

Zbigniew MAŃKO*
Artur DUCHACZEK

BADANIA NISKOCYKLOWE DWUTEOWNIKÓW STALOWYCH WYKORZYSTYWANYCH DO BUDOWY MOSTÓW NISKOWODNYCH CZ. II

Wstęp

W roku 2006 w WSOWL zrealizowano drugi etap pracy nt. „*Wyznaczanie trwałości eksploatacyjnej mostów wojskowych*” [1]. Podobnie jak w pierwszym etapie pracy obiektem badawczym były konstrukcje mostów niskowodnych, ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań konstrukcyjnych zaproponowanych w ramach projektu [2], a dotyczących mocowania dźwigarów głównych za pomocą śrub [2, 3]. W niniejszym artykule przedstawiono kolejną część wyników badań uzyskanych w trakcie realizacji projektu badawczego w roku 2006.

Rozwój hipotetycznego pęknięcia zmęczeniowego analizowany był przy założeniu, że otwory montażowe w rozciąganej strefie dźwigarów głównych, mimo że położone stosunkowo blisko osi obojętnej przekroju, są elementami narażonymi na powstanie w nich pęknięć zmęczeniowych, na co istotny wpływ ma sama technologia wykonania tych otworów w warunkach poligonowych.

Celem głównym niskocyklowych badań zmęczeniowych było sprawdzenie czy dźwigar główny przesła mostu niskowodnego mający uszkodzenia o ustalonych wymiarach przeniesie bezpiecznie określoną w obliczeniach zmęczeniowych liczbę cykli obciążenia o zadanej charakterystyce.

Jednym z elementów przeprowadzonych badań laboratoryjnych był pomiar prędkości rozwoju pęknięcia zmęczeniowego. Obserwacja rozwoju omawianego pęknięcia realizowana była jednocześnie metodą bezpośrednią, tj. za pomocą obserwacji przy wykorzystaniu lunetki powiększającej oraz metodami pośrednimi poprzez analizę ugięcia tego dźwigara, obserwację rozwarcia wykonanego nacięcia oraz odczyt wartości

* dr hab. inż. Zbigniew MAŃKO - prof. PWr. - Politechnika Wroclawska
kpt. mgr inż. Artur DUCHACZEK – Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych

odkształceń względnych uzyskanych z tensometrów elektrooporowych zamontowanych pod wierzchołkiem analizowanej szczeliny oraz na półkach badanego kształtownika.

Szczegółowe wyniki przeprowadzonych badań oraz analizy zaprezentowano w pracy [1], zaś w artykule [4] przedstawiono wnioski z badań doświadczalnych dotyczące propagacji pęknięcia zmęczeniowego, związane z bezpośrednią obserwacją rozwoju pęknięcia oraz analizą rozwarcia wykonanego nacięcia odczytywaną przy użyciu czujników indukcyjnych. Obecnie zaprezentowano analizy dotyczące wartości odkształceń względnych uzyskanych z tensometrów elektrooporowych zamontowanych pod wierzchołkiem analizowanej szczeliny oraz na półkach badanego kształtownika.

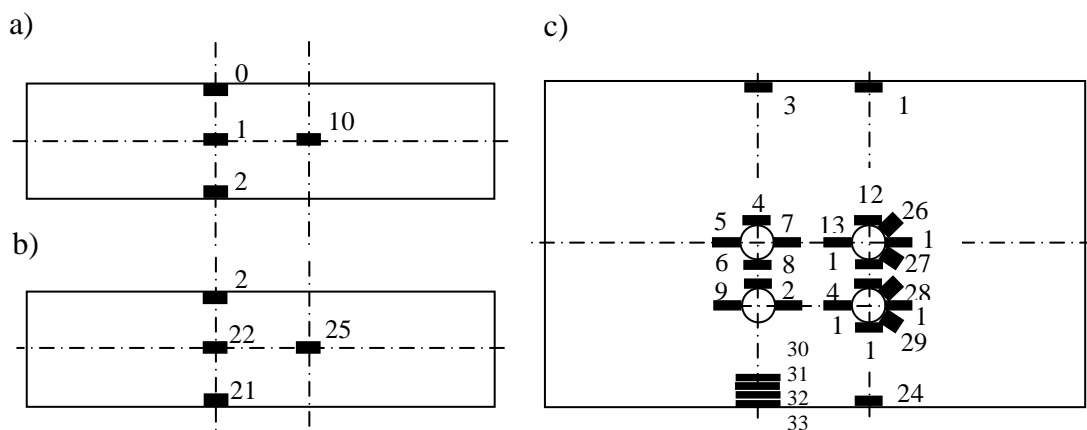
Stanowisko pomiarowe

W badaniach testowano dwuteownik zwykły IPN 400 mm wykonany ze stali S235JRG2 o długości całkowitej 5,60 m, co umożliwiło analizę pręseł o rozpiętości teoretycznej równej 5,00 m. Ze względu na fakt, że w warunkach polowych osoba odpowiedzialna za prawidłową eksploatację obiektu mostowego może stwierdzić uszkodzenie dźwigara głównego, jeżeli jego długość będzie na tyle duża, że będzie wystawać poza obszar przykryty blachą czołową stężenia poprzecznego, zatem do badań przyjęto pęknięcie o długości obliczeniowej równej 85 mm.

Na rysunku 1 zaprezentowano stanowisko badawcze zbudowane w Laboratorium Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, natomiast na rys. 2 przedstawiono rozmieszczenie poszczególnych tensometrów na badanym dwuteowniku.



Rys. 1. Widok stanowiska badawczego (wraz z dźwigarem stalowym) zbudowanego w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej [1]



Rys. 2. Rozmieszczenie tensometrów elektrooporowych w zasadniczej fazie badań doświadczalnych [1] na półkach dwuteownika: a) górnej, b) dolnej oraz c) środku

Przebieg obciążania

Wstępnie w trakcie badań doświadczalnych jako obciążenie graniczne, wynikające z przeprowadzonych obliczeń wytrzymałościowych, przyjęto obciążenie skupione o wielkości 330 kN. W trakcie inicjacji pęknięcia zweryfikowano jednak tę wielkość i obciążenie to nie przekraczało 320 kN.

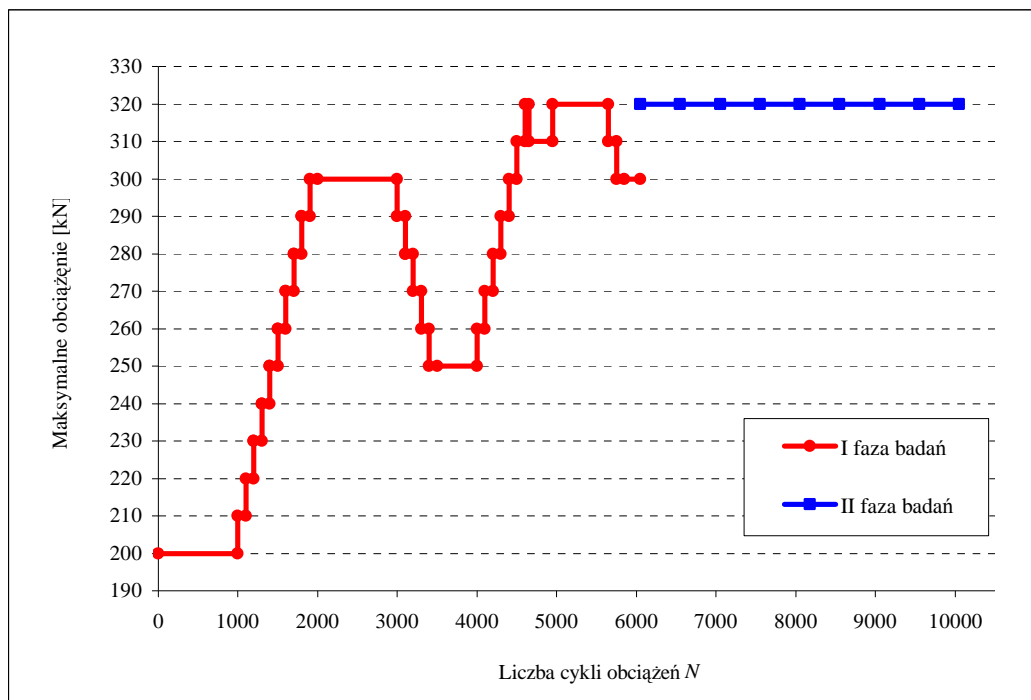
Przebieg obciążania podzielono na dwie zasadnicze części (rys. 3):

- I faza – wstępne testowanie obciążonej konstrukcji mające na celu weryfikację otrzymanych wielkości z wartościami obliczeniowymi oraz zainicjowanie pęknięcia;
- II faza – główny etap badań, tj. obserwacja rozwoju uszkodzenia (pęknięcia) w środku.

Wykres wielkości obciążeń w zależności od liczby cykli obciążeń N zaprezentowano na rys. 3. Wstępnie przyjęto założenie, że przejście na kolejny poziom obciążenia (wyższy lub niższy) odbywa się poprzez zmianę obciążenia o 10 kN w czasie kolejnych 100 cykli obciążeń. Etap inicjacji pęknięcia trwał przez 6000 cykli, natomiast etap propagacji rysy przez pozostałe 4000 cykli.

Przyjęto następujące parametry obciążania podczas przeprowadzonych badań:

- częstotliwość obciążenia 0,20 Hz,
- obciążenia o sinusoidalnym przebiegu,
- obciążenie minimalne 10 kN,
- obciążenie maksymalne 200–320 kN.



