ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 49 Nr kol. 1605

Władysław KOC
Andrzej WILK
Sławomir GRULKOWSKI
Grzegorz KOSTRO
Piotr DOBROWOLSKI

ZAGADNIENIA DIAGNOSTYKI TORU KOLEJOWEGO Z WYKORZYSTANIEM METODY WYMUSZONYCH PRZEMIESZCZEŃ POPRZECZNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono krótki przegląd podejmowanych prób nad znalezieniem efektywnej metody określania wielkości sił podłużnych w szynach toru bezstykowego. W szczególnym stopniu skupiono się nad metodą wymuszonych przemieszczeń poprzecznych. Omówiono wyniki weryfikacji tejże metody przeprowadzonej w Politechnice Gdańskiej. Podstawowe stwierdzenie, jakim było wykazanie celowości skoncentrowania się na przemieszczeniach poziomych, skierowało uwagę na możliwość wykorzystania do celów diagnostycznych podbijarki torowej.

THE PROBLEMS OF RAILWAY TRACK'S DIAGNOSTICS USING THE METHOD OF EXCITING TRANSVERSE DISPLACEMENTS

Summary. The paper presents briefly a survey of the attempts made to find an effective method for the determination of the longitudinal forces in continuous welded rails. Particular attention has been paid to the enforced lateral displacement technique. The results of a verification of the technique carried out at the Gdansk University of Technology have been analysed. The primary assertion, which was to prove the necessity to concentrate efforts on horizontal displacements, has drawn attention to the tamping machine to be used for diagnostic purposes.

1. WSTĘP

Siły osiowe od temperatury, a w zasadzie świadomość ich występowania oraz skutków, jakie mogą za sobą pociągnąć, miały istotny wpływ na rozwój konstrukcji drogi kolejowej. Obawa przed wyboczeniem się toru powodowała, że przez wiele dziesiątków lat tor klasyczny (stykowy) stanowił jedyny stosowany rodzaj nawierzchni. Wprowadzenie toru bezstykowego,

które nastąpiło w latach 50., było prawdziwą rewolucją w kolejnictwie. Otworzyły się możliwości radykalnego zwiększenia prędkości na liniach kolejowych i w konsekwencji podjęcia walki konkurencyjnej z innymi środkami transportu. Tor bezstykowy stanowi obecnie podstawowy rodzaj nawierzchni kolejowej.

Od samego początku stosowania toru bezstykowego wszystkim towarzyszy świadomość braku efektywnej metody pomiaru sił osiowych. Wiadomo, że mogą one osiągać znaczne wartości. Starano się, żeby wartości występujących sił podłużnych w jak największym stopniu ograniczyć i nie dopuścić do powstawania miejsc ich koncentracji. Jednocześnie trwały prace nad znalezieniem metody określania sił podłużnych w szynach toru bezstykowego. Lata 80. to okres poszukiwań metody bezpośredniego pomiaru sił podłużnych, prowadzonych głównie w USA [1]; w latach 90. poszukiwania te uległy znacznej intensyfikacji. Rozległość tych badań jest imponująca, jednak efekty wciąż nie są do końca zadowalające. Nie opracowano bowiem metody bezpośredniego pomiaru sił podłużnych, dostosowanej do warunków praktyki utrzymaniowej.

2. KRÓTKI PRZEGLĄD WYBRANYCH PRÓB ROZWIĄZANIA PROBLEMU

W podejmowanych dotąd próbach rozwiązania problemu sił podłużnych w szynach toru bezstykowego stosowano m.in. mechaniczno-optyczny czujnik tensometryczny, przetwornik elektromagnetyczno-akustyczny, urządzenie laserowe, wykorzystywano fale akustyczne, zjawisko propagacji fali giętnej, dyfrakcję fal rentgenowskich oraz koherencję magnetyczną. Większość z tych metod cechowała się niską dokładnością oraz wrażliwością na czynniki zewnętrzne, mikrostrukturę stali szynowej i naprężenia własne.

Na tym tle szczególnej uwagi wymagają prace przeprowadzone w Volpe National Transportation Systems Center w USA (stanowiącym placówkę badawczą Federal Railroad Administration). Skonstruowano tam specjalny wagon pomiarowy, służący do określania oporów poprzecznych toru oraz wartości sił podłużnych w szynach [2, 3]. Przyjęta nowa metoda badawcza została oparta na znanej zasadzie mechanicznej i pozwala na bezpośredni pomiar występujących w szynie sił osiowych. Polegała ona na podnoszeniu odłączonego od podkładów odcinka szyny na określoną wysokość z rejestracją niezbędnej do tego siły pionowej. Wartość tej siły zależy od występującej w szynie siły osiowej od temperatury. Jak stwierdzono, zależność siły niezbędnej do podniesienia szyny (na przyjętą wysokość 2 cali) i siły termicznej ma charakter liniowy. Metoda wymaga demontażu przytwierdzeń szyn do podkładów na określonej długości toru (kilkunastu podkładach), konstrukcji dużych gabarytów pojazdu pomiarowego oraz znacznych sił wymuszających. Urządzenie nie znalazło szerszego zastosowania mimo rozwiniętej akcji promocyjnej. Przyczynę tego stanowiły głównie wysunięte zastrzeżenia natury metodycznej.

