

Guidelines for defining axial loads of freight wagon wheelsets with a stub size of $\varnothing 120 \times 179$ mm

Wytyczne do określenia nośności osi zestawów kołowych wagonów towarowych z czopem o wymiarach $\varnothing 120 \times 179$ mm

The paper presents current problems related to the load-bearing capacity of the axle with a stub size $\varnothing 120 \times 179$ mm, used in the axle systems of 1XTa freight wagons and their variants as well as the Y25 wagon family. The guidelines for strength calculations of these axles based on the current European regulations were provided. Operational problems are also presented, which can increase or decrease the durability of the wheelset axles.

W artykule przedstawiono aktualnie występujące problemy związane z nośnością eksploatowanej osi o wymiarach czopa $\varnothing 120 \times 179$ mm, zastosowaną w układach biegowych wagonów towarowych typu 1XTa wraz z odmianami oraz rodziny Y25. Przedstawiono wytyczne do obliczeń wytrzymałościowych ww. osi w oparciu o aktualnie obowiązujące przepisy europejskie. Zaprezentowano również problemy eksploatacyjne, które mogą zwiększyć lub zmniejszyć trwałość osi zestawu kołowego.

1. INTRODUCTION

The rolling stock wheelset (non-varnished) of a typical (standard) freight wagon consists of axles and wheels. The wheelset and its elements are among the components that bear the majority of the load for the whole railway vehicle. Freight wagons as vehicles have the lowest annual mileage values, which is estimated according to the UIC 510-1 [6] to be in the range 25 000÷40 000 km annually. The problem of recording the actual mileage by the operator is subject to certain difficulties which, however, are and should be overcome along with the improving digitalization, telematics and sensory techniques. Another problem that emerges in the operation of freight wagons is the load status. The operational practice, collected from various transport companies domestic and foreign, shows that the ratio of transport operations in the empty state to transport operations in loaded condition is approximately 50%:50%. Important information that has significance to operational safety includes mainly: temperature of axial bearings, load condition, acceleration and forces in the vertical, transverse and longitudinal directions as well as the location of the wagon on the route. This information obtained in a consistent and regular manner allows for undertaking maintenance and repair work in due time (German „prädiktive Instandhaltung”). The axle of a freight wagon with a stub size $\varnothing 120 \times 179$ mm is intended for freight wagons adapted to transfer forces resulting from the static pressure of a wheelset on the track, amounting to 20 tons (196.2 kN).

1. WSTĘP

Zestaw kołowy toczny (nieomaźnicowany) wagonu towarowego klasycznego (standardowego) składa się z osi oraz wtłoczonych kół. Zestaw kołowy wraz z jego elementami należy do najbardziej obciążonych w skali całego pojazdu kolejowego. Wagony towarowe jako pojazdy mają najmniejsze przebiegi kilometrowe, które są szacowane zgodnie z kartą UIC 510-1 [6] w zakresie 25 000÷40 000 km w skali rocznej. Problem rejestracji faktycznego przebiegu kilometrowego przez przewoźnika jest obarczony pewnymi trudnościami, które jednak są i powinny być przewyżczone wraz z rozwojem techniki cyfryzacji, telematyki oraz sensoryki. Kolejnym problemem, który wyłania się w eksploatacji wagonów towarowych jest stan załadowania. Z praktyki eksploatacyjnej, zebranej z różnych przedsiębiorstw przewozowych w kraju i zagranicą wynika, że stosunek przewozów w stanie próżnym do przewozów w stanie ładownym wynosi w przybliżeniu 50%:50%. Ważnymi informacjami, które mają istotne znaczenie dla bezpieczeństwa eksploatacyjnego są przede wszystkim: temperatura łożysk osiowych, stan ładunku, przyspieszenia i siły w kierunku pionowym, poprzecznym oraz wzdłużnym oraz lokalizacja wagonu na trasie. Informacje te uzyskane w odpowiednim czasie pozwalają na podjęcie prac konserwacyjno-naprawczych w odpowiednim czasie (niem. „prädiktive Instandhaltung”). Oś wagonu towarowego o wymiarze czopa $\varnothing 120 \times 179$ mm jest przeznaczona dla wagonów towarowych przystosowanych do przenoszenia sił wynikających z nacisku statycznego

2. STRUCTURE OF WHEELSET AXLESS

2.1. The material used for the wheelset axles

Axles with stub size of $\text{Ø}120 \times 179$ mm have a long history. They were in practice one of the first axles that were constructed, produced and used in rail freight transport, carrying out heavy freight operations [1÷3]. The axle construction was created as a result of international cooperation as part of the work carried out by ORE/ERRI under the supervision of the UIC, where representatives of various railway administrations from European countries, including Poland, took part. The result of this work was the report ORE/ERRI B136/RP/11/D Frage 136, Bericht 11 [11]. It is worth noting that the UIC 515-3 card [8] was created as a result of the ORE/ERRI work, which defined the calculation methods of wheelset axles, intended for both freight wagons, passenger wagons (rolling stock) and rail units and locomotives (traction vehicles). This card was finally withdrawn, when the European standards PN-EN13103+A2:2012 [12] and PN-EN 13104+A2:2013 [14] were announced. The first one contains the calculation methodology for rolling axles, while the second European standard contains calculation methodology for traction vehicle axles. It can therefore be concluded that the axles with a 120×179 mm stub are designed in accordance with the guidelines contained in the document ORE/ERRI B136/RP/11/D Frage 136, Bericht 11 [11]. This report establishes the fatigue limit for rotational deformation $Z_{go}=200$ MPa for a smooth sample made of A1N steel in accordance with the UIC 811-1 card (the card revoked in 2006) [10]. In the case of requirements concerning the material used, the first axles were made using St5 steel according to PN-64/H-84027/3 [19]. Then steel with the P35N designation was used as according to PN-84/H-84027/03 [20]. It is worth adding that the fatigue limit for the above materials is $Z_{go}=200$ MPa, which was confirmed by fatigue strength tests of 10 axle samples with a $\text{Ø}120 \times 179$ mm stub done on the 18SB test bench (carried out at the Rail Vehicles Research and Development Center, currently the "Tabor" Rail Vehicles Institute). The results of these tests were compiled in [4], where the limit of rotational fatigue $Z_{go}=240$ MPa for an axle with a stub size $\text{Ø}120 \times 179$ mm, whose surface was strengthened by means of surface rolling (roll-forming) according to the applicable instruction OW-1166 [21]. The fatigue limit of rotational deformation $Z_{go}=200$ MPa was also confirmed by the European standard PN-EN 13261+A1:2011 [15] for steel type EA1N. Axles over the years have been produced using increasingly modern technology, so that with the more recent editions of the regulations regarding the axle production technology, the following trends could be observed:

zestawu kołowego na tor, wynoszącego 20 ton (196,2 kN).

