

Beata ORDON-BESKA
Politechnika Częstochowska

PORÓWNANIE MATERIAŁOCHŁONNOŚCI STROPU ŻELBETOWEGO PEŁNEGO I STROPU BUBBLEDECK

W artykule scharakteryzowano dwa rodzaje stropów żelbetowych: płytę pełną i strop typu BubbleDeck. Dokonano porównania pod względem materiałochłonności: zużycia betonu w warstwie konstrukcyjnej oraz styropianu na podstawie obliczeń izolacyjności cieplnej dla wybranego przypadku przegrody. Przedstawiono także propozycję modyfikacji płyty stropu BubbleDeck i jej wpływ na grubość docieplenia.

Słowa kluczowe: strop żelbetowy pełny, strop typu BubbleDeck, materiałochłonność, izolacyjność termiczna

WPROWADZENIE

W budownictwie wielkogabarytowym powszechne stały się stropy żelbetowe bezbelkowe. Wśród korzyści wynikających z ich zastosowania wyróżnić można ułatwienia w kształtowaniu architektonicznym wnętrza, estetyczny wygląd oraz łatwość prowadzenia instalacji podwieszonych. Znaczenie ma również mniejsza niż w przypadku stropów płytowo-belkowych całkowita wysokość przekroju stropu, co skutkuje obniżeniem wysokości obiektu przy zachowaniu wymaganej wysokości kondygnacji między kolejnymi stropami, a przez to zmniejszeniem materiałochłonności obiektu na etapie wznoszenia.

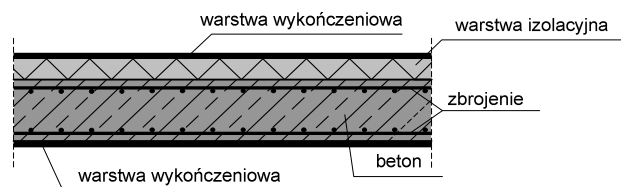
Na konstrukcję płytowej przegrody stropowej składają się warstwa nośna, warstwy izolacyjne oraz wykończeniowe. Konstrukcja żelbetowej warstwy nośnej determinuje możliwość spełnienia wymagań stanów granicznych nośności i użytkowości. Stosunkowo często warunkiem decydującym o wysokości przekroju nośnej warstwy stropu jest nieprzekroczenie dopuszczalnego ugięcia, które jest zależne od rozpiętości przęsła. Przy spełnieniu tego warunku naprężenia ściskające są w przekroju płyty niewielkie, a wysokość strefy ściskanej często nie przekracza grubości otulenia, która w zależności od agresywności środowiska może wynosić do około 4 cm. Warstwy izolacyjne mają zapewnić komfort użytkowania, na który składają się izolacyjność akustyczna, zabezpieczenie konstrukcji przed wilgocią i izolacyjność cieplna.

W niniejszym artykule zostaną krótko scharakteryzowane dwa rodzaje stropów żelbetowych: płyta pełna i strop typu BubbleDeck [1, 2], a następnie porównane

pod względem materiałochłonności: zużycia betonu w warstwie konstrukcyjnej oraz styropianu na podstawie obliczeń izolacyjności cieplnej dla wybranego przypadku przegrody. Przedstawiona zostanie także propozycja modyfikacji płyty stropu BubbleDeck - nazywanej dalej w skrócie BDS - i wpływ tej modyfikacji na grubość warstwy docieplającej.

1. STROP Z PŁYTĄ PEŁNĄ

Strop z płytą pełną najczęściej wspierany jest na słupach. Słupy rozmieszczane są na planie siatek regularnych i nieregularnych. Rozpiętość przęsła płyty wynosi od 4,5 m do 10 m i zależy od wielkości obciążeń oraz konstrukcji podpór. Wysokość jej przekroju wynosi od 20 cm do nawet ponad 60 cm i głównie zależy od rozpiętości przęsła. Rysunek 1 przedstawia schematycznie konstrukcję płyty pełnej z warstwą izolacji termicznej od góry.



