

Projekt wybranych elementów konstrukcji budynku mieszkalnego ze stropami przewieszonymi z analizą zastosowania lekkiego betonu kruszywowego jako alternatywy betonu zwykłego

mgr inż. Damian Nojek, dr inż. Michał Gołdyn – promotor, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Łódzka

1. Wprowadzenie

Przedmiotem pracy magisterskiej był projekt wybranych elementów konstrukcji budynku mieszkalnego ze stropami przewieszonymi. Szczegółowa analiza dotyczyła zastosowania lekkiego betonu kruszywowego jako alternatywy betonu zwykłego.

Inspiracją do podjęcia tego tematu był budynek mieszkalny (już istniejący) zlokalizowany w Argentynie. Obiekt, pokazany na rysunku 1, charakteryzuje się oryginalną i rzadko spotykaną w Polsce formą. Niewątpliwie najciekawszymi elementami konstrukcji są stropy poszczególnych kondygnacji, które są wysunięte poza obrys fasady i dodatkowo przesunięte względem siebie. Strop pierwszej kondygnacji pełni funkcję płyty transferowej, a zatem elementu, za pośrednictwem którego obciążenia z wyższych kondygnacji przekazywane są na podpory. Strop ten podparty jest na ścianach, których położenie nie pokrywa się z lokalizacją



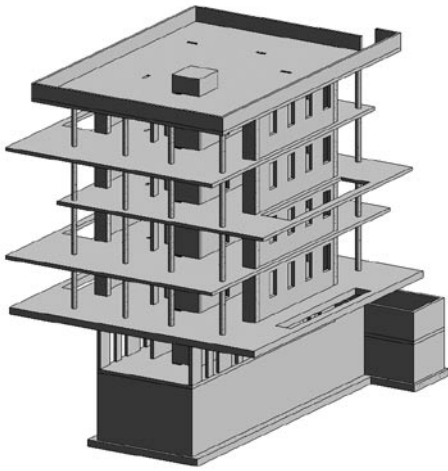
Rys. 1. Budynek mieszkalny w Buenos Aires (Argentyna); źródło: www.archdaily.com

opartych na nim ścian i słupów stanowiących podpory stropów wyższych pięter.

Budynek zaprojektowano w konstrukcji żelbetowej i składa się z sześciu kondygnacji: jednej podziemnej i pięciu nadziemnych. W piwnicy oraz na parterze stropy oparte są na ścianach żelbetowych, natomiast na piętrach jest to konstrukcja płytowo-słupowa, ze ścianami – tarczami jako dodatkowymi podporami liniowymi. Sztynność przestrzenną budynku zapewnia przede wszystkim wewnętrzny trzon usztywniający (klatka schodowa i szyby windowy) zlokalizowany w jego centralnej części. Budynek posadowiony jest na płycie fundamentowej oraz ławach fundamentowych. Dodatkowo strop pierwszej kondygnacji połączony jest liniowo na dwóch krawędziach ze ścianami szczelinowymi o grubości 30 cm, które pełnią jednocześnie funkcję ścian oporowych zabezpieczających wykop.

Konstrukcję projektowanego budynku odwzorowano w przestrzeni trójwymiarowej za pomocą programu komputerowego Autodesk Revit 2021 (rys. 2). Model ten został wykorzystany do przygotowania rysunków architektoniczno-konstrukcyjnych. W ramach pracy wykonano łącznie 7 rysunków architektonicznych i 15 rysunków konstrukcyjnych.

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe przeprowadzono zgodnie z normami Eurokod, posługując się również oprogramowaniem Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021 i JORDAHL® EXPERT Przebiecie. Drugi z programów został wykorzystany do wyznaczenia naprężeń styčných, ponieważ przyjęty w nim algorytm zgodny z zasadami Europejskich Aprobatach Technicznych (ETA) [5] nie pozwala na wymiarowanie zbrojenia na przebiecie w płytach z lekkich betonów kruszywowych.



Rys. 2. Widok modelu 3D projektowanego budynku

2. Porównanie betonu zwykłego i lekkiego betonu kruszywowego

Główny cel pracy stanowiła analiza porównawcza wyników uzyskanych dla płyt stropowych zaprojektowanych z dwóch rodzajów betonu: betonu zwykłego oraz lekkiego betonu kruszywowego. Warto zatem wyjaśnić, czym te betony się różnią.

Zgodnie z PN-EN 1992-1-1 [1] za lekkie betony kruszywowe uważa się materiały o zwartej strukturze i gęstości nie większej niż 2200 kg/m^3 , których jeden ze składników stanowi naturalne lub sztuczne kruszywo mineralne składające się z ziaren o gęstości wahającej się od 800 kg/m^3 do 2000 kg/m^3 . To właśnie gęstość ziaren kruszyw lekkich jest jednym z podstawowych parametrów, traktowanym jako wyznacznik ich przydatności do betonów

konstrukcyjnych. We wspomnianej normie wyróżniono sześć klas gęstości lekkich betonów kruszywowych (tabela 1). W zależności od tych klas ciężar objętościowy zbrojonego betonu lekkiego zmienia się od $11,5 \text{ kN/m}^3$ do $21,5 \text{ kN/m}^3$, gdzie ciężar objętościowy zbrojonego betonu zwykłego wynosi 25 kN/m^3 . Pierwszą istotną różnicę stanowi zatem ciężar własny materiału. Oznacza to, że wszędzie, gdzie kluczową rolę odgrywa ciężar własny konstrukcji, lekkie betony kruszywowe mogą stanowić racjonalną alternatywę betonów zwykłych. Warto jednak wspomnieć, że w praktyce, jako konstrukcyjne, stosowane są betony lekkie o klasie gęstości od 1,6 do 2,0. Można zatem oczekiwać ograniczenia ciężaru własnego od 14 do 30%.