2. KONSTRUKCJA OSI ZESTAWU KOŁOWEGO

2.1. Materiał stosowany na osie zestawów kołowych

Osie o wymiarze czopa $\text{Ø}120 \times 179$ mm mają swoją długą historię. Były w praktyce jednymi z pierwszych, które zostały skonstruowane, wykonane i wdrożone do eksploatacji w kolejowym transporcie towarowym, realizującym ciężkie przewozy towarowe [1÷3]. Konstrukcja osi powstawała w wyniku współpracy międzynarodowej w ramach prac prowadzonych przez ORE/ERRI pod nadzorem UIC, w której brali udział przedstawiciele różnych rządów kolejowych krajów europejskich, w tym z Polski. Rezultatem tych prac był raport ORE/ERRI B136/RP/11/D Frage 136, Bericht 11 [11]. Warto dodać, że w wyniku prac ORE/ERRI powstała karta UIC 515-3 [8], która definiowała metody obliczeniowe osi zestawów kołowych, przeznaczonych zarówno dla wagonów towarowych, wagonów osobowych (pojazdy toczne) oraz zespołów trakcyjnych i lokomotyw (pojazdy trakcyjne). Karta ta została ostatecznie wycofana, z chwilą pojawienia się norm europejskich PN-EN13103+A2:2012 [12] oraz PN-EN 13104+A2:2013 [14]. Pierwsza z nich zawiera metodykę obliczenia osi tocznych, natomiast druga norma europejska zawiera metodykę obliczenia dla osi trakcyjnych pojazdów. Można więc stwierdzić, że oś z czopem 120×179 mm jest zaprojektowana wg wytycznych, zawartych w dokumencie ORE/ERRI B136/RP/11/D Frage 136, Bericht 11 [11]. W tym raporcie ustalono granicę zmęczenia dla zginania obrotowego $Z_{go}=200$ MPa dla próbki gładkiej, wykonanej ze stali A1N wg karty UIC 811-1 (karta unieważniona w 2006 roku) [10]. W przypadku wymagań dotyczących stosowanego materiału, pierwszym stosowanym na osie była stal St5 wg PN-64/H-84027/3 [19]. Następnym zastosowanym materiałem była stal o oznaczeniu P35N wg PN-84/H-84027/03 [20]. Warto dodać, że granica zmęczenia dla ww. materiałów wynosi $Z_{go}=200$ MPa, co zostało potwierdzone badaniami wytrzymałości zmęczeniowej 10-ciu próbek osi z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm na stanowisku badawczym 18SB (przeprowadzonymi w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Pojazdów Szynowych, obecnie Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”). Wyniki tych badań zostały zebrane w opracowaniu [4], gdzie zamieszczono ponadto granicę zmęczenia obrotowego $Z_{go}=240$ MPa dla osi z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm, których powierzchnia była umacniana za pomocą zabiegu rolowania powierzchniowego (wałczkowania) wg obowiązującej instrukcji OW-1166 [21]. Granica zmęczenia dla zginania obrotowego $Z_{go}=200$ MPa została potwierdzona również przez normę europejską PN-EN 13261+A1:2011

- limiting the content of phosphorus and sulfur to 0.020% for both elements,
 - hydrogen content control in steel by means of vacuum degassing at 650°C to 1050°C or alternatively by blowing a volatile gas into the liquid steel at 650 ± 20°C and then hydrogen containing gas retained on the return path is recovered and used for analysis. To meet these conditions, samples are taken from the melting according to one of four methods: 1. copper molds, 2. tubular method using a silicon tube, 3. light blocking tube blowing out quartz, 4. immersion sample method, otherwise known as the gas carrier method with a thermally conductive detector,
 - control of mechanical properties (tensile strength R_m [N/mm²], yield point R_e [N/mm²] or $R_{0.2}$ [N/mm²] and relative elongation A_5 [%]) using samples taken at medium radius (of full) axles, around the outer surface and in the middle of the axle, in order to investigate the dissipation of mechanical properties depending on the location the sample was taken at from the axle cross section according to p.3.2.1.1 of the norm PN-EN 13261+A1:2011 [15],
 - impact test in longitudinal and transverse directions on samples taken as close to the axle surface as possible, mid-radius in the axle center and in the middle between the outer and inner surfaces,
 - micrographic structural properties in accordance with p.3.3 of the European norm PN-EN 13261+A1:2011[15], namely the microstructure should be ferritic-perlitic, while the grain size should not be greater than specified in reference diagram 5 in Annex B of the EN standard EN ISO 643:2003 [18], the location of the micrographic sample, the level of inertia, the transmission method of ultrasound waves,
 - ultrasonic testing criteria,
 - the method and level of testing the inherent axle stress forces,
 - geometric properties: deviations of shape and position, surface roughness,
 - criteria for surface defects detection using magnetic-particle testing,
 - a method of protection against corrosion and mechanical damage (four classes of protection), etc.
- ograniczenie zawartości fosforu i siarki do wartości 0,020% dla obydwu pierwiastków,
 - kontrola zawartości wodoru w stali za pomocą odgazowania próżniowego w temperaturze 650 °C do temperatury 1050 °C lub alternatywnie poprzez wdmuchiwanie lotnego gazu w ciekłą stal o temperaturze 650±20 °C i dalej gaz zatrzymany w drodze powrotnej, który zawiera wodór, odzyskuje się z obiegu i stosuje się do analizy. Aby spełnić wymienione warunki, próbki pobiera się z wytopu według jednej z czterech metod: 1. kokili miedziowych, 2. metody rurkowej za pomocą rury krzemowej, 3. rury wydmuchującej kwarc nieprzepuszczającego promieni świetlnych, 4. metody próbki zanurzeniowej zwana inaczej metodą nośnego gazu z detektorem z przewodnością cieplną,
 - kontrola właściwości mechanicznych (wytrzymałości na rozrywanie R_m [N/mm²], granicy plastyczności R_e [N/mm²] lub $R_{0.2}$ [N/mm²] oraz wydłużenia względnego A_5 [%]) na próbkach pobieranych na średnim promieniu (pełnych) osi, w pobliżu powierzchni zewnętrznej oraz w środku osi, w celu zbadania dyssypacji właściwości mechanicznych w zależności od lokalizacji pobieranej próbki na przekroju osi zgodnie z p.3.2.1.1 wg normy PN-EN 13261+A1:2011 [15],
 - kontrola udarności w kierunku wzdłużnym i poprzecznym na próbkach pobieranych możliwie blisko powierzchni osi, w połowie promienia w osi środkowej pełnych osi oraz w środku pomiędzy powierzchnią zewnętrzną i wewnętrzną,
 - mikrograficzne właściwości strukturalne zgodnie z p.3.3 normy europejskiej PN-EN 13261+A1:2011[15], a mianowicie mikrostruktura powinna być ferrytyczno-perlityczna, natomiast wielkość ziarna nie powinna być większa niż określona na diagramie referencyjnym 5 w załączniku B normy EN ISO 643:2003 [18], lokalizacja próbki mikrograficznej, poziom bezwadliwości, sposób przepuszczalności promieni ultradźwiękowych,
 - kryteria badań ultradźwiękowych,
 - sposób i poziom badania naprężeń własnych w osi,
 - własności geometryczne: odchyłki kształtu i położenia, chropowatość powierzchni,

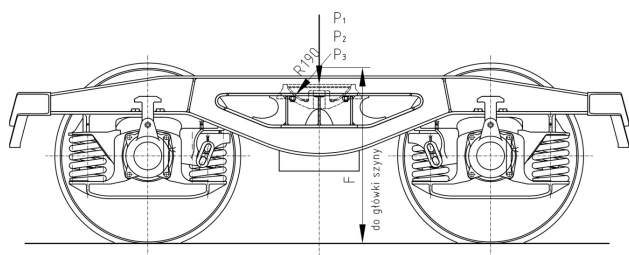
2.2. Guidelines for determining the load capacity of the axle with a stub size of Ø120×179 mm

The following forces act on the axle with a Ø120×179 mm stub during operation:

- static forces,

- impact forces,
- dynamic, periodic forces, having the character of fatigue loads.

The maximum value of static forces that can be transferred by the axle of a wheelset results from test loads applied to the center plate, e.g. Y25Rss. In accordance with the Technical Conditions of Production and Acceptance, forces acting on the center plate of the Y25Cs bogey along with their variations are shown in Fig. 1.



Where:

- 1-force $P_1=54.4$ kN,
- 2-force $P_2=349.1$ kN,
- 3-force $P_3=454.2$ kN.

Fig. 1. The trolley load distribution in case of accepting the trolley from the manufacturer and after a repair was performed

Legenda:

- 1-obciążenie $P_1=54,4$ kN,
- 2-obciążenie $P_2=349,1$ kN,
- 3-obciążenie $P_3=454,2$ kN.

Rys. 1. Sposób obciążania wózka w przypadku odbiorów u producenta wózka i wykonującego naprawę

Considering that the highest load is $P_3=454.2$ kN, which corresponds to static pressure of a single wheel of $0.25 \times (45 \text{ kN} + 454.2 \text{ kN}) = 124.8$ kN (45 kN corresponds to the weight of the Y25Cs trolley). According to the PN-EN 14363:2016 E standard [16] the maximum load $Q_{\max}=100+90=190$ kN, where $Q_0=100$ kN (static wheel load on rail), and $Q_{\text{dyn}}=90$ kN corresponds to the maximum dynamic surplus.