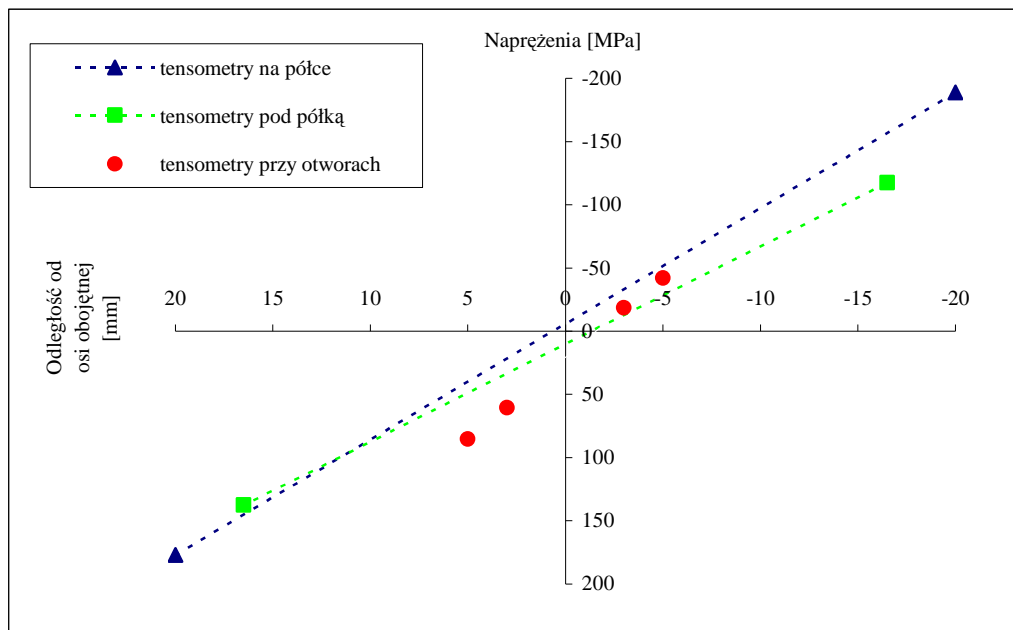
Rys. 3. Maksymalne poziome obciążenia przyjęte w czasie badań doświadczalnych

Przyjęcie wartości maksymalnego obciążenia o wielkości 320 kN wynikało z analizy danych na kolejnych niższych poziomach obciążania. Wybrane obciążenie powodowało widoczny przyrost pęknięcia, a jednocześnie nie powodowało „płynięcia” samego dźwigara głównego. Należy zaznaczyć, że na wybór wartości maksymalnego obciążenia miała również wpływ stosunkowo niewielka liczba cykli obciążenia N , jaką można było zrealizować w laboratorium, tj. 4000 cykli.

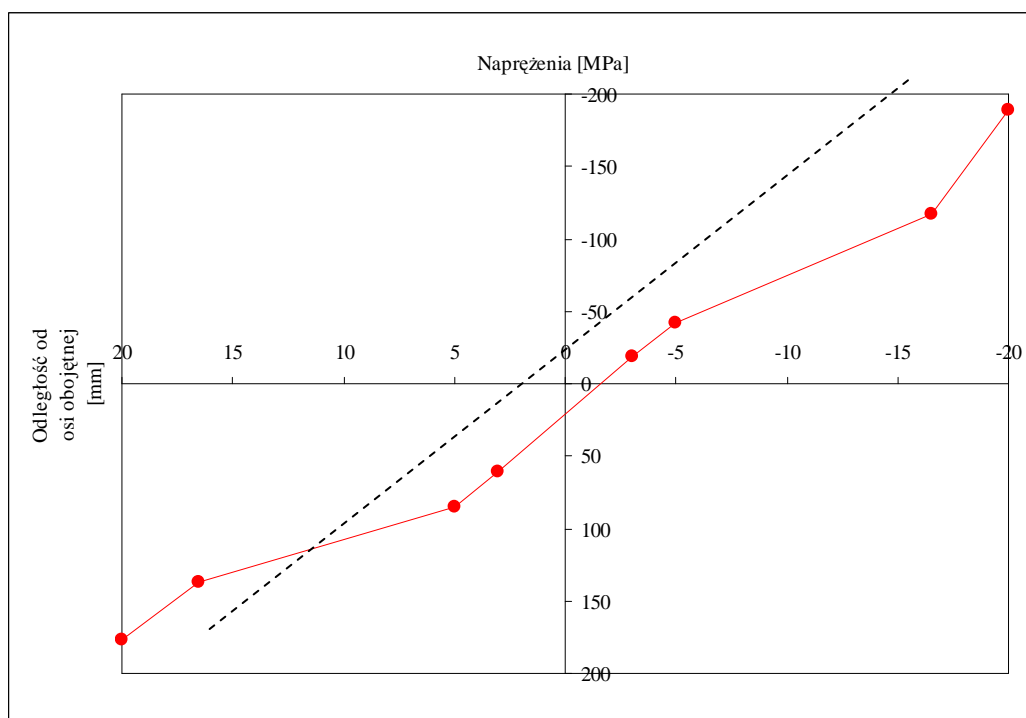
Wpływ wielkości nacięcia na rozkład naprężeń w dwuteowniku stalowym

W środku

Na rysunkach 4 i 5 zaprezentowano wpływ otworów montażowych na rozkład naprężeń normalnych w środku badanego dwuteownika stalowego. Na wykresach tych można zauważyć również wpływ przyłożonej siły skupionej, który wyraża się znaczną różnicą odkształceń jednostkowych zaobserwowanych na tensometrach umieszczonych na górnej półce kształtownika oraz na środku bezpośrednio pod nią.



Rys. 4. Wpływ nacięcia na rozkład naprężeń normalnych w środniku dwuteownika stalowego



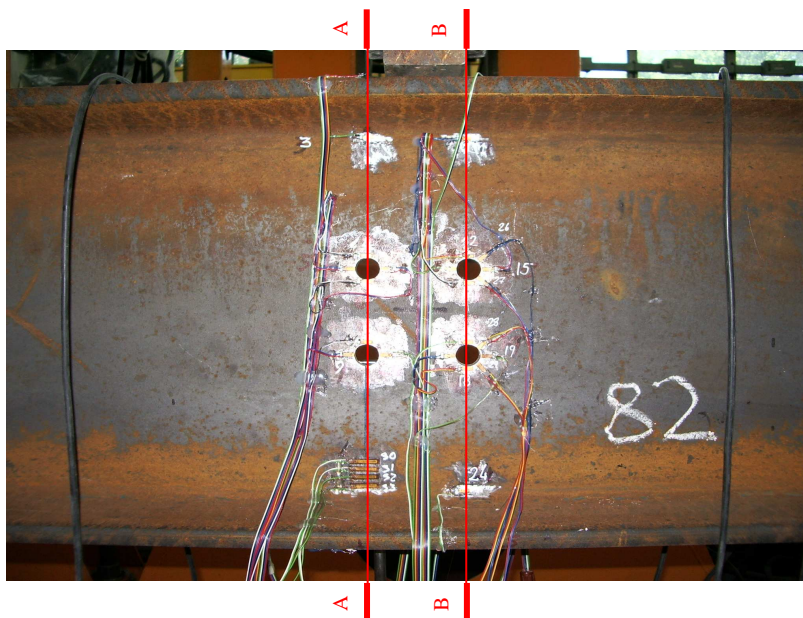
Rys. 5. Wpływ nacięcia na rozkład naprężeń normalnych w środniku dwuteownika stalowego

Wyniki przedstawione na tych wykresach potwierdziły, że otwory montażowe wykonane w strefie obojętnej przekroju dźwigara powodują znaczne zakłócenia w rozkładzie naprężeń normalnych w tej strefie. Wykres zamieszczony na rys. 5 wyraźnie

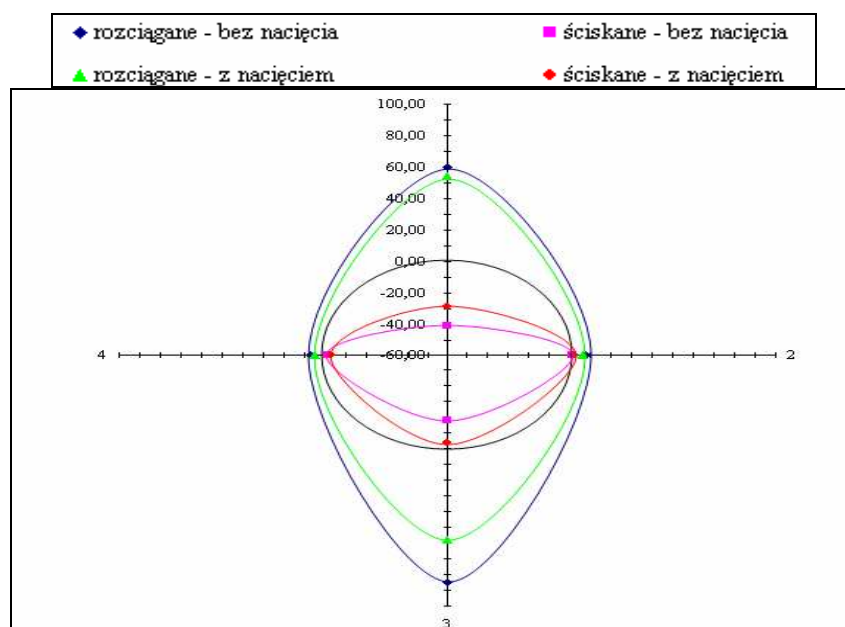
potwierdza fakt, że otwory montażowe w strefie rozciąganej środnika są istotnymi koncentratorami naprężeń.

