

Rola betonu w uprzemysłowieniu budownictwa mieszkaniowego w drugiej połowie XX wieku – cz. II

1. Współczesna ocena budynków wielorodzinnych realizowanych z betonu w technologii wielkopłytovej

Rozpatrując obecnie przydatność betonu do realizacji wielorodzinnego budownictwa mieszkaniowego, należy brać pod uwagę po pierwsze, czy budynki wybudowane w latach ubiegłych spełniają współczesne wymagania i po drugie, czy uprzemysłowione konstrukcje betonowe, np. w formie wielkiej płyty, mogą dzisiaj znaleźć racjonalne zastosowanie w budownictwie mieszkaniowym. Oceny przydatności do użytkowania istniejących budynków wielorodzinnych wykonywanych z prefabrykatów wielokoblockowych i wielkopłytowych można dokonać na podstawie poniższych kryteriów:

- jakie były podstawy formalne (przepisy techniczne, normy, badania) projektowania budynków i czy te podstawy są nadal aktualne
- zapewnienie bezpieczeństwa konstrukcji ze szczególnym uwzględnieniem miejsc najbardziej wrażliwych, jakimi są w konstrukcjach prefabrykowanych złącza prefabrykatów
- spełnienie wymagań podstawowych pozakonstrukcyjnych, takich jak przeciwpożarowe, cieplne, akustyczne i zdrowotne
- trwałość budynków z uwzględnieniem najczęściej występujących wad technicznych zaobserwowanych w eksploatowanych budynkach
- jakość rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych i możliwość dostosowania do wymagań współczesnych
- racjonalność stosowania uprzemysłowionych metod budownictwa betonowego we współczesnych warunkach rynkowych (skala zadania inwestycyjnego, miejsce produkcji i dostępność urządzeń produkcyjnych).

2. Projektowanie betonowej konstrukcji nośnej budynków wielkopłytowych

Początki budownictwa wielkopłytowego miały miejsce w krajach skandynawskich, a na szeroką skalę budownictwo to było stosowane m.in. we Francji. W Polsce wznoszenie budynków mieszkalnych z betonowych prefabrykatów wielkowymiarowych było nową technologią, dla której brakowało ustaleń normowych. Dlatego w projektowaniu konstrukcji wielkopłytowych jako podstawy przyjmowano:

- doświadczenia z realizacji w krajach skandynawskich, Francji i b. ZSRR
- wyniki badań konstrukcji wielkopłytowych w Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (Paryż), CNIIEP Żyliszcza (Moskwa), Technischen Hochschule (Darmstadt), Chalmers University of Technology (Göteborg), Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics (Paryż), Instytucie Techniki Budowlanej (Warszawa).

Pierwszym polskim dokumentem normalizacyjnym dotyczącym projektowania konstrukcji budynków wielkopłytowych była norma branżowa BN-74/8812-01 [1]. Norma ta nawiązywała do PN-B-03260:1956 „Konstrukcje żelbetowe. Obliczenia

statyczne i projektowanie”, uwzględniającej jeszcze globalny współczynnik bezpieczeństwa. Zastąpienie jej przez PN-B-03264:1976 „Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie”, w której przyjęto częściowe współczynniki bezpieczeństwa, spowodowało konieczność nowelizacji BN-74, która ukazała się w postaci BN-78/8812-01 „Konstrukcje budynków wielkopłytowych. Projektowanie i obliczenia statyczno-wytrzymałościowe”.

W projektowaniu budynków wielkopłytowych, gdy stosowano zupełnie nowe rozwiązanie, niesprawdzone w praktyce i nieobjęte istniejącymi wówczas instrukcjami bądź normami, korzystano z badań wytrzymałościowo-konstrukcyjnych wykonanych w ITB i zagranicznych placówkach badawczych. Badania wytrzymałościowo-konstrukcyjne, m.in. złączy poziomych i pionowych, wtórnego ustroju konstrukcyjnego budynku częściowo uszkodzonego przeprowadzano zazwyczaj w skali naturalnej.

