

WPLYW ZMIANY PODPARCIA I KONTAKTU BEZSTYKOWEGO TORU KOLEJOWEGO Z PODŁOŻEM NA JEGO PRACĘ¹

Włodzimierz Andrzej BEDNAREK

Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Przedmiotem pracy jest zagadnienie związane z wpływem lokalnie wywołanego odkształcenia na statyczną pracę szyny bezstykowego toru kolejowego w płaszczyźnie pionowej. Poddano analizie zamierzoną nierówność w bezstykowym torze kolejowym (symulującą powstającą nierówność podczas jego eksploatacji). Przeprowadzono badania terenowe w rzeczywistym torze kolejowym, w którym wywoływano jego zamierzone odkształcenie. Stwierdzono, że zaproponowana autorska metoda wywoływania odkształceń w torze pozwala na generowanie nierówności o znanych początkowych parametrach – długości i strzałce nierówności. Zwrócono uwagę na znaczącą zmianę warunków pracy szyny eksploatowanego toru wskutek przede wszystkim powstających w nim nierówności. Formujące się nierówności powodują różny kontakt podkładu z warstwą podsypki. Sztywność toru w stanie nieobciążonym (bez nacisków od pojazdów) powoduje, że podkłady w różnym stopniu opierają się na podsypce. W najbardziej niekorzystnym przypadku może wystąpić zupełny brak kontaktu podkładu z podsypką – np. efekt *wiszącego podkładu/podkładów*. Zmieniający się sposób podparcia toru można opisać dopiero w torze obciążonym po przyłożeniu nacisku (pochodzącego na przykład od kolejnych osi lokomotywy).

W pracy szczególny nacisk położono na unaocznienie wpływu poszczególnych czynników na pracę szyny bezstykowego toru kolejowego, zamieszczając w artykule odpowiednie rysunki i wykresy otrzymane z przeprowadzonych badań i obliczeń.

Słowa kluczowe: tor bezstykowy, imperfekcje w torze, zmiana podparcia i kontaktu toru z podłożem.

1. WPROWADZENIE

Aktualny stan toru kolejowego oraz jego ukształtowanie i położenie, ulega stopniowej zmianie podczas eksploatacji. Zmiany geometrycznego położenia toru następują głównie wskutek obciążeń od pojazdów, zmian jego podparcia oraz robót wykonywanych w torze [1,2,4-7,9] (podbijanie toru, oczyszczanie podsypki, bieżące naprawy czy *inne* działania człowieka, powodujące *niezamierzony* efekt zmiany podparcia i kontaktu toru z podłożem (rys. 1)):

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.25.03



Rys. 1. Ugięcie toru powstałe w czasie eksploatacji oraz podparcie podkładów strunobetonowych za pomocą staroużytecznego podkładu drewnianego [14]

Przyczyną deformacji toru jest zróżnicowanie charakterystyk podparcia toru w różnych jego przekrojach, powstające wskutek nierównomiernego osiadania podsypki w czasie eksploatacji, zwiększonych odkształceń, zwłaszcza tzw. *slabego podtorza*, czy występowania w podtorzu *gruntów wysadzinowych*. Zmieniający się sposób podparcia toru można opisać dopiero w torze obciążonym po przyłożeniu nacisku pochodzącego na przykład od osi lokomotywy.

2. WPLYW ZMIANY SZTYWNOŚCI PODPARCIA SZYNY W OTOCZENIU STREFY BRAKU KONTAKTU NA UGIĘCIA SZYNY

W rzeczywistym torze kolejowym dochodzi do powstawania różnych postaci zmian warunków jego pracy i poszczególnych jego elementów. Spotykane zmiany sztywności podparcia wynikające np. z występowania w podłożu gruntów o zróżnicowanych właściwościach [3,8,9,12,14], grubości podsypki czy typu konstrukcji nawierzchni wpływają m.in. na dodatkowe ugięcia szyny. Teoretyczne rozważania pracy toru/belki na podłożu podejmowano w pracach [3,8,9,10,11,13]. W celu określenia wpływu braku kontaktu toru z podłożem na zmianę ugięcia szyny, przeanalizowano metodą elementów skończonych [3,14] odcinek toru w bezpośredniej strefie obciążenia skupioną siłą P . Obliczenia przeprowadzono dla obciążenia skupionego P o wartości 100 kN przyłożonego w środku rozpiętości odcinka, obrazujące wpływ wydłużania strefy braku kontaktu na maksymalne ugięcia szyny.

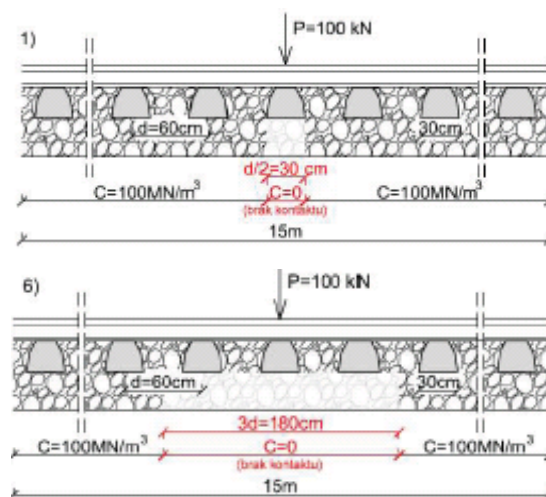
Obliczenia przeprowadzono w celu zbadania zależności pomiędzy długością odcinka toru, na którym zachodzi zjawisko braku kontaktu pomiędzy podkładami a podsypką, a maksymalnymi ugięciami szyny. Do analizy wykorzystano 100 elementowy schemat obliczeniowy, powodujący podział 15 m odcinka toru na elementy o długości 15 cm. Obliczenia przeprowadzono dla szyny 60E1, 49E1 oraz dla szyny porównawczej (o większej sztywności, np. szyna typu R75) obciążonej siłą skupioną w środku rozpiętości przyjmując następujące dane:

- $E = 210$ [GPa],
- $I_{60E1} = 3038,3 \cdot 10^{-8}$ [m⁴], $I_{49E1} = 1816 \cdot 10^{-8}$ [m⁴], $I_{por} = 4597 \cdot 10^{-8}$ [m⁴] (np. szyna typu R75),
- $EI_{60E1} = 6,38$ [MNm²], $EI_{49E1} = 3,814$ [MNm²], $EI_{por} = 9,65$ [MNm²] = $1,51 \cdot EI_{60E1} = 2,53 \cdot EI_{49E1}$,
- oraz siła skupiona $P = 100$ [kN].