W strefie otworów montażowych

Na rys. 7 przedstawiono wpływ nacięcia na rozkład naprężeń w strefie otworów montażowych. Zaprezentowany wykres odnosi się tylko do otworów niebędących w osi analizowanego pęknięcia zmęczeniowego, tj. przekroju B-B na rys. 6.



Rys. 6. Rozmieszczenie otworów montażowych w środniku dwuteownika



Rys. 7. Wpływ wielkości nacięcia na rozkład naprężeń normalnych w strefie otworów montażowych (przekrój B-B na rys. 6)

Z analizy wykresów przedstawionych na rys. 7 wynika, że wykonane nacięcia w przekroju A–A powoduje zmniejszenie naprężeń w okolicy otworów montażowych w przekroju B–B. Szczególnie dużą różnicę naprężeń stwierdzono w strefie rozciąganej środnika na wysokości wykonanego nacięcia.

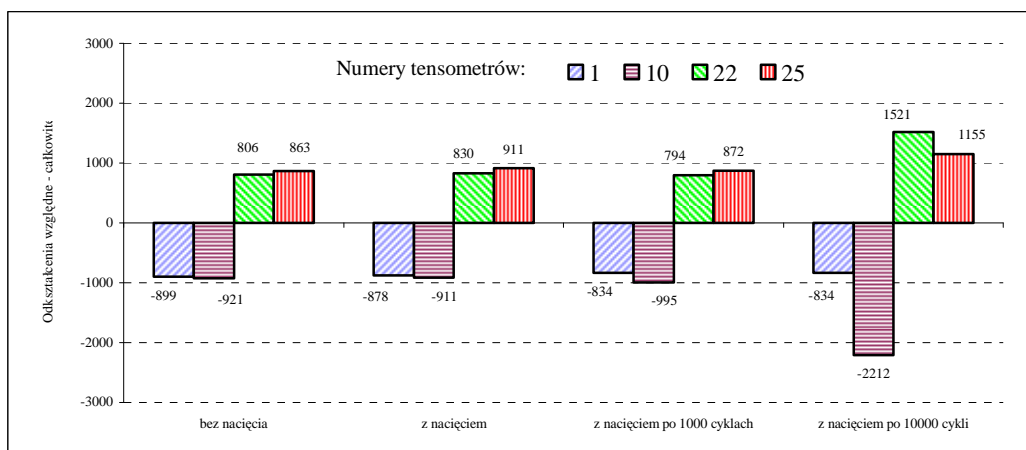
Na półkach dwuteownika stalowego

Na rysunkach 8–9 przedstawiono wpływ wielkości nacięcia na rozkład naprężeń na półkach dwuteownika stalowego. W analizie uwzględniono tylko wybrane tensometry umieszczone na dolnej (nr 22 i 25) i górnej (nr 1 i 10) półce kształtownika (rys. 2). Wielkości odkształceń jednostkowych względnych podano w $[\mu/m]$.

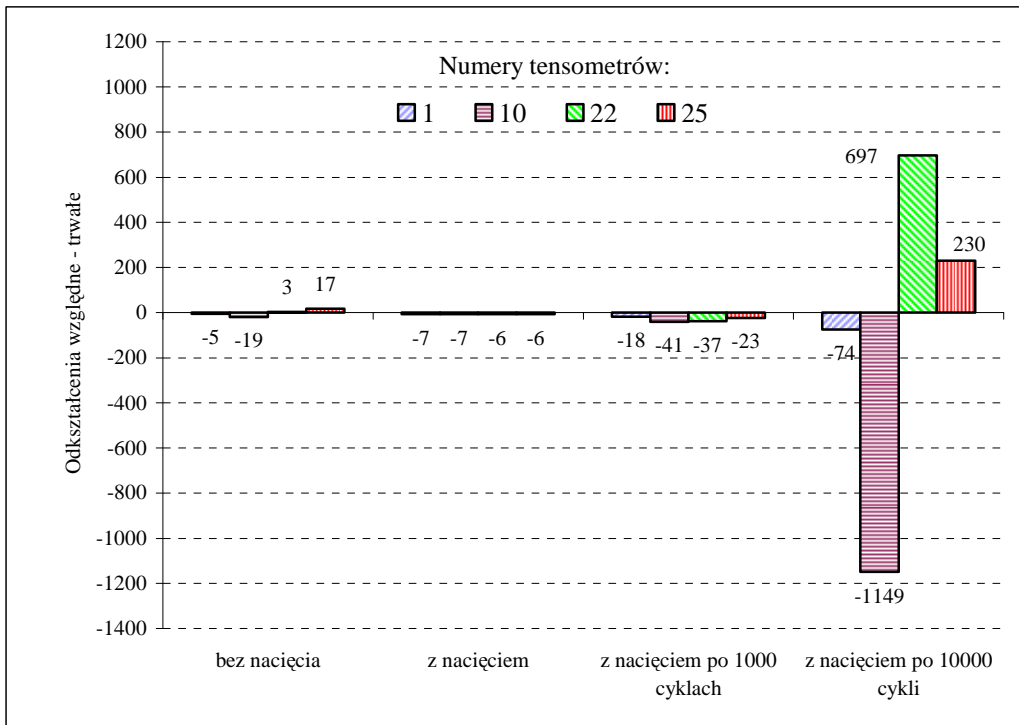
Po analizie danych zaprezentowanych na rys. 8 stwierdzono, że największe odkształcenia całkowite wystąpiły w tensometrach nr 22 (pod nacięciem na dolnej półce) i nr 10 (górną półką – nie w osi nacięcia). Wielkość odkształceń na tensometrze nr 22 świadczy o wpływie wykonanego nacięcia na rozkład naprężeń w badanym kształtowniku. Charakter odkształceń w miejscu lokalizacji tensometru nr 22 oraz w środniku bezpośrednio pod nacięciem są zgodne z wynikami prowadzonych analiz przy użyciu programu ROBOT, które zostaną przedstawione w końcowym opracowaniu z tegorocznego etapu badań.

Duże wartości odkształceń występujących na tensometrze nr 10 spowodowane są zachowaniem się dźwigara pod wpływem bezpośredniego obciążenia. Obciążenie dźwigara siłą skupioną powoduje jego ugięcie, a przez to przemieszczenie końców dźwigara i zmianę jego kształtu. To natomiast powoduje względną zmianę położenia tensometru nr 10 w stosunku do miejsca przyłożenia siły skupionej. Ze względu na stosunkowo duże wartości tej siły, naciski powierzchniowe występujące w miejscu przyłożenia siły powodują wystąpienie znacznych odkształceń rejestrowanych na tensometrze nr 10.

Powyższe rozważania potwierdza również analiza wykresów zaprezentowanych na rys. 9, gdzie omawiana sytuacja jest jeszcze wyraźniej widoczna. Na wykresie tym zaobserwowano również znaczne wartości odkształceń trwałych w części dwuteownika znajdującej się pod propagowaną szczeliną, tj. w tensometrze nr 22.

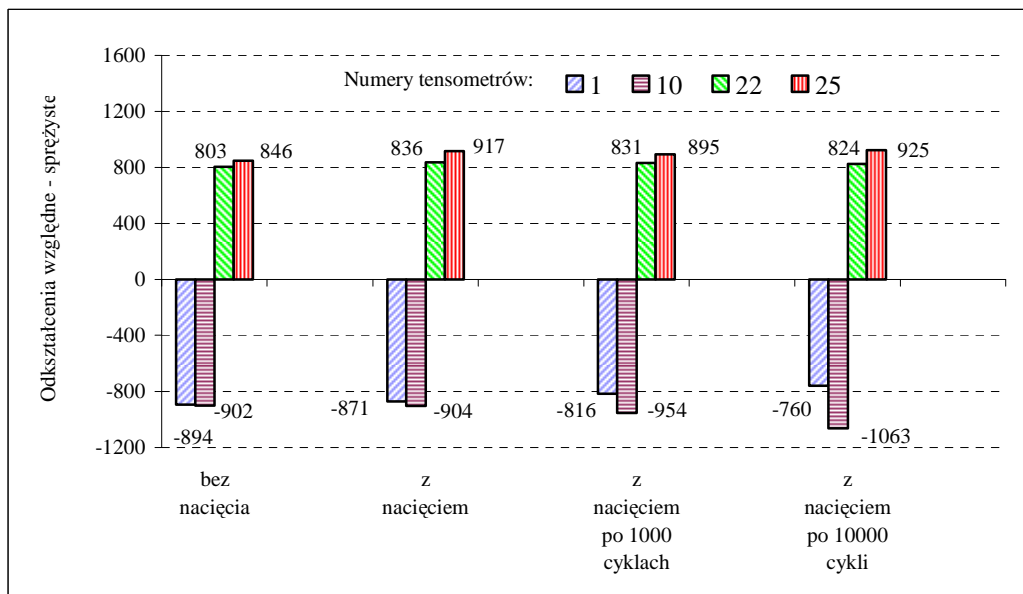


Rys. 8. Wpływ wielkości nacięcia na rozkład odkształceń całkowitych na półkach dwuteownika stalowego



Rys. 9. Wpływ wielkości nacięcia na rozkład odkształceń trwałych na półkach dwuteownika stalowego

Zmiana krzywizny ugięcia dźwigara, a przez to przemieszczenie tensometrów nr 10 i 25 w kierunku działania siły skupionej jest szczególnie widoczna również na rys. 10, gdzie zostały przedstawione wartości odkształceń sprężystych, tzn. bez uwzględnienia odkształceń trwałych.



