

# Ocena stalowych słupów dwugałęziowych tramwajowej sieci trakcyjnej

Prof. dr hab. inż. Bronisław Gosowski, mgr inż. Paweł Lorkowski,  
Politechnika Wrocławska

## 1. Wprowadzenie

Na wydzielonych torowiskach linii tramwajowych sieci jezdne zawieszane są zazwyczaj na stalowych słupach dwugałęziowych znajdujących się w międzytorzu (por. rys. 1). Słupy te mają gałęzie wykonane z walcowanych ceowników, które połączone są w jednej płaszczyźnie skratowaniem z płaskowników. Skratowanie w starszych słupach wykonywano z płaskowników z odgiętymi końcami w celu umożliwienia połączenia ich z gałęziami (średnikami ceowników) za pomocą spoin pachwinowych. W słupach nowych płaskowniki skratowania łączy się z gałęziami spoinami czołowymi. Gałęzie łączone są zwykle dodatkowo na długości słupów przewiązkami zlokalizowanymi w płaszczyźnie półek ceowników. Jest w tym wzglę-

dzie jednak spora dowolność, gdyż eksploatowane są słupy z przewiązkami w dwóch (rys. 1a) lub jednym przekroju pośrednim na długości (rys. 1b), a także bez tego typu przewiązek (rys. 1c).

Przewiązki pośrednie mają istotny wpływ na sztywność rozważanych słupów na skręcanie, a co za tym idzie na przestrzenne formy utraty ich stateczności ogólnej (wyboczenie giętno-skrętne, zwichrzenie). Chcąc wyjaśnić rolę przewiązek i ich wpływ na nośność rozważanych słupów z warunku stateczności przestrzennej, w artykule przeprowadzono stosowną analizę wpływu rozmieszczenia przewiązek na sztywność skrętną słupów.

W ocenie konstrukcji rozważanych słupów zwrócono ponadto uwagę na jakość spoin łączących płaskowniki z gałęziami. W ocenie natomiast

stanu technicznego – na miejsca zagrożone korozją, a także uszkodzenia mechaniczne.

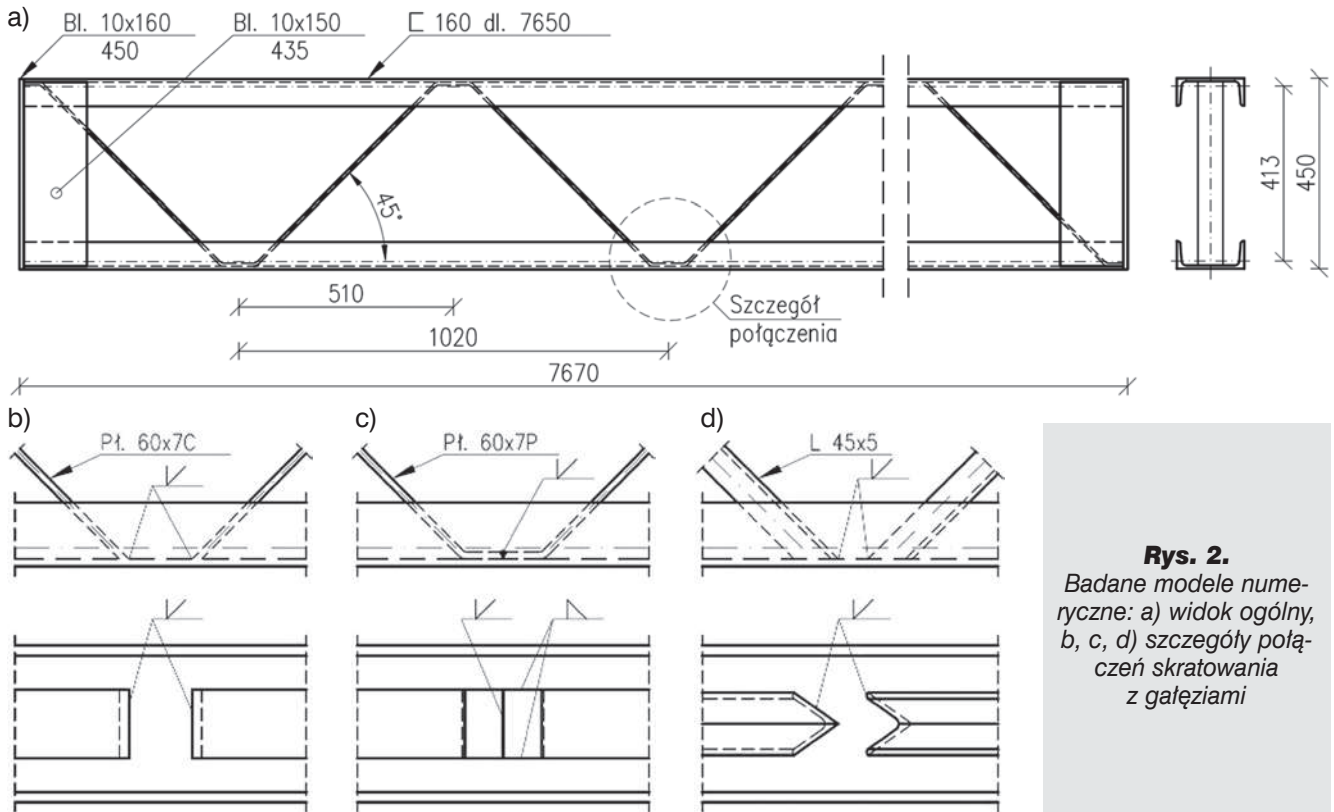
Artykuł zakończono wnioskami o charakterze praktycznym.