Nie ulega wątpliwości, że sama idea wyznaczania sił podłużnych w szynach na podstawie wymuszonych przemieszczeń poprzecznych jest poprawna. Jednak jej praktyczna realizacja może następować w różnoraki sposób. Najbardziej naturalne rozwiązanie - podnoszenie odłączonego od podkładów odcinka szyny - wymaga odpowiednio długiej bazy pomiarowej (rzędu kilkudziesięciu metrów). Taki właśnie wariant przyjęto w metodzie brytyjskiej [4].

W latach 90. trwały również prace nad omawianym zagadnieniem w ramach European Rail Research Institute, przy współudziale m.in. Politechniki Krakowskiej. W Politechnice Krakowskiej skonstruowano przyrząd MS–02 [5], stanowiący rozwinięcie metody ekstensometrycznej, zastosowanej m.in. w badaniach przeprowadzonych na Politechnice Gdańskiej w latach 70.[6]. Istota przyjętej metody polegała na względnym pomiarze zmian

długości bazy odniesienia (ustalonej za pomocą bolców pomiarowych) przy zastosowaniu przyrządu, którego współczynnik rozszerzalności termicznej i prędkość absorbcji energii cieplnej jest taka sama jak badanej szyny. W ten sposób można mierzyć i rejestrować jakiekolwiek zmiany sił podłużnych w szynach względem pomiaru odniesienia wykonanego podczas uzbrajania szyn w bolce pomiarowe. Bolce pomiarowe pozwalają na ustalenie bazy pomiarowej do długości równej długości nominalnej przyrządu w danej temperaturze z dokładnością 0,001 mm. Jeżeli bolce pomiarowe usytuowane są w osi obojętnej szyny, to mierzone są siły osiowe w szynach.

Próby wdrożenia opisywanego urządzenia na PKP były bardzo zaawansowane, jednak nie zakończyły się powodzeniem. Jego zmodernizowana wersja – prototyp przyrządu TEMPUS została opracowana w 1998 r.

Koleje węgierskie (MAV) opracowały dwie metody bezpośredniego pomiaru sił w szynach – RailTest i RailScan, w których wykorzystano tzw. efekt Barkhausena [7]. Efekt Barkhausena dotyczy skokowego, tzw. „nieodwracalnego", ruchu granic domen magnetycznych ferromagnetyka wymuszonego zmianą natężenia pola magnetycznego. Lokalne skokowe zmiany namagnesowania mogą być rejestrowane w formie impulsu napięcia indukowanego w cewce zbliżonej do powierzchni metalu. Ustalono, że na proces magnesowania ma wpływ, oprócz mikrostruktury materiału, m.in. poziom naprężeń mechanicznych. Zależność pomiędzy natężeniem szumów magnetycznych a wielkością zadanych naprężeń można uzyskać wykonując krzywą kalibracji. Jako pewnego rodzaju ograniczenie metody, specyficzne dla oceny naprężeń opartej na efekcie Barkhausena, można uważać niewielką głębokość, z której jest zbierany sygnał Barkhausena. Fala elektromagnetyczna generowana podczas skoku Barkhausena jest bowiem tłumiona w metalu i w praktyce droga tłumienia tej fali dla częstotliwości sygnału Barkhausena około kilkudziesięciu kHz jest rzędu ułamka milimetra. Oznacza to, że efekt Barkhausena dostarcza informacji o własnościach magnetycznych oraz o poziomie naprężeń z warstwy podpowierzchniowej o podobnej grubości.

Skonstruowane przez specjalistów węgierskich urządzenie RailScan [8] zostało dostosowane do pomiarów naprężeń w górnej strefie szyjki szyny cechującej się praktycznie zerowym stanem naprężeń resztkowych, niezależnie od wartości przeniesionych obciążeń. Według autorów aparatura RailScan umożliwia precyzyjne określenie zarówno temperatury neutralnej szyn, jak i zmienności sił osiowych, co ułatwia monitorowanie odcinków szczególnie zagrożonych ich koncentracją. Weryfikacja metody w warunkach PKP, przeprowadzona przez Politechnikę Śląską [9], nie doprowadziła do jednoznacznych rezultatów. Kwestia jej wiarygodności wyjaśniła się niejako w sposób pośredni. Autorzy przystąpili do pracy nad kolejną metodą, wykorzystującą tym razem technikę laserową.

3. WERYFIKACJA METODY WYMUSZONYCH PRZEMIESZCZEŃ POPRZECZNYCH

W połowie lat 90. w Politechnice Gdańskiej, obserwując gwałtowny wzrost zainteresowania omawianym problemem w kraju i za granicą, opracowano odpowiedni program badawczy mający na celu skonstruowanie urządzenia do pomiaru sił osiowych przy wykorzystaniu metody wymuszonych przemieszczeń poprzecznych. Nawiązano zatem do opisanych wcześniej badań amerykańskich [2, 3]. Realizacja tego programu (w ramach projektu badawczego KBN nr 7 T07E 058 08) wskazała m. in. na możliwość wykorzystania do celów diagnostycznych podbijarki torowej [10].

