

# Badania płyt betonowych zbrojonych prętami z włókien bazaltowych

Różne produkty kompozytowe zawierające włókna węglowe, szklane, aramidowe czy bazaltowe są stosowane w konstrukcjach żelbetonowych już nie tylko do wzmacniania jako taśmy lub maty, lecz również w postaci prętów do zbrojenia betonu. W niniejszym artykule opisano badania dwu serii płyt betonowych zbrojonych prętami z kompozytu zawierającego włókna bazaltowe. Uzyskane wyniki umożliwiają porównanie zachowania się zginanych płyt z bazaltowym zbrojeniem kompozytowym i płyt żelbetonowych.

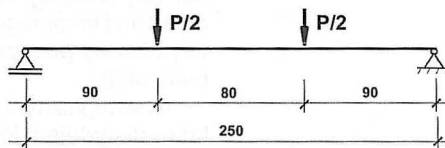
## Badania płyt jednoprzęsłowych

• **Opis płyt i sposobu prowadzenia badań.** Wykonano dwie identyczne płyty o wymiarach 2900×900×80 mm (rys. 1), zbrojone dołem sześcioma prętami z kompozytu zawierającego włókna bazaltowe średnicy 12 mm (procent zbrojenia  $\rho = 1,16\%$ ). Pręty miały, zgodnie z danymi dostawcy, wytrzymałość na rozciąganie 1100 MPa, a moduł sprężystości 90 GPa.

Do wykonania elementów badawczych przewidziano beton klasy C30/37. Podany w ostatniej kolumnie tablicy kwantyl 5% wytrzymałości na ściskanie jest nominalną miarą wytrzymałości charakterystycznej betonu. Jego wartość znacznie przekraczała zadeklarowaną

przez producenta wytrzymałość betonu.

Płyty badano jako swobodnie podparte, obciążone dwiema jednakowymi siłami skupionymi (rys. 2), przy czym siłę zwiększano skokowo co 1,00 kN (w początkowej fazie) lub co 2,00 kN (w końcowej fazie). Wyczerpanie nośności nastąpiło z uwagi na miażdżenie betonu w strefie ściskanej.



Rys. 2. Schemat statyczny płyt jednoprzęsłowych

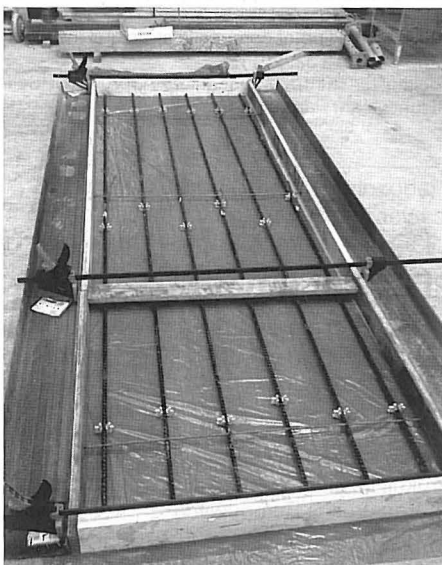
## • Wyniki badań i ich analiza.

Z uwagi na to, że moduł sprężystości prętów bazaltowych (przyjęto 90 GPa) jest ponad dwukrotnie mniejszy od modułu sprężystości stali budowlanej (200 GPa), spodziewano się osiągnięcia znacznych ugięć badanych elementów. Wyniki pomiaru ugięć płyt w środku rozpiętości w funkcji siły  $P/2$  podano na rys. 3. Widoczny jest niemal idealnie prostoliniowy przebieg ugięć w funkcji obciążenia, a jedynie początkowe załamania wykresów pokrywają się dokładnie z momentami zarysowania płyt. Ugięcia płyt wyniosły około 170 mm, tj. 1/15 roz-

