

Application of felt seals in modern nodes of running gear systems of railway vehicles

Zastosowanie uszczelnień filcowych we współczesnych węzłach układów biegowych pojazdów szynowych

The article presents the problem of operational safety, resulting from the use of felt seals in the selected nodes of running gear systems of rolling and traction vehicles. As the long-term operation practice has shown the felt connections are still used in the domestic rolling stock, despite the fact that it is connected with the difficulties, and sometimes with the lack of obtaining the intended effect.

W artykule przedstawiono problem bezpieczeństwa eksploatacyjnego, wynikającego zastosowania uszczelnień filcowych w wybranych węzłach układów biegowych pojazdów tocznych oraz trakcyjnych. Jak wykazała długoletnia praktyka eksploatacyjna połączenia filcowe są wciąż stosowane w krajowym taborze kolejowym, pomimo że wiąże się to z trudnościami, a i czasami z brakiem osiągnięcia zamierzonego efektu.

1. INTRODUCTION

Operational safety widely understood is related to the reliability of all nodes of rail vehicle, including the running gear system, up to the planned periodic inspection P1, P2, P3, P4 or P5. Operational safety has the particular importance in connection with the development of trans-border traffic, the aim of which is to increase the competitiveness of rail transport on the passenger and goods transport market. For this purpose, the railway infrastructure is an independent in terms of organizational and legal enterprise, independent of carrier that use its services. To provide the harmonious cooperation with users, the operational safety has the highest importance in the current times. One of the important elements of detecting the damaged nodes of rolling stock is the development of a widely understood diagnostics, based on the installation of sensors and detectors on the vehicle and infrastructure, which send the data to the base, and then are evaluated using the specially developed software. Thus, the modern rail transport of people and goods will be controlled more and more to provide the preventive “on-time” operation, which consists in detecting the small disturbances and malfunctions to prevent the more serious threat to safe operation. The widely developed diagnostics in the railway system allows to detect the weak structural nodes, which may be a reason for their modernization in already used running gear systems of railway vehicles. This paper is devoted to felt seals that are still used in the bogies of traction diesel and electric locomotives and in bogies of freight wagons of type Y25. The use of felt seal is a source of controversy both among producers of rolling stock, carrying out the repairs and rolling stock users. The first node

1. WSTĘP

Bezpieczeństwo eksploatacyjne szeroko pojęte wiąże się z niezawodnością wszystkich węzłów pojazdu szynowego, w tym układu biegowego, aż do planowanego przeglądu okresowego P1, P2, P3, P4 lub P5. Bezpieczeństwo eksploatacyjne nabiera szczególnego znaczenia w związku z rozwojem ruchu transgranicznego, którego celem jest zwiększenie konkurencyjności transportu kolejowego na rynku przewozowym osób i towarów. W tym też celu infrastruktura kolejowa jest samodzielnym pod względem organizacyjnym i prawnym przedsiębiorstwem, niezależnym od korzystających z jej usług przewoźników. Aby zapewnić harmonijną współpracę z użytkownikami, bezpieczeństwo eksploatacyjne nabiera w obecnych czasach priorytetowego znaczenia. Jednym z istotnych elementów detekcji uszkodzonych węzłów taboru kolejowego jest rozwój szeroko pojętej diagnostyki, opartej na instalowaniu sensorów oraz czujników na pojeździe oraz w rejonie infrastruktury, które wysyłają dane do bazy, a następnie są oceniane przy pomocy specjalnie opracowanego oprogramowania. Tak więc nowoczesny transport kolejowy osób oraz towarów będzie coraz bardziej kontrolowany, aby zapewnić prewencyjne działanie „on-time”, co polega na wykrywaniu drobnych zakłóceń i usterek, aby zapobiec bardziej poważnemu zagrożeniu bezpiecznej eksploatacji. Szeroko rozwinięta diagnostyka w kolejnictwie pozwala na wykrycie słabych węzłów konstrukcyjnych, co może być przyczynkiem do ich modernizacji w już użytkowanych układach biegowych pojazdów szynowych. Niniejszy artykuł jest poświęcony uszczelnieniom filcowym, które są jeszcze wciąż stosowane w wózkach trakcyjnych lokomotyw spalinowych

described in detail is the felt seal used between the stopper ring and the axle box body in the standard bogies of Y25 family.

2. FELT AS SEALING MATERIAL

2.1. Introduction

Choosing a seal, it should be remembered that each of them shows a certain leak. There is no perfect sealing system. In the case of such an important element, from the point of view of constructional reliability, it can be only used the concept "effective sealing", adapted to the working conditions. Effective sealing in railway technology must meet the following criteria:

- is characterized by relatively high strength, such that it can withstand the existing working pressure,
- works with the lowest possible friction, generating a minimum friction work, and thus the minimum amount of heat,
- is characterized by maximum effectiveness with the lowest possible wear,
- shows resistance to commonly occurring chemicals, such as sulfur compounds in the form of gas SO,SO₂, carbon compounds CO,CO₂, ozone (trioxide O₃), salt fog, volatile substances, derived from the wear of GG cast iron brake pads, other impurities of air and dust, sand, etc.,
- is appropriately flexible (elastic), thanks to which it can compensate the defects of the surface completion,
- can work in a wide range of operating temperatures,
- is resistant to atmospheric phenomena which belong to except the extreme range of ambient temperature, rain, snow, ice, hail, etc.,
- show the resistance and keep of the function in the event of vibrations and shocks as well as impact loads generated by vertical and lateral irregularities of the track in the wheel-rail system.

Choosing the right seal for the nodes of running gear system is thus not an easy matter. The modern running gear systems in the freight transport must be adapted:

- to speed of 120 km/h in the empty state of the wagon,
- to speed of 100 km/h in a loaded state corresponding to the static load of a wheelset on track of 220 kN (track class D) and 245 kN (track class E).

The modern traction running gear systems in locomotives must be adapted to speeds of 160÷200 km/h and to the load of the wheelset on the track 220÷245 kN. An additional difficulty is the fact that the rolling and traction running gear systems are not stationary devices, In case of stationary devices, is easier to observe the condition of a felt sealing

i elektrycznych oraz w wózkach wagonów towarowych typu Y25. Stosowanie uszczelnienia filcowego budzi wiele kontrowersji, zarówno wśród producentów taboru kolejowego, wykonawców napraw oraz użytkowników taboru kolejowego. Jako pierwszy węzeł omówiono szczegółowo uszczelnienie filcowe stosowane pomiędzy pierścieniem oporowym i korpusem maźnicy w standardowych wózkach rodziny Y25.