The maximum stress values allowed for full axles including axles with a $\text{Ø}120 \times 179$ mm stub are only valid if they meet p.7.2 of the norm PN-EN 13103+A2:2012E [12], especially its fragment regarding corrosion protection that reads: „... these values apply only when the operating conditions ensure proper corrosion protection for the entire lifespan of the axle. If there are any doubts about the effectiveness of that corrosion protection, the stress limit should be divided by the coefficient agreed upon by the designer and the contracting authority, taking into account the maintenance rules exercised by the operator.” In turn, the norm PN-EN 13103-1:2017 (norm replacing the PN-EN 13103+A1:2012E) the following information can be found in part 8.1:

„Axle construction using these parameters should:

- include a system of protection against corrosion and mechanical damage in accordance with PN-EN 13261+A1:2011,
- take into account inspections and service actions carried out in accordance with PN-EN

- kryteria badań magnetyczno-proszkowych, w celu wykrycia wad powierzchniowych,
- sposób zabezpieczenia przed korozją i przed uszkodzeniami mechanicznymi (cztery klasy zabezpieczeń) itd.

2.2. Wytyczne do określenia nośności osi z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm

Na oś z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm działają podczas eksploatacji następujące siły:

- siły statyczne,
- siły udarowe,
- siły dynamiczne, okresowo działające, mające charakter obciążeń zmęczeniowych.

Wartość maksymalnych sił statycznych, jakie może przenieść oś zestawu kołowego, wynika z obciążeń próbnych, przykładanych do gniazda skreću np. Y25Rss. Zgodnie z Warunkami Technicznymi Wykonania i Odbioru (WTW i O), siły działające na gniazdo skreću wózka typu Y25Cs wraz z odmianami są przedstawione na rys. 1.

Biorąc pod uwagę, że największe obciążenie wynosi $P_3=454,2$ kN, co w przeliczeniu na jedno koło odpowiada naciskowi statycznemu $0,25 \times (45 \text{ kN} + 454,2 \text{ kN}) = 124,8$ kN (45 kN odpowiada ciężarowi wózka Y25Cs). Zgodnie z normą PN-EN 14363:2016 E [16] maksymalny nacisk $Q_{\max}=100+90=190$ kN, gdzie $Q_0=100$ kN (nacisk statyczny koła na szynę), a $Q_{\text{dyn}}=90$ kN odpowiada maksymalnej nadwyżce dynamicznej.

Maksymalne wartości naprężeń dopuszczalnych dla osi pełnych w tym osi z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm są ważne tylko wtedy, gdy spełniony jest p.7.2 w normy PN-EN 13103+A2:2012E [12], a zwłaszcza jego fragment dotyczący ochrony przed korozją o treści następującej: „... wartości te stosuje się tylko wtedy, gdy warunki eksploatacji zapewnią prawidłowe zabezpieczenie przed korozją przez cały czas użytkowania osi. Jeżeli występują wątpliwości, że zabezpieczenie przed korozją nie będzie skuteczne, to graniczne naprężenia powinny być podzielone przez współczynnik uzgodniony przez projektanta i zamawiającego, uwzględniający przepis utrzymania stosowane przez użytkownika.” Z kolei w normie PN-EN 13103-1:2017 (norma zastępująca PN-EN 13103+A1:2012E) w punkcie 8.1 jest zapis następujący:

„Konstrukcja osi wykorzystująca te parametry powinna:

- zawierać system ochrony przed korozją i uszkodzeniami mechanicznymi zgodnie z PN-EN 13261+A1:2011,
- uwzględnić kontrole i przeglądy serwisowe przeprowadzane zgodnie z PN-EN 15313 [17].

15313 [17].

If the requirements listed in EN 13261 and/or 15313 can not be met, the use of other S factor values listed and explained in the technical specification should be considered:

- *system (if used) to protect shielded areas of the axle e.g. against corrosion and mechanical damage,*
- *inspections and maintenance.*

In the case of axles not covered by the coating (protection class 4 according to PN-EN 13261+A1:2011[15]) the permissible stress value should be reduced based on operating experience or tests and conditions of use, justified in the technical specification."

Therefore, it can be concluded that the criteria for the permitted stress forces, used to determine the axles geometrical dimensions arise and were determined by the manufacturer, are relevant only as long as the axles are maintained in the right technical condition.

The right technical condition should be understood as:

- ensuring the appropriate surface roughness, measured by parameters R_a (average deviation of the mean line profile), R_z (average height of unevenness along the length of a singular section), R_t (unevenness depth on the length of the singular segment, in German: „Rauhtiefe”); **it is required throughout its entire lifetime to be consistent with the construction documentation**; one can formulate here the thesis about the external surface being defect-free, defined so that acceptable defects on the surface do not exceed those listed in p.3.7.2.2 of the European Standard PN-EN 13261+A1:2011[15]; the effect of surface roughness on fatigue strength is specified in Fig. 2; properties characterizing the axle surface condition should be measured by means of an electronic roughness measurement device (profilometer), while defects on the external surface should be determined by means of visual tests (VT) and magnetic and powder tests (MT),
- internal lack of defects, understood as preventing defects greater than or equal to those that have been determined for the reference axle; then the criterion for weakening the ultrasonic waves return echo is defined in order to determine the acceptable defect level.

In both cases, the manufacturer and the workshop performing maintenance inspections and repairs should have appropriate detailed repair instructions developed by the institutions listed previously and approved by a scientific research unit listed in the legislation of the Minister of Infrastructure. It is worth noting that the axles must first be qualified for the ultrasonic testing before being subjected to them, re-

Jeśli nie można spełnić wymagań EN 13261 i/lub 15313, należy wziąć pod uwagę zastosowanie innych wartości współczynników S, określonych i uzasadnionych w specyfikacji technicznej:

- *system (jeśli jest stosowany) do zabezpieczenia osłoniętych obszarów osi np. przed korozją i uszkodzeniami mechanicznymi,*
- *przeglądy i konserwacje.*

W przypadku osi niepokrytych powłoką (klasa ochronna 4 zgodnie z PN-EN 13261+A1:2011[15]) należy stosować redukcję naprężeń dopuszczalnych w oparciu o doświadczenia eksploatacyjne lub badania i warunki użytkowania, uzasadnienie w specyfikacji technicznej."

W związku z tym można wyciągnąć wniosek, że kryteria dopuszczalnych naprężeń, z których wynikają wymiary geometryczne osi, a które z kolei określił konstruktor mają znaczenie o tyle, o ile zachowany jest prawidłowy stan techniczny osi.

Przez prawidłowy stan techniczny osi rozumie się:

- zapewnienie odpowiedniej chropowatości powierzchni, mierzonej parametrami R_a (średnie odchylenie profilu linii średniej), R_z (średnia wysokość nierówności na długości odcinka elementarnego), R_t (głębokość nierówności na długości odcinka elementarnego- niem. „Rauhtiefe”); **wymaga się, aby była ona zgodna przez cały okres eksploatacji z dokumentacją konstrukcyjną**; można tutaj sformułować tezę o bezwadliwości powierzchni zewnętrznej, rozumianej w taki sposób, że dopuszczalne wady na powierzchni nie przekraczają tych, które są wymienione w p.3.7.2.2 normy europejskiej PN-EN 13261+A1:2011[15]; wpływ chropowatości powierzchni na wytrzymałość zmęczeniową jest określony na rys.2.; właściwości, charakteryzujące stan powierzchni osi należy mierzyć za pomocą elektronicznego urządzenia do pomiaru chropowatości (profilomierza), natomiast wady na powierzchni zewnętrznej należy ustalić za pomocą badań wizualnych VT oraz badań magnetyczno-proszkowych MT,
- bezwadliwość wewnętrzną, rozumianą jako niedopuszczanie wad większych lub równych od tych, które są ustalane na osi wzorcowej; następnie ustala się kryterium osłabienia echa powrotnego fal ultradźwiękowych w celu określenia dopuszczalnej wady.