Warto przypomnieć, że w obliczeniach statycznych elementów wielkopłytowych uwzględniano nie tylko stadium pracy elementu w gotowym budynku i pracy budynku jako całości, ale również stadium rozformowania elementu w produkcji, jego transportie oraz montażu konstrukcji.

Zasadą konstruowania budynków wielkopłytowych było zapewnienie budynkom sztywności przestrzennej za pomocą sztywnych ścian poprzecznych i podłużnych, przechodzących przez całą wysokość budynku. Ściany takie stanowiły pionowe przepony, których zadaniem było przejmowanie za pośrednictwem stropów i przekazywanie na grunt sił poziomych pochodzących od działania wiatru oraz wynikających z niepionowego ustawienia elementów ściennych, obciążonych pionowo. Stropy traktowane były w obliczeniach jako sztywne przepony poziome (przy przejmowaniu sił poziomych działają jak belki – ściany zginane w swojej płaszczyźnie), co było równoznaczne z założeniem niezmienności konturu przekroju poziomego konstrukcji budynku przy jej odkształceniach. Ściany poprzeczne i podłużne, główne elementy ustroju przestrzennego budynku, traktowano jako wsporniki utwierdzone w monolitycznej, podziemnej części budynku lub rzadziej – w gruncie. Dodatkowo ściany zewnętrzne dzięki znacznej sztywności na odkształcenia w swojej płaszczyźnie przeciwdziałają skręcaniu ustroju przestrzennego budynku przy zginaniu.

Miejscami charakterystycznymi budynków wielkopłytowych, odróżniającymi je od konstrukcji pozostałych rodzajów budynków ze ścianami nośnymi, jest obecność w tarzach stropowych i ściennych złączy między prefabrykowanymi płytami, wskazującymi miejsca, w których najczęściej mogą pojawić się rysy [2]. Szczególnie dużą rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa konstrukcji odgrywają wieńce żelbetowe, obiegające ściany konstrukcyjne w poziomie stropów oraz zbrojenie podporowe stropów, zakotwione w tych wieńcach lub przechodzące z jednego przęsła stropu na drugie. Wieńce

i zbrojenie podporowe łączą ze sobą prefabrykowane płyty w tarcze stropowe i ścienne, a także łączą te tarcze w przestrzenny ustroj budynku.

Wieńce oprócz zapewnienia spójności przestrzennej budynku mają istotną rolę w powstawaniu wtórnego ustroju nośnego nad częścią budynku uszkodzoną w wyniku wystąpienia oddziaływań wyjątkowych oraz w wyrównywaniu odkształceń w styku ścian różnie obciążonych, a także w przejmowaniu sił rozciągających wywołanych w ścianie przez nierównomierne osiadanie budynku.

Wieńce wykonywano w sposób tradycyjny, poprzez ułożenie zbrojenia jak na ścianach murowanych i łączenie go na zakład, lub jako wieńce ukryte przez połączenie prętów zbrojenia wystającego z prefabrykatów stropowych.

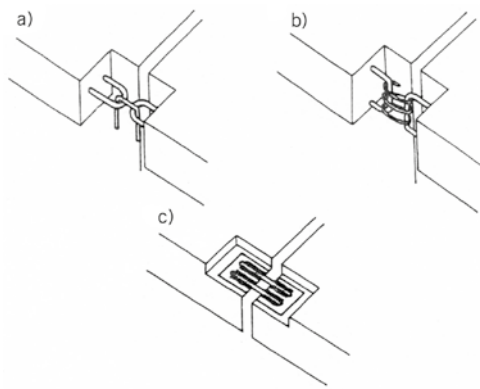
Podobnie jak wieńce żelbetowe, połączenia płyt stropowych ze ścianami konstrukcyjnymi wykonywano w sposób tradycyjny, przez zakotwienie prętów płyt stropowych w wieńcu lub przez połączenie zbrojenia tych płyt w sposób przedstawiony na rys. 1. Stropy wielokanałowe łączono za pomocą prętów zbrojenia, umieszczonych w kanałach płyt wypełnionych betonem.