2. FILC JAKO MATERIAŁ USZCZELNIAJĄCY

2.1. Wprowadzenie

Dobierając uszczelnienie należy pamiętać, że każde z nich wykazuje pewną nieszczelność. Nie ma idealnego układu uszczelniającego. W przypadku takiego ważnego elementu z punktu widzenia niezawodności konstrukcyjnej można jedynie operować pojęciem „skutecznego uszczelniania”, dostosowanego do warunków pracy. Skuteczne uszczelnienie w technice kolejowej musi spełniać następujące kryteria:

- cechuje się relatywnie wysoką wytrzymałością, odporną na występujące ciśnienia robocze
- pracuje z możliwie najniższym tarcie, generując minimalną pracę tarcia, a tym samym minimalną ilość ciepła
- cechuje się maksymalną skutecznością przy jak najmniejszym zużyciu
- wykazuje odporność na powszechnie występujące substancje chemiczne, takie jak związki siarki w postaci gazowej SO,SO₂, związki węgla CO,CO₂, ozonu (triflenu O₃), mgłą solną, lotne substancje, pochodzące ze zużycia wstawek klocków hamulcowych z żeliwa GG, innych zanieczyszczeń powietrza oraz kurzu, pyłu, piasku itd.
- jest odpowiednio elastyczne (sprężyste), dzięki czemu może skompensować wady wykończenia powierzchni
- może pracować w szerokim zakresie temperatury pracy
- jest odporne na zjawiska atmosferyczne do jakich należą oprócz ekstremalnego zakresu temperatury otoczenia, deszcz, śnieg, oblodzenia, grad itd.
- wykazuje odporność i zachowuje funkcje w przypadku wystąpienia drgań i wstrząsów oraz obciążeń udarowych, generowanych przez pionowe i poprzeczne nierówności toru w układzie koło–szyna.

Dobór prawidłowego uszczelnienia do węzłów układu biegowego nie jest zatem sprawą łatwą. Współczesne układy biegowe w transporcie towarowym muszą być przystosowane:

- do prędkości 120 km/h w stanie próżnym wagonu
- do prędkości 100 km/h w stanie ładownym, odpowiadającym statycznemu naciskowi zestawu kołowego na tor, wynoszącym 220 kN

and performing the possible replacement in case of damage does not cause so much difficulties. The felt sealings have been used in domestic and foreign railways for a long time. Their availability on the market and simplicity determined their widespread use. Types of felt are listed in PN-82/P-86012 [2].

2.2. Felt as a technical material

Felt is a textile product that is obtained by felting, i.e. by the process of combining fibers into a compact mass, which uses the natural properties of animal fibers (wool, fur), plant (wood pulp) and some artificial fibers to create interconnections. Felting takes place in machines called felters or by fulling.

During making a felt, additionally these connections are toughened by using in the process of felting:

- hot steam,
- weak solutions or bases,
- high pressure or friction.

There are two types of felt:

- matted felts, which are obtained by felting of the layer of wool fibers (fleece). Products of this type are reinforced by needling, consisting in piercing the fiber layer with specially cut needles; such products are also called needle felt,
- woven felts that are obtained by felting of the outer layers of fabric made of sheep wool, llamas, goat hair and similar materials; as a result of this the fabric loses its previous properties, i.e. the internal structure of the fabric disappears and the new one is becomes, that is thicker, more durable, elastic, soft with very good thermal and sound-absorbing properties.

The felts are produced with thicknesses of a few millimeters (clothing products) up to a few centimeters (for technical applications). PN-82/P-86012 standard [2] applies to matted felts and includes technical filtration, sealing and pad felts, white and grey. This standard reserves the general implementation method included in subparagraph 3.1.: „*matted felts, technical filtration, sealing and white and grey pad, made from wool and wool-like fiber blends, should have the natural color of the raw material from which they were made. The felt should be ironed and the surfaces should be even and clean. The humidity of felt in deliveries should be:*

- *white to 15%,*
- *grey to 12%”.*

The felts are tested depending on the purpose:

- filtration felts according to Annex 1 of the standard,
- sealing felts according to Annex 2 of the standard,
- pad felts according to Annex 3 of the standard.

A very important record regarding the quality of felts is included in subparagraph 3.4 and in 3.4.1 and 3.4.2. The 3.4.1 reads as follows: „*in matted felts, technical*

(klasa toru D) oraz 245 kN (klasa toru E).

Współczesne trakcyjne układy biegowe w lokomotywach muszą być przystosowane do prędkości 160÷200 km/h oraz do nacisku zestawu kołowego na tor 220÷245 kN. Dodatkowym utrudnieniem jest fakt, że układy biegowe toczne oraz trakcyjne nie są urządzeniami stacjonarnymi. W przypadku urządzeń stacjonarnych łatwiej jest obserwować stan uszczelnienia filcowego, a wykonanie ewentualnej wymiany w przypadku uszkodzenia nie przysparza tylu trudności. Uszczelnienia filcowe są stosowane w kolejnictwie krajowym oraz zagranicznym od dawna. O ich powszechnym zastosowaniu zdecydowała powszechna dostępność na rynku i ich prostota. Rodzaje filcu są wymienione w PN-82/P-86012 [2].

2.2. Filc jako materiał techniczny

Filc jest wyrobem włókienniczym, który otrzymywany jest przez spilśnianie, czyli przez proces łączenia włókien w zwartą masę, w którym wykorzystuje się naturalne właściwości włókien zwierzęcych (wełny, sierści), roślinnych (ścieru drzewnego) i niektórych włókien sztucznych do tworzenia wzajemnych połączeń. Spilśnianie odbywa się w maszynach zwanych spilśniarkami lub przez foliowanie.

Przy wyrabianiu filcu połączenia te dodatkowo wzmacnia zastosowanie w procesie pilśnienia:

- gorącej pary wodnej,
- słabych roztworów lub zasad,
- dużego nacisku lub tarcia.

Rozróżnia się dwa rodzaje filców:

- filce bite, które otrzymuje się przez spilśnianie warstwy włókien wełnianych (runo). Wyroby tego rodzaju wzmacnia się przez igłowanie, polegające na przebijaniu warstwy włókien specjalnie naciętymi igłami; wyroby takie nazywa się również filcami igłowanymi,
- filce tkane, które są otrzymywane przez spilśnianie zewnętrznych warstw tkaniny wykonanej z wełny owczej, lam, sierści kóz i podobnych materiałów; w wyniku tego tkanina traci swoje dotychczasowe własności, czyli zanika struktura wewnętrzna tkaniny i tworzy się nowa, gęstsza, bardziej wytrzymała, elastyczna, miękka o bardzo dobrych własnościach termicznych i dźwiękochłonnych.

