

Marek SITARZ, Katarzyna CHRUZIK, Tomasz WOJDYŁA

BADANIA CERTYFIKACYJNE KÓŁ MONOBLOKOWYCH

Streszczenie. W artykule omówiono ogólne przepisy i metodologię postępowania przy pracach dotyczących uzyskania certyfikatu przez producentów na elementy, które mają być użytkowane na kolejach polskich. Przedstawiono podstawowe wymagania, jakie muszą być spełnione przy opracowaniu dokumentu normatywnego, badaniach na koła monoblokowe, opinii niezbędnych dla wydania certyfikatu przez Głównego Inspektora Kolejnictwa. W artykule zamieszczone również kompleksowe badania fizyko mechaniczne i metaloznawcze oraz pomiary geometryczne kół monoblokowych.

CERTIFICATE TESTS OF MONOBLOCK WHEELS

Summary. The paper presents the general rules and procedures concerned with the activities necessary in order to obtain the certificates for parts and elements, which are to be used by Polish railways. The certificates are to be issued to the parts' manufacturers. The basic requirements for formulating the standards have been set out, together with the rules for investigations of monoblock wheels as well as the opinions necessary to the Chief Railway Inspector, who issues the certificates. The complex physic-mechanical and metal science tests and geometrical measurements of monoblock wheels have also been included in the paper.

1. WSTĘP

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 22 kwietnia 1999 r. Dziennik Ustaw RP nr 47 z dnia 27 maja 1999 r. w sprawie świadectw dopuszczenia do eksploatacji budowli i urządzeń przeznaczonych do prowadzenia ruchu kolejowego oraz typu pojazdu szynowego, wszystkie przedsiębiorstwa produkujące gotowe pojazdy szynowe lub elementy do tych pojazdów powinny posiadać świadectwo dopuszczenia do eksploatacji (certyfikat) wydany przez Głównego Inspektora Kolejnictwa. Zgodnie z tym rozporządzeniem do wniosku dostarcza się opinię przygotowaną przez upoważnioną jednostkę badawczą (załącznik nr 4 rozporządzenia Ministra wyznacza osiem jednostek badawczych w Polsce).

Przygotowanie takiej opinii poprzedzone jest opracowaniem dokumentu normatywnego, przeprowadzeniem określonych badań zgodnych z dokumentem normatywnym oraz zebraniem dodatkowych informacji o danym wyrobie i producencie.

Takimi dodatkowymi informacjami mogą być:

- otrzymane przez producenta certyfikaty zarządzania jakością;
- dopuszczenie tego wyrobu na innych kolejach;
- wykaz odbiorców krajowych i zagranicznych
- dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne itp.

Dokument normatywny zawiera między innymi nazwę wyrobu, producenta wyrobu oraz zastosowanie wyrobu. W dokumencie tym są również materiały i dokumenty, wg których będzie oceniany wyrób oraz wymagania i kryteria oceny (normy polskie, przepisy UIC, przepisy inne krajowe i zagraniczne). Ważnym również jest w tym dokumencie określenie niezbędnego zakresu badań do wydania świadectwa oraz materiały i elementy niezbędne do tych badań.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było sprawdzenie zgodności wymiarów i własności fizykochemicznych kół monoblokowych otrzymanych od producenta z wymaganiami zawartymi w Polskich Normach oraz Kartach UIC zamieszczonymi w dokumencie normatywnym nr 2/99/P/DN. Badaniom poddano koła monoblokowe wykonane z materiału P52T zgodnie z normą PN-92/K-91018 oraz R7T zgodnie z Kartą UIC 812-3.