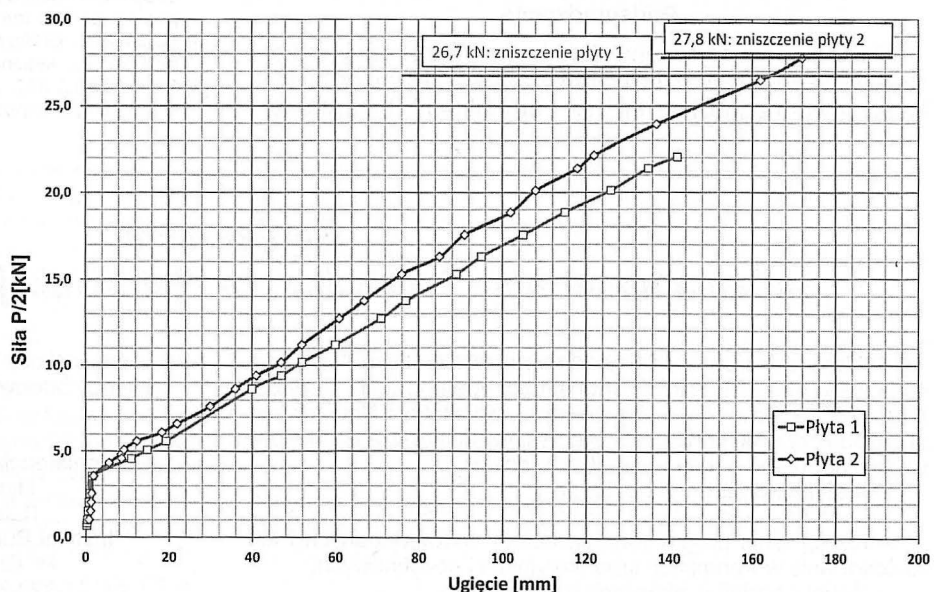
piętości. Warto przy tym wspomnieć, że po odciążeniu płyty zachowały się sprężyste, w dużym stopniu powracając do stanu wyjściowego. Ugięcie trwałe po odciążeniu wyniosło około 35 mm, co stanowiło nieco ponad 20% ich całkowitego ugięcia.

W każdej z płyt zainstalowano po trzy czujniki tensometryczne, usytuowane na trzech różnych prętach, w połowie rozpiętości elementów. Umożliwiło to wyznaczenie średnich odkształceń prętów zbrojeniowych i wzajemne porównanie w przypadku obu badanych płyt. Na rysunku 4 przedstawiono przebieg pomierzonych odkształceń zbrojenia bazaltowego obu płyt w zależności od obciążenia. Wszystkie tensometry obydwu płyt odkształcały się w przybliżeniu liniowo.

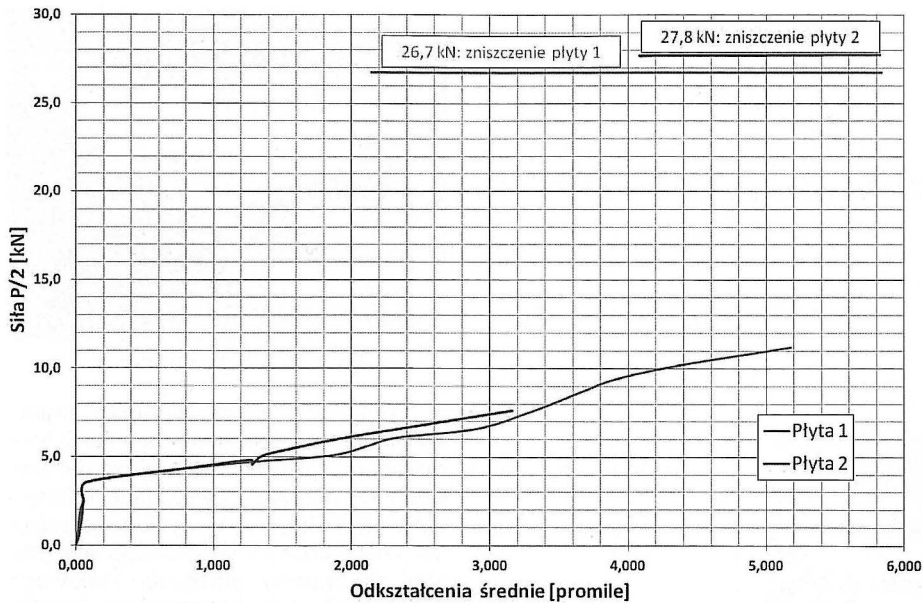
W celu obliczeniowego wyznaczenia naprężeń w prętach przyjęto (według danych producenta): wytrzymałość prętów bazaltowych 1100 MPa oraz moduł sprężystości 90 GPa. Przy takich założeniach maksymalnym pomierzonym odkształceniem (od 5 do 6‰) odpowiadają naprężenia około 500 MPa, a więc zaledwie 50% nominalnej wytrzymałości prętów. W rzeczywistości naprężenia były jednak większe. Po osiągnięciu niespełna połowy siły niszczącej tensometry przestawały funkcjonować z powodu zbyt dużych odkształceń.



