

Artur BLUM¹

WPLYW WIELOLETNIEJ EKSPLOATACJI SUWNIC NA DEFORMACJĘ KONSTRUKCJI MOSTÓW

Streszczenie. Wymiana starych zespołów napędowych w wieloletnio eksploatowanych suwnicach na nowoczesne elektryczne układy napędowe z systemem regulacji za pomocą przetwornic częstotliwości zapewniających płynność rozruchu i hamowania, w przypadku ich montażu na dotychczas eksploatowanych mostach suwnicowych – wymaga wcześniejszej analizy stanu odkształcenia mostów suwnic przed podjęciem zadania inwestycyjnego, związanego z modernizacją suwnic.

W artykule przedstawiono rezultaty badań stanu technicznego wieloletnio eksploatowanych mostów suwnicowych oraz omówiono przyczyny ich trwałej deformacji.

AN INFLUENCE OF MULTIYEARS EXPLOITATION OF CRANES ON DISTORTION THEIR BRIDGES

Summary. Into the paper has been presented results of experimental investigations of influence the bridges distortion on the perpetual increment of deflections bridge girders.

1. WPROWADZENIE

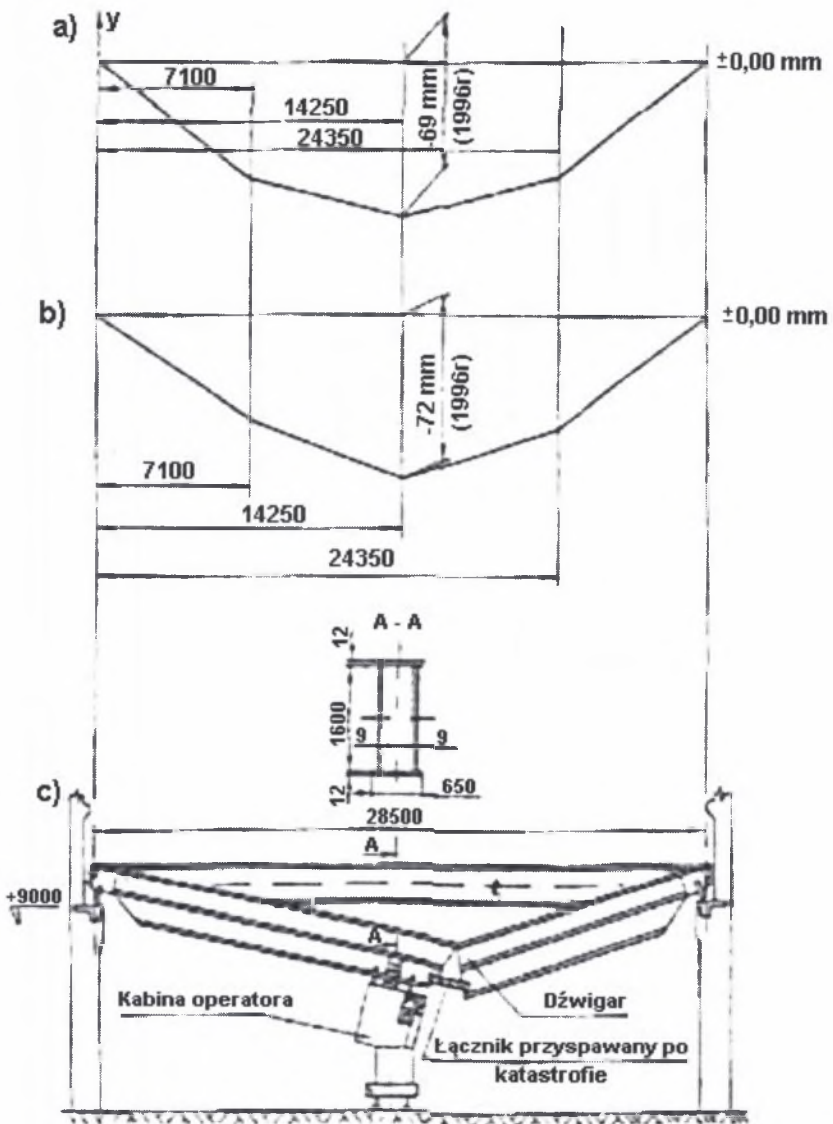
Od wielu już lat obserwuje się proces narastania trwałych ugięć dźwigarów mostów suwnicowych. Przyczyny tego zjawiska są złożone, przeciążenie suwnic ponad udźwig nominalny, prace transportowe niezgodne z przepisami (np. ciągnięcie wagonów kolejowych w rejonie pracy suwnicy), stosowany do końca lat siedemdziesiątych proces spawania szyn wózka suwnicy do pasów górnych dźwigarów, odpalanie spoin i powtórne spawanie w przypadku wymiany szyn. Na proces przyrostu trwałych ugięć niewątpliwie w pierwszym okresie eksploatacji mostów suwnicowych miało wpływ zjawisko relaksacji naprężeń spawalniczych wprowadzonych do konstrukcji w fazie budowy mostów. Analiza warunków eksploatacji i systemy dozoru suwnic pozwalają na stwierdzenie, że wymienione przyczyny nie mają już wpływu na proces narastania trwałych ugięć dźwigarów głównych suwnic, a jednak proces ten występuje nadal i w warunkach ekstremalnych prowadzi do katastroficznego pęknięcia dźwigara, co ilustruje rys. 1.