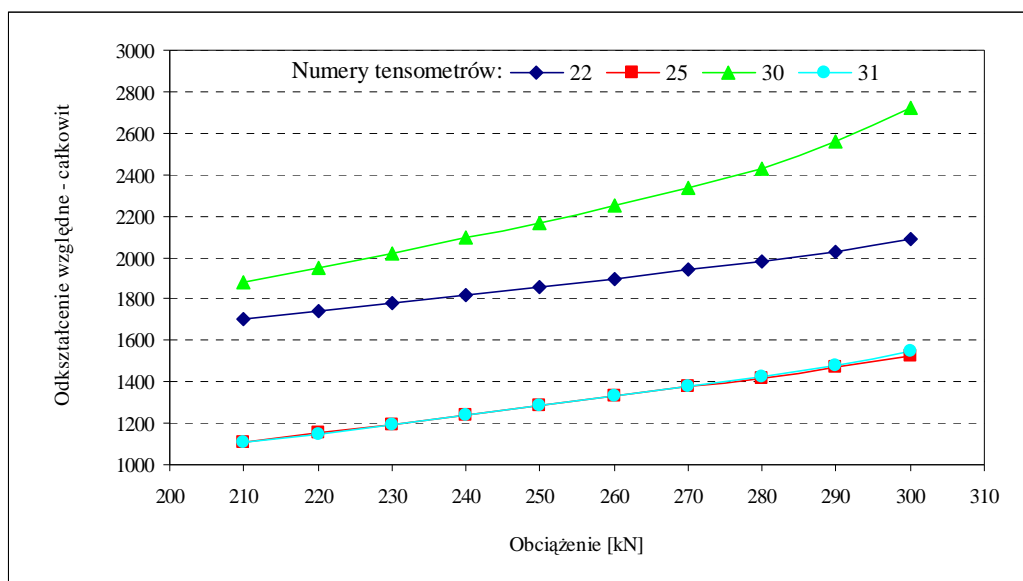
Rys. 10. Wpływ wielkości nacięcia na rozkład odkształceń sprężystych na półkach dwuteownika stalowego

Wpływ liczby cykli obciążenia na wielkość odkształceń jednostkowych w badanym dźwigarze

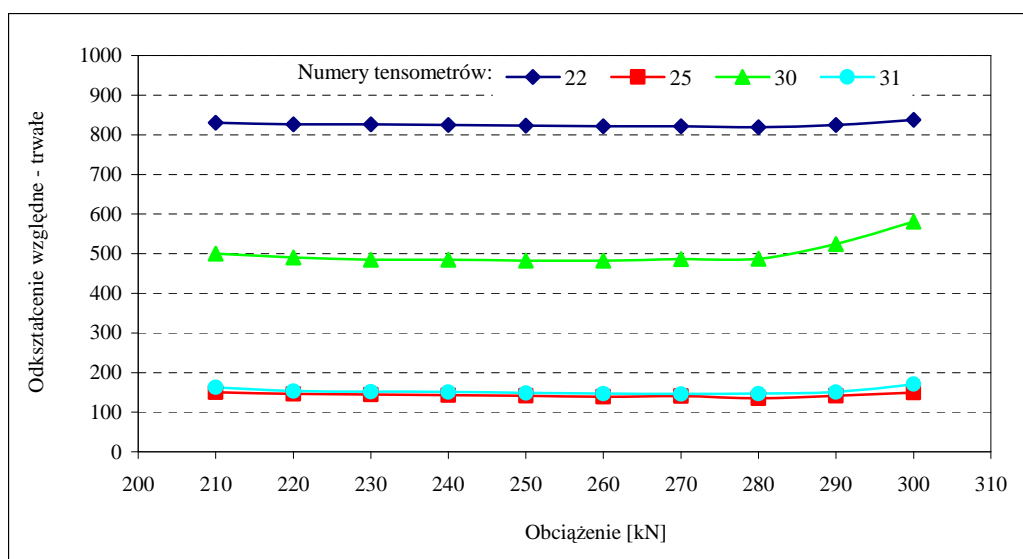
Analiza odkształceń powstałych w dźwigarze po 1000 cyklach obciążenia

Na rysunkach 11–13 zaprezentowano wpływ obciążenia na wartość odkształceń jednostkowych w wybranych miejscach badanego dźwigara. Do analizy wybrano następujące tensometry:

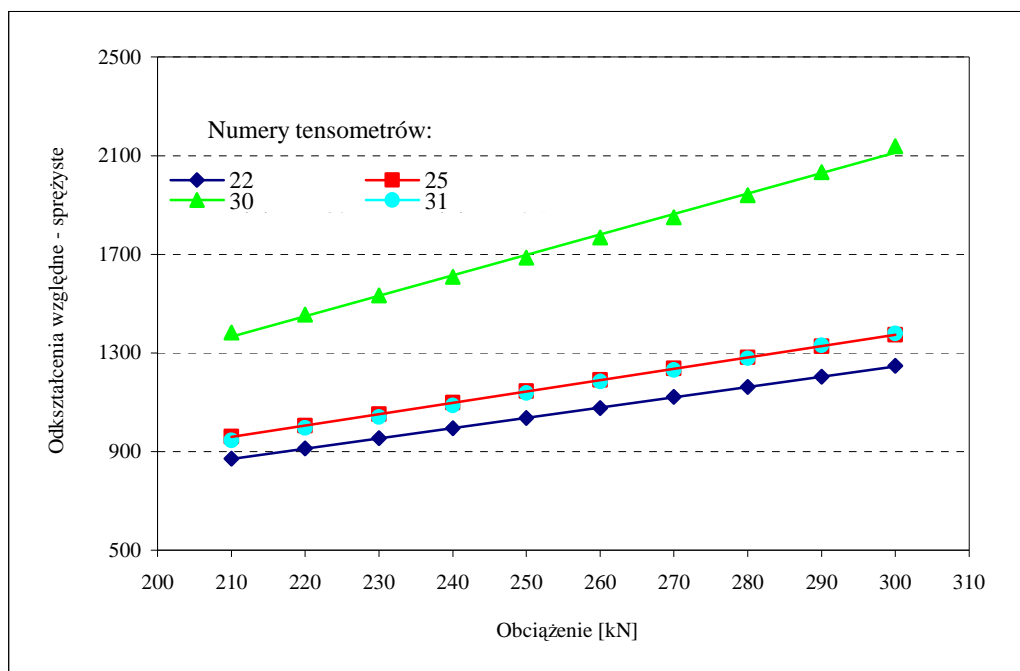
- nr 22 i 25 – znajdujące się na półce rozciąganej oraz
- nr 30 i 31 – ułożone bezpośrednio pod nacięciem.



Rys. 11. Wartości odkształceń całkowitych na wybranych tensometrach po 1000 cyklach obciążenia



Rys. 12. Wartości odkształceń trwałych na wybranych tensometrach po 1000 cyklach obciążenia



Rys. 13. Wartości odkształceń sprężystych na wybranych tensometrach po 1000 cyklach obciążenia

Pomiaru odkształceń jednostkowych dokonywano wielokrotnie, zwiększając obciążenie maksymalne od 200 do 300 kN (ze skokiem co 10 kN), przy czym na każdym poziomie dokonano 100 cykli obciążenia. Jednocześnie przed każdym nowym blokiem obciążeń dynamicznych dokonano pojedynczego obciążenia statycznego dźwigara obciążeniem od 0 do 300 kN, dokonując odczytów odkształceń, co 10 kN.

Z wykresów przedstawionych na rys. 11 wynika, że maksymalne wartości odkształceń całkowitych zaobserwowano na tensometrach nr 30 i 22, co było zgodne z przyjętymi założeniami.

Z analizy wykresów zaprezentowanych na rys. 12 wynika, że wartości odkształceń trwałych obserwowanych na tensometrze nr 30 zaczęły znacznie się zwiększać po przekroczeniu obciążenia 290 kN. Dla pozostałych tensometrów nie zaobserwowano jeszcze zdecydowanego przyrostu tych odkształceń.

Problematyczne stały się natomiast wskazania tensometru nr 22 dotyczące wartości odkształceń trwałych (rys. 12). Wartości tak dużych odkształceń trwałych spowodowany mógł być wcześniej przyłożonym pojedynczym obciążeniem statycznym o wartości 300 kN, które wywołało te odkształcenie lub możliwym tzw. „zawieszeniem” tensometru.

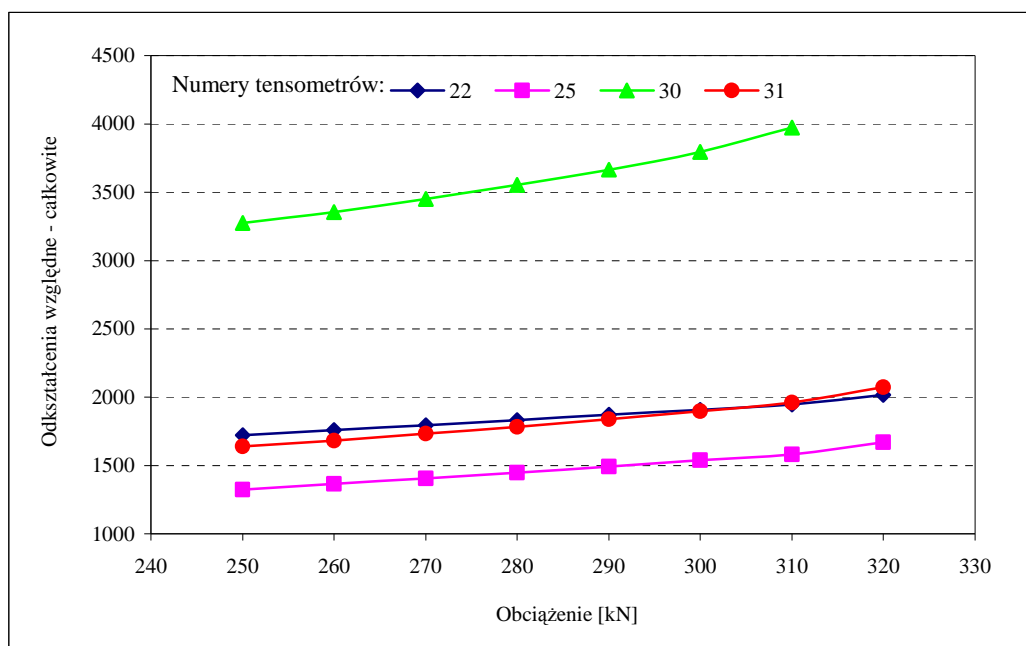
Z wykresów zaprezentowanych na rys. 13 wynika wyraźnie, że największe wartości odkształceń sprężystych wykazywane były na tensometrze nr 30, co oznacza, że największe naprężenia zaobserwowano bezpośrednio pod nacięciem (pęknięciem).