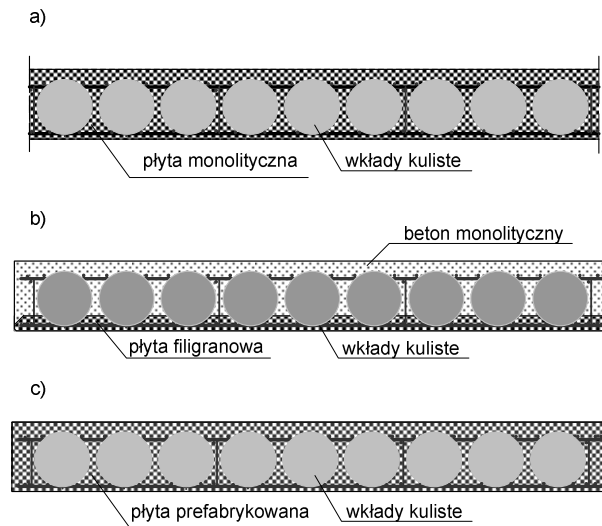
Rys. 1. Płyta pełna

2. STROP BUBBLEDECK

Stropy BubbleDeck są stropami płaskimi z przestrzeniami powietrznymi ukształtowanymi wkładami kulistymi z tworzywa sztucznego [2, 3], rozlokowanymi w ściśle określonych, regularnych odległościach. Powtarzalność rozmieszczenia wkładów uzyskuje się dzięki zastosowaniu specjalnych stalowych koszy, przyspieszających wykonanie i zapobiegających przemieszczaniu się ich podczas betonowania. Rozpiętość przęsła wynosi od 3,7 do 16 m w stropach jednoprzęsłowych i od 4,7 do 22,9 m w stropach co najmniej dwuprzęsłowych. Strop może być wykonywany w postaci:

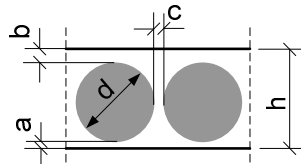
- monolitycznej (rys. 2a):
na deskowaniu umieszcza się zbrojenie dolne, następnie wkłady tworzywa w stalowych koszach, a później zbrojenie górne i betonuje; jeżeli pręty tworzące kosz mają brać udział w przenoszeniu obciążeń, szkielet uciąga się przed ułożeniem zbrojenia górnego;
- częściowo prefabrykowanej (rys. 2b):
prefabrykacja polega na wytworzeniu płyty filigranowej o grubości 6 lub 8 cm dla stropów o największej wysokości przekroju z zatopionymi w betonie koszami z wkładami kulistymi; po ułożeniu płyt na konstrukcji wsporczej układa się zbrojenie uciągające na połączeniu płyt, zbrojenie górne i betonuje;

- całkowicie prefabrykowanej (rys. 2c):
jest to strop składający się z elementów prefabrykowanych o żądanej całkowitej grubości płyty.



Rys. 2. Płyty stropowe BubbleDeck

Wzajemne położenie wkładów kulistych jest ściśle określone, a odległości pomiędzy nimi, grubość warstwy betonu poniżej i powyżej wkładów oraz ich średnice zależą od wysokości płyty. Wymiary te podane są w tabeli 1 według oznaczeń jak na rysunku 3.

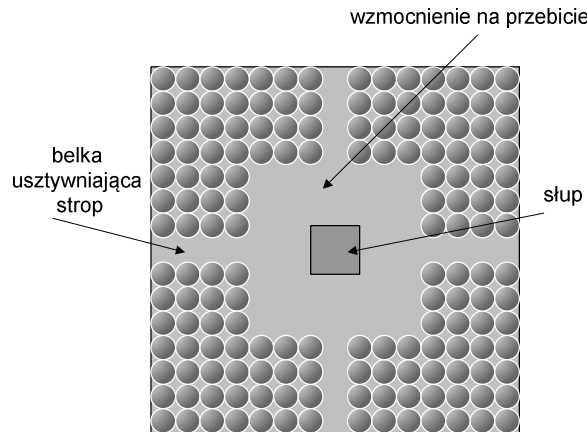


Rys. 3. Geometria przekroju poprzecznego

Tabela 1. Rozmieszczenie wkładów kulistych w stropie BubbleDeck

Odmiana stropu	Wymiary mm				
	a	b	c	d	h
BD230	20	30	20	180	230
BD280	20	35	25	225	280
BD340	20	50	30	270	340
BD390	20	55	35	315	390
BD450	20	70	40	360	450
BD600	40	60	56	500	600