Brak kontaktu pomiędzy podkładami a podsypką został uwzględniony w obliczeniach jako przyjęcie na tym odcinku współczynnika podatności podłoża równego $C = 0$ MN/m³. Na pozostałej części toru przyjęto stały współczynnik podatności podłoża [14]:

- $C = 100$ MN/m³,
- oraz d - osiowy rozstaw podkładów (przyjęto o wartości 60 cm).

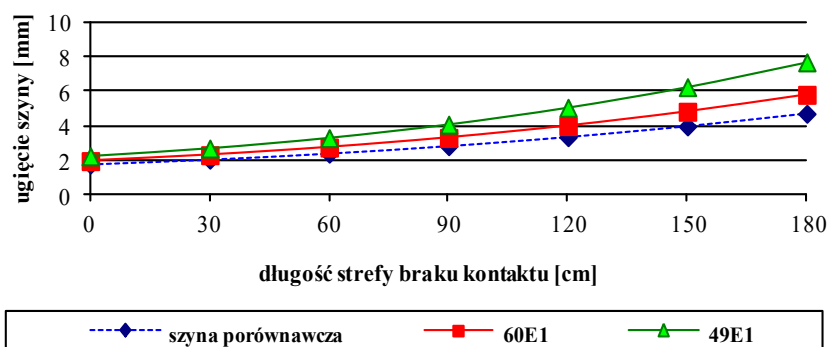
Obliczenia przeprowadzono metodą elementów skończonych [14] dla 6 różnych długości strefy braku kontaktu, kolejno zwiększając długość braku kontaktu od wartości $d/2$, czyli 30 cm do wartości aż $3d$, czyli 180 cm, co pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Przyjęte skrajne schematy obliczeniowe (brak kontaktu od $d/2$ do $3d$, czyli od 30 cm do 180 cm) (efekt tzw. *wiszącego/wiszących podkładu/podkładów*) [14]

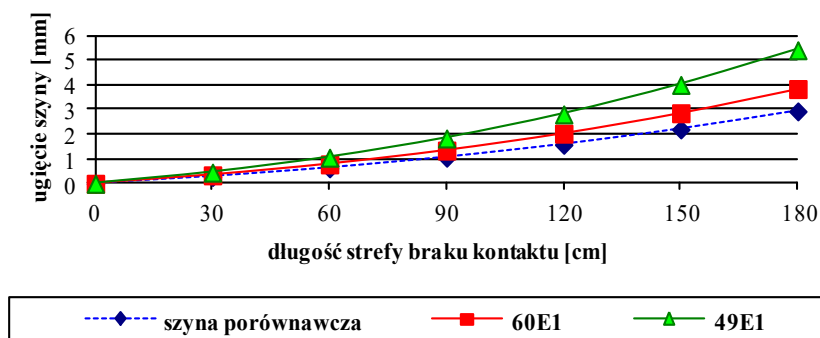
Wyniki przeprowadzonych obliczeń (w zależności od długości strefy braku kontaktu dla analizowanych schematów obliczeniowych) zestawiono na rysunku 3 (wykresy maksymalnych ugięć szyny w zależności od długości strefy braku kontaktu dla analizowanych szyn) oraz na rysunku 4 (wykresy dodatkowych ugięć szyny w zależności od długości strefy braku kontaktu dla analizowanych szyn).

Ugięcia analizowanych szyn w zależności od długości strefy braku kontaktu



Rys. 3. Wykresy maksymalnych ugięć szyny w zależności od długości strefy braku kontaktu dla analizowanych szyn: szyny 60E1, szyny 49E1 oraz szyny porównawczej [14]

Dodatkowe ugięcie analizowanych szyn w zależności od długości strefy braku kontaktu



Rys. 4. Wykresy dodatkowych ugięć szyny w zależności od długości strefy braku kontaktu dla analizowanych szyn szyny 60E1, szyny 49E1 oraz szyny porównawczej [14]

Na podstawie wyników analizy - przedstawionych na rysunku 3 - można zauważyć, że długość strefy na której następuje brak kontaktu pomiędzy torem a podsypką ma znaczny wpływ na maksymalne ugięcia szyny. Otrzymane wartości

maksymalnych ugięć szyny porównawczej są zarówno mniejsze od wyznaczonych ugięć dla szyny 49E1 oraz 60E1. Maksymalne ugięcie dla strefy braku kontaktu równej 180 cm wynosi 4,727 mm co stanowi ok. 61% maksymalnego ugięcia szyny 49E1, oraz ok. 81% maksymalnego ugięcia szyny 60E1. Wartość maksymalnego ugięcia w przypadku 180 cm strefy braku kontaktu jest większa aż o ok. 163% od ugięć szyny na odcinku o jednolitej sztywności podłoża (które wynosi 1,794 mm). Na podstawie obliczeń pokazanych na rysunku 3, stwierdzono również, że maksymalne ugięcia szyny powstają dla nawierzchni z szyną 49E1. Maksymalne ugięcia szyn, niezależnie od ich typów, zwiększają się wraz z powiększaniem się strefy braku kontaktu pomiędzy torem a podsypką. Podczas analizy obliczeniowej wyznaczono także wartości dodatkowych ugięć szyn (y_d), które powstają podczas wystąpienia miejsc utraty kontaktu toru z podsypką (rys. 4). Tutaj takie największe dodatkowe ugięcia szyny odnotowano dla szyny 49E1. Zmiana szyny z 49E1 na szynę porównawczą pozwoli zmniejszyć dodatkowe ugięcia szyny w przypadku najdłuższej analizowanej strefy braku kontaktu o 46%, natomiast zmiana na szynę typu 60E1 spowoduje ok. 30% redukcję dodatkowych ugięć szyny.