Na rys. 2 przedstawiono zdjęcie przełomu pękniętego dźwigara wraz z opisem zbadanych stref przełomu zniszczenia wytrzymałościowego dźwigara po stronie napędu omawianego mostu suwnicy.

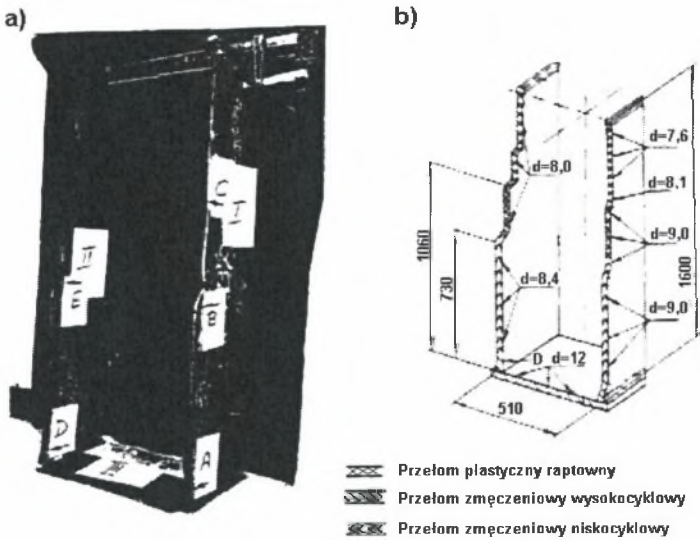
Analiza metalograficzna złomu pasa dolnego wykazała, że źródłem inicjacji uszkodzenia były pęknięcia lamelarne w strukturze ferrytyczno-perlitycznej stali. Wcześniejsze badania J. Pilarczyka wykazały, że rozwój pęknięć lamelarnych w blachach

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel.: +48 12 6173088, art_blum@uci.agh.edu.pl

konstrukcji nośnej wywołuje osłabienie ich wytrzymałości powodując stały przyrost jej trwałych ugięć [2].