Filce produkuje się o grubościach kilku milimetrów (wyroby odzieżowe) do kilku centymetrów (do zastosowań technicznych). Norma PN-82/P-86012 [2] dotyczy filców bitych i obejmuje filce techniczne filtracyjne, uszczelkowe i podkładowe, białe i szare. Norma ta zastrzega ogólny sposób wykonania zawarty w p.3.1.: „*filce bite techniczne filtracyjne, uszczelkowe i podkładowe białe i szare, wytwarzane z mieszanek włókien wełnianych i wełnopodobnych, powinny mieć naturalną barwę surowca, z którego zostały wyprodukowane. Filc powinien być wyprasowany, a powierzchnie równe i oczyszczone. Wilgotność filców w*

filtration, sealing and pad, white and gray, meeting the requirements of 3.1 and 3.2, there are two degrees of quality 1 and 2, depending on the number of errors given and characterized in 3.4.2, specified in PN-76/P-06731 [5], occurring at the length of 12 m of felt. " The permissible defects of sealing felts depending on the class (1 or 2) according to PN-82/P-86012 [2] are shown in Table 1.

The occurrence of errors in felts destined for seals and presented in Table 1 is subject to the following limitations:

- it should be assumed that the above-mentioned errors are evenly distributed along the entire length of the felt,
- in case of gathering errors on the section up to 1 meter, this section should be cut out,
- in pieces shorter than 12 m of felt, the number of errors should be proportionally smaller, while in longer ones proportionally greater.

**Dopuszczalne wady filców uszczelkowych w zależności od klasy (1 lub 2) wg PN-82/P-86012 [2]
Permissible defects of sealing felts depending on the class (1 or 2) according to PN-82/P-86012 [2]**

Tablica 1/ Table 1

Nr błędu/ Error No	Opis wady/ Description of defect	Wymiary błędu [mm]/ Dimensions of error [mm]	Liczba dopuszczalnych błędów na długości 12 m filcu/ The number of permissible errors on the length of 12 m of felt	
			Jakość/ Quality	
			1	2
012	Zanieczyszczenia-plamy, najdłuższy wymiar, powyżej/ Pollutants-stains, the longest dimension, above	20÷120	1	2
021	Dziury duże, najdłuższy wymiar, powyżej/ Large holes, the longest dimension, above	3÷10	1	2
022	Dziury małe, najdłuższy wymiar (nie więcej niż 5 na 1 m ² liczy się jako 1 błąd)/ Small holes, the longest dimension (no more than 5 per 1 m ² is counted as 1 error)	do/to 3	1	2
051	Rozwarstwienia, szczeliny o długości/ Delamination, cracks of a length	do/to 200	Nie dopuszcza się/ It is not allowed	2
070	Fałdy, na długości powyżej/ Folds, on the length above	50÷600		
082	Nierównomierna powierzchnia, pocienienia i zgrubienia do 1/5 grubości nominalnej, najdłuższy wymiar/ Uneven surface, thinning and thickening up to 1/5 of the nominal thickness, the longest dimension	do/to 150	2	4
084	Nierównomierna powierzchnia – odparzenia, najdłuższy wymiar/ Uneven surface - chafes, the longest dimension	do/to 250	Nie dopuszcza się/ It is not allowed	2
Łączna ilość dopuszczalnych błędów filcu na długości 12 m / Total number of permissible errors of felt on the length of 12 m			5	12

The list of requirements and tests of sealing felts is presented in table 2.

A list of the thickness of sealing felts is given in Table 3.

Standard PN-82/P-86012 [2] also reserves the right to the method of felt marking, the method of storage, packaging and keeping. The marking at the end of each piece of sealing felt requires from the producer to place the appropriate marks.

Marking at the inner end of each piece:

dostawach powinna wynosić:

- białych do 15%,
- szarych do 12%”.

Filce w zależności od przeznaczenia są poddawane badaniom i tak:

- filce filtracyjne wg załącznika 1 normy,
- filce uszczelkowe wg załącznika 2 normy,
- filce podkładowe wg załącznika 3 normy.

Bardzo istotny zapis dotyczący jakości filców jest zawarty w pkt. 3.4 oraz w podpunktach 3.4.1 i 3.4.2. Punkt 3.4.1 ma brzmienie następujące: „w filcach białych technicznych filtracyjnych, uszczelkowych i podkładowych, białych i szarych, spełniających wymagania podane w 3.1 i 3.2, rozróżnia się dwa stopnie jakości 1 i 2, w zależności od liczby błędów podanych i scharakteryzowanych w 3.4.2, określonych w PN-76/P-06731 [5], występujących na długości 12 m filcu”. Dopuszczalne wady filców uszczelkowych w zależności od klasy (1 lub 2) wg PN-82/P-86012 [2] są przedstawione w tablicy 1.

Występowanie błędów w filcach, przeznaczonych na uszczelki i przedstawione w tablicy 1 jest ograniczone następująco:

- należy przyjąć założenie, że ww. błędy są równomiernie rozmieszczone na długości sztuki filcu,
- w przypadku skupienia błędów na odcinku do 1 metra, odcinek ten należy wyciąć,
- w sztukach krótszych niż 12 m filcu, liczba błędów powinna być proporcjonalnie mniejsza,

Zestawienie wymagań i metod badań filców uszczelkowych wg PN-82/P-86012 [2]
List of requirements and methods of sealing felts according to PN-82/P-86012 [2]

Tablica 2/Table 2

Nazwa filcu/Name of felt	Filt uszczelkowy/Sealing felt						
	F 4313	F4314	F4315	F4316	F4317	F4318	F4324
1	2	3	4	5	6	7	8
Długość fabryczna [m] nie mniej niż/ Factory length [m] not less than	12						
Szerokość w [mm]/ Width in [mm]	1700±15						
Grubość przy nacisku mierniczym 4,9 kPa/ Thickness with a measuring force of 4.9 kPa	wg p.3.3 PN-82/P-86012 [2]/ according to section.3.3 PN-82/P-86012 [2]						
Gęstość [g/cm ³]/ Density [g/cm ³]	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44	0,28
Tolerancja gęstości [g/cm ³]/ Density tolerance [g/cm ³]	±0,02	±0,02	±0,02	±0,02	±0,02	±0,02	±0,02
Naprężenie zrywające [kPa], w stanie aklimatyzowanym nie mniej niż/ Breaking stress [kPa], in an acclimatized state no less than	1800	2200	2500	2900		3400	2500
Wydłużenie przy zerwaniu, [%] w stanie aklimatyzowanym, nie więcej niż/ Elongation at breaking, [%] in an acclimatized state no less than	140		110	120	130	120	110
Zawartość wolnych kwasów w % nie więcej niż/ Free acids content in % no more than	0,5						
Zawartość tłuszczu w % nie więcej niż/ Fat content in % no more than	3						
Zawartość zanieczyszczeń roślinnych w % nie więcej niż/ Plant pollution content in % no more than	1,2	-	1,2	0,5		-	
Zawartość popiołu w % nie więcej niż/ Ash content in % no more than	1,5		-		1,5		-

- trademark,
 - quality control mark.
- Marking at the outer end of each piece:
- thickness in mm,
 - piece weight in kg,
 - quality and quality control mark,
 - production date (last two digits of the year).

natomiast w dłuższych proporcjonalnie większa.