3. DOŚWIADCZALNA ANALIZA WPŁYWU ZMIANY PODPARCIA I KONTAKTU TORU Z PODŁOŻEM NA PRACĘ BEZSTYKOWEGO TORU KOLEJOWEGO

3.1. Wprowadzenie

Analiza przekazywania nacisku z koła poprzez szynę na podkład kolejowy pozwala unaocznic skutki symulowanej nierówności w torze kolejowym. Zaproponowano autorską metodę wywoływania i analizy pracy toru w zasięgu miejscowego odkształcenia [3]. Pozwala ona określić zależności pomiędzy powstającymi w torze odkształceniami a zmianami wartości ugięć i naprężeń w szynie, które można ocenić dopiero pod wpływem przyłożonego obciążenia. Metoda ta, na podstawie pomiarów w obciążonym torze, umożliwia opisywanie skutków zmiany warunków podparcia toru, wykazując swoją przydatność do analizowania wzrostu ugięć i naprężeń dla założonego kształtu imperfekcji symulujących krótkie nierówności powstające w eksploatowanym torze kolejowym [3].

3.2. Opis zaproponowanej metody generowania zamierzonego odkształcenia w torze

W celu przeprowadzenia analizy pracy obciążonych elementów toru na lokalnej nierówności, wykonano badania terenowe na stacji kolejowej Poznań-Franowo [3]. Celem badań było wywołanie zamierzonego odkształcenia w torze kolejowym poprzez symulowanie nierówności w jego podparciu wskutek obniżenia jednego przekroju poprzecznego w badanym torze kolejowym. Przyjęto następujący schemat pomiarowy – rysunek 5.



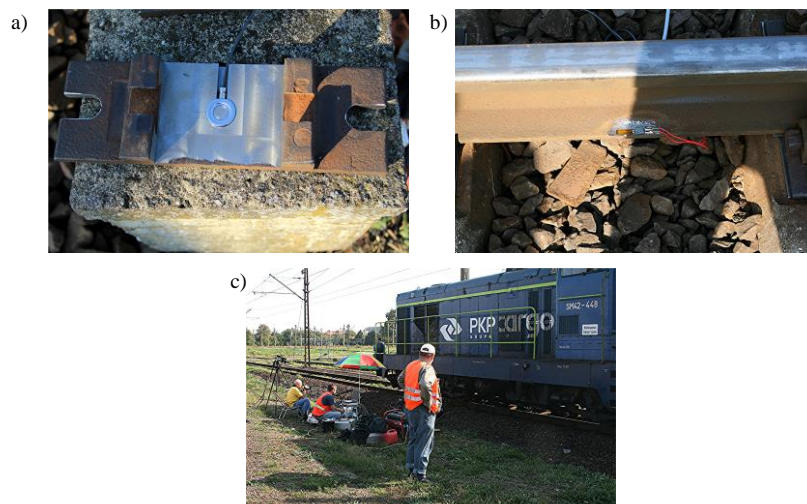
Rys. 5. Schemat wywołanej nierówności w torze kolejowym [3]. f_0 – nierówność wywołana w torze kolejowym [mm]; P – przyłożona siła [MN]; $E_s \cdot I$ – sztywność toru w płaszczyźnie pionowej [MNm^2]; g_r – ciężar toru [MN/m]; a – rozstaw podkładków [m]

W torze wywołano zamierzone, lokalne odkształcenie poprzez obniżenie toru o określoną wartość (parametr f_0 na rysunku 5). Odkształcenie toru uzyskano przez odkręcenie przytwierdzeń, podniesienie toru podnośnikiem (bez naruszania stateczności toru bezстыkowego w płaszczyźnie poziomej, zgodnie z obowiązującymi przepisami), a następnie umieszczenie metalowych płytek pomiędzy szyną a podkładką, opuszczenie szyny na podkładkę oraz ponowne przytwierdzenie szyn do podkładów. Wartość f_0 zwiększano od $f_0=0$ mm (stan początkowy toru), kolejno do 1, 2 i 3 mm. W trakcie pomiarów wykonano 12 przejazdów lokomotywą SM-42. Umożliwiło to analizę pracy toru (a w szczególności szyny i podkładu) poprzez pomiar siły przekazywanej z szyny na podkład oraz ugięć zarówno samej szyny jak i podkładu kolejowego. Ze względu na umieszczenie czujnika siły w podkładce (rys. 6a), badania wykonano na podkładzie betonowym (zdaniem autora zapewniło to prawidłowe podparcie czujnika dla rejestracji pomiarów).

W miejscu wywołanego w zamierzony sposób odkształceniu toru kolejowego mierzono między innymi: (rys. 6):

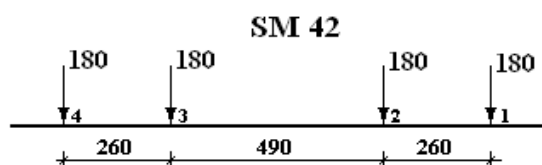
- ugięcia szyny i podkładu betonowego pod przejeżdżającym pociągiem,
- naprężenia w szynie pod przejeżdżającym pociągiem,
- siłę przekazywaną z szyny na podkład kolejowy.