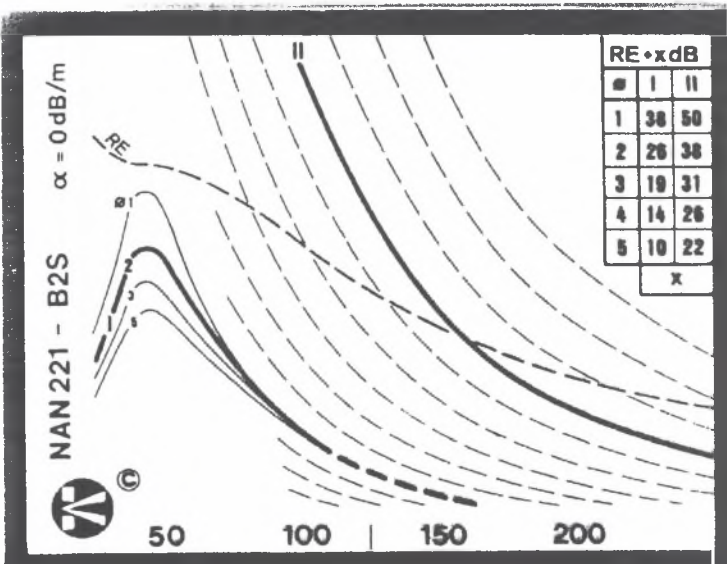
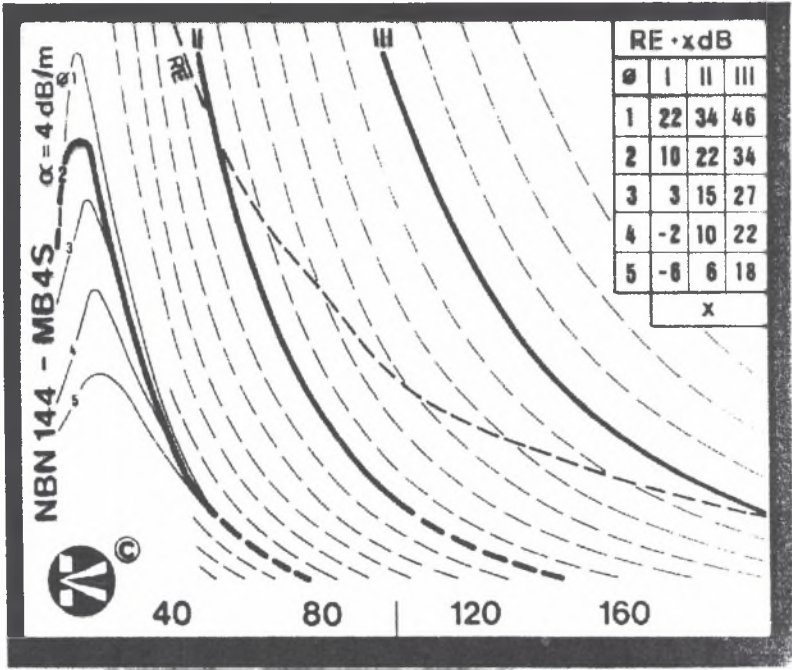
3. BADANIA KÓŁ BEZOBREŹCZOWYCH

3.1. Sprawdzenie wymiarów

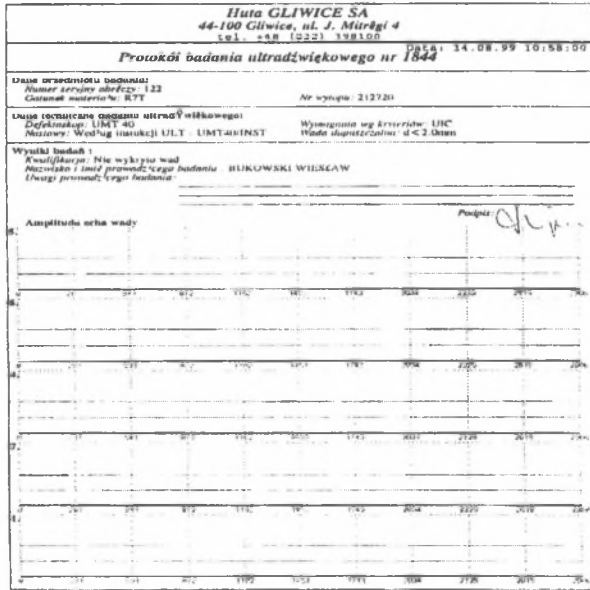
Sprawdzenie wymiarów geometrycznych wykonano zarówno dla kół w stanie nieobrobionym mechanicznie, jak i dla kół obrobionych mechanicznie. Koła monoblokowe wykazały zgodność wymiarów z rysunkami zarówno dla kół w stanie kuto-walcowanym - rysunek 1, jak i dla kół obrobionych mechanicznie - rysunek 2.



