



**Sławomir GRULKOWSKI, Jerzy ZARICZNY**

## **ZNACZENIE DOPASOWANIA UKŁADU KOŁO-SZYNA W TRANSPORCIE TRAMWAJOWYM – PRZEGLĄD DOŚWIADCZEŃ**

### *Streszczenie*

*Eksploatacja i utrzymanie nawierzchni tramwajowych napotyka liczne problemy. Wynikają one głównie z braku kompleksowych badań naukowych w tym zakresie oraz niedostosowania przepisów. Tymczasem, aby wykorzystać istniejące możliwości taboru i nawierzchni istnieje pilna potrzeba sprecyzowania nowych warunków utrzymania i eksploatacji elementów infrastruktury. W artykule przedstawiono efekty prac nad problemem styku koła i szyny, jednym z najbardziej istotnych problemów eksploatacyjnych w transporcie tramwajowym.*

### **WSTĘP**

Głównym problemem dla warunków eksploatacyjnych zarówno torów, jak i taboru tramwajowego jest zoptymalizowanie styku koło-szyrna. Wprowadzana innowacyjność rozwiązań w zakresie pojazdów i nawierzchni traci na znaczeniu przez ograniczone bezpieczeństwo i komfort jazdy, wynikające z braku dopasowania układu koło-szyrna.

Warunki toczenia się pojazdu szynowego po takim torze, gdzie nie są dopasowane kształt szyny i profil powierzchni tocznej koła są źródłem niepożądanych oddziaływań dynamicznych (przyspieszenia pionowe i boczne), a także hałasu i drgań. Te wynikają przede wszystkim z intensywnego zużycia szyn i zmiany profilu powierzchni tocznej koła oraz powstających luzów pomiędzy szyną a kołem.

Większość zarządów infrastruktury tramwajowej podejmuje działania naprawcze ograniczone tylko do jednego elementu, co wynika z braku jasno określonych reguł i wniosków z badań doświadczalnych, przede wszystkim nad optymalnym profilem koła tramwajowego. Trzeba jednak pamiętać, że układ koło-szyrna jest zawsze zbiorem warunków dotyczących taboru tramwajowego oraz toru.

### **1. ANALIZA WPLYWU KSZTAŁTU OBREČZY KOŁA TRAMWAJOWEGO NA STAN INFRASTRUKTURY TOROWEJ**

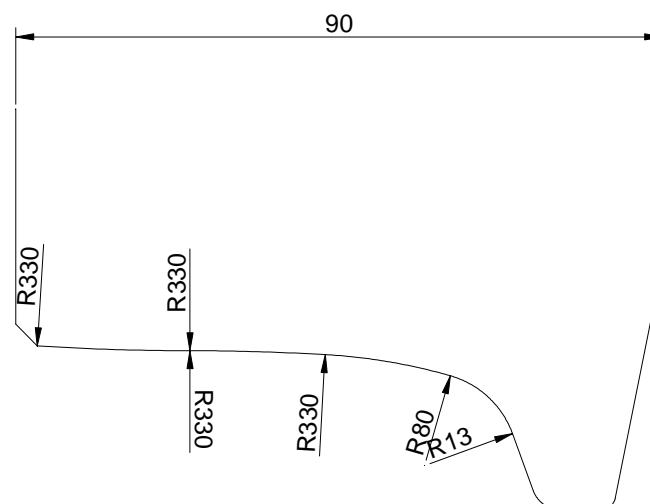
Przed zaproponowaniem optymalnego konturu bieżni koła tramwajowego konieczna jest znajomość wpływu kształtu eksploatowanych obręczy na stan elementów nawierzchni. Wiedza ta jest niezbędna dla zdiagnozowania przyczyn powstających defektów.

Początkowo, do końca lat 30. XX wieku przyjmowano, że powierzchnia toczna obręczy kół tramwajowych powinna mieć kształt stożkowy. Obręcze stożkowe stosowano ze względu

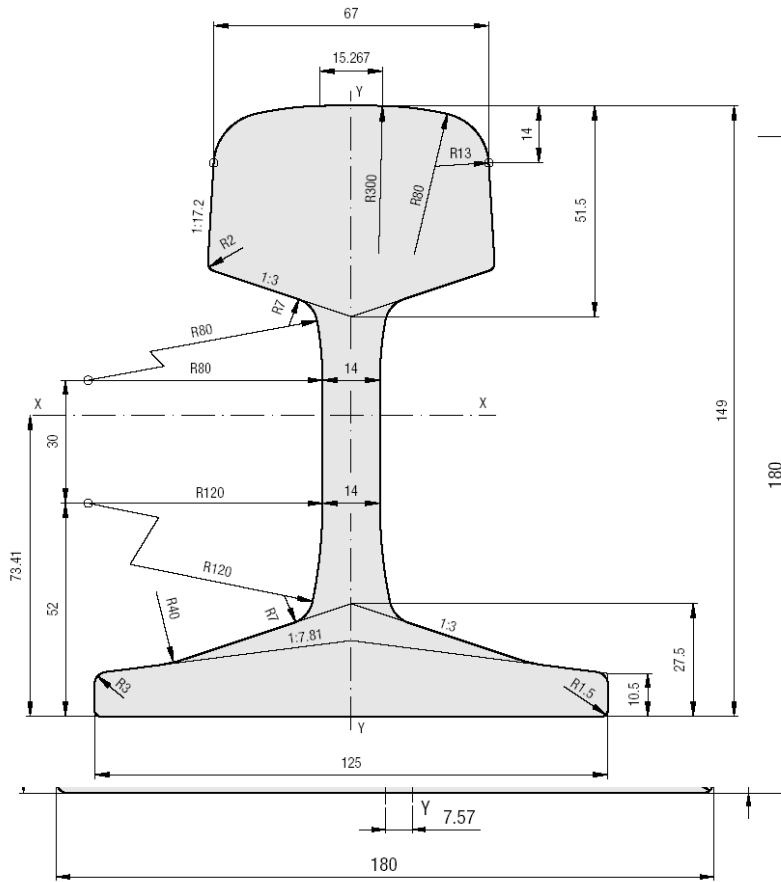
na zapewnienie spokojniejszego biegu pojazdów przez powrót zestawu kołowego, wychylonego w czasie ruchu przez siły poziome, do środkowego położenia w torze oraz usunięcie lub zmniejszenie ślizgania się kół po szynach przy poruszaniu się pojazdów po łukach. Występujące w tym przypadku wężykowanie pojazdu z czasem okazało się cechą korzystną ze względu na równomierne narastanie zużycia kół i szyn.