W pierwszym okresie badania eksperymentalne skoncentrowano na stacjonarnym stanowisku badawczym. Ich celem było określenie charakteru pracy naprężonej szyny pod działaniem wymuszonych przemieszczeń poprzecznych. Jednocześnie rejestrowano wielkości sił występujących w układach podnoszenia i nasuwania.

3.1. Metodyka prowadzenia badań

Stacjonarne stanowisko badawcze usytuowano w kolejowej hali warsztatowej z pełnym zapleczem technicznym. Zasadniczym elementem stanowiska był 25-metrowy odcinek szyny typu S49, ustawiony na główce szyny kanału rewizyjnego i przymocowany do tej szyny na obu końcach za pomocą blach węzłowych i śrub sprężających. Badana szyna była przy jednym z końców wycięta w celu umożliwienia montażu naprężacza szynowego i następnie wprowadzania osiowej siły rozciągającej. W rejonie środkowym usytuowano wkładarkę szyn WS-1. Prace eksperymentalne polegały na kontrolowanym naciąganiu szyny za pomocą naprężacza oraz jej poprzecznym (pionowym i poziomym) przemieszczaniu siłownikami wkładarki. W trakcie tych operacji odbywała się rejestracja wartości sił osiowych S w szynie oraz sił pionowych H i poziomych Y w tłoczyskach siłowników hydraulicznych, powstałych podczas poprzecznego przemieszczania badanej szyny o wartość h (w kierunku pionowym) i wartość y (w kierunku poziomym). Operacje te przeprowadzano przy różnych wartościach siły rozciągającej P ($P = 0 \div 500$ kN), wprowadzanej za pomocą naprężacza. Stosowane przemieszczenia poprzeczne wynosiły: $h = 0 \div 30$ mm, $y = 0 \div 50$ mm.

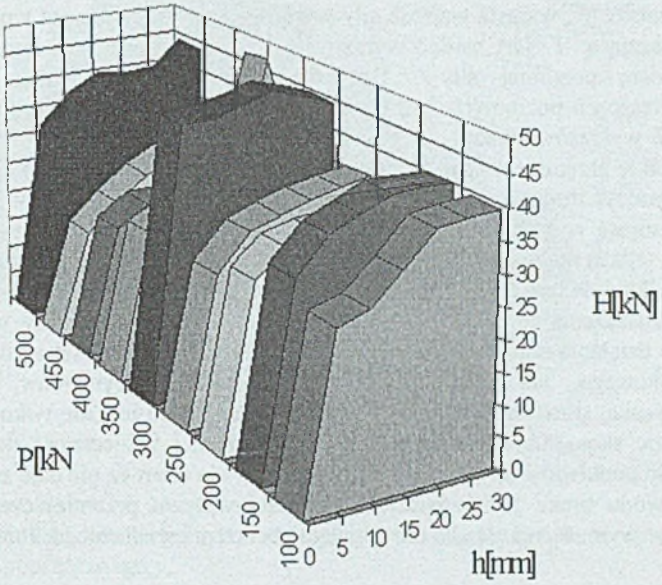
Określenie mierzonych wielkości było możliwe dzięki zastosowaniu oryginalnej aparatury pomiarowej, wykonanej w Politechnice Gdańskiej w ramach projektu badawczego KBN. Aparatura naukowo-badawcza do pomiaru sił i przemieszczeń w torze kolejowym składała się z czterech modułów do pomiaru sił, jednego modułu do pomiaru przemieszczenia oraz jednostki centralnej, z którą wymienione moduły były sprzęgnięte elektrycznie kablami. Sygnały pomiarowe z poszczególnych przetworników przesyłane były do jednostki centralnej, gdzie poddawano je procesom: filtracji, demodulacji , wzmocnienia i dopasowania poziomu wyjściowego do przetworników analogowo-cyfrowych (AC). Program badawczy zakładał akwizycję danych do pamięci masowej w celu ich dalszego przetwarzania. Do realizacji tego celu zastosowano przenośny komputer, który w tym przypadku okazał się być optymalnym rozwiązaniem. Akwizycja danych pomiarowych do pamięci masowej komputera wymagała przetworzenia sygnału analogowego do postaci cyfrowej. Operacje takie wykonywały przetworniki analogowo-cyfrowe.