Rys. 1. Płyta jednoprzęsłowa przed zabetonowaniem



Rys. 3. Wyniki pomiarów ugięć płyt jednoprzęsłowych



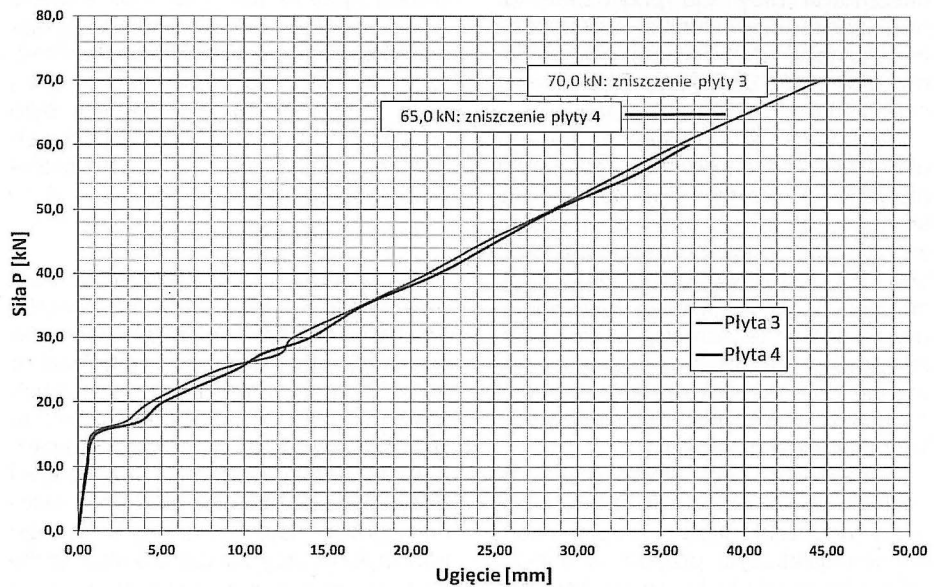
Rys. 4. Średnie odkształcenia prętów zbrojeniowych płyt jednoprzęsłowych

### Badania płyt dwuprzęsłowych

• **Opis ciał badawczych i sposobu prowadzenia badań.** Badano dwie płyty o wymiarach 3600×900×80 mm, zbrojone dołem i górną nad podporami 11 prętami  $\phi$  8 mm ( $\rho = 0,94\%$ ). Rzeczywista średnica zastosowanych prętów z kompozytu bazaltowego różniła się od średnicy nominalnej i wynosiła około 7 mm. Wyniki badań próbek walcowych 15/30 cm podano w tablicy. Beton spełniał z zapasem założone wymagania klasy C30/37.

Płyty badano jako dwuprzęsłowe, obciążone dwiema jednakowymi siłami skupionymi (rys. 5 i 6). W jednej z badanych płyt zbrojenie podporowe wprowadzono w przęsła na długość 50 cm (płyta nr 3), natomiast w drugiej – jedynie 40 cm (płyta nr 4).

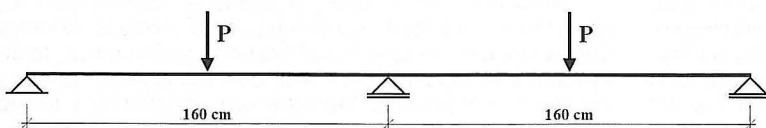
Wyniki pomiaru ugięć płyt w środku rozpiętości w funkcji siły  $P$  podano na



Rys. 7. Wyniki pomiarów ugięć płyt dwuprzęsłowych

### Wyniki badania wytrzymałości betonu

Seria badawcza	Wytrzymałość średnia $f_{cm} \phi_{15/30}$ , MPa	Odchylenie standardowe, MPa	Współczynnik zmienności, %	Kwantyl 5% wytrzymałości na ściskanie, MPa
Płyty jednoprzęsłowe	42,00	1,52	3,61	39,52
Płyty dwuprzęsłowe	41,08	1,95	4,75	37,88



Rys. 5. Schemat statyczny płyt dwuprzęsłowych

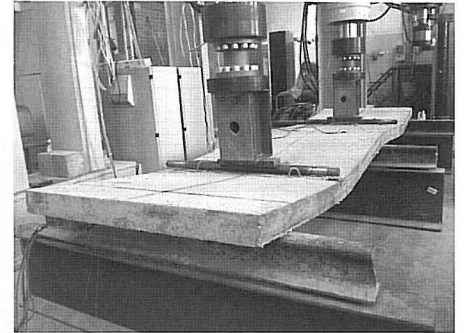
7. Widoczne załamania wykresów ugięć pokrywają się z zaobserwowanymi momentami zarysowania płyt. Ciężar płyt wyniosły około 40 mm, tj. rozpiętości.