Zasadą ogólną projektowania ścian prefabrykowanych było wymiarowanie ich jako konstrukcji betonowych. Ściany z pionowym zbrojeniem głównym w całym polu płyty projektowano tylko w warunkach szczególnych. [3]. W pierwszych systemach przyjmowano grubość wewnętrznych ścian nośnych równą 14 cm, a w systemach kolejnych generacji, z uwagi na zapewnienie izolacyjności akustycznej między mieszkaniami, zwiększono do 15 cm.

Prefabrykaty ścienne, mimo że w obliczeniach traktowane były jako elementy niezbrojone, wymagały określonego zbrojenia w celu zabezpieczenia przed odpadnięciem części prefabrykatu odspojonej w wyniku uderzenia, a także przeciwdziałania powstawaniu rys wywołanych przez skurcz betonu, zmiany temperatury i miejscowe koncentracje naprężeń, jak również rys powstałych przy rozformowaniu i w transporcie. Przykładowy schemat zbrojenia płyty z otworem drzwiowym pokazano na rys. 2.

Nadproża w ścianach prefabrykowanych, stanowiące część płyty ściennej osadzonej w dostatecznie szerokich pasmach bocznych, zachowują się identycznie jak nadproża monolityczne.

Najczęściej stosowanymi złączami poziomymi, z uwagi na prostotę ich wykonania, były złącza na rozłożonej zaprawie (rys. 3a). W złączach tych montaż płyt górnej kondygnacji rozpoczynał się od rozłożenia zaprawy na stropie, na której następnie ustawiano płyty górnej kondygnacji. Zasadniczą wadą tych złączy była trudność rektyfikacji usta-



Rys. 1. Połączenia prętów zbrojenia wieńców:
a) na klamry
b) na spirale
c) dodatkowymi prętami przyspawanymi do marek stalowych

wianej płyty. Zmiana ustawienia płyty powodowała pojawienie się w spoinie miejsc niewypełnionych zaprawą, co obniżało nośność złącza.

Nośność U_N złącza poziomego obliczano na podstawie prac badawczych ze wzoru:

$$U_N = \eta FR$$

w którym:

η – globalny współczynnik redukcji wyrażający zmniejszenie nośności pełnego przekroju ściany na skutek obecności złącza poziomego

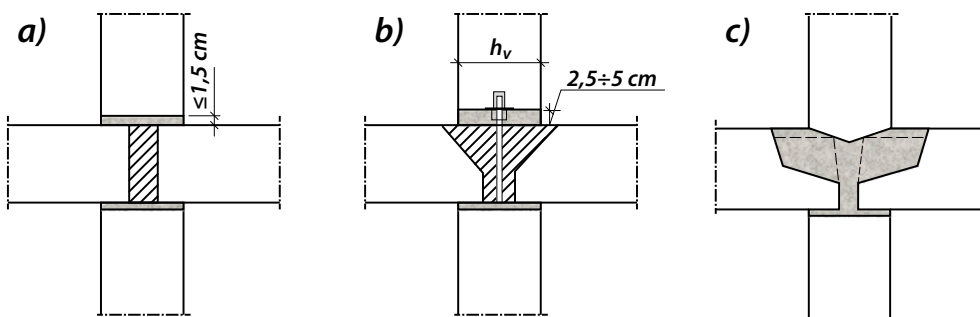
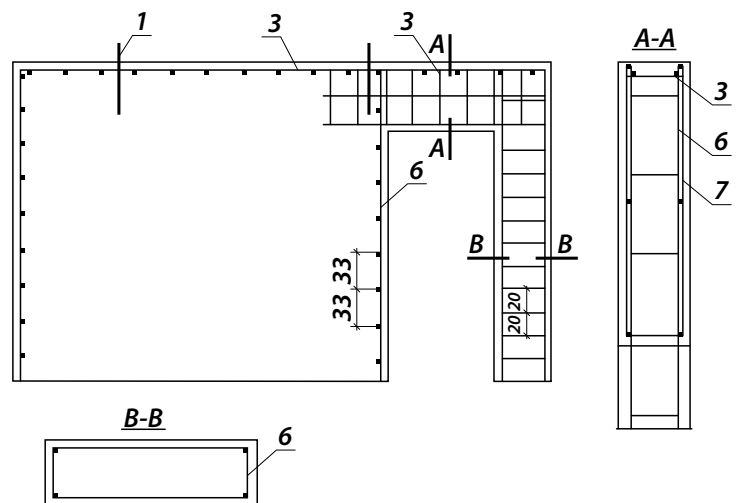
F – powierzchnia przekroju ściany