Do analizy przemieszczeń wykorzystano także optyczny system pomiarowy firmy GOM mbH [3].



Rys. 6. Badanie terenowe na stacji Poznań-Franowo a) czujnik KMR200 HBM do pomiaru siły przekazywanej z szyny na podkład umieszczony w podkładce kolejowej, b) tensometry LY41-20/120 do pomiaru naprężeń w szynie przyklejone do stopki, c) stanowisko pomiarowe do zapisu uzyskiwanych pomiarów

Obciążenie statyczne realizowano lokomotywą **SM42-448** (72 t na 4-osię → czyli **180 kN/oś**) – rysunek 7.



Rys. 7. Schemat obciążenia lokomotywy

3.3. Wyniki uzyskane podczas badań terenowych

Podczas przejazdów lokomotywy po odkształconym torze kolejowym wykonano pomiary ugięć szyny i podkładu, zmian naprężeń w szynie oraz zmian siły przekazywanej z szyny na podkład, dla kolejno następujących po sobie 4 osi lokomotywy *SM-42* [3].

Do opisanie rejestrowanych w trakcie badań terenowych ugięć szyny i podkładu zastosowano funkcje, w których argumentem są zaimplementowane nierówności toru f_0 . Funkcje te mają postać:

- $z(f_0) = a \cdot (f_0)^b + c$, liczona metodą Levenberg-Marquardt'a (*Levenberg-Marquardt method for minimization*),
- $z(f_0) = e^{a+b \cdot f_0 + c \cdot f_0^2}$ (funkcja eksponencjalna).

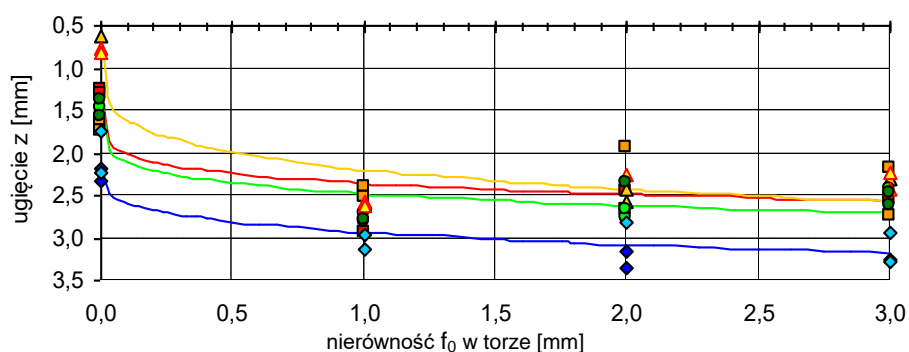
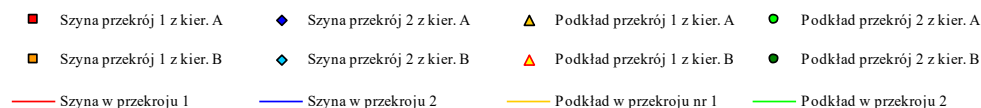
Do obliczeń szukanych parametrów wykorzystano procedury programu MathCAD, np. procedurę *pwrfit*.

Na rysunku 8 przedstawiono ugięcia szyny i podkładu dla symulowanych nierówności w torze kolejowym na stacji Poznań-Franowo dla nacisków od 4 osi lokomotywy. Rysunki umożliwiają ocenę skali zmian zarówno w przekroju nr 1 jak i nr 2 (pokazane na rysunku 5).

Jak widać na rysunku 8, strzałki nierówności f_0 wywołane w torze zmieniają w znaczący sposób pracę obciążonych elementów nawierzchni kolejowej. Zwłaszcza w rozpatrywanym przekroju nr 2, można zaobserwować duży wpływ tego odkształcenia na pracę toru kolejowego. I tak:

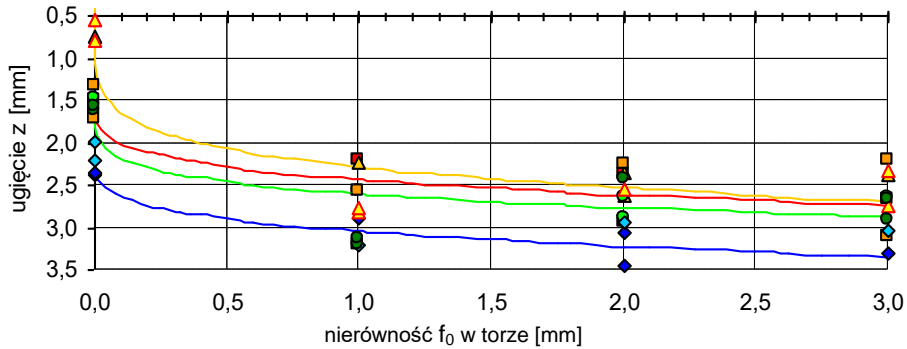
- dla schematu z rysunku 5, przy braku odkształcenia w torze ($f_0=0$ mm), ugięcia szyny wynoszą około 2 mm (np. pod 2 osią lokomotywy obciążeniowej otrzymano wartość 1,99 mm). Przy $f_0=3$ mm ugięcie szyny zwiększa się do wartości 3,54 mm, czyli o 77,2%, a ugięcie podkładu zwiększa się z 1,44 mm do 2,87 mm, czyli aż o 99,89%. Zwiększenie ugięcia szyny i podkładu wyraźnie widać na rysunku 8.

