

Dr. Ing. Tomasz Gajda¹⁾

ORCID: 0000-0002-8216-8565

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

ORCID: 0000-0002-2001-4456

Waterproof pavement membrane based on synthetic resins used on concrete and steel bridge deck slabs

Izolacja-nawierzchnie z żywic syntetycznych stosowane na betonowych i stalowych płytach pomostów obiektów mostowych

DOI: 10.15199/33.2024.10.16

Abstract. Waterproof pavement membrane based on synthetic resins are one of the basic elements of bridge details. They are waterproof, protect against the effects of water and chloride ions dissolved in it, and also serve as a pavement and waterproofing membrane. The article presents issues regarding the purpose, scope and conditions of use of waterproof pavement membrane based on synthetic resins, with particular emphasis on the aspect of surface preparation. The essential characteristics of the waterproof pavement membrane were also indicated in relation to functional properties and the most common causes of damage were discussed.

Keywords: waterproof pavement membrane; concrete surface; steel surface; bridge details; functional properties.

Streszczenie. Izolacja-nawierzchnie na bazie żywic syntetycznych są jednym z podstawowych elementów wyposażenia obiektów mostów. Są wodoszczelne, chronią przed działaniem wody i rozpuszczonych w niej jonów chlorkowych oraz pełnią jednocześnie funkcję nawierzchni i izolacji przeciwwodnej na obiekcie. W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące przeznaczenia, zakresu i warunków stosowania izolacji-nawierzchni na bazie żywic syntetycznych, ze szczególnym uwzględnieniem aspektu przygotowania podłoża. Wskazano także zasadnicze charakterystyki izolacji-nawierzchni w odniesieniu do właściwości użytkowych oraz omówiono najczęstsze przyczyny uszkodzeń.

Słowa kluczowe: izolacja-nawierzchnia; podłoże betonowe; podłoże stalowe; wyposażenie obiektu mostowego; właściwości użytkowe.

Waterproof pavement membrane based on synthetic resins appeared on the Polish market in the 1990s and quickly became primarily pavements were used on concrete and steel bridge deck slabs, in the pedestrian and light traffic areas. These were epoxy- and polyurethane-based waterproof pavement membrane that quickly began to displace the commonly used cast asphalt from the market. The main problem with cast asphalt was that it had to have the right consistency to ensure workability and consequently allow proper hot-mix paving [1]. Softening of the mastic asphalt, e.g. with natural asphalt additives, was used to increase its workability, were ineffective and led to permanent deformation of the surface.

Waterproof pavement membrane is a detail of a bridge structure and is often called a bridge pavement, **and its primary tasks are:**

- the transfer of occurring utility loads, e.g. from pedestrians, cycle traffic or wheeled vehicles;
- protecting the deck slab against the effects of water, weather and deicing agents;
- ensuring the safety and comfort of users.

Waterproof pavement membrane based on synthetic resins are waterproof, protect against the effects of water and

Izolacja-nawierzchnie na bazie żywic syntetycznych pojawiły się na polskim rynku w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku i szybko stały się dominującym typem nawierzchni, stosowanym na betonowych i stalowych płytach pomostów drogowych obiektów mostowych, przede wszystkim w strefach ruchu pieszych i lekkiego ruchu kołowego. Były to izolacje-nawierzchnie na bazie żywic epoksydowych i poliuretanowych, które w szybkim tempie zaczęły wypierać z rynku powszechnie stosowany asfalt lany. Podstawowym problemem w przypadku asfaltu lanego było wymaganie uzyskania odpowiedniej konsystencji, która miała zapewnić jego urabialność i w konsekwencji pozwolić na prawidłowe ułożenie na gorąco [1]. Stosowane zabiegi zmiękczenia asfaltu lanego np. za pomocą dodatku asfaltu naturalnego, mające na celu zwiększenie jego urabialności, były nieskuteczne i prowadziły do trwałych deformacji nawierzchni.

Izolacja-nawierzchnia jest elementem wyposażenia obiektu mostowego i często nazywana jest nawierzchnią mostową, a jej **podstawowe zadania to:**

- przeniesienie występujących obciążeń użytkowych, np. od pieszych, ruchu rowerowego czy pojazdów kołowych;
- zabezpieczenie płyty pomostu przed oddziaływaniem wody, czynników atmosferycznych i środków odladzających;
- zapewnienie bezpieczeństwa i komfortu użytkowników.

