przypadku stosowania zaprawy ciepłochronnej. Tego typu technologia wznoszenia ścian powoduje bowiem obniżenie izolacyjności akustycznej w paśmie średnich częstotliwości, co prowadzi do mniejszych o ok. 1 dB wartości wskaźników izolacyjności akustycznej, niż wynikałoby to z prawa masy.

Rys 10.4. „Prawo masy” dla przegród z elementów drobnowymiarowych z betonu komórkowego odmiany 300-700, otynkowanych tynkiem o grubości 6-10 mm [3].



A. przedział mas

$$40 \text{ kg/m}^2 < m' \leq 70 \text{ kg/m}^2$$

$$R_{A1R} = 17,9 \lg(m') + 4,4$$

$$R_{A2R} = 10,5 \lg(m') + 15,0$$

$$R_{WR} = 17,9 \lg(m') + 5,9$$

B. przedział mas

$$70 \text{ kg/m}^2 < m' \leq 250 \text{ kg/m}^2$$

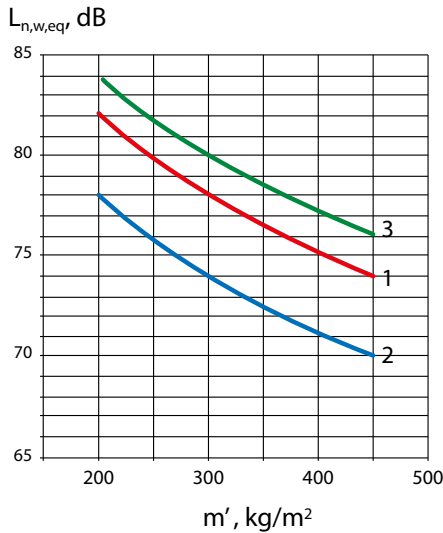
$$R_{A1R} = 25,5 \lg(m') - 9,1$$

$$R_{A2R} = 25,5 \lg(m') - 12,6$$

$$R_{WR} = 25,5 \lg(m') - 7,6$$

Ściany betonowe, wylewane w deskowaniach traconych ze styropianu są, z punktu widzenia akustycznego, ścianami masywnymi z występującymi po obu stronach ustrojami warstwowymi (styropian + płyta gipsowo-kartonowa oraz styropian + warstwa tynku). Wpływ ustrojów na izolacyjność akustyczną uzależniony jest przede wszystkim od ich częstotliwości rezonansowych (najczęściej w paśmie średnich częstotliwości).

Masywne płyty betonowe bez warstw podłogowych charakteryzują się małym tłumieniem dźwięków uderzeniowych (co oznacza, że wartość poziomu uderzeniowego pod stropem jest stosunkowo duża). Zwiększenie grubości płyty stropowej (a więc również masy powierzchniowej) powoduje co prawda poprawę izolacyjności, ale w stopniu umiarkowanym. Ze względu na mniejszą gęstość, żelbetowe płyty kanałowe charakteryzują się nieco lepszymi właściwościami akustycznymi niż płyty pełne. Mimo wszystko, płyty betonowe pełne i kanałowe charakteryzują się lepszymi właściwościami akustycznymi niż stropy ceramiczne (Rys.10.5).



Rys. 10.5 Zależność ważonego wskaźnika znormalizowanego poziomu uderzeniowego  $L_{n,w,eq}$  (charakteryzującego izolacyjność od dźwięków uderzeniowych bez podłogi) od masy powierzchniowej stropu  
1 – płyty żelbetonowe pełne, 2 – płyty żelbetonowe kanałowe, 3 – stropy ceramiczne [3]

Aby zapewnić wymaganą izolacyjność od dźwięków uderzeniowych, należy stosować odpowiednie układy podłogowe, powodujące poprawę tłumienia dźwięków uderzeniowych całego układu [11].

### 10.3. Ocena właściwości akustycznych przegród pod kątem spełnienia wymagań normowych

#### Ściany i stropy międzymieszkaniowe

Wymaganą wg PN-B-02151-3:1999 izolacyjność od dźwięków powietrznych ścian międzymieszkaniowych  $R'A1 \geq 51$  dB można uzyskać, stosując pełną płytę żelbetonową o grubości  $h \geq 15$  cm. Przy grubości  $h=14$  cm wymagane jest stosowanie dodatkowych ustrojów izolacyjnych (grubość tych ustrojów wynosi przeciętnie 30-60 mm).

Spełnienie wymagań w przypadku ścian z betonu komórkowego jest możliwe tylko wówczas, gdy ich masa powierzchniowa  $m'$  jest większa niż  $250 \text{ kg/m}^2$ . Oznacza to, że ściany z często stosowanych elementów grubości  $24 \div 30$  cm odmiany 600, a nawet odmian o większej gęstości, nie osiągają odpowiedniej izolacyjności akustycznej w budynku.

Stropy żelbetonowe płytowe pełne i kanałowe, przy odpowiednio dużej masie powierzchniowej, spełniają wymagania izolacyjności od dźwięków powietrznych  $R'A1 \geq 51$  dB. W przypadku stropów o grubości  $\leq 16$  cm nie jest natomiast możliwe uzyskanie wymaganej izolacyjności od dźwięków uderzeniowych  $L'_{n,w} \leq 58$  dB bez dodatkowego zastosowania pływaków podłóg.

#### Ściany zewnętrzne

Konstrukcje betonowe mają zastosowanie do wykonywania ścian zewnętrznych jako płyty warstwowe (w istniejących budynkach prefabrykowanych), płyty pełne monolityczne ocieplane lekkimi układami warstwowymi, a także w postaci konstrukcji z zastosowaniem elementów z betonu komórkowego lub elementów styropianowych zalewanych betonem.

Wartości wymaganej izolacyjności akustycznej są różne, w zależności od miejsca usytuowania budynku, a więc od stopnia narażenia na hałas środowiskowy.

Ściany z betonu zwykłego, ze względu na stosunkowo dużą masę powierzchniową, mogą uzyskiwać wystarczającą izolacyjność akustyczną nawet przy niekorzystnym usytuowaniu budynku, w otoczeniu o wysokich poziomach hałasu. Warunkiem jest jednak zachowanie szczelności złączy. Wykonanie ociepleń metodą lekką, z zastosowaniem izolacji termicznej z płyt styropianowych lub z wełny mineralnej, eliminuje

co prawda te nieszczelności, ale jednocześnie powoduje obniżenie wskaźników izolacyjności akustycznej ściany przeciętnie o 2-3 dB. Dlatego też powszechnie stosowane tego rodzaju ocieplenia nie mogą być traktowane jako izolacja akustyczna ściany.