W przypadku gdy strop ma za małą nośność na ścinanie w obszarze przysłupowym, w przestrzeni sięgającej $1/3$ rozpiętości podpór konstruuje się strop pełny (rys. 4).



Rys. 4. Obszar przysłupowy

Najczęściej obszar ten ma kształt kwadratu. W celu zwiększenia ogólnej sztywności stropu wykonuje się między słupami belki ukryte (rys. 4).

3. KRYTERIUM DOBORU ELEMENTÓW PORÓWNAWCZYCH

W stropach o dużych rozpiętościach, do których zaliczają się zarówno strop z płytą pełną, jak i strop BubbleDeck, o wysokości przekroju płyty decyduje warunek nieprzekroczenia dopuszczalnego ugięcia, a nie warunek nośności. Wartość ugięcia płyty żelbetowej pełnej przy danych obciążeniach warunkuje jej sztywność, która uzależniona jest od klasy betonu i ilości zbrojenia. Sztywność płyty BubbleDeck zależy także od wielkości i rozmieszczenia przestrzeni powietrznych i wynosi około 90% sztywności płyty pełnej o tej samej wysokości przekroju [4]. Przy spełnieniu warunku ugięcia zasięg strefy ściskanej wynosi w obu rodzajach konstrukcji maksymalnie od 2 do 5 cm. Jak wynika z geometrii przekroju stropu BubbleDeck (tab. 1), strefa ściskana zawiera się całkowicie w warstwie betonu powyżej wkładów, zatem moment statyczny ściskanej strefy przekroju względem środka ciężkości zbrojenia rozciąganego jest w obu rodzajach płyt jednakowy - przy założeniu otuliny tej samej grubości i tej samej średnicy zbrojenia. Wobec powyższego, bezpośredniemu porównaniu zostały poddane płyty o tej samej wysokości przekroju.

4. MATERIAŁOCHŁONNOŚĆ STROPÓW

Z obliczeń własnych autorki i według [4] zużycie betonu w przypadku każdej odmiany stropu BubbleDeck jest mniejsze o około 34% w stosunku do zużycia

betonu w przypadku płyty pełnej tej samej grubości. Należy podkreślić, że dotyczy to stropu, w którym przestrzenie powietrzne ułożone są na całym jego obszarze. Natomiast jeżeli wokół słupów wykonana zostanie płyta pełna, której zasięg wynosi zazwyczaj $1/3$ rozstawu słupów, i ma kształt prostokąta, to zmniejszenie zużycia betonu wyniesie 19%. Zastosowanie belek ukrytych pomiędzy słupami zmniejszy oszczędności do 15%. W każdym jednak przypadku jest to ilość znacząca.

Grubość warstwy izolacji termicznej obliczana jest na podstawie wymagań ochrony cieplnej budynku zgodnie z warunkami technicznymi budowlanymi (Dziennik Ustaw Nr 201, poz. 1238). Jest ona zależna od konstrukcji przegrody i jej usytuowania w obiekcie. Do porównania materiałochłonności stropów wybrano dwa rodzaje przegrody:

- strop pod poddaszem nieogrzewanym przy temperaturze wewnętrznej $t_i > 16^\circ\text{C}$, dla którego współczynnik przenikania ciepła wynosi $U_{\max} = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,
- strop nad piwnicą nieogrzewaną, dla którego współczynnik przenikania ciepła wynosi $U_{\max} = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