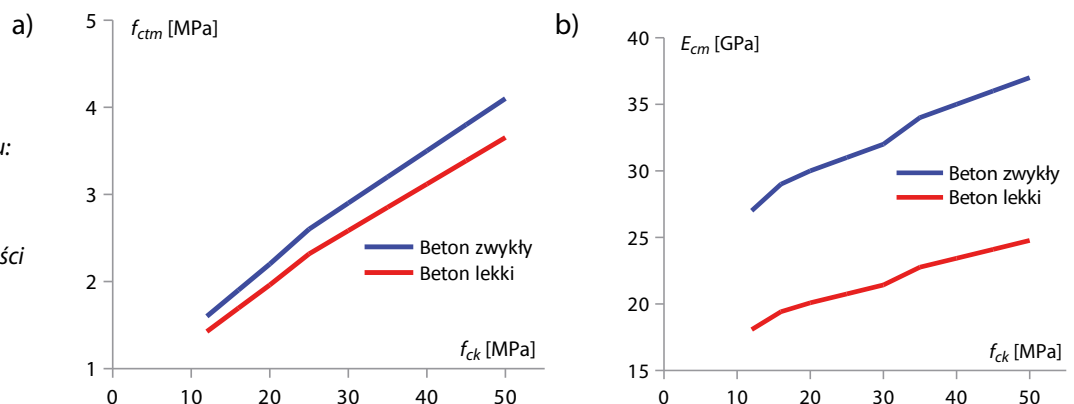
W projektowaniu konstrukcji z lekkich betonów kruszywowych można stosować zasady dotyczące betonów zwykłych, uwzględniając jednak pewne modyfikacje wskazane w rozdziale 11 normy PN-EN 1992-1-1 [1]. Pod względem wytrzymałości na ściskanie, która stanowi jedną z najistotniejszych cech z punktu widzenia projektowania konstrukcji, obecnie można uzyskiwać betony lekkie o wytrzymałości dorównującej wytrzymałości betonów zwykłych. Natomiast wyraźne różnice można zaobserwować w przypadku wytrzymałości na rozciąganie (szacowana poprzez zastosowanie współczynnika redukcyjnego η_t , zależnego od gęstości) oraz modułu sprężystości podłużnej (szacowany poprzez zastosowanie współczynnika redukcyjnego η_E zależnego od gęstości). Porównania wybranych cech mechanicznych betonu zwykłego i lekkiego betonu kruszywowego klasy gęstości 1,8 dokonano na rysunku 3. Przy tej samej wytrzymałości na ściskanie wytrzymałość

Tabela 1. Klasy gęstości i odpowiadające im właściwości lekkiego betonu kruszywowego

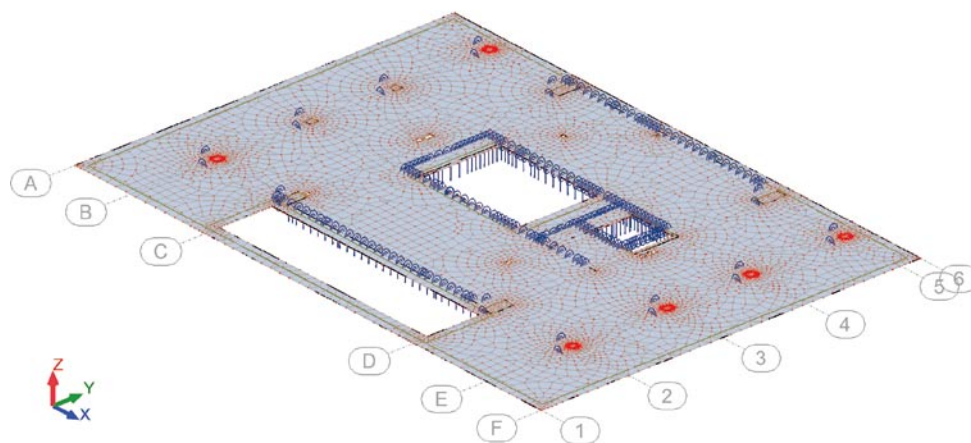
Klasa gęstości		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Gęstość (kg/m^3)		801–1000	1001–1200	1201–1400	1401–1600	1601–1800	1801–2000
Gęstość (kg/m^3)	Beton niezbrojony	1050	1250	1450	1650	1850	2050
	Beton zbrojony	1150	1350	1550	1750	1950	2150

Rys. 3. Właściwości betonu:

- a) wytrzymałość na rozciąganie,
b) sieczny moduł sprężystości podłużnej



Rys. 4. Model obliczeniowy
– widok aksonometryczny



na rozciąganie jest mniejsza o około 11%, a moduł sprężystości podłużnej o około 33%. Widać zatem, że zastosowanie lekkiego betonu kruszywowego niesie za sobą nie tylko korzyści w postaci redukcji ciężaru własnego, ale także pewne zagrożenia. Mniejsza wytrzymałość na rozciąganie generuje większe problemy, m.in. z przebiciem czy zarysowaniem, natomiast mniejszy moduł sprężystości podłużnej może skutkować zwiększonym ugięciem mimo mniejszego ciężaru własnego konstrukcji.

Poza tym należy pamiętać, że w przypadku elementów konstrukcyjnych z lekkich betonów kruszywowych konieczne jest zwiększenie minimalnego otulenia betonem z uwagi na przyczepność zbrojenia, zwiększenie o 50% średnicy zagięć prętów, a także zwiększenie długości zakładów.

3. Analiza konstrukcji

Przedmiotem szczegółowych rozważań były dwie płyty stropowe: strop II kondygnacji (strop powtarzalny) oraz strop I kondygnacji (płyta transferowa). Oba stropy w wariantach pierwszym zostały zaprojektowane z betonu zwykłego klasy C30/37, natomiast w wariantach drugim z lekkiego betonu kruszywowego klasy LC30/33 (klasa gęstości 1,8).

