

dr hab. inż. Wit Derkowski^{1*)}
mgr inż. Rafał Walczak¹⁾

Najnowsze kierunki rozwoju stropów betonowych

The latest development trends for concrete floor slabs

DOI: 10.15199/33.2019.04.04

Streszczenie. Przegląd najnowszych światowych innowacji w dziedzinie stropów pokazuje, że obecnie motorem dalszych poszukiwań są potrzeby odciążania konstrukcji, łatwego rozprowadzania wszelkich typów instalacji w grubości stropu, a także wykorzystanie konstrukcji stropowej do poprawy komfortu użytkowania pomieszczeń. W artykule omówiono i podano przykłady możliwych sposobów osiągania takich celów zarówno w stropach z prefabrykatów betonowych, jak i wykonywanych na miejscu budowy.

Słowa kluczowe: komfort użytkowania; lekkie stropy; instalacje; innowacje; prefabrykacja betonowa.

Abstract. An overview of the latest global innovations in the field of floor slabs shows that current driver for behind further exploration are the need to relieve the structure, easy distribution of all types of installations in the ceiling thickness, as well as the use of floor structure to improve the comfort of rooms' use. The paper discusses and gives examples of possible ways of achieving such goals both in slabs made of precast concrete elements as well as those made on the construction site.

Keywords: comfort of use; light floor slabs; installations; innovations; concrete prefabrication.

Poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcji stropowych zazwyczaj sprowadzało się do prób realizacji przesąd o coraz większej rozpiętości, co umożliwia wykorzystywanie technologii sprężania oraz stosowanie coraz lepszych materiałów, np. betonów specjalnych [2]. Przegląd najnowszych światowych osiągnięć w dziedzinie stropów pokazuje, że obecnie motorem innowacji są **rozwiązania pozwalające na rozmieszczenie różnego typu instalacji w grubości stropu, zmniejszających jego ciężar własny, a także wykorzystanie konstrukcji stropowej do poprawy komfortu termicznego w pomieszczeniach.**

W budownictwie zazwyczaj mówimy o innowacjach produktowych, czyli wprowadzaniu wyrobów, które są nowe lub udoskonalone pod względem właściwości bądź zastosowania lub o innowacjach procesowych, oznaczających wdrażanie znacznie ulepszonych metod produkcji. Warto jednak podkreślić, iż różni się różne skale wdrażania innowacji: międzynarodową (np. europejską); krajową lub zaledwie regionalną. Tak więc innowacjami nie są wyłącznie nowe, wcześniej nigdzie na świecie nie stosowane rozwiązania, ale mogą być także lokalne wdrożenia ulepszonych produktów lub technologii.

¹⁾ Politechnika Krakowska; Wydział Inżynierii Lądowej

^{*)} Adres do korespondencji: derkowski@pk.edu.pl

Zmniejszenie ciężaru konstrukcji

W wielu obiektach, już na etapie projektowania, wskazane jest odciążenie konstrukcji w celu redukcji obciążenia przekazywanego przez fundament na podłoże gruntowe. W przypadku konstrukcji stropowych pozwala to na zwiększenie rozpiętości przęsła, zmniejszenie liczby lub zastosowanie smuklejszych podpór, eliminację żeber czy podciągów wysuniętych poniżej dolnej powierzchni płyty stropowej, a także skutkuje zmniejszeniem zużycia materiałów (wbudowanego betonu oraz stali zbrojeniowej). To wszystko przyczynia się z kolei do rozwoju budownictwa zrównoważonego przez redukcję zużycia zasobów naturalnych oraz zmniejszenie emisji dwutlenku węgla. Odciążenie stropów można uzyskać np. przez stosowanie płyt otworowych lub wbudowanie wkładów odciążających. Ze względu na korzystny rozkład masy w konstrukcji (dosyć lekkie i sztywne stropy) zwiększa się również odporność budowli na ruchy podłoża pod fundamentem, co ma duże znaczenie na obszarach aktywnych sejsmicznie oraz na terenach szkód górnictwa.