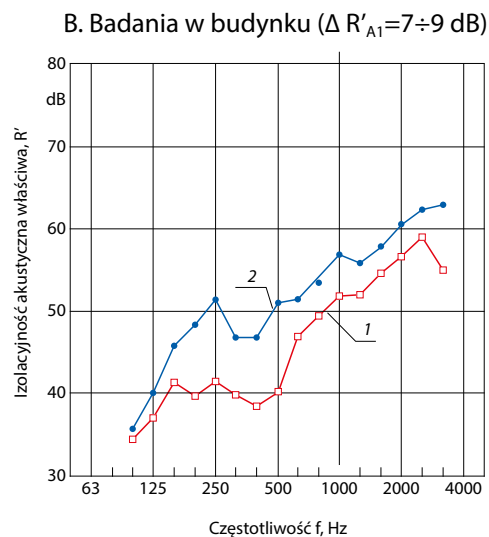
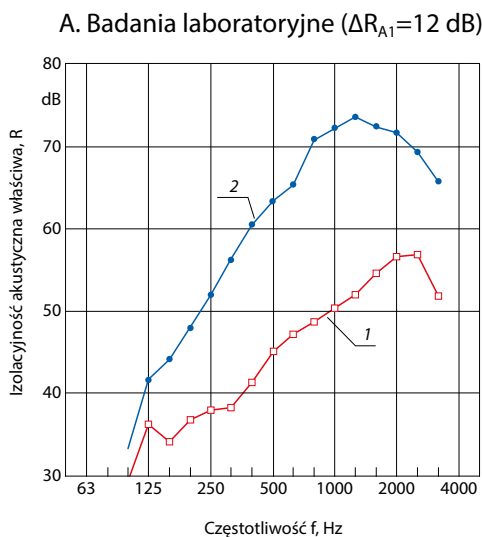
Ściany z betonu komórkowego mogą być stosowane jako ściany zewnętrzne w większości przypadków usytuowania budynków w terenie.

Izolacyjność akustyczna ścian zewnętrznych z elementów styropianowych zalewanych betonem może być oceniona jako wystarczająca jedynie przy usytuowaniu budynków na terenach cichych. Ze względu na bardzo duży wpływ na wartość boczno przesyłania dźwięku w budynku, tego rodzaju ściany nie mogą być stosowane w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych (bez względu na warunki akustyczne otoczenia), bowiem uniemożliwiają uzyskanie normowej izolacyjności akustycznej między mieszkaniami.

#### 10.4. Możliwości poprawy warunków akustycznych w budynkach

Izolacyjność akustyczna ścian międzymieszkańowych w budynkach jest najczęściej mniejsza niż wynika to z grubości i gęstości zastosowanych elementów płytowych oraz przesyłania bocznego dźwięku. Związane to jest w dużej mierze ze specyficznymi cechami konstrukcji (złącza między elementami, otwory montażowe, otwory i kanały do prowadzenia instalacji elektrycznych), które przy niedokładnym wykonawstwie i niewłaściwym wykończeniu powierzchni elementów powodują bardzo wyraźne obniżenie izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami. Takie zjawiska obserwuje się zarówno w budynkach wznoszonych w latach poprzednich jak i w budynkach wznoszonych obecnie. Strata izolacyjności akustycznej może dochodzić nawet do 10 dB. Poprawę izolacyjności akustycznej elementów ściennych można uzyskać przez otynkowanie ściany (przy czym warstwa tynku powinna mieć grubość co najmniej 10-12 mm) lub przyklejenie na całej powierzchni płyt gipsowo-kartonowych grubości 12,5 mm. Niewłaściwe jest mocowanie płyt gipsowo-kartonowych na plackach gipsowych, gdyż takie rozwiązanie powoduje obniżenie izolacyjności akustycznej całego układu. Znaczący rezultat można uzyskać dzięki zamocowaniu na ścianie (na kolejnych kondygnacjach, po różnych jej stronach) dodatkowego ustroju izolacyjnego, wykonanego np. z wełny mineralnej grubości 50 mm i płyty gipsowo-kartonowej 12,5 mm na szkieletie z kształtowników zimnogiętych. Kształtowniki stalowe powinny być odizolowane od powierzchni ściany przekładkami elastycznymi, np. z pianki poliuretanowej 2-3 mm. Pamiętać jednak należy, że efektywność takiego zabezpieczenia jest znacznie mniejsza w budynku niż w warunkach laboratoryjnych (rys. 10.6).

Rys. 10.6. Charakterystyki izolacyjności akustycznej właściwej ściany z betonu komórkowego odmiany 600 grubości 240 mm, z tynkiem cementowo-wapiennym grubości 10 mm: 1 – ściana przed zastosowaniem dodatkowych zabezpieczeń akustycznych, 2 – ściana z ustrojem izolacyjnym z wełny mineralnej grubości 50 mm i płyty gipsowo-kartonowej 12,5 mm na szkieletie z kształtowników zimnogiętych.



## BETON A KOMFORT AKUSTYCZNY



## Betonowe ściany

ze względu na wysoką gęstość – skutecznie chronią przed dźwiękami dochodzącymi z zewnątrz



Do poprawy izolacyjności akustycznej ścian nie należy natomiast stosować układów warstwowych ze styropianem, gdyż powodują one zamiast podwyższenia, obniżenie izolacyjności całej ściany. Podobnie niekorzystne efekty akustyczne uzyskuje się w przypadku naklejenia płyt gipsowo-kartonowych na plackach.

W elementach stropowych, podobnie jak w przypadku ścian, występują problemy związane z niewłaściwym wykonawstwem (np. nieszczelności w złączach, brak dylatacji przyściennych pływających podłóg). Te negatywne efekty mogą być zminimalizowane przez wymianę podłóg i ich nawierzchni na nowe, właściwie wykonane układy podłogowe, o lepszych właściwościach akustycznych (w przypadku tłumienia dźwięków uderzeniowych, dotyczy to przede wszystkim przeciwdrganiowej warstwy izolacyjnej w pływających podłogach). Izolacyjność akustyczną stropów można dodatkowo zwiększyć o ok. 2÷3 dB dzięki ograniczeniu bocznego przenoszenia dźwięku przez ściany działowe. Uzyskuje się to poprzez wymianę istniejących ścian działowych na np. ściany działowe z płyt gipsowo-kartonowych na kształtownikach zimnogiętych lub na ściany gipsowe, mocowane elastycznie za pośrednictwem przekładek przeciwdrganiowych.