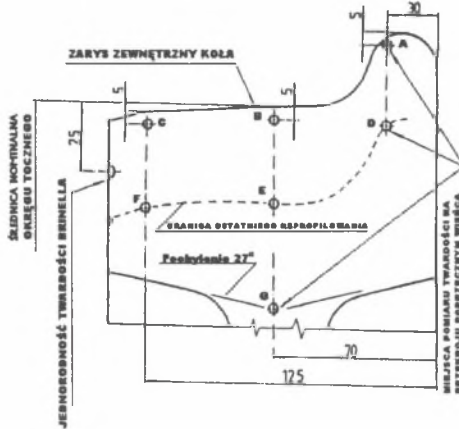
Rys.1. Koło monoblokowe w stanie kuto-walcowanym
Fig.1. The monoblock wheel, forged and rolled



Rys. 3. Krzywe ekranowe AVG stosowane przy badaniu kół metodą ręczną
 Fig.3. The screen curves AVG used, when the wheels are manually tested



Rys.4. Karta badania koła monoblokowego z defektoskopu UMT-40
 Fig.4. The defectoscope UMT-40 test card, monoblock wheel has been tested



Rys.5. Miejsca pomiaru twardości na kołach monoblokowych
 Fig.5. The locations on monoblock wheels, where hardness has been measured

Tabela 1

Wyniki pomiarów twardości kół w badaniu jednorodności

Numer wytopu i numer bieżący koła	Twardość [HB]
212720 – 029	269
212720 – 050	269
212720 – 095	275
212720 - 122	262

Rozrzut twardości pomiędzy poszczególnymi kołami z wytopu nie przekracza 30 HB, tzn. jest zgodny z wymaganiami karty UIC 812-3 punkt 5.2.4

3.5. Badanie naprężeń własnych

3.5.1. Kontrola naprężeń wg UIC

Kontrolę naprężeń w kołach przeprowadzono zgodnie z kartą UIC 812-3 pkt. 5.2.6; 7.7.3.8; 7.8.9. Na nieobrobionym kole monoblokowym **212720-029** w środku grubości wieńca, na płaskiej powierzchni, po stronie przeciwnej do obrzeża koła oznaczono dwa punkty odległe od siebie o $L=100$ mm.

W połowie odległości pomiędzy tymi punktami wykonano promieniowe cięcie od górnej strony obrzeża wieńca aż do otworu w piasku koła. Zmierzona po przecięciu koła odległość pomiędzy punktami wyniosła $L_1=96,55$ mm. Zmniejszenie odległości pomiędzy punktami po przecięciu wyniosło $DL=L-L_1=3,45$. Badanie wykazało występowanie naprężeń ściskających we wieńcu koła.

3.5.2. Pomiar naprężeń własnych metodą tensometryczną

3.5.2.1. Metoda badań

Do badania naprężeń własnych przyjęto niszczącą metodę tensometryczną, która polega na wyznaczaniu odkształcenia bazy czujnika oporowego spowodowanego uwalnianiem z badanego przedmiotu istniejących w nim naprężeń, w otoczeniu przyjętego obszaru pomiarowego [Orłoś Z. i in.: Doświadczalna analiza odkształceń i naprężeń, PWN, Warszawa 1977].

Rezystancyjne czujniki tensometryczne naklejono w przyjętych punktach pomiarowych, które pokazano na konturze przekroju koła **212720-050** płaszczyzną promieniową, zamieszczonym na rysunku 6. Na rysunku tym symbolami oznaczono odpowiednio:

- r - kierunek promieniowy bazy pomiarowej czujnika,
- t - kierunek obwodowy bazy pomiarowej tensometru.

Naprężenia własne w otoczeniu naklejonych czujników tensometrycznych uwalniane były w kolejnych fazach, którymi były:

- ograniczenie płaszczyznami części koła z naklejonymi tensometrami,
- odcięcie z uzyskanego wycinka wieńca i piasty koła,
- nawiercenie otworów odprężających [Orłoś Z.] umieszczonych z obu stron na kierunku bazy pomiarowej tensometrów.