Zestawienie wymagań i badań filców uszczelkowych jest przedstawione w tablicy 2.

Norma PN-82/P-86012 [2] zastrzega również sposób znakowania filcu, sposobu składowania i pakowania oraz przechowywania. Znakowanie na końcu każdej

Zestawienie grubości filców uszczelkowych
List of thickness of sealing felts

Tablica 3/ Table 3

Grubość filcu [mm]/ Thickness of felt [mm]	Marka fabryczna filcu uszczelkowego/ The factory brand of sealing felt						
	F						
	4313	4314	4315	4316	4317	4318	4324
2,0 ±0,3	X	X	X	X	X	X	X
3,0 ±0,3	X	X	X	X	X	X	X
4,0 ±0,4	X	X	X	X	X	X	X
5,0 ±0,5	X	X	X	X	X	X	X
8,0 ±0,8	X	X	X	X	X	X	X
10,0 ±1,0	X	X	X	X	X	X	X
12,0 ±1,2	X	X	X	X	X	X	X
15,0 ±1,3			X		X	X	X
18,0 ±1,5			X		X	X	X
20,0 ±1,6			X		X	X	X

X- produkowane grubości filcu/ produced felt thickness

In the case of divided pieces, at the end of each section, should be given a quality control mark and at the opposite end at least:

- a factory brand,
- quality and quality control mark.

The marking should be located as close as possible to the edge of the pieces.

Storage and packaging of felt materials should be in accordance with subsection 4.1.2 of PN-82/P-86012 [2]. Each piece of felt should be rolled up into a cylinder-shaped roll and tied with string at least in two places in a way that protects against unrolling. The white felts should be packed in wrapping paper. The tag containing at least the same data as at the outer end of the piece should be attached to each roll. Storage of felt materials should take place in dry, ventilated and sunny rooms, in conditions protecting against:

- dirt,
- mechanical damage,
- chemical damage and
- insects and rodents.

The rolls should be laid in non-metallic trusses at a distance of at least 10 cm from the surface from the walls of the room, sewage pipes and water supply pipes. The distance from installations and energy and lighting devices should be in accordance with applicable fire regulations. With laying in multiple layers, the rolls should be laid parallel to avoid folds and creases.

The transport of felt materials should be in accordance with 4.1.3 of PN-82/P-86012 [2]. Felt materials should be loaded, transported and unloaded under protection conditions against:

- getting wet,
- dirt,
- mechanical and chemical damage,

in accordance with applicable regulations on loading and unloading of the means of transport. As it turns

sztuki filcu uszczelkowego zobowiązuje wytwórcę do umieszczenia odpowiednich znaków.

Znakowanie na końcu wewnętrznym każdej sztuki:

- znak wytwórni,
- znak kontroli jakości.

Znakowanie na końcu zewnętrznym każdej sztuki:

- grubość w mm,
- masę sztuki w kg,
- jakość i znak kontroli jakości,
- datę produkcji (ostatnie dwie cyfry roku).

W przypadku sztuk dzielonych, na jednym końcu każdego odcinka podać znak kontroli jakości, a na końcu przeciwnym co najmniej:

- markę fabryczną,
- jakość i znak kontroli jakości.

Znakowanie powinno być zlokalizowane jak najbliżej krawędzi sztuk.

Składowanie i pakowanie materiałów filcowych powinno być zgodne z p. 4.1.2 normy PN-82/P-86012 [2]. Każdą sztukę filcu należy zwinąć w zwój o kształcie walca i przywiązać sznurkiem co najmniej w dwóch miejscach w sposób zabezpieczający przed rozwinięciem. Białe filce należy pakować w papier pakowy. Do każdego zwoju należy przymocować przywieszka zawierającą co najmniej te same dane co na zewnętrznym końcu sztuki. Przechowywanie materiałów filcowych powinno odbywać się w pomieszczeniach suchych, przewiewnych i nasłonecznionych, w warunkach zabezpieczających przed:

- zabrudzeniem,
- uszkodzeniem mechanicznym,
- uszkodzeniem chemicznym oraz
- owadami i gryzoniami.

Zwoje powinny być układane w kratownicach niemetalowych w odległości co najmniej 10 cm od powierzchni od ścian pomieszczenia, przewodów kanalizacyjnych i wodociągowych. Odległość od instalacji i

out, the standard PN-82/P-86012 [2] (with the associated standards PN-76/P-06731 [5], PN-74/P-06708 [6], PN-81/P-04610 [7], PN-75-P-04612 [8], PN-71/P-04613 [9], PN-71/P-04686 [10], PN-75/P-04691 [11], PN-74/P-04692 [12] and PN-75/P-04689 [13]) is the only document based on which the felt materials intended for seals can be ordered. The standard PN-82/P-86012 [2] was finally withdrawn on 15.11.2012.

2.3. Railway applications of sealing felts

The sealing felts have a mass application in domestic rolling stock. One of the mass applications of felt seals is the family of standard bogies of Y25 type, developed by European specialists within the ORE/ERRI committee, under the auspices of the UIC. It turns out that this type of sealing was adopted as standard within the accepted family of bogies of freight wagons, adapted to trans-border traffic. This solution is presented in Fig.1. The felt seal, item 1, is located in a special peripheral socket in the axle - box body, item 4, and leans its surface against the stopper ring, item 6, (Fig.1). The stopper ring is mounted on the axle by means of a push-in or a thermocompression bonding on the axle collar, and thus it is a part that rotates with the axle.