W każdej z płyt przyjęto po dziewięć punktów tensometrycznych, usytuowa-

nych w dwóch przęsłach i na podporze pośredniej, na trzech różnych prętach wybranych na szerokości płyty: w środku jej szerokości oraz w pobliżu obydwu krawędzi. Taki dobór punktów pomiarowych pozwolił na wyznaczenie średnich odkształceń prętów zbrojeniowych

w analizowanych przekrojach i wzajemne porównanie w przypadku obu badanych płyt.

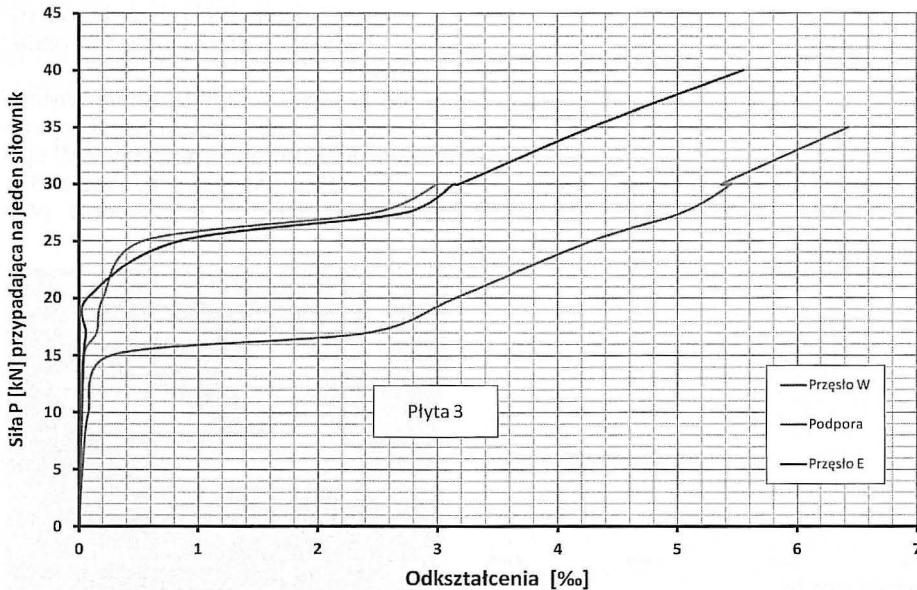
Na rysunku 8 przedstawiono wykresy średnich odkształceń w zbrojeniu w zależności od obciążenia płyty. W opisie przekrojów przęsłowych określono je jako wschodnie (E) i zachodnie (W),



Rys. 6. Płyta nr 3 na stanowisku badawczym

zgodnie z lokalizacją laboratorium. Przedstawione krzywe dotyczą średnich odkształceń prętów. Zgodnie z oczekiwaniami, odkształcenia prętów w przekrojach podporowych były większe w poszczególnych krokach obciążenia niż odkształcenia w przekrojach przęsłowych. Obydwa przekroje przęsłowe (wschodni i zachodni) wykazywały zbliżone wyężenia.

Podobnie jak w płytach jednoprzęsłowych, wszystkie tensometry płyt dwuprzęsłowych odkształcały się w miarę zgodnie, w przybliżeniu liniowo. Od odkształcenia około 3‰ zwiększało się ono nieznacznie, z zachowaniem liniowej zależności odkształceń od przyłożonej siły. Także i w tych przypadkach odczyty tensometrów sięgały 6‰. Po osiągnięciu tych odkształceń tensometry traciły zdolność do pomiaru. Moment ten



Rys. 8. Średnie odkształcenia prętów zbrojeniowych płyty dwuprzęsłowej nr 3

następował przy sile przyłożonej do pojedynczego siłownika wynoszącej (w zależności od płyty i od punktu pomiarowego) od 30 do 50 kN, odpowiadającej od 43 do 77% siły niszczącej.

Wykonano też badania na rozciąganie osiowe dwóch próbek pręta zbrojeniowego o rzeczywistej pomierzonej średnicy około 7 mm. Stwierdzono wytrzymałość prętów bazaltowych około 900 MPa oraz moduł sprężystości około 40 GPa. W tym kontekście było widoczne, że dopóki tensometry zachowywały zdolność do pomiaru, w żadnym z prętów nie doszło do wyczerpania nośności; osiągnięte naprężenia odpowiadały 30% ich nominalnej nośności.