Stosowanie podwieszonych sufitów dźwiękoizolacyjnych jest zazwyczaj niemożliwe ze względu na zbyt małą wysokość pomieszczeń oraz osadzenie okien bezpośrednio pod powierzchnią sufitową. Należy również podkreślić, że podwieszony sufit zwiększa izolacyjność stropu od dźwięków powietrznych, natomiast jego skuteczność w zakresie tłumienia dźwięków uderzeniowych jest stosunkowo niewielka.

Istotnym elementem, mającym wpływ na izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami w kierunku pionowym (przez stropy), jest również transmisja dźwięków przez pionowe instalacyjne (sanitarne i elektryczne). Poprawę istniejących warunków można uzyskać, stosując w szybach z przewodami wod.-kan., na poziomie stropów, odpowiednie przepony izolacyjne, a w przypadku kanałów do prowadzenia przewodów elektrycznych – wypełniając je materiałem izolującym.

### 10.5. Beton a właściwości akustyczne – podsumowanie

Właściwości akustyczne betonu, ze względu na bezpośrednią izolacyjność akustyczną, są korzystne, gdyż ze względu na dużą gęstość umożliwiają uzyskanie normowej izolacyjności akustycznej przy stosunkowo najmniejszej grubości przegrody. Ze względu na mały współczynnik tłumienia wewnętrznego w betonie, przy projektowaniu budynków należy zwrócić szczególną uwagę na stosowanie wszelkiego rodzaju zabezpieczeń przeciwdziałających powstawaniu i rozprzestrzenianiu się dźwięków materiałowych (dylatacje, amortyzacja urządzeń instalacyjnych, podkładki i przekładki przeciwdrganiove).

Źródła:

- [1] PN-EN 12354-1:2002 Akustyka budowlana – Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami.
- [2] PN-EN 12354-2:2002 Akustyka budowlana – Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów – Część 2: Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych między pomieszczeniami.
- [3] Instrukcja ITB nr 369/2002 Właściwości dźwiękoizolacyjne przegród budowlanych.
- [4] Poradnik ITB nr 406/2016 Metody obliczania izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami w budynkach wg PN-EN 12354-1:2002 i PN-EN 12354-2:2002.
- [5] PN-EN ISO 717-1:1999 Akustyka – Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Izolacyjność od dźwięków powietrznych.
- [6] PN-EN ISO 717-2:1999 Akustyka – Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych.
- [7] PN-B-02151-3:1999 Ochrona przed hałasem w budynkach – Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach i izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania.
- [8] Szudrowicz B. Właściwości akustyczne konstrukcji z betonu. Materiały Konferencji DNI BETONU, Szczyrk 8-10 października 2002 r. str. 375-388.
- [9] Szudrowicz B. Właściwości akustyczne przegród z betonu w budynkach. Materiały Konferencji DNI BETONU, Wisła 9-11 października 2006 r. str. 287-299.
- [10] Temat badawczy ITB nr NA-47/2004/2004 Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach na podstawie badań (dostępny w bibliotece ITB).
- [11] Instrukcja ITB nr 394/2010 Zasady doboru podłóg z uwagi na izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropów maszynowych. Wyd. ITB Seria: instrukcje, wytyczne, poradniki. Warszawa 2010



# 11. JAKOŚĆ POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

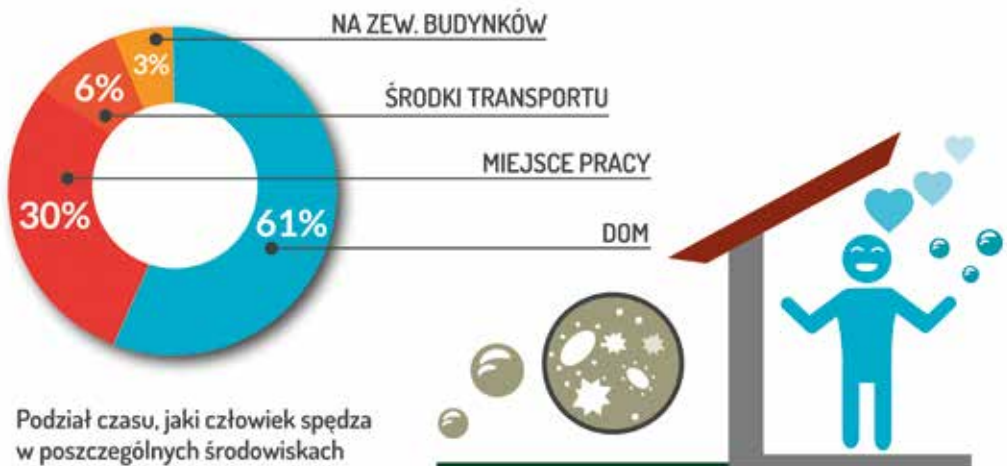
Ostatnio wśród bardziej świadomych uczestników rynku budowlanego panuje przekonanie, że charakterystyka energetyczna bez części dotyczącej środowiska wewnętrznego budynku nie ma sensu. Znaczna liczba budynków energooszczędnych, wg różnych źródeł 30-70%, boryka się z problemami jakości powietrza. Liczba ekspertyz realizowanych przez ITB dotycząca „nieprzyjemnych zapachów” w nowym budownictwie w ostatnich latach wzrasta. Owszem, na rynku metody komercyjnej oceny środowiskowej budynków zyskują popularność, niemniej liczna budynków w Polsce realizowana zgodnie z tymi systemami, biorąc pod uwagę komfort użytkowania budynków, jest niewielka – jest to zaledwie kilkaset budynków i to nie mieszkalnych, tylko biurowych. Dla budownictwa mieszkaniowego praktycznie nie istnieje pojęcie odbioru czy oceny budynku w kontekście jakości powietrza. Jedyną rzeczą braną pod uwagę, i to mocno teoretycznie, jest ilość powietrza na potrzeby wentylacji. Jest to



## BETON A JAKOŚĆ POWIETRZA

### Beton, jako materiał stanowiący kompozycję składników naturalnych,

jest klasyfikowany w kategorii substancji o pomijalnie niskiej emisji VOC. (lotnych związków organicznych) Beton nie stanowi warunków uprzywilejowanych dla rozwoju drobnoustrojów, nie kumuluje alergenów oraz nie podtrzymuje pleśni



istotny problem dla całej branży w kontekście społecznym wymagający rozwiązania. Zgodnie z trzecim wymaganiem podstawowym Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 35/2011 dotyczącym higieny, zdrowia i środowiska, obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby podczas ich budowy, użytkowania i rozbiórki nie stanowiły w ciągu całego cyklu swojego życia zagrożenia dla higieny lub zdrowia i bezpieczeństwa pracowników, osób je zajmujących lub sąsiadów.