3.2. Wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych

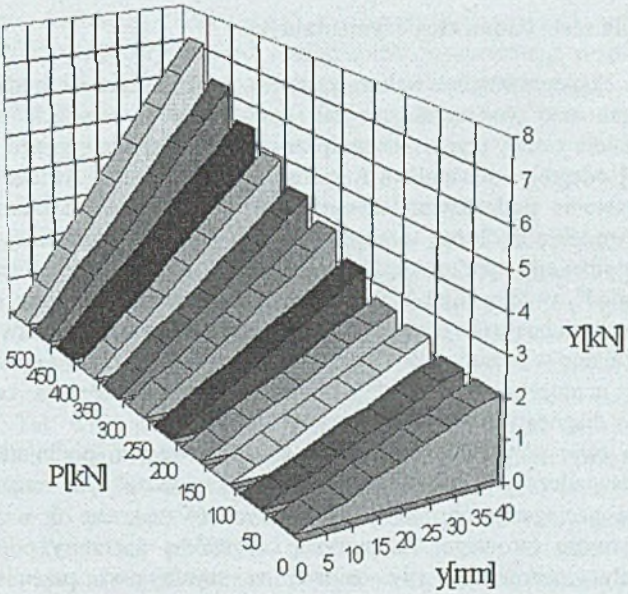
Podstawowym celem badań było określenie zależności sił wymuszających: pionowej H oraz poziomej Y od siły S występującej w szynie. Jeśli chodzi o siłę H, stwierdzono złożony charakter zależności $H = f(P,h)$ – rys. 1. W rozpatrywanym zakresie przemieszczeń pionowych (tj. dla $h \leq 30$ mm) nie stwierdzono istotnego związku pomiędzy siłą pionową H a siłą osiową S, występującą w szynie. O regularnym wzroście H można mówić jedynie przy bardzo małych przemieszczeniach, tj. $h < 1$ mm. Wiąże się to zapewne z występującym w tej fazie wydłużeniem (i przyrostem ciężaru) podnoszonego odcinka szyny.

Wobec niestwierdzenia, w zakresie badanych sił i przemieszczeń, związku pomiędzy wymuszającą siłą pionową H a siłą osiową S w szynie dalsze badania stanowiskowe skoncentrowano na stosowaniu wymuszonego przemieszczenia poziomego szyny y. Przemieszczenie to, wywołane siłą poprzeczną Y, realizowano przy użyciu wkładarki szyn,

rejestrując przebiegi czasowe odpowiednich sygnałów. Wykonano kilkadziesiąt serii eksperymentów dla różnych wartości sił naciągu szyny P oraz siły wymuszającej Y.



Rys. 1. Przykładowy wykres zależności $H = f(P,h)$ dla wybranej serii pomiarowej
Fig. 1. Illustrative diagram of relationship $H = f(P,h)$ for a selected measuring series



Rys. 2. Przykładowy wykres zależności $Y = f(P,y)$ dla wybranej serii pomiarowej
Fig. 2. Illustrative diagram of relationship $Y = f(P,y)$ for a selected measuring series

Uzyskane rezultaty (rys. 2) różnią się zasadniczo od wyników omówionych wcześniej. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono występującą wzajemną zależność mierzonych wielkości. Wraz ze wzrostem siły P, dla tego samego przemieszczenia poziomego y, wzrasta wartość siły wymuszającej Y. Ponieważ wpływ P na poziomą siłę wymuszającą Y jest bardzo wyraźny, można wnioskować o wartości siły S w szynie na podstawie poziomej siły Y. Dotyczy to w zasadzie pełnego zakresu stosowanych przemieszczeń poziomych y, w praktyce jednak należałoby przyjmować wartości $y > 20$ mm. Z wykresów funkcji $H = f(P,h)$ (rys.1) właściwie nic nie wynika, poza tym, że już niewielkie przemieszczenia pionowe wymagają znacznych wartości sił wymuszających. Może to tłumaczyć trudności, z jakimi napotkali się prekursorzy rozpatrywanej metody w USA oraz konieczność wykonania potężnej konstrukcji wagonu pomiarowego. Wykresy funkcji $Y = f(P,y)$ (rys.2) mają zupełnie inny, regularny charakter. Wymagane poziome siły poprzeczne są niewielkie i do ich uzyskania wystarczą lekkie urządzenia nasuwające.