W obydwu przypadkach producent i warsztat wykonujący przeglądy oraz naprawy konserwacyjne powinien dysponować odpowiednimi szczegółowymi instrukcjami naprawczymi, opracowanymi przez ww. podmioty i zatwierdzone przez jednostkę naukowo-badawczą, wymienioną w rozporządzeniu ministra

quiring appropriate equipment and qualified personnel. The first step is to check for any unacceptable defects (cracks, especially in the transverse direction) on the axle surface, which are a serious threat to fatigue strength. This statement is supported by the fact that when axles are subject to a rotation force (as the dominant load) the greatest stresses occur on the axles surface. Otherwise ultrasonic examination serves no purpose if the axle surface is so significantly compromised that it excludes the axle from being put into operation. If the principle of extending repair intervals for freight wagons, in order to reduce operating costs and increase their availability, is accepted then all repairs should be more precise, so that the wheelset can be qualified for further operation without any doubt. Before discussing the details of the load capacity (or the ability to construct the axle to carry operational loads) of the wheelset axles with the $\text{Ø}120 \times 179$ mm stub, it is necessary to decide what factor is decisive for the usefulness of the axle for further use. The problem is even more important because to this day there are very serious discrepancies in this matter, and sometimes these theses are completely baseless. Even at the beginning of the 1990s, the prevailing view was that the axles operation lifespan should be limited to 25 years. It was sourced from the previous edition of the Polish corrective provisions. This limitation was not justified. The only factor qualifying or eliminating an axle from operation was and is its technical condition. The proof of this is the fact that the cracks in the axles occur at different ages, often before they reach 25 years, and the main reason behind it is incorrect technical condition, identified by surface cracks or internal defects, that not detected at all during repairs. Often, the operational lifespan of a vehicle, for example, estimated for 35 years, 40 years, etc., is dictated not by its operability, but by the market availability of spare mechanical parts. A serious problem to be solved is the availability of software to control the vehicle system, which, after about four years, is no longer valid. Thus, it can be seen that there is no analogy here to limit the wheelsets axles durability of freight wagons and other vehicles.

Analyzing Fig.2 the following conclusions can be derived:

- the effect of the surface condition factor β_p is greater, the greater the tensile limit for a given steel type, or the high strength steel types are more sensitive to the notch due to poor surface condition,
- a parameter that is used to assess the surface roughness for rail vehicles elements that operate under fatigue loads is the parameter R_t , it appears in the documentation of the standard wheelset axle, in the regulations e.g. Report

infrastruktury. Warto zaznaczyć, że oś poddana badaniom ultradźwiękowym musi być poprzednio zakwalifikowana do tych badań, wymagających odpowiedniego oprzyrządowania oraz wykwalifikowanego personelu. Należy najpierw sprawdzić, czy na powierzchni osi nie występują niedopuszczalne wady (rysy, pęknięcia zwłaszcza w kierunku poprzecznym), które są poważnym zagrożeniem dla wytrzymałości zmęczeniowej. Ww. stwierdzenie jest poparte tym, że przy zginaniu obrotowym osi (jako dominującym obciążeniem) największe naprężenia występują na powierzchni osi. Inaczej nie ma sensu badanie ultradźwiękowe, jeśli już powierzchnia osi jest tak poważnie zagrożona, że eliminuje ją z eksploatacji. Jeśli przyjmujemy zasadę o wydłużaniu okresów między-naprawczych dla wagonów towarowych, aby obniżyć koszty eksploatacji i zwiększyć ich dyspozycyjność, to wszelkie naprawy powinny być dokładniejsze, tak aby bez wątpliwości zakwalifikować zestaw kołowy do dalszej eksploatacji. Zanim będą omawiane szczegóły dotyczące nośności (czyli zdolności konstrukcji osi do przenoszenia obciążeń eksploatacyjnych) osi zestawu kołowego z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm, należy rozstrzygnąć jaki czynnik jest decydujący o przydatności osi do dalszej eksploatacji. Problem jest ważny tym bardziej, że do dnia dzisiejszego w tej kwestii panują bardzo poważne rozbieżności i a niekiedy stawiane tezy są kompletnie nieuzasadnione. Jeszcze na początku lat 90. panował pogląd, że wiek eksploatowanej osi powinien być ograniczony do 25 lat. Wynikało to z dawnej edycji z polskich przepisów naprawczych. Ograniczenie to nie było niczym uzasadnione. Jedynym czynnikiem kwalifikującym lub eliminującym oś z eksploatacji **był i jest** jej stan techniczny. Dowodem na to jest fakt, że pęknięcia w osiach występują w różnym wieku, często poniżej 25.lat, a powodem jest nieprawidłowy stan techniczny, identyfikowany przez pęknięcia powierzchniowe lub wady wewnętrzne, nie wykryte podczas napraw. Często trwałość pojazdu szacowana np. na okres 35 lat, 40 lat itd. jest podyktowana nie zdolnością do eksploatacji, ale dostępnością części zamiennych mechanicznych na rynku. Poważnym problemem do rozwiązania jest dostępność oprogramowania (ang. „software”) do sterowania systemem pojazdu, które po około czterech latach traci już swoją aktualność. Tak więc widać, że nie można szukać tutaj analogii w ograniczeniu trwałości osi zestawów kołowych wagonów towarowych oraz innych pojazdów.

Analizując rys.2 można wyciągnąć następujące wnioski:

- wpływ współczynnika stanu powierzchni β_p jest tym większy, im większa jest granica wytrzymałości na rozciąganie dla danej stali, albo inaczej stale o wysokiej wytrzymałości są bardziej wrażliwe na karb z tytułu niewłaściwego

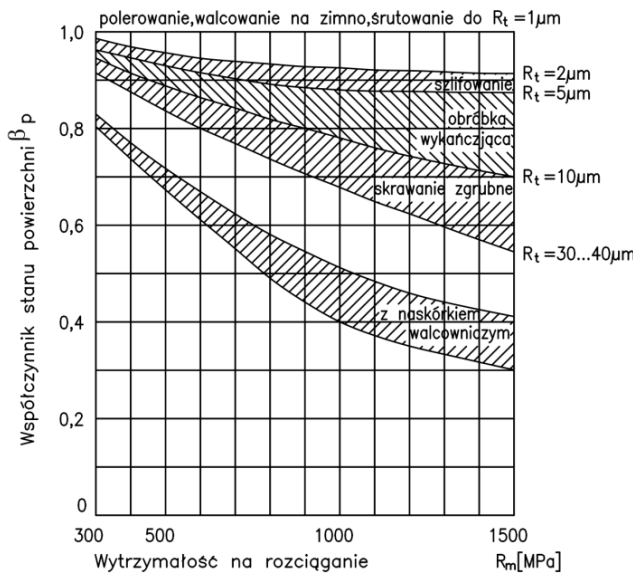


Fig. 2. Impact of the surface condition factor β_p on fatigue strength in bending and tension tests according to [5]

Rys. 2. Wpływ współczynnika stanu powierzchni β_p na wytrzymałość zmęczeniową przy zginaniu i rozciąganiu wg [5]

ORE/ERRI B12 Rp.11/D Frage B136 [11] or in specialist literature [5]; the relations between the roughness parameter R_t and R_a is shown in Fig. 3;

- fatigue strength of the wheelset axle is greater if it's surface produced with greater accuracy, assuming that the surface roughness values given in the regulations may be significantly increased, the fatigue strength will be increased as a result; it is true that the manufacturing costs will be increased, but such an axle is then characterized by greater durability and thus longer lifespan.

Another problem that appears for all axles of freight wagons is the problem of annual mileage of freight wagons and the related number of cycles that accompany rotary bending. As can be seen from the UIC 510-1 [6] card, the annual mileage of freight wagons is estimated in the range of 25000÷45000 km. One rotary bending cycle during operation corresponds to one rotation of the wheel. The rolling diameter of a wheel in unused condition is 920 mm=0.920 m, while the circumference of the wheel is 2.89 m. While in wheels that have been worn out the diameter is 890 mm=0.890 m, and the circumference of the wheel is 2.79 m. Number of cycles for individual kilometer mileage per year is presented in table 1.