Zastosowanie wkładów odciążających powoduje redukcję ciężaru własnego płyty stropowej nawet o ok. 40%. Wśród tego typu stropów najlepiej rozpropagowane są stropy z wkładami odciążającymi w postaci pustych kul z tworzywa sztucznego. Możliwe są jednak inne, autorskie rozwiązania,

np. wkłady odciążające, składające się z części kulistej w miejscu, w którym np. ciągną sprężające strop wymagają większego otulenia i części walcowej w obszarach bez kabli sprężających (rysunek 1). Dzięki temu jeszcze lepiej redukują ciężar własny płyty [1]. Innym przykładem może być zastosowanie innowacyjnego rozwiązania kablobetonowego stropu żeberkowego o wysokości 350 mm, w którym ciągłe, międzyżebrowe wkłady odciążające o przekroju sześciokątnym i wysokości 200 mm wykonano ze styropianu [3].

W przypadku typowych rozwiązań wykonuje się gotowe modułarne kosze lub maty z wkładami odciążającymi, które mocuje się do dolnej siatki zbrojenia płyty, a na kosztach układa siatki zbrojenia górnego, tworząc tym samym przestrzenny układ zbrojenia. W celu wyeliminowania problemów z unosze-



Rys. 1. Wizualizacja wkładów odciążających o zwiększonej objętości [1]

Fig. 1. Visualization light inserts with increased volume [1]

niem się lekkich wkładów w świeżej mieszance betonowej zaleca się betonowanie stropów w dwóch etapach. W pierwszym następuje ułożenie mieszanki betonowej powyżej dolnej siatki zbrojenia i pozostawienie jej do momentu początku wiązania betonu. Następnie rozpoczyna się betonowanie pozostałej części płyty. Kryterium rozmieszczania wkładów odciążających związane jest z nośnością płyty na ścinanie (w obszarach płyt zawierających wkłady odciążające przekrój poprzeczny stropu nie jest już pełny, a staje się przekrojem „gęstożebrowym”). Należy również pamiętać, że odciążenie stropu w przęsłach powoduje zmniejszenie sztywności tych obszarów, a więc inny rozkład sił przekrojowych w stropie, ponieważ fragmenty płyty o mniejszej sztywności przejmują mniejszą część momentów zginających.

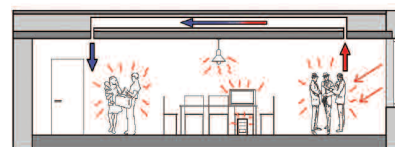
Innym sposobem zmniejszenia ciężaru własnego stropu jest **stosowanie lekkich betonów kruszywowych**, które w porównaniu z betonami zwykłymi cechuje mała gęstość i duża trwałość, przy porównywalnej wytrzymałości na ściskanie. Ponadto, użycie betonu lekkiego powoduje wyraźną poprawę właściwości termoizolacyjnych przegrody. Argumenty te sprawiają, że obecnie wracają koncepcje wykorzystania tego materiału we współczesnej prefabrykacji betonowych elementów konstrukcyjnych, przede wszystkim ze względu na spodziewane zmniejszenie kosztów transportu i montażu. Jedną z koncepcji wykorzystania lekkich betonów kruszywowych jest **wykonywanie prefabrykowanych szalunków traconych typu filigran** [5]. Obecnie na Politechnice Łódzkiej prowadzone są prace nad wdrożeniem tych betonów do realizacji ustrojów płytowo-słupowych [10], a na Politechnice Krakowskiej do konstrukcji kablobetonowych [9]. W badaniach niemieckich [5] wykazano, że połączone zastosowanie włókien stalowych i lekkich kruszyw w betonie znacznie poprawia właściwości takiego kompozytu, co może przynosić wymierne korzyści ekonomiczne. Stosując włókna stalowe, można w niektórych przypadkach wykonywać elementy bez klasycznego zbrojenia w postaci prętów zbrojeniowych.