Analiza odkształceń jednostkowych powstałych w dźwigarze po 4000 cykli obciążenia

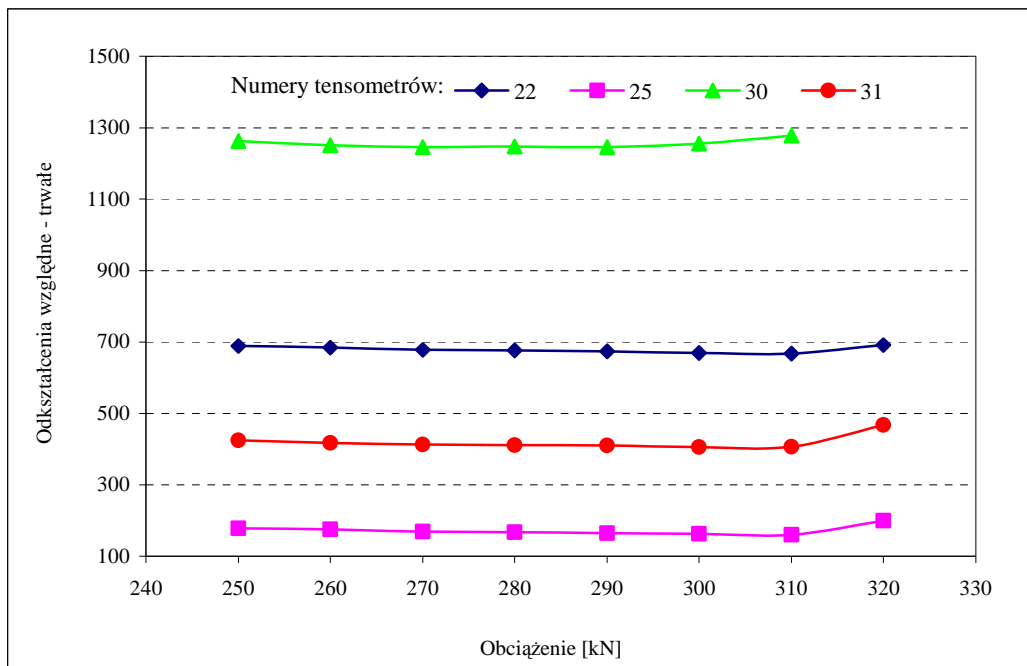
Na rysunkach 14–16 zaprezentowano wartości odkształceń jednostkowych również na tensometrach nr 22, 25, 30 i 31. Metodyka wykonanych odczytów wielkości odkształceń jednostkowych była identyczna jak wcześniej, pokazana na rys. 11–13. Analizując wykres zaprezentowany na rys. 3, przedstawiający plan badań, zauważa się, że badany dźwigar przepracował w międzyczasie już 3000 cykli obciążenia, przy czym ostatnie 1000 cykli było procesem jego odciążania (zejście z poziomu od 300 do 250 kN).

Na rysunku 14 stwierdzono uszkodzenie tensometru nr 30 przy maksymalnym obciążeniu 320 kN poprzez wcześniejsze zakończenie linii wykresu.

Analizując wykresy podane na rys. 14, zaobserwowano wzrost odkształceń całkowitych występujących na tensometrze nr 31, które przy obciążeniu 320 kN przekroczyły wartość odkształceń całkowitych na tensometrze nr 22. Świadczy to o wzroście odkształceń jednostkowych w wierzchołku szczeliny, a może nawet jej propagacji.

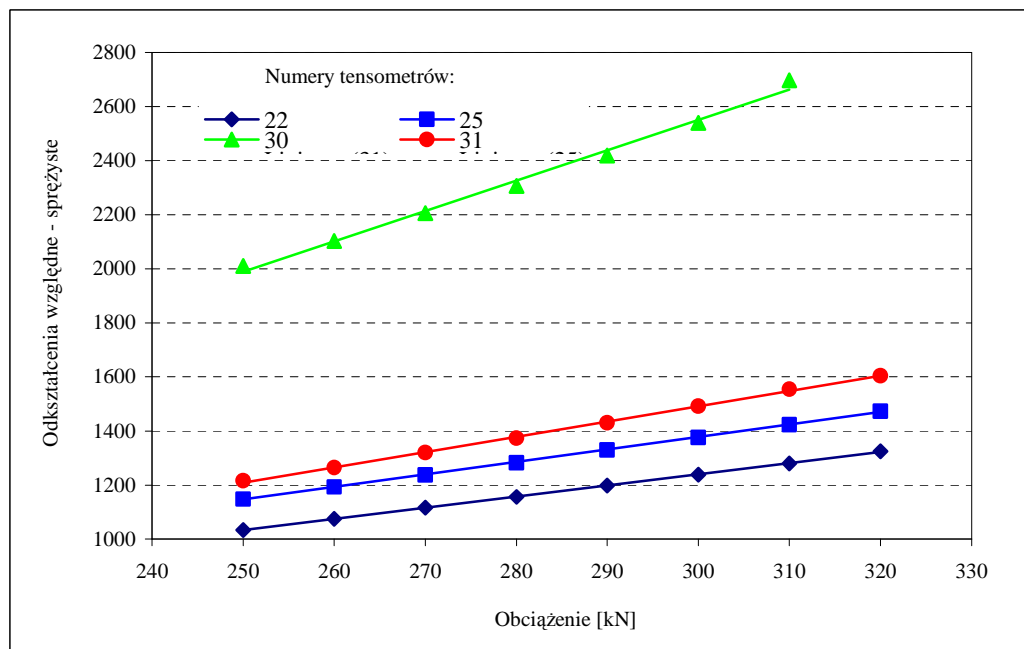


Rys. 14. Wartości odkształceń całkowitych na wybranych tensometrach po 4000 cykli obciążenia



Rys. 15. Wartości odkształceń trwałych na wybranych tensometrach po 4000 cykli obciążenia

Z analizy wykresów zaprezentowanych na rys. 15 wynika, że przy obciążeniu 320 kN znacznie wzrastały odkształcenia trwałe na wszystkich tensometrach. Analizując natomiast wykresy zaprezentowane na rys. 16, zauważa się nadal liniowy charakter przyrostu wartości odkształceń sprężystych, co jest uzasadnione charakterem przyjętego programu badań doświadczalnych.

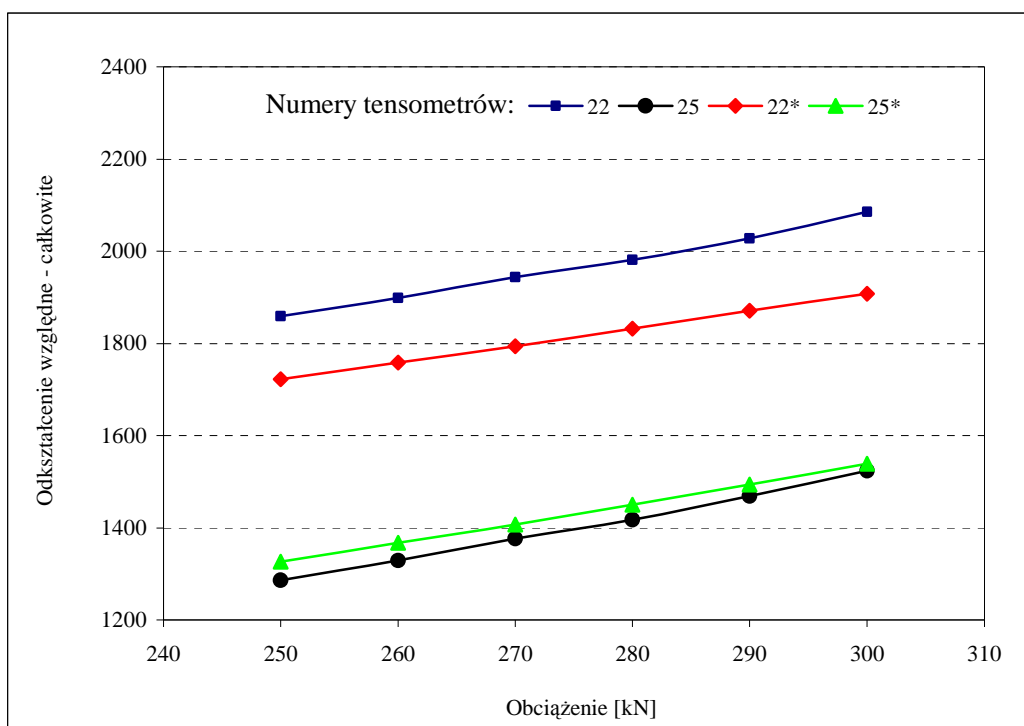


Rys. 16. Wartości odkształceń sprężystych na wybranych tensometrach po 4000 cykli obciążenia