Na rysunku 8 zastosowano następujące oznaczenia:



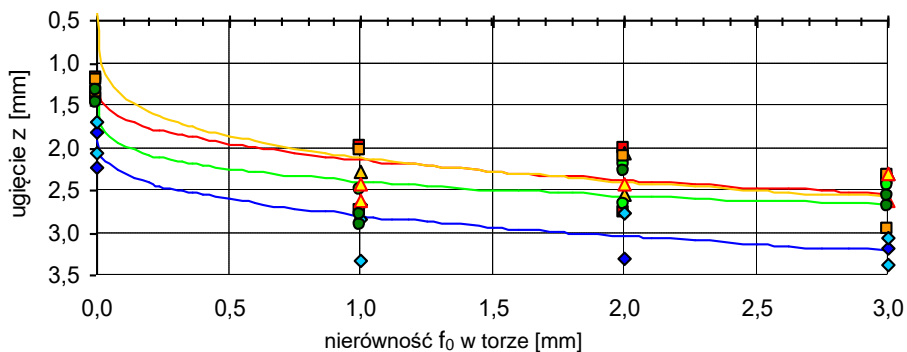
- ugięcie szyny w przekroju nr 1: $z_1^{sz}(f_0) = 1,1602 \cdot (f_0)^{0,1524} + 1,1971$,
- ugięcie szyny w przekroju nr 2: $z_2^{sz}(f_0) = 0,8003 \cdot (f_0)^{0,2407} + 2,1288$,
- ugięcie podkładu w przekroju nr 1: $z_1^{pod}(f_0) = 1,6593 \cdot (f_0)^{0,1889} + 0,5368$,
- ugięcie podkładu w przekroju nr 2: $z_2^{pod}(f_0) = 1,2179 \cdot (f_0)^{0,1561} + 1,2605$.

Rys. 8a. Ugięcie szyny i podkładu wskutek wywołanej nierówności w torze kolejowym wskutek kolejnych nacisków osi lokomotywy **SM42-448** [3]. Obniżenie przekroju poprzecznego nr 2 (schemat z rysunku 5). Nacisk osi nr 1 w przekroju nr 2 – 1 oś



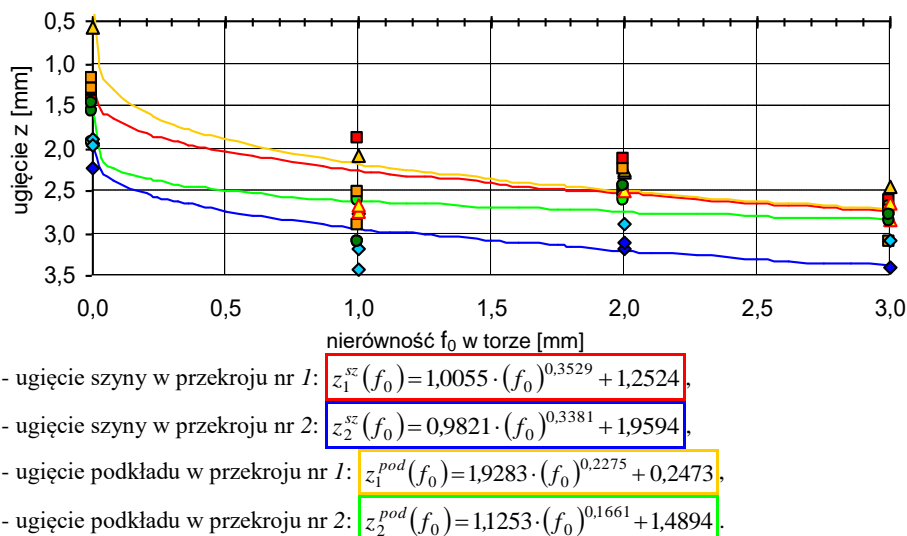
- ugięcie szyny w przekroju nr 1: $z_1^{sz}(f_0) = 1,0323 \cdot (f_0)^{0,2319} + 1,4024$,
- ugięcie szyny w przekroju nr 2: $z_2^{sz}(f_0) = 0,8888 \cdot (f_0)^{0,2669} + 2,1549$,
- ugięcie podkładu w przekroju nr 1: $z_1^{pod}(f_0) = 1,9002 \cdot (f_0)^{0,1771} + 0,3868$,
- ugięcie podkładu w przekroju nr 2: $z_2^{pod}(f_0) = 1,1621 \cdot (f_0)^{0,1925} + 1,4373$.

Rys. 8b. Ugięcie szyny i podkładu wskutek wywołanej nierówności w torze kolejowym wskutek kolejnych nacisków osi lokomotywy **SM42-448** [3]. Obniżenie przekroju poprzecznego nr 2 (schemat z rysunku 5). Nacisk osi nr 2 w przekroju nr 2 – 2 oś



- ugięcie szyny w przekroju nr 1: $z_1^{sz}(f_0) = 0,9096 \cdot (f_0)^{0,3353} + 1,2308$,
- ugięcie szyny w przekroju nr 2: $z_2^{sz}(f_0) = 0,8822 \cdot (f_0)^{0,3546} + 1,9148$,
- ugięcie podkładu w przekroju nr 1: $z_1^{pod}(f_0) = 1,9354 \cdot (f_0)^{0,1998} + 0,1741$,
- ugięcie podkładu w przekroju nr 2: $z_2^{pod}(f_0) = 1,2239 \cdot (f_0)^{0,1841} + 1,1716$.

