

# Mechanika

z. 105

Nr 354/2015

IX ŚRODOWISKOWE  
WARSZTATY DOKTORANTÓW  
POLITECHNIKI OPOLSKIEJ

Zeszyty Naukowe



**Opole – Pokrzywna 2015**  
13–15 maja 2015

## SPIS TREŚCI

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TADEUSZ ŁAGODA, STANISŁAW WITCZAK                                                                                                 |    |
| Przedmowa .....                                                                                                                   | 7  |
| DŹULIAN AGREST                                                                                                                    |    |
| Koncepcja badań do wyznaczenia współczynnika skali przy zginaniu<br>obrotowym .....                                               | 9  |
| DOMINIKA ANTCZAK                                                                                                                  |    |
| Kierunki zagospodarowania obszarów zdegradowanych działalnością<br>kopalni węgla brunatneg .....                                  | 13 |
| MARTA BOGDAN-CHUDY                                                                                                                |    |
| Wyznaczenie temperatury na styku pary trybologicznej .....                                                                        | 17 |
| EWELINA BÖHM                                                                                                                      |    |
| Kumulacja uszkodzeń zmęczeniowych dla obciążeń blokowych<br>z wykorzystaniem pamięci materiału .....                              | 21 |
| AGNIESZKA BOK                                                                                                                     |    |
| Interpretacja modelu materiałowego na przykładzie równania<br>Johnsona–Cooka .....                                                | 23 |
| AGNIESZKA BUŁKA                                                                                                                   |    |
| Analiza techniki i technologii wykonania zabytkowych okuć .....                                                                   | 25 |
| ROMAN CHUDY                                                                                                                       |    |
| Wpływ parametrów technologicznych na energochłonność toczenia żeliwa<br>sferoidalnego .....                                       | 29 |
| MARIUSZ CZABAK                                                                                                                    |    |
| Analiza spadku sztywności eksperymentalnej belki zespolonej na<br>podstawie wieloetapowych badań statycznych i dynamicznych ..... | 33 |
| IZABELA D. CZABAK-GÓRSKA                                                                                                          |    |
| Wykorzystanie analizy błędów grubych oraz krzywych Johnsona<br>w metodzie Six Sigma .....                                         | 37 |
| BEATA CZAPŁA                                                                                                                      |    |
| Numeryczna symulacja opływu generatora wirów<br>w przepływomierzu wirowym metodą DNS .....                                        | 41 |
| RAFAŁ CZOK                                                                                                                        |    |
| Analiza możliwości odzysku energii w pojeździe roboczym .....                                                                     | 45 |
| JOANNA DRATWA                                                                                                                     |    |
| Koncepcja stanowiska do badania wrzenia wody w kanałach poziomych .....                                                           | 49 |
| SEBASTIAN FASZYŃKA                                                                                                                |    |
| Wpływ współczynnika asymetrii cyklu na rozwój pęknięć zmęczeniowych<br>w próbkach poddanych zginaniu .....                        | 53 |
| WALDEMAR FEDAK                                                                                                                    |    |
| Możliwości zastosowania turbiny wiatrowej VAWT .....                                                                              | 57 |
| WOJCIECH GANCARSKI                                                                                                                |    |
| Moc turbiny wiatrowej typu VAWT oraz czynniki na nią wpływające .....                                                             | 61 |



**MARIUSZ CZABAK**

Wydział Budownictwa  
Katedra Fizyki Materiałów

## **ANALIZA SPADKU SZTYWNOŚCI EKSPERYMENTALNEJ BELKI ZESPOLONEJ NA PODSTAWIE WIELOETAPO- WYCH BADAŃ STATYCZNYCH I DYNAMICZNYCH**

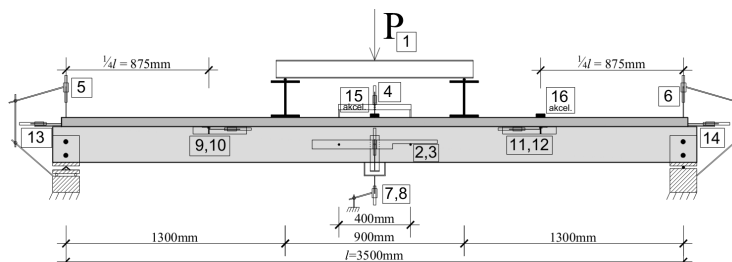
**Abstract:** The article presents the experimental study on the stiffness performance of composite T cross-section wood-concrete beam. A 4-point bending test stand armed with 13 LVDT sensors and 2 accelerometers was prepared for the purposes of the experiment. The multistep test allowed to collect data (either on the basis of static and dynamic tests) on the basis of what a development of structural damage in the beam could be observed indirectly.