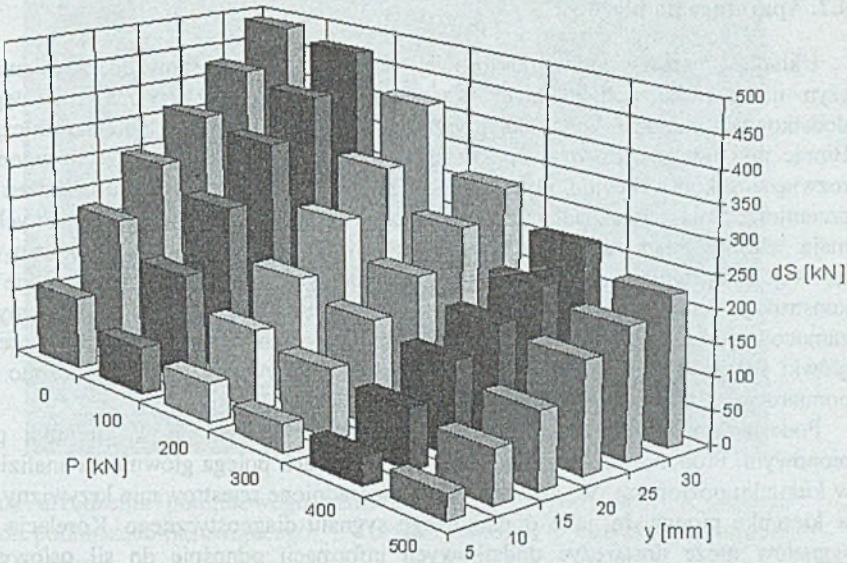
Spostrzeżenia te okazały się bardzo istotne, gdyż pozwoliły właściwie ukierunkować dalsze działania nad opracowaniem metody określania wartości sił osiowych w szynach toru bezstykowego. Jak wynika z przedstawionych eksperymentów, poprzedzonych analizą teoretyczną, stosowanie metody wymuszeń pionowych jest nie tylko utrudnione (z uwagi na potrzebę skonstruowania odpowiednich urządzeń i konieczność demontażu przytwierdzeń szyn do podkładów na znacznej długości toru), ale również nie daje zadowalających wyników (z powodu braku jednoznacznej zależności wpływu przemieszczenia pionowego h na wartość wymuszenia H dla określonego obciążenia wzdłużnego P w szynie).

4. OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA PODBIJARKI TOROWEJ

4.1. Wstępna seria badań eksperymentalnych

Badania eksperymentalne wskazały zatem na konieczność modyfikacji prowadzonych obecnie prac nad wyznaczaniem sił podłużnych w szynach toru bezstykowego z wykorzystaniem zasady wymuszonego przemieszczenia poprzecznego. Rezultaty uzyskane w USA [2, 3] odegrały niewątpliwą rolę inspirującą, jednak w świetle uzyskanych wyników badań stosowanie podnoszenia szyny w kierunku pionowym okazało się rozwiązaniem niewłaściwym. Siłę podłużną w szynie można znacznie dokładniej określić na podstawie zmiany poziomej siły poprzecznej. Wynika to ze znacznie większej wrażliwości wariacji siły poprzecznej Y w siłowniku hydraulicznym na zmianę siły osiowej S w szynie, niż to występuje w podobnej relacji przy pionowym podnoszeniu szyny. Stwierdzenie to oznaczało radykalną zmianę w stosunku do dotychczasowego podejścia do zagadnienia i opracowanych za granicą urządzeń pomiarowych. Jednocześnie wskazało na celowość zastosowania podbijarki w diagnostyce toru kolejowego [11].

Wstępną serię pomiarów terenowych z zastosowaniem podbijarki przeprowadzono na odcinku doświadczalnym zlokalizowanym w eksploatowanym torze kolejowym. Pomiary polegały na naciąganiu obu toków szynowych (w zakresie 0 ÷ 500 kN) i poziomym nasuwaniu rusztu torowego. Za pomocą oryginalnej aparatury pomiarowej rejestrowano sygnały: siły poprzecznej, siły osiowej w szynie oraz przemieszczenia poziomego. Najistotniejszą informację uzyskano z analizy sygnału odkształceń zginanej szyny.



Rys.3. Wrażliwość czujnika liniowego ΔS w funkcji siły osiowej P w szynie i przemieszczenia poprzecznego y

Fig.3. Sensitivity of the linear sensor ΔS in function of axial force P in rail and lateral displacement y

Podczas prowadzonych pomiarów rejestrowano odkształcenia osiowe szyny za pomocą czujnika indukcyjnego liniowego. Pozwalało to wyznaczyć wartość siły osiowej wprowadzanej naprężaczem szynowym przed rozpoczęciem poprzecznego przemieszczania toru. Podczas nasuwania toru odczyty z omawianego czujnika charakteryzują wygięcie osi odkształconej szyny, określają więc w umowny sposób jej krzywiznę poziomą. Uzyskana wartość liczbowa ΔS zależy od konstrukcji czujnika. Wyrażono ją w jednostkach siły, chociaż w rzeczywistości czujnik określa siłę w szynie tylko wtedy, gdy przemieszczenie poprzeczne jest równe zeru. Na rysunku 3 pokazano kształtowanie się zależności funkcji $\Delta S=f(y,P)$ dla wybranych serii pomiarowych. Jak widać, wskaźnik ΔS wykazuje wyraźną zależność od siły osiowej występującej w szynie przed rozpoczęciem nasuwania toru. Wraz ze wzrostem tej siły wskaźnik ΔS maleje, co odpowiada mniejszej krzywiźnie wyginanej szyny. Wynika stąd wniosek, że rejestracja krzywizny, przy określonej wartości przemieszczenia poprzecznego y, może stanowić podstawę do wyznaczania siły osiowej w szynie.