3.1. Strop II kondygnacji

Model obliczeniowy

Strop II kondygnacji o grubości 20 cm odwzorowano w przestrzeni dwuwymiarowej w postaci panelu o zadanych parametrach geometrycznych i materiałowych. Strop ten opiera się na żelbetowych słupach i ścianach, które zdefiniowano jako węzłowe i liniowe podpory sprężyste. Cechy podpór zostały wyznaczone na podstawie ich kształtu i materiału, z jakiego zostały wykonane. W celu uwzględnienia prawidłowej współpracy płyty z słupami wprowadzono lokalne pogrubienia płyty w sąsiedztwie słupów (dodatkowe panele o kształtach odpowiadających przekrojom słupów i grubości 3-krotnie większej od grubości głównego panelu tj. 60 cm – zgodnie z zaleceniami podanymi w [7]). W modelu obliczeniowym zastosowano siatkowanie złożone

(Delaunay+Kang) o czworokątnych 4-węzłowych elementach skończonych. Podstawowy rozmiar pojedynczego elementu skończonego wynosił 30 cm. W charakterystycznych miejscach, takich jak narożniki płyty i otworów, czy w sąsiedztwie słupów, wprowadzono zagęszczenie siatki w postaci emiterów. Przyjęty model obliczeniowy pokazano na rysunku 4.

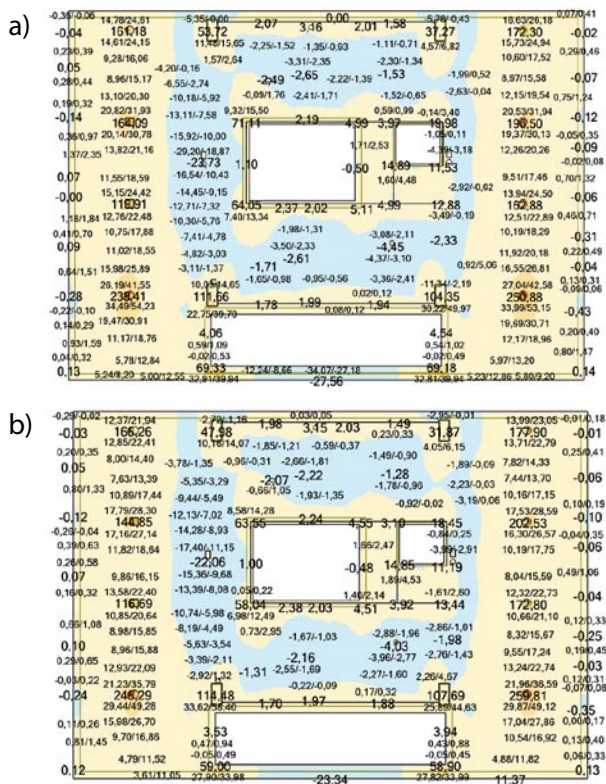
Na strop II kondygnacji oddziałują obciążenia stałe, do których można zaliczyć m. in. ciężar własny konstrukcji, warstwy wykończeniowe, ściany działowe czy szklane elewacje oraz obciążenia zmienne, tj. obciążenie użytkowe. W celu zmniejszenia liczby kombinacji, a jednocześnie uzyskania maksymalnych wartości poszukiwanych sił (momentów podporowych, momentów przęsłowych, reakcji podporowych) przyjęto 4 podstawowe schematy rozmieszczenia obciążeń użytkowych.

Momenty zginające

Porównując wyniki analizy statycznej, pokazane na rysunku 5 w formie map, można zauważyć, że skutek zmiany betonu zwykłego na lekki beton kruszywowy nastąpiła redystrybucja sił wewnętrznych. Momenty podporowe uległy zmniejszeniu w wybranych obszarach od 3 do 14% (średnio o 11%) bądź też zwiększeniu od 3 do 7% (średnio o 4%). Natomiast w przypadku momentów przęsłowych odnotowano jedynie spadek wartości od 6 do 15% (średnio o 12%).

Zbrojenie na zginanie

Wskutek zmiany betonu zwykłego na lekki beton kruszywowy zredukowano ciężar własny betonu, jednak masa zużytej stali zbrojeniowej nieznacznie wzrosła. W obu wariantach zbrojenie jest dość podobne (zwłaszcza zbrojenie dolne), a różnica w głównej mierze wynika z konieczności wydłużenia zakładów w przypadku płyty z betonu lekkiego. W ostateczności masa zbrojenia dolnego wzrosła o około 0,9%, a zbrojenia górnego o 0,6% (całkowity ciężar stali zbrojeniowej uległ zwiększeniu o około 0,7%) – patrz tabela 2.



Rys. 5. Obwiednia momentów zginających m_{xx} : a) płyta z betonu zwykłego, b) płyta z lekkiego betonu kruszywowego

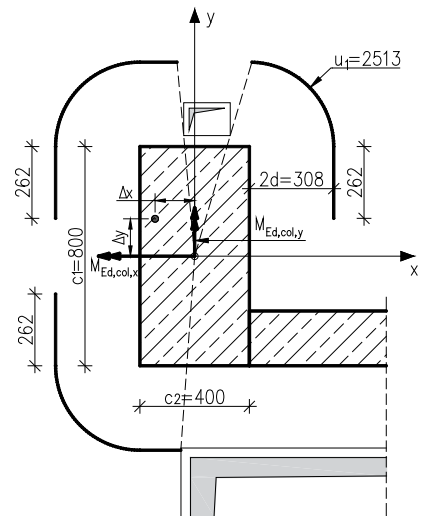
Tabela 2. Porównanie zużycia stali zbrojeniowej

	Beton zwykły	Lekki beton kruszywowy
Zbrojenie dolne [kg]	2527,51	2550,24
Zbrojenie górne [kg]	4164,98	4191,10
Suma [kg]	6692,49	6741,34