## 2. Analiza wpływu rozmieszczenia przewiązek na sztywność skrętną słupów

Analizę przeprowadzono numerycznie na modelach słupów pryzmatycznych o gałęziach z walcowanych na gorąco ceowników 160, skratowanych płaskownikami 60 × 7 mm, łączonych spoinami pachwinowymi lub czołowymi (rys. 2b-d). Do obliczeń zastosowano program Abaqus, w którym analizowane słupy zamodelowano heksagonalnymi, 20-węzłowymi elementami skończonymi. Dla porównania rozpatrzono również modele, w których na skratowanie



**Rys. 1.**  
Słupy dwugałęziowe tramwajowej sieci trakcyjnej:  
a) z dwoma poziomymi, b) z jednym poziomym, c) bez przewiązek pośrednich

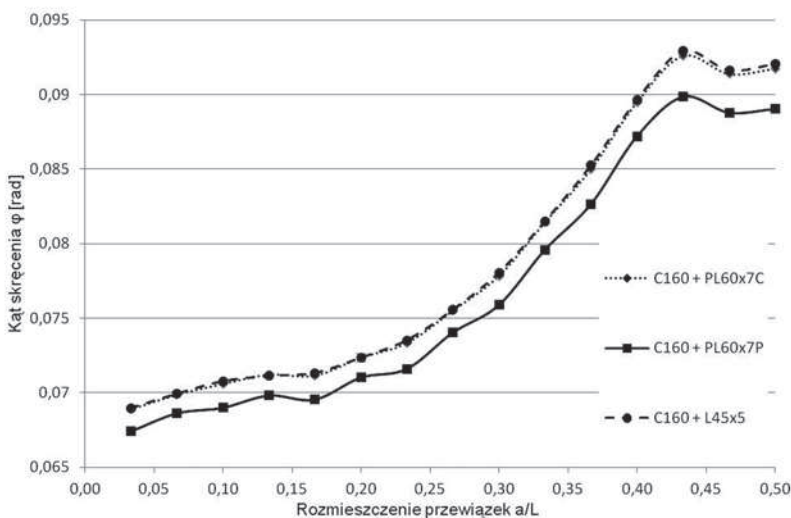


**Rys. 2.**  
Badane modele numeryczne: a) widok ogólny, b, c, d) szczegóły połączeń skratowania z gałęziami

zastosowano kątowniki  $45 \times 5$  mm (rys. 2d). Rozstaw gałęzi w obrysie zewnętrznym wynosi 450 mm. Model o całkowitej długości  $L = 7670$  mm, obciążony momentami skręcającymi  $M_x = 1,0$  kNm na końcach, został podparty ze względu na skręcenie w połowie długości. Gałęzie słupa na końcach połączone są przeponami z blach  $160 \times 450$  i grubości 10 mm. Analizowano sztywność