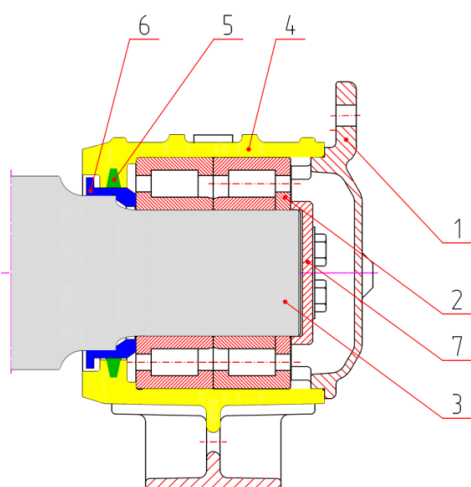


Fig. 1. A sealing felt ring in the axle- box of standard bogies of freight wagons of Y25 type

Rys. 1. Pierścień filcowy uszczelniający w maźnicy standardowych wózków wagonów towarowych typu Y25

Legenda:/ Legend:

- 1 – pokrywa przednia/ front cover,
- 2 – pierścień przedni układu łożysk NJ+NJP/ front ring of the NJ+NJP bearings system,
- 3 – oś zestawu kołowego/ wheelset axle,
- 4 – korpus maźnicy/ axle- box body,
- 5 – uszczelka filcowa/ felt seal,
- 6 – pierścień oporowy/ stopper ring,
- 7 – pierścień dociskowy/pushed-in ring.

The sealing felt works, as is the operating practice presents, at very high rotational speeds, which are given in Table 4.

urządzeń energetycznych oraz oświetleniowych powinna być zgodna z obowiązującymi przepisami przeciwpożarowymi. Przy układaniu wielowarstwowym, zwoje należy układać równoległe, w celu uniknięcia załamań i zagnieceń. Transport materiałów filcowych powinien być zgodny z p. 4.1.3 normy PN-82/P-86012 [2]. Materiały filcowe powinny być załadowane, przewożone i wyładowane w warunkach zabezpieczających przed:

- zamoczeniem,
- zabrudzeniem,
- uszkodzeniem mechanicznym i chemicznym,

zgodnie z obowiązującymi przepisami o ładowaniu i wyładowaniu środków transportu. Jak się okazuje norma PN-82/P-86012 [2] (wraz z normami przynależnymi PN-76/P-06731 [5], PN-74/P-06708 [6], PN-81/P-04610 [7], PN-75-P-04612 [8], PN-71/P-04613 [9], PN-71/P-04686 [10], PN-75/P-04691 [11], PN-74/P-04692 [12] oraz PN-75/P-04689 [13]) jest jedynym dokumentem, w oparciu o który można zamawiać materiały filcowe, przeznaczone na uszczelki. Norma PN-82/P-86012 [2] została wycofana ostatecznie w dniu 15.11.2012.

2.3. Zastosowania kolejowe filców uszczelnkowych

Filce uszczelnkowe mają masowe zastosowanie w krajowym taborze kolejowym. Jednym z takich zastosowań uszczelki filcowe jest rodzina wózków standardowych typu Y25, opracowanych przez specjalistów europejskich w ramach komisji ORE/ERRI, pod auspicjami UIC. Okazuje się, że tego rodzaju uszczelnienie było przyjęte jako standardowe w ramach przyjętej dla rodziny wózków do wagonów towarowych, przystosowanych do ruchu transgranicznego. Rozwiązanie to jest przedstawione na rys.1. Uszczelka filcowa (poz.1) jest usytuowana w specjalnym gnieździe obwodowym w korpusie maźnicy (poz.4) i opiera się swoją powierzchnią na pierścieniu oporowym (poz.6). Pierścień oporowy jest osadzony na osi za pomocą wcisku lub połączenia skurczowego na przedpiałcu osi, a więc jest częścią obracającą się wraz z osią.

Filc uszczelnkowy pracuje, jak wykazuje praktyka eksploatacyjna, przy bardzo dużych prędkościach obrotowych, które są podane w tabelicy 4.

Wynika z tego, że pierścień filcowy uszczelnkowy pracuje przy prędkościach obwodowych (liniowych), które wynoszą 2,62÷6,30 m/s, co odpowiada prędkości liniowej wagonu 50÷120 km/h. Jak wynika z tabelicy 4, zakres prędkości obwodowej przekracza zalecane kryterium dla uszczelki filcowe, które wynosi 4 m/s [4]. Prędkość obwodowa 4 m/s odpowiada prędkości liniowej wagonu, wynoszącej 76,13 km/h. Tak więc kryterium prędkości obwodowej jest przekroczone dla powyższego rozwiązania. Z kolei jak wynika z rys.1 warunkiem spełnienia funkcji przez filcowy pierścień uszczelniający jest jego prawidłowe osadzenie w korpusie maźnicy. Osadzenie musi być na tyle pewne, aby pierścień nie obracał się. Ruch pierścienia może

A list of linear and rotational speeds at which the axle - box felt seal operates for a given speed of wagon
Zestawienie prędkości liniowych i obrotowych, przy których pracuje uszczelka filcowa maźnicy dla danej prędkości wagonu

Tablica 4/ Table 4

Parameter	1	2	3	4	5	6	7
Prędkość liniowa wagonu i obrotowa zestawu kołowego/Linear speed of wagon	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	120 km/h
	13,88 m/s	16,66 m/s	19,44 m/s	22,22 m/s	25 m/s	27,77 m/s	33,33 m/s
Promień koła w stanie nowym [m]/Radius of new wheel [m]	0,460 m						
Częstość kątowa obrotu osi z.k. [obr./s]/ Angular frequency of axle rotation of wheelset [rps]	30,17	36,21	42,26	48,30	54,34	60,36	72,45
Prędkość obrotowa [obr/s]/Rotational speed [rps]	4,80	5,76	6,72	7,68	8,64	9,60	11,53
Średnica pierścienia oporowego [m]/Diameter of stopper ring [m]	0,174 m						
Prędkość liniowa [m/s]/Linear speed [m/s]	2,62	3,15	3,67	4,20	4,72	5,25	6,30

It appears that the sealing felt ring operates at peripheral (linear) speeds, which amount to 2,62÷6,30 m/s, which corresponds to the linear speed of the wagon of 50÷120 km/h. As it is shown in Table 4, the peripheral speed range exceeds the recommended criterion for felt seals, which is 4 m/s [4]. The peripheral speed of 4 m/s corresponds to the linear speed of the wagon, amounting to 76,13 km/h. Thus, the peripheral speed criterion is exceeded for the above solution. Next, as it results from Fig. 1, the condition of fulfilling the function by a felt sealing ring is its correct fastening in the axle - box body. The fastening must be strong enough so that the ring does not rotate. The movement of the ring can be caused by the rotation of the axle which is in contact with the surface of the sealing ring. Such a case that occurs in operation is very dangerous for several reasons and leads to:

- loss of the sealing function of the felt seal,
- gradual degradation of the seal fastening in the axle - box body, which leads to the loss of its dimensions as a result of friction of the felt against surface,
- risk of grease escaping towards the resistance ring.