Ze względu na zgodne z oczekiwaniami, pomijalnie małe wartości zmiany odkształcenia spowodowanego tą fazą uwalniania naprężeń w odciętej od wycinka koła części tarczy, pominięto ten zabieg dla tensometrów oznaczonych na rysunku 6 numerami 5 i 6.

3.5.2.2. Aparatura pomiarowa

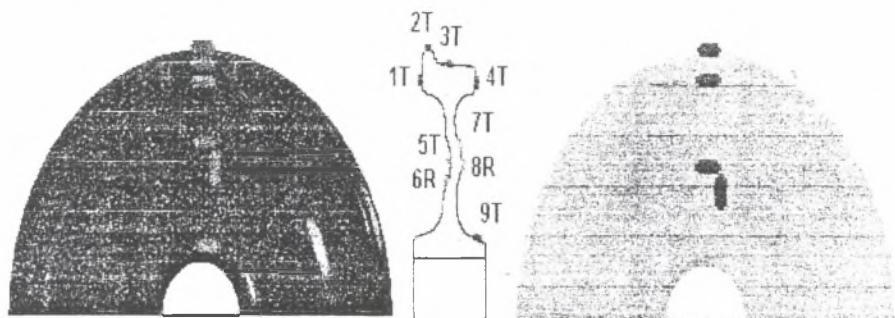
Zastosowano aparaturę pomiarową firmy Hottinger Baldwin Messtechnik, w tym:

- wzmacniacz pomiarowy KWS 3050 z wyświetlaczem cyfrowym,
- skrzynkę przełącznikową UMK 50.

Ze względu na wymagane warunki dotyczące geometrii układu tensometr – otwory odprężające, zastosowano tensometry typu RL 120/10 o stałej $k=2,15$. Tensometry instalowano na powierzchni koła w przyjętych obszarach pomiarowych za pomocą kleju X 60 i zabezpieczano przed wpływem czynników zewnętrznych środkiem PU 100 oraz zalewano czystym pszczelim woskiem. Użyte środki nie powodują mierzalnych skutków zmian wyznaczanych podczas pomiarów wartości. Pomiaru wykonano przy rozdzielczości wyświetlacza równej $0,2 \mu\text{m/m}$.

3.5.2.3. Wartości naprężeń własnych

Wartości naprężeń własnych obliczone na podstawie otrzymanych dla jednego koła wyników pomiarów odkształceń spowodowanych zabiegami uwalniania stopniowego naprężeń zestawiono w tabeli 2. Badanie wykazało występowanie naprężeń ściskających we wieńcu koła.



Rys.6. Rozmieszczenie czujników tensometrycznych na kole monoblokowym
Fig.6. The arrangement of tensometric sensors on monoblock wheel

3.6. Analiza kontrolna składu chemicznego

W ramach sprawdzenia składu chemicznego dokonano sprawdzenia zgodności analizy wytopowej w dostarczonym świadectwie jakości z wymaganiami norm oraz na spektrometrze nr 3460-555 wykonano kontrolną analizę składu chemicznego produktu na próbkach pobranych z dwu kół monoblokowych. Rezultaty analiz kontrolnych również zweryfikowano z wymaganiami norm. Wyniki zamieszczono w tabeli 3.

Skład chemiczny materiału badanych kół monoblokowych jest zgodny z wymaganiami normy PN-92/K-91018 dla stali P52 oraz karty UIC 812-3 dla stali R7.