To interesujące spostrzeżenie zostało w pełni potwierdzone w toku dalszej, bardziej szczegółowej analizy. Tak więc jest możliwe wnioskowanie na temat siły podłużnej w szynach na podstawie pomiaru krzywizny przy różnych wartościach przemieszczenia poprzecznego. Wymaga to jednak dalszych badań terenowych oraz stosowania odpowiedniego czujnika do pomiaru krzywizny, instalowanego do ramy podbijarki. W omawianych badaniach krzywiznę określano bowiem w sposób pośredni (czujnikiem liniowym do pomiaru siły), co niewątpliwie miało wpływ na uzyskiwaną dokładność.

4.2. Aparatura pomiarowa

Układ pomiarowy podbijarki torowej może być wykorzystany do określenia krzywizny szyn na odcinku podlegającym przemieszczeniu, jednakże wymaga to wprowadzenia dodatkowych urządzeń konstrukcyjnych oraz ingerencji w sam układ elektroniczny maszyny. Biorąc pod uwagę zarówno aspekty ekonomiczne, jak i techniczne zaproponowano inne rozwiązanie konstrukcyjne, polegające na zastosowaniu zestawu kilku urządzeń do pomiaru przemieszczenia szyn. Działają one niezależnie od pracy układów funkcjonalnych podbijarki, mają własny układ zasilający i są odseparowane od układów elektronicznych maszyny torowej. Urządzenia te są montowane na czas pracy do ramy maszyny. Mają one uniwersalną konstrukcję i mogą być montowane na różnych podbijarkach. Rama maszyny w miejscu zamocowania urządzenia pomiarowego stanowi punkt odniesienia dla przemieszczenia główki szyny na danym odcinku. Do określenia krzywizny toru wyznaczono trzy punkty pomiarowe rozmieszczone na długości ramy.

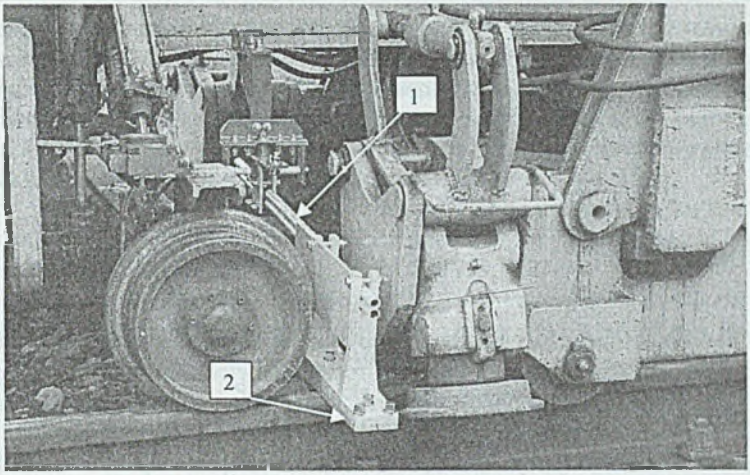
Podczas pracy podbijarki główka szyny przemieszcza się w kierunku poziomym i pionowym. Proponowana metoda oceny sił w szynach polega głównie na analizie krzywizny w kierunku poziomym. Wydaje się jednak uzasadnione rejestrowanie krzywizny szyny także w kierunku pionowym, jako dodatkowego sygnału diagnostycznego. Korelacja tych dwóch sygnałów może dostarczyć dodatkowych informacji odnośnie do sił osiowych w torze kolejowym. Aby dokonać pomiaru jednocześnie obu sygnałów przemieszczenia główki szyny, opracowano – w wyniku weryfikacji kilku projektów – specjalną konstrukcję przyrządu pomiarowego, rejestrującego sygnał pochodzący z górnej powierzchni główki szyny.

Zasadniczym elementem konstrukcyjnym jest odpowiednio ukształtowana bryła, której powierzchnia dolna ślizga się po główce szyny. Bryła ta jest zamocowana do belki, która może wykonywać obrót wokół osi skierowanej wzdłuż osi toru. Powierzchnia ślizgowa bryły wykonana jest ze specjalnego tworzywa sztucznego o dużej odporności na zużycie i małym współczynniku tarcia. Istotnym elementem pomiarowym jest umieszczona w bryle odpowiednio ukształtowana cewka, która spełnia rolę indukcyjnego czujnika przemieszczenia poprzecznego poziomego szyny.

Znamienną cechą tego przyrządu jest pomiar długości wektora r pomiędzy charakterystycznym punktem ramy a boczną powierzchnią główki szyny. Wielkość kąta obrotu wektora r jest mierzona poprzez przetworzenie obrotu belki wokół jej osi na napięcie elektryczne. Zastosowano w tym przypadku przetwornik indukcyjny umieszczony blisko osi obrotu belki. Na podstawie modułu i kąta obrotu można wyznaczyć przemieszczenie główki szyny w kierunku pionowym oraz poziomym. Moduł wektora jest w nieznacznym stopniu zależny od kąta obrotu belki (co wynika ze zmienności punktu styczności powierzchni ślizgowej bryły dotykającej górną powierzchnię główki szyny), dlatego też w programie komputerowym analizującym dane jest uwzględniana odpowiednia poprawka.