W przypadku projektowania obiektów o narzuconej całkowitej wysokości, a także budynków wysokich lub wysokościowych bardzo ważnym zagadnieniem staje się ograniczanie całkowitej wysokości kondygnacji, dlatego instalacje rozprowadza się w płycie stropowej. Ponadto, istotnym zagadnieniem tworzenia koncepcji budynków użyteczności publicznej jest umożliwienie swobodnego rozprowadzania wszelkiego rodzaju instalacji poziomych, np. nowym trendem w realizacji stropów w łazienkach, wykonywanych z płyt otworowych, jest wykorzystanie ich kanałów do przeprowadzania poszczególnych instalacji [4].

Poprawa komfortu użytkownika pomieszczeń

Najnowszą tendencją w realizacji stropów jest **próba wykorzystywania kumulacji temperatury przez betonowe elementy konstrukcyjne do zwiększenia komfortu użytkownika pomieszczeń**. Aktywacja termiczna stropów betonowych umożliwia zarówno magazynowanie, jak i dystrybucję energii cieplnej w budynku. Przestrzenie wewnątrz stropu mogą być wykorzystywane m.in. do prowadzenia kanałów wentylacyjnych/klimatyzacyjnych, a także umieszczenia niewielkich klimatyzatorów (rysunek 2).

Koncepcja termoaktywnego stropu wykorzystuje **prefabrykaty kanałowe jako swoistego rodzaju wymienniki ciepła między powietrzem pobieranym z zewnątrz a pomieszczeniami**. Nadwyżka ciepła generowana przez oświetlenie, komputery, ciepło oddawane przez ludzi przebywających w pomieszczeniach czy promieniowanie słoneczne może być kumulowana w płytach stropowych, zwiększając ich temperaturę o 2 – 3°C w ciągu dnia, bez wpływu na komfort użytkowników. Latem nadmiar ciepła powstający w ciągu dnia odprowadza się z płyt, chłodząc je nocnym powietrzem. Zimą ciepło przechowywane w płytach przez noc wykorzystywane jest do zapewnienia komfortu użytkowników następnego dnia rano, np. pojemność cieplna stropu z płyt HC320 wynosi ok. 100 Wh/m²K, co powoduje, że podniesienie temperatury płyty o 3°C prowadzi do kumulacji



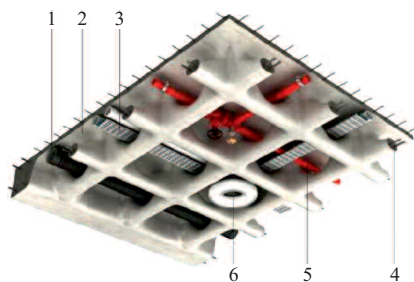
Rys. 2. Koncepcja zapewnienia komfortu termicznego użytkowników pomieszczeń
Fig. 2. The concept of thermal comfort of room users

ok. 300 Wh/m². Wartość ta rozłożona na okres 8 h daje ok. 37 W/m² oszczędności energii normalnie zużywanej do chłodzenia pomieszczeń. Chłodzenie mogą też zapewniać rurki instalacji zimnej wody umieszczone przy dolnej powierzchni płyty stropowej. Natomiast pod górną powierzchnią wprowadzać można instalacje ogrzewania podłogowego lub wbudować przewody instalacji elektrycznych i teleinformatycznych wyprowadzanych na poziomie podłogi. W celu poprawy komfortu akustycznego w dużych pomieszczeniach wykonuje się rowkowanie powierzchni dolnej stropu.