R – wytrzymałość betonu ściany.

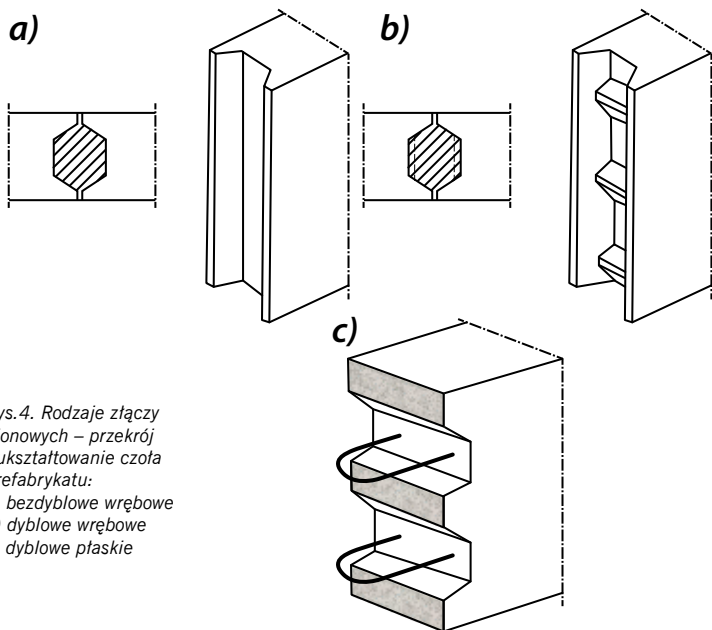
Złącza pionowe płyt ściennych w budynkach do 10 kondygnacji wykonywano jako złącza bezdyblowe płaskie lub bezdyblowe wrębowe (rys. 4a), zwane niekiedy złączami gładkimi. W takich złączach siły ścinające przekazywane są dzięki siłom przyczepności betonu wypełniającego do prefabrykatów, a po powstaniu rys – przez siły tarcia i udział zbrojenia. W przypadku wymaganej większej nośności

Rys. 2. Zbrojenie płyty ściennej z otworem drzwiowym:

- 1 – uchwyt transportowy,
- 3 – pozioma drabinka górna,
- 4 – pionowa drabinka przy krawędzi otworu,
- 6 – zbrojenie słupka w postaci szkieletu,
- 7 – zbrojenie nadproża w postaci 2 drabinek



Rys. 3. Rodzaje złączy poziomych: a) złącze na zaprawie, b) złącze podbijane, c) złącze podbetonowane



Rys. 4. Rodzaje złączy pionowych – przekrój i ukształtowanie czola prefabrykatu:
 a) bezdyblowe wrębowe
 b) dyblowe wrębowe
 c) dyblowe płaskie

złącza stosowano złącza dyblowe płaskie (rys. 4c) lub dyblowe wrębowe (rys. 4b). W celu przeciwdziałania rozpojeniu złącza na skutek pojawienia się rys skurczowych lub w wyniku oddziaływujących sił oraz zapewnienia pracy złącza po zarysowaniu stosowano w nich zbrojenie poprzeczne.