It should be noted that the body of the axle - box after such a faulty operation can only be regenerated by enlarging the dimensions of the fastening on the felt ring. Regeneration on a scale consistent with the constructional documentation is practically impossible. A better solution is definitely a labyrinth sealing,

być wywołany obrotem osi, która jest w styku z powierzchnią pierścienia uszczelniającego. Taki przypadek, który pojawia się w eksploatacji jest bardzo niebezpieczny z kilku względów i prowadzi do:

- utraty funkcji uszczelniającej uszczelki filcowej,
- stopniowej degradacji osadzenia uszczelki w korpusie maźnicy, co prowadzi do utraty jego wymiarów w wyniku tarcia filcu o powierzchnię,
- zagrożenia wydostawania się smaru w kierunku pierścienia oporowego.

Należy zwrócić uwagę na to, że korpus maźnicy po takiej wadliwej eksploatacji, można zregenerować tylko poprzez powiększenie wymiarów osadzenia na pierścień filcowy. Regeneracja w skali, zgodnej z dokumentacją konstrukcyjną jest praktycznie niemożliwa. Lepszym rozwiązaniem na pewno jest uszczelnienie labiryntowe, pokazane na rys. 2, jednak cechuje się ono większą pracochłonnością, wynikającą z większej precyzji wykonania. Pierścień oporowy, jako część obracająca się, nie może wejść w kolizję w żadnym punkcie z korpusem maźnicy, jako częścią nie podlegającą ruchowi obrotowemu.

Jak wynika z praktyki przemysłowej, wykonanie takiego rozwiązania nie stanowi żadnych kłopotów wykonawczych. Można więc wyciągnąć wniosek, że zastosowanie uszczelki filcowej ogranicza się tylko i wyłącznie do smarów stałych. Służy ono przede wszystkim do zapobiegania zapyleniu i dostępu in-

shown in Fig. 2, which, however, is characterized by a greater labor intensity resulting from the greater precision of the workmanship. The stopper ring, as a rotating part, cannot collide at any point with the axle - box body as a non-rotating part.

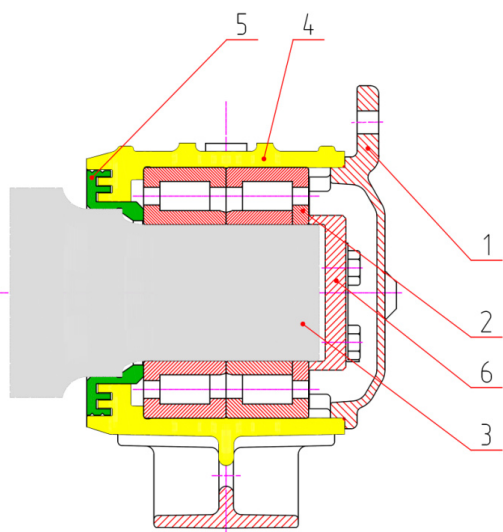


Fig.2. Labyrinth sealing in the axle-box node of Y25 bogies
Rys. 2. Uszczelnienie labiryntowe w węźle maźniczym wózków Y25

Legend:/Legenda:

- 1 – pokrywa przednia/ front cover,
- 2 – pierścień przedni układu łożysk NJ+NJP/ front ring of the NJ+NJP bearings system,
- 3 – oś zestawu kołowego/ wheelset axle,
- 4 – korpus maźnicy/ axle- box body,
- 5 – pierścień oporowy-labiryntowy/ labyrinth- stopper ring,
- 6 – pierścień dociskowy/ pushed-in ring.

nych substancji zanieczyszczających do układu łożysk tj.:

- NJ+NJP 120×240×80,
- NJ+NJP 130×240×80,
- WJ+WJP 120×240×80,
- WJ+WJP 130×240×80.

Przy projektowaniu i wykonaniu uszczelnienia labiryntowego należy kierować się wytycznymi zawartymi w tabelicy 5.

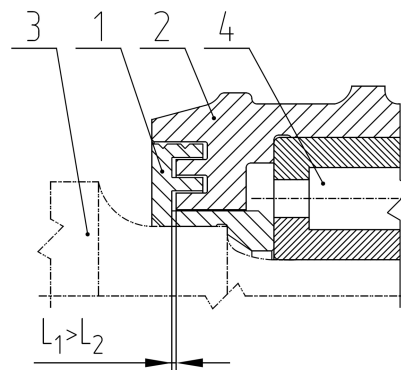


Fig. 3. L1 lateral clearances between the stopper ring and the axle-box body in the labyrinth sealing in the bearing node

Rys. 3. Luzy poprzeczne L1 pomiędzy pierścieniem oporowym oraz korpusem maźnicy w uszczelnieniu labiryntowym w węźle łożyskowym

Legend:/Legenda:

- 1 – pierścień oporowy-labiryntowy/ labyrinth- stopper ring,
- 2 – korpus maźnicy/ axle- box body,
- 3 – oś zestawu kołowego/ wheelset axle,
- 4 – łożysko NP (tylne)/ NP bearing (rear).

Luz poprzeczny oraz wzdłużny dla układu łożysk NJ+NJP
Lateral and longitudinal clearance for the NJ + NJP bearing system

Tablica 5/ Table 5

L.p./Item	Oznaczenie kompletu łożysk/Marking of a bearing set	Wymiary główne [mm]/ Main dimensions [mm]				Luz [mm]/Clearance [mm]	
		d	D	B	r	Promieniowy ¹⁾ / Radial ¹⁾	Wzdłużny ²⁾ / Longitudinal ²⁾
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1.	NJ+NJP 120×240×80 MC4w	120	240	80	4	0,105÷0,160	0,1÷1,0
2.	NJ+NJP 130×240×80 MC4w	130	240	80	4	0,115÷0,180	0,5÷1,5

1) luz mierzony pod obciążeniem ±15daN/ clearance measured under a load of ±15daN

2) luz mierzony dla układu łożysk, przedstawionego na rys.1 lub rys.2 (układy łożysk bez pierścienia dystansowego)/clearance measured for the bearing system shown in Fig. 1 or Fig. 2 (bearing systems without a distance ring)

Legend:/Legenda:

- d – wewnętrzna średnica nominalna pierścieni wewnętrznych łożyska/ internal nominal diameter of the inner rings of the bearing,
- D – zewnętrzna średnica nominalna pierścieni zewnętrznych łożyska/ outer nominal diameter of the outer rings of the bearing,
- B – szerokość pojedynczego łożyska NJ oraz NJP/ width of a single NJ and NJP bearings,
- r – promień zaokrąglenia pierścieni wewnętrznych i zewnętrznych łożysk NJ oraz NJP/ radius of rounding of inner and outer rings of NJ and NJP bearings.