Tabela 2

Wartości wyznaczonych naprężeń własnych σ_r i σ_t

Numer i kierunek tensometru	Naprężenia własne [MPa]		Uwagi
	ściskanie	rozciąganie	
1 t	11,3		
2 t	11,2		
3 t	10,2		
4 t	8,9		
5 t		9,4	nie wiercono otworów
6 r		10,0	
7 t		6,6	
8 r		5,1	
9 t	5,7		

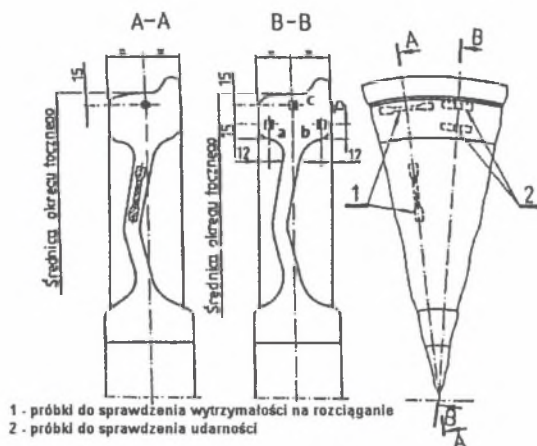
Tabela 3

Składy chemiczne stali zgodnie z wymaganiami norm oraz wyniki analizy wytopowej, a także analiz kontrolnych wyrobów

Znak gatunku stali	Skład chemiczny										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	V	Ni	Cr+Mo+Ni
Analiza wytopowa	0,45	0,29	0,70	0,010	0,013	0,13	0,05	0,00	0,00	0,05	0,18
Koło 21272-122	0,457	0,30	0,709	0,011	0,013	0,12	0,048	0,01	0,000	0,04	0,17
Koło 21272-50	0,460	0,32	0,720	0,011	0,016	0,12	0,052	0,01	0,000	0,04	0,17
Max.											
R7	0,52	0,40	0,80	0,035	0,035	0,30	0,30	0,08	0,05	0,30	0,50
P52	0,54	0,43	0,84	0,40	0,40	0,35	0,32	0,11	0,07	0,35	0,50

3.7. Próba rozciągania

W ramach sprawdzenia własności mechanicznych wykonano próbę rozciągania oraz próbę udarności. Próbki do badań pobrano z miejsc pokazanych na rysunku 7.



Rys.7. Miejsce pobrania próbek z koła monoblokowego do prób rozciągania i udarności
Fig.7. The place, from which samples for stretching and impact strength tests have been collected

Próbkę rozciągania przeprowadzono zgodnie z normą PN-91/H-04310 na próbkach 5-krotnych o średnicy pomiarowej $D_0 = 5$ mm na maszynie wytrzymałościowej ZD-40 firmy VEB Lipsk, w zakresie siłomierza 40-200 kN. Wyniki otrzymane w próbie rozciągania zamieszczono w tabeli 4.

3.8. Próba udarności

Próbie udarności wykonano zgodnie z normą PN-EN 10045-1 na próbkach KCU, na młocie udarnościowym typu Charpy 4353 firmy Alpha. Początkowa energia młota K_{max} wynosi 150J. Wyniki uzyskane w próbie udarności zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 4

Wyniki próby rozciągania

Nr próbki	Miejsce pobrania	R_m [MPa]	R_e [MPa]	A_5 [%]	Z [%]
21272-122	Wieniec	823	515	20,0	54,0
R7T		820-940	*	Min.14	**
P52T		820-940	*	Min.14	**
21272-122	Tarcza	697	414	23,0	51,0
R7T		Max.760	*	Min.16	**
P52T		Max.760	*	Min.16	**
* wielkość podawana informacyjnie					
** wielkość nie wymagana					

Tabela 5

Wyniki próby udarności

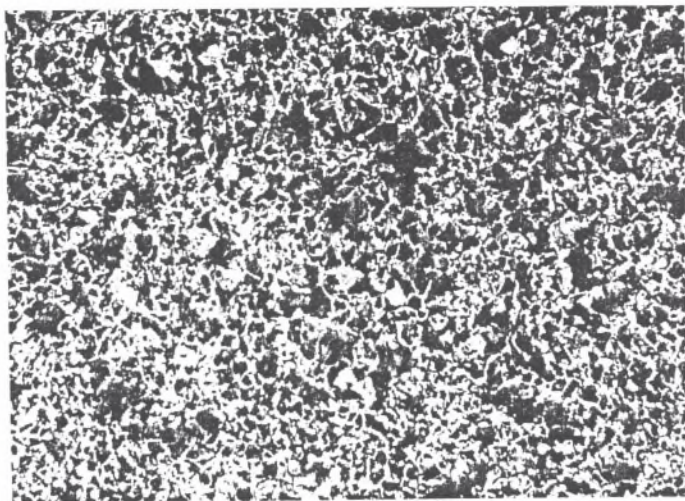
	Numer próbki	Udarność KU [J]
21272 - 122	a	31
	b	32
	c	31
R7T		min. 15 KU
P52T		min. 30 KCU