Ponieważ jednak koła na przedniej osi poruszają się na różnych średnicach, a koła tylne pracują przy wzmożonym ślizganiu się, stąd też w połowie lat 30. XX wieku uznano, że bardziej właściwe do stosowania są obręcze cylindryczne. W roku 1938 na kongresie tramwajowym w Düsseldorfie przyjęto zalecenie stosowania obręczy cylindrycznych. Taki kształt obręczy stosowano przede wszystkim w Niemczech, Francji i Stanach Zjednoczonych. Okazało się jednak, że kształt cylindryczny nie zapewniał zestawowi kół możliwości „samocentrowania”, a powierzchnie toczne obręczy cylindrycznych szybko się zużywają i przybierają kształt stożkowy [3].

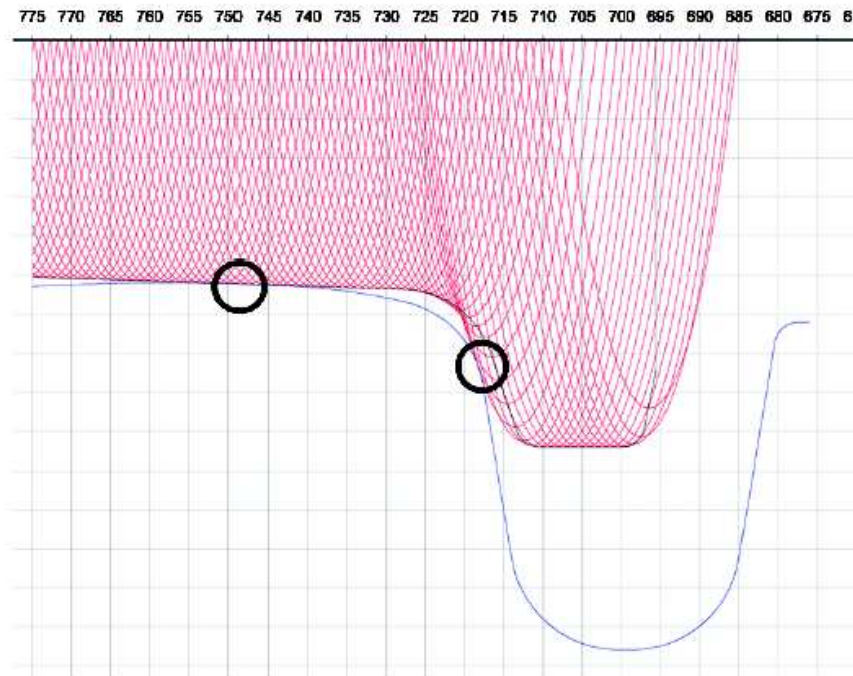
Od połowy lat 60. poprzedniego wieku w Europie wykorzystuje się niemal wyłącznie stożkowe kontury powierzchni tocznej koła. W Polsce stosuje się dwa rodzaje kształtu bieżni koła. Wcześniejszy profil T był dostosowany do szyn rowkowych typu 180S i posiada bieżnię prostą o pochyleniu 1:40, wyokrągloną na styku z obrzeżem koła krzywą o promieniu 8 mm. Nowszy, znormalizowany profil (PN-91/K-88251) posiada bieżnię o charakterze krzywoliniowym z wyokrągleniem tzw. pachwiny obręczy promieniem 13 mm, identycznym jak wyokrąglenie szyny 49E1 (rys. 1, rys. 2). Profil ten został po raz pierwszy zastosowany w kołach pojazdów Poznańskiego Szybkiego Tramwaju (PST).



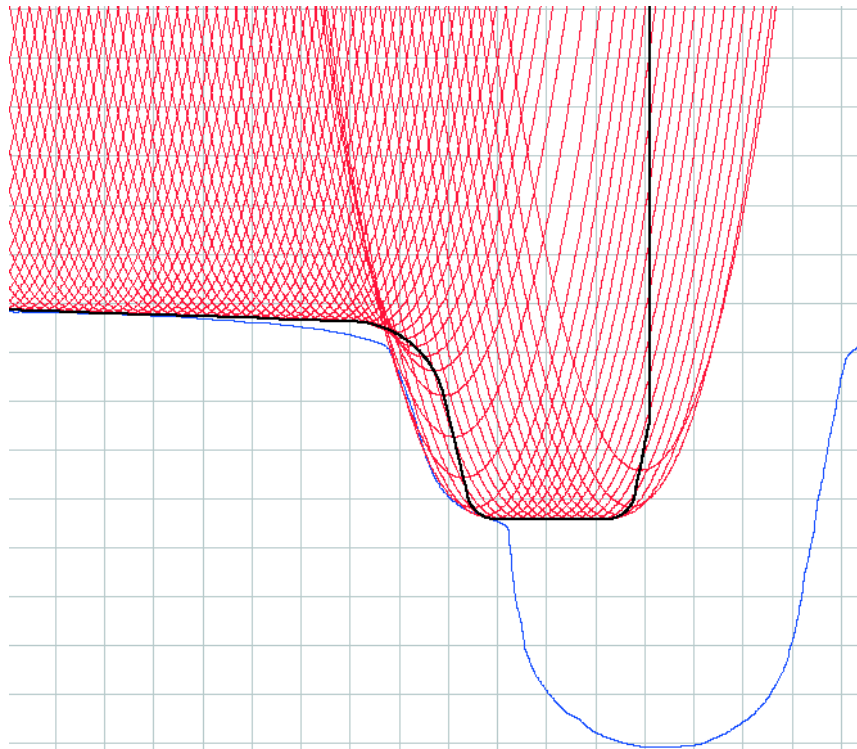
**Rys. 1.** Kontur bieżni koła tramwajowego według PN-91/K-88251 [5]