Przebiecie płyty

Analiza przebiecia płyty stanowiła jedno z bardziej skomplikowanych zagadnień rozważanych w pracy, co wynikało z dużej liczby i różnorodności kształtu podpór. Rozpatrywane były zarówno strefy podporowe z typowymi słupami wewnętrznymi i krawędziowymi, jak i miejsca szczególne, takie jak słupy prostokątne o znacznym rozmiarze (obwód większy od dwunastu wysokości użytecznych płyty) czy końce i naroża ścian. Mowa tutaj o miejscach szczególnych, ponieważ w tych przypadkach do weryfikacji przebiecia podstawowe wytyczne PN-EN 1992-1-1 [1] były niewystarczające i trzeba było skorzystać z reguł uzupełniających określonych w załączniku krajowym do normy niemieckiej DIN EN 1992-1-1 [4] oraz w europejskich aprobatkach technicznych [5]. Przykład jednej z rozważanych stref podporowych pokazano na rysunku 6.

Rys. 6. Podstawowy obwód kontrolny jednego ze słupów prostokątnych

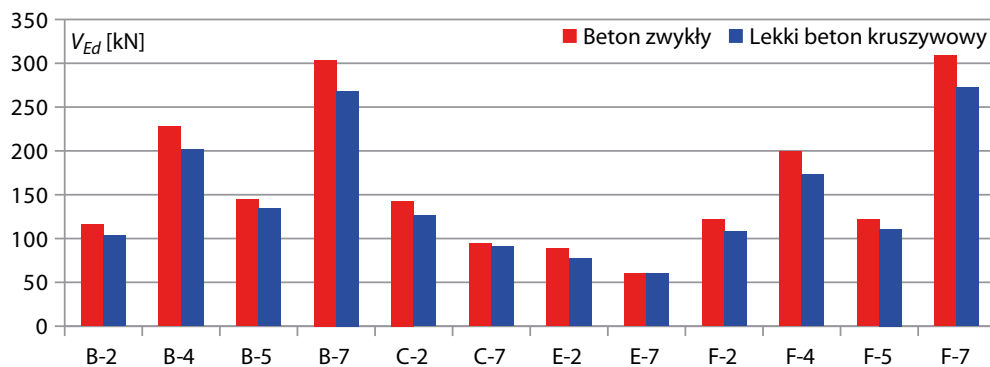


Porównując wyniki weryfikacji przebiecia płyty w poszczególnych strefach podporowych, można stwierdzić, że pomimo zmniejszenia sił przebijających średnio o 10%, wskutek zmiany betonu zwykłego na lekki beton kruszywowy uzyskano ostatecznie większe wykorzystanie nośności płyty na przebiecie. Między innymi dlatego, że wartości naprężeń stycznych v_{Ed} na podstawowych obwodach kontrolnych spadły jedynie od 6 do 12% (średnio o 8%), choć uzyskano bardzo zbliżone, a w przypadku niektórych słupów nawet większe powierzchnie przekrojów kontrolnych. Bardzo duża różnica występuje natomiast w przypadku granicznych naprężeń stycznych $v_{Rd,c}$ które są mniejsze o 21–31% (średnio o 28%) od wartości charakteryzujących beton zwykły $v_{Rd,c}$. Wynika to, nie tylko z innego stopnia zbrojenia głównego w strefach podporowych, ale także dodatkowej ich redukcji względem betonów zwykłych, polegającej na wprowadzeniu współczynnika modyfikującego $\eta_1 < 1,0$ zależnego od gęstości betonu ρ oraz ograniczenia współczynnika empirycznego z 0,18 do 0,15. W związku z tym wskazane różnice przełożyły się na większe wykorzystanie nośności płyty, a tym samym na wzrost zapotrzebowania na zbrojenie poprzeczne przypadające na jeden obwód (2,29 cm² wobec 3,11 cm² – więcej o 36%) w sąsiedztwie dwóch słupów kołowych. W przypadku płyty z betonu zwykłego potrzebne były jedynie dwa obwoły zbrojenia o sumarycznym przekroju poprzecznym 6,79 cm² (rys. 8a), natomiast w przypadku płyty z lekkiego betonu kruszywowego należało zastosować cztery obwoły zbrojenia o sumarycznym przekroju poprzecznym 15,83 cm², tj. 2,3-krotnie więcej (rys. 8b).

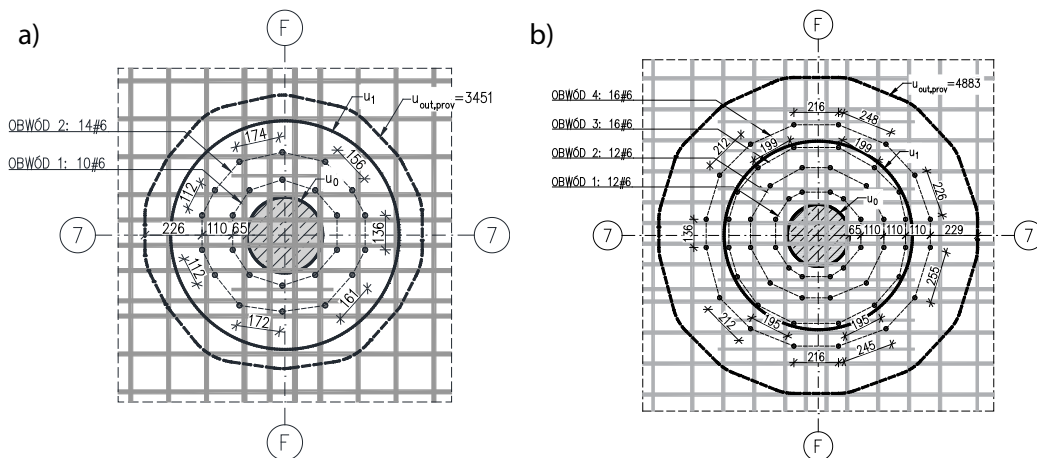
Ugięcia w stanie zarysowanym

Zmiana betonu zwykłego na lekki beton kruszywowy spowodowała znaczny spadek ciężaru własnego stropu,

Rys. 7. Reakcje przekazywane z płyty na słupy



Rys. 8. Schemat rozmieszczenia zbrojenia na przebiecie: a) płyta z betonu zwykłego, b) płyta z lekkiego betonu kruszywowego



przez co ugięcia płyty w stanie zarysowanym uległy zmniejszeniu od 10 do 14% (średnio o 12%). Stało się tak, mimo różnicy w siecznych modułach sprężystości obu betonów, która wynosi 10,56 GPa (33%).