It should be noted that due to the specifics of freight train operations, the calculated number of axle load cycles includes no load driving cycles (load type I driving) and driving cycles in the loaded condition (load type II driving). Operational experience indicates that the ratio between the two types of cycles is **50%:50%**. Another important aspect is that if the

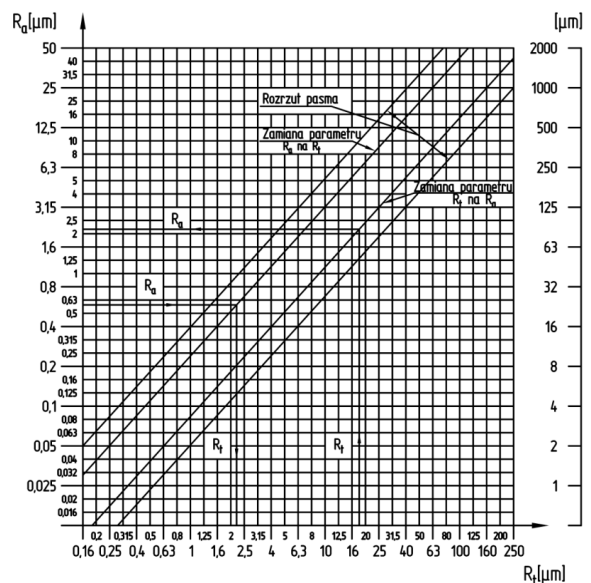


Fig. 3. The relation of the parameter R_a from R_t as well as of R_t from R_a in micrometers

Rys. 3. Zależność parametru R_a od R_t oraz parametru R_t od R_a w mikrometrach

stanu powierzchni,

- parametrem, który używa się do oceny chropowatości powierzchni dla części pojazdów szynowych, które pracują na obciążenia mające charakter zmęczeniowy jest parametr R_t , występuje on w dokumentacji standardowej osi zestawu kołowego, w przepisach np. raport Raport ORE/ERRI B12 Rp.11/D Frage B136 [11] lub w literaturze fachowej [5]; zależność parametru chropowatości R_t od R_a jest przedstawiona na rys. 3;
- im dokładniej wykonana jest powierzchnia osi zestawu kołowego, tym wytrzymałość zmęczeniowa jest większa; wychodząc z tego założenia że podane w przepisach chropowatości poszczególnych powierzchni można zdecydowanie zaokrążyć, osiągnie się efekt podwyższenia wytrzymałości zmęczeniowej; co prawda zwiększa się w ten sposób koszty wykonania, ale oś taka cechuje się większą trwałością.

Kolejnym problemem jaki dotyczy wszystkich osi wagonów towarowych jest problem przebiegów w skali rocznej wagonów towarowych oraz związanych z tym liczbą cykli, które towarzyszą zginaniu obrotowemu. Jak wynika z karty UIC 510-1 [6] przebieg roczny wagonów towarowych jest szacowany w przedziale 25000÷45000 km. Jeden cykl zginania obrotowego podczas eksploatacji odpowiada jednemu obrotowi koła. W stanie nowym średnica toczna koła wynosi w stanie nominalnym 920 mm=0,920 m, natomiast obwód koła wynosi 2,89 m. W stanie zużytych średnica toczna koła wynosi 890 mm=0,890 m, natomiast obwód koła wynosi 2,79 m. Liczba cykli dla poszczególnych przebiegów kilometrowych w skali roku jest przedstawiona w tablicy 1.

The relation between the number of rotary bending cycles on mileage in the case of a freight wagon equipped with wheel sets with new wheels and significantly worn out wheels.

Table 1

Zależność ilości cykli zginania obrotowego od przebiegu kilometrowego w przypadku wagonu towarowego wyposażonego w zestawy kołowe z kołami w stanie nowym oraz skrajnie zużyтым.

Tablica 1

Średnica toczna koła w stanie nowym: 0,920 m, obwód koła 2,89 m						
Przebieg roczny w [km]	25 000	28 900	30 000	35 000	40 000	50 000
Ilość cykli zginania obrotowego	$8,65 \times 10^6$	10^7	$1,03 \times 10^7$	$1,21 \times 10^7$	$1,38 \times 10^7$	$1,73 \times 10^7$
Średnica toczna koła w stanie maksymalnie zużyтым: 0,890 m, obwód koła 2,79 m						
Przebieg roczny w [km]	25 000	27 900	30 000	35 000	40 000	50 000
Ilość cykli zginania obrotowego	$8,96 \times 10^6$	10^7	$1,07 \times 10^7$	$1,25 \times 10^7$	$1,43 \times 10^7$	$1,79 \times 10^7$
The rolling diameter of a new wheel: 0.920 m, wheel circumference 2.89 m						
Annual mileage [km]	25 000	28 900	30 000	35 000	40 000	50 000
Number of rotary bending cycles	8.65×10^6	10^7	1.03×10^7	1.21×10^7	1.38×10^7	1.73×10^7
The rolling diameter of a worn out wheel: 0.890 m, wheel circumference 2.79 m						
Annual mileage [km]	25 000	27 900	30 000	35 000	40 000	50 000
Number of rotary bending cycles	8.96×10^6	10^7	1.07×10^7	1.25×10^7	1.43×10^7	1.79×10^7

mass in the loaded state is assumed to be **80 000 kg**, while in the empty state it is **20 000 kg** (equivalent weight of the wagon), the proportions of type I and II axle loads in the drive cycles are as high as **1:4**. In the case of the axle load capacity, the cycles of the second type are the most important, since they are the closest to the permissible stress limits. Hence the conclusion that the type I loads do not impact the load capacity of the axle as significantly as the stresses from the second type loads. The word mileage in freight wagons must, therefore, be supplemented with an explanation regarding the proportion of freight wagons driving time while empty. It is different in the case of line and shunting locomotives, where, in addition to a significantly higher mileage of **200 000+240 000 km**, axle load drive cycles should be classified as experiencing type II loads. In the case of passenger carriages and traction units, there are drives in empty and loaded condition, but the difference in loads for these drives is not as large as in the case of freight wagons. Another problem is to precisely determine the mileage of freight wagons, which are operated on different routes and as such are not equipped with appropriate measuring instruments. A certain breakthrough in this regard may be provided by the concept of "intelligent freight wagons". As part of this concept, the plan is to equip wagons that have already been used and newly built ones with sensors for measuring speed, accelerations in different directions, temperature of axle bearings and location of the wagon on the route. This data is to be transmitted to the central office via GSM-R ("data bank" and processed there).

Należy wziąć pod uwagę, że w związku ze specyfiką przejazdów wagonów towarowych wyliczona liczba cykli obciążeń osi, obejmuje cykle jazdy w stanie próżnym (cykle I rodzaju obciążeń) oraz cykle jazdy w stanie ładownym (cykle II rodzaju obciążeń). Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że proporcja między obydwoma rodzajami cykli wynosi **50%:50%**. Kolejnym istotnym aspektem jest fakt, że jeśli przyjąć, że masa w stanie ładownym wynosi **80 000 kg**, natomiast w stanie próżnym wynosi **20 000 kg** (ekwiwalentna masa wagonu), to proporcje obciążeń działających na oś w przypadku cykli I rodzaju i II rodzaju wynoszą jak **1:4**. W przypadku nośności osi najbardziej istotne są cykle II rodzaju, gdyż to one są najbardziej zbliżone do naprężeń dopuszczalnych. Stąd wniosek, że naprężenia I cyklu obciążeń nie decydują o nośności osi w sposób tak istotny jak naprężenia pochodzące z II cyklu obciążeń. Słowo przebieg w wagonach towarowych musi być więc uzupełnienie o wyjaśnienie, jaki udział stanowią jazdy wagonów w stanie próżnym. Inaczej jest w przypadku lokomotyw liniowych i manewrowych, gdzie oprócz zdecydowanie większego przebiegu kilometrowego wynoszącego **200 000+240 000 km**, cykle obciążeń osi należy zakwalifikować jako cykle II rodzaju obciążeń. W przypadku wagonów osobowych oraz zespołów trakcyjnych występują jazdy w stanie próżnym i w stanie ładownym, ale widmo obciążeń nie charakteryzuje się tak dużym rozrzutem jak w przypadku wagonów towarowych. Kolejnym problemem jest precyzyjne określenie przebiegu wagonów towarowych, które kursują na różnych

3. Axle construction

The axle of a wheelset with a $\text{Ø}120 \times 179$ mm stub is a complex construction, similar to other axles of freight wagons. Fig. 4 shows the general construction of the axles, along with their essential dimensions. The construction of the axle with the $\text{Ø}120 \times 179$ mm stub is not a "uniform strength beam".

From the analysis of individual cross-sections, it can be stated that the stress values are not the only valid criterion when constructing wheelset axles, which will be confirmed by later calculations in the next publication on this subject. An important element in the construction of the axle is also its rigidity. Properly chosen axle rigidity value guarantees the correct wheelset steering on the track, in accordance with the UIC 510-2 [7].