Stropy z prefabrykatów wielkowymiarowych były projektowane według ogólnych wymagań konstrukcji żelbetonowych. Podstawowe wymagania konstrukcyjne dla stropów sprowadzały się – poza nadaniem dostatecznej nośności w przęśle – do zapewnienia należytego oparcia stropu oraz połączeń prefabrykatów na podporze i w spoinach podłużnych, a także opasania tych elementów wieńcem po obwodzie tarczy i wzdłuż ścian konstrukcyjnych.

Połączenia płyt stropowych w spoinach podłużnych przeciwdziałały oddzielnemu uginaniu się płyt, tzw. klawiszowaniu, a także przejęcie naprężeń stycznych, pojawiających się w spoinach w wyniku pracy stropu jako tarczy.

W celu nadania konstrukcji odporności na lokalne uszkodzenia wywołane oddziaływaniami wyjątkowymi stropy były powiązane ze ścianami konstrukcyjnymi, nośnymi i usztywniającymi, a także ze słupami (w konstrukcjach nie tylko z prefabrykatów, ale i monolitycznych), za pomocą zbrojenia, czego wymagała norma BN-74/8812-01 [1]. Zapewnienie odpowiedniej odporności na lokalne uszkodzenia, możliwości utworzenia się wtórnego ustroju nośnego, ma w konstrukcjach prefabrykowanych znaczenie szczególne, z uwagi na większą ich wrażliwość na uszkodzenia niż konstrukcji monolitycznych [4].

W opracowaniu zasad projektowania konstrukcji betonowych wielokondygnacyjnych budynków znaczny wkład miało polskie środowisko naukowe

Tablica 1. Klasy odporności ogniowej elementów budynku

Wysokość budynku	Główna konstrukcja nośna	Strop
Średnio wysoki	R60	REI 60
Wysoki i wysokościowy	R120	REI 60

i inżynierskie przy istotnym udziale zespołu z Instytutu Techniki Budowlanej.

Pierwsza podstawowa książka o projektowaniu konstrukcji wielkopłytowych [5] została wydana w Polsce, a następnie przetłumaczona na kilka języków. Przedstawiciele ITB wnieśli duży wkład w opracowanie rekomendacji dla konstrukcji wielkopłytowych wydanych w 1969 r. przez CEB/FIP/UEAtc [4].

Z polskich doświadczeń korzystano również za granicą. Na przykład w Hiszpanii, dla potrzeb realizacji dużego osiedla o kilkuset mieszkaniach pod Madrytem, w Alcalá de Henares, projekt konstrukcyjny i technologiczny opracował zespół z ITB (B. Lewicki, S.M. Wierzbicki i S. Zieleniewski).

3. Wymagania przeciwpożarowe

Nośne konstrukcje betonowe dobrze spełniają wymagania przeciwpożarowe stawiane wielokondygnacyjnym budynkom mieszkalnym [6]. Beton charakteryzuje się korzystnymi właściwościami, m.in. przewodnością cieplną, decydującymi o nośności ogniowej elementu [7].

Budynki mieszkalne zaliczane są do kategorii zagrożenia ludzi ZL-IV. Dla tej kategorii dostosowana jest wymagana klasa odporności pożarowej „C” - dla budynków średniowysokich (ponad 4 do 9 kondygnacji nadziemnych włącznie), oraz „B” - dla budynków wysokich i wysokościowych (ponad 9 kondygnacji nadziemnych i powyżej 55 m nad poziomem terenu).

Podstawowe elementy betonowej konstrukcji nośnej powinny charakteryzować się odpowiednimi dla nich parametrami: R – nośnością ogniową, E- szczelnością ogniową, oraz I – izolacyjnością ogniową, określonymi w minutach. Dla wielokondygnacyjnych budynków mieszkalnych wymagania w zakresie odporności ogniowej głównych elementów budynków podano w tablicy 1.