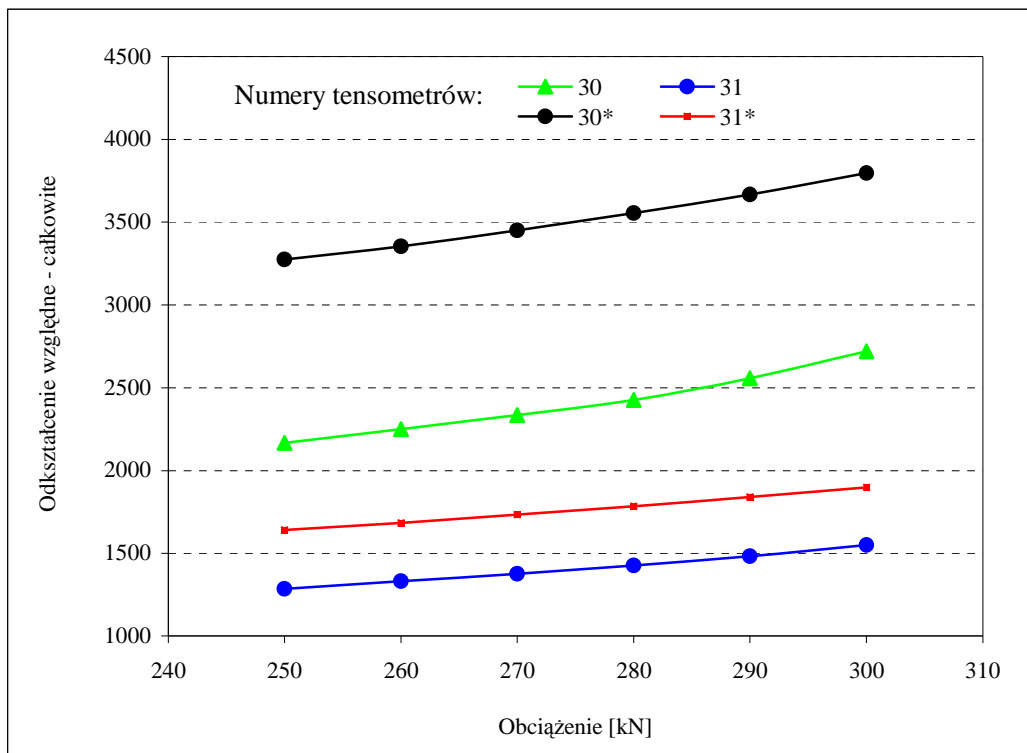
Aby lepiej zobrazować wpływ obciążeń dynamicznych na wartości odkształceń jednostkowych w badanym kształtowniku, na rys. 17–22 przedstawiono wartości tych odkształceń po 1000 i po 4000 cyklach obciążenia. Dla porównania przyjęto zakresy obciążenia od 250–300 kN. Na tych rysunkach przy użyciu symbolu „ * ” (gwiazdki) oznaczono odczyt na tensometrach po wykonaniu 4000 cykli obciążenia.

Z analizy wykresów pokazanych na rys. 17–18 wynika, że odkształcenie całkowite na tensometrze nr 22 zmniejszyło się, natomiast na tensometrze nr 25 nieznacznie tylko się zwiększyło. Sytuacja taka mogła być spowodowana zmianą kształtu dźwigara pod obciążeniem (zwiększenie krzywizny ugięcia tego dźwigara), a przez to przemieszczenie względne tensometru nr 22 w kierunku podpory lub wcześniejszym ewentualnym „zawieszeniem” tensometru.

Natomiast wartości odkształceń całkowitych na tensometrach nr 30 i 31 znacznie się zwiększyły, przy czym zaobserwowano, że było to odwrotnie proporcjonalne do odległości danego tensometru od wierzchołka szczeliny, co oznacza, że jeżeli tensometr był bliżej wierzchołka szczeliny, to przyrost odkształceń był większy.

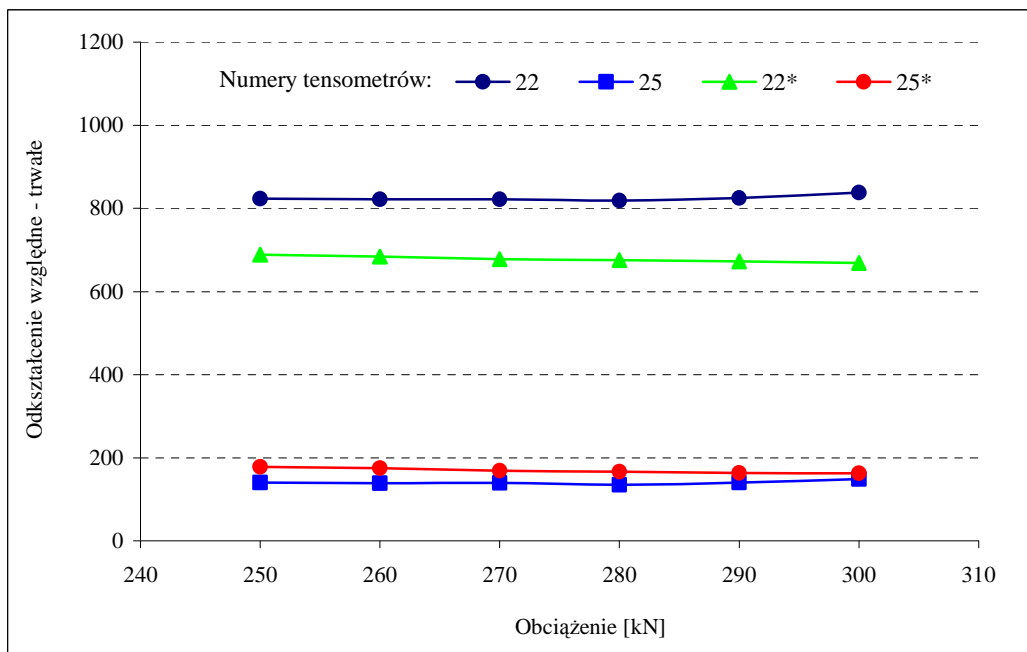


Rys. 17. Wartości odkształceń całkowitych na wybranych tensometrach

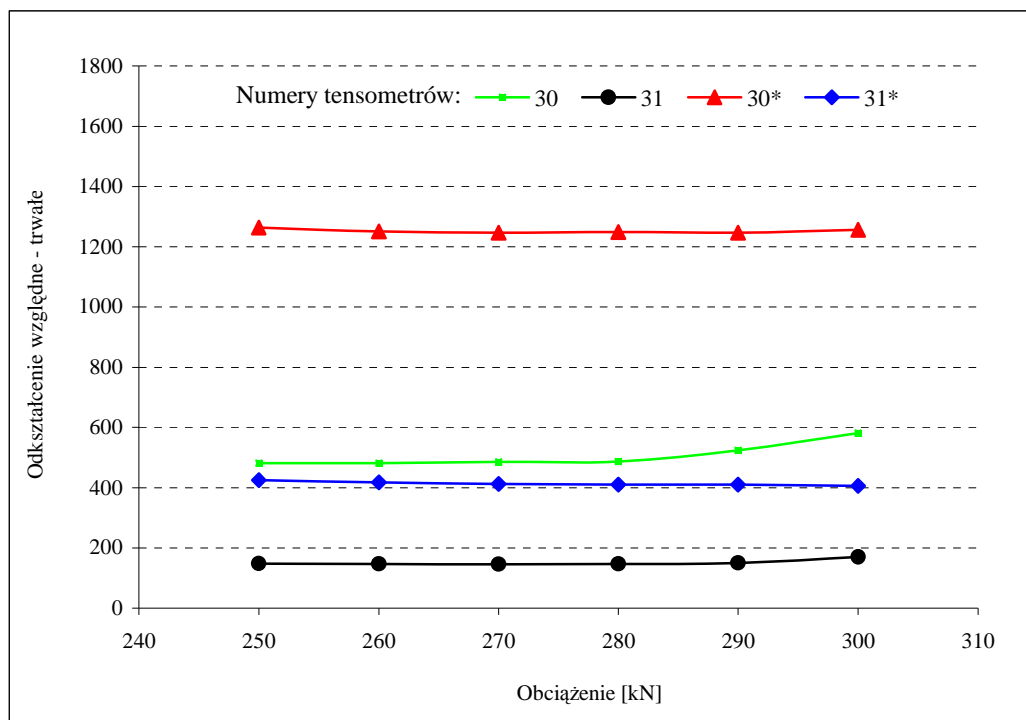


Rys. 18. Wartości odkształceń całkowitych na wybranych tensometrach

Na rysunkach 19 i 20 zaprezentowano wartości odkształceń trwałych na wybranych tensometrach nr 22, 25, 30 i 31. Z analizy tych wykresów wynika, że przebiegi mają taki sam charakter, jak wykresy odkształceń całkowitych przedstawione na rys. 17–18.