Przykłady innowacyjnych rozwiązań stropowych

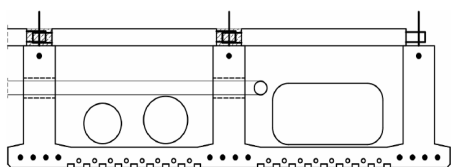
Całkiem nową technologią wykonywania monolitycznych stropów betonowych jest system nawiązujący do chętnie dawniej realizowanych stropów kasetonowych. Wzajemnie przenikające się belki rusztu są modułowo otworowane w żebrach, dając nie tylko odciążenie konstrukcji nawet o 20% w porównaniu z typowymi stropami żelbetowymi, przy znikomym zmniejszeniu sztywności, ale i umożliwiając prowadzenie instalacji wewnątrz stropu przy jednoczesnym zapewnieniu łatwego do nich dostępu (rysunek 3). Dzięki wielu wyokrągleniom strop ten ma ciekawą geometrię [7]. Ponadto możliwe jest tworzenie przęseł stropowych o optymalnej rozpiętości do 12 m, a w celu jej zwiększenia nawet do 18 m możliwe jest jedno- lub dwukierunkowe sprzężenie przęseł stropowego.

Innowacyjnym rozwiązaniem wśród stropów prefabrykowanych są **trzyżebrowe elementy strunobetonowe** (rysunek 4). Żelbetowa płytka dolna, o grubości 60 mm jest zbrojona stalową siatką zbrojeniową, a żebra nośne, o wysokości 200 – 360 mm, sprzężone spłotami. Żeberka mają dodatkowe zbroje-



Rys. 3. Konstrukcja stropu Holedeck [7]:
 1 – przewody wentylacyjne; 2 – strop;
 3 – kanał instalacyjny; 4 – zbrojenie główne;
 5 – przewody, rury; 6 – lampa

Fig. 3. Holedeck floor slab structure [7]:
 1 – ventilation ducts; 2 – floor slab; 3 – installation duct; 4 – main reinforcement; 5 – ducts, pipes; 6 – lamp



Rys. 4. Widok przekroju poprzecznego fragmentu stropu z trzyżebrowych prefabrykatów

Fig. 4. Cross-section view of floor slab made of triple-web precast elements

nie poprzeczne, wypuszczone powyżej górnej powierzchni. Takie rozwiązanie powoduje zwiększenie nośności prefabrykatu na ścinanie, ale także umożliwia zespolenie prefabrykatu z płytką górną, która może być zarówno prefabrykowana, jak i wykonywana na miejscu budowy. Taki strop jest dosyć lekki, bardzo sztywny i jednocześnie cechuje się zdolnością do przenoszenia bardzo dużych obciążeń, dochodzących nawet do 36 kN/m² przy rozpiętości 11 m. Z tego powodu jest on chętnie wykorzystywany w dużych centrach logistycznych i obiektach przemysłowych [8]. Omawiane rozwiązanie cechuje się dużymi wolnymi przestrzeniami znajdującymi się między cienkimi płytkami tworzącymi powierzchnie dolną i górną stropu, w których możliwe jest rozprowadzenie przewodów i kanałów instalacyjnych. Prowadzenie instalacji w kierunku prostopadłym do żeber możliwe jest dzięki wykonaniu otworów w ich środkach.

Wśród prefabrykowanych elementów stropowych, z wykorzystaniem betonów lekkich, najpopularniejszy jest system, łączący zwykły beton samozagęszczający się z lekkim betonem kruszywowym. W stropie tym ok. 45% cał-

kowej objętości elementu wykonanej jest z betonu lekkiego w postaci łukowych bloków układanych w dolnej części płyty (rysunek 5) [6]. Między tymi blokami znajdują się podłużne, sprężone żebra nośne oraz wąskie żebra rozdzielcze z betonu zwykłego [6]. Do głównych zalet tego rozwiązania należą doskonale właściwości dźwiękowe i ogniowe. Z informacji producenta wynika, że pomimo znacznie mniejszego ciężaru stropu, jego izolacyjność akustyczna jest prawie taka sama jak płyty żelbetowej o tej samej grubości. W przypadku zastosowania tego typu prefabrykatów stropowych w budownictwie mieszkaniowym, mogą być wykonywane z gładką powierzchnią dolną. Pozostawienie jednak szorstkiej powierzchni dolnej, eksponującej kruszywo, przyczynia się dodatkowo do poprawy właściwości akustycznych pomieszczeń, eliminując potrzebę stosowania dodatkowych sufitów akustycznych. Może być to wykorzystywane np. w salach tanecznych czy lekcyjnych.