Rys. 1. a) Pomiar strzałki ugięcia trwałego dźwigara po stronie zasilania suwnicy, b) pomiar strzałki ugięcia trwałego dźwigara po stronie napędu jazdy suwnicy, c) szkic zniszczenia mostu suwnicy po katastroficznym pęknięciu dźwigara po stronie napędu jazdy suwnicy
 Fig. 1. a) Deflection measurement of stable girder at the side of power, b) Deflection measurement of stable girder at the side of traversing gear, c) broken bridge draft after crash of the girder at the side of traversing gear



Rys. 2. a) Zdjęcie przełomu pękniętego dźwigara skrzynkowego, b) opis przełomu zniszczenia wytrzymałościowego dźwigara

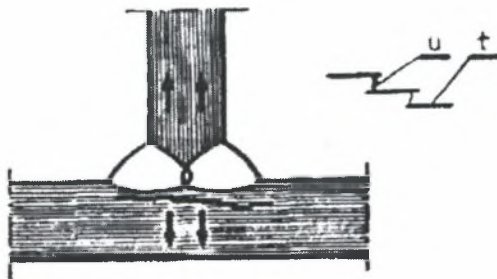
Fig. 2. a) Photograph of broken box girder's fracture, b) description of girder fracture

2. PĘKNIĘCIA LAMELARNE W BLACHACH

Nazwa powstała z uwagi na płytkowy obraz przełomu pęknięć. Jest ona przyjętym w kraju odpowiednikiem angielskiego „lamellar tearing” (fr.: „l'arrachement lamellaire”) lub „pull-out fracture”, „pull-out cracking”, „fissuring along the long structure”, „decohesion cracking”.

Podstawową przyczyną powstawania pęknięć lamelarnych jest niska ciągliwość blach stalowych w kierunku ich grubości, wynikająca głównie z obecności zbyt dużej ilości wtrąceń niemetalicznych w stali.

Odształcenia w kierunku grubości blachy najczęściej występują przy udziale złączy spawanych pod wpływem skurczu spawalniczego lub przyłożonych zewnętrznych obciążeń, (rys. 3).



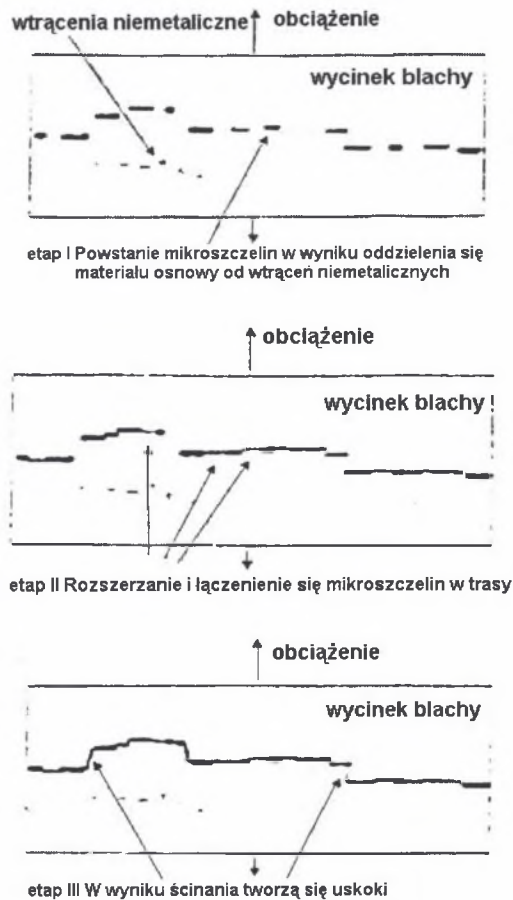
Rys. 3. Typowe pęknięcia lamelarne w strukturze pasmowej; t-taras, u-uskok

Fig. 3. Typical lamellar tears in band structure; t-berm, u-fault

Pęknięcia lamelarne powstają na skutek:

- zbyt dużych naprężeń skurczowych od złączy spawanych skierowanych prostopadle do grubości blachy,
- zbyt niskiej ciągliwości blach w kierunku prostopadłym do grubości,
- zbyt twardych materiałów dodatkowych,
- dużej zawartości wodoru w stopiwie.