W porównaniu pominięte zostały stropy o wysokości płyty 600 mm, ponieważ strop BD600 ma zastosowanie w budynkach parkingów wielokondygnacyjnych, które nie wymagają docieplenia. Obliczenia grubości warstwy izolacyjnej wykonano dla następujących układów konstrukcyjnych:

- stropu z płytą pełną żelbetową,
- stropu typu BubbleDeck z wkładami formującymi pustkę powietrzną,
- modyfikacji stropu typu BubbleDeck: stropu o przyjętym na wstępie oznaczeniu BDS z wkładami ze styropianu o obliczeniowym współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Jako materiał izolacyjny zastosowano płyty styropianowe o tym samym współczynniku λ .

Specyficzna konstrukcja płyty stropu typu BubbleDeck powoduje, że pod względem przenikania ciepła, a tym samym izolacyjności cieplnej, jest on stropem niejednorodnym. Dodatkowo jest to strop o niejednorodności dwukierunkowej. Z tego względu obliczenia dla tego stropu i stropu BDS przeprowadzono dwoma metodami:

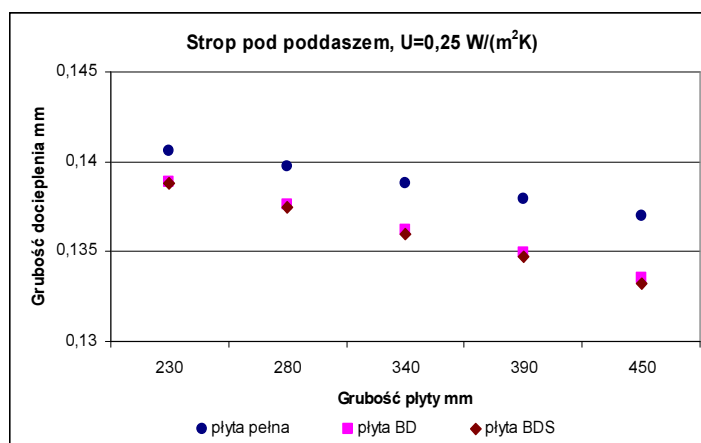
- z zastosowaniem średniego ważonego współczynnika λ ,
- za pomocą modelowania wkładu kulistego zbiorem graniastosłupów o łącznej objętości równej objętości wkładu i rozmieszczeniu na długości jednostkowej.

Ponieważ uzyskane tymi metodami wyniki nie różniły się znacząco, ostatecznie w zestawieniach poniżej zostały wykorzystane obliczenia dla średniej ważonej wartości współczynnika λ .

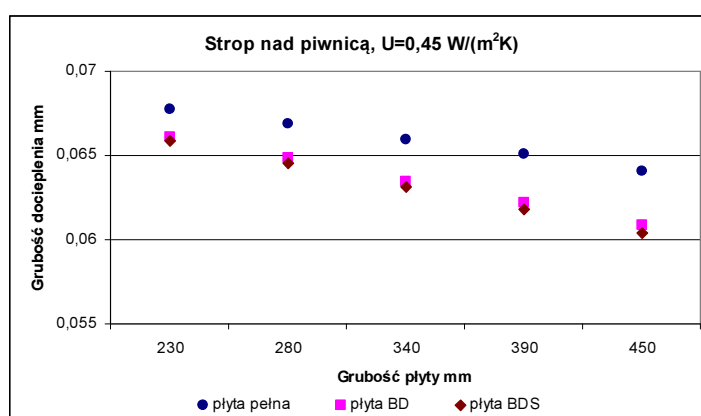
Wyniki obliczeń wymaganej grubości warstwy docieplenia przedstawione są na rysunkach 5 i 6.