Rys. 5. Widok prefabrykatu SL-Deck [6]
Fig. 5. View of SL-Deck precast element [6]

Podsumowanie

Główne czynniki podczas wyboru rozwiązania konstrukcyjnego, to maksymalne skrócenie procesu budowlanego oraz redukcja kosztów. Ponadto, wymaga się coraz lepszej jakości wykonania oraz umiejętnego wpisania obiektu w architekturę otoczenia. W celu spełnienia tych wymagań poszukuje się wciąż nowych, coraz lepszych rozwiązań.

Choć innowacje zdarzają się w przypadku konstrukcji żelbetowych wykonywanych na miejscu budowy, to jednak przede wszystkim **technologia prefabrykacji umożliwia tworzenie i wdrażanie nowych, niestandardowych rozwiązań konstrukcji budowlanych**. Pozwala ona nie tylko na uzyskiwanie bar-

dzo dobrej jakości estetycznych elementów konstrukcyjnych, ale również dobrze wpisuje się w ograniczenia związane z szeroko rozumianym zrównoważonym rozwojem gospodarki, tzn. sprzyja powstawaniu konstrukcji przyjaznych środowisku w całym cyklu ich życia – począwszy od ograniczania zużycia zasobów naturalnych i zmniejszenia emisji dwutlenku węgla w procesie produkcyjnym, przez zmniejszenie emisji hałasu i pyłu na miejscu budowy, aż po możliwość łatwej rozbiórki obiektu i ponownego użycia niektórych jego elementów. Ponadto w sytuacji, kiedy pojawiają się niedobory wyspecjalizowanej siły roboczej, a przez to następuje wzrost jej kosztów, wszelkie działania prowadzące do zmniejszenia pracochłonności stają się istotnym atutem technologii prefabrykacji. Ponadto bardzo ważne jest w tym przypadku wciąż niedoceniane w naszym kraju ograniczenie kosztów społecznych, wynikających z uciążliwości prowadzenia budowy.

Literatura

- [1] Ajdukiewicz Andrzej, Krzysztof Golonka. 2015. „Sprężone stropy płaskie dużej rozpiętości – środki techniczne, ograniczenia i metody projektowania”. *Konferencja Naukowo-Techniczna KS2015 – Materiały*: 11 – 38.
- [2] Derkowski Wit, Mariusz Nieszczyński. 2016. „Stropy betonowe”. *Materiały Budowlane* 524 (4): 117 – 120. DOI: 10.15199/33.2016.04.30.
- [3] Derkowski Wit. 2012. „Monolityczny, lekki strop żebrowy, sprężony ciągniami bez przyczepności”. *Materiały Budowlane* 477 (5): 6 – 10.
- [4] Derkowski Wit. 2017. „Budownictwo kubaturowe ze ścianami nośnymi – możliwości współczesnej prefabrykacji”. *Cement, Wapno, Beton* (5): 414 – 425.
- [5] Holschemacher K., F. Junker, T. Müller, H. Kieslich. 2017. „Reduction of minimum reinforcement in lightweight concrete elements through use of steel fibres”. *CPI* (5): 56 – 61.
- [6] „Innovative concrete deck expands internationally”. 2016. *CPI* (5): 198 – 202.
- [7] Materiały reklamowe firmy Holedeck Poland Sp. z o.o.
- [8] „New flooring technology for the construction market in South Korea”. 2014. *CPI* (5): 206 – 207.
- [9] Szydłowski Rafał, Małgorzata Mieszczak. 2018. „O możliwości zastosowania betonu lekkiego w stropach sprężonych dużych rozpiętości”. *Inżynieria i Budownictwo* (2): 68 – 71.
- [10] Urban Tadeusz, Michał Gołdyn. 2019. „Współczesne konstrukcje z betonu lekkiego”. *Materiały z XXXIV WPPK*: 453 – 554.

Przyjęto do druku: 13.03.2019 r.