### **WSTĘP**

Eksperymentalne analizy konstrukcji pozwalają na weryfikację stawianych tez i dają możliwość porównania założeń modeli matematycznych z rzeczywistym zachowaniem układów. Celem prezentowanej pracy jest m.in. porównanie wyników badań statycznych i dynamicznych czteropunktowo zginanej, drewniano-żelbetowej belki zespolonej w kontekście możliwości, jakie dają te badania przy ocenie zmian globalnej sztywności układu na skutek postępującego jej uszkodzenia w wyniku działania naprężeń. Wyniki badań statycznych i dynamicznych podobnych konstrukcji można znaleźć również w literaturze światowej – np. w [1,2]. Nie mniej jednak w większości przypadków autorzy skupiają się na jednym aspekcie badania (statyka lub dynamika). Natomiast przeprowadzony eksperyment przez autora niniejszego artykułu pozwala na dokonanie bardziej kompleksowej analizy konstrukcji.

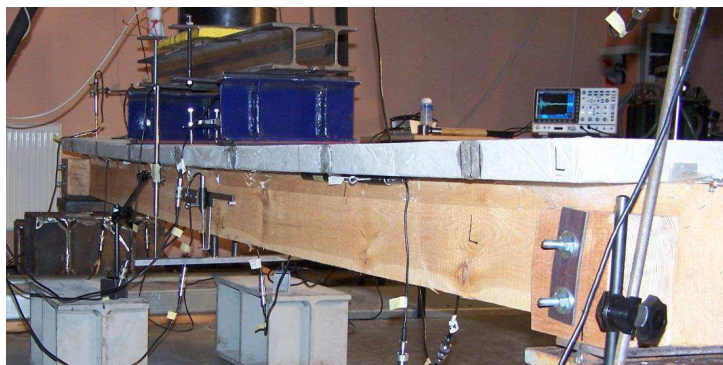
### **STANOWISKO BADAWCZE**

Do badania wykorzystana została zbudowana na potrzeby doświadczenia teowa belka zespolona z drewna i betonu. Gabaryty żebra drewnianego przyjęto porównywalne w stosunku do typowych przekrojów belek drewnianych wykorzystywanych powszechnie w budownictwie mieszkalnym (100mm x 200mm). Z kolei przekrój płyty betonowej (50mm x 300mm) dobrano tak, aby usytuowanie osi obojętnej przekroju zespolonego znalazło się jak najbliżej styku warstw i jednocześnie szerokość efektywna  $b_{eff}$  płyty (np. wg [3]) była równa rzeczywistej. W rezultacie zapewniono optymalne, pod względem wytrzymałości i sztywności, wykorzystanie użytych materiałów. Zespolenie obu warstw wykonano przy użyciu wkrętów do drewna SK 8,0x100/60/10. Szczegółowy opis konstrukcji wraz z rozmieszczeniem łączników można znaleźć w [4]. Stanowisko badawcze w tym rozmieszczenie wszystkich czujników pokazano schematycznie na rys 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego z numeracją zastosowanych czujników.

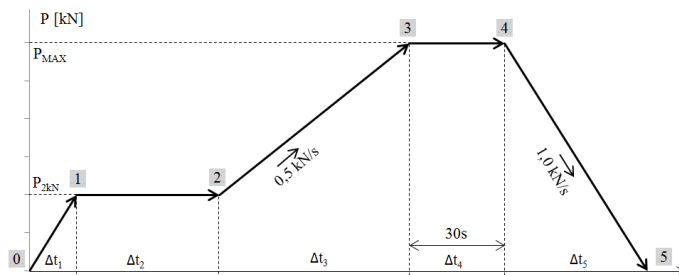
Do wyznaczenia przebiegów funkcji siły względem przemieszczeń układu wykorzystane zostały czujniki LVDT do mierzenia przemieszczeń pionowych nad podporami (5,6) i w środku rozpiętości elementu po obu stronach przekroju (7,8), czujniki (9-14) do pomiaru poślizgu płyty względem żebra oraz czujnik siły (1). Z kolei umieszczone na potrzeby badań dynamicznych akcelerometry (15,16) połączono z oscyloskopem. W pełni uzbrojone stanowisko badawcze prezentuje rys. 2.