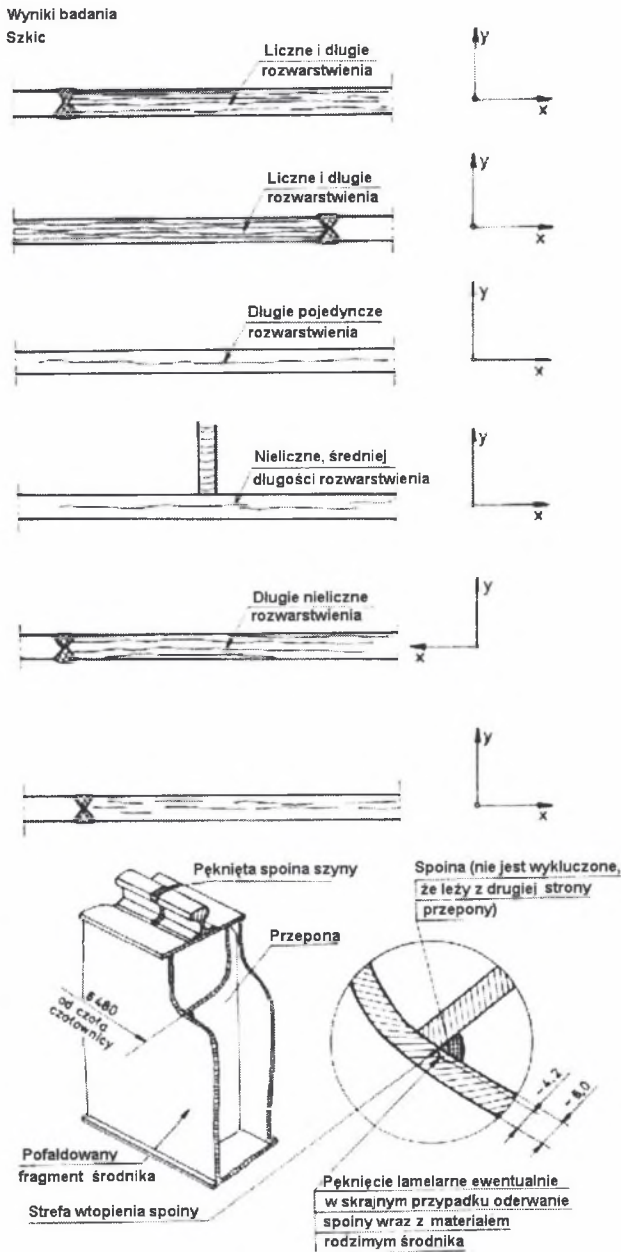
Niebezpieczeństwo pęknięć lamelarnych rośnie wraz z grubością blach. Wtrącenia niemetaliczne dostają się do stali podczas hutniczego procesu technologicznego. Udział wtrąceń niemetalicznych (SiO_2 , Al_2O_3 , MnO , MnS) w stali jest bardzo mały ($0,02 \pm 0,03\%$) jednak wpływają one na własności stali w czasie przeróbki plastycznej, niektóre z nich ulegają wydłużeniu powodując włóknistą strukturę stali, co jest powodem **anizotropowości własności mechanicznych**. Obecność wtrąceń niemetalicznych jest przyczyną rozwarstwienia blach w trakcie ich użytkowej eksploatacji jako elementów konstrukcyjnych. W latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych zanotowano wiele wypadków spowodowanych pęknięciami dźwigarów stalowych konstrukcji wysokościowych, których przyczynę stanowiły pęknięcia lamelarne blach. Rys. 4 przedstawia kolejne etapy pęknięcia lamelarnego.



Rys. 4. Przebieg pęknięcia lamelarnego

Fig. 4. Course of lamellar tear

Natomiast na rys. 5 przedstawiono wyniki badań defektoskopowych lokalizacji rozwarstwień (pęknięć lamelarnych) blachy pasa dolnego badanego dźwigara wzdłuż jego długości.