### **Jakość środowiska wewnętrznego i wpływ na samopoczucie i komfort mieszkańców użytkowników budynku**

Jakość powietrza wewnętrznego (z ang. IAQ Indoor Air Quality) definiuje się jako jakość powietrza wewnątrz i wokół budynku, w kontekście oddziaływania na zdrowie i komfort życia jego mieszkańców [1]. Powietrze wewnętrzne stanowi mikroklimat, odmienny w składzie od powietrza atmosferycznego (powietrza zewnętrznego). Jest on systemem dynamicznym, podlegającym zmianom zarówno jakościowym jak i ilościowym, nawet w bardzo krótkim czasie [2]. Czyste powietrze jest jednym z kluczowych komponentów zrównoważonego rozwoju, niezbędnym dla prawidłowego funkcjonowania ludzi oraz pracy urządzeń. W przypadku budynków użytku publicznego, powierzchni biurowych i szpitali, zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia z uwagi na zwiększoną lokalnie emisję aerozoli, w tym także mikroorganizmów, spowodowaną wyższym stopniem zagęszczenia ludzi.

Wprowadzanie świeżego powietrza do danego pomieszczenia musi prowadzić do utrzymania jakości powietrza oraz klasy czystości powietrza. Żaden z elementów konstrukcyjnych pomieszczenia, jego wyroby, nie powinien wpływać negatywnie na zachowanie jakości powietrza w pomieszczeniu. Wiele czynników może prowadzić do obniżenia jakości powietrza wewnętrznego, należą do nich między innymi słaba wentylacja, emisje lotnych związków organicznych (VOC) z materiałów budowlanych i wyposażenia wnętrz, dezynfektanty oraz patogeny (bakterie, wirusy, grzyby mikroskopijne bądź też fragmenty organizmów żywych), których siedliskami są najczęściej instalacje wentylacyjno-kanalizacyjne, z uwagi na optymalne warunki środowiskowe dla ich rozwoju. Często spotykanym problemem są także nieprawidłowości w funkcjonowaniu centralnych układów wentylacyjnych HVAC (z ang. Heating Ventilation Air Conditioning), wynikające z błędów konstrukcyjnych bądź niewłaściwej eksploatacji. W konsekwencji może dochodzić do reemisji zanieczyszczeń, w tym także patogenów z powierzchni elementów instalacji do powietrza. Przeprowadzone badania wskazują, że osoby przebywające w pomieszczeniach wyposażonych w HVAC statystycznie częściej skarżą się na dyskomfort i symptomy chorobowe niż osoby przebywające w pomieszczeniach z wentylacją naturalną. Brak odpowiedniej wentylacji wpływa na podwyższenie poziomu zanieczyszczenia powietrza w budynkach wskutek braku przepływu powietrza umożliwiającego obniżenie poziomu emisji poprzez rozcieńczenie. Ponadto, wysoka temperatura i wilgotność sprzyjają rozwojowi drobnoustrojów.

Przebywanie w budynkach o niskiej jakości powietrza może powodować natychmiastowe objawy zdrowotne, a wśród nich między innymi suchość błon śluzowych

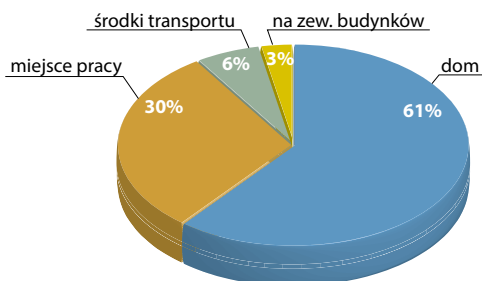
*Rys. 11.1. Przykłady wykorzystania betonu jako materiału wykończeniowego i dekoracyjnego [4]*



Material	Stężenie VOC, mg/m <sup>3</sup>	Szybkość emisji VOC, mg/m <sup>2</sup> h
Beton	0,018	0,003
Farba akrylowa, lateksowa	2,00	0,43
Lakier epoksydowy	5,45	1,3
Dywan filcowy	1,95	0,080
Deska gipsowa	N/A	0,026
Linoleum	5,19	0,22
Płyta wiórowa	N/A	2,0
Silikon	77,9	26,0
Panele wykonane ze sklejki	N/A	1,0
Masa szpachlowa	1,38	0,34
Klej cementowy PVA	57,8	10,2
Płyta winylowa	54,8	2,3
Kauczuk silikonowy	N/A	<2,0
Klej EVA na bazie wody do ścian i podłóg	1410,0	271,0

Tabela 11.1. Wyniki badań emisji VOC z różnych wyrobów budowlanych wg. ITB

Rys. 11.2. Podział czasu, jaki człowiek spędza w poszczególnych środowiskach [2]



i skóry, wysypkę, uczucie zmęczenia umysłowego, bóle głowy, kaszel, chrypkę, zawroty głowy i podrażnienia gardła. Niemniej jednak, efekty długotrwałej lub krótkotrwałej lecz powtarzającej się ekspozycji na zanieczyszczone powietrze mogą ujawnić się nawet po upływie kilku lat, stając się przyczyną poważanych schorzeń, takich jak choroby układu oddechowego, choroby serca oraz choroby nowotworowe.

Beton, jako materiał stanowiący kompozycję składników naturalnych, jest klasyfikowany w kategorii substancji o pomijalnie niskiej emisji VOC. Nie stanowi on warunków uprzywilejowanych dla rozwoju drobnoustrojów, nie kumuluje alergenów oraz nie podtrzymuje pleśni. Te cechy w połączeniu z praktycznie nieograniczonymi możliwościami kształtowania betonu sprawiły, że w ostatnich latach stał się on modnym materiałem konstrukcyjnym, wykończeniowym i dekoracyjnym. Na rynku beton jest dostępny w postaci mas umożliwiających uzyskanie pożądanej tekstury, a także gotowych płytek i paneli.

Badania zawartości i emisji VOC w wyrobach budowlanych przeprowadzone przez ITB wskazują, że beton jest materiałem korzystnym w porównaniu do innych materiałów. Stężenie i szybkość emisji lotnych związków organicznych (VOCs) z wybranych wyrobów zestawiono w tabeli 11.1 [5].