Największą wymaganą grubość docieplenia styropianem uzyskano dla stropu żelbetowego pełnego. Jest ona tym większa, im mniejsza jest wysokość płyty, jednakże uzyskane różnice nie są duże. Strop nad poddaszem nieogrzewanym wymaga do-

cieplenia warstwą grubości $13,5 \div 14,5$ cm, a strop nad piwnicą nieogrzewaną warstwą grubości $6,5 \div 7$ cm. Grubość warstwy docieplenia stropu typu BubbleDeck z pustkami powietrznymi okazuje się mniejsza jedynie o około $0,5 \div 1,0$ cm. Różnice procentowe zużycia styropianu wynoszą maksymalnie około 4% w przypadku stropu pod poddaszem i około 7% w przypadku stropu nad piwnicą.



Rys. 5. Grubość warstwy docieplenia styropianem dla stropu pod poddaszem użytkowym



Rys. 6. Grubość warstwy docieplenia styropianem dla stropu nad piwnicą

Nieco zaskakujące okazują się rezultaty uzyskane dla stropu typu BDS w porównaniu z wynikami uzyskanymi dla stropu BD, wzięwszy pod uwagę fakt, że izolacyjność styropianu jest nieporównanie większa od izolacyjności powietrza: styropian charakteryzuje się współczynnikiem $\lambda = 0,038 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, a dla modelu pustek powietrznych przyjęto współczynnik $\lambda = 0,16 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ lub $\lambda = 0,21 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ w zależności od kierunku strumienia ciepła, na podstawie tablicy 2 normy PN-EN ISO 6946:2008 [5]. Grubość koniecznej do zastosowania warstwy styropianu okazała się w obu rozwiązaniach praktycznie jednakowa. Może to częściowo wynikać

z niedoskonałości modelu obliczeniowego zastosowanego dla obu stropów, ale ma z pewnością związek z niejednorodnością cieplną stropów spowodowaną lokalnym skoncentrowaniem materiału, w tym przypadku powietrza lub styropianu. W ten sposób w płycie żelbetowej zostały wytworzone kanały migracji ciepła, mające stosunkowo dużą powierzchnię.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Stropy BubbleDeck są rozwiązaniem nowatorskim, którego jedną z zalet jest wykorzystanie materiału odpadowego w postaci tworzywa sztucznego do produkcji wkładów formujących pustki powietrzne. Kolejną istotną zaletą jest zmniejszenie zużycia betonu aż o 15 do 34% w porównaniu z płytą pełną tej samej wysokości przy założeniu jednakowej wartości naprężeń w przekroju.

Przy dociepleniu stropu BD uzyskujemy maksymalnie 7% oszczędności w zużyciu styropianu w stosunku do docieplenia stropu żelbetowego pełnego.

Niecelowe wydaje się zastąpienie w stropie BD przestrzeni powietrznych wkładami styropianowymi, ponieważ nie powiększa to istotnie izolacyjności cieplnej stropu.

LITERATURA

- [1] BubbleDeck Voided Slab Solution. Technical Manual and Documents. June 2008. [dostęp: 1 grudnia 2011]. Dostępny w Internecie: <<http://www.bubbledeck-uk.com/>>
- [2] Guðmundur Björnson: BubbleDeck Two Way Hollow Deck. September 2003. [dostęp: 1 grudnia 2011]. Dostępny w Internecie: <<http://www.bubbledeck-uk.com/>>
- [3] Fixing tests for BubbleDeck [dostęp: 1 grudnia 2011]. Dostępny w Internecie: <http://www.fischer.co.uk/PortalData/18/Resources/fixing_systems/services/_documents/2009-09-16-BubbleDeck_Report.pdf>
- [4] BubbleDeck Presentation [dostęp: 1 grudnia 2011]. Dostępny w Internecie: <<http://www.bubbledeck-uk.com/>>
- [5] PN-EN ISO 6946:2008: Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

THE COMPARISON OF REINFORCED CONCRETE SLAB AND BUBBLEDECK SLAB

The paper concerns comparison between material consumption of two floor slabs kinds: plain reinforced concrete slab and BubbleDeck. Types of structures as well as technology of construction are shortly described. In this comparison concrete consumption and consumption of thermal insulation material are also considered.

Keywords: reinforced concrete slab, BubbleDeck slab, material consumption, thermal insulation