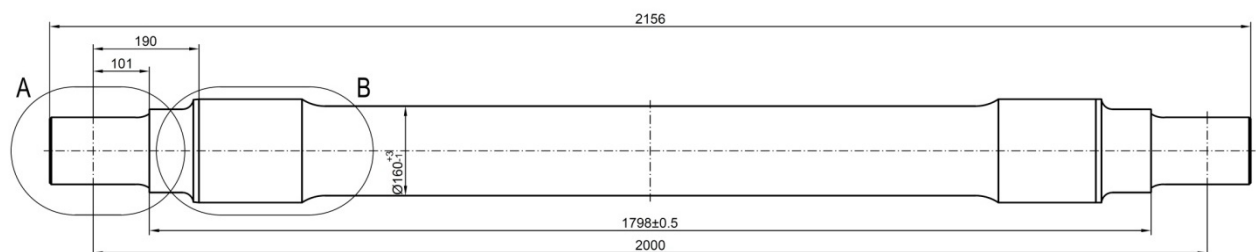


Fig.4. General schematic of a wheelset axle with a $\text{Ø}120 \times 179$ mm stub for freight wagons

Rys. 4. Ogólny rysunek osi zestawu kołowego z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm dla wagonów towarowych

In p.1.6 of this card the following statement can be found: "Separation of wheels in a wheelset measured between the end faces of outer wheel outlines, in case of wagons in empty and loaded condition, measured at the height of the rail heads must be:

- at most 1363 mm and
- at least 1357 mm for wheels with a diameter of $D=1000$ mm to $d=840$ mm and
- at most 1363 mm and
- at least 1359 mm for wheels with a diameter of 840 mm to $d=330$ mm.

These seize values take into account the changes resulting from elastic and permanent deformations occurring during wheel operation."

For this reason, while parts of the axle, such as the axle center point, wheel seat and profile, are designed in relation to the permissible stress criterion, the central part with a diameter of 160^{+2} mm is designed to provide the correct stiffness to meet the dimension requirements of 1360 ± 3 mm and as the calculations further in the article show, the actual stress values show a "margin" relative to the permissible ones.

The axle consists of the following parts:

- fixtures, which should include such parts as stubs (bearing seating), fore-axle (support rings seats) and the wheel seats (wheels),
- the center parts of the axles (in this case completely free of seats).

trasach i jako takie nie są wyposażone w odpowiednie przyrządy pomiarowe. Pewnym przełomem może okazać się koncepcja „inteligentnych wagonów towarowych”. W ramach tej koncepcji przewiduje się wyposażenie wagonów już eksploatowanych oraz nowobudowanych w sensory do pomiaru prędkości, przyspieszeń w różnych kierunkach, temperatury łożysk osiowych oraz lokalizacji wagonu na trasie. Dane te mają być przekazywane do centrali za pomocą GSM-R („banku danych” i tam będą przetwarzane).

3. Budowa osi

Oś zestawu kołowego z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm jest konstrukcją złożoną, podobnie jak inne osie wagonów towarowych. Na rysunku 4 jest przedstawiona ogólna konstrukcja osi, wraz z zasadniczymi wymiarami.

Konstrukcja osi z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm nie jest „belką o równomiernej wytrzymałości”.

Jak wynika z analizy poszczególnych przekrojów naprężenia nie są jedynym kryterium, które obowiązuje przy konstruowaniu osi zestawu kołowego, co będzie potwierdzone późniejszymi obliczeniami w następnej publikacji na ten temat. Istotnym elementem przy konstruowaniu osi jest również sztywność osi. Odpowiednio dobrana sztywność osi gwarantuje prawidłowe prowadzenie zestawu kołowego w torze, zgodnie z kartą UIC 510-2 [7].

W p.1.6 niniejszej karty znajduje się zapis następujący: "Rozstaw kół zestawu kołowego pomiędzy powierzchniami czołowymi zarysów zewnętrznych kół, w przypadku wagonów w stanie próżnym i ładowym, mierzonym na wysokości główek szyn musi wynosić:

- co najwyżej 1363 mm i
- co najmniej 1357 mm dla kół o średnicy $D=1000$ mm do $d=840$ mm oraz
- co najwyżej 1363 mm i
- co najwyżej 1359 mm dla kół o średnicy 840 mm do $d=330$ mm.

Wymiary uwzględniają przekroczenia, wynikające z odkształceń sprężystych oraz trwałych, występujących w eksploatacji."

In the case of wheel seats and stubs, it should be noted that their part is intended for embedding, and the part is free. Due to the possible wear and tear when installing and dismantling parts such as bearings, stop rings and wheels, the acceptable repair dimensions should be provided. For axles with a $\text{Ø}120 \times 179$ mm stub the following repair dimensions must be taken into account:

- **Ø119 p6** and **Ø118 p6**, in order to mount repair bearings (smaller size) NJ+NJP 119×240×80 or NJ+NJP 118×240×80 (SKF company) or WJ+WJP 119×240×80 or WJ+WJP 118×240×80 (FAG company); using the inner ring of both companies with the corrective dimensions while leaving the rest of the bearings unchanged is also permitted;
- wheel mounting diameter $\text{Ø}185$ mm, should be ordered with an appropriate fitting margin, which should be agreed upon with the manufacturer; this is important in that the pressing and coiling forces can reach very high values, which often contribute to surface damage; after the wheel rolling operation, it is often necessary to polish the surface, which leads to material loss and a systematic reduction of the material buffer until the minimum limit size is reached;
- the stop ring seat diameter if damaged during its removal, should be milled down to a smaller diameter in order to remove any surface damage;
- in case of significant defects on the surface of the central part of the axis, it is recommended to sand the entire surface (using a door grinder) so that the repairing dimension is not exceeded.

The above repair guidelines indicate that when testing the axle load capacity, it is necessary to check the level of stress, which is a measure of the material tensile properties, taking into account the nominal dimensions and repair dimensions. After exceeding the permissible repair dimensions, the axle should be excluded from further use. On the other hand, it should also be taken into account that the use of modern manufacturing and repair technologies contributes significantly to increasing the wheelsets axle load capacity.

In this case, the following technological measures should be investigated:

- rolling of the wheelset axis, which is used in strengthening the surface, by introducing negative stress values (compressive stress); this strengthening allows to increase the material fatigue limit, i.e. Z_{go} from 200 MPa up to 240 MPa; surface strengthening consists of applying compressive stress onto the surface layer of the material; this strengthening, as stated in the OW-1166/1

W związku z powyższym, o ile takie części osi jak czop osi, przedpiaście oraz podpiaście osi są projektowane w odniesieniu do kryterium naprężeń dopuszczalnych, o tyle część środkowa o średnicy 160^{+2} mm osi jest projektowana pod kątem zapewnienia prawidłowej sztywności, aby spełnić wymiar 1360 ± 3 mm i jak później wykażą obliczenia, naprężenia faktyczne wykazują „rezerwę” w stosunku do dopuszczalnych.

Oś składa się z następujących stref:

- osadzeń, do których należy zaliczyć takie strefy jak czopy (osadzenie łożysk), przedpiaścia (osadzenie pierścieni oporowych) oraz podpiaścia (koła),
- części środkowych osi (w tym przypadku całkowicie wolnych od osadzeń).