Źródła:

- [1] <https://www.epa.gov/>
- [2] Zabiegała B. et al. Environ Pathol Toxicol Oncol, 18, 47 (1999)
- [3] World Health Organization, Indoor air pollutants: exposure and health effects. EURO Reports and Studies 78, 1983, World Health Organization
- [4] <http://designyourlife.pl/design/inspiracje-beton-we-wnetrze/>
- [5] <http://www.concretethinker.com/solutions/Indoor-Air-Quality.aspx>

# 12. MOŻLIWOŚCI ADAPTACYJNE BUDYNKÓW

Europa zmierza w kierunku metropolizacji, czego konsekwencją jest stale rosnące zapotrzebowanie na przestrzenie biurowe i mieszkaniowe. Obecnie około 73% Europejczyków mieszka w obszarach miejskich, natomiast zgodnie z prognozami ONZ do 2050 roku liczba ta ma wzrosnąć do blisko 84,3%. Zachodzące procesy ekonomiczne i społeczne znajdują swoje odzwierciedlenie między innymi w zmianie krajobrazu miejskiego, przejawiającej się stale obserwowanym, gwałtownym wzrostem zabudowy wysokiej oraz znacznym rozrostem terenów miejskich. W ciągu ostatnich 9 lat liczba budynków o wysokości 300 m+ wzrosła ponadtrzykrotnie (AGCS).

Okres użytkowania budynków betonowych, czyli czas, w którym można oczekiwać, że budynek będzie spełniał swoje funkcje bez istotnego obniżenia właściwości użytkowych, zwykle jest liczony w dziesiątkach, a nawet setkach lat. Jednak wraz z postępem cywilizacyjnym pojawiają się nowe potrzeby społeczne i ekonomiczne, które narzucają konieczność modernizacji istniejących budowli, jeszcze przed zakończeniem okresu ich eksploatacji. Adaptacja budynku jest procesem polegającym na dostosowaniu już istniejącego budynku do nowych zastosowań przy zachowaniu jego historycznych cech. Najczęściej proces ten jest realizowany poprzez rozbudowę wybranych komponentów obiektu, bez ingerencji w części główne jego konstrukcji i fasadę. Takie podejście pozwala oszczędzić zasoby naturalne oraz minimalizuje ilość powstających opadów. Prowadzi także do wyeliminowania wpływu produkcji, eksploatacji i transportu nowych materiałów na środowisko. Reorganizacja istniejących obiektów budowlanych ma odległe precedensy historyczne. W starożytności trwałe i niezwykle wytrzymałe kamienne budowle imperialne były wielokrotnie przebudowywane i dostosowywane do oczekiwań kolejnych władców.

Możliwość nadawania nowych funkcji użytkowych już istniejącym obiektom budowlanym wychodzi naprzeciw pojawiającym się potrzebom ekonomicznym i społecznym [1]. Odpowiednie zagospodarowanie terenu w połączeniu z przemyślaną rozbudową starszych budynków, umożliwiła uzyskanie dodatkowej przestrzeni. Budynki

*Rys. 12.1. Wykorzystanie porożbiorkowych prefabrykatów betonowych w nowym budynku (fot. Iwan Baan)*



wpisujące się w ramy zrównoważonego budownictwa podlegają stosunkowo łatwej modyfikacji, umożliwiającej zmianę funkcji użytkowych w trakcie okresu ich eksploatacji. Do dobrych praktyk należy uwzględnianie możliwości wprowadzania późniejszych zmian w konstrukcji już w początkowej fazie jej projektowania. Koszty związane z adaptacją budynku do przyszłych zmian w fazie wznoszenia są niskie w porównaniu do kosztów zmian wprowadzanych w późniejszych fazach eksploatacji. Elastyczność budynku na zmiany może być zapewniona niskim kosztem poprzez uwzględnienie rezerwy powierzchni i obciążeń dla dodatkowych usług i zastosowań. W zakresie konstrukcji nośnych, pożądane jest pozostawienie otwartych przestrzeni, które mogą być podzielone w razie zaistnienia potrzeby. Jednym z najbardziej spektakularnych przykładów adaptacji wiekowego obiektu budowlanego do nowych potrzeb było przekształcenie londyńskiej elektrowni Bankside Power Station w galerię sztuki Tate, którą rocznie odwiedza blisko pięć milionów zwiedzających. Innym ciekawym przykładem wykorzystania prefabrykatów betonowych po rozbiórce jest budynek na rysunku 12.1.

Zachodzące zmiany klimatyczne oraz wzmożenie aktywności prowadzących do zabudowywania terenów miejskich sprawiają, że europejskie miasta coraz częściej muszą stawiać czoło klęskom żywiołowym, takim jak sztormy, powodzie, osuwanie gruntów [3]. Z tego powodu materiały budowlane współcześnie stosowane powinny zapewniać dużą stabilność i wytrzymałość konstrukcji oraz dodatkowo wykazywać odporność ogniową i właściwości hydrofobowe przy stosunkowo niskich wymaganiach związanych z konserwacją. Pomimo iż początki stosowania betonu jako materiału budowlanego sięgają III tysiąclecia p.n.e, wciąż pozostaje on podstawowym materiałem budowlanym, który ponadto doskonale spełnia wymagania stawiane nowoczesnym materiałom. 100-letnia żywotność betonu w połączeniu z niemalże nieograniczonymi możliwościami kształtowania nowych funkcjonalności oraz łatwością stosowania stwarzają szerokie spektrum jego potencjalnych zastosowań. Beton umożliwia rozbudowanie budynku przy zachowaniu zasad zrównoważonego budownictwa, jak również na jego dostosowanie do zasad zrównoważonego budownictwa, a także pozwala na dostosowywanie się do tych zasad w przyszłości. Przykładem jest zakończona w 2011 roku przebudowa paryskiego biurowca Tour First z 1974 roku. Liczący obecnie 231 metrów wysokości budynek (159 m przed przebudową) jest obecnie najwyższym obiektem we Francji, posiadającym certyfikat HQE® (z ang. High Quality of Environment).