3.2. Strop I kondygnacji (płyta transferowa)

Model obliczeniowy

Strop I kondygnacji o grubości 40 cm odwzorowano w przestrzeni trójwymiarowej w postaci pojedynczego panelu o zadanych parametrach geometrycznych i materiałowych.

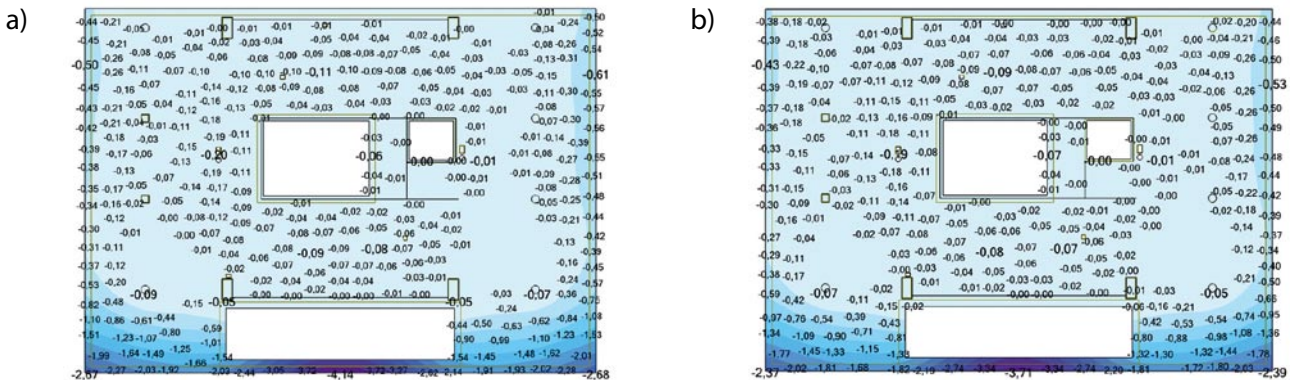
W celu uwzględnienia usztywnienia stropu ścianami monolitycznymi wprowadzono również panele pionowe. Analizowany strop opiera się na żelbetowych ścianach, które zdefiniowano jako liniowe podpory sprężyste. W modelu obliczeniowym zastosowano siatkowanie

złożone (Delaunay+Kang) o czworokątnych, 4-węzłowych elementach skończonych. Rozmiar pojedynczego elementu skończonego wynosił 30 cm, natomiast w charakterystycznych miejscach wprowadzono zagęszczenie siatki w postaci emiterów. Przyjęty model obliczeniowy pokazano na rysunku 10.

Strop I kondygnacji pełni funkcję płyty transferowej. W związku z tym, poza podstawowymi obciążeniami, które omawiano w przypadku płyty stropowej II kondygnacji, działają na niego obciążenia przekazywane z wyższych kondygnacji za pośrednictwem słupów i ścian.

Momenty zginające

Porównując wyniki analizy statycznej, pokazane na rysunku 11 w formie map, można zauważyć, że wskutek zmiany betonu zwykłego na lekki beton kruszywowy



Rys. 9. Ugięcia w stanie zarysowanym: a) płyta z betonu zwykłego, b) płyta z lekkiego betonu kruszywowego

Rys. 10. Model obliczeniowy
– widok aksonometryczny

nastąpiła redystrybucja sił wewnętrznych. Momenty przęsłowe uległy zmniejszeniu od 6 do 13% (średnio o 11%), a momenty podporowe od 11 do 13% (średnio o 12%).

Zbrojenie na zginanie

Zmiana betonu zwykłego na lekki beton kruszywowy okazała się szczególnie korzystna w odniesieniu do stropu I kondygnacji (płyty transferowej). Redukcji uległy: ciężar własny samej płyty jak również reakcje przekazywane ze stropów wyższych kondygnacji. Przełożyło się to na ograniczenie zapotrzebowania na zbrojenie, ze względu na możliwość zastosowania siatki podstawowej o większym rozmiarze oczka. Masa zbrojenia dolnego uległa zmniejszeniu o około 20%, a zbrojenia górnego o około 9% (całkowity ciężar stali zbrojeniowej uległ zmniejszeniu o około 14%) względem analogicznego stropu z betonu zwykłego – tabela 3.

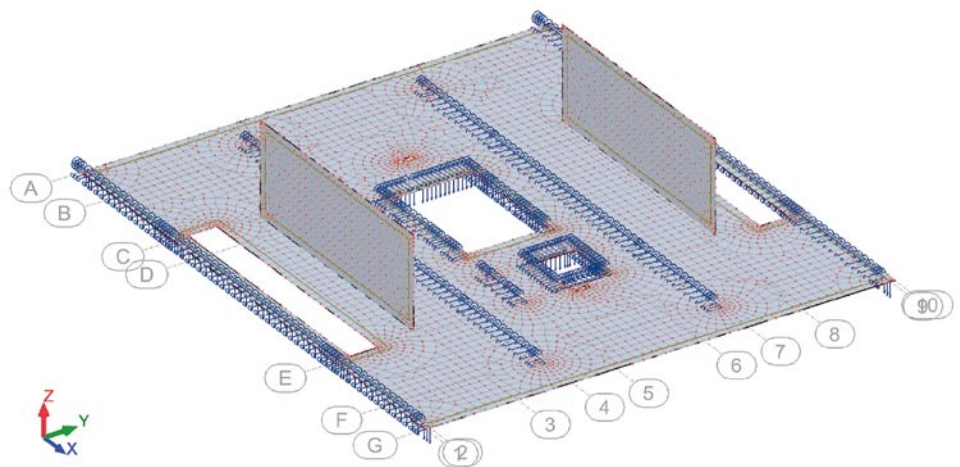
Tabela 3. Porównanie zużycia stali zbrojeniowej