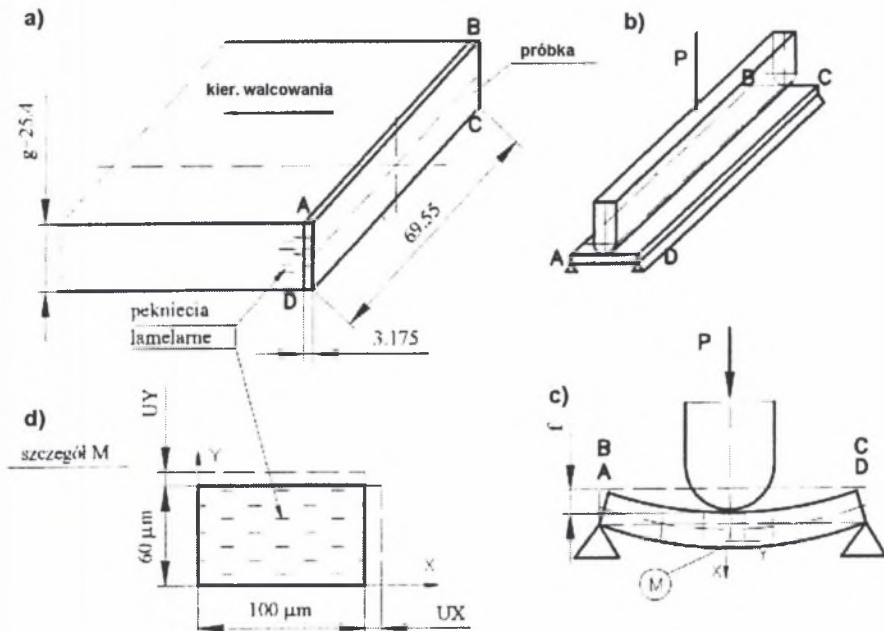


Rys. 5. Wyniki defektoskopowych badań pęknięć lamelarnych (rozwarstwień) blachy pasa dolnego dźwigara skrzynkowego

Fig. 5. Defectoscope analyses of lamellar tears in bottom flange sheet of box girder

2.1. Wpływ rozwoju pęknięć lamelarnych na przyrost ugięć badanego elementu konstrukcyjnego

Z punktu widzenia praktyki przemysłowej niewątpliwie najlepszą metodą określania wpływu rozwoju pęknięć lamelarnych na przyrost ugięć jest metoda J. Pilarczyka [2]. Istotę tej próby przedstawiono na rys. 6.



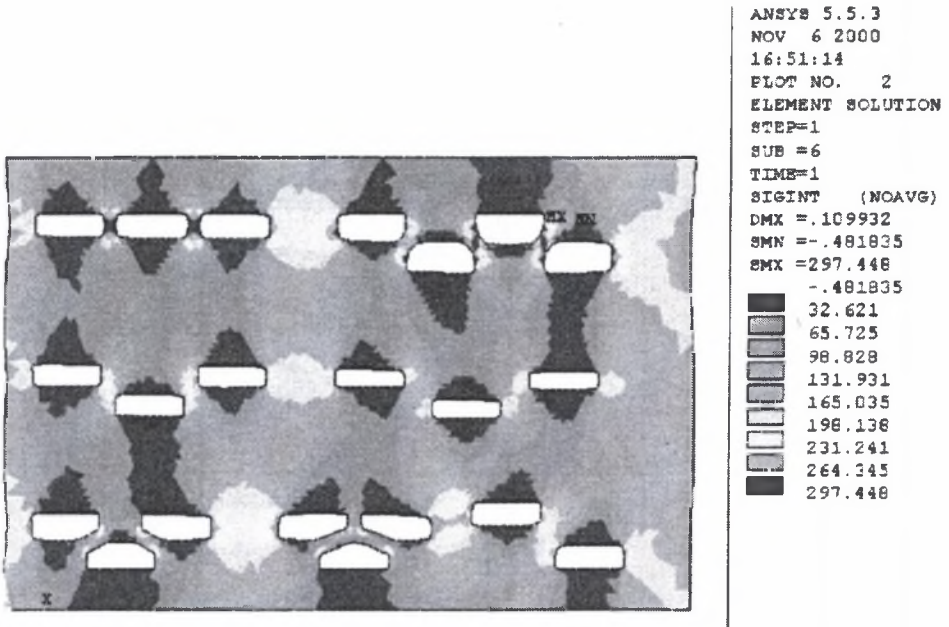
Rys. 6. Próba zginania wyciętej próbki blachy z rozwarstwieniami [2]