Rys. 12.2. Widok biurowca The First w Paryżu:  
a) w trakcie przebudowy (z lewej)  
b) po zakończeniu przebudowy [4] (po prawej)



W budownictwie krajowym wyzwaniem będzie w najbliższych latach określenie możliwości ponownego użytkowania elementów betonowych z budynków z wielkiej płyty. Główne zalety betonu w kontekście adaptacji i zmiany funkcjonalności budynku:

- możliwość budowania wysokich konstrukcji
- gwarancja ponadprzeciętnej trwałości
- odporność na ogień
- niewielkie potrzeby konserwacyjne
- odporność na ciśnienie, warunki środowiskowe
- obojętność dla środowiska i zdrowie użytkowników
- odporność na korozję
- łatwość kształtowania, montażu i demontażu elementów
- niska przepuszczalność i znaczna wodoodporność

Źródła:

[1] <http://www.polskicement.pl/>

[2] <http://www.tate.org.uk>

[3] <http://www.wbcdcement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-FullReport.pdf>

[4] <http://www.altareacogedim.com>

# 13. ROZBIÓRKA, PONOWNE UŻYCIE I RECYKLING

Racjonalna gospodarka odpadami jest jednym z kluczowych elementów zrównoważonego rozwoju, bowiem niekontrolowana emisja odpadów może stanowić poważne zagrożenie, zarówno dla środowiska naturalnego jak i zdrowia człowieka. Szacuje się, że co roku w Europie powstaje około 200 mln ton odpadów budowlanych i rozbiórkowych. Ten fakt skłania przemysł budowlany do intensyfikacji działań w kierunku doskonalenia metod recyklingu i ponownego wykorzystania. Inicjatywa na rzecz Zrównoważonego Rozwoju w Branży Cementowej (CSI) postrzega recykling cementu jako element dobrej praktyki biznesowej w zrównoważonym budownictwie. Obecnie eksplorowane są dwie ścieżki prowadzące do ponownego wykorzystania betonu. Pierwsza polega na odzyskaniu materiału z odpadów rozbiórkowych, jego rozdrabnianiu i ponownym stosowaniu w postaci kruszywa. Wybrane frakcje wtórnego kruszywa betonowego mogą zostać zastosowane w produkcji nowego betonu. W 2012 roku we Francji rozpoczęto projekt badawczy Recybéton, którego celem było określenie możliwości zastosowania odpadu betonowego w procesie produkcji betonu. Otrzymane wyniki badań jednoznacznie wykazały, że istnieje możliwość pozyskania kruszywa z odpadów betonowych, dzięki czemu można ograniczyć zużycie surowców mineralnych. Przykładem konstrukcji wykonanej z recyklatu betonu jest nawierzchnia parkingu o powierzchni 2100 m<sup>2</sup> w miejscowości Chaponost koło Lyonu, do której wytworzenia wykorzystano różne rodzaje pokruszonego betonu. Jak zaobserwowano, zastosowanie pokruszonego betonu wpływa na obniżenie elastyczności materiału oraz jego większy skurcz, natomiast nie powoduje wzrostu ryzyka pęknięć [1].

Kruszony beton jest stosowany głównie do konstrukcji geotechnicznych, budowy dróg, ulic, podwojek i parkingów, ale może być też wykorzystany do zalewania wykopów po wydobyciu rur, konstrukcji środowiskowych, fundamentów budynków. Do tego typu zastosowań recyklingowany beton jest szczególnie przydatny, ponieważ przetworzone kruszywo lepiej się zagęszcza, ma większą gęstość i jest tańsze niż nowy materiał [1]. Praktyka w kraju wykazuje, że kruszywo z recyklingu może być konkurencyjne cenowo w odniesieniu do kruszyw naturalnych. Duże zyski uzyskuje się, gdy zwykle kruszywa są niedostępne (Polska północno-zachodnia) w danym miejscu i należy je dostarczać ze sporych odległości.

Rys. 13.1. Maszyna (system ślimakowy) do recyklingu betonu o wydajności do 20 m<sup>3</sup> na godzinę [2]



Inną z rozważanych możliwości recyklingu betonu jest ponowne wykorzystanie całych elementów betonowych, w ich pierwotnej formie, do budowy nowych obiektów. Takie podejście przyczynia się do wydłużenia czasu eksploatacji betonu oraz redukcji kosztów związanych ze zużyciem nowych materiałów budowlanych. Ponadto, przyczynia się do istotnego obniżenia oddziaływania utylizacji wyrobów betonowych na środowisko. Przykładem budynku skonstruowanego z recyklatu jest dom wielorodzinny Mehrow Residence znajdujący się w pobliżu Berlina, zbudowany z płyt ściennych, podłogowych i sufitowych pochodzących z rozbiórki jedenastopiętrowego bloku. W tym przypadku koszty towarzyszące budowie wynikały głównie z transportu ważących pięć ton płyt i użycia przenośnego żurawia do podnoszenia płyt na miejscu budowy. Zgrubne szacunki wskazują, że dom z recyklingowanych płyt prefabrykowanych może być do trzech razy bardziej energooszczędny i około 30-40% tańszy niż konstrukcja nośna wznoszona z nowych materiałów [3].

Ponowne wykorzystanie betonu ma dwie zasadnicze zalety: (1) zmniejsza zużycie surowców naturalnych oraz obniża koszty wynikające z ich przetwarzania i transportu oraz (2) wpływa na redukcję ilości składowanych odpadów, które z powodzeniem mogą zostać odzyskane i ponownie wykorzystane w innych gałęziach przemysłu. Odzyskiwanie betonu nie wpływa na redukcję emisji gazów cieplarnianych, bowiem głównym źródłem emisji CO<sub>2</sub> w cyklu życia betonu jest proces produkcji cementu. Jak dotąd, nie jest możliwe odzyskiwanie cementu z wyrobów betonowych i jego ponowne wykorzystanie do produkcji nowego cementu.

Analizując panujące trendy, można przewidywać, że ceny kruszyw będą wzrastały wraz ze zmniejszaniem się dostępnych nieodnawialnych zasobów naturalnych oraz ze wzrostem kosztów związanych z transportem, eksploatacją i składowaniem odpadów porozbiórkowych [4, 5]. Nowe technologie umożliwią łatwiejsze wykorzystanie oraz przetwarzanie gruzu betonowego w odpowiednie kruszywo do bardziej wymagających zastosowań. Użycie betonu z recyklingu zmniejsza zapotrzebowanie na budowę nowych kopalni kruszyw oraz zmniejsza strumień odpadów, co ma wpływ na eksploatację obecnych składowisk. Ważnym krokiem w kierunku promowania dobrych praktyk zrównoważonego budownictwa, takich jak recykling betonu, jest wprowadzenie europejskiej normy EN 933-11: Test for geometrical properties of aggregates Part 11: Classification test or constituents of coarse recycled aggregates, która reguluje zakres stosowania kruszyw z recyklingu. Istnieje potrzeba nowelizacji prawa budowlanego, aby zachęcało do zwiększania zawartości materiałów z recyklingu w różnych zastosowaniach. Taka nowelizacja prawa będzie skuteczna pod warunkiem istnienia efektywnych systemów badania i certyfikacji materiałów i recyklatu. Opracowanie odpowiednich wskaźników pozwalających ocenić efektywność surowcową na podstawie całego cyklu życia umożliwi określenie najbardziej optymalnych ekologicznych i ekonomicznych zastosowań odpadów budowlanych poddawanych recyklingowi. W Polsce powstały już pierwsze zakłady prefabrykacji betonu, które wykorzystują kruszywo z recyklingu porozbiórkowego.