Na podbijarce zainstalowane są co najmniej trzy takie urządzenia. Przetworniki wielkości mechanicznych na elektryczne są połączone ekranowanymi kablami z jednostką centralną umieszczoną w kabinie operatora. Sygnały wyjściowe z przetworników są elektrycznymi napięciami modulowanymi amplitudowo lub fazowo. W jednostce centralnej następuje proces demodulacji, filtracji i wzmocnienia sygnału do odpowiedniego poziomu. Tak przetworzony sygnał jest podawany na wejście wielofunkcyjnej karty pomiarowej umieszczonej w przenośnym komputerze.

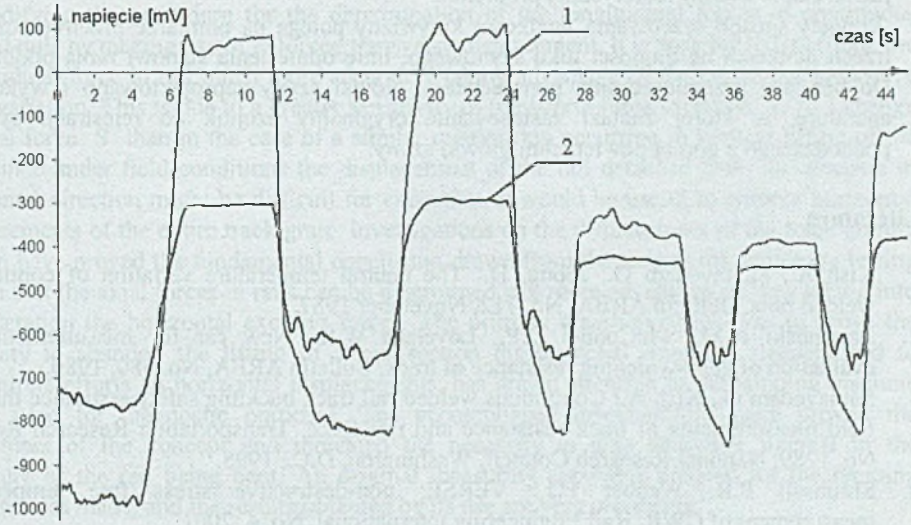
Aparatura dokonuje jednocześnie pomiaru modułu i kąta obrotu trzech wektorów r w funkcji czasu. Na ilustracji (rys. 4) pokazano urządzenie pomiarowe zainstalowane na podbijarce typu PT 800, tuż przy układzie podnosząco-nasuwającym, czyli w miejscu największych przemieszczeń szyny.



Rys.4. Widok urządzenia pomiarowego zainstalowanego na podbijarce w pobliżu układu podnosząco-nasuwajacego; 1 - belka obrotowa, 2 - bryła z czujnikiem indukcyjnym

Fig.4. A view of the measurement apparatus installed on tamping machine near the lifting–shifting system; 1 – revolving beam, 2 – block with induction sensor

Opracowane przez autorów oprogramowanie umożliwia archiwizację danych w pamięci masowej komputera praktycznie w czasie rzeczywistym. Ilość zarejestrowanych próbek zależy jedynie od wielkości pamięci masowej komputera. Przykładowe przebiegi sygnałów z jednego urządzenia pomiarowego pokazano na rys.5.



Rys.5. Przykładowe przebiegi sygnałów z jednego urządzenia pomiarowego; 1 - sygnał przemieszczenia kątowego szyny, 2 - sygnał przemieszczenia poziomego szyny

Fig.5. Sample waveforms from a single measuring device; 1 - angle displacement of the rail, 2 - horizontal displacement of the rail

Na rysunku pokazano sygnał przemieszczenia kątowego 1 oraz sygnał przemieszczenia poziomego szyny 2. Przebiegi ilustrują wybrane 4 cykle pracy podbijarki podczas unoszenia pionowego toru kolejowego. Podczas unoszenia toru w kierunku pionowym czujnik położenia poziomego toru także reaguje, gdyż zmienia się punkt styku czujnika indukcyjnego z górną powierzchnią główki szyny.

5. PODSUMOWANIE

- Poszukiwania metody określania sił osiowych w szynach toru bezstykowego trwają w zasadzie od początku wprowadzenia tego rodzaju nawierzchni do eksploatacji. Jednak jak dotąd zagadnienie to wciąż pozostaje nie do końca rozwiązane. Najbardziej zaawansowane rezultaty w omawianej dziedzinie zostały uzyskane w USA, Wielkiej Brytanii i na kolejach węgierskich. Do metody wymuszonych przemieszczeń pionowych można jednak wysunąć zastrzeżenia natury metodycznej, zaś metoda RailScan obarczona jest wątpliwościami dotyczącymi skuteczności wykorzystania efektu Barkhausena w elementach konstrukcyjnych o dużych przekrojach poprzecznych.
- Na tle badań zagranicznych bardzo korzystnie prezentują się osiągnięcia naszych jednostek naukowo-badawczych. Zwłaszcza Politechniki – Gdańska, Wrocławska i Krakowska wniosły istotny wkład w rozwój omawianej dziedziny. Zespół naukowy Politechniki Gdańskiej wskazał ostatnio na interesujące perspektywy wykorzystania pracy odpowiednio oprzyrządowanej podbijarki w diagnostyce toru kolejowego.
- Nie ulega wątpliwości, że jest możliwe wnioskowanie na temat siły podłużnej w szynach na podstawie pomiaru krzywizny, przy różnych wartościach przemieszczenia poprzecznego. Praktyczna realizacja tej tezy nie jest jednak prosta. Trudności pojawiają się już na etapie analizy teoretycznej problemu.
- Przyjęty sposób szacowania wielkości krzywizny polega na pomiarze przemieszczeń w trzech punktach na długości toku szynowego; linię odniesienia stanowi rama podbijarki. Do pomiaru przemieszczenia poprzecznego główki szyny zaprojektowano i wykonano aparaturę, w której znalazł zastosowanie oryginalny czujnik do rejestracji sygnału pochodzącego z górnej powierzchni główki szyny.