Fig. 6. Transverse bend test of sheet with delaminations [2]

Badaną próbkę wycina się z blachy (rys. 6a), a następnie poddaje zginaniu (rys. 6b) otrzymując zależność siły obciążającej od ugięcia próbki f (rys. 6c). Badania wykazały że do wystąpienia pierwszego mikropęknięcia ugięcie próbki wynosiło $f = 0,15$ mm, do początku tworzenia się tarasów $f = 0,7$ mm i do powstania całkowitego rozwarstwienia (pęknięcia lamelarnego) $f = 0,85$ mm.

Przyjmując założenie o proporcjonalności ugięć f beleczki zginanej w próbie technicznej do odkształcenia względnego ε_y mikropróbki wyciętej z tej beleczki można ustalić, że punkt pomiarowy, przy którym powstają pierwsze mikropęknięcia, odpowiada stanowi pierwszych pęknięć ziaren ferrytu, tzn. osiągnięciu w eksperymencie numerycznym naprężeń zredukowanych równych granicy wytrzymałości zastosowanej stali $R_m = 300$ MPa.

Przeprowadzono więc obliczenia numeryczne z wykorzystaniem programu Ansys, które wykazały, że następuje to przy odkształceniu $\varepsilon_y = 0,18\%$. Rozkład naprężeń zredukowanych przy obciążeniu odpowiadającym temu odkształceniu $\varepsilon_y = 0,18\%$ przedstawiono na rys. 7. Naprężenia osiągnęły wartość $\sigma_{redB} \approx 300$ MPa i możliwe jest powstawanie pierwszych pęknięć (w górnej linii na prawo oraz na lewo).



Rys. 7. Mapa naprężeń zredukowanych w próbce zginanej przy obciążeniu odpowiadającym odkształceniu względnemu $\varepsilon_y=0,18\%$

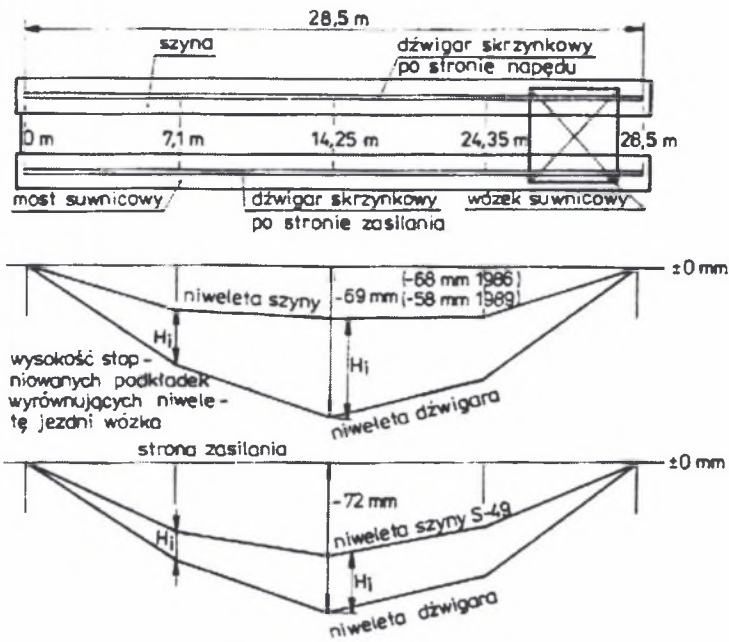
Fig. 7. Reduced stress in banded sample by true strain $\varepsilon_y=0,18\%$