W przypadku czopów oraz przedpiaść należy zwrócić uwagę, że ich część jest przeznaczona pod osadzenia, a część jest swobodna. Z uwagi na możliwość zużycia przy zakładaniu i ściąganiu takich części jak łożyska, pierścienie oporowe oraz koła należy przewidzieć dopuszczalne wymiary naprawcze. W przypadku osi z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm należy uwzględnić następujące wymiary naprawcze:

- **Ø119 p6** oraz **Ø118 p6**, w celu zamontowania łożysk naprawczych (podwymiarowych) NJ+NJP 119×240×80 lub NJ+NJP 118×240×80 (firma SKF) lub WJ+WJP 119×240×80 lub WJ+WJP 118×240×80 (firma FAG); dopuszczalne jest również zastosowanie pierścienia wewnętrznego produkcji obydwu firm o wymiarach naprawczych pozostawiając resztę łożysk bez zmian;
- średnica osadzenia kół $\text{Ø}185$ mm, powinna być zamawiana z odpowiednim zapasem wymiarowym, który powinien być uzgodniony z producentem; jest to istotne o tyle, że siły wtlaczania i stłaczania przyjmują bardzo wysokie wartości, które niejednokrotnie przyczyniają się do uszkodzenia powierzchni; po operacji stłaczania koła niejednokrotnie konieczne jest przeszlifowanie powierzchni, które prowadzi do ubytku materiałowego i systematycznego zmniejszenia zapasu materiałowego, aż do osiągnięcia wymiaru kresowego;
- średnica przedpiaścia, na której osadzone jest pierścień oporowy w przypadku uszkodzenia podczas jego zdejmowania powinna być przetoczona na mniejszy wymiar, w celu usunięcia uszkodzeń na powierzchni;
- w przypadku wystąpienia znaczących wad na powierzchni części środkowej osi zaleca się zeszlifowanie całej powierzchni (za pomocą szlifierki bramowej), tak aby wymiar naprawczy nie został przekroczony.

manual [21], reaches a depth of 2÷8 mm, which allows to reduce the peak load values on the axle, as they reach the highest values on its surface; another problem is the relaxation (disappearance) of these stresses with the passage of time; a successful alternative solution seems to be the solution of the Czech manufacturer Bonatrans a.s. in Bohumin, who uses induction hardening on the entire axle surface of the wheelset;

- in the case of placing bearings on the axle stubs and removing them from the axle, the use of heating with induction coils is required and then they are to be deposited in a non-invasive way on the axle surface,
- in case of removing the wheel off the axle, it is required to use the oil pumped from the oil hole, which is drilled on the wheel hub; hole dimensions are given in the UIC 805-70 card [9].

Fig. 5 shows a fragment of the axle with a $\text{Ø}120 \times 179$ mm stub, depicting the wheel mounting for the axle with a nominal diameter of $\text{Ø}185$ mm and a neighboring shaft with a diameter of $\text{Ø}146$ u6.

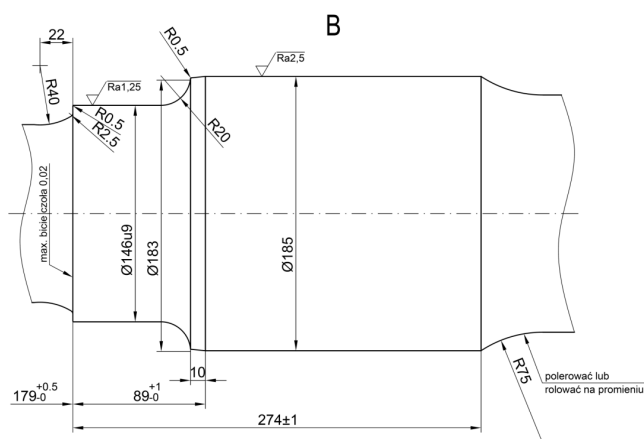


Fig.5. Assembly of the axle with a diameter of $\text{Ø}185$ mm and the front axle part with a diameter of $\text{Ø}146$ u9

Rys. 5. Osadzenie osi (podpiałcie) o średnicy $\text{Ø}185$ mm oraz przedpiałcie osi o średnicy $\text{Ø}146$ u9

Transition radii that are mentioned in the provisions of PN-EN 13103-1:2017 (E) [13] are very important. If transition radii of other values were used, this should be preceded by fatigue tests on a certified test bench using samples in a 1:1 scale. As shown in Figure 5:

- the transition radius from wheel seat on the axle to the central part of the axle is $R=75$ mm, in axles with a stub of $\text{Ø}130 \times 217$ mm and $\text{Ø}130 \times 191$ mm this transition is made using two different radii $R=75$ mm and $R=15$ mm,
- the transition radius from the wheel seat to the axle edge is $R=20$ mm,
- on the axle wheel seat there is a 10 mm long section with a slope of 2 mm (outer diameter

Z powyższych wytycznych naprawczych wynika, że badając nośność osi, należy sprawdzić poziom naprężeń, które są miarą wyęczenia materiału, biorąc pod uwagę wymiary nominalne oraz wymiary naprawcze. Po przekroczeniu dopuszczalnych wymiarów naprawczych, oś powinna być wykluczona z dalszej eksploatacji. Jednocześnie należy uwzględnić, że stosowanie nowoczesnych technologii przy wytwarzaniu i naprawach przyczynia się w znaczący sposób, do zwiększenia nośności osi zestawów kołowych.

W tym przypadku należy zwrócić uwagę na następujące środki technologiczne:

- waleczkowanie (rolowanie) osi zestawu kołowego, które polega na umocnieniu powierzchni, poprzez wprowadzenie ujemnych naprężeń (naprężeń ściskających); umocnienie to pozwala na zwiększenie granicy zmęczenia materiału tzn. Z_{go} z 200 MPa do 240 MPa; umocnienie powierzchni polega na wprowadzeniu naprężeń ściskających do warstwy wierzchniej materiału; umocnienie to jak wynika z instrukcji OW-1166/1 [21] osiąga głębokość 2÷8 mm, co pozwala na zmniejszenie szczytowych naprężeń obciążających oś, które mają największą wartość na jej powierzchni; innym problemem jest relaksacja (zanik) tych naprężeń wraz z upływem czasu; udanym rozwiązaniem alternatywnym wydaje się być rozwiązanie czeskiego producenta Bonatrans a.s. w Bohuminie, polegające na hartowaniu indukcyjnym na całej powierzchni osi zestawu kołowego;
- w przypadku nasadzania łożysk na czop osi oraz ich zdejmowania z czopa osi należy obowiązkowo korzystać z podgrzewania za pomocą cewek indukcyjnych, a następnie ich osadzanie w sposób bezinwazyjny na powierzchni osi,
- w przypadku stłaczania koła z osi, obowiązkowo korzystać z oleju tłoczonego z otworka olejowego, który jest wywiercony na piąście koła; wymiary otworu są podane w karcie UIC 805-70 [9].

Na rys.5 przedstawiono fragment osi z czopem $\text{Ø}120 \times 179$ mm, przedstawiający osadzenie dla koła osi o średnicy nominalnej $\text{Ø}185$ mm oraz sąsiadujące z nimi przedpiałcie o średnicy $\text{Ø}146$ u6.

Bardzo istotne w tym przypadku są promienie przejściowe, które są wymienione w przepisach PN-EN 13103-1:2017 (E) [13]. W przypadku gdyby zastosowano promienie przejściowe o innych wymiarach, to należałoby to poprzedzić badaniami zmęczeniowymi na certyfikowanym stanowisku badawczym na próbkach w skali 1:1. Jak widać z rys.5:

- promień przejściowy z osadzenia koła na osi do części środkowej osi wynosi $R=75$ mm, w osiach z czopem $\text{Ø}130 \times 217$ mm oraz

Ø183 mm and inner diameter of Ø185 mm).

This data will be used in the calculation of axle load capacity of the wheelset with a diameter of Ø120×179 mm, which will be included in the next publication. Fig. 6 presents the stub of the above axle wheelset. This fragment has a transition radius of $R=40$ mm, between the stub with a diameter of Ø120p6 and the axle before the wheel seat at Ø146u6. On the left side of the face, the axle has three threaded M20 holes to connect the stop ring.

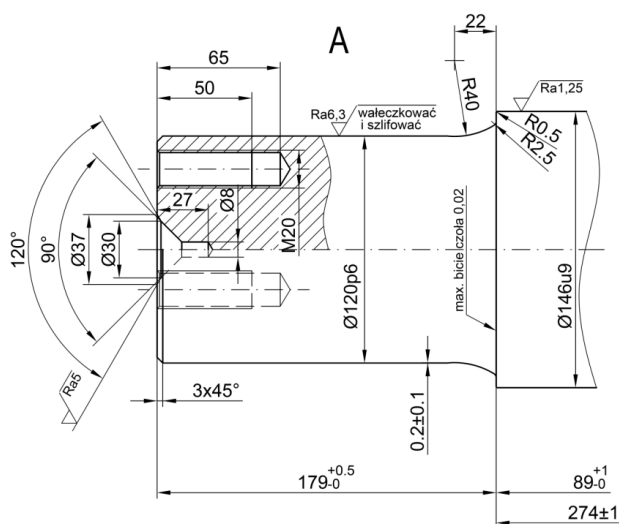


Fig. 6. Stub of the axle with a diameter of Ø120×179 mm
Rys. 6. Czop osi o wymiarach Ø120×179 mm