Rys. 8c. Ugięcie szyny i podkładu wskutek wywołanej nierówności w torze kolejowym wskutek kolejnych nacisków osi lokomotywy **SM42-448** [3]. Obniżenie przekroju poprzecznego nr 2 (schemat z rysunku 5). Nacisk osi nr 3 w przekroju nr 2 – 3 oś



Rys. 8d. Ugięcie szyny i podkładu wskutek wywołanej nierówności w torze kolejowym wskutek kolejnych nacisków osi lokomotywy **SM42-448** [3]. Obniżenie przekroju poprzecznego nr 2 (schemat z rysunku 5). Nacisk osi nr 4 w przekroju nr 2 – 4 oś

Z rysunku 8 wynika, iż wywoływane według schematu z rysunku 5 odkształcenia w torze zmieniają ugięcia, a co się z tym wiąże powodują zmianę wartości naprężeń w stopce szyny zarówno dla przekroju nr 1, jak i nr 2. W przekroju nr 2 obserwuje się duży wpływ wygenerowanej nierówności na pracę toru kolejowego. Wzrastające ugięcie szyny, zależne od założonej nierówności f_0 , powoduje zmianę (zwiększenie) naprężeń w szynie z 58,48 aż do 75,56 MPa, czyli wzrost o 29,22%.

Te znaczące zmiany naprężeń opisano wzorami i wykonano stosowne wykresy przedstawione na rysunku 9, na których można ocenić skalę zmian zarówno w przekroju nr 1 jak i nr 2.

Naprężenia powstające w stopce szyny opisane zostały następującymi funkcjami:

- funkcja eksponencjalna: $\sigma_{(i)}^{(j)}(f_0) = \sigma_0 \cdot e^{u_0 + u_1 \cdot f_0 + u_2 \cdot f_0^2}$,
- funkcja wielomianowa trzeciego stopnia: $\sigma_{(i)}^{(j)}(f_0) = u_0 \cdot f_0^3 + u_1 \cdot f_0^2 + u_2 \cdot f_0 + u_3$,

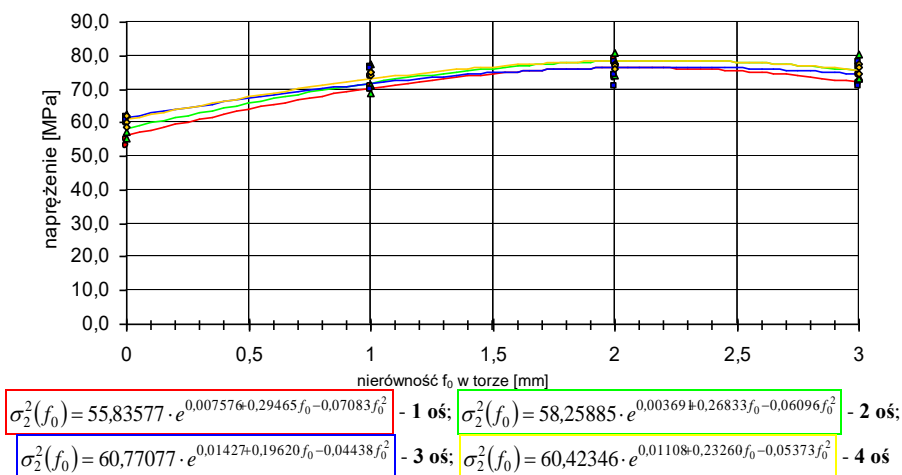
gdzie:

σ_0 – średnia wartość naprężenia [MPa] dla $f_0 = 0$ [mm],

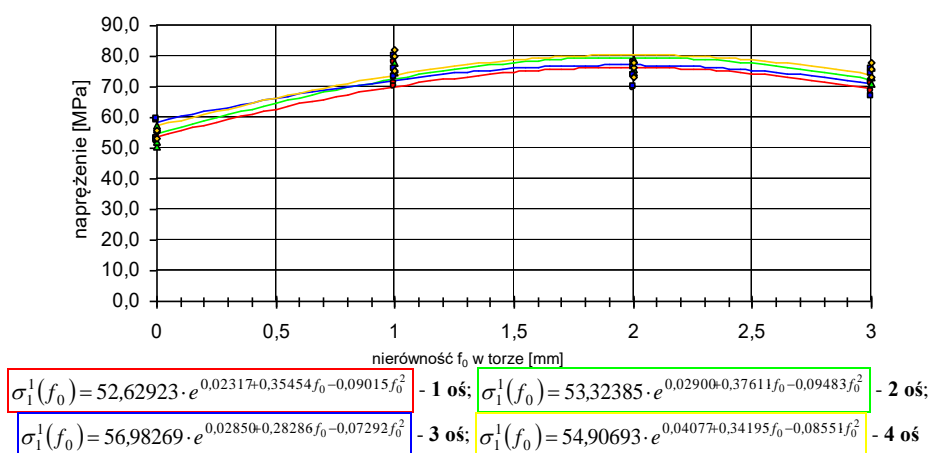
f_0 – wywoływane stopniowo odkształcenie w przekroju nr 2 w [mm],

i – miejsce położenia siły z koła kolejnej osi lokomotywy,

j – naprężenie w stopce szyny w przekroju nr 1 lub 2.



Rys. 9a. Zależność zmiany naprężeń w szynie od wartości f_0 wywołanej nierówności w torze kolejowym (naciski od kolejnych osi lokomotywy) [3] schemat z rysunku 5 – pomiar naprężeń za pomocą tensometrów. Naprężenia w stopce szyny w przekroju nr 2 – siła w przekroju nr 2 (kolejne osie)



Rys. 9b. Zależność zmiany naprężeń w szynie od wartości f_0 wywołanej nierówności w torze kolejowym (naciski od kolejnych osi lokomotywy) [3] schemat z rysunku 5 – pomiar naprężeń za pomocą tensometrów. Naprężenia w stopce szyny w przekroju nr 1 – siła w przekroju nr 1 (kolejne osie)

Na rysunku 9 pokazano zmiany wartości naprężeń dla przekrojów nr 2 i nr 1 (dla schematu z rysunku 5) określone z wyników pomiarów.

