

Aleksandra Jivan-Coteti, M.Sc.^{1*)}

ORCID: 0000-0002-2001-4456

Tomasz Gajda, PhD¹⁾

ORCID: 0000-0002-8216-8565

Durability of polyurethane sealings in infrastructure construction

Trwałość uszczelnień poliuretanowych w obiektach budownictwa komunikacyjnego

DOI: 10.15199/33.2024.11.10

Abstract. Effective sealing of joints in a infrastructure engineering, for example in a bridge or multi-storey car parks, exposed to environmental factors and other external factors affects their durability and the technical condition of individual structural elements and their equipment in details. The article indicates the criteria for the technical evaluation of polyurethane products for sealing and filling gaps in the context of their use in transport – infrastructure engineering, the durability of seals, and the identification of characteristic deteriorations and their possible causes.

Keywords: polyurethane sealant; durability; joint protection; working joint; expansion joint; essential characteristics.

Streszczenie. Skuteczne uszczelnienia szczelin występujących w obiektach budownictwa komunikacyjnego, np. mostowych lub parkingach wielopoziomowych, narażonych na działania czynników środowiska i innych zewnętrznych, wpływają na ich trwałość i stan techniczny poszczególnych elementów konstrukcji oraz wyposażenia. W artykule wskazano kryteria oceny technicznej wyrobów poliuretanowych do uszczelniania i wypełniania szczelin w kontekście ich zastosowania w budownictwie komunikacyjnym, w odniesieniu do trwałości uszczelnień, z wytypowaniem charakterystycznych uszkodzeń i ich możliwych przyczyn.

Słowa kluczowe: uszczelniacz poliuretanowy; trwałość; zabezpieczenie szczeliny; przerwa robocza; szczelina dylatacyjna; zasadnicze charakterystyki.

The subject of this article is a single-component, flexible sealants, produced on the basis of polyurethane (PUR or PU) made of a high-modulus, dense, paste-like material with good adhesive properties, which reacts with the moisture in the air to cross-link and harden, forming an elastic, permanently plastic material. The cured sealant is distinguished by its resistance to water and aqueous solutions containing ammonium, chloride and sulphate ions. It can also withstand short-term exposure to petrol and diesel fuel, diluted acids and alkalis. Sealing compounds protect the seal against water, gases and many chemical substances, effectively prolonging the service life of the sealed material structures, provided the technical requirements are met.

Nowadays, polyurethanes are widely used in the world and in Poland in infrastructure construction. In order to show the scale of their production and use in the construction industry, statistics indicating their potential and development are presented. Production of PU on an industrial scale began in 1940. In 2012, global annual demand for PU as a raw material reached US\$ 43.2 billion, with an average annual growth rate of approximately 7.4%. At the beginning of the 21st century, approximately 3 million tons of PU was consumed in Europe and this volume was composed of: 1.8 million tons of flexible PU foam, 0.7 million tons of rigid PU foam and 0.4 million tons

Przedmiotem artykułu są jednoskładnikowe, elastyczne kity uszczelniające (uszczelniacze), produkowane na bazie poliuretanu (PUR lub PU), w postaci gęstej masy (pasty) o dużym module elastyczności, charakteryzujące się dobrą przyczepnością, które w wyniku reakcji z wilgocią zawartą w powietrzu ulegają usieciowaniu i utwardzeniu, tworząc elastyczne, trwale plastyczne tworzywo. Utwardzony uszczelniacz wyróżnia się odpornością na działanie wody i wodnych roztworów zawierających jony amonowe, chlorkowe i siarczanowe. Może być odporny również na krótkotrwałe działanie benzyny i oleju napędowego, rozcieńczone kwasy i zasady. Kity uszczelniające zabezpieczają szczelinę przed wodą, gazami, wieloma substancjami chemicznymi, skutecznie przedłużając trwałość struktur uszczelnianych materiałów, pod warunkiem spełnienia wymagań techniczno-użytkowych.

Obecnie na świecie i w Polsce poliuretany znajdują szerokie zastosowanie w budownictwie infrastrukturalnym. W celu pokazania skali ich produkcji i zastosowania w budownictwie przedstawiono statystyki wskazujące na ich potencjał i rozwój. Produkcja PU na skalę przemysłową rozpoczęła się w 1940 r. W 2012 r. światowe roczne zapotrzebowanie na PU, jako surowiec, osiągnęło poziom 43,2 mld USD, a średnioroczna stopa wzrostu wynosi ok. 7,4%. Na początku XXI wieku w Europie zużyto ok. 3 mln t PU i wielkość ta została skomponowana z: 1,8 mln t elastycznej pianki PU, 0,7 mln t sztywnej pianki PU oraz 0,4 mln t elastomeru PU i innych produktów. W 2012 r. Centrum Przemysłu Poliuretanów (CPI) przeprowa-

¹⁾ Road and Bridge Research Institute

^{*)} Correspondence address: acoteti@ibdim.edu.pl

of PU elastomer and other products. In 2012 The Centre for the Polyurethane Industry (CPI) conducted a survey of the PU *end-use* market in the industry and revealed that 5.5 billion pounds worth of PU materials and its additives were consumed in the US in 2012 [1]. The building and construction industry in the US accounts for 36% of PU consumption, making it the leading end-use market for these materials [1].

To give an idea of the current scale of polyurethane production for use in infrastructure construction in Poland, the data contained in [2] was used. Poland has for many years been distinguished by a rapid increase in the consumption of plastics for the manufacture of various products. Between 2000 and 2018, the production of rubber and plastic products increased more than fourfold. In Poland, producers demand for increased in 2018, while it decreased slightly in Europe. It was estimated at 3.5 million tones (up 3.5%) and 51.2 million tones (down 0.2%) respectively. The volume of plastics consumed by plastics producers in Poland accounts for approximately 6.8% of European consumption (in this respect, Poland is ranked sixth in Europe after Germany, Italy, France, Spain and the United Kingdom). The three largest segments of use, both in Poland and Europe, are the packaging industry (with shares of 35% and 39.9% respectively), construction (24% and 19.8%) and the automotive industry (10% in Poland and 9.9% in Europe) [2].

Polyurethane sealants are used in infrastructure construction, in wide-ranging road lane elements and structures, e.g. for:

- filling and sealing of horizontal or vertical gaps and joints, including expansion joints;
- sealing and closing of working joints of coatings, waterproof pavement membranes or others, on traffic areas, including multi-storey car parks;
- filling of bolted and anchored connections;
- filling and sealing of joints and anchorages of road traffic safety devices, especially gaps between overhead line protection barriers and paving slabs or cornices;
- installation and sealing of drainage and other equipment and systems on bridges;
- as an additional safety element for the pavement continuity, in the form of an extruded paste or sealing profile (Figure 1);
- sealing and closing the joints of the kerb and cornice board with the paving sidewalk slab (Figure 2);
- closing and sealing effective connections between concrete, stone and steel components.

Technical assessment criteria

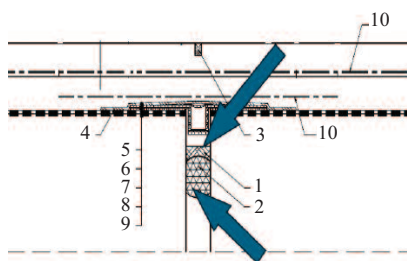
The most important criteria for the evaluation of sealants are: tensile properties; modulus of elasticity; flow-resistance, chemical resistance and adhesion-cohesion properties.

dziło badanie rynku zastosowania końcowego PU (*end-use*) w branży i ujawniło, że w USA w 2012 r. zużyto PU i ich dodatków o wartości 5,5 mld funtów [1]. Budownictwo w USA odpowiada za 36% zużycia PU, co czyni ją głównym rynkiem końcowego zastosowania tych materiałów [1].

W celu przybliżenia obecnej skali produkcji poliuretanów do zastosowania w budownictwie infrastrukturalnym w Polsce, wykorzystano dane zawarte w [2]. Polska od wielu lat wyróżnia się szybkim wzrostem zużycia tworzyw do produkcji różnych wyrobów. W latach 2000 – 2018 produkcja wyrobów z gumy i tworzyw sztucznych zwiększyła się ponadczterokrotnie. W Polsce zapotrzebowanie przetwórców na tworzywa w 2018 r. wzrosło, natomiast w Europie nieco spadło. Szacowano je odpowiednio na 3,5 mln t (wzrost o 3,5%) oraz 51,2 mln t (spadek o 0,2%). Ilość tworzyw zużywana przez przetwórców w Polsce stanowi ok. 6,8% zużycia europejskiego (pod tym względem Polska pozostaje na szóstym miejscu w Europie po Niemczech, Włoszech, Francji, Hiszpanii i Wielkiej Brytanii). Trzy największe segmenty zastosowania zarówno w Polsce, jak i w Europie to przemysł opakowaniowy (z udziałami odpowiednio 35% i 39,9%), budownictwo (24% i 19,8%) oraz motoryzacja (10% w Polsce i 9,9% w Europie) [2].

Uszczelniacze poliuretanowe stosowane są w budownictwie infrastrukturalnym, w elementach szeroko rozumianego pasa drogowego i konstrukcji, m.in. do:

- wypełniania i uszczelniania poziomych lub pionowych przerw i szczelin, w tym dylatacyjnych elementów konstrukcyjnych;
- doszczelniania i zamykania styków roboczych powłok, wypraw, izolacji-nawierzchni na powierzchniach przeznaczonych do ruchu, w tym parkingach wielopoziomowych;
- wypełniania połączeń śrubowych i kotwionych;
- wypełniania i doszczelniania połączeń i zakotwień urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego, w szczególności szczelin między osłonami zabezpieczającymi przed porażeniem prądem sieci trakcyjnych a płytami chodnikowymi lub gzymsowymi;
- montażu i uszczelniania urządzeń oraz systemów odwodnienia i urządzeń obcych na obiektach mostowych;
- jako dodatkowy element zabezpieczający uciąglenie nawierzchni, w postaci wyciskanej pasty lub profilu uszczelniającego (rysunek 1);
- uszczelniania i zamknięcia styków krawężnika oraz deski gzymsowej z kapą chodnikową (rysunek 2);
- tworzenia i uszczelniania skutecznych połączeń między elementami: betonowymi, kamiennymi i stalowymi.



Indications:

1 – sealant PU; 2 – polyurethane profile; 3 – joint mass; 4 – weldable waterproof membrane; 5 – weldable waterproof membrane not glued to the substrate on the length of the compensating section; 6 – elastomeric expansion joint tape (sealing profile); 7 – bitumen self adhesive tape; 8 – weldable waterproof membrane; 9 – primed concrete substrate; 10 – surface reinforcement mesh

Oznaczenia:

1 – kit trwale plastyczny; 2 – profil poliuretanowy; 3 – masa zalewowa; 4 – papa zgrzewalna doklejana do podłoża na odcinku 0,3 m; 5 – papa zgrzewalna niedoklejana do podłoża na długości odcinka kompensacyjnego; 6 – elastomerowa taśma dylatacyjna (profil uszczelniający); 7 – asfaltowa taśma samoprzylepna; 8 – papa zgrzewalna; 9 – zagruntowane podłoże betonowe; 10 – siatka zbrojąca nawierzchnię

Fig. 1. Pavement continuity over an expansion joint, the arrows show the use of polyurethane sealants [3]

Rys. 1. Uciąglenie nawierzchni nad szczeliną dylatacyjną, strzałkami pokazano zastosowanie uszczelniaczy poliuretanowych [3]

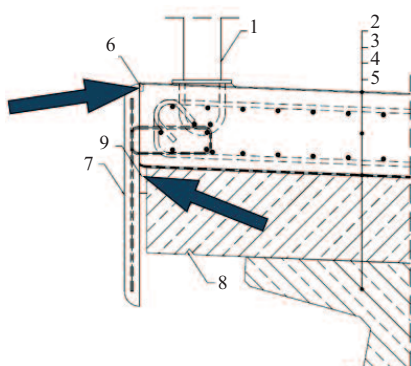
The properties of the material itself, the effectiveness of the sealing will depend, among other things, on the fulfilment of all criteria relating to the essential characteristics for the intended application in traffic engineering. Particularly important in road lane applications is the ability to withstand environmental influences, including chemical influences that may affect durability in subsequent years of use. In each of the polyurethane sealant applications, the resistance of the material to the environmental exposure in which it will be used is extremely important [3].

The properties of sealants used in traffic construction are determined according to the essential characteristics which are relevant to the application in question (table). In the National Technical Assessments for polyurethane sealants issued by the Road and Bridge Research Institute the object of analysis is given in Table.

In most cases, they are in accordance with the provisions of the standard [5], although it omits the issues concerning the use in specific road and bridges constructions (infrastructure construction).

They have been taken into account and included in the National Technical Assessments. The standard does not specifically specify a chemical resistance test for the applications discussed in the article and excludes the applications that are the subject of this publication, i.e. chemical-resistant, cold-applied joint sealants used on roads. The standard [5] covers applications mainly for sealants in buildings and pedestrian walkways in public areas. Since 2010, 14 National Technical Assessments (data according to the Road and Bridge Research Institute - Technical Assessment Unit) have been issued for joint sealants in traffic, roads and bridges construction (formerly Technical Approvals), specifying the properties of the identification characteristics (identification features) and performance characteristics of specific essential characteristics, which indicates the material's universality and popularity and the solutions associated with it.

Polyurethane is considered a versatile material due to its unique properties and structure, such as its ability to change its microstructure while retaining, among other things, its rigidity/elasticity, elasticity, damping properties and resistance to impact, abrasion and weathering [1]. It is subjected to constant stress, characteristic working conditions and atmospheric influences, and undergoes "natural" ageing under operating conditions, i.e. changes in material properties during



Indications:
1 – steel balustrade; 2 – top of pavement; 3 – pavement cap; 4 – weldable waterproof membrane; 5 – load-bearing structure; 6 – sealant PU; 7 – cornice board; 8 – cut in the concrete of the pavement cap; 9 – filling material

Oznaczenia:
1 – balustrada stalowa; 2 – nawierzchnia chodnika; 3 – kapa chodnikowa; 4 – izolacja pomostu; 5 – ustrój nośny; 6 – masa trwale plastyczna (kit uszczelniający); 7 – deska gzymsowa; 8 – kapienos – wycięcie w betonie kapy chodnikowej; 9 – materiał wypełniający

Fig 2. Detail of the connection of the cornice board with the sidewalk cap, the arrows show the use of polyurethane sealants [3]

Rys. 2. Detal połączenia deski gzymsowej z kapą chodnikową, strzałkami pokazano zastosowanie uszczelniaczy poliuretanowych [3]

Kryteria oceny technicznej

Najważniejszymi kryteriami oceny kitów są: zdolność przenoszenia odkształceń; moduł elastyczności; spływność; odporność na czynniki zewnętrzne, a także właściwości adhezyjno-kohezyjne [4]. Biorąc pod uwagę same właściwości materiału, skuteczność uszczelnienia będzie zależała m.in. od spełnienia wszystkich kryteriów dotyczących zasadniczych charakterystyk dla zamierzonego zastosowania w budownictwie komunikacyjnym. Szczególnie istotne, w zastosowaniu w obrębie pasa drogowego, jest określenie odporności na oddziaływania środowiskowe, w tym chemiczne mogące oddziaływać na trwałość w kolejnych latach użytkowania. W każdym z zastosowań uszczelniaczy poliuretanowych niezwykle ważna jest odporność materiału na ekspozycję środowiskową, w jakim będzie pracował [3].

Właściwości uszczelniaczy stosowanych w budownictwie komunikacyjnym określane są wg zasadniczych charakterystyk, właściwych do zamierzonego zastosowania (tabela). W Krajowych Ocenach Technicznych uszczelniaczy poliuretanowych, wydawanych przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów (IBDiM), analizowane są następujące charakterystyki zamieszczone w tabeli.

W większości przypadków są one zgodne z zapisami normy [5], aczkolwiek pominięto w niej zagadnienia dotyczące zastosowania w typowej infrastrukturze drogowej i mostowej. Zostały one uwzględnione w Krajowych Ocenach Technicznych. Norma nie precyzuje w szczególności badania odporności chemicznej do zastosowań omawianych w artykule i wyłącza zastosowania, które są przedmiotem tej publikacji, tj. odporne na chemikalia, stosowane na zimno uszczelniacze spoin stosowane na drogach. Norma [5] obejmuje zastosowania głównie do szczelin dylatacyjnych w budynkach i ciągach dla pieszych w miejscach publicznych. Od 2010 r. wydano 14 Krajowych Ocen Technicznych (dane wg Jednostki Oceny Technicznej IBDiM) dla kitów konstrukcyjnych do uszczelniania szczelin w budownictwie komunikacyjnym (dawniej Aprobatach Technicznych), określających właściwości charakterystyk identyfikacyjnych (cech identyfikacyjnych) oraz właściwości użytkowe poszczególnych zasadniczych charakterystyk, co wskazuje na powszechność i popularność materiału oraz rozwiązań z nim związanych.

Poliuretan jest uważany za materiał wszechstronny ze względu na wyjątkowe cechy i strukturę, takie jak zdolność do zmiany mikrostruktury przy jednoczesnym zachowaniu m.in. sztywności/sprężystości, elastyczności, właściwości tłumiących oraz odporności na uderzenia, ścieranie i warunki pogodowe [1]. Poddawany jest stale obciążeniu, charakterystycznym warunkom pracy, oddziaływaniu czynników atmosferycznych, ulegając „naturalnemu” starzeniu w warunkach eksploatacji, czyli zmianom właściwości materiału w czasie eksploatacji, a niewłaściwie zastosowany nie gwarantuje skuteczności rozwiązań. Zjawisko starzenia się konstrukcji jest obecnie

Essential characteristics determined to determine the performance properties of polyurethane sealants (*no failure)

Zasadnicze charakterystyki określone w celu ustalenia właściwości użytkowych uszczelniaczy poliuretanowych (*no failure)

Essential characteristics determined to establish the performance of polyurethane sealants/ Zasadnicze charakterystyki określone w celu ustalenia właściwości użytkowych uszczelniaczy poliuretanowych		Test and calculation methods/ Metody badań i obliczeń
Elastic recovery [%]/Powrót elastyczny przy wydłużeniu [%]		PN-EN ISO 7389
Tensile properties secant modulus at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and at $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ [MPa]/Właściwości mechaniczne przy rozciąganiu (poprzeczny moduł rozciągający) w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$ i w temperaturze $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ [MPa]		PN-EN ISO 8339
Tensile properties at maintained extension at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and at $-30 \pm 2^\circ\text{C}$ [NF*]/Właściwości mechaniczne przy stałym rozciąganiu w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$ i w temperaturze $-30 \pm 2^\circ\text{C}$ [NF*]		PN-EN ISO 8340
Tear resistance [NF]/Odporność na rozdieranie [NF]		PN-EN ISO 8340
Adhesion/cohesion properties at variable temperatures [NF]/Właściwości adhezji/kohezji w zmiennych temperaturach [NF]		PN-EN ISO 9047
Adhesion/cohesion properties at constant elongation after water immersion [NF]/Właściwości adhezji/kohezji przy stałym wydłużeniu po działaniu wody [NF]		PN-EN ISO 10590
Drainage resistance, method A, anodised aluminium "U" profile [mm]/Odporność na spływanie, metoda A, profil „U” z anodowanego aluminium [mm]		PN-EN ISO 7390
Loss of volume [%]/Zmiana objętości i masy [%]		PN-EN ISO 10563
Chemical resistance to aqueous solutions containing ammonium, chloride and sulphate ions for 28 days, as determined by change in appearance, weight and diameter [%]/Odporność chemiczna na działanie wodnych roztworów zawierających jony amonowe, chlorkowe i siarczanowe przez 28 dni, określona zmianą wyglądu, masy i średnicy [%]		PN-EN 12808-1
Chemical resistance to petrol and diesel for 3 days, determined by loss of mass and volume [%]/Odporność chemiczna na działanie benzyny i oleju napędowego przez 3 dni, określona zmianą masy i objętości [%]		PN-EN 14187-4
Identification characteristics/Charakterystyki identyfikacyjne	density [g/cm^3]/gęstość [g/cm^3]	PN-EN ISO 2811
	viscosity [Pa·s]/lepkość [Pa·s]	PN-EN ISO 2555
	qualitative analysis – identification test, infrared spectrum/analiza jakościowa – badanie identyfikacyjne, widmo w podczerwieni	PN-EN 1767

operation, and inappropriate use does not guarantee the effectiveness of the solutions. The phenomenon of construction ageing is now an increasingly discussed problem. Sealants age in the same way as structures, and their ageing can affect the mechanical properties and functionality of the structure [6].

Common damages

Here are some examples of the correct use and damage of seals used on bridge elements and multi-storey car parks:

- sealant detachment in the expansion joint area of a multi-storey car park (Photo a);
- uncovering of the sealant – corrosion staining of the ageing material (Photo b);
- the sealing slat of the multi-storey parking expansion joint further protects the gap and the used sealant (Photo c);
- proper execution of the cornice segment joints, but careless execution of the infill under the cornice promotes water penetration (photo d);
- sealant detachment, loss of adhesion (Photo e);



Description in the article/opis w artykule

coraz częściej dyskutowanym problemem. Uszczelniacze starzeją się tak samo jak konstrukcje, a ich starzenie się może mieć wpływ na właściwości mechaniczne i funkcjonalność konstrukcji [6].

Powszechne uszkodzenia

Oto kilka przykładów poprawnego zastosowania uszczelnienia w elementach mostowych i na parkingach wielopoziomowych oraz ich uszkodzeń:

- odspojenie uszczelniacza w strefie urządzenia dylatacyjnego na parkingu wielopoziomowym (fotografia a);
- odkrywka uszczelniacza przy dylatacji parkingu wielopoziomowego – odbarwienie korozyjne starzejącego się materiału (fotografia b);
- listwa uszczelniająca dylatacji parkingu wielopoziomowego dodatkowo chroni szczelinę i uszczelnienie (fotografia c);
- prawidłowe wykonanie połączeń segmentów gzymsu, ale niestaranne wykonanie wypełnienia pod gzymsem sprzyja penetracji wody (fotografia d);
- odspojenie uszczelniacza, utrata przyczepności (fotografia e);



• fixing and sealing of the bridge drain collect element with permanent plastic sealant: delamination and blistering of the construction coating occurred; significant corrosion damages of element affects to the sealing efficiency and durability of the all components (Photo f);

• single-module expansion joint; careless and inaccurate joint sealing next to the kerb (Photo g);

• defects and loss of joint protection material exposes the joints to the external factors (Photo h).

Inadequate sealing of joints or gap holes results in the movement of liquids or gases through them. Structural deterioration occurs when external joints and cracks are exposed to atmospheric conditions, e.g. low temperatures and water, and ultimately leads to increased maintenance and repair costs. For a sealant to function properly, it must have adequate adhesion to the substrate and be free to move under different loads and environmental conditions [1].



Description in the article/opis w artykule

• wzmocnienie sączka mostowego kitem trwale plastycznym: pojawia się delaminacja i pęcherzenie powłoki konstrukcji; znaczne uszkodzenia korozyjne sączka wpływają na skuteczność uszczelnienia i trwałość elementów (fotografia f);

• jednomodułowe urządzenie dylatacyjne; niestaranne i niedokładne zabezpieczenie szczelin (fotografia g);

• wykruszenia i ubytki zabezpieczeń szczelin dylatacyjnych narażają szczeliny na działania czynników zewnętrznych (fotografia h).

Niewłaściwe uszczelnienie złączy lub otworów powoduje ruch cieczy lub gazów przez nie. Pogorszenie struktury następuje, gdy zewnętrzne złącza i pęknięcia są narażone na działanie warunków atmosferycznych, np. niskiej temperatury i wody, a w efekcie prowadzi do zwiększenia kosztów konserwacji i napraw. Aby uszczelniacz mógł prawidłowo funkcjonować, powinien zachować odpowiednią

pryczepność do podłoża i mieć swobodę ruchu pod wpływem różnych obciążeń oraz warunków środowiskowych [1].

Summary

Typical sealing failures (deterioration) with polyurethane sealant include:

- detachment of the filler from the edge of the sealed element – this is the most common failure;
- mechanical loss of the sealant, caused by external action other than the work of the elements in the joint;
- failure and damage of the sealed element; the sealant acts as a filler element and due to the destruction of the element the filling is destroyed;
- loss of elasticity of the seal.

Main causes of damage:

- improper application and non-compliance with the product's conditions of use (manufacturer's specifications);
- sealing the joint too early, e.g. before the concrete rheology or settlement processes have been completed;
- loss of the sealant's performance properties, particularly the mechanical properties, adequate cross-linking of structures and adhesion/cohesion of the material;
- ageing of the filling material and nearby construction elements;
- wrong choice of sealant for the joint conditions;

Podsumowanie

Do typowych uszkodzeń uszczelnienia kitem poliuretanowym można zaliczyć:

- odspojenie kitu wypełniającego od krawędzi elementu uszczelnianego – jest to najbardziej powszechne uszkodzenie;
- ubytek mechaniczny kitu, spowodowany działaniem zewnętrznym innym niż praca elementów w szczelinie;
- awarie i uszkodzenia elementu mocowanego; uszczelniacz występuje jako element wypełniający i na skutek awarii/zniszczenia elementu następuje zniszczenie wypełnienia;
- wykruszenie, utrata elastyczności uszczelnienia.

Główne przyczyny uszkodzeń:

- niewłaściwa aplikacja i niespełnienie warunków stosowania wyrobu (wytucznych producenta);
- zbyt wczesne uszczelnienie szczeliny, np. przed zakończeniem procesów reologicznych betonu lub procesów osiadania;
- utrata właściwości użytkowych uszczelniacza, w szczególności mechanicznych, odpowiedniego usieciowania struktur oraz adhezji/kohezji materiału;
- starzenie materiału wypełniającego;

- inadequate preparation of the joint surface (substrate), inadequate cleaning, water in the joint;
- careless application of the product and the result is a surface with irregularities, depressions and discontinuities;
- contamination and dampness of the ropes; chemically aggressive environment;
- corrosion of concrete/steel within the joint.

In order to ensure the durability of the sealant, attention should be paid to:

- the performance characteristics of the sealant for the specific application and exposure conditions of the product and other technical data indicated in the product documentation; the displacements in the joint as well as the loads and the aggressiveness of the environment must be taken into account (design stage of project);

- the conditions of use of the product (executive stage), in particular:

- application of the sealant should be carried out at ambient and substrate temperatures above +5°C, but not above +35°C (the temperature range for application should be specified by the manufacturer); work should not be carried out in strong wind or rain, and the freshly-made sealant should be protected from rain and frost;

- criteria for assessing the quality of the cement-bonded substrate: the strength of the substrate should be at least 1.0 MPa as tested by the pull-off method; the substrate should be dry, i.e. concrete in a wind-dry condition, without visible traces of moisture and darkening caused by moisture, and clean, i.e. free of loose particles, dust, oil stains, grease and other impurities;

- it is recommended that the joints be cleaned mechanically with a steel brush or abrasive blasting and dedusted with compressed air;

- steel surfaces should be cleaned of rust and other impurities to a cleanliness grade of Sa 2½ in accordance with PN-EN ISO 8501-1:2008; stainless and galvanised steel surfaces should be prepared in accordance with the product manufacturer's guidelines;

- before applying the mastic, a primer should be applied if its use is recommended by the manufacturer;

- if the joint depth has to be limited, a sealing profile (cord) should be used.

The durability of the seals determines the durability of the other components of the construction, so it is advisable to replace defective, non-compatible seals. One example is the sealing of the cornice board area with the pavement slab structure. Under the influence of atmospheric conditions, the sealing material changes its properties over time – it becomes less elastic (undergoes a so-called ageing process) and ceases to fulfil its intended function. As a result, water penetrating into the seal leads to corrosion of the anchor rods and, in extreme cases, can cause the anchorage to fail and the cornice board to fall off. It is therefore necessary to replace it, which is often neglected [9]. The period after which the sealing material needs to be replaced depends on, among other things, where it is installed, the environmental influences and also the type of sealing.

- niewłaściwy dobór uszczelnacza do warunków pracy szczeliny;

- niewłaściwe przygotowanie powierzchni szczeliny (podłoża), niewłaściwe oczyszczenie, woda w szczelinie;

- niestaranna aplikacja produktu i w efekcie uzyskuje się powierzchnię z nierównościami i zagłębieniami oraz nieciągłościami;

- zanieczyszczenie i zawilgocenie szczelin; agresywne chemicznie środowisko;

- korozja betonu/stali w obrębie szczeliny.

W celu zapewnienia trwałości uszczelnienia należy zwrócić uwagę na:

- właściwości użytkowe uszczelnienia w przypadku konkretnego zastosowania i warunków ekspozycji wyrobu oraz inne wskazane w dokumentacji parametry techniczne wyrobu; należy uwzględnić przemieszczenia występujące w szczelinie oraz obciążenia i agresywność środowiska (etap projektowania);

- warunki stosowania wyrobu (etap wykonawczy), w szczególności:

- aplikacja kitu powinna odbywać się w temperaturze otoczenia i podłoża powyżej +5°C, ale nie wyższej od +35°C (zakres temperatury aplikacji powinien być określony przez producenta); nie należy prowadzić prac podczas silnego wiatru i opadów deszczu, a świeżo wykonane uszczelnienie należy chronić przed deszczem oraz mrozem;

- kryteria oceny jakości podłoża z betonu cementowego: wytrzymałość podłoża badana metodą „pull-off” powinna wynosić co najmniej 1,0 MPa; podłoże powinno być suche, tj. beton w stanie powietrzno-suchym, bez widocznych śladów wilgoci i zaciemnień spowodowanych wilgocią oraz czyste, tj. wolne od luźnych frakcji, pyłów, plam oleju, smarów i innych zanieczyszczeń;

- zaleca się wykonanie czyszczenia szczelin mechaniczną szczotką stalową lub obróbką strumieniowo-ścierną oraz odpylenie sprężonym powietrzem;

- powierzchnie stalowe powinny być oczyszczone z rdzy i innych zanieczyszczeń, do stopnia czystości Sa 2½ wg PN-EN ISO 8501-1:2008; powierzchnie ze stali nierdzewnej i ocynkowanej należy przygotować zgodnie z wytycznymi producenta wyrobu;

- przed aplikacją kitu należy zastosować warstwę gruntującą, jeśli jej zastosowanie rekomenduje producent;

- w przypadku konieczności ograniczenia głębokości szczeliny należy zastosować profil (kord) uszczelniający.

Trwałość uszczelnień decyduje o trwałości innych elementów konstrukcji, dlatego zaleca się wymianę wadliwego, nieskutecznego uszczelnienia. Przykładem jest uszczelnienie strefy deski gzymsowej z konstrukcją kapy chodnikowej. Pod wpływem czynników atmosferycznych materiał uszczelnienia zmienia się upływem czasu swoje właściwości – staje się mniej elastyczny (ulega procesowi tzw. starzenia) i przestaje spełniać założoną funkcję. W konsekwencji woda wnika w szczelinę prowadzi do korozji prętów kotwiących, a w ekstremalnym przypadku grozi zniszczeniem zakotwienia i odpadaniem płyt. W związku z tym niezbędna jest jego wymiana, co często jest zaniedbywane [9]. Okres, po którym konieczna jest wymiana materiału uszczelniającego, zależy m.in. od miejsca je-

Improper/faulty sealing or the use of inappropriate materials allows the ingress of water, gases, other substances, causing a gradual reduction in the life of materials, corrosion, and in the lack of proper monitoring of the construction during exploitation to pre-failure technical states of individual elements. As a consequence, as a result of the propagation of all damage and adverse phenomena over time and incorrect sealant application, it is necessary to carry out micro- or macro-repair of the structure, which translates into costs.

Photo: authors' archives

Received: 08.07.2024

Revised: 29.08.2024

Published: 25.11.2024

go w budowania, oddziaływań środowiskowych, a także rodzaju uszczelnienia.

Niewłaściwe/wadliwe uszczelnienie lub zastosowanie nieodpowiednich materiałów umożliwia wnikanie wody, gazów, innych substancji, powodując stopniowe obniżenie trwałości materiałów, korozję, a przy braku właściwego monitoringu obiektu w czasie eksploatacji prowadzi do stanów przedawaryjnych poszczególnych elementów. W konsekwencji, w wyniku propagacji w czasie wszystkich uszkodzeń i niekorzystnych zjawisk oraz nieprawidłowego zastosowania uszczelnacza, niezbędne jest przeprowadzenie mikro- lub makronapraw konstrukcji, które przekładają się na koszty.

Fotografie: archiwum autorów

Artykuł wpłynął do redakcji: 08.07.2024 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 29.08.2024 r.

Opublikowano: 25.11.2024 r.

Literature

- [1] Somarathna HMCC, S. Raman N, Mohotti D, Mutalib AA, Badri KH. The use of polyurethane for structural and infrastructural engineering applications: A state-of-the-art review, 0950-0618/©2018 Elsevier Ltd. Construction and Building Materials. 2018; <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.166>
- [2] Kozera-Szałkowska A. Rynek tworzyw sztucznych – produkcja, zapotrzebowanie, zagospodarowanie odpadów. Polimery. 2019. DOI: [dx.doi.org/10.14314/polimery.2019.11.3](https://doi.org/10.14314/polimery.2019.11.3)
- [3] WR-M-71 Katalog typowych elementów i urządzeń wyposażenia drogowych obiektów inżynierskich 01-2021.03.02, Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu, Wersja: 01, Obowiązuje od: 2021.03.02, Rekomendował: Minister Infrastruktury 2 marca 2021 r. (DDP-4.0600.10.2021).
- [4] Lubczyńska E. Kity i masy uszczelniające w świetle normy ISO, Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik nr 2-3 (110-111), 1999.

- [5] PN-EN 15651-4:2017-03 Kity stosowane do połączeń niestrukturalnych w budynkach i przejściach dla pieszych, Część 4: Kity stosowane do przejść dla pieszych.
- [6] Nečasová B, Liška P, Šlanhof J. Performance of selected polyurethane joint sealants in concrete structures, Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Veveří 331/95, Brno 602 00, Czech Republic, MATEC Web of Conferences 146, 02015 (2018) Building Defects 2017, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814602015>.
- [7] PN-EN ISO 11600:2004 Konstrukcje budowlane, Wyroby do uszczelniania, Klasyfikacja i wymagania dotyczące kitów.
- [8] Pająk Z, Drobiec Ł. Uszkodzenia i naprawy betonowych podkładów posadzek przemysłowych, XXIII Ogólnopolska Konferencja, Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 5-8 marca 2008 r.
- [9] Madaj A, Mossor K. Trwałość gzymsów mostowych z płyt z betonu polimerowego i laminatu. Materiały Budowlane. 2021. DOI: 10.15199/33.2021.10.06.
- [10] Rejestr wydanych i uchylonych Krajowych Ocen Technicznych IBDiM.