4. CONCLUSIONS

1. The performed analysis indicates, that the factors determining the axle durability arise from its design and manufacturing technology, in particular its accuracy and repeatability, as well as from reliable and versatile repairs. Properly repaired wheelset axle can be considered to be guaranteed to be eligible for further operation. Attention is drawn to correctly selected criteria for these repairs to detect surface and internal defects. It is recommended that during repairs, the facility or repair shop should have up-to-date construction documentation for axles, wheels or wheelsets. Repairs should be carried out based on properly prepared instructions, where appropriate procedures are given.
2. The study presents guidelines in the form of cross-section dimensions, lengths of individual axle sections, transition radii for load capacity calculations of the material for individual cross-sections of the axles that will be carried out and provided in the next publication.
3. Since the axle construction is a standardized design, developed as a part of the ORE/ERRI/UIC, it is unlikely that it would be possible to increase the durability of freight

Ø130×191 mm przejście to wykonane jest za pomocą dwóch promieni $R=75$ mm oraz $R=15$ mm,

- promień przejściowy z osadzenia koła na przedpiaście wynosi $R=20$ mm,
- na osadzeniu koła na oś (podpiaściu) znajduje się odcinek o długości 10 mm o pochyleniu 2 mm (średnica od strony zewnętrznej Ø183 mm oraz średnica od strony wewnętrznej Ø185 mm).

Ww. dane będą użyte w obliczeniach nośności osi zestawu kołowego Ø120×179 mm, które będą zamieszczone w następnej publikacji. Na rys.6 jest przedstawiony czop ww. osi zestawu kołowego. Fragment ten posiada promień przejściowy $R=40$ mm, pomiędzy czopem o średnicy Ø120p6 oraz przedpiaściem o średnicy Ø146u6. Z lewej strony od czoła oś posiada trzy otwory gwintowane otwory M20, celem połączenia pierścienia dociskowego.

4. WNIOSKI

1. Jak widać z przeprowadzonej analizy czynniki kształtujące trwałość osi wynikają z jej konstrukcji, technologii wytwarzania, a zwłaszcza jej dokładności i powtarzalności oraz miarodajnych i wszechstronnych napraw. Prawidłowo przeprowadzaną naprawę osi zestawu kołowego można porównać do gwarantowanej przepustki do dalszej eksploatacji. Zwraca się uwagę na fakt prawidłowo dobranych kryteriów tych napraw, w celu wykrycia wad powierzchniowych oraz wewnętrznych. Zaleca się, aby przy wykonywaniu napraw, zakład czy warsztat naprawczy posiadał aktualną dokumentację konstrukcyjną osi, kół lub zestawów kołowych. Naprawy powinny być przeprowadzane w oparciu o odpowiednio opracowane instrukcje, gdzie są podane odpowiednie procedury.
2. W opracowaniu przedstawiono wytyczne w postaci wielkości przekrojów, długości poszczególnych stref osi, promieni przejściowych do obliczeń nośności (wyteżenia) materiału dla poszczególnych przekrojów osi, które będą przeprowadzone i podane w następnej publikacji.
3. Ponieważ konstrukcja osi jest konstrukcją standardową, opracowaną w ramach prac ORE/ERRI/UIC, jest mało prawdopodobne, aby można było zwiększyć trwałość osi wagonów towarowych, już wdrożonych do eksploatacji poprzez zwiększenie wymiarów odpowiednich średnic, gdyż muszą one spełniać zasadę zamienności, która jest wymagana dla wagonów towarowych. W związku z powyższym konieczne jest wdrażanie reżimu naprawczego, który w prawidłowy sposób kwalifikuje osi do dalszej eksploatacji. Jeśli

wagon axles that have already been put into service by increasing the dimensions of the appropriate diameters, as they must comply with the interchangeability principle that is required for freight wagons. Hence, it is necessary to implement a repair regime that correctly qualifies axles for further use. If the inter-repair periods are extended, then the matter of precise repairs becomes particularly important.

okresy między-naprawcze ulegają wydłużeniu, to wówczas sprawa precyzyjnych napraw nabiera szczególnego znaczenia.

5. Bibliography / Bibliografia

- [1] Sobaś M.: *Wpływ omaźnicowanych zestawów kołowych na bezpieczeństwo eksploatacyjne. Pojazdy Szynowe nr 4/2016.*
- [2] Sobaś M.: *Diagnostyka osi zestawów kołowych układów biegowych pojazdów trakcyjnych i tocznych. Pojazdy Szynowe nr 4/2010*
- [3] Sobaś M.: *Kryteria obiektywnej oceny prognozowanej oceny stanów osi zestawów kołowych pojazdów trakcyjnych. Pojazdy Szynowe nr 1/2011*
- [4] Stasiak L.: *Doświadczenia determinacja charakterystyk wytrzymałości zmęczeniowej osi zestawów kołowych pojazdów szynowych. Poznań 1986.*
- [5] Tauscher H.: *Dauerfestigkeit von Stahl und Gusseisen. 4.neubearbeitete Auflage (VEB Fachbuchverlag Leipzig. 1982. (pol. „Wytrzymałość zmęczeniowa dla stali i żeliw. 4. przerobione wydanie (Wydawnictwo Książek Fachowych Lipsk 1982).*
- [6] *Karta UIC 510-1. Wagony towarowe. Układ biegowy. Normalizacja. 9-te wydanie. 1.01.1978. 14 zmian od 1.01.80 do 1.01.97.*
- [7] *Karta UIC 510-2. Pojazdy doczepne. Warunki dla stosowania kół o różnych średnicach w układach biegowych różnego typu. 4-te wydanie ze zmianami od października 2002 do kwietnia 2004.*
- [8] *Karta UIC 515-3. Pojazdy szynowe. Wózki – układy biegowe. Metodyka obliczeń osi zestawów kołowych. 1-sze wydanie z 1.07.1994. Karta wycofana 1.08.2006.*
- [9] *Karta UIC 805-70. Otwór gwintowany kanałów dla hydraulicznego ściągania i poluzniania połączeń zaciskowych. 2-gie wydanie z 1.07.1986*
- [10] *Karta UIC 811-1. Warunki techniczne na dostawę osi zestawów kołowych dla pojazdów trakcyjnych i wagonów. Karta wycofana 1.08.2006.*
- [11] *Raport ORE/ERRI B12 Rp.11/D Frage B136. Radsätze mit aufgesattelten Achslagern: Konstruktion, Unterhaltung, Standardisierung. Bericht Nr.11. Berechnung von Radsatzwellen für Güterwagen und Reisezugwagen. Utrecht, April.1979 (j. polski: „Zestawy kołowe z nasadzonymi maźnicami: Konstrukcja, Utrzymanie, Standaryzacja. Raport 11. Obliczenie osi zestawów kołowych wagonów towarowych i wagonów osobowych.” Utrecht, kwiecień 1979.)*
- [12] *PN-EN 13103+A2:2012. Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Osie zestawów kołowych tocznych. Zasady konstrukcji.*
- [13] *PN-EN 13103-1:2017 (E). Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki-Część 1: Zasady konstrukcji dla osi z czopami zewnętrznymi*
- [14] *PN-EN 13104+A2:2013. Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Osie zestawów kołowych napędnych. Zasady konstrukcji.*
- [15] *PN-EN 13261+A1:2011. Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Osie. Wymagania dotyczące wyrobu.*
- [16] *PN-EN 14363:2016 E. Kolejnictwo. Badania i symulacje modelowe własności dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu. Badania właściwości biegowych i próby stacjonarne.*
- [17] *PN-EN 15313:2016. Kolejnictwo. Wymagania eksploatacyjne dotyczące obsługi zestawów kołowych. Utrzymanie zestawów kołowych pojazdów w eksploatacji i wyłączenie z eksploatacji.*
- [18] *EN ISO 643:2003. Steels. Micrographic determination of the apparent grain size.*
- [19] *PN-64/H-84027. Stal dla kolejnictwa. Gatunki.*
- [20] *PN-84/H-84027/03. Stal dla kolejnictwa. Osie zestawów kołowych dla pojazdów szynowych. Gatunki.*
- [21] *OW-1166/1. Tymczasowe warunki techniczne na rolowanie osi zestawów kołowych dla pojazdów trakcyjnych oraz wagonów osobowych i towarowych. Dokument przechowywany w archiwum „IPS TABOR*