Literatura

1. Kish A., Samavedam G., Jeong, D.: The neutral temperature variation of continuous welded rails. Bulletin AREA, No. 712, November 1987.
2. Zarembski A.M., McConnel D.P., Lovelace W.S.: New car for measurement and evaluation of gage-widening resistance of track. Bulletin AREA, No. 680, 1980.
3. Samavedam G., Kish A.: Continuous welded rail track buckling safety assurance through field measurements of track resistance and rail force. Transportation Research Record, No. 1289, National Research Council, Washington, D.C., 1995.
4. Shrubsall P.R. Webber P.J.: VERSE: non-destructive stress free temperature measurement of CWR. Rail Engineering International, No. 4, 2001.
5. Patent. Polska, nr 166733: Sposób i urządzenie do pomiaru siły podłużnej powstającej w stalowych kształtownikach ustrojów nośnych, zwłaszcza w szynach kolejowych (twórcy wynalazku: M. Jamka, W Chełmecki, B. Bogdaniuk). Politechnika Krakowska, 1995, WUP 06/95.

6. Brzozowski A., Koc W.: Rzeczywisty charakter pracy toru bezstykowego. Przegląd Kolejowy Drogowy, nr 6, 1975.
7. Posgay G., Molnar P.: Investigations using magnetic Barkhausen noise measurement. NTD Methods and Equipment, MetalElectro, Hungary, 1997.
8. Beke D.L., Posgay G., Kis–Varga M., Szabo S.: Determination of stresses distribution in railway rail. Berlin Neutron Scattering Center Experimental Reports, 1996.
9. Kłosek K., Grabczyk J., Zając B., Jasiński I.: Wykorzystanie urządzenia typu RailScan do pomiarów naprężeń w torze bezstykowym dla potrzeb PKP. W: X Konferencja Naukowo-Techniczna "Drogi Kolejowe '99", Spała, 13-15.10.1999, s. 83-96.
10. Koc W., Wilk A., Grulkowski S.: Możliwości wykorzystania pracy podbijarki w diagnostyce toru kolejowego. Drugie Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Kolejowej, Gdańsk – Sycowa Huta, 24-26.05. 2000, s. 59-69.
11. Koc W., Wilk A., Grulkowski S.: Prospects for the tamping machine application in the railway track diagnostics [w]: 4th International Conference RAILWAY ENGINEERING 2001, London, 30.04-1.05.2001, Ballast and Trackbed Investigation Section.

Recenzent: Prof. Dr hab. Aleksander Sładkowski

Abstract

The paper presents briefly a survey of the attempts made to find an effective method for the determination of the longitudinal forces in continuous welded rails. The investigations carried out by European Rail Research Institute and Hungarian Railways have been treated. Particular attention has been paid to the enforced lateral displacement technique applied for the first time in USA. The results of a verification of the technique carried out at the Gdansk University of Technology have been analyzed. The experimental investigations have indicated a capability of modifying the procedure for the determination of the longitudinal forces in continuous welded rails by making use of enforced transverse displacement. It is possible to determine the longitudinal force in rail much more accurately taking advantage of the horizontal transverse force variation. This is due to a greater sensitivity of transverse force variation Y to a change of axial force S than in the case of a similar relationship occurring in vertical lifting of the rail. Since under field conditions the displacement of the rail detached from the sleepers in horizontal direction might be difficult for execution, it would be useful to enforce horizontal displacements of the entire track grate. Investigations on the displacement of the track grating section have proved the fundamental conclusion drawn from the tests at the stationary testing station that the axial forces in rails can be determined in a more advantageous way taking into consideration the horizontal exciting forces. The primary assertion which was to prove the necessity to abandon the lifting of a rail section disconnected from the sleepers and to concentrate efforts on horizontal displacements, has drawn attention to the tamping machine to be used for diagnostic purposes. The accomplished investigations have proved the correctness of the concept and indicated the necessity to take particular interest in the curvature of the rail being bent. An original measuring apparatus adapted for the tamping machine was made, and the results obtained by its use are very promising.