skrętną słupa z przewiązkami wykonanymi z blach o wymiarach  $150 \times 435$  mm i grubości 10 mm, zlokalizowanymi w odległości  $a$  od obu końców. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 3, na którym pokazano zależność kąta skręcenia  $\phi$  od rozmieszczenia przewiązek ( $a/L$ ). Z rysunku 3 można wnioskować, że przewiązki mają znaczący wpływ na zastępczą sztywność czystego

skręcania. Największy wzrost sztywności występuje przy tym w przypadku przewiązek zlokalizowanych w dwóch przekrojach na długości, w odległości ok.  $0,15 \div 0,20$  od końców. Wyniki otrzymane dla słupów skratowanych płaskownikami łączonymi z gałęziami na spoiny czołowe, są praktycznie takie same jak przy skratowaniu z kątowników. Większą sztywność na skręcenie mają słupy skratowane płaskownikami z zagiętymi końcami, łączone z gałęziami spoinami pachwinowymi.



**Rys. 3.** Zależność kąta skręcenia słupa dwugałęziowego od lokalizacji przewiązek pośrednich

### 3. Ocena stanu technicznego słupów sieci trakcyjnej

Oceniając stan techniczny analizowanych słupów zwrócono uwagę na miejsca szczególnie zagrożone korozją. W części dolnej jest to miejsce połączenia słupów z fundamentem, a właściwie z tłucznem torowiska (por. rys. 4a, c). Sytuacja jest podobna jak w wypadku stalowych słupów kolejowej sieci trakcyjnej [1]. Tam problem ten próbowano rozwiązać wykonując obetonowanie trzonów słupów powyżej prefabrykowanego fundamentów szklanko-



**Rys. 4.** Miejsca szczególnie zagrożone korozją w słupach tramwajowej sieci trakcyjnej: a, c) części dolne, b, d) węzły skratowania



**Rys. 5.** Uszkodzenia mechaniczne słupów tramwajowej sieci trakcyjnej: a) zdeformowane gałęzie oraz zniszczone połączenia skratowań, b, c) zdeformowane gałęzie w dwóch słupach



**Rys. 6.** Szczegóły połączenia w węzłach skratowania z płaskowników na spoiny pachwinowe: a) niezniszczonego, b) zniszczonego

wych, na wysokość ok. 30 cm powyżej poziomu terenu, osłaniające konstrukcją stalową [2]. Tego nie stosuje się niestety w tramwajowych sieciach trakcyjnych (por. rys. 1, 4, 5). Obetonowanie trzonów słupów nie jest niestety najlepszym rozwiązaniem, o czym świadczy stosowanie obecnie na kolei zmodyfikowanych stalowych słupów trakcyjnych, ustawianych na fundamentach pałowych [1].

Miejskami szczególnie zagrożonymi korozją są również połączenia skratowania z ceownikami (węzły skratowania), co pokazano na rysunku 4b, d. Sprzyja temu głównie kształt skratowania. Nieco lepiej sytuacja przedstawia się w przypadku skratowania łączonego spoinami czołowymi. Problem można by rozwiązać stosując na skratowanie np. kątowniki (por. rys. 2d), podobnie jak to jest w konstrukcjach wsporczych kolejowej sieci trakcyjnej.

Na stan techniczny analizowanych słupów mają także wpływ uszkodzenia mechaniczne słupów trakcyjnych. O tym, że nie zwraca się na to uwagi, świadczą przykłady uszkodzeń zaobserwowane na czynnych liniach tramwajowych, pokazane na rysunku 5.