Powszechnie stosowane w polskim budownictwie wielkopłytowym prefabrykaty ścian nośnych o grubości nie mniejszej niż 14 cm oraz stropów wielokanałowych o grubości co najmniej 22 cm spełniały (potwierdzone obliczeniami i badaniami laboratoryjnymi) przedstawione powyżej wymagania.

4. Ochrona przed hałasem

Główne elementy betonowej konstrukcji nośnej (stropy i ściany wewnętrzne międzymieszkaniowe) budynku mieszkalnego powinny mieć izolacyjność akustyczną nie mniejszą od podanej w Polskiej Normie PN-B-02151-02 [8]. Beton z punktu widzenia ochrony akustycznej przed dźwiękami powietrznymi, z uwagi na masę właściwą, jest materiałem korzystnym.

W przypadku ścian nośnych międzymieszkaniowych, w pierwszym okresie budownictwa wielkopłytowego stosowano prefabrykaty o grubości 14 cm, a następnie w wyniku badań Instytutu Techniki Budowlanej ściany pogrubiono do 15 cm dla uzyskania pełnej, wymaganej normą izolacyjności akustycznej.

W systemach wielkopłytowych stosowano stropy pełne o grubości 14 cm, a w późniejszym okresie 16 cm oraz stropy wielokanałowe o grubości 24 cm (tzw. cegła żerańska) i 22 cm (system W-70

i Wk-70). Z uwagi na wymaganą izolacyjność akustyczną na dźwięki uderzeniowe na prefabrykacjach betonowych układano odpowiednio dobrane warstwy tłumiące. Izolacyjność akustyczna stosowanych rozwiązań była weryfikowana badaniami wykonanymi w Instytucie Techniki Budowlanej.

5. Rozwiązania funkcjonalno-przestrzenne

Negatywnie oceniane rozwiązania funkcjonalno-przestrzenne (a szczególnie mała powierzchnia mieszkań i pomieszczeń oraz ciemne kuchnie) w wielorodzinnym budownictwie mieszkaniowym zrealizowanym w latach 60-80 w konstrukcjach betonowych o układach ścianowych (wielka płyta, wielki blok, monolit) niesłusznie są utożsamiane ze stosowaną technologią wykonawstwa.

Od roku 1959 obowiązywał w Polsce normatywny techniczny projektowania mieszkań, określający maksymalne powierzchnie różnych kategorii mieszkań w zależności od liczby osób, dla jakiej projektowane było mieszkanie. Według tego normatywu maksymalna powierzchnia mieszkań mogła wynosić od 20 m² dla mieszkań dla jednej osoby, do 71 m² dla mieszkań dla siedmiu osób. Tak małe powierzchnie nie pozwalały na zaprojektowanie dobrych mieszkań. Wprowadzane do stosowania w latach 60. systemy wielkopłytkowe, tzw. zamknięte, operowały typowymi mieszkaniami i systemami dostosowanymi do tego normatywu, a przy ograniczonych możliwościach technicznych tak zaprojektowanych systemów nie dawały możliwości prawidłowego kształtowania funkcji mieszkań i budynków. Możliwości poprawy rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych pojawiły się dopiero od początku 1974 roku, gdy wprowadzono normatywny mieszkaniowy dopuszczający większe powierzchnie mieszkań (tabl. 2).

Równocześnie z wprowadzeniem nowego normatywu zostały opracowane centralnie nowe systemy wielkopłytkowe, tzw. otwarte, w których nie przewidziano typowych mieszkań i segmentów. W systemach tych zastosowano typoszereg prefabrykatów o wymiarach odpowiadających wielokrotności przyjętego modułu wymiarowego i typowe złącza prefabrykatów. Taki system prefabrykacji pozwalał na projektowanie mieszkań i budynków zgodnie ze współczesnymi potrzebami.