3. WPLYW DEFORMACJI MOSTÓW SUWNICOWYCH NA PROCES TWORZENIA SIĘ PEKNIĘĆ LAMELARNYCH

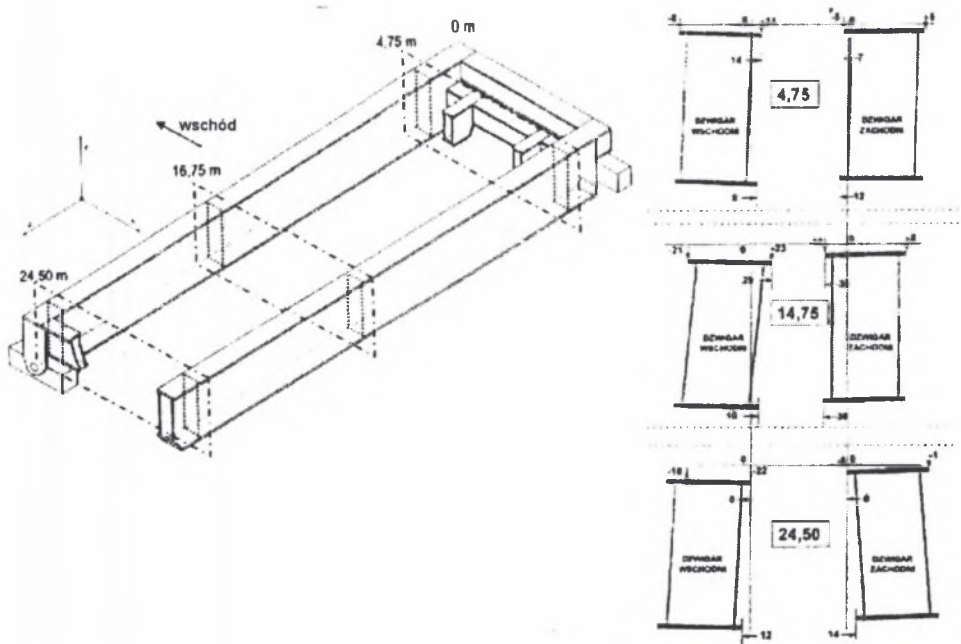
Jak już wykazano wcześniej, by mogły zaistnieć warunki rozwoju pęknięć lamelarnych, musi wystąpić składowa naprężenia prostopadła do kierunku walcowania blach. Zarówno obciążenie od masy własnej mostu, jak i obciążenie ładunkiem wywołują stan naprężeń, którego składowa normalna występuje na kierunku równoległym do kierunku walcowania, zatem obciążenia użytkowe nie stwarzają warunków rozwoju pęknięć lamelarnych.

Wykorzystane badania geodezyjne na mostach suwnic są głównie skierowane na analizę pomiarowych trwałych ugięć dźwigarów mostowych (rys. 8). Na ich podstawie można jedynie śledzić proces narastania trwałych ugięć dźwigarów.

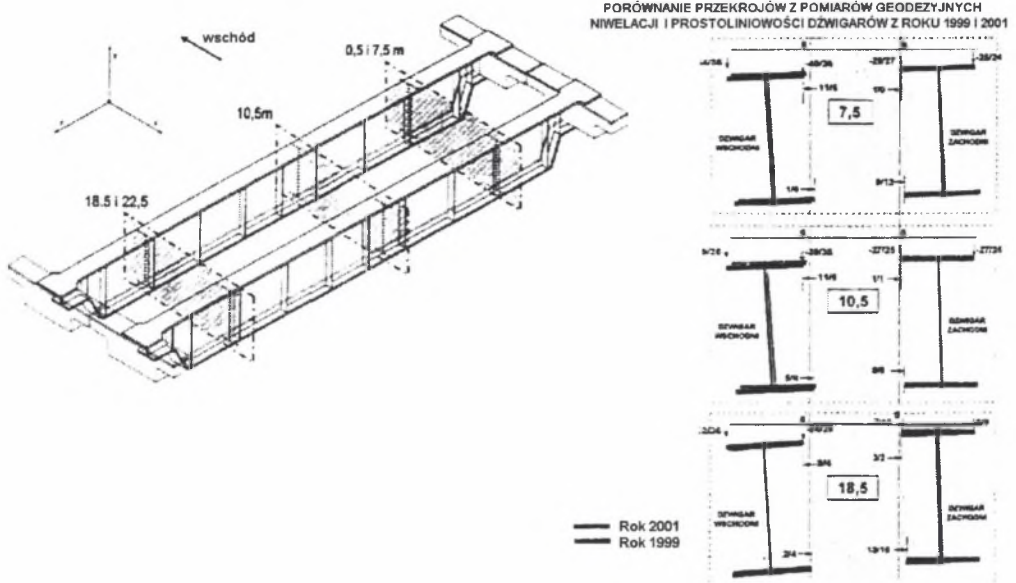
W celu wyjaśnienia istoty wpływu odkształceń dźwigarów na przyrost pęknięć lamelarnych zmieniono koncepcję pomiarów geodezyjnych, które realizowane są w płaszczyznach pionowych środników dźwigarów i płaszczyznach poziomych pasów dźwigarów, a następnie opracowanie izometryczne deformacji konstrukcji, co ilustrują rys. 9 i rys. 10.



Rys. 8. Operat geodezyjny pomiaru trwałych ugięć dźwigarów mostu suwnicowego
 Fig. 8. Geodesic graph of stable deflections at girders of crane's bridge



Rys. 9. Wyniki pomiarów trwałej deformacji dźwigarów skrzynkowych mostu suwnicy pomostowej
 Fig. 9. Measurements of stable deformations at box girders of crane's bridge



Rys. 10. Wyniki pomiarów trwałej deformacji dźwigarów blachownicowych mostu suwnicy pomostowej

Fig. 10. Measurements of stable deformations at plate girders of crane's bridge

Analiza wytrzymałościowa dźwigarów pozwoliła na stwierdzenie, że w wyniku wieloletniej eksploatacji nastąpiło skręcenie nieswobodne zarówno dźwigarów skrzynkowych, jak i blachownicowych. Obciążenia użytkowe na tak zdeformowanych dźwigarach wywołują dodatkowo skręcenie nieswobodne dźwigarów i zaistnienie naprężeń stycznych, których transformacja na kierunki główne daje składową w przybliżeniu prostopadłą do kierunku walcowania blachy, z której wykonane są pasy dźwigarów.

W wyniku tego zaistnieje stan naprężeń inicjujący rozwój pęknięć lamelarnych (rys. 7), a to z kolei powoduje dalszy przyrost trwałych ugięć dźwigarów.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione w pracy rezultaty badań pozwoliły na wyjaśnienie przyczyn postępującej trwałej deformacji mostów suwnicowych w następstwie wieloletniej eksploatacji.

Ciężar mostu suwnicy stanowi około 70% ciężaru własnego suwnicy. Trudno podjąć decyzję o jego wymianie ze względu na koszty inwestycyjne, dlatego wskazana jest ocena stanu technicznego suwnicy po wielu latach użytkowania.

Uważam za istotne w przypadku modernizacji dźwigni (np.: przez wymianę zespołów napędowych) przeprowadzenie oceny zarówno deformacji mostu, jak i wpływu zmian geometrii konstrukcji na propagację pęknięć lamelarnych w blachach ustroju nośnego.

Literatura

1. Blum A.: Diagnostyka i regeneracja wytrzymałościowa skrzynkowych mostów suwnicowych. Wydawnictwo Instytutu Eksploatacji, Radom 2002.
2. Pilarczyk J.: Mechanizm inicjowania i rozprzestrzeniania pęknięć lamelarnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 511, Gliwice 1977.
3. Projekt celowy Komitetu Badań Naukowych nr 7T07C. 09698C/4061: System diagnostyczno-decyzyjny wraz z urządzeniem do określenia stanu strukturalno-wytrzymałościowego materiału konstrukcji suwnic wieloletnioeksploatacyjnych. Praca zespołowa pod kierownictwem A. Bluma, AGH, Kraków 2001.
4. Shiraiwa T., Fujina N.: Properties of nonmetallic inclusions in steels. Sumika Search nr 1, Tokyo 1974.

Recenzent: Dr hab. inż. Manfred Chmurawa