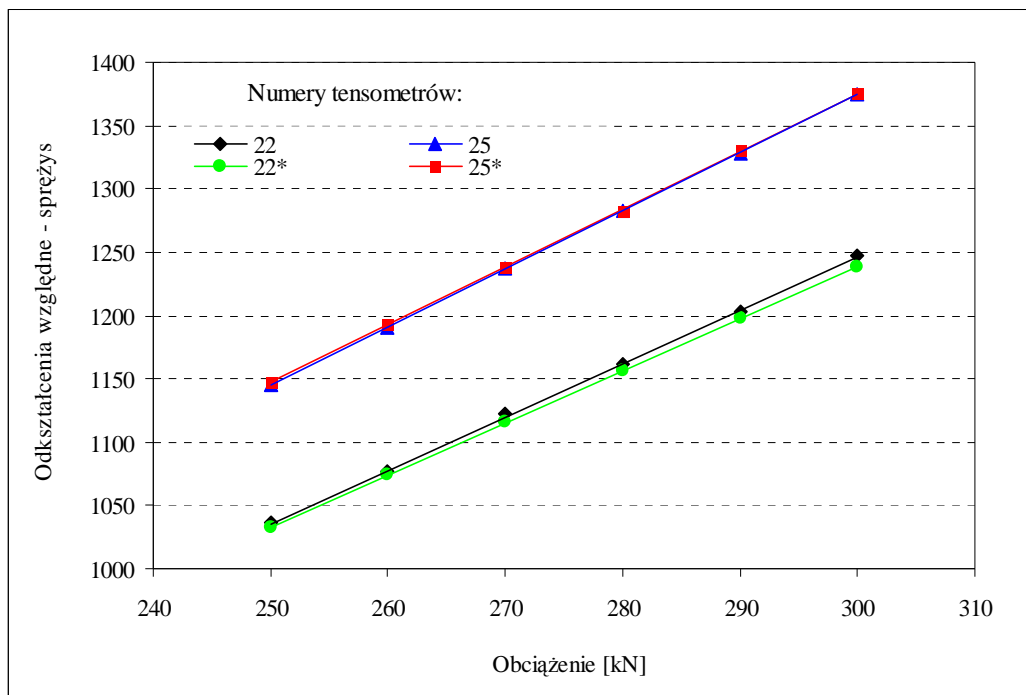
Rys. 19. Wartości odkształceń trwałych na wybranych tensometrach



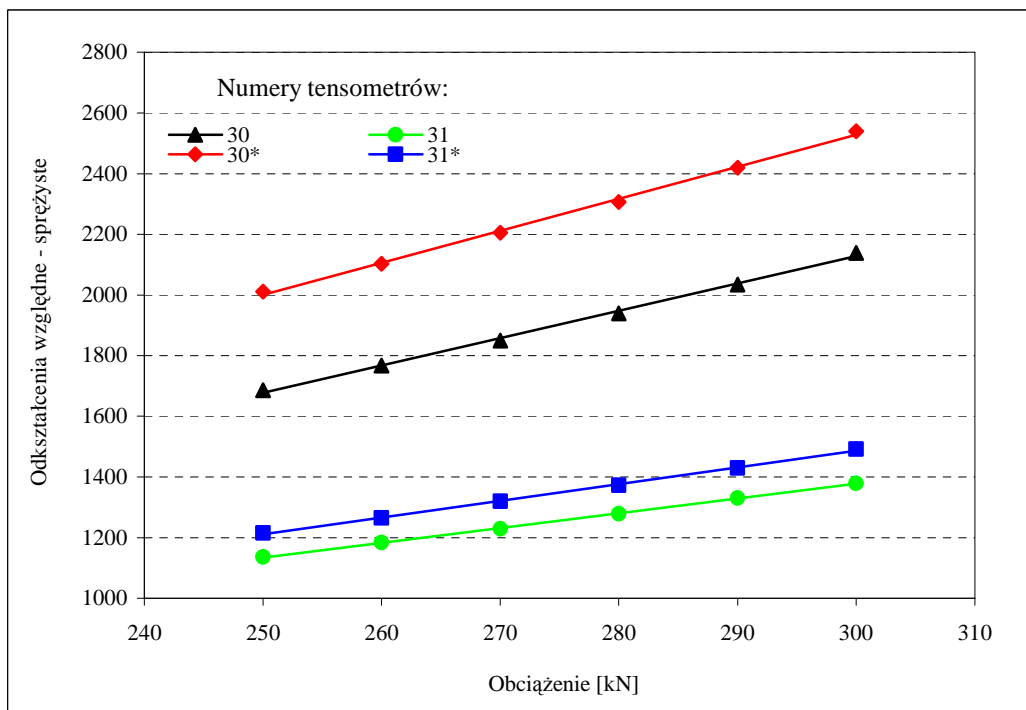
Rys. 20. Wartości odkształceń trwałych na wybranych tensometrach

Kolejnej analizie poddano wartości odkształceń sprężystych na wybranych tensometrach. Z wykresów pokazanych na rys. 21 wynika, że wartości odkształceń sprężystych na tensometrze nr 25 nie zmieniły się, natomiast na tensometrze nr 22 zmniejszyły się niewiele.

Rozkłady odkształceń sprężystych na tensometrach nr 30 i 31 zaprezentowane na rys. 22 miały identyczne charaktery jak wykresy pokazane na rys. 17 i 19. Przyrost odkształceń na tensometrach nr 30 i 31, tj. zwiększenie nachylenia prostej charakteryzującej wykres, świadczyć może o wpływie powstającego pęknięcia zmęczeniowego oraz o tzw. zmęczeniu materiału w wierzchołku szczeliny.



Rys. 21. Wartości odkształceń sprężystych na wybranych tensometrach

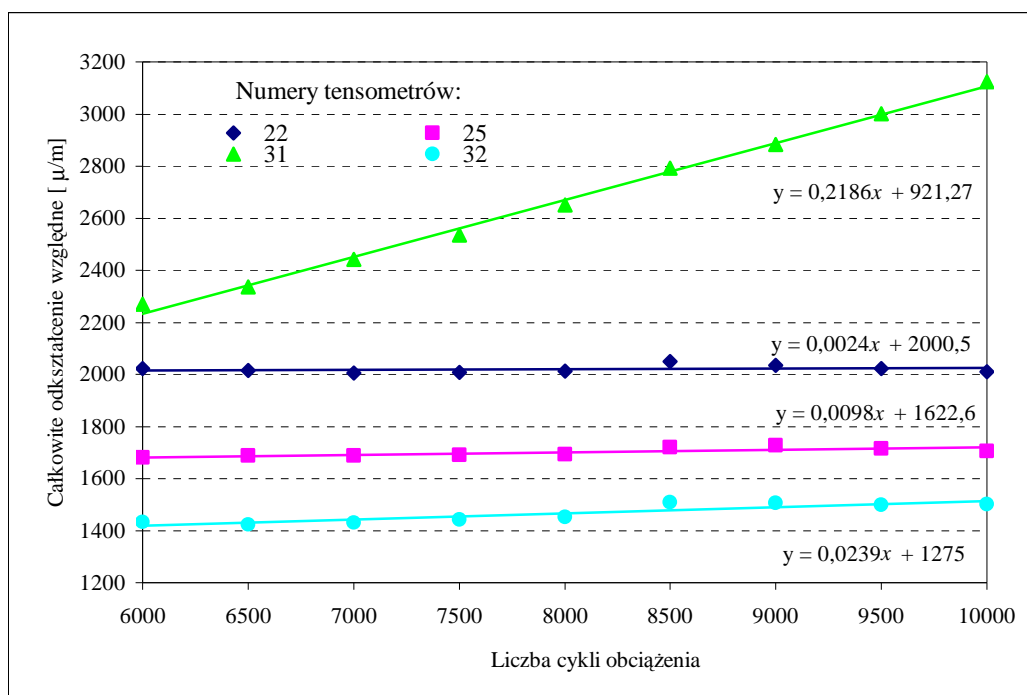


Rys. 22. Wartości odkształceń sprężystych na wybranych tensometrach

Analiza odkształceń pod pęknięciem zmęczeniowym w trakcie propagacji szczeliny

W trakcie prowadzonych badań analizowano również przyrosty odkształceń jednostkowych w potencjalnych miejscach wystąpienia maksymalnych naprężeń. Na rysunku 23 przedstawiono zależność całkowitych odkształceń względnych w zależności

od liczby cykli obciążenia. W analizie uwzględniono tensometry nr 22 i 25 znajdujące się na dolnej półce dwuteownika oraz tensometry nr 31 i 32 położone bezpośrednio pod wykonanym nacięciem.

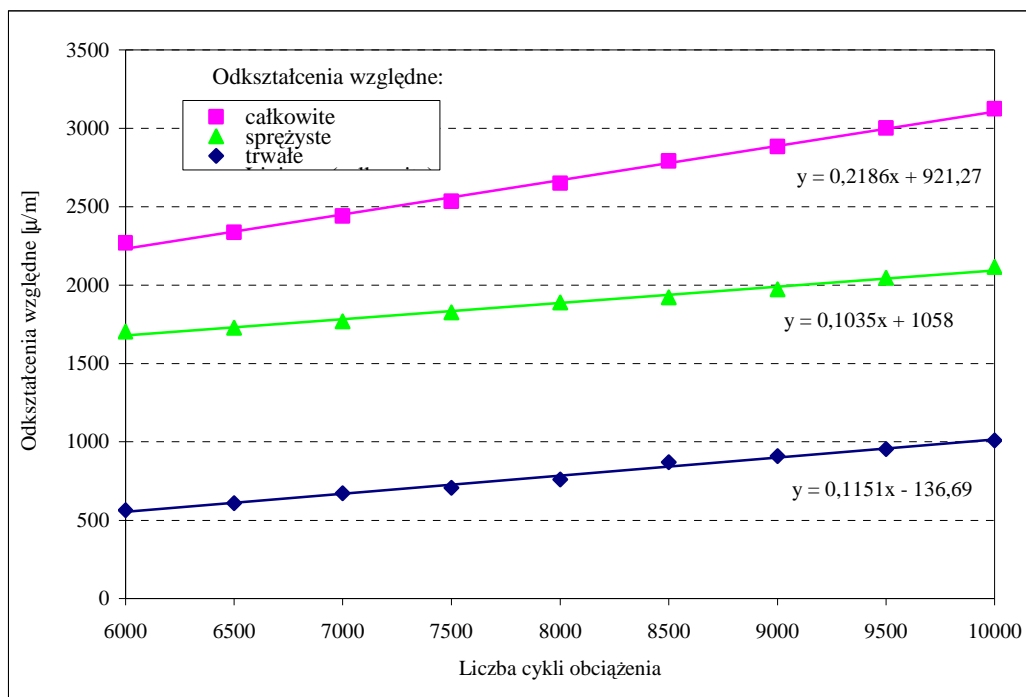


Rys. 23. Wykres całkowitych odkształceń względnych w zależności od liczby cykli obciążenia

Analiza wykresów pokazanych na rys. 23, wskazuje na znaczny wzrost odkształceń na tensometrze umieszczonym bezpośrednio pod wierzchołkiem szczeliny (drugi od góry, gdyż pierwszy uległ już zniszczeniu). Wzrost ten spowodowany jest znanym już z obliczeń zaprezentowanych zarówno w I [5], jak i w II etapie pracy [1], rozkładem naprężeń w okolicy wierzchołka szczeliny.