Rys. 2. Zdjęcie w pełni uzbrojonej belki.

## PRZEBEG DOŚWIADCZENIA

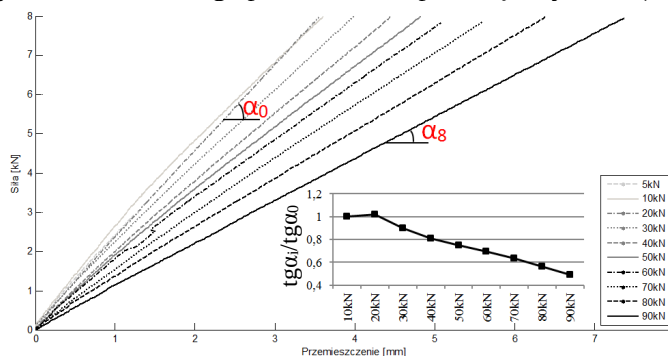
Badana belka obciążana było wieloetapowo. Początkowo, w celu stabilizacji konstrukcji, została ona próbnie obciążona siłą 5kN. Następnie kolejno przykładano obciążenie  $P$  o przebiegu jak na rys. 3, zwiększając za każdym razem jego maksymalną wartość  $P_{\max}$  o 10kN (aż do zniszczenia elementu) poczynawszy od wartości  $P_{\max}=10\text{kN}$  i mierząc w trakcie przemieszczenia. W trakcie okresów oznaczonych jako  $\Delta t_1$  i  $\Delta t_2$  weryfikowano działanie wszystkich układów pomiarowych, a następnie systematycznie zwiększano siłę z prędkością 0,5kN/s, aż do osiągnięcia zakładanej siły maksymalnej. Układ pozostawał obciążony przez 30s ( $\Delta t_4$ ), po czym następowało jego pełne odciążenie z prędkością 1kN/s. Pomiędzy poszczególnymi etapami, po zdjęciu trawersu (widocznego na rys. 1 i 2), mierzono przyspieszenia drgań swobodnych wzbudzanych słabymi uderzeniami młotkiem.



Rys. 3. Schemat obciążania belki.

## WYNIKI BADAŃ STATYCZNYCH

Zobrazowanie stopnia degradacji (spadku sztywności) belki spowodowanej mikro- i makrospekami płyty betonowej, zmęczeniem styku, nadwyrężeniem włókien drewna itp. najkorzystniej prezentują zależności siły od przemieszczenia (rys. 4), zmierzone w trakcie okresu  $\Delta t_3$ . Jako miarę spadku sztywności całej belki można przyjąć m.in. tangens kąta nachylenia prostych, otrzymanych przez dopasowanie z metody najmniejszych kwadratów do pomierzonych eksperymentalnie zależności siła od ugięcia w środku rozpiętości belki (rys. 4). Błąd dopasowania poszczególnych prostych (względem wszystkich punktów pomiarowych) wynosił średnio maksymalnie ok. 0.4%. Analizując poniższe wykresy można łatwo zaobserwować sukcesywny spadek sztywności oraz fakt, że po obciążeniu elementu na poziomie ok. 90% nośności sztywność zastępcza spadła praktycznie o połowę. Podobne jakościowo wyniki uzyskano, porównując z poszczególnych etapów wzajemne poślizgi płyty betonowej i żebra drewnianego pomierzone za pomocą czujników (9-14).



Rys. 4. Wycinki zmierzonych ugięć belki w funkcji siły w kolejnych etapach obciążania i wykres zmiany tangensa kąta nachylenia prostych aproksymujących względem wartości początkowej.

## WYNIKI BADAŃ DYNAMICZNYCH

Po każdym etapie obciążania prowadzone były badania dynamiczne, na podstawie których określono częstotliwości drgań swobodnych układu. Widoczne w tab. 1 spadki częstotliwości wiążą się, podobnie jak w przypadku ugięć, z postępującymi uszkodzeniami struktury belki. Ponadto uwidacznia się

wrażliwość kolejnych częstotliwości na spadki sztywności układu. Pierwsza i druga częstotliwość okazały się najmniej podatne, a istotne ich zmiany można odczytać dopiero po powstaniu pierwszej widocznej makrorysy w płycie betonowej (po obciążeniu  $P_{\max}=60\text{kN}$ ). Natomiast im odczytywana częstotliwość była wyższa tym jej względne zmiany były większe.