Uszkodzenia węzłów skratowania pokazane na rysunku 5a, obnażają fatalną jakość tych połączeń. Szczegóły wybranych węzłów skratowania pokazano na rysunku 6. To co pokazano na rysunku 6a wskazuje na brak spoiny łączącej dolny płaskownik, a spoina między płaskownikami jest

bardzo niskiej jakości. Potwierdza to rysunek 6b, na którym spoina pachwinowa łącząca górny płaskownik, nie została wtopiona w środek ceownika, a spoina czołowa łącząca płaskowniki jest wykonana bez pozostawienia wymaganej szczeliny lub zukosowania brzegów [3], właściwie jako spoina grzbietowa. Omawianych spoin w wielu przypadkach nie można wręcz uznać za konstrukcyjne (por. [4, 5]), ze względu na zbyt małą ich grubość lub długość.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

W pracy dokonano oceny zarówno konstrukcji, jak i stanu technicznego stalowych słupów dwugałęziowych stosowanych w tramwajowej sieci trakcyjnej. Zajęto się przy tym powszechnie stosowanymi słupami o gałęziach z walcowanych ceowników skratowanych w jednej płaszczyźnie za pomocą płaskowników. W ocenie konstrukcji szczególną uwagę zwrócono na połączenia spawane płaskowników z gałęziami, a także na rolę przewiązek w tego typu słupach. W ocenie stanu technicznego natomiast – na miejsca zagrożone korozją, jakość połączeń spawanych i uszkodzenia. Stosowane powszechnie na wydzielonych liniach tramwajowych dwugałęziowe słupy skratowane w jednej płaszczyźnie płaskownikami, powinny mieć w dwóch poziomach przewiązki pośrednie. Najkorzystniejsze wydaje się przy tym umieszczanie ich w odległości ok.  $0,15 \div 0,20$

wysokości słupa od jego końców. Wpływa to w sposób znaczący na zwiększenie zastępczej sztywności czystego skręcania słupa, a co za tym idzie nośności krytycznej stateczności przestrzennej. Roli takiej nie spełniają niestety stosowane w to miejsce przepony z ceowników, ze względu na zbyt małą szerokość pótek.

Ze względów eksploatacyjnych wskazane byłoby zastosowanie w analizowanych słupach, w miejsce płaskowników, skratowania z kątowników, co pozwoliłoby uniknąć ognisk korozji w miejscach połączenia z gałęziami. Ponadto, spoiny czołowe łączące skratowania z gałęziami, wykonane zarówno z płaskowników, jak i ewentualnie z kątowników, są łatwiejsze do wykonania. Należy więc oczekiwać, że będą one wyższej jakości, niż spoiny pachwinowe.

Chcąc uniknąć uszkodzeń korozyjnych dolnych części słupów należy wdrożyć do praktyki stosowanie dodatkowych zabezpieczeń konstrukcji stalowej w strefie powyżej fundamentu. Może to być np. obetonowanie, jak w słupach kolejowej sieci trakcyjnej [2], a ponadto malowanie farbami bitumicznymi.

Analizowane słupy wymagają większej troski w trakcie eksploatacji. Odnosi się to nie tylko do renowacji powłok malarskich na całym słupie, ale także zabezpieczeń części dolnych, które szybciej ulegają degradacji. Niedopuszczalne jest ponadto pozostawianie słupów trakcyjnych uszkodzonych mechanicznie na czynnych liniach tramwajowych.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Gosowski B., Stalowe konstrukcje wsporcze kolejowej sieci trakcyjnej a problem trwałości, Ochrona przed Korozją nr 2/2001, s. 40–44
- [2] ZN-89/MTŻiŁ-CBP-11. Sieć trakcyjna kolejowa. Stalowe konstrukcje wsporcze. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [3] Gosowski B., Kubica E., Badania laboratoryjne z konstrukcji metalowych, Wyd. 2. poprawione, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [4] PN-B-03200:1990. Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [5] PN-EN 1993-1-8:2006 (AC:2009; Ap2:2011), Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-8: Projektowanie węzłów