Izolacje-nawierzchnie na bazie żywic syntetycznych są wodoszczelne, chronią przed działaniem wody i rozpuszczonych

¹⁾ Road and Bridge Research Institute

*) Correspondence address: acoteti@ibdim.edu.pl

chloride ions dissolved in water, and act as both a surface and waterproofing on the object. The use of quartz sand in the top coat improves the abrasion resistance of the resin and provides a required roughness effect. Waterproof pavement membrane based on synthetic resins are also characterised by their resistance to:

- atmospheric effects, including UV radiation;
- chemicals used in day-to-day road maintenance;
- abrasion by pedestrian traffic and light vehicular traffic;
- exposure to constant and variable temperatures from -30°C to $+80^{\circ}\text{C}$ in dry conditions or up to $+40^{\circ}\text{C}$ in damp conditions.

Purpose and scope of application

In the case of civil engineering, waterproof pavement membrane is most often used on pavement slabs of bridges, on pedestrian bridges and also on multi-level car parks with pedestrian or light vehicular traffic. The use of waterproof pavement membrane on bridges carriageways area with heavy traffic is less common and is usually limited to those bridges where the design height is limited and the weight of the bridge spans needs to be reduced, such as drawbridges and swing bridges. This is due to the increased costs of the membrane based on synthetic resin compared to standard mineral asphalt pavements.

The typical thickness of waterproof pavement membrane based on synthetic resin used on bridges is 2 – 12 mm, depending on the application site and expected loads. For its subject but to pedestrian, cycle or light traffic loads, the thickness is 2 – 6 mm. A typical layout of the layers incorporated into a synthetic resin membrane course is as follows:

- primer coat, priming layer (depending on the manufacturer, may be with a quartz sand sprinkling);
- flotation layer, also known as floating layer (optional depending on manufacturer and application);
- base layer (general coat layer) with quartz sand;
- sealing layer (top coat, optional depending on manufacturer).

The basic schemes for the layout of waterproof pavement membrane of sidewalks bridges or carriageways of bridges with light vehicular traffic, based on [2], are shown in Figure 1 and isolation-surface layers in the carriageway zone of bridges with light vehicular traffic in Figure 2.

There are two main types of synthetic resin-based membrane used in the pavement sidewalks or carriageway area of bridges with pedestrian traffic and possible light vehicular traffic:

■ **inflexible waterproof pavement membrane** (with limited substrate crack bridging ability), typically 2 – 4 mm thick and without a flotation layer, for use on concrete and steel substrates;

■ **flexible waterproof pavement membrane** (with a high capacity to bridge substrate cracks) usually 4 – 6 mm thick and with a flotation layer, suitable for use on concrete substrates.

w niej jonów chlorkowych oraz pełnią jednocześnie funkcję nawierzchni i izolacji przeciwwodnej na obiekcie. Zastosowanie dodatku piasku kwarcowego w warstwie zamykającej (nawierzchniowej) poprawia jej odporność na ścieranie oraz zapewnia odpowiednią szorstkość. Izolacja-nawierzchnie z żywic syntetycznych charakteryzują się także odpornością na:

- wpływy atmosferyczne, w tym promieniowanie UV;
- substancje chemiczne stosowane przy bieżącym utrzymaniu dróg;
- ścieranie przez ruch pieszych oraz lekki ruch kołowy;
- działanie stałej i zmiennej temperatury od -30°C do $+80^{\circ}\text{C}$ w warunkach suchych lub do $+40^{\circ}\text{C}$ w warunkach wilgotnych.

Przeznaczenie i zakres stosowania

W przypadku obiektów komunikacyjnych izolacja-nawierzchnie najczęściej są stosowane na kapach chodnikowych obiektów mostowych, na mostach dla pieszych, a także na parkingach wielopoziomowych, gdzie występuje ruch pieszych lub lekki ruch kołowy. Zastosowanie izolacja-nawierzchni w strefie jezdni na obiektach mostowych obciążonych ruchem ciężkim jest rzadsze i najczęściej ogranicza się do tych obiektów mostowych, gdzie przy ich projektowaniu jest ograniczona wysokość konstrukcyjna oraz występuje potrzeba zredukowania ciężaru własnego prześięcia obiektu, np. w przypadku mostów zwodzonych lub obrotowych. Wynika to z zwiększonych kosztów wykonania izolacja-nawierzchni z żywic syntetycznych w porównaniu ze standardową nawierzchnią z mieszanek mineralno-asfaltowych.

Typowa grubość izolacja