As it results from the industrial practice, the implementation of such a solution does not make any implementation problems. Therefore, it can be concluded that the use of felt seals is limited only to greases. First of all it serves to prevent pollution and access of other pollutants to the bearing system, i.e.:

- NJ+NJP 120×240×80,
- NJ+NJP130×240×80,
- WJ+WJP 120×240×80,
- WJ+WJP 130×240×80.

During designing and performing a labyrinth sealing, it should be guided by the guidelines included in Table 5.

Correct selection of clearances in the labyrinth sealing is shown in Fig.3. The assembly clearance L_1 , between the axle - box body and the surfaces of the labyrinth ring must be smaller than the longitudinal clearance L_2 in the bearing system NJ + NJP. The same rule concerns the radial clearance. It should be noted here that the labyrinth seal must "reconcile" two conflicting requirements. Too big assembly clearances between the axle - box body and the labyrinth ring guarantee more reliable assembly and make inaccuracies in the execution of constructional elements have small importance. At the same time, with the increase of assembly clearances, the ability to seal the discussed node decreases. With the reduction of assembly clearances, the node's sensitivity to the loss of the sealing function decreases, but the risk of mutual collision due to incorrect assembly increases. It can be concluded that the labyrinth seal is more effective due to its function, provided that the parts and assembly are made with precision. In this case, the sealing plays an important role in terms of operational safety. The sealing, that is leaky and allows the grease to get out, makes the friction work in the working system of bearing system increase. This work causes the increase of the temperature of the bearing system, which may additionally cause the "lubricant degradation" and then makes the larger wear of the bearing elements, which leads to increased radial and lateral clearances.

2.4. Guidelines for the selection of felt seals

In the case when the felt material is intended for sealing in the axle-box node of the Y25 standard bogies, it is extremely important to precisely order the material by the contractor of the axle-box wheelsets or carrying out the repair of the axle-box node. It is paid attention to the fact that PN-82/P-86012 [2] is the only document that can be the basis for the order. This standard was annulled on 15.11.2012 in connection with the validity of PN-EN 1514-1:2001/Ap1 standard [3]. The European standard cannot serve as a basis for ordering of felt seals due to the fact that the information is too general. Therefore, the order should contain:

- precise marking of felt material in accordance with paragraph 2.2 of PN-82/P-86012 standard [2],

Prawidłowy dobór luzów w uszczelnieniu labiryntowym jest przedstawiony na rys.3. Luz montażowy L_1 , pomiędzy korpusem maźnicy i powierzchniami pierścienia labiryntowego musi być mniejszy od luzu wzdłużnego L_2 w układzie łożyska NJ+NJP. Taka sama reguła dotyczy luzu promieniowego. Należy tutaj zwrócić uwagę na to, że uszczelnienie labiryntowe musi „pogodzić” dwa sprzeczne ze sobą wymagania. Zbyt duże luzy montażowe pomiędzy korpusem maźnicy oraz pierścieniem labiryntowym gwarantują pewniejszy montaż i sprawiają, że niedokładności w wykonaniu elementów konstrukcyjnych nie mają większego znaczenia. Jednocześnie wraz ze zwiększeniem luzów montażowych maleje zdolność do uszczelniania omawianego węzła. Wraz ze zmniejszeniem luzów montażowych maleje wrażliwość węzła na utratę funkcji uszczelnienia, natomiast rośnie zagrożenie wzajemnej kolizji z tytułu nieprawidłowego montażu. Można stąd wyciągnąć wniosek, że uszczelnienie labiryntowe jest skuteczniejsze ze względu na pełnioną funkcję, pod warunkiem precyzji wykonania części oraz montażu. Uszczelnienie w tym wypadku pełni istotną rolę, jeśli chodzi o bezpieczeństwo eksploatacyjne. Uszczelnienie, które jest nieszczelne i umożliwia wydostawanie się smaru na zewnątrz powoduje zwiększenie pracy tarcia w układzie pracy układu łożysk. Praca ta powoduje wzrost temperatury układu łożyskowego, co dodatkowo może przyczynić się do „degradacji środka smarowego”, a następnie do coraz większych zużyć elementów łożysk, co prowadzi do zwiększenia luzów promieniowych oraz poprzecznych.

2.4. Wytyczne do doboru uszczelki filcowej

W przypadku, kiedy materiał filcowy jest przeznaczony na uszczelnienie w węźle maźniczym wózków standardowych wózków Y25 niezwykle ważną sprawą jest precyzyjne zamówienie materiału przez wykonawcę omaźnicowanych zestawów kołowych lub wykonujących naprawę węzła maźniczego. Zwraca się uwagę na fakt, że norma PN-82/P-86012 [2] jest jedynym dokumentem, który może być podstawą do zamówienia. Norma ta została unieważniona w dniu 15.11.2012 w związku z obowiązywaniem normy PN-EN 1514-1:2001/Ap1 [3]. Norma europejska nie może służyć jako podstawa do zamówienia uszczelki filcowej ze względu na fakt zbyt ogólnych informacji. Zamówienie powinno więc zawierać:

- precyzyjne oznaczenie materiału filcowego zgodnie z p.2.2 normy PN-82/P-86012 [2]
- określenie maksymalnej wilgotności
- określenia stopnia jakości 1, jako wykonania dopuszczającego mniejszą ilość wad a zatem gwarantującego większą trwałość uszczelnienia
- prawidłowymi warunkami transportowymi, chroniącymi przed uszkodzeniami.

- determination of the maximum humidity,
- determining the quality level 1, as a performance allowing fewer defects and thus guaranteeing a bigger durability of sealing,

Additionally special attention should be paid on proper storage of felt materials at both the producer's and the client's; the rooms should be clean and protect the material for seals against excessive moisture and weather conditions.

3. CONCLUSIONS

Felt sealing in axle-box nodes of standard bogies plays a very responsible role, which, inter alia, the operational safety depends on. This solution is a standard solution ORE/ERRI/UIC. However, it should be taken into account that the standardization of bogies began in the sixties and ended at the beginning of the nineties of the last century. Since then, the constructors involved in the field of sealing have made the gigantic progress. The offered seals are definitely safer, more reliable and show longer durability. The labyrinth seal is definitely safer, although it requires high precision of performance. It is also necessary to take into account the availability of rolling stock as an important criterion for the market position of rail freight transport. Another challenge is trans-border traffic, which is associated with the interoperability of rolling stock.

The transition to a different type of sealing, e.g. a labyrinth sealing, is associated with a small investment expenditures, in relation to the benefits associated with the reliability of the discussed constructional node. In connection with the increasing requirements of loads transport, such as the time of delivery of a load to the customer, the reliability and availability of a freight wagon becomes decisive. According to the development trends of rolling stock, including the freight wagons, the aim is to ensure that the constructional nodes are maintenance-free and have high durability.

The felt seals used in the axle-box node is outdated from today's state of the art. Modernization of this axle-box node should be considered. This is connected with the additional costs, but such modernization makes the reliability of axle-box node increase.

The correct quality of felt seal is difficult to guarantee even if the legal status is taken into account. The national standard PN-82/P-86012 [2] is officially withdrawn. Due to the lack of other documents, it is still used in industry. In the case of used felt seals, a safer methodology is development of the technical conditions of producing and acceptance, which take into account the new production technologies and it should be noted that the technology of producing according to PN-82/P-86012 [2] and the acceptance tests of felt according to PN-74/P-06708 [6] reflect the state of the art from the second half of the seventies and eighties of the last century. At present, the producing and test

Poza tym należy zwrócić uwagę na właściwe przechowywanie materiałów filcowych zarówno u producenta jak i klienta; pomieszczenia powinny być czyste i chroniące materiał na uszczelki przed nadmiernym zawilgoceniem i warunkami atmosferycznymi.

3. WNIOSKI

Uszczelnienie filcowe w węzłach maźniczych wózków standardowych pełni bardzo odpowiedzialną rolę, od niego zależy między innymi bezpieczeństwo eksploatacyjne. Rozwiązanie to jest rozwiązaniem standardowym ORE/ERRI/UIC. Należy jednak wziąć pod uwagę, że standaryzacja wózków zaczęła się w latach sześćdziesiątych i skończyła z początkiem lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Od tego czasu konstruktorzy zajmujący się dziedziną uszczelnień dokonali gigantycznego postępu. Oferowane uszczelnienia są zdecydowanie bardziej bezpieczne, niezawodne i wykazują większą trwałość. Zdecydowanie bezpieczniejsze jest uszczelnienie labiryntowe, choć wymaga dużej precyzji wykonania. Należy również wziąć pod uwagę dyspozycyjność taboru kolejowego, jako ważne kryterium dla pozycji rynkowej transportu kolejowego ładunków. Kolejnym wyzwaniem jest ruch transgraniczny, który wiąże się z interoperacyjnością taboru kolejowego.

Przejście na inny rodzaj uszczelnienia np. uszczelnienie labiryntowe jest związane z niewielkimi nakładami inwestycyjnymi, w stosunku do korzyści związanych z niezawodnością omawianego węzła konstrukcyjnego. W związku ze zwiększającymi się wymaganiami przewozowymi ładunków jak np. czas dostarczenia ładunku do klienta niezawodność i dyspozycyjność wagonu towarowego nabiera decydującego znaczenia. Zgodnie z tendencjami rozwojowymi taboru kolejowego, w tym wagonów towarowych dąży się do tego, aby węzły konstrukcyjne były bezobsługowe oraz wykazywały dużą trwałość.

Uszczelnienie filcowe, stosowane w układzie węzła maźniczego jest przestarzałe z punktu widzenia dzisiejszego stanu techniki. Należy rozważyć modernizację tego węzła maźniczego. Wiąże się to z dodatkowymi kosztami, ale modernizacja taka przyczynia się do zwiększenia niezawodności węzła maźniczego.

Prawidłową jakość uszczelnienia filcowego trudno jest zagwarantować choćby biorąc pod uwagę stan prawny. Norma krajowa PN-82/P-86012 [2] jest oficjalnie wycofana. Z braku innych dokumentów jest ona dalej stosowana w przemyśle. W przypadku stosowanych uszczelnień filcowych, bezpieczniejszą metodyką postępowania jest opracowanie warunków technicznych wykonania i odbioru, które uwzględniają nowe technologie produkcji. Należy zwrócić uwagę, że technologia wykonania wg PN-82/P-86012 [2] oraz badania odbiorcze filcu wg PN-74/P-06708 [6] odzwierciedlają stan techniki z drugiej połowy lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego

techniques have achieved the significant progress. A serious problem is the use of felt seals in the electric drive systems of diesel and electric locomotives, where the sealing task refers to another medium such as oil. This issue will be the subject of a separate publication.

wieku. Obecnie techniki wytwarzania oraz badawcze osiągnęły znaczny postęp. Poważnym problemem jest stosowanie uszczelnień filcowych w elektrycznych układach napędowych lokomotyw spalinowych i elektrycznych, gdzie zadanie uszczelniające odnosi się do innego medium jakim jest olej. Zagadnienie to będzie przedmiotem oddzielnej publikacji.

4. BIBLIOGRAPHY / LITERATURA

- [1] Sobaś M.: *Zawieszania i układy biegowe wagonów towarowych*. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Poznań 2014
- [2] PN-82/P-86012. *Filce bite. Filce techniczne filtracyjne uszczelkowe i podkładowe*
- [3] PN-EN 1514-1:2001/Apl. *Kolnierze i ich połączenia. Wymiary uszczelki do kolnierzy. Część 1: Uszczelki niemetalowe płaskie z wkładkami lub bez wkładek*
- [4] www.nskeurope.com *Technical Insight. Publikacja NSK Europe.*
- [5] PN-76/P-06731. *Filce. Błędy*
- [6] PN-74/P-06708. *Filce bite. Badania odbiorcze*
- [7] PN-81/P-04610. *Metody badań wyrobów włókienniczych. Płaskie wyroby włókiennicze.*
- [8] PN-75/P-04612. *Metody badań wyrobów włókienniczych. Pomiar grubości*
- [9] PN-71/P-04613. *Metody badań wyrobów włókienniczych. Tkaniny. Wyznaczanie masy liniowej i powierzchniowej*
- [10] PN-71/P-04686. *Metody badań wyrobów włókienniczych. Filce bite. Wyznaczanie naprężenia zrywającego i wydłużenia*
- [11] PN-75/P-04691. *Metody badań wyrobów włókienniczych. Filce bite. Wyznaczanie zawartości tłuszczu*
- [12] PN-74/P-04692. *Metody badań wyrobów włókienniczych. Filce bite. Wyznaczanie zawartości zanieczyszczeń roślinnych*
- [13] PN-75/P-04689. *Metody badań wyrobów włókienniczych. Filce bite. Wyznaczanie zawartości popiołu.*