Rys. 13.2. Wykorzystanie kruszywa betonowego z recyklingu przy budowie drogi (Fot. ITB)





Kruszywa z recyklingu pochodzącego z rozbiórki obiektów budowlanych po odpowiednim przetworzeniu mogą być stosowane jako substytut kruszywa naturalnego w mieszankach betonowych. Wytyczne stosowania kruszyw z recyklingu w betonie zostały opisane w rekomendacji RILEM TC 121 DRG Recommendation (1994), „Specification for Concrete with Recycled Aggregates,” Materials and Structure, Vo. 27, No. 173. Analiza licznych badań betonów na bazie recyklatu wykazała ogólne prawidłowości :

- przygotowanie mieszanki betonu z recyklatem jest zbliżone do wytworzenia mieszanki zawierającej kruszywo naturalne
- bardzo ważne jest określenie ilości wody dla uzyskania właściwej urabialności
- badania potwierdzają możliwość uzyskania betonów cementowych o trwałości porównywalnej do trwałości betonu na kruszywie naturalnym
- wytrzymałość na ściskanie betonu, jest porównywalna z wytrzymałością do betonu wykonanego na kruszywie naturalnym
- nasiąkliwość betonu na kruszywie wtórnym jest większa niż betonu wykonanego na kruszywie naturalnym.

Podsumowując powyższe, można stwierdzić, że kruszywo wtórne uzyskane z rozkruszenia betonu o średniej wytrzymałości na ściskanie może stanowić wartościowy składnik nowego betonu cementowego.

Źródła:

- [1] <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/Recykling-betonu-jest-mozliwy-1089.html>
- [2] <http://www.forum-budowlane.pl/aktualnosci/urzedzenia-liebherr-do-recyklingu-betonu/>
- [3] <http://lowcarboneconomy.cembureau.eu/index.php?page=smart-building-and-infrastructure-development>
- [4] [http://www.dnibetonu.pl/papers/10/czarnecki\\_justnes\\_ab.pdf](http://www.dnibetonu.pl/papers/10/czarnecki_justnes_ab.pdf)
- [5] <http://www.wbcdcement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-Summary.pdf>

# 14. BETON A OCHRONA POŻAROWA

Ogień jest efektem sumy zjawisk towarzyszących procesowi gwałtownego utleniania łatwopalnych gazów, uwalnianych z materiału palnego, wskutek dostarczenia iskry bądź innego źródła ciepła. Beton z natury nie płonie, przez co jest klasyfikowany w grupie tak zwanych materiałów niepalnych. Autorytatywne dowody na właściwości ogniowe betonu potwierdzają normy europejskie. W oparciu o dyrektywę europejską w sprawie produktów budowlanych, norma EN 13501-1:2002: Klasyfikacja ogniowa produktów i elementów budowlanych, dzielącą materiały na siedem klas o oznaczeniach A1, A2, B, C, D, E i F, na podstawie ich reakcji na ogień, beton został odznaczony najwyższym możliwym oznaczeniem A1. Beton, cechuje się niskim tempem wzrostu temperatury w przekroju (działa jak osłona ogniowa), co oznacza, że w większości konstrukcji może być stosowany bez dodatkowego zabezpieczenia ogniochronnego. Jest odporny na działanie materiałów tłących się, które mogą osiągać bardzo wysokie temperatury, na zapłon lub ponowny zapłon, zaś płonące towary nie mogą spowodować zapalenia się betonu. Tak więc ze względu na swój niepalny charakter, beton nie emituje dymu, gazów ani oparów toksycznych podczas pożaru. W przeciwieństwie do tworzyw sztucznych i metali również nie generuje roztopionych cząstek, które mogłyby prowadzić do zapłonu. Beton w żaden sposób nie może przyczynić się do wybuchu i rozprzestrzeniania się ognia, ani zwiększać obciążenia ogniowego budynku. Ponadto, jego składniki mineralne są efektywnie niepalne, co oznacza, że nie ulegają zapaleniu w temperaturach zwykle występujących podczas pożaru. Należy jednak pamiętać, że wysoka temperatura może niekorzystanie oddziaływać na właściwości konstrukcyjne betonu, co wynika głównie z obecności w strukturze betonu kruszywa tradycyjnego, które  $> 500^{\circ}\text{C}$  zwiększa swoją objętość. Z tego powodu do produkcji betonów ognio- i żaroodpornych stosuje się kruszywa charakteryzujące się niższym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej, takie jak kruszywa bazaltowe i pumeksowe, bądź wprowadza cząstki ceramiczne wpływające na podwyższenie wytrzymałości betonu w podwyższonych temperaturach. W tabeli 1 porównano właściwości ogniowe wybranych grup materiałów, powszechnie stosowanych w budownictwie.

Materiał	Wytrzymałość ogniowa	Palność	Udział w obciążeniu ogniowym	Szybkość wzrostu temperatury w przekroju	Samoistna ochrona przeciwpożarowa	Możliwość naprawy po pożarze	Ochrona osób
Drewno	niska	wysoka	duży	bardzo mała	bardzo mała	brak	mała
Stal	bardzo niska	zerowa	brak	bardzo duża	mała	mała	mała
Beton	wysoka	zerowa	brak	mała	duża	duża	duża



Rys. 14. 1. Widok tunelu bazowego Świętego Gotarda w Alpach Szwajcarskich, liczącego 57 km długości, będącego najdłuższym tunelem na świecie (zdjęcie: Bilfinger Berger Budownictwo SA)

Większość właściwości ogniochronnych betonu ma charakter stały, niezależnie od tego, czy konstrukcja jest wykonana z betonu zwykłego czy lekkiego, albo czy są to bloczki betonowe czy beton komórkowy. Masa betonu wykazuje dużą zdolność magazynowania ciepła, zaś porowata struktura zapewnia małą szybkość wzrostu temperatury w przekroju. Właściwości te powodują wolne tempo wzrostu temperatury, co umożliwia wykorzystanie betonu jako skutecznej przegrody ogniowej. Warto również wspomnieć, że nawet po dłuższym czasie, wewnętrzna temperatura betonu pozostaje stosunkowo niska, co pozwala na zachowanie odpowiedniej nośności i właściwości przegrody ogniowej w zastosowaniach jako elementu oddzielającego. Z tego powodu beton jest powszechnie stosowany do budowy tuneli (rys. 14.1) oraz jako komponent zapewniający stabilną barierę przeciwpożarową w dużych budynkach przemysłowych i wielopiętrowych. Dzieląc te duże budynki na strefy pożarowe, zmniejsza się ryzyko całkowitego zajęcia obiektu przez ogień – stropy i ściany z betonu zmniejszają obszar pożaru poziomo (poprzez ściany) i pionowo (przez stropy).