Uzyskane wyniki wykazują, że materiał kół spełnia wymagania dla stali P52T wg PN-92/K-91018 oraz R7T zgodnie z kartą UIC 812-3.

3.9. Sprawdzenie mikrostruktury

Badanie mikrostruktury wykonano na zglądzie metalograficznym trawionym 1% roztworem kwasu azotowego zgodnie z normą PN-61/H-04503. Obserwacje mikrostruktury przeprowadzono na mikroskopie skaningowym JSM-5800. Próbki do badań mikrostruktury pobrano z płytki przekroju poprzecznego koła z obszaru ulepszonego cieplnie (wieńca) oraz z obszaru nie ulepszonego cieplnie (tarczy). Na rysunku 8 przedstawiono mikrostrukturę wieńca koła monoblokowego 21272-122 obserwowaną przy powiększeniu 100x.

W badanym obszarze stwierdzono występowanie drobnoziarnistej struktury perlityczno-ferrytycznej z perlitom o budowie drobnożyłkowej. Jest to typowa struktura dla tego rodzaju stali i obróbki cieplnej.



Rys.8. Obraz mikrostruktury materiału wieńca koła monoblokowego 21272-122 przy powiększeniu 100x
 Fig.8. The 100M image of microstructure of wheel rim material (monobloc wheel 21272-122)

3.10. Sprawdzenie makrostruktury

W ramach kontroli makrostruktury dokonano oględzin nietrawionego zglądu 2 płytek z promieniowego przekroju poprzecznego koła 21272-122 przy powiększeniu 5-krotnym oraz wykonano próby Baumanna i głębokiego trawienia tych dwu płytek.

Oględziny zglądów nie wykazały nieciągłości materiału.

Próba Baumanna została przeprowadzona zgodnie z normą PN-87/H-04514, a próba głębokiego trawienia zgodnie z normą PN-57/H-04501 na obydwu płytkach z przekroju poprzecznego koła. Wyniki tych prób przedstawiono na rysunku 9 - próba Baumanna i rysunku 10 - próba głębokiego trawienia. Odbitka Baumanna spełnia wymagania norm, a próba głębokiego trawienia nie ujawniła nieciągłości materiału.

Koło monoblokowe spełnia wymagania norm.

3.11. Sprawdzenie twardości w przekroju poprzecznym

Pomiary twardości wykonano sposobem Brinella zgodnie z normą PN-91/H-04350 kulką o średnicy $D_0=5$ mm przy obciążeniu $P=7355$ N w miejscach pokazanych na rysunku 5 przy użyciu twardościomierza nr 00155 firmy ZPAB. Wyniki pomiarów twardości zamieszczono w tabeli 6.

Tabela 6

Wyniki badania twardości przekroju poprzecznego wieńca koła monoblokowego 21272-122

Wyniki pomiaru [HB]→	Położenie punktu pomiarowego						
	A	B	C	D	E	F	G
	258	258	262	250	250	255	217