**Tabela 1.** Tabela zmian kolejnych częstotliwości drgań swobodnych po każdym z etapów obciążania.

| $P_{\max}$<br>Częstotliwość | 5kN   | 10kN  | 20kN  | 30kN  | 40kN  | 50kN  | 60kN  | 70kN  | 80kN  |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $f_{(1)}$ [Hz]              | 24,49 | 24,49 | 24,49 | 24,49 | 24,49 | 24,49 | 24,49 | 18,37 | 16,33 |
| $f_{(2)}$ [Hz]              | 69,39 | 69,39 | 69,39 | 69,39 | 67,35 | 65,31 | 65,31 | 44,9  | 42,86 |
| $f_{(3)}$ [Hz]              | 132,7 | 132,7 | 132,7 | 130,6 | 126,5 | 126,5 | 126,5 | 124,5 | 122,4 |
| $f_{(4)}$ [Hz]              | 181,6 | 181,6 | 179,6 | 181,6 | 169,4 | 169,4 | 169,4 | 151   | 146,9 |
| $f_{(5)}$ [Hz]              | 255,1 | 253,1 | 251   | 255,1 | 216,3 | 214,3 | 210,2 | 210,2 | 204,1 |
| $f_{(6)}$ [Hz]              | 314,2 | 312,2 | 308,2 | 310,2 | 306,1 | 302   | 300   | 295,9 | 293,9 |
| $f_{(7)}$ [Hz]              | 373,5 | 369,4 | 367,3 | 367,3 | 363,3 | 359,2 | 355,1 | 353,1 | 351   |
| $f_{(8)}$ [Hz]              | 449   | 449   | 449   | 436,7 | 434,7 | 428,6 | 426,5 | 406   | 410,2 |
| $f_{(9)}$ [Hz]              | 540,8 | 532,7 | 530,6 | 528,6 | 526,5 | 526,5 | 498   | 479,6 | 471,4 |
| $f_{(10)}$ [Hz]             | 744,9 | 740,8 | 734,7 | 730,7 | 724,5 | 720,4 | 700   | 681,6 | 640,8 |
| $f_{(11)}$ [Hz]             | 861,2 | 853,1 | 849   | 842,9 | 836,7 | 822,4 | 783,7 | 742,9 | 712,2 |
| $f_{(12)}$ [Hz]             | 998   | 993,9 | 983,7 | 981,6 | 973,5 | 967,3 | 944,9 | 904,1 |       |

## WNIOSKI

O ile zmiany przemieszczeń z badań statycznych wykazują jednoznaczny spadek sztywności elementu, o tyle z badań dynamicznych uwidaczniają to dopiero zmiany wyższych częstotliwości drgań swobodnych. Ponieważ pomiar wyższych częstotliwości postaci drgań, nawet w warunkach laboratoryjnych, naraża wielu problemów, to na tej podstawie można stwierdzić, że wyniki pomiarów sztywności dostarczane przez metody analizy dynamicznej w przypadku analizowanego typu konstrukcji (dodatkowo w warunkach rzeczywistych o nieoczywistym schemacie podparcia, z warstwami wykończeniowymi itp.) mogą być obarczone znacznymi błędami.



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



*Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego*

## LITERATURA

- [1] GUTKOWSKI R., BROWN K., SHIGIDI A., NATTERER J.: Laboratory tests of composite wood-concrete beams, *Construction and Building Materials* 22 (2008), s. 1059-1066
- [2] RIJAL R., SAMALI B., SHRESTHA R., CREWS K.: Experimental and analytical study on dynamic performance of timber-concrete composite beams, *Construction and Building Materials* 75 (2015), s. 46-53
- [3] RUDZIŃSKI L.: Naprawy i wzmocnienia konstrukcji drewnianych, Kielce: Wydawnictwo PŚ w Kielcach, 2000
- [4] CZABAK M., PERKOWSKI Z.: Analiza eksperymentalna sztywności złączy w drewniano-żelbetowych belkach zespolonych na podstawie drgań własnych, *Roczniki Inżynierii Budowlanej – Zeszyt 13/2013*, Opole 2013, s. 53-56