	Beton zwykły	Lekki beton kruszywowy
Zbrojenie dolne [kg]	7480,89	5993,54
Zbrojenie górne [kg]	8105,22	7380,56
Suma [kg]	15586,11	13374,10

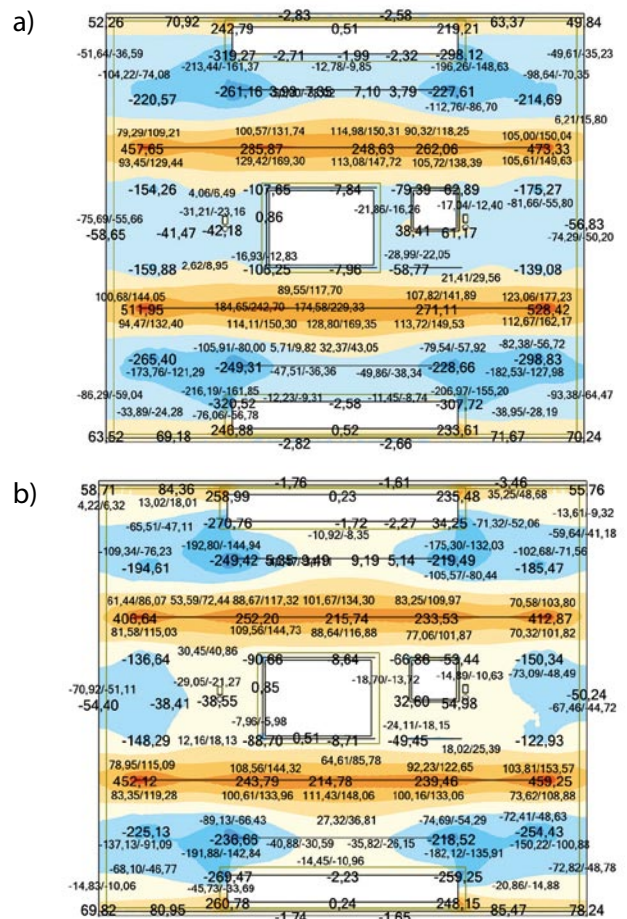
Przebiecie płyty

Strop I kondygnacji pełni funkcję płyty transferowej, tzn. stanowi podporę dla słupów żelbetonowych wyższych kondygnacji. Różnice w sposobie zniszczenia na przebiecie płyty stropowej i płyty transferowej pokazano na rysunku 12. W pierwszym przypadku rysa ukośna formuje się na krawędzi słupa dolnego, natomiast jej wylot wyznaczający zasięg tzw. stożka przebiecia widoczny jest na górnej powierzchni płyty. Przebiecie w płycie transferowej będzie przejawiało się natomiast sposobem zniszczenia zbliżonym do obserwowanego w płytach fundamentowych, gdy podstawa stożka przebiecia formuje się na dolnej powierzchni płyty. Z tego powodu przy obliczaniu granicznych naprężeń stycznych uwzględnia się zbrojenie dolne płyty.

Redukcja ciężaru własnego płyt stropowych, znajdujących się powyżej rozważanego stropu, wynikająca ze zmiany betonu, spowodowała, że reakcje przekazywane z słupów na płytę (siły przebijające) uległy zmniejszeniu od 3 do 11% (średnio o 8%) – rysunek 13.

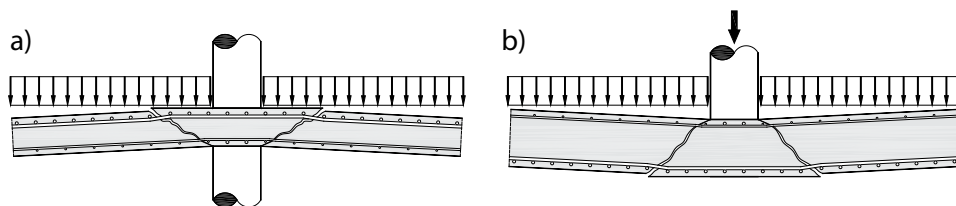


Pomimo zmniejszenia sił przebijających uzyskano jednak większe wykorzystanie nośności płyty na przebiecie. Między innymi dlatego, że wartości naprężeń stycznych v_{Ed} na podstawowych obwodach kontrolnych uległy zmniejszeniu maksymalnie o 11%, co wynikało z obniżenia wysokości użytecznej z powodu konieczności zwiększenia otulenia zbrojenia głównego betonem lekkim, przez co uzyskano mniejsze powierzchnie przekrojów kontrolnych. Bardzo duża różnica występuje natomiast w przypadku granicznych naprężeń $v_{Ird,c}$