Rys. 2. Szyna 49E1 [6]



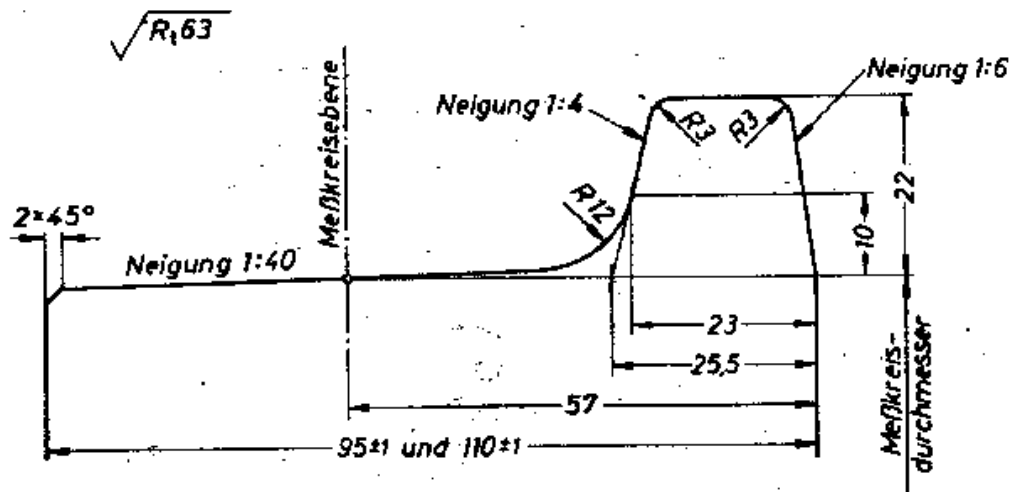
Rys. 3. Model numeryczny dwupunktowego kontaktu koła z szyną [2]



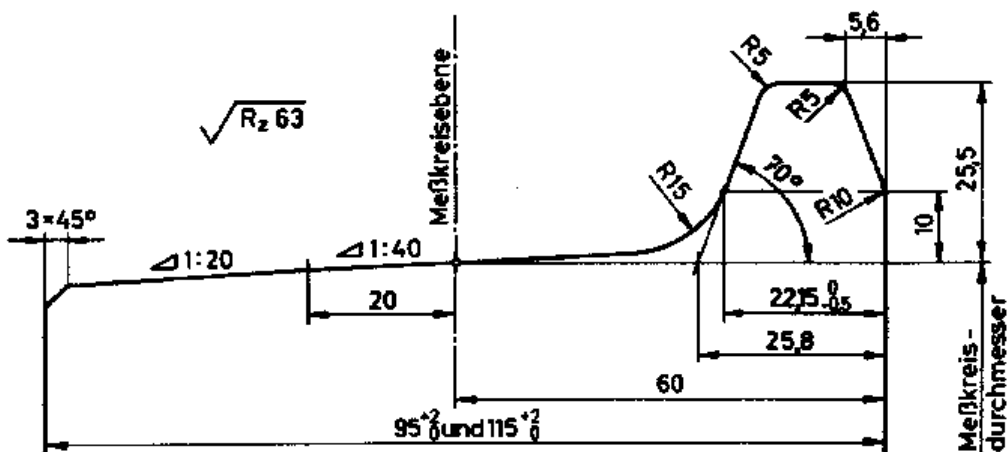
**Rys. 4.** Model numeryczny zużywania się szyny i koła [2]

Istotnym aspektem przy analizie wpływu taboru na szyny jest ukształtowanie ułożenia szyny w stosunku do obręczy koła. Stożkowy kształt bieżni koła tramwajowego determinuje położenie szyny. Pochylenie szyn powinno odpowiadać pochyleniu bieżni koła (1:40) i zapewnić jednopunktowy styk pomiędzy nimi. Takie wzajemne dopasowanie układu koło-szyna umożliwia zoptymalizowanie kontaktu obu powierzchni toczonej z obręczami kół tramwajów oraz osiowe przenoszenie nacisków od kół na szyny. Przy takim ukształtowaniu profili zminimalizowane jest niekorzystne zjawisko wężykowania pojazdu, a to znacznie ogranicza możliwość dwu- lub wielopunktowego kontaktu koła z szyną, który w efekcie prowadzi do intensywnego zużycia kół (głównie obrzeża) i szyn (krawędzi bocznej) (rys. 3, rys. 4) [4]. W Polsce przez wiele lat powszechnie, z niezrozumiałych względów, unikano stosowania pochylenia poprzecznego szyn rowkowych (180S) i kolejowych (S49, 49E1). Problem ten został wyeliminowany w szynie Ri60N, która posiada już skos główki szyny 1:40 (rys. 5).