Niszczenie płyt dwuprzęsłowych następowało w sposób dość gwałtowny przez zniszczenie strefy ściskanej w betonie w najślabszym przęśle, w miejscu zakończenia górnych prętów podporowych (rys. 9). Różnice w sposobie niszczenia obydwu płyt wynikały głównie z faktu, że w płycie nr 4 zastosowano

krótsze pręty na podporach niż w płycie nr 3 i właśnie ich wcześniejsze odspojenie od betonu zdecydowało o wcześniejszym (i gwałtowniejszym) zniszczeniu tej płyty. Następnym tego procesu było ostatecznie złamanie prętów dolnych i częściowe (w płycie nr 3) lub też całkowite przełamanie się przęsła.

#### Podsumowanie

Mechanizm niszczenia płyt w obydwu seriach badawczych odpowiadał kruchemu miążdżeniu betonu w strefie ściskanej. Wartości ugięć były bardzo duże. Z tego względu w praktycznych zastosowaniach tego rodzaju płyt można się spodziewać, że o nośności elementów zbrojonych prętami bazaltowymi decydować będzie głównie jakość betonu i sposób zakotwienia prętów. Z tego też względu przy zastosowaniach praktycznych należałoby rozważyć przyjęcie ewentualnego dodatkowego częściowego współczynnika do betonu, uwzględniającego ten fakt.



Rys. 9. Płyta nr 3 po zniszczeniu

Wyjątkowo duże wartości ugięć, związane ze stosunkowo niewielkim modułem sprężystości prętów bazaltowych (co najmniej dwukrotnie niższym niż prętów stalowych), wykluczają zastosowanie zbrojenia bazaltowego jako prostej alternatywy zbrojenia stalowego w konstrukcjach żelbetowych. Zmniejszenie ugięć można by uzyskać wprowadzając przez znaczne przebrojenie zginanych elementów żelbetowych prętami bazaltowymi, ale wówczas walory ekonomiczne kompozytowych prętów bazaltowych stracą na znaczeniu.

Zdecydowanie atrakcyjniejszym obszarem zastosowania zbrojenia bazaltowego w konstrukcjach wydają się być konstrukcje poddane obciążeniom udarowym. Ugięcie przebadanych elementów, choć niezwykle duże, miało charakter sprężysty. Wydaje się, że omawiane konstrukcje mogłyby być stosowane jako elementy ochronne barier drogowych lub płyty fasadowe budynków narażonych na obciążenia udarowe [2].

#### PIŚMIENNICTWO

- [1] PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [2] Starr C.M., Krauthammer T.: Cladding-Structure Interaction under Impact Loads. „ASCE Journal of Structural Engineering”, 8/2005.

## XXXVI Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu i Geoinżynierii

Konferencja odbędzie się w dniach **11-15 marca 2013 roku w Kudowie Zdrój**. Organizatorami są: Instytut Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej, Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Centrum Badawczo-Rozwojowe KGHM Cuprum, Polski Komitet Geotechniki – oddział Dolnośląski oraz Polskie Towarzystwo Mechaniki Skal. Przewodniczącym Komitetu naukowego jest prof. dr hab. inż. *Ryszard J. Izbiński*, a Komitetu Organizacyjnego – prof. dr hab. inż. *Dariusz Łydźba*.

Program konferencji obejmuje wykłady monograficzne zaproszonych specjalistów oraz prezentacje referatów uczestników konferencji, których celem jest integracja specjalistów przemysłu i środowisk naukowo badawczych, stworzenie możliwości uaktualnienia i pogłębienia posiadanego zasobu wiedzy, prezentacja aktualnych problemów mechaniki górotworu i geoinżynierii oraz wymiana doświadczeń przedstawicieli nauki i praktyki górniczej oraz geotechnicznej.

**Tematyka konferencji:** zagadnienia stateczności wyrobisk górniczych i budowli geotechnicznych, modele konstytutywne geomateriałów, metody numeryczne w geotechnice, teoretyczne i praktyczne aspekty konstrukcji geoinżynierskich, procesy dynamiczne w górotworze, budownictwo podziemne i tunelowanie, badania doświadczalne i ich interpretacja, prognozowanie i zwalczanie zagrożeń naturalnych w górnictwie i geotechnice, nowe materiały i technologie w geoinżynierii, zastosowania SIP/GIS w geoinżynierii.

#### Adres Komitetu Organizacyjnego

Instytut Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej  
Plac Grunwaldzki 9, 50-377 Wrocław  
tel.: 71-320-32-28, fax: 71-328-48-14  
<http://zsmgig.pwr.wroc.pl>, e-mail: [zsmgig@pwr.wroc.pl](mailto:zsmgig@pwr.wroc.pl)