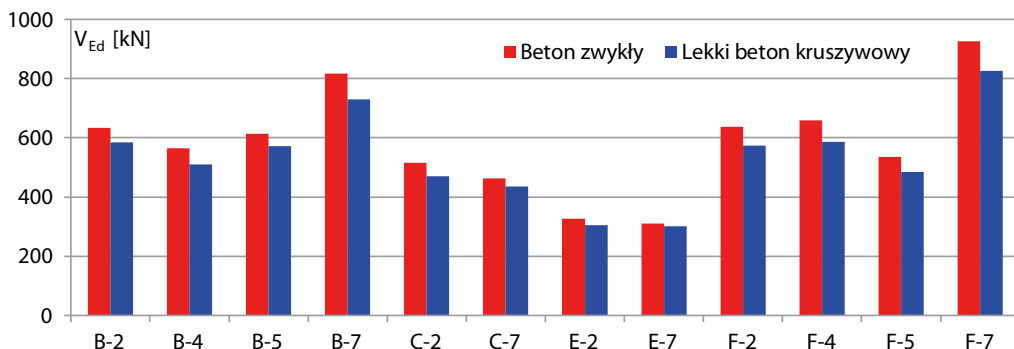


Rys. 11. Obwiednia momentów zginających m_{yy} ; a) płyta z betonu zwykłego, b) płyta z lekkiego betonu kruszywowego

Rys. 12. Zniszczenie związane z przebicciem: a) typowej płyty stropowej, b) płyty transferowej



Rys. 13. Reakcje przekazywane z słupów na płytę transferową



które były mniejsze o 26–31% (średnio o 28%) od wartości charakteryzujących beton zwykły $v_{Rd,c}$. Wskazane różnice przełożyły się na większe wykorzystanie nośności płyty na przebiccie, a nawet na konieczność zastosowania zbrojenia na przebiccie w sąsiedztwie dwóch słupów kołowych (wymagane pole zbrojenia poprzecznego, przypadającego na jeden obwód, wyniosło $4,34 \text{ cm}^2$) – rysunek 14. W przypadku płyty z betonu zwykłego zbrojenie na przebiccie nie było natomiast potrzebne.

Ugięcia w stanie zarysowanym

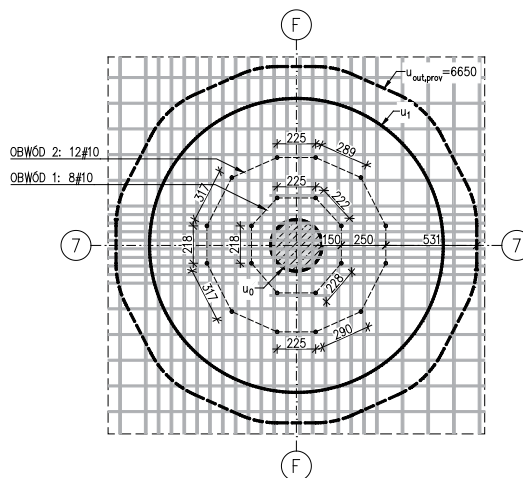
Zmiana betonu zwykłego na lekki beton kruszywowy spowodowała znaczny spadek nie tylko ciężaru własnego stropu, ale także sił przekazywanych z wyższych kondygnacji, przez co ugięcia płyty w stanie zarysowanym głównie uległy zmniejszeniu od 2 do 10% (średnio o 7%). Ugięcia płyty transferowej w stanie zarysowanym pokazano w formie map na rysunku 15.

4. Podsumowanie

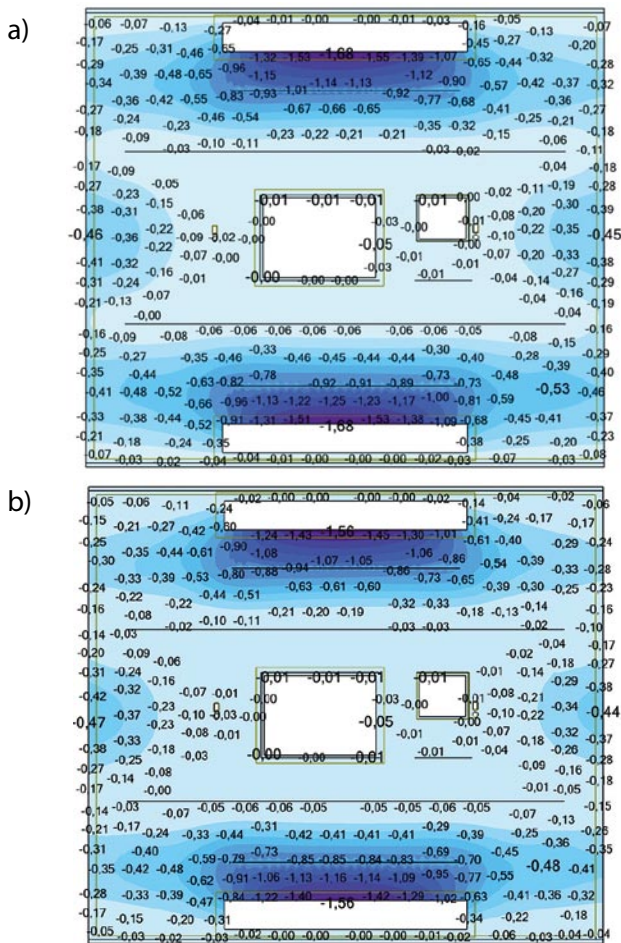
W celu oszacowania globalnego wpływu zmiany betonu zwykłego na lekki beton kruszywowy przeanalizowano różnice w kosztach wykonania wszystkich płyt stropowych. W ramach pracy nie wymiarowano wprawdzie wszystkich stropów międzykondygnacyjnych, jednak stropy III i IV kondygnacji oraz stropodach są w swojej formie zbliżone do stropu II kondygnacji (charakteryzują się nieco innymi wymiarami zewnętrznymi, ale są podparte w ten sam sposób). Zapotrzebowanie na zbrojenie oszacowano na podstawie średniego zużycia stali zbrojeniowej w kg/m^2 uzyskanego w przypadku stropu II kondygnacji.