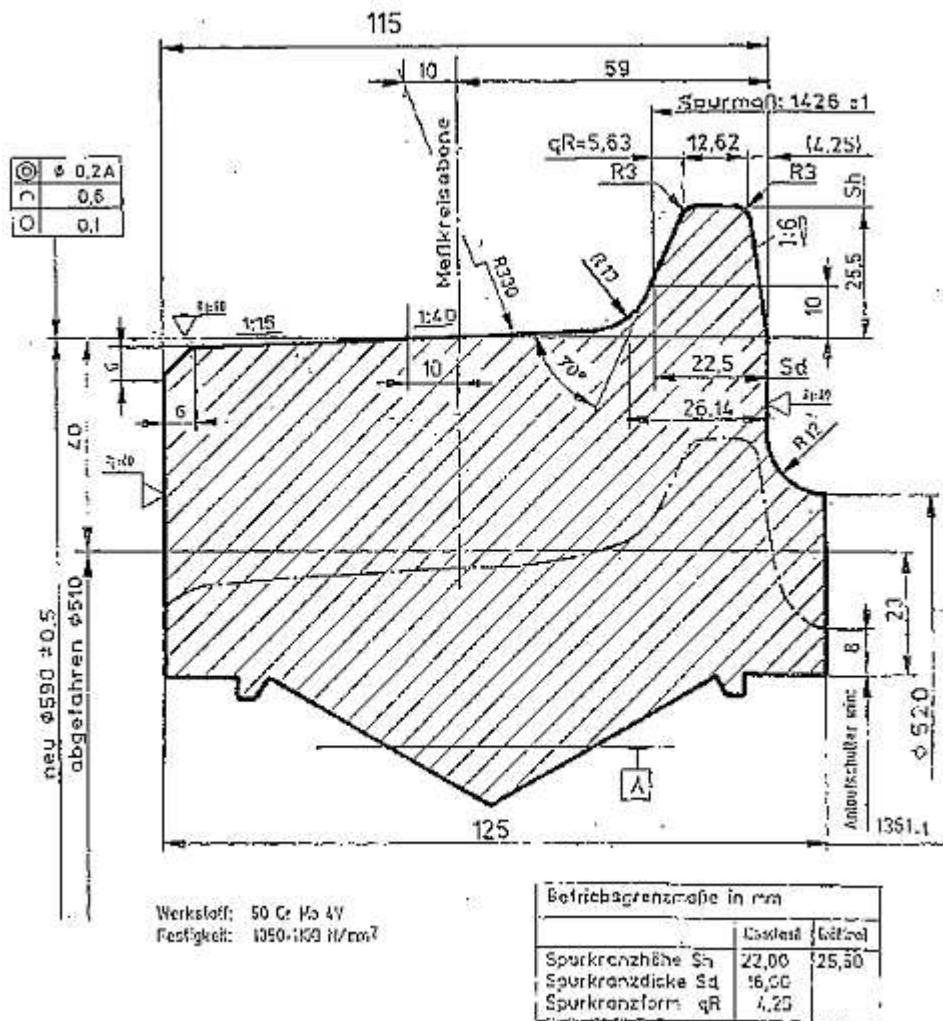


Rys. 6. Kontur bieźni koła „tramwajowego” w Niemczech (profil A) wg DIN 25112 [7]