Fakt, iż konstrukcje betonowe zachowują nośność w warunkach pożaru, jest szczególnie ważny dla bezpiecznej ewakuacji osób przebywających w budynku i dla czynności gaśniczych. Betonowe klatki schodowe, podłogi, stropy i ściany zapobiegają rozprzestrzenianiu się ognia i działają jak solidne przegrody, zapewniając tym samym bezpieczną drogę ucieczki i dostęp dla zespołów ratowniczych. Betonowe drogi ewakuacji charakteryzują się solidnością i szczelnością niespotykaną w przypadku innych materiałów budowlanych, niezależnie od zastosowań w budynku mieszkalnym lub za-

Rys. 14.2. Niepalny bloczek betonowy (fot. theconstructor.org)



łoczonych miejscach, jak centra handlowe, teatry i biurowce. Zastosowanie betonu oznacza również brak dodatkowego zagrożenia dla strażaków. Elementy nośne i działowe budynku wykonane z betonu zapewniają ochronę dla strażaków nawet wewnątrz płonącego budynku. Jedynie w tych warunkach można przeprowadzać takie działania przy zmniejszonym ryzyku. Należy również podkreślić, że większość konstrukcji betonowych nie ulega zniszczeniu podczas pożaru, dzięki czemu istnieje możliwość stosunkowo łatwej naprawy, minimalizując tym samym wszelkie niedogodności i koszty. Skromne obciążenia podłóża i względnie niskie temperatury występujące w większości pożarów budynków oznaczają, że nośność betonu utrzymuje się zarówno podczas, jak i po pożarze. Z tych powodów często jedynym wymaganym działaniem jest wyczyszczenie powierzchni. Prędkość napraw i rehabilitacji materiałów stanowi ważny czynnik minimalizacji strat firmy po poważnym pożarze, co jest zdecydowanie korzystniejsze niż wyburzenie i ponowna budowa obiektu.



## BETON A OCHRONA PRZECIWOPOŻAROWA



### Beton w budynkach zapewnia wysoki poziom ochrony i bezpieczeństwa przeciwpożarowego:

<ul style="list-style-type: none"> <li style="margin-bottom: 10px;">  Woda wykorzystywana do gaszenia pożaru nie niszczy betonu         </li> <li style="margin-bottom: 10px;">  Sam w sobie stanowi ochronę przeciwpożarową, bez konieczności stosowania dodatkowych warstw/zabezpieczeń         </li> <li style="margin-bottom: 10px;">  Konstrukcja betonowa po pożarze nie wymaga kosztownych napraw         </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li style="margin-bottom: 10px;">  Jest materiałem niepalnym i nie zwiększa obciążenia ogniowego         </li> <li style="margin-bottom: 10px;">  Nie wytwarza żadnego dymu ani gazów         </li> <li style="margin-bottom: 10px;">  Stanowi skuteczną tarczę ogniową         </li> <li style="margin-bottom: 10px;">  Cechuje się wysoką odpornością ogniową i powstrzymuje rozprzestrzenianie się ognia         </li> </ul>
---	--

**Betonowe konstrukcje zapewniają całościową ochronę przeciwpożarową**



Ochrona mienia



Ochrona środowiska



Ochrona osób



# SPIS TREŚCI

---

1. WSTĘP .....	4
2. PROCES WYTWARZANIA BETONU .....	10
2.1. Cement .....	10
2.2. Kruszywa .....	11
2.3. Domieszki, dodatki i włókna do betonu .....	13
2.4. Zwiększanie wytrzymałości betonu .....	14
3. BETON I JEGO PRODUKCJA .....	15
4. DEKLARACJA ŚRODOWISKOWA DLA POLSKICH CEMENTÓW .....	17
5. UWARUNKOWANIA BUDOWNICTWA MIESZKANIOWEGO W POLSCE .....	21
6. BETON JAKO MATERIAŁ KONSTRUKCYJNY W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM .....	24
6.1. Wstęp .....	24
6.2. Wymagania krajowe dotyczące przegród budowlanych .....	26
6.3. Eksploatacja betonowych konstrukcji budynków .....	27
7. BETON A EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA .....	30
7.1. Wprowadzenie .....	30
7.2. Beton a masa termiczna budynku .....	31
7.3. Beton a komfort termiczny w okresie grzewczym w mieszkaniach .....	34
8. BETON W KONTEKŚCIE DZIAŁAŃ DEWELOPERÓW NA RZECZ ENERGOOSZCZĘDNEGO BUDYNKU .....	35
9. SPOŁECZNE ASPEKTY PRODUKCJI BETONU .....	38
10. BETON A KOMFORT AKUSTYCZNY .....	40
10.1. Wstęp do akustyki betonu .....	40
10.2. Właściwości akustyczne ścian i stropów z betonu .....	41
10.3. Ocena właściwości akustycznych przegród pod kątem spełnienia wymagań normowych .....	43
10.4. Możliwości poprawy warunków akustycznych w budynkach .....	44
10.5. Beton a właściwości akustyczne – podsumowanie .....	46
11. JAKOŚĆ POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO .....	47
12. MOŻLIWOŚCI ADAPTACYJNE BUDYNKÓW .....	50
13. ROZBIÓRKA, PONOWNE UŻYCIE I RECYKLING .....	53
14. BETON A OCHRONA POŻAROWA .....	56





Stowarzyszenie Producentów Cementu  
ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków  
tel. +48 12 423 33 55  
tel./fax +48 12 423 33 45  
e-mail: [wydawnictwo@polskicement.pl](mailto:wydawnictwo@polskicement.pl)  
<http://www.polskicement.pl>