Po zsumowaniu masy zbrojenia ustalono, że w przypadku stropów z betonu zwykłego całkowite zużycie

stali zbrojeniowej wyniesie około 40,5 tony, natomiast w przypadku stropów z lekkiego betonu kruszywowego około 38,5 tony. Widać zatem, że wskutek zmiany betonu zużycie stali zbrojeniowej uległo zmniejszeniu o około 5%. W przypadku stropów z betonu zwykłego koszt zakupu stali zbrojeniowej to około 180,3 tys. zł, a w przypadku stropów z lekkiego betonu kruszywowego to około 171,3 tys. zł (zakładając średnią cenę stali zbrojeniowej na poziomie 4,45 zł/kg). Analizując aspekt ekonomiczny, nie można jednak zapominać o koszcie mieszanki betonowej. Zgodnie z informacjami handlowymi cena 1 m^3 lekkiego betonu kruszywowego klasy LC30/33 jest o około 30% wyższa niż w przypadku betonu zwykłego klasy C30/37. Szacowany koszt betonu zwykłego to około 73,0 tys. zł, a betonu lekkiego to około 95,0 tys. zł (różnica wynosi 22 tys. zł). Biorąc pod uwagę przedstawione dane, można stwierdzić, że w ujęciu ekonomicznym, zastosowanie lekkiego betonu kruszywowego będzie



Rys. 14. Schemat rozmieszczenia zbrojenia na przebicciu w płycie transferowej z lekkiego betonu kruszywowego



Rys. 15. Ugięcia w stanie zarysowanym: a) płyta z betonu zwykłego, b) płyta z lekkiego betonu kruszywowego

droższe o około 13,0 tys. zł – tym samym koszt realizacji wszystkich stropów będzie o około 5% wyższy. Koszt wykonania pozostałych elementów żelbetowych powinien być zbliżony, ponieważ stosowany jest wszędzie beton zwykły, a gabaryty wynikają głównie z warunków ochrony pożarowej konstrukcji i potrzeby zapewnienia odpowiedniej powierzchni podparcia stropów (przebiecie).

Z kolei aspekt środowiskowy przemawia na korzyść lekkiego betonu kruszywowego, ponieważ kruszywo lekkie może być produkowane z odpadów (popioły lotne) i pozwala ograniczyć zużycie kruszyw naturalnych. Uwzględniając wszystkie argumenty, można stwierdzić, że korzystniejszym rozwiązaniem w przypadku analizowanego projektu jest zastosowanie betonu zwykłego, przede wszystkim ze względu na koszty, które są mniejsze. W dzisiejszych czasach z reguły to aspekt ekonomiczny odgrywa główną rolę. Poza tym w projektowaniu płyt stropowych z lekkiego betonu kruszywowego warto zwrócić uwagę na problematykę zbrojenia na przebiecie. Bardzo efektywne i zarazem najłatwiejsze w montażu są trzpienie dwugłówkowe,

które zgodnie z europejskimi aprobatami technicznymi mogą być stosowane jedynie w płytach z betonu zwykłego. W przypadku płyt z lekkiego betonu kruszywowego problem ten można rozwiązać projektując strzemiona, co wykazano w pracy. Dodatkowo dostępność kruszywa lekkiego jest ograniczona, a produkcja betonu lekkiego wymaga dodatkowych zabiegów technologicznych (np. namaczania kruszywa ze względu na wysoką nasiąkliwość) i tym samym doświadczenia od wytwórcy. Lekki beton kruszywowy jest również bardziej kruchy, głównie ze względu na mniejszą wytrzymałość na rozciąganie, w porównaniu z betonem zwykłym o podobnej wytrzymałości na ściskanie. Z drugiej strony betony lekkie charakteryzują się lepszą odpornością na działanie wysokiej temperatury ze względu na mniejszą przewodność cieplną. Poza tym stosowanie kruszyw lekkich umożliwia ograniczenie ilości odpadów przemysłowych, co nie pozostaje bez znaczenia przy zwiększającym się nacisku na ograniczenie wpływu człowieka na środowisko.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2008
- [2] PN-EN 1992-1-1:2008/A1:2015-03: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków – Zmiana do normy Europejskiej EN 1992-1-1:2004/A1:2014, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2015
- [3] PN-EN 1992-1-2:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-2: Reguły ogólne – Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2008
- [4] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04+A1:2015-12 Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung, Berlin, 2013
- [5] Europäische Technische Zulassung ETA-13/0136: JORDAHL Durchstanzbewehrung JDA, Doppelkopfanke als Durchstanzbewehrung für punktförmig belastete Platten und Fundamente, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin, 2018
- [6] Starosolski W., Komputerowe modelowanie betonowych ustrojów inżynierskich. Wybrane zagadnienia, tom 1, 2, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2012
- [7] Starosolski W., Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych, tom 1, 2, 3, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2012
- [8] Starosolski W., O rozmieszczaniu obciążeń zmiennych w stropach krzyżowo zbrojonych i płytowo-słupowych, Inżynieria i Budownictwo 4/2008
- [9] Urban T., Gołdyn M., Krawczyk Ł., Przykład obliczania płyty na przebiecie w strefie słupa wewnętrznego według Model Code 2010 i PN-EN 1992-1-1, Inżynieria i Budownictwo 4/2015
- [10] Urban T., Gołdyn M., Krawczyk Ł., Przykład obliczenia płyty na przebiecie w strefie słupa krawędziowego według Model Code 2010 i PN-EN 1992-1-1, Inżynieria i Budownictwo 8/2016
- [11] Gołdyn M., Nośność na przebiecie płyt z otworami według PN-EN 1992-1-1, Inżynieria i Budownictwo 5/2019
- [12] Gołdyn M., Urban T., O projektowaniu na przebiecie płyt płaskich z lekkich betonów kruszywowych, Inżynieria i Budownictwo 3/2019
- [13] Gołdyn M., Urban T., Lekkie betony kruszywowe w konstrukcjach budowlanych i inżynierskich Materiały Budowlane 12/2019
- [14] Domagała L., Lekkie betony konstrukcyjne – projektowanie, wykonywanie, właściwości, Przegląd budowlany 9/2016