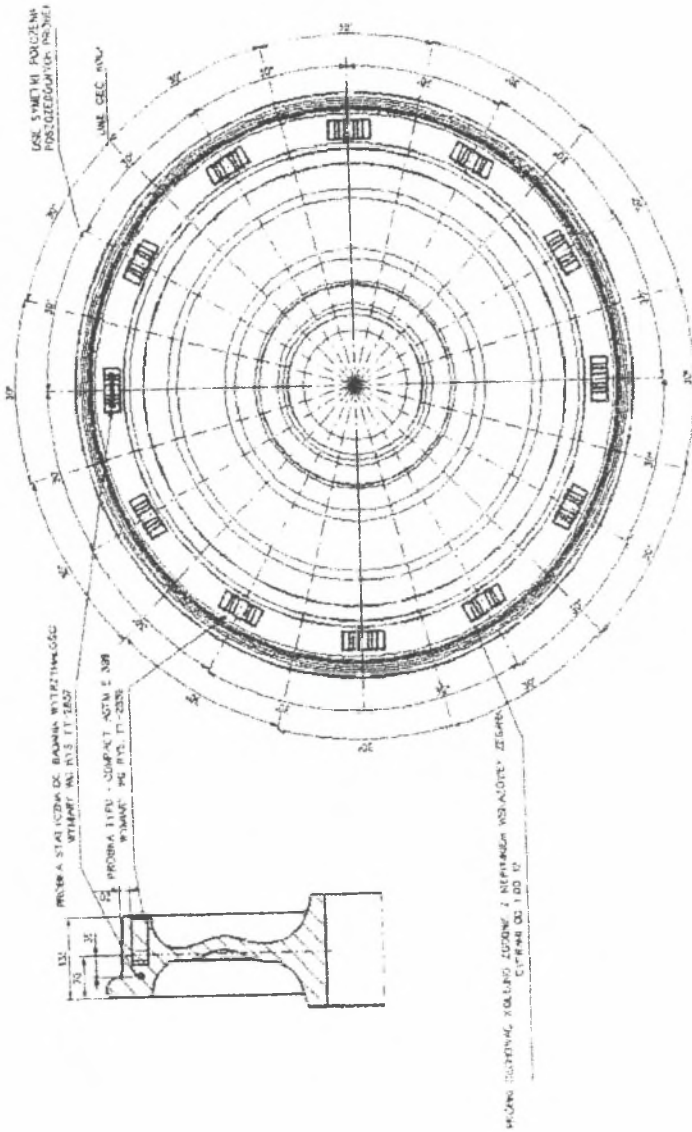
Koło wykazuje wyraźny spadek twardości na przejściu wieńca w tarczy, co charakteryzuje prawidłowo przeprowadzony proces hartowania wieńca.



Rys.9. Odbitka Baumanna koła 21272-122
Fig.9. The Baumann print of 21272-122 wheel



Rys.10. Obraz przekroju poprzecznego koła 21272-122 po próbie głębokiego trawienia
Fig.10. The image of the cross-section of 21272-122 wheel after the macroetching



Rys.11. Rozmieszczenie próbek, do badań odporności na kruche pęknięcie w kole monoblokowym
 Fig.11. The arrangement of the samples for the fracture toughness tests in monoblock wheels

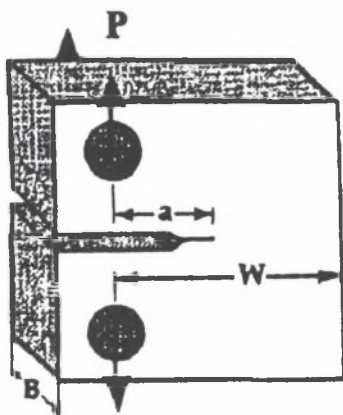
3.12. Sprawdzenie odporności na kruche pękanie

Sprawdzenie odporności na kruche pękanie (K_Q) przeprowadzono wg zaleceń raportu ERRI B169 RP8, normy ASTM E 399-90 oraz PN-87/H-04335. Próby wykonano w Laboratorium Zakładu Mechaniki Materiałów Politechniki Śląskiej w Katowicach oraz w Laboratorium Instytutu Metalurgii Żelaza w Gliwicach.

Próbki do badań wycięte zostały z wieńca koła monoblokowego 21272-29 zgodnie z rysunkiem 11, kształt i wymagania geometryczne dla próbki do wyznaczania K_Q pokazano na rysunku 12.