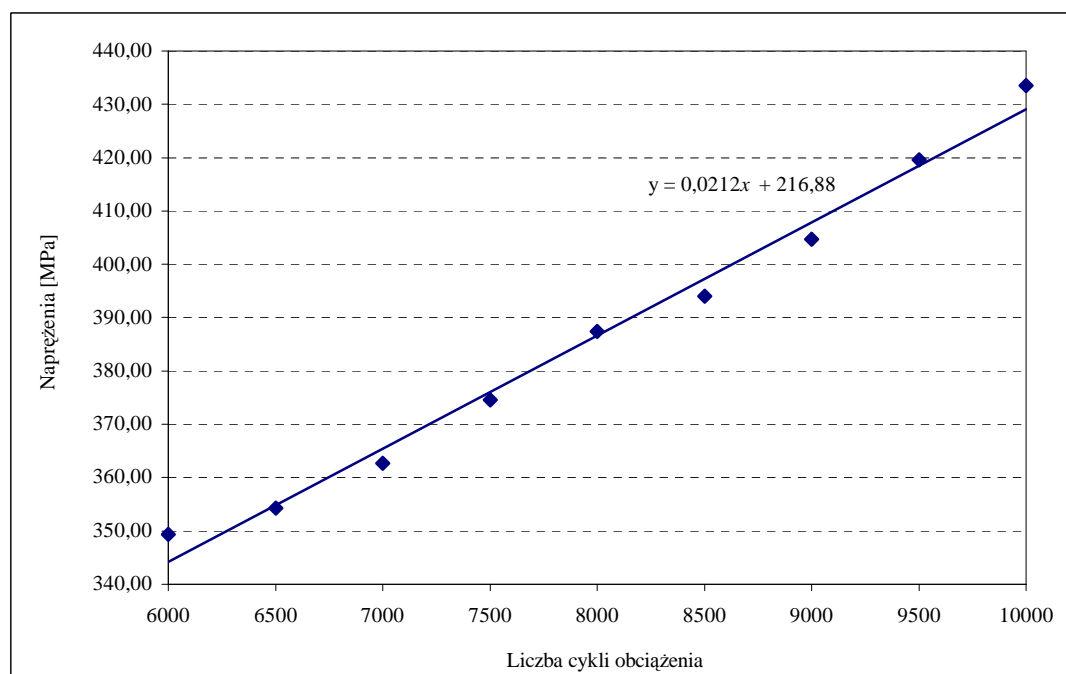
Wzrost wartości odkształceń na powierzchni dolnej półki (tensometry nr 22 i 25) w porównaniu do wskazań tensometru nr 31 jest nieznaczny. Zauważa się również, że wraz ze wzrostem liczby cykli obciążeń zaczynają wzrastać również wartości naprężeń na wysokości umieszczenia tensometru nr 32, co świadczy o wroście szczeliny zmęczeniowej, która powoduje zmianę rozkładu naprężeń w przekroju środnika tego dwuteownika.

Na rysunku 24 przedstawiono zależność odkształceń względnych określonych przez tensometr nr 31 w zależności od liczby cykli obciążenia. Z przeprowadzonej analizy wynika, że na całkowitą wartość odkształceń względnych na tensometrze 31 mają większy wpływ odkształcenia sprężyste niż trwałe. Uwzględniając tylko odkształcenia sprężyste na rys. 24, pokazano wykresy przedstawiające zależność naprężeń normalnych występujących w środniku analizowanego dźwigara w zależności od liczby cykli obciążeń. Zauważa się, że naprężenia te wzrastają liniowo, ale przy liczbie cykli obciążeń równej 10000 (kończącej badania w roku 2006) nie osiągają jeszcze poziomu naprężeń równych wytrzymałości materiału (stali) na rozciąganie R_m .



Rys. 24. Wykres odkształceń względnych tensometru nr 31 w zależności od liczby cykli obciążenia

Dzięki liniowemu charakterowi wykresu zaprezentowanemu na rys. 25 można łatwo przewidzieć, że tensometr nr 31, podobnie jak tensometr nr 30, powinien ulec zniszczeniu przy około 12500–13000 cyklach obciążenia.



Rys. 25. Wartości naprężeń normalnych w środku badanego dwuteownika w miejscu usytuowania tensometru nr 31 w zależności od liczby cykli obciążenia

Podsumowanie

Analiza naprężeń normalnych (odkształceń) pod wierzchołkiem szczeliny przy użyciu tensometrów oporowych daje zadawalające efekty. Obserwacja wzrostu odkształceń względnych pod szczeliną umożliwia przewidzenie powstania uszkodzenia obserwowanego tensometru, a przez to również oszacowanie wzrostu prędkości rozwoju szczeliny zmęczeniowej. Wyniki badań laboratoryjnych wskazywały na niemal identyczny rozkład naprężeń normalnych, jak wyniki uzyskane z obliczeń numerycznych przy wykorzystaniu programu komputerowego ROBOT.

Biorąc pod uwagę, że zaprezentowany w pracy [5] algorytm, umożliwiający określenie pozostałej trwałości eksploatacyjnej przeseł mostów stalowych, jest w całości oparty na wielkościach korelacyjnych występujących między stałymi wytrzymałościowymi a zmęczeniowymi materiału oraz biorąc pod uwagę wątpliwości dotyczące przyjętej mody obciążenia (tj. tylko szczelina I typu), wydaje się, że otrzymane z badań doświadczalnych wyniki zaprezentowane w niniejszej pracy oraz w artykule [4] są zadawalające.

Wyniki badań potwierdziły, że otwory montażowe są potencjalnym miejscem inicjacji pęknięć zmęczeniowych. Stosunkowo niewielka prędkość rozwoju pęknięcia oraz jej liniowy wzrost wskazują na prawidłowość przyjętych założeń obliczeniowych oraz dają możliwość wykorzystania przyjętych algorytmów do szacowania pozostałej trwałości zmęczeniowej konstrukcji z takim pęknięciem.

Ponieważ jednak wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych w roku 2006 (dotyczące rozwoju pęknięcia zmęczeniowego) różniły się od wyników uzyskanych z obliczeń, zatem w kolejnym etapie badań przewidzianych na czerwiec 2007 roku, w dalszym ciągu zamierza się analizować rozwój pęknięcia w samym środku dwuteownika.

W pracy [4] jako podstawową przyczynę zaistniałych różnic autorzy zasugerowali brak uwzględnienia obciążenia w postaci siły skupionej w algorytmach obliczeniowych związanych z określeniem prędkości rozwoju pęknięcia. W kolejnych badaniach laboratoryjnych zamierza się zmienić sposób przekazywania obciążenia na badany dwuteownik, aby w trakcie późniejszych obliczeń prędkości rozwoju pęknięcia zmęczeniowego można było pomijać wpływ naprężeń prostopadłych do osi głównej dźwigara. Należy również przeanalizować, jaki jest wpływ przyjętych parametrów zmęczeniowych (współczynników C i m) na ocenę trwałości badanego dźwigara.

Literatura

- [1] Duchaczek A., Mańko Z.: *Wyznaczanie trwałości eksploatacyjnej mostów wojskowych. Etap II. Praca Naukowo-Badawcza ID/831, WSOWLąd. im. gen. T. Kościuszki, Wrocław 2006.*
- [2] Kamyk Z., Mańko Z. i inni: *Racjonalizacja wykorzystania materiałów miejscowych do budowy mostów niskowodnych. Etapy I–III. Praca Naukowo-Badawcza WIW/439, WSO im. T. Kościuszki, Wrocław 2001–2003.*
- [3] Kamyk Z., Zielonka M., Hałys P.: *Koncepcja zwiększenia efektywności budowy mostu tymczasowego przez batalion ratownictwa inżynieryjnego. Zeszyty Naukowe Poglądy i Doświadczenia. WSOWLąd., Wydanie Specjalne, Materiały na Konferencję Naukowo-Techniczną; Inżynieria Wojskowa – Współdziałanie z Układem Pozamilitarnym w Sytuacjach Kryzysowych, Wrocław, 24–25.04. 2003 r., s. 194–203.*

- [4] Duchaczek A., Mańko Z.: *Badania niskocyklowe dwuteowników stalowych wykorzystywanych do budowy mostów niskowodnych. Część I. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki, Rocznik XXXVIII, 4(142), Wrocław 2006 r., s. 54–65.*
- [5] Duchaczek A., Mańko Z.: *Wyznaczanie trwałości eksploatacyjnej mostów wojskowych. Etap I. Praca Naukowo-Badawcza ID/831, WSOWLąd. im. gen. T. Kościuszki, Wrocław 2005.*