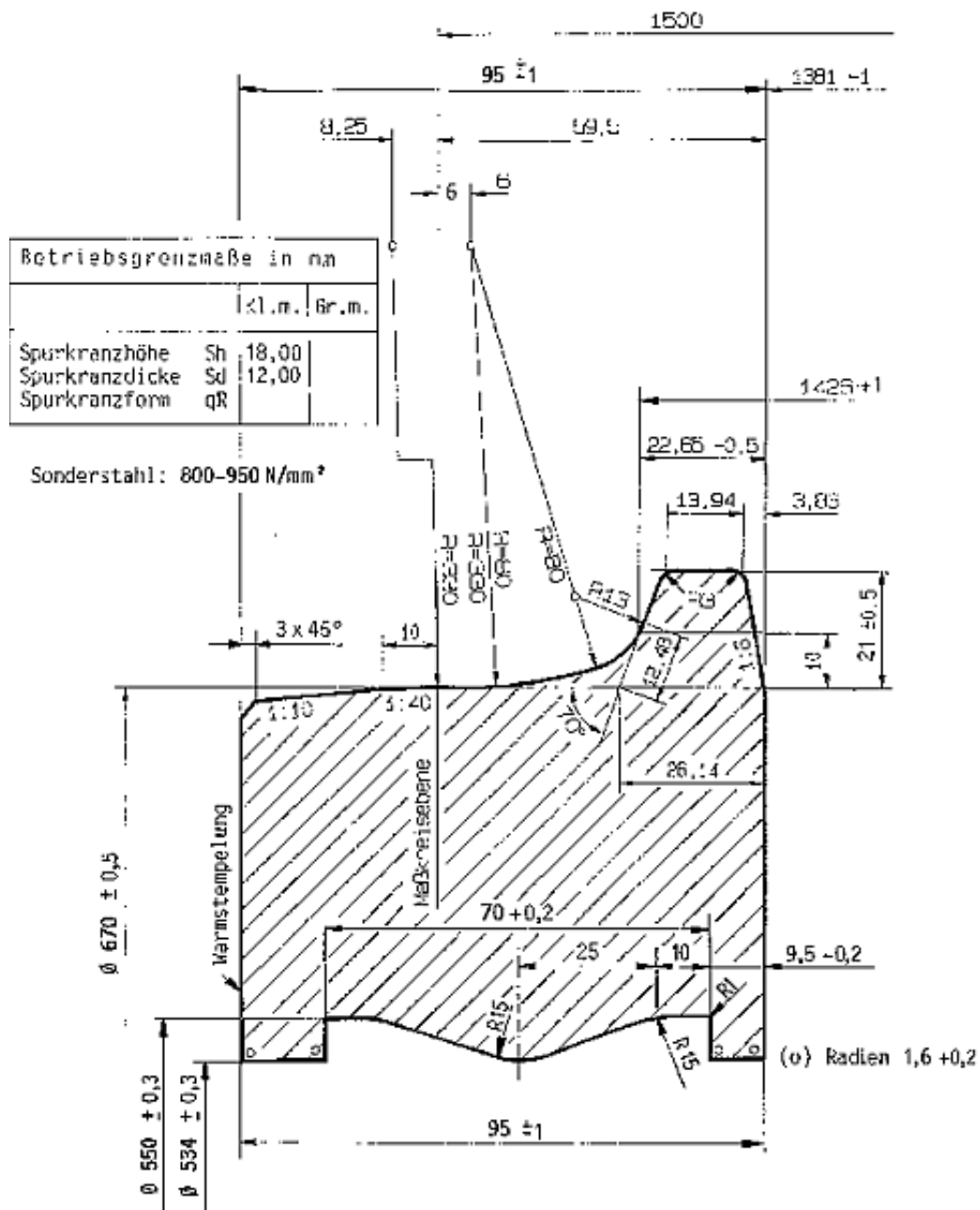


Rys. 7. Kontur bieźni koła „przeźciowego” w Niemczech (profil B) wg DIN 25112 [7]

Niemieckie przedsiębiorstwa tramwajowe doprowadzają profile kół do własnych autorskich wymiarów metodą toczenia i skrawania. Często zdarza się, że w ramach jednego przedsiębiorstwa obowiązuje kilka szablonów kształtów kół, przeznaczonych dla różnego rodzaju pojazdów (rys. 8, rys. 9, rys. 10).

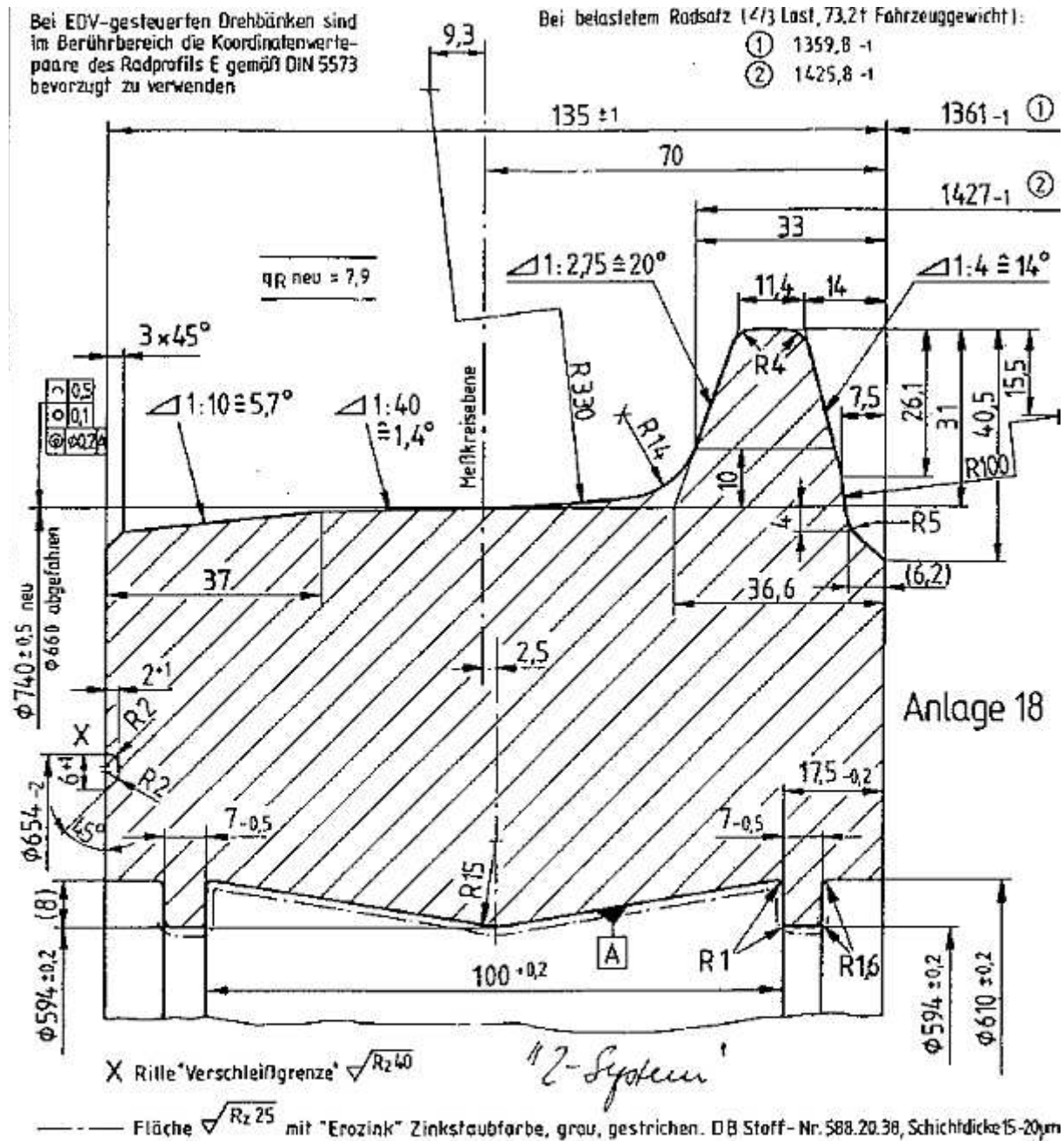


Rys. 8. Profil koła dla tramwaju 6NGTW w zakładzie komunikacyjnym w Kassel (Kasseler Verkehrs-Gesellschaft) [7]



Rys. 9. Profil koła dla tramwaju 6GTW w zakładzie komunikacyjnym w Kassel (Kasseler Verkehrs-Gesellschaft) [7]



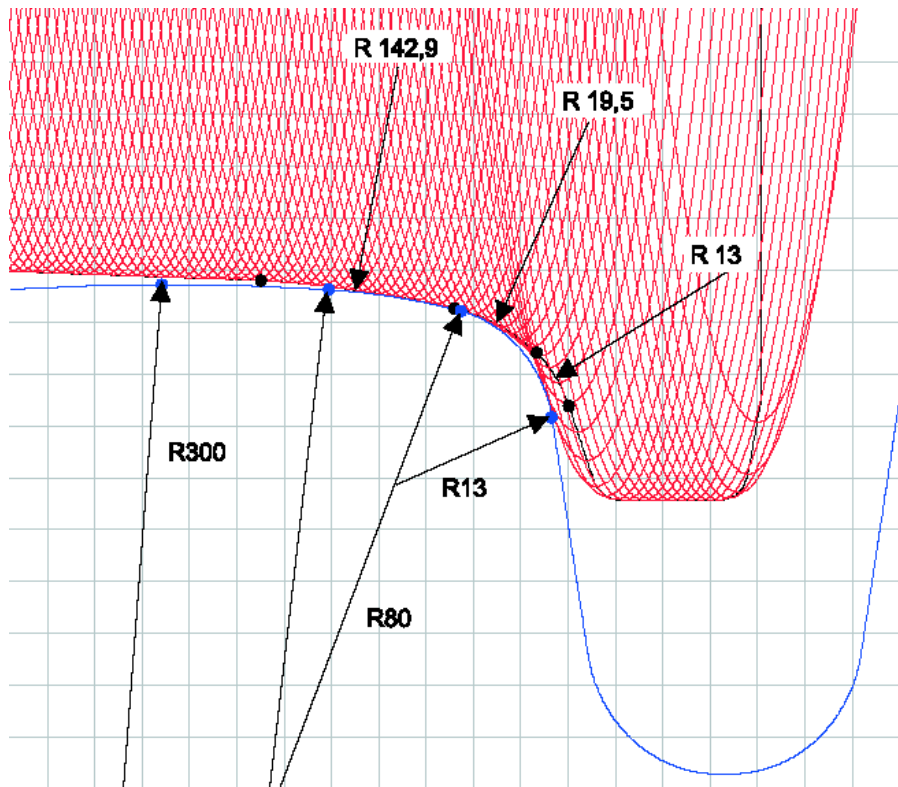


\*1 Für DB-Strecken, wenn keine Doppelherzstücke befahren werden und modifizierte Spitzenverschlüsse eingebaut sind.  
 Bei Verwendung der DB-Meßlehre gilt:  
 QR gemessen + 0,9 = QR

Betriebsgrenzmaße (mm):		Kleinstmaß	Größtmaß
Spurkranzhöhe Sh	28*/30		32
Spurkranzdicke (VBK)	20		24,2
Spurkranzdicke (DB)	29		33
Spurkr.form	QR 4,25*/6,5		
AR-Maß	1359	1363	eingebauter Radsatz
SR-Maß	1415	1426	

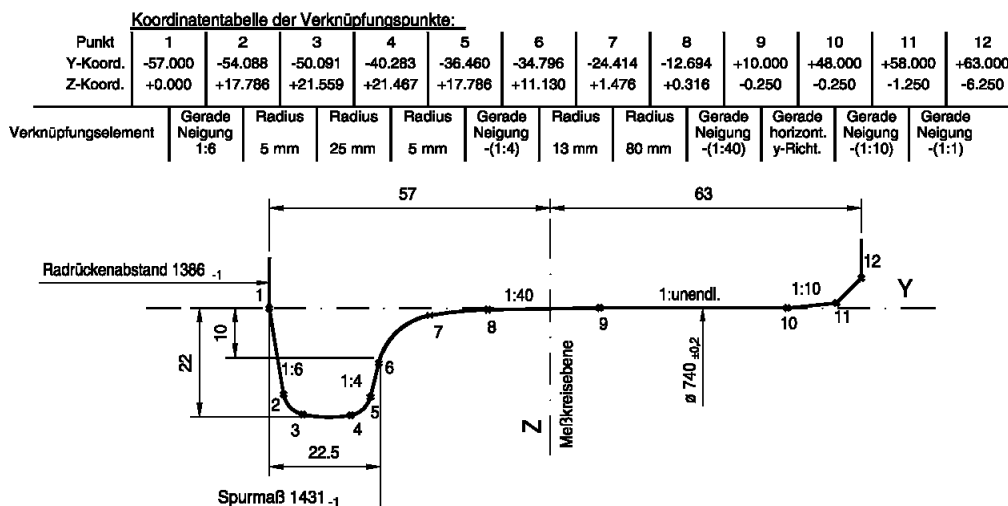
Rys. 10. Profil koła dla tramwaju Düwag GT8 w zakładzie komunikacyjnym w Karlsruhe [7]

Do opracowania profili powierzchni toczonego koła wykorzystuje się przede wszystkim wiedzę i możliwości ekspertów wyższych uczelni technicznych. Proces projektowania optymalnego profilu koła wspomagany jest przez metody numeryczne wykorzystywane przede wszystkim do modelowania układu koło-szyna (rys.11).



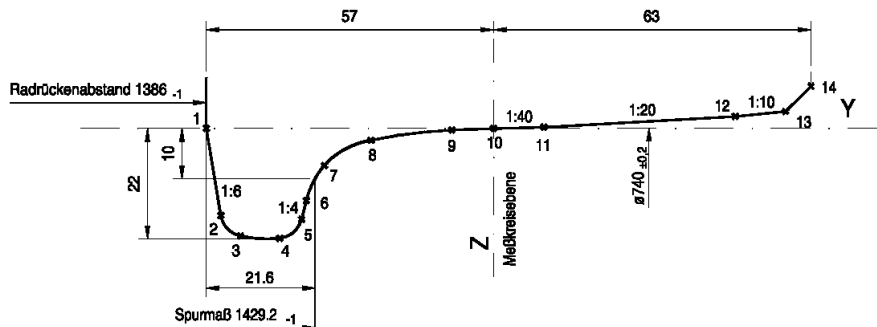
Rys. 11. Model numeryczny optymalnego profilu koła tramwajowego [2]

Interesujący proces dochodzenia do optymalnego profilu koła i szyny można zaobserwować na podstawie działań przedsiębiorstwa tramwajowego w Stuttgarcie - Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB). Od lat 80. poprzedniego wieku we współpracy ze środowiskiem naukowym pracowano na odpowiednim kształcie bieżni koła dla funkcjonującego w Stuttgarcie pojazdu typu S-DT8. W roku 1991 wprowadzono do użytku kontur SSB91 (rys. 12). Następnie minimalnie skorygowano ten profil, przesuwając o 2 mm punkt pomiaru szerokości pomiędzy obęczami w zestawie kołowym (rys. 13) [1].



Rys. 12. Profil koła SSB91 [1]

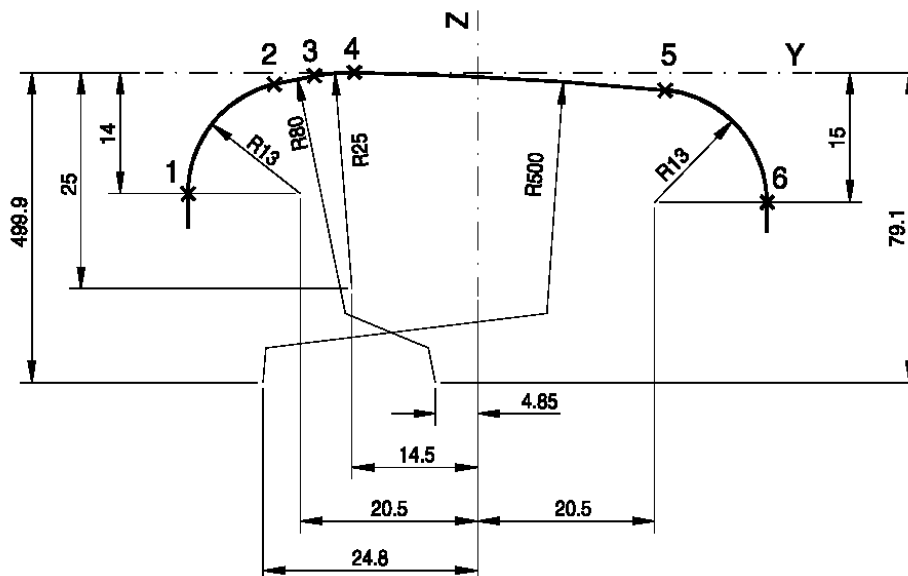
Koordinatentabelle der Verknüpfungspunkte:														
Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Y-Koord.	-57.000	-54.107	-50.243	-42.435	-38.077	-37.158	-33.600	-24.294	-8.281	+0.000	+10.000	+48.000	+58.000	+63.000
Z-Koord.	+0.000	+17.380	+21.422	+21.879	+18.118	+14.397	+7.401	+2.357	+0.326	+0.000	-0.250	-2.150	-3.150	-8.150
Verknüpfungselem.	Gerade Neigung 1:6	Radius 5 mm	Radius 25 mm	Radius 5 mm	Gerade Neigung -(1:4)	Radius 17.354	Radius 16.285	Radius 94.966	Radius 391.305	Gerade Neigung -(1:40)	Gerade Neigung -(1:20)	Gerade Neigung -(1:10)	Gerade Neigung -(1:1)	



Rys. 13. Profil koła SSB+2 [1]

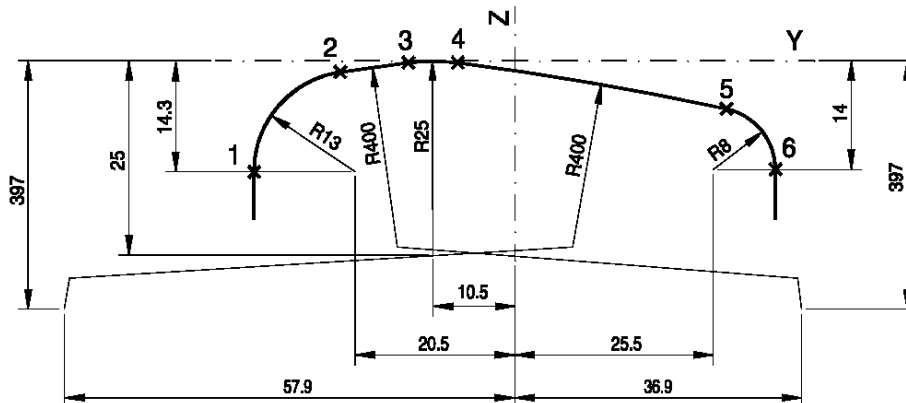
Pod koniec lat 90. w ramach współpracy z uniwersytetem technicznym w Hanowerze (Technische Universität Hannover) prowadzono badania zużyć szyn i obręczy w łukach. Wykorzystując techniki numeryczne opracowano optymalny niesymetryczny kształt główki szyn zewnętrznych (rys. 14) i wewnętrznych (rys. 15) w łukach oraz zupełnie nowy profil koła tramwajowego (rys. 16).