Pęknięcie zmęczeniowe nanoszono na maszynie rezonansowej firmy INSTRON EMR 1603 przy współczynniku intensywności naprężeń zmęczeniowych $K_{fmax}=41,8 \text{ Mpa}\sqrt{\text{m}}$ w laboratorium Politechniki Śląskiej oraz $K_{fmax}=28 \text{ Mpa}\sqrt{\text{m}}$ w laboratorium IMŻ. W laboratorium Politechniki Śląskiej próbę prowadzono na maszynie MTS 810, natomiast w laboratorium IMŻ próbę wykonano na maszynie wytrzymałościowej ZWICK o sile maksymalnej 200 KN przy zakresie siły 100 KN. Do rejestracji rozwarcia użyto czujnika firmy HBM. W próbie rejestrowano siłę w funkcji rozwarcia karbu.

Wyniki badania odporności na kruche pękanie zamieszczono w tabeli 7.



Rys.12. Kształt próbki zwartej (typu COMPACT ASTM E 399) - grubość 30 mm

Fig.12. The shape of compact sample (of COMPACT ASTM E 399) sample – 30 mm thick

Tabela 7

Wyniki badania odporności na kruche pękanie koła monoblokowego 21272 – 29

Nr koła	Nr próbki	A [mm]	K_Q [$\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$]	K_{QSR} [$\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$]
1	2	3	4	5
21272 – 29	1	31,5	97,6	
	3	31,0	98,3	
	5	30,9	95,7	
	7	31,3	91,8	
	9	30,9	95,3	
	11	31,1	93,9	95,4

cd. tabeli 7

1	2	3	4	5
21272 – 29	2	31,19	95,0	
	4	32,07	88,2	
	6	32,27	92,3	
	8	34,45	90,1	
	10	32,39	89,0	
	12	32,67	89,3	90,65
WYMAGANIE KARTY UIC 812 – 3			$K_Q \geq 70$	$K_Q \geq 80$

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki wszystkich badań przeprowadzonych zgodnie z Dokumentem Normatywnym numer 2/99/P/DN spełniają wymagania Polskich Norm oraz Kart UIC.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

- 5.1. Przedstawione do badań koła monoblokowe są dobrej jakości, spełniają wymagania Karty UIC 812 – 3 i Polskich Norm PN – 92/K – 91018 i PN – 91/K – 91019 i mogą być eksploatowane przez polskich przewoźników kolejowych.
- 5.2. Przedstawiona metodologia postępowania przy opracowaniu dla kół monoblokowych dokumentu normatywnego, badań i opinii może być wykorzystana w kolejnych badaniach kół innych producentów.

Literatura

1. Bolesław Musiał, Krzysztof Osuch: Aktualny stan realizacji ustawy o transporcie kolejowym w zakresie zadań przydzielonych Głównemu Inspektoratowi Kolejnictwa. W: IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Transport Szynowy – Nauka – Przymysł”, Katowice, Ustroń 21-22.09.1999.
2. Instytut Transportu Politechniki Śląskiej w Katowicach: Zadanie nr 2/99/P/DN Dokument Normatywny „Dla oceny jakości kół monoblokowych”, Katowice, sierpień 1999.
3. Instytut Transportu Politechniki Śląskiej w Katowicach: Zadanie nr 2/99/P/PB Praca Badawcza „Ocena jakości kół monoblokowych do pojazdów szynowych”, Katowice, wrzesień 1999.
4. Instytut Transportu Politechniki Śląskiej w Katowicach: Zadanie nr 2/99/P/OP Opinia „Ocena jakości kół monoblokowych do pojazdów szynowych”, Katowice, wrzesień 1999.

Abstract

The paper presents the general rules and procedures concerned with the activities necessary in order to obtain the certificates for parts and elements, which are to be used by Polish railways. The certificates are to be issued to the parts' manufacturers. The basic requirements for formulating the standards have been set out, together with the rules for investigations of monoblock wheels as well as the opinions necessary to the Chief Railway Inspector, who issues the certificates. The complex physic-mechanical and metal science tests and geometrical measurements of monoblock wheels.

The Chief Railway Inspector has issued a certificate of approval of the monoblock wheels to one of the manufacturers, basing on the prepared standardisation document, conducted investigations and experts' opinion. These have been worked out by the staff of the Institute of Transport of Silesian Technical University in Katowice. The experience gained by the authors during the elaboration of the aforesaid has been described in the paper. The particular attention has been paid to the fracture toughness tests as well as ultrasonic tests and self-stress tests (two different methods).