6. Podsumowanie

Zasadność stosowania konstrukcji betonowych w budownictwie wielorodzinnym, w tym technologii wielkopłytkowej, została potwierdzona w drugiej połowie XX wieku, w wielu krajach europejskich, realizacją dużych zespołów budynków mieszkalnych. Zastosowanie konstrukcji betonowych w budownictwie mieszkaniowym na tak wielką skalę nie byłoby możliwe bez dynamicznego wzrostu produkcji podstawowego składnika betonu, jakim jest cement. W Polsce produkcja cementu w latach 1950-2000 wzrosła sześciokrotnie.

Konstrukcje betonowe w zastosowaniu do wielorodzinnego budownictwa mieszkaniowego sprawdzają się w kilku aspektach:

- zapewniają bezpieczeństwo konstrukcji nośnej i jej trwałość
- charakteryzują się dobrą odpornością ogniową wymaganą dla ścian i stropów

Tablica 2. Porównanie Normatywów Technicznych Projektowania z 1959 r. i 1974 r.

Kategoria mieszkań	Liczba osób w mieszkaniu	Powierzchnia użytkowa mieszkania, m ²	
		1959	1974
M-1	1	17-20	25-28
M-2	2	24-30	30-35
M-3	3	33-38	44-48
M-4	4	42-48	56-61
M-5	5	51-57	65-70
M-6	6-7	59-65	75-85
M-7		67-71	Nie normowano

- pozwalają na uzyskanie wymaganej izolacyjności akustycznej ścian i stropów mieszkaniowych bez potrzeby, w przypadku ścian, stosowania dodatkowych warstw izolacyjnych.

Obecnie nie realizuje się wielkich zespołów budynków mieszkalnych, wielorodzinne budownictwo ma charakter rozproszony. Nasuwa się więc pytanie, czy w tej sytuacji zasadnym jest stosowanie technologii wielkopłytkowej. Praktyka pokazuje, że również przy innych uwarunkowaniach niż w przeszłości, szczególnie skali realizacji, technologia ta jest nadal stosowana.

W konkursie „Polityki” na najlepsze budynki wykonane w Polsce w 2017 r. wśród pięciu wyróżnionych budynków znalazł się blok mieszkalny zbudowany w Warszawie przy ulicy Sprzecznej, wykonany w technologii wielkopłytkowej. Inwestorem i głównym wykonawcą budynku była firma Budizol z Włocławka dysponująca własnym zakładem wytwarzającym prefabrykaty betonowe. Potwierdza to pogląd, że betonowe konstrukcje wielkopłytkowe mogą być również stosowane we współczesnym budownictwie mieszkaniowym.

doc. dr inż. Stanisław M. Wierzbicki
mgr inż. Jan Sieczkowski

Bibliografia

- 1 BN-74/8812-01 Konstrukcje budynków wielkopłytkowych. Projektowanie i obliczenia statyczno-wytrzymałościowe
- 2 Wierzbicki S. M., Sieczkowski J.: Bezpieczeństwo konstrukcji budynków wielkopłytkowych. *Inżynieria i Budownictwo* nr 9/2013 (str. 473 – 478)
- 3 Systemy budownictwa mieszkaniowego i ogólnego W-70, Szczecin, SBO, SBM-75, WUF-T, OWT-67, WWP. Arkady, Warszawa 1974
- 4 *Recommendations Internationales pour les Structures en Panneaux – CEB/FIP/UEAtc- Roma Ital. Del Cemento*, Roma 1969
- 5 Lewicki B.: *Budynki z elementów wielkowymiarowych*. Arkady, Warszawa 1961
- 6 *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (tj. Dz. U. z 2015 r., poz. 1422, z późniejszymi zmianami)
- 7 Woźniak G., Turkowski P.: *Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2. Seria Projektowanie według Eurokodów*. ITB, Warszawa 2013
- 8 PN-B-02151-02 *Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach*