

dr inż. Tomasz Gajda¹⁾
ORCID: 0000-0002-8216-8565

Analysis of the causes of failure modular expansion joints

Analiza przyczyn awarii modułowych urządzeń dylatacyjnych

DOI: 10.15199/33.2025.10.08

Abstract: The article analyzed the most common causes of failures of modular expansion joints related to their improper installation. Discusses the consequences of mistakes made during the installation of expansion joints, including mistakes related to laying asphalt pavement in the expansion joint area. Also presents the characteristics of the types of modular expansion joints used on the domestic market and the essential characteristics in relation to performance properties.

Keywords: modular expansion joint; bridge deck; expansion joint gap; displacement compensation.

Streszczenie: W artykule przeanalizowano najczęstsze przyczyny awarii modułowych urządzeń dylatacyjnych wynikających z ich niewłaściwego montażu. Omówiono konsekwencje popełnianych błędów podczas montażu urządzeń dylatacyjnych, w tym błędów związanych z układaniem nawierzchni asfaltowej w strefie urządzenia dylatacyjnego. Zaprezentowano charakterystyki typów modułowych urządzeń dylatacyjnych stosowanych na rynku krajowym oraz zasadnicze charakterystyki w odniesieniu do właściwości użytkowych.

Słowa kluczowe: modułowe urządzenie dylatacyjne; płyta pomostu; szczelina dylatacyjna; nawierzchnia mostowa; kompensacja przemieszczeń.

Modular expansion joints are the largest group of expansion joints used on bridge structures in Poland. Their main advantages include: the possibility of installation in various types of bridge structures regardless of their span and in road bridge structures for all traffic load categories; moderate maintenance requirements and high durability. According to [1], the minimum expected service life of expansion joints, including modular ones, should be 20 years. Recently, there have been more and more reports of failures of modular expansion joints, which have been observed after only a few years of operation.

This article presents the most common causes of failure of modular expansion joints due to improper installation. Data collected by the Road and Bridge Research Institute shows that over 80% of failures of these devices are caused by errors made during their installation, including during the construction of pavement layers in the expansion joint area.

Characteristics of modular expansion joints

There are two types of modular expansion joints: nosing (single-module) and modular (multi-module). A standard nosing expansion joint (Figure 1) consists of:

- two edges profiles anchored to the edges of the bridge structure;
- one elastomeric sealing profile;
- elements anchoring the expansion joint in the bridge structure.

The main elements of standard modular expansion joints are:

- two edges profiles anchored at the edges of the bridge structure;

Modułowe urządzenia dylatacyjne są najliczniejszą grupą urządzeń dylatacyjnych stosowanych na obiektach mostowych w Polsce. Ich główne zalety to m.in.: możliwość montażu w różnych typach obiektów mostowych bez względu na ich rozpiętość oraz w drogowych obiektach mostowych w przypadku wszystkich kategorii obciążenia ruchem; umiarkowane wymagania dotyczące utrzymania oraz duża trwałość. Zgodnie z [1] minimalny przewidywany okres użytkowania urządzeń dylatacyjnych, w tym modułowych, powinien wynosić 20 lat. Ostatnio odnotowano coraz więcej informacji o awariach modułowych urządzeń dylatacyjnych, które zostały stwierdzone już po kilku latach ich eksploatacji.

W artykule przedstawiono najczęstsze przyczyny awarii modułowych urządzeń dylatacyjnych spowodowanych ich niewłaściwym montażem. Z danych zgromadzonych przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów wynika, że ponad 80% awarii tych urządzeń spowodowanych jest błędami popełnionymi podczas ich montażu, w tym podczas wykonywania warstw nawierzchniowych w strefie urządzenia dylatacyjnego.

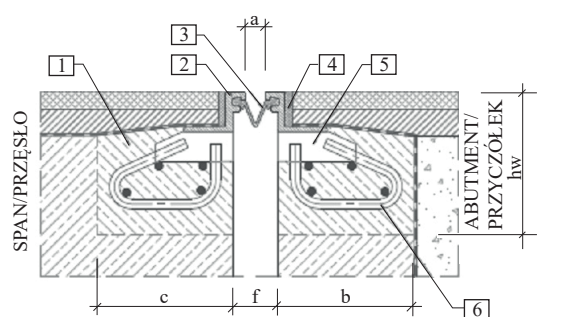
Charakterystyka modułowych urządzeń dylatacyjnych

Wyróżnia się dwa typy modułowych urządzeń dylatacyjnych: jednomodułowe oraz wielomodułowe. **Standardowe jednomodułowe urządzenie dylatacyjne** (rysunek 1) składa się z:

- dwóch skrajnych profili zakotwionych na krawędziach konstrukcji mostowej;
- jednego elastomerowego profilu uszczelniającego;
- elementów kotwiących urządzenie dylatacyjne w konstrukcji mostowej.

Natomiast główne elementy **standardowych wielomodułowych urządzeń dylatacyjnych** to:

¹⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów;
tomasz.gajda@ibidim.edu.pl



- 1 expansion joint niche/wnęką dylatacyjną
 2 steel expansion joint profile/stalowy profil dylatacyjny
 3 elastomer insert (sealing profile)/wkładka elastomerowa (profil uszczelniający)
 4 sealing compound/masa uszczelniająca
 5 plate 15 mm/blacha 15 mm
 6 round bars $\varnothing 20$ /kotwa $\varnothing 20$
- a – spacing of steel edges profiles/rozstaw profili stalowych
 b – width of the niche on the abutment side/szerokość wnęki od strony przyczółka
 c – width of the niche on the span side/szerokość wnęki od strony przęsła
 f – width of expansion joint gap/szerokość szczeliny dylatacyjnej
 hw – depth of expansion joint niche/głębokość wnęki dylatacyjnej

Fig. 1. Schematic diagram of a nosing expansion joint – cross-section through the carriageway Fig. authors drawing according to [2]
 Rys. 1. Schemat jednomodułowego urządzenia dylatacyjnego – przekrój przez jezdnię Rys. autor wg [2]

- at least one intermediate profile supported on traverse mechanisms or pantograph mechanisms;
- elastomeric sealing profiles;
- elements anchoring the expansion joint device in the bridge structure.

Figures 2 and 3 show standard modular expansion joints with a pantograph mechanism and a traverse mechanism. Pantograph mechanisms and traverse mechanism are used alternately.

Nosing and modular expansion joints can be additionally equipped with noise reduction plates in the case of road bridge or a plate protecting against the pressing in of crushed stone in the case of devices intended for use in bridge structures with a track or tram structure or possibly a protective plate in the case of structures intended exclusively for pedestrian and bicycle traffic.

The edge and intermediate profiles used in modular expansion joints are made:

- of non-alloy steel (most commonly S355J2 steel according to [3]) or stainless steel (most commonly 1.4301 or 1.4571 steel according to [4]);
- as hybrid or composite profiles (nomenclature depending on the manufacturer), in which the upper part of the profile (lock) is made of stainless steel (most often steel grade 1.4301 or 1.4571 according to [4]), and the lower part is made of non-alloy steel (most often steel grade S355J2 according to [3]);
- as sandwich profiles consisting of two main elements: a corpus in the form of a non-alloy steel edge profile (steel grade S355J2 according to [3]) and a profiled cover in the form of a stainless steel section (steel grade 1.4571 according to [4]).

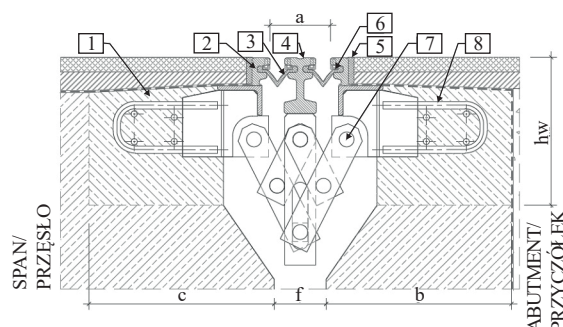
Nosing expansion joints can be anchored to reinforced concrete, prestressed and composite structures using the following anchoring elements:

- dwa skrajne profile zakotwione na krawędziach konstrukcji mostowej;
- co najmniej jeden profil pośredni oparty na belkach trawersowych lub na mechanizmach nożycowych;
- elastomerowe profile uszczelniające;
- elementy kotwiące urządzenie dylatacyjne w konstrukcji mostowej.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono standardowe wielomodułowe urządzenia dylatacyjne z mechanizmem nożycowym i z mechanizmem trawersowym. Mechanizmy nożycowe i belki trawersowe są stosowane naprzemiennie. Jednomodułowe i wielomodułowe urządzenia dylatacyjne mogą być dodatkowo wyposażone w nakładki wyciszające w przypadku drogowych obiektów mostowych lub płytę zabezpieczającą przed wciskaniem tłuczni w przypadku urządzeń przeznaczonych do stosowania w obiektach mostowych z nawierzchnią kolejową lub tramwajową ewentualnie płytę zabezpieczającą w przypadku obiektów przeznaczonych wyłącznie do ruchu pieszego oraz rowerowego.

Skrajne i pośrednie profile stosowane w urządzeniach modułowych wykonane są:

- ze stali niestopowej (najczęściej stosowana stal gatunku S355J2 wg [3]) lub stali nierdzewnej (najczęściej stosowana stal gatunku 1.4301 lub 1.4571 wg [4]);
- jako profile hybrydowe lub zespolone (nazewnictwo w zależności od producenta), w przypadku których część górna profilu (zamek) jest ze stali nierdzewnej (najczęściej stal gatunku 1.4301 lub 1.4571 wg [4]), a część dolna ze stali niestopowej (najczęściej stal gatunku S355J2 wg [3]);
- jako profile sandwichowe złożone z dwóch głównych elementów: trzonu w postaci profilu skrajnego ze stali niestopowej



- 1 expansion joint niche/wnęką dylatacyjną
 2 steel edge expansion joint profile/stalowy profil dylatacyjny skrajny
 3 elastomer insert (sealing profile)/wkładka elastomerowa (profil uszczelniający)
 4 steel intermediate expansion joint profile/stalowy profil dylatacyjny pośredni
 5 sealing compound/masa uszczelniająca
 6 pressure board*/listwa dociskowa*
 *) depending on the manufacturer/w zależności od producenta
 7 pantograph mechanism/mechanizm nożycowy
 8 round bars $\varnothing 20$ /kotwa $\varnothing 20$

- a – spacing of steel profiles/rozstaw profili stalowych
 b – width of the niche on the abutment side/szerokość wnęki od strony przyczółka
 c – width of the niche on the span side/szerokość wnęki od strony przęsła
 f – width of expansion joint gap/szerokość szczeliny dylatacyjnej
 hw – depth of expansion joint niche/głębokość wnęki dylatacyjnej

Fig. 2. Schematic diagram of a modular expansion joint with a pantograph mechanism – cross-section through the carriageway Fig. author's drawing according to [2]

Rys. 2. Schemat wielomodułowego urządzenia dylatacyjnego z mechanizmem nożycowym – przekrój przez jezdnię Rys. autor wg [2]

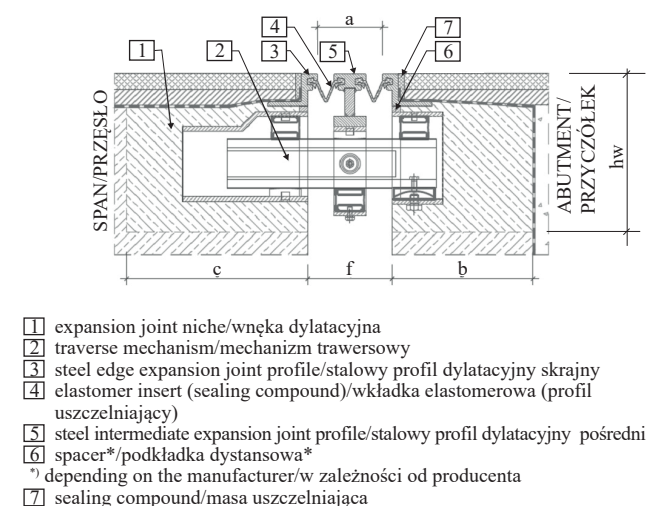


Fig. 3. Schematic diagram of a modular expansion joint with a traverse mechanism – cross-section through the carriageway

Fig. author's drawing according to [2]

Rys. 3. Schemat wielomodułowego urządzenia dylatacyjnego z mechanizmem trawersowym – przekrój przez jezdnię *Rys. autor wg [2]*

- standard elements, consisting of steel anchors in the form of round bars $\varnothing 20$ mm and gusset plates with a thickness of 15 mm (most often made of S235JR according to [3]);
- SD Nelson head pins with a diameter of at least $\varnothing 19$ mm according to [5] PN-EN ISO 13918:2018-03;
- bonded steel anchors, for which a National or European Technical Assessment IBDiM should be issued;
- by welding or with bolts in the case of steel structures.

Modular expansion joints, on the other hand, are attached to composite structures and reinforced concrete structures using anchors embedded in recesses left in the structures, and in the case of steel structures, by welding or bolting with tension bolts.

The permissible range of displacement compensation (nominal displacement of the expansion joint edges) by nosing and modular expansion joints, according to IBDiM guidelines, is presented in Table 1. The basic characteristics determined in order to establish the performance of nosing and modular expansion joints, required in the IBDiM National Technical Assessments, are presented in Table 2.

Determination of the causes of failure of modular expansion joints

Correct installation of an expansion joint is the main factor affecting the durability of the device and safety of use, as well as the durability of the bridge structure [13]. It should ensure [14]:

- uninterrupted passage of motor vehicles through the expansion joint after installation;
- tightness of the connection between the expansion joint and the surface and insulation;

(stal gatunku S355J2 wg [3]) i nakładki profilowanej w postaci kształtownika ze stali nierdzewnej (stal gatunku 1.4571 wg [4]).

Jednomodułowe urządzenia dylatacyjne mogą być kotwione do konstrukcji: żelbetowych, sprężonych i zespolonych za pomocą następujących elementów kotwiących:

- standardowych, składających się ze stalowych kotew w postaci prętów okrągłych $\varnothing 20$ mm i blach węzłowych o grubości 15 mm (najczęściej ze stali S235JR wg [3]);
- kołków z łbem SD typu **Nelsona** o średnicy co najmniej $\varnothing 19$ mm wg [5] PN-EN ISO 13918:2018-03;
- stalowych kotew wklejanych, na które powinna być wydana Krajowa lub Europejska Ocena Techniczna IBDiM;
- metodą spawania lub za pomocą śrub w przypadku konstrukcji stalowych.

Z kolei urządzenia wielomodułowe mocuje się do konstrukcji zespolonych i żelbetowych za pomocą zakotwień zabetonowywanych we wnękach pozostawionych w konstrukcjach, a w przypadku konstrukcji stalowych metodą spawania lub skręcania śrubami sprężającymi.

Dopuszczalny zakres kompensacji przemieszczeń (nominalnych przemieszczeń krawędzi szczeliny dylatacyjnej) przez jedno- i wielomodułowe urządzenia dylatacyjne, wg wytycznych IBDiM, przedstawiono w tabeli 1. Zasadnicze charakterystyki określone w celu ustalenia właściwości użytkowych jednomodułowych i wielomodułowych urządzeń dylatacyjnych, wymagane w Krajowych Ocenach Technicznych IBDiM, przedstawiono w tabeli 2.

Table 1. Permissible range of displacement compensation (nominal displacements of the expansion joint edges) by nosing expansion joints and modular expansion joints

Tabela 1. Dopuszczalny zakres kompensacji przemieszczeń (nominalnych przemieszczeń krawędzi szczeliny dylatacyjnej) przez jednomodułowe i wielomodułowe urządzenia dylatacyjne

Type of expansion joint / Typ urządzenia dylatacyjnego	Displacement compensation (nominal displacements) [mm]/ Kompensacja przemieszczeń (przemieszczenia nominalne) [mm]
Nosing expansion joint/ Urządzenie dylatacyjne jednomodułowe	
– standard/standardowe	80 (± 40)
– with noise reduction plates/z nakładkami wyciszającymi	100 (± 50)
– with plate protecting/z płytą zabezpieczającą	150 (± 75) ^{*)}
Modular expansion joint/ Urządzenie dylatacyjne wielomodułowe	
– standard/standardowe	$n^{**}) \times 80$ (± 40)
– with noise reduction plates/z nakładkami wyciszającymi	$n^{**}) \times 100$ (± 50)
– with plate protecting/z płytą zabezpieczającą	$n^{**}) \times 150$ (± 75) ^{*)}

^{*)} In the case of expansion joints with a plate protecting against ballast compaction, intended for use in bridge structures with track or tram structure, and with a plate protecting in structures intended exclusively for pedestrian and bicycle traffic/W przypadku urządzeń dylatacyjnych z płytą zabezpieczającą przed wciskaniem tłucznia, przeznaczonych do stosowania w obiektach mostowych z nawierzchnią kolejową lub tramwajową oraz z płytą zabezpieczającą w obiektach przeznaczonych wyłącznie do ruchu pieszego i ruchu rowerowego

^{**) n} – number of modules/n – liczba modułów

Table 2. Essential characteristics determined to determine the performance properties of nosing expansion joints and modular expansion joints

Tabela 2. Zasadnicze charakterystyki określone w celu ustalenia właściwości użytkowych jednomodułowych i wielomodułowych urządzeń dylatacyjnych

Essential characteristics of the construction product for the intended use or uses/ Zasadnicze charakterystyki wyrobu budowlanego dla zamierzonego zastosowania lub zastosowań	Performance properties expressed in levels, classes or descriptively/ Właściwości użytkowe wyrażone w poziomach, klasach lub w sposób opisowy	Testing and calculation method/ Metoda badań i obliczeń
Testing the resistance of noise reduction plates in nosing expansion joints to repeated dynamic loads/ Badanie odporności zamocowania nakładek wyciszających w jednomodułowym urządzeniu dylatacyjnym na powtarzalne obciążenia dynamiczne	complies with/spelnia	IBDiM Test Procedure PB/ TM-1/14 [6]/ procedura IBDiM nr PB/TM- 1/14 [6]
Testing the resistance of modular expansion joint structures to repeated dynamic loads/ Badanie odporności konstrukcji wielomodułowego urządzenia dylatacyjnego na powtarzalne obciążenia dynamiczne	complies with/spelnia	IBDiM Test Procedure PB- TM-07 [7]/ procedura IBDiM nr PB- TM-07 [7]
Dimensional tolerances*)/ Tolerancje wymiarowe*)	class C/klasa C	PN-EN ISO 13920 [8]
Inspection of welded joints/ Sprawdzenie połączeń spawanych	level C/poziom C	PN-EN ISO 5817 [9]
Thickness of anti-corrosion coating on steel surfaces** not in contact with concrete, required for corrosion class C5 according to PN-EN ISO 12944-5:2020-03 [10]: – minimum [μm] – average [μm] Grubość powłoki antykorozyjnej, na powierzchniach stalowych**) nie stykających się z betonem, wymaganej odnośnie do klasy korozyjności C5 wg PN-EN ISO 12944-5:2020-03 [10]: – minimalna [μm] – średnia [μm]	≥ 200 ≥ 260	PN-EN ISO 2808 [11]

*) The spacing between anchoring elements should not exceed 250 mm /
Rozstaw elementów kotwiących powinien być nie większy niż 250 mm

**) Before applying the anti-corrosion coating, steel surfaces should be cleaned to a degree of cleanliness of Sa 2½ according to PN-EN ISO 8501-1:2008 [12]/

Powierzchnie stalowe przed nałożeniem powłoki antykorozyjnej należy oczyścić do stopnia czystości Sa 2½ wg PN-EN ISO 8501-1:2008 [12]

- strength and durability of the connection between the expansion joint and the bridge structure;
- uninterrupted and optimal transfer of bridge edge movements by the expansion joint after installation (preliminary adjustment of the expansion joint opening according to the temperature of the structure at the time of installation).

One of the most common errors affecting the failure of expansion joints is the too low or too high positioning of the wearing course of the pavement in relation to the upper surface of the expansion joint, i.e. the edge profiles or noise reduction plates installed on the expansion profiles. According to [14], ensuring uninterrupted passage of motor vehicles through the expansion joint requires that the upper surface of the device expansion device over which the passage takes place is built exactly into the plane of the road grade on the bridge structure. In order to meet this requirement, it is necessary to precisely install the expansion joint device vertically and to accurately lay and compact the pavement.

The vertical alignment error of the expansion joint in relation to the designed road grade should not exceed ± 2 mm. The wearing course of the pavement made of asphalt mixture should be laid above the modular expansion joint at a height

Przyczyny awarii modułowych urządzeń dylatacyjnych

Poprawny montaż urządzenia dylatacyjnego jest głównym czynnikiem mającym wpływ na trwałość urządzenia i bezpieczeństwo użytkowania, a także na trwałość obiektu mostowego [13]. Powinien on zapewnić [14]:

- niezakłócony przejazd pojazdów mechanicznych przez urządzenie dylatacyjne, po jego wbudowaniu;
- szczelność połączenia urządzenia dylatacyjnego z nawierzchnią i izolacją;
- wytrzymałość i trwałość połączenia urządzenia dylatacyjnego z konstrukcją obiektu mostowego;
- niezakłócone i optymalne przemieszczanie krawędzi obiektu mostowego przez urządzenie dylatacyjne po zakończeniu montażu (wstępne ustawienie rozwarcia urządzenia dylatacyjnego stosownie do temperatury konstrukcji w czasie jego montażu).

Jednym z najczęstszych błędów mających wpływ na awarię urządzeń dylatacyjnych jest **zbyt niskie lub zbyt wysokie ułożenie warstwy ścieralnej nawierzchni** względem górnej powierzchni urządzenia dylatacyjnego, tj. skrajnych profili dylatacyjnych lub nakładek wyciszających zamontowanych na profilach

of 0÷3 mm. The resulting excess can be quickly levelled, partly by compacting the pavement under the influence of vehicle traffic, and partly by natural abrasion. The correct height setting of the expansion joint and the correct construction of the pavement in its zone have a decisive influence on the durability of the device and the amount of noise generated [15]. Incorrect height positioning of the asphalt mixture wearing course has particularly significant consequences in the case of modular expansion joints equipped with noise-reducing pads, especially when the wearing course is positioned below the upper surface of the expansion joint (photos 1 and 2).

In this case, the wearing course of the asphalt pavement was built almost 5 mm below the upper surface of the noise reduction plates. As a result, the wheels of passing motor vehicles hitting the side surface (transverse edge) of the noise reduction plates causing additional shear stresses in the cross-section of the bolt, which leads to deformation of its cross-section and, as a result, the fastening of the noise reduction plates to the expansion joint profile becomes “loose” in the first phase and completely damaged in the second phase. The most commonly used method is to attach the silencer pads to the expansion joints using M12 bolts with a mechanical property class of 10.9 [16]. The “loosening” of the noise reduction plates on the approach side leads to a break in the “passage plane” between the pads attached to



Photo 1. View of the nosing expansion joint with noise reduction plates with the pavement made too low

Fot. 1. Jednomodułowe urządzenie dylatacyjne z nakładkami wyciszającymi ze zbyt nisko ułożoną nawierzchnią



Photo 2. Height difference of 4.5 mm between the pavement and the upper surface of the noise reduction plates

Fot. 2. Różnica wysokości 4,5 mm między nawierzchnią a górną powierzchnią nakładek wyciszających

dylatacyjnych. Zgodnie z zapisami [14] zapewnienie niezakłóconego przejazdu pojazdów mechanicznych przez szczelinę dylatacyjną wymaga, aby górna powierzchnia urządzenia dylatacyjnego, po której odbywa się przejazd, była wbudowana dokładnie w płaszczyźnie niwelety drogi na obiekcie mostowym. W celu spełnienia tego wymagania konieczne jest precyzyjne wykonanie montażu urządzenia dylatacyjnego w pionie oraz dokładne ułożenie i zagęszczenie nawierzchni. Błąd ustawienia urządzenia dylatacyjnego w pionie w stosunku do projektowanej niwelety jezdni nie powinien przekraczać ± 2 mm. Warstwa ścieralna nawierzchni wykonana z mieszanek mineralno-asfaltowych powinna być ułożona powyżej urządzenia dylatacyjnego na wysokość 0÷3 mm. Powstałą nadwyżkę można bardzo szybko zniwelować, częściowo przez dogęszczenie nawierzchni pod wpływem ruchu pojazdów, a częściowo przez naturalne jej ścieranie. Prawidłowe ustawienie wysokościowe urządzenia dylatacyjnego oraz prawidłowe wykonanie nawierzchni w jego strefie mają decydujący wpływ na trwałość urządzenia i wielkość generowanego hałasu [15].

Nieprawidłowe wysokościowe ułożenie warstwy ścieralnej mieszanki MMA ma szczególnie duże konsekwencje w przypadku modułowych urządzeń dylatacyjnych wyposażonych w nakładki wyciszające, szczególnie gdy warstwa ścieralna nawierzchni jest ułożona poniżej górnej powierzchni urządzenia dylatacyjnego (fotografie 1 i 2).

W przedmiotowym przypadku warstwę ścieralną nawierzchni asfaltowej wbudowano prawie 5 mm poniżej górnej powierzchni nakładek wyciszających. W efekcie koła przejeżdżających pojazdów mechanicznych uderzając w boczną powierzchnię (poprzeczną krawędź) nakładek wyciszających, wywołują powstawanie dodatkowych naprężeń ścinających w przekroju śruby, co prowadzi do deformacji jej przekroju i w efekcie mocowanie nakładek wyciszających do profilu dylatacyjnego ulega w pierwszej fazie „poluzowaniu”, a w drugiej całkowitemu uszkodzeniu. Najczęściej nakładki wyciszające są montowane do profili dylatacyjnych za pomocą śrub M12 o klasie właściwości mechanicznych 10.9 [16]. „Poluzowanie” nakładek wyciszających, od strony najazdu, prowadzi do załamania „płaszczyzny przejazdu” między nakładkami zamocowanymi na profilach po obu stronach szczeliny dylatacyjnej.

W wyniku załamania „płaszczyzny przejazdu” koła pojazdów mechanicznych zaczynają uderzać w „zęby” nakładek wyciszających zamontowanych na profilu dylatacyjnym od strony zjazdu, wywołując powstawanie dodatkowych naprężeń ścinających w przekroju śruby, co prowadzi do poluzowania „nakładek wyciszających”. W skrajnych przypadkach trzpienie śrub mogą ulec ścięciu, co skutkuje oderwaniem się nakładki wyciszającej od profilu dylatacyjnego i realnym zagrożeniem bezpieczeństwa użytkownika. Szczególnie niebezpieczne są uderzenia stalowych lemieszów pługów odśnieżających, które mogą prowadzić nawet do „wyrwania” profilu dylatacyjnego z konstrukcji urządzenia dylatacyjnego. Wymiana śrub mocujących nakładki wyciszające lub nawet spawanie nakładek do profili dylatacyjnych (fotografia 2) w opisanym przypadku są rozwiązaniami doraźnymi, nieskutecznymi w dłuższej perspektywie czasowej.

Jedną z częściej stwierdzanych przyczyn awarii modułowych urządzeń dylatacyjnych jest **brak możliwości swobod-**

the profiles on both sides of the expansion joint. As a result of the break in the “passage plane”, the wheels of motor vehicles begin to hit the “teeth” of the noise reduction pads mounted on the expansion joint profile on the exit side, causing additional shear stresses in the bolt cross-section, which leads to the loosening of the “noise reduction plates”. In extreme cases, the bolt shanks may be sheared off, resulting in the silencing pad detaching from the expansion joint profile and posing a real safety hazard. Particularly dangerous are impacts from steel snow plough blades, which can even lead to the expansion joint profile being “ripped out” of the expansion joint structure. Replacing the bolts securing the silencer caps or even welding the caps to the expansion joints (photo 2) are temporary solutions in the case described, which are ineffective in the long term.

One of the most common causes of failure of modular expansion joints is the inability of the control mechanisms in modular expansion joints to operate freely. We distinguish three groups of modular expansion joints with based on the control mechanism used:

- with a pantograph mechanism (Figure 2);
- with a traverse mechanism (Figure 3);
- with a mixed mechanism, i.e. with a traverse mechanism and a pantograph mechanism arranged alternately (Figures 2 and 3).

Depending on the type of expansion joint, the pantograph or traverse mechanism performs two functions: it transfers vertical and horizontal loads and controls the distribution of the total displacement of the expansion joint edge to individual expansion joint modules and the arrangement of steel edge and intermediate profiles at equal distances from each other. Modular expansion joints are internally geometrically variable mechanisms that deform freely under the influence of bridge span edge movements, but at the same time maintain the required stiffness under the influence of loads caused by the passage of motor vehicles. The lack or limitation of the mechanism's ability to deform freely under the influence of bridge span edge movements leads to malfunctioning of the device and, as a result, to damage to the control mechanism components.

The following factors most often contribute to the limitation or lack of free deformation of the mechanism under the influence of bridge span edge movements:

- incorrect dimensions of the expansion joint or recesses for control mechanisms in the span or abutment;
- errors during the concreting of the expansion joint;
- incorrect positioning of the expansion joint in the plan;
- improper release of the assembly locks;
- failure to adjust the spacing of the profiles in the expansion joint device in relation to the temperature at the time of installation.

The expansion joint in a bridge structure is designed to compensate for structural deformations caused, among other things, by temperature changes, moving loads or rheological processes of the structure's components. The dimensions of the expansion joint should be selected to ensure that the deformations of the structural elements can be compensated for and to suit the type of expansion joint to be installed. When designing the dimensions of the expansion joint and recesses in the span or abutment, the designer should take into account the guidelines of the expansion

nej pracy mechanizmów sterujących w urządzeniach wielomodułowych. Wyróżniamy trzy grupy wielomodułowych urządzeń dylatacyjnych ze względu na zastosowany mechanizm sterujący:

- z mechanizmem nożycowym (rysunek 2);
- z mechanizmem trawersowym (rysunek 3);
- z mechanizmem mieszanym, tj. z mechanizmem trawersowym i mechanizmem nożycowym ustawionymi naprzemiennie (rysunki 2 i 3).

W zależności od typu urządzenia dylatacyjnego mechanizm nożycowy lub trawersowy pełni dwie funkcje: przenosi obciążenia użytkowe pionowe i poziome oraz steruje podziałem całkowitego przemieszczenia krawędzi szczeliny dylatacyjnej na poszczególne moduły urządzenia dylatacyjnego i rozmieszczeniem stalowych profili skrajnych oraz pośrednich w równej odległości od siebie. Wielomodułowe urządzenia dylatacyjne stanowią mechanizmy wewnątrznie geometrycznie zmienne, które odkształcają się swobodnie pod wpływem przemieszczeń krawędzi przęsła mostowego, ale zachowują jednocześnie wymaganą sztywność pod wpływem obciążeń wywołanych przejazdem pojazdów mechanicznych. Brak lub ograniczenie możliwości swobodnego odkształcenia się mechanizmu pod wpływem przemieszczeń krawędzi przęsła mostowego prowadzi do nieprawidłowej pracy urządzenia, a w efekcie do uszkodzenia elementów mechanizmów sterujących.

Wpływ na ograniczenie lub brak możliwości swobodnego odkształcenia się mechanizmu, pod wpływem przemieszczeń krawędzi przęsła mostowego, mają najczęściej następujące czynniki:

- niewłaściwe wymiary szczeliny dylatacyjnej lub wnęk na mechanizmy sterujące w przęśle lub przyczółku;
- błędy podczas betonowania urządzenia dylatacyjnego;
- niewłaściwe ustawienie urządzenia dylatacyjnego w planie;
- niewłaściwe zwolnienie blokad montażowych;
- brak regulacji ustawienia rozstawienia profili w urządzeniu dylatacyjnym w odniesieniu do temperatury panującej w chwili montażu.

Szczelina dylatacyjna w obiekcie mostowym ma umożliwić kompensowanie odkształceń elementów konstrukcyjnych wywołanych m.in. zmianą temperatury, działaniem obciążeń ruchomych czy procesami reologicznymi elementów konstrukcyjnych obiektu. Wymiary szczeliny dylatacyjnej powinny być dobrane pod kątem zapewnienia możliwości kompensowania występujących odkształceń elementów konstrukcyjnych oraz typu urządzenia dylatacyjnego przewidzianego do wbudowania. Przy projektowaniu wymiarów szczeliny dylatacyjnej i wnęk w przęśle lub w przyczółku projektant powinien uwzględnić wytyczne producenta urządzenia dylatacyjnego. Coraz częściej projektanci obiektów mostowych nie uwzględniają faktu, że urządzenia sterujące wielomodułowych urządzeń dylatacyjnych mają dość duże wymiary i potem trudno je zmieścić w szczelinie dylatacyjnej konstrukcji mostowej. Konsekwencje wbudowania dwumodułowego urządzenia dylatacyjnego w szczelinę dylatacyjną o niedostatecznej szerokości oraz w zbyt małe wnęki dylatacyjne przedstawiono na fotografii 3.

joint manufacturer. Increasingly, bridge designers fail to take into account the fact that the control devices of multi-module expansion joints are quite large and therefore difficult to fit into the expansion joint of a bridge structure. The consequences of installing a two-module expansion joint in an expansion gap of insufficient width and in expansion cavities that are too small are shown in photo 3.

The construction of niches that are too small caused the elements of the pantograph mechanism to rest against their surface and prevented them from operating freely. In order for the pantograph mechanism to fit in an expansion joint gap that is too small and in a niche, it rotated by an angle of more than 45° . As a result, the elastomeric expansion joint profile was mechanically damaged due to the uneven operation of the expansion joint profiles.

Errors during concreting are one of the causes of expansion joint failures. Modular expansion joints are often optionally equipped with formwork sheets less than 1 mm thick. It is very important that they are properly profiled and installed in the expansion joint area. During concreting, the concrete mix often deforms or damages the formwork sheets (tears the joints) and then flows into the expansion joint. After hardening, it blocks the possibility of changing the position (opening) of the expansion joint profiles associated with the expansion joint compensating for the deformation of the load-bearing structure. Concrete remaining in the expansion joint limits or even blocks the free movement of the control mechanism components, which has a significant impact on durability and, as a consequence, leads to damage to the control mechanisms. Photographs 4 and 5 show the effects of errors made during concreting.

Another consequence of improper concreting is cracks and discontinuities in the hardened, uncompacted concrete in the anchorage zone, which are a potential cause of moisture or leaks in the expansion joint zone. In extreme cases, improperly installed concrete mix in the anchorage zone results in loss of anchorage stability. The horizontal forces generated by the wheels of motor vehicles and the horizontal impact of snow plough blades can cause the loss of connection between the anchoring of the end expansion joints and the concrete substrate, which in turn leads to the steel anchoring elements becoming detached from the concrete. As a result, the edge profiles become susceptible to rotation under the influence of horizontal forces, which increases the impact on the edge of the asphalt pavement and, consequently, leads to cracking of the pavement in the expansion joint area.

The most common consequence of incorrect positioning of the expansion joint in the plan is excessive spacing between the expansion profiles, which causes increased dynamic impact under the influence of loads caused by the passage of motor vehicles and has a direct impact on the durability of the modular expansion joint, in particular the control mechanisms, and generates noise. As a result of incorrect positioning of the expansion joint in the plan, the control mechanisms are too close to the surface of the recesses or even rest against them and, when the position changes, they become blocked against the edge of the expansion joint (photo 6).

Modular expansion joints are standardly equipped with installation locks, which must be released immediately after

Wykonanie zbyt małych wnęk spowodowało, że elementy mechanizmu nożycowego opierały się o ich powierzchnię i nie mogły swobodnie pracować. Aby mechanizm nożycowy zmieścił się w zbyt małej szczelinie dylatacyjnej oraz wnęce, uległ obróceniu o kąt ponad 45° . W efekcie elastomerowy profil dylatacyjny uległ uszkodzeniu mechanicznemu w wyniku nierównomiernej pracy profili dylatacyjnych.



Photo 3. Two-module expansion joint installed in an expansion joint gap of insufficient width and in niches that are too small

Fot. 3. Dwumodułowe urządzenie dylatacyjne wbudowane w szczelinę dylatacyjną o niedostatecznej szerokości oraz w zbyt małe wnęki

Błędy podczas betonowania są jedną z przyczyn mających wpływ na awarie urządzeń dylatacyjnych. Modułowe urządzenia dylatacyjne są często opcjonalnie wyposażane w blachy szalunkowe o grubości poniżej 1 mm. Bardzo ważne jest ich odpowiednie wyprofilowanie i zamontowanie w strefie szczeliny dylatacyjnej. Podczas betonowania mieszanka betonowa często deformuje lub uszkadza blachy szalunkowe (rozrywa połączenia), a następnie wpływa do szczeliny dylatacyjnej. Po stwardnieniu blokuje możliwość zmiany położenia (rozwarcia) profili dylatacyjnych związanych z kompensowaniem przez urządzenie dylatacyjne odkształcenia ustroju nośnego. Zalegający w szczelinie dylatacyjnej beton ogranicza lub wręcz blokuje możliwość swobodnej pracy elementów mechanizmów sterujących, co ma bardzo duży wpływ na trwałość i w konsekwencji prowadzi do uszkodzenia mechanizmów sterujących. Na fotografiach 4 i 5 przedstawiono skutki błędów popełnionych podczas betonowania.

Kolejną konsekwencją niewłaściwego procesu betonowania są raki i nieciągłości w stwardniałym niedogęszczonym



Photo 4. View of the hardened concrete mixture between the profiles of the modular expansion joint

Fot. 4. Widok zwiężanej mieszanki betonowej między profilami modułowego urządzenia dylatacyjnego

permanent bonding to the bridge structure, i.e. 2÷4 hours after concreting the anchors, depending on the concreting conditions. There is often a break of several weeks between the initial installation of the expansion device and its concreting, caused, for example, by weather conditions on the construction site, especially in winter, when sub-zero temperatures do not allow the application of concrete mix. In such cases, between the initial installation and concreting of the expansion joint, it is necessary to ensure that the expansion joint device can operate freely under the influence of bridge span edge movements, taking into account the installation of mounting reinforcements to ensure the smooth operation of the mechanisms and to prevent deformation components of the expansion joint device, e.g. distortion of the expansion profiles. Failure to remove assembly locks and install assembly reinforcements to ensure uniform mechanism operation has a negative impact on the geometry of the device and often results in deformation of the expansion joint components and a change in its height and position in the plan.

The nominal installation temperature for modular expansion joints is 10°C, and the profile spacing is 40 mm for expansion joints without noise reduction plates and 50 mm for expansion joints with noise reduction plates. At other temperatures, the profile spacing should be adjusted to the temperature of the structure. The horizontal positioning error of a modular expan-



Photo 5. View of the hardened concrete mixture filling the expansion joint gap

Fot. 5. Widok stwardniałej mieszanki betonowej wypełniającej szczelinę dylatacyjną

betonie w strefie zakotwień, które są potencjalną przyczyną zawilgocenia lub przecieków w strefie szczeliny dylatacyjnej. W skrajnych przypadkach niewłaściwie wbudowana mieszanka betonowa w strefie zakotwień skutkuje utratą stateczności zakotwienia. Działanie sił poziomych generowanych przez koła pojazdów mechanicznych oraz poziome uderzenia lemieszów pługów odśnieżających mogą spowodować utratę połączenia zakotwienia skrajnych profili dylatacyjnych i betonu podłoża, co w konsekwencji prowadzi do odspajania się elementów stalowych zakotwienia od betonu. W efekcie profile skrajne stają się podatne na obrót pod wpływem działania sił poziomych, co zwiększa oddziaływanie na krawędź nawierzchni asfaltowej, a w konsekwencji prowadzi do spękania nawierzchni w strefie urządzenia dylatacyjnego.

Najczęstszą konsekwencją niewłaściwego ustawienia urządzenia dylatacyjnego w planie jest zbyt duży rozstaw profili dylatacyjnych, co powoduje zwiększone oddziaływania dynamiczne pod wpływem obciążeń wywołanych przejazdem pojazdów mechanicznych i ma bezpośredni wpływ na trwałość modułowego urządzenia dylatacyjnego, w szczególności mechanizmów sterujących, oraz generowany hałas. W wyniku niewłaściwego ustawienia urządzenia dylatacyjnego w planie mechanizmy sterujące znajdują się zbyt blisko powierzchni wnek lub wręcz opierają się o nie i przy zmianie położenia blokują się o krawędź szczeliny dylatacyjnej. (fotografia 6).



Photo 6. Incorrect positioning of the modular expansion joint in the plan

Fot. 6. Niewłaściwe ustawienie urządzenia dylatacyjnego w planie

sion joint at any measuring point should not exceed ± 2 mm in relation to the theoretical setting calculated for the installation temperature [14]. Failure to adjust the spacing of expansion joints may result in:

- increased dynamic effects under the influence of loads caused by the passage of motor vehicles, which has a direct impact on the durability of the expansion joint, in particular the control mechanisms, and the noise generated;
- damage to the pressure board, loosening or displacement of the elastomeric profile (gasket) from the expansion joint profile lock, depending on the shape of the expansion joint profile lock and the type of elastomeric sealing profile used: standard or self-locking, which has a direct impact on the fulfilment of the tightness requirement. In case pressure board is damaged or the sealing profile is loose it is not properly pressed against the walls of the expansion profile recess, allowing water to penetrate into the lock, which in turn leads to leakage and may cause the seal to slip out of the profile lock and cause the expansion joint to fail.

Summary

The article analyses the most common mistakes made during the installation of modular expansion joints, as well as during the construction of pavement layers in the expansion joint area. It should be emphasised that in the case of modular expansion joints, increased noise indicates damage to the control mechanisms. Therefore, installing noise reduction plates to reduce noise without determining the cause of the noise is inappropriate and technically unjustified.

According to national reference documents, the installation of expansion joints should be carried out by the manufacturer or by authorised teams. The as-built documentation for the expansion joint should be prepared on the basis of the construction design of the bridge structure. Unfortunately, more and more often, the installation of modular expansion joints is carried out by the contractor on their own or subcontracted to other companies, thus optimising costs. An additional factor

Urządzenia modułowe są standardowo wyposażone w blokadę montażową, które należy zwolnić natychmiast po trwałym jego zespoleniu z konstrukcją obiektu mostowego, a więc 2÷4 h po zabetonowaniu zakotwień, w zależności od warunków betonowania. Często między wstępnym montażem urządzenia dylatacyjnego a jego betonowaniem występuje kilku- lub kilkunastogodniowa przerwa, spowodowana np. warunkami atmosferycznymi na budowie, szczególnie w okresie zimowym, gdy ujemna temperatura nie pozwala na aplikację mieszanki betonowej. Wówczas między wstępnym montażem a betonowaniem urządzenia dylatacyjnego należy zapewnić możliwość swobodnej pracy urządzenia dylatacyjnego pod wpływem przemieszczeń krawędzi przęseł mostowych, przy uwzględnieniu wykonania wzmocnień montażowych w celu zapewnienia możliwości równomiernej pracy mechanizmów oraz zapobiegnięcia wystąpieniu deformacji elementów urządzenia dylatacyjnego, np. zwichrowań profili dylatacyjnych. Nieusunięcie blokad montażowych i niewykonanie wzmocnień montażowych w celu zapewnienia równomiernej pracy mechanizmów ma negatywny wpływ na geometrię urządzenia i często skutkuje wystąpieniem deformacji elementów urządzenia dylatacyjnego oraz zmianą jego położenia wysokościowego i w planie.

Nominalna temperatura montażu modułowych urządzeń dylatacyjnych wynosi 10°C , a rozstaw profili – 40 mm w przypadku urządzeń dylatacyjnych bez nakładek wyciszających i 50 mm w przypadku urządzeń dylatacyjnych z nakładkami wyciszającymi. W innej temperaturze należy wykonać korektę rozstawu profili, dostosowując go do temperatury konstrukcji. Błąd poziomego ustawienia rozwarcia modułowego urządzenia dylatacyjnego w żadnym punkcie pomiarowym nie powinien przekroczyć wartości ± 2 mm w odniesieniu do ustawienia teoretycznego obliczonego dla temperatury montażu [14]. Brak korekty rozstawu profili dylatacyjnych może skutkować:

- zwiększonymi oddziaływaniami dynamicznymi pod wpływem obciążeń wywołanych przejazdem pojazdów mechanicznych, co ma bezpośredni wpływ na trwałość urządzenia dylatacyjnego, w szczególności mechanizmów sterujących, oraz generowany hałas;
- uszkodzeniem listw dociskowych, poluzowaniem lub wysunięciem profilu elastomerowego (uszczelki) z zamka profilu dylatacyjnego, w zależności od kształtu zamka profilu dylatacyjnego i typu zastosowanego elastomerowego profilu uszczelniającego: standardowego lub samoklinującego, co ma bezpośredni wpływ na spełnienie warunku szczelności. W przypadku uszkodzenia listwy dociskowej lub poluzowania profilu uszczelniającego nie jest on prawidłowo dociskany do ścianek wnętrza profilu dylatacyjnego, w wyniku czego woda ma możliwość penetracji w głąb zamka, co prowadzi do wystąpienia przecieku oraz może spowodować wysunięcie się uszczelki z zamka profilu i awarię urządzenia dylatacyjnego.

Podsumowanie

W artykule przeanalizowano najczęściej popełniane błędy podczas montażu modułowych urządzeń dylatacyjnych, a także podczas wykonywania warstw nawierzchniowych w strefie urządzenia dylatacyjnego. Należy podkreślić, że

contributing to failures resulting from errors made during the installation of modular expansion joints, including the construction of pavement layers in the expansion joint area, is the lack of adequate supervision.

The examples of expansion joint failures presented in the article were recorded on bridge structures on S-class roads (expressways), where proper supervision during construction is required.

All photographs: author

w przypadku wielomodułowych urządzeń dylatacyjnych zwiększony hałas świadczy o uszkodzeniu mechanizmów sterujących. W związku z tym montowanie elementów wygłuszających w celu zmniejszenia hałasu, bez określenia przyczyny jego powstania, jest niewłaściwe i nieuzasadnione technicznie.

Zgodnie z krajowymi dokumentami odniesienia montaż urządzeń dylatacyjnych powinien być wykonywany przez producenta lub przez autoryzowane ekipy. Dokumentacja wykonawcza urządzenia dylatacyjnego powinna być natomiast opracowana na podstawie projektu budowlanego obiektu mostowego. Niestety, coraz częściej montaż modułowych urządzeń dylatacyjnych wykonuje wykonawca własnymi siłami lub zleca podwykonawcom, optymalizując w ten sposób koszty. Dodatkowym czynnikiem mającym wpływ na awarie wynikające z błędów popełnionych podczas montażu modułowych urządzeń dylatacyjnych, w tym wykonywanie warstw nawierzchniowych w strefie urządzenia dylatacyjnego, jest brak odpowiedniego nadzoru.

Przedstawione w artykule przykłady awarii urządzeń dylatacyjnych odnotowano na obiektach mostowych w ciągu dróg klasy S (dróg ekspresowych), w przypadku których jest wymagany właściwy nadzór podczas budowy.

Wszystkie fotografie: autor

Received: 09.06.2025

Revised: 04.08.2025

Published: 23.10.2025

Artykuł wpłynął do redakcji: 09.06.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 04.08.2025 r.

Opublikowano: 23.10.2025 r.

Literature:

- [1] Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz.U. z 2022 r. poz. 1518)
- [2] WR-M-71 Katalog typowych elementów i urządzeń wyposażenia drogowych obiektów inżynierskich. Wersja: 01. Obowiązuje od: 2021.03.02. Rekomendował: Minister Infrastruktury w dniu 2 marca 2021 r. (DDP-4.0600.10.2021)
- [3] PN-EN 10025-2:2019-11 Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych – Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych
- [4] PN-EN 10088-3:2015-01 Stale odporne na korozję – Część 3: Warunki techniczne dostawy półwyrobów, prętów, walcówki, drutu, kształtowników i wyrobów o powierzchni jasnej ze stali nierdzewnych ogólnego przeznaczenia
- [5] PN-EN ISO 13918:2018-03 Spawanie – Kołki i pierścienie ceramiczne do zgrzewania łukowego kołków
- [6] Procedura Badawcza IBDiM nr PB-TM-07:2014 Badanie odporności konstrukcji modułowego urządzenia dylatacyjnego na powtarzalne obciążenia dynamiczne
- [7] Procedura Badawcza IBDiM nr PB/TM-1/14:2014 Badanie odporności zamocowania nakładek wyciszających w jednomodułowym urządzeniu dylatacyjnym na powtarzalne obciążenia dynamiczne
- [8] PN-EN ISO 13920:2023-12 Spawalnictwo – Tolerancje ogólne dotyczące konstrukcji spawanych – Wymiary liniowe i kąty – Kształt i położenie

- [9] PN-EN ISO 5817:2023-08 Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek) – Poziomy jakości dla niezgodności spawalniczych
- [10] PN-EN ISO 2808:2020-01 Farby i lakiery – Oznaczanie grubości powłoki
- [11] PN-EN ISO 12944-5:2018-04 Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 5: Ochronne systemy malarskie
- [12] PN-EN ISO 8501-1:2008 Przygotowanie podłoży stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów – Wzrokowa ocena czystości powierzchni – Część 1: Stopnie skorodowania i stopnie przygotowania niezabezpieczonych podłoży stalowych oraz podłoży stalowych po całkowitym usunięciu wcześniej nałożonych powłok
- [13] Wysokowski A, Howis J. Wpływ stanu technicznego urządzeń dylatacyjnych na trwałość drogowych obiektów mostowych, Mosty, 2021; 2: 39–46
- [14] Germaniuk K.: Zalecenia dotyczące doboru mostowych urządzeń dylatacyjnych oraz ich wbudowania i odbioru, Załącznik do Zarządzenia nr 4 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 24 stycznia 2007 r., GDDKiA, 2007 r.
- [15] Żuchowski R, Salamak M. Hałas generowany przez urządzenia dylatacyjne w drogowych obiektach mostowych, Mosty, Tom 3/4, 2017, 44–50
- [16] PN-EN ISO 898-1:2013-06 Własności mechaniczne części złącznych wykonanych ze stali węglowej oraz stopowej – Część 1: Śruby i śruby dwustronne o określonych klasach własności – Gwint zwykły i drobnozwojny