Punkt	1	2	3	4	5	6
Y-Koord.	-33.500	-23.563	-18.885	-14.231	21.709	33.500
Z-Koord.	-14.000	-1.359	-0.388	0.000	-2.056	-15.000
Verknüpfungselement	Radius 13	Radius 80	Radius 25	Radius 500	Radius 13	



Rys. 14. Profil szyny zewnętrznej w łuku [1]

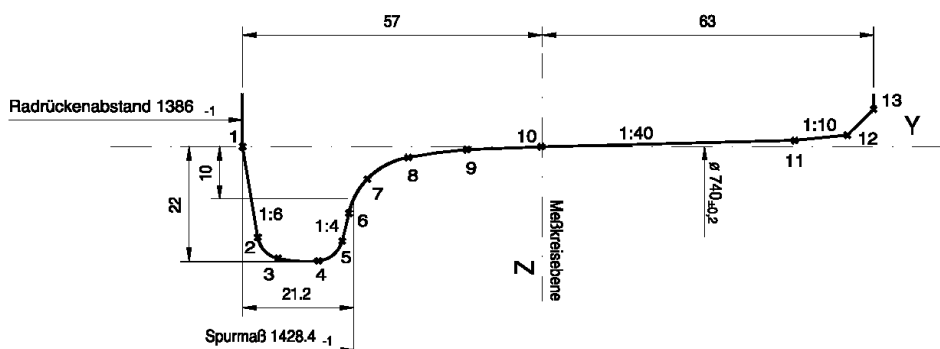
Punkt	1	2	3	4	5	6
Y-Koord.	-33.500	-22.428	-13.656	-7.341	27.202	33.500
Z-Koord.	-14.306	-1.450	-0.234	-0.234	-6.183	-14.000
Verknüpfungselement	Radius 13	Radius 400	Radius 25	Radius 400	Radius 8	



Rys. 15. Profil szyny wewnętrznej w łuku [1]

Koordinatentabelle der Verknüpfungspunkte:

Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Y-Koord.	-57.000	-54.107	-50.243	-42.575	-38.075	-36.739	-33.277	-25.492	-14.332	-0.198	+48.000	+58.000	+63.000
Z-Koord.	+0.000	+17.360	+21.422	+21.892	+18.113	+12.769	+6.251	+2.068	+0.574	+0.005	-1.200	-2.200	-7.200
Verknüpfungselem.	Gerade Neigung 1:6	Radius 5 mm	Radius 25 mm	Radius 5 mm	Gerade Neigung (1:4)	Radius 13.232	Radius 14.422	Radius 94.946	Radius 414.060	Gerade Neigung (1:40)	Gerade Neigung (1:10)	Gerade Neigung (1:1)	



Rys. 16. Profil bieżni koła SSB-Z1 [1]

## PODSUMOWANIE

Przedstawione powyżej działania przynoszą wymierne efekty. Nie doszłoby do takich innowacji, gdyby nie współpraca z nauką. Zużycia profilu koła oraz szyn zmniejszyły się w różnych przedsiębiorstwach od 30% do 60%, powodując przede wszystkim dużo mniejsze wydatki finansowe na utrzymanie i regenerację taboru oraz szyn [2].

# SIGNIFICANCE OF THE TRUCK-WHEEL ALIGNMENT IN TRAMWAY TRANSPORTATION – EXPERIMENTAL REVIEW

## *Abstract*

*Operation and maintenance of tramway tracks cause many problems due to the lack of comprehensive studies and non-compliance of regulations. However, there is an urgent need to define new conditions of operation and maintenance of the infrastructure in order to use the existing infrastructure effectively. In this article, the results of studies on the important problem in tramway transportation, i.e. the point of contact between wheel and tram rail.*

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Brandau J.: *Einsatz unsymmetrischer Schienenkopffprofile im Nahverkehr. Praca doktorska.* Fachbereich Maschinenbau der Universität Hannover, Hannover 1999.
2. Materiały firmy Schreck Mieves Dortmund.
3. Mazurek T., Kubalski J.: *Komunikacja miejska.* Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1968.
4. Oleksiewicz W.: *Dopasowanie profili kół i szyn jako ważny problem techniczny toru tramwajowego.* Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne rozwiązania techniczne w komunikacji tramwajowej, Wrocław 31 maja – 2 czerwca 2000.
5. Polska Norma *PN-91/K-88251 – Zestawy kołowe taboru tramwajowego. Kontur bieżni kół elastycznych wagonów tramwajowych.*
6. *Profilehandbuch.* Voest Alpine Schienen GmbH.
7. Strona internetowa <http://www.karr.de/veroeffentlichungen/>

## *Autorzy:*

**dr inż. Sławomir GRULKOWSKI**– Politechnika Gdańska

**mgr inż. Jerzy ZARICZNY**– Politechnika Gdańska