Konsekwencją zmian ugięć szyny i podkładu oraz naprężeń w stopce szyny są widoczne zmiany wartości siły przekazywanej z szyny na podkład kolejowy, co

pokazano na rysunku 10. Wywoływane w torze nierówności o strzałce f_0 według schematu z rysunku 5, zmieniają wartość siły przekazywanej z szyny na podkład zarówno dla przekroju nr 1 jak i nr 2. W przekroju nr 2, wzrastające ugięcie szyny powoduje zmniejszenie wartości tej siły z 45,09 kN do 2,35 kN, czyli aż o 94,79%. Tak znaczne zmniejszenie jest spowodowane tym, że:

- siła ta jest o niewielkiej wartości do chwili osiągnięcia kontaktu podkładu z podłożem,
- dopiero ugięcie szyny wraz z podkładem po kontakcie z podłożem powoduje powstanie siły przekazywanej z szyny na podkład.

Zmiany wartości siły przekazywanej z szyny na podkład kolejowy w funkcji wielkości strzałki nierówności w przekroju nr 2, opisano wzorami i wykonano stosowne wykresy przedstawione na rysunku 10, na których można ocenić zakres zmian zarówno w przekroju nr 1 jak i nr 2.

Wartość zmiany siły w funkcji strzałki nierówności f_0 , opisano funkcją w postaci: $Q_i^j(f_0) = P_0 \cdot e^{u_0 + u_1 \cdot f_0 + u_2 \cdot f_0^2}$, gdzie:

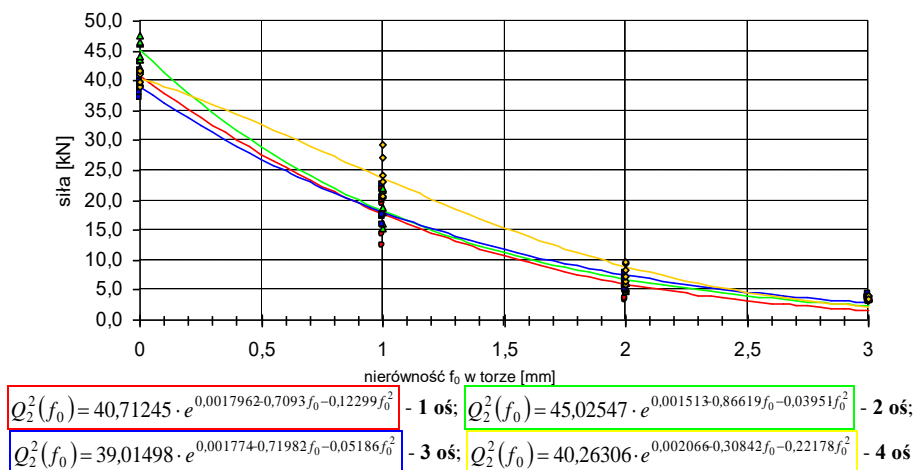
P_0 – średnia wartość siły dla $f_0 = 0$ [mm],

f_0 – wywoływane stopniowo odkształcenie w przekroju nr 2 w [mm],

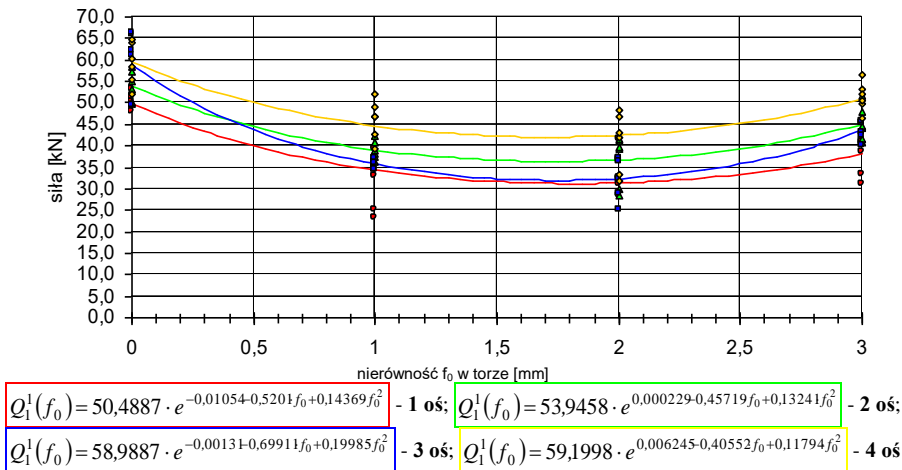
i – siła przekazywana z szyny na podkład w przekroju nr 1 lub 2,

j – położenia koła kolejnej osi lokomotywy.

Rejestrowano również wartości siły przekazywanej z szyny na podkład w przekroju nr 2 dla schematu z rysunku 5. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10a. Zależność siły przekazywanej z szyny na podkład kolejowy od wartości nierówności wywołanej w torze kolejowym (naciski od kolejnych osi lokomotywy) [3] schemat z rysunku 5. Zmiany siły na czujniku w przekroju nr 2 – siła w przekroju nr 2 (kolejne osie)



Rys. 10b. Zależność siły przekazywanej z szyny na podkład kolejowy od wartości nierówności wywołanej w torze kolejowym (naciski od kolejnych osi lokomotywy) [3] schemat z rysunku 5. Zmiany siły na czujniku w przekroju nr 1 – siła w przekroju nr 1 (kolejne osie)

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie przeprowadzonych rozważań w pracy można stwierdzić, że:

- Zamieszczona analiza w pracy pokazuje zmianę warunków pracy szyny wskutek powstających imperfekcji w czasie eksploatacji bezstykowego toru kolejowego;
- Z pomiarów i rozważań teoretycznych wynika, że wywołane w torze odkształcenia f_0 według schematów z rysunku 5 zmieniają w znaczący sposób stan naprężeń i rozkład sił w nawierzchni kolejowej;
- Przeprowadzone badania pozwalają opisać zagadnienie przekazywania oddziaływania z koła na szynę i z szyny na podkład kolejowy dla analizowanego przekroju nr 1 i 2, w którym symulowano nierówności w torze;
- Dla schematu odkształceń z rysunku 5 proces przekazywania obciążenia można przedstawić jako pewien ciąg przyczynowo-skutkowy:
 - brak kontaktu pomiędzy torem a podsypką powoduje zwiększenie ugięć szyny (z 1,99 aż do 3,54 mm) w zależności od wartości nierówności f_0 ,
 - zwiększenie ugięć wywołuje wzrost naprężeń w stopce szyny (z 58,48 do 75,56 MPa),
 - „słabsze” podparcie szyny powoduje, że wartość siły przekazywanej z szyny na podkład ulega zmniejszeniu z 45,09 do 2,35 kN;
- Zmniejszenie siły przekazywanej na podkład spowodowane jest tym, że:
 - siła ta nie występuje do chwili osiągnięcia kontaktu podkładu z podłożem,
 - dopiero ugięcie szyny po kontakcie z podłożem powoduje jej wystąpienie;

- Przeprowadzone w rzeczywistym torze badania terenowe umożliwiły bezpośrednio wyznaczenie siły przekazywanej z szyny na podkład. Zdaniem autora umieszczenie czujnika w podkładce stalowej nie narusza stanu toru i może służyć do pomiaru rzeczywistej siły przekazywanej z szyny na podkład przy symulowanych w torze odkształceniach.

LITERATURA

- [1] Bednarek Wł.: Local unevenness of lengthwise profile influence on stability conditions of continuous welded rail track. Foundations of Civil and Environmental Engineering, Poznań University of Technology, No. 10, 2007.
- [2] Bednarek Wł.: The analysis of the influence of variable roadbed stiffness and support of railway sleeper on its work. Foundations of Civil and Environmental Engineering (FCEE), Poznan University of Technology, No. 13, 2010.
- [3] Bednarek Wł.: Wpływ pionowych odkształceń nawierzchni i podtorza na pracę toru bezстыkowego. Seria Rozprawy Nr 506, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013, ISSN 0551-6528.
- [4] Bednarek Wł.: Wybrane zagadnienia współpracy nawierzchni z podłożem podczas eksploatacji bezстыkowego toru kolejowego, Przegląd Komunikacyjny nr 10/2014,
- [5] Bednarek Wł.: Determination of foundation coefficients for a 2-parameter model on the basis of railway sleeper deflection. International Conference of Continuous Media with Microstructure II, Łągów, 2015.
- [6] Bednarek Wł.: Zagadnienia powstających pionowych nierówności w eksploatowanym torze kolejowym, Przegląd Komunikacyjny 2/2016, rocznik LXXI.
- [7] Bednarek Wł.: Statyczna analiza wybranych imperfekcji podłoża szynowego na dodatkowe ugięcia szyny bezстыkowego toru kolejowego. Przegląd Komunikacyjny 11/2016, rocznik LXXI.
- [8] Czyczuła Wł.: Wpływ niejednorodności podłoża szynowego na dodatkowe ugięcia szyny pod obciążeniem użytkowym, Drogi Kolejowe nr 5/1991.
- [9] Czyczuła Wł.: Eksploatacyjna stabilność drogi kolejowej. Monografie Politechniki Krakowskiej, nr 126, Kraków 1992.
- [10] Lewandowski R., Świtka R.: Zginanie belek na sprężysto-plastycznym podłożu Winklera z więzami jednostronnymi. Archiwum Inżynierii Lądowej – Tom XXXIV, Z. 1/1988.
- [11] Mączka J., Szefer G.: Belka Timoshenki przedziałami spoczywająca na podłożu typu Wiegharda. Archiwum Inżynierii Lądowej, tom XVII, z. 1/1971.
- [12] Siewczyński Ł.: Zagadnienia współpracy nawierzchni kolejowej z podtorzem gruntowym. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, seria Rozprawy nr 66, Poznań, 1974.
- [13] Szumierz W.: Analiza utraty kontaktu prostego toru bezстыkowego z podłożem. Archiwum Inżynierii Lądowej, tom XIX, z. 2, 1973.
- [14] Zydorek M.: Analiza wybranych zagadnień współpracy bezстыkowego toru kolejowego podczas znacznej zmiany jego kontaktu i podparcia z podłożem podsypkowym. Praca magisterska (pod kierunkiem Wł. Bednarka), Poznań 2016 (maszynopis).

THE INFLUENCE OF SUPPORT CHANGE AND CONTACT OF RAILWAY JOINTLESS TRACK WITH SUBGRADE ON ITS WORK

Summary

The object of paper is problem of influence of local simulated unevenness on rail static work in vertical plane. An analysis of planned unevenness in jointless track (simulating an unevenness arising during its operating) is inserted. The terrain researches in real railway track with planned unevenness are carried out. These researches allow to state, that the author's method to generated local unevenness with initial parameters (length and sag) is useful in real track. A special accent is paid on significant change of conditions work of operated rail due to arising in it's the unevenness. Growing unevenness causes a various contact between sleeper and ballast layer. The track stiffness causes in unloaded state (without loads from vehicle), that sleepers in various state support on ballast. In most unfavourable case can appear a contact loss between sleeper and ballast – e.g. effect “hanging sleeper/sleepers”. Changing the way of track support can be described only in loaded track after imposing a wheel load (e.g. from successive locomotive axles).

In the paper a special accent is laid on visualization the influence of selected factors on work of CWR track rail, giving in many places in the paper the proper figures and graphs carried out from making site researches and calculations.

Keywords: jointless track, imperfections in track, support change and contact of railway track with subgrade

Dane autora:

Dr hab. inż. Włodzimierz Andrzej Bednarek

Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych

e-mail: wlodzimierz.bednarek@put.poznan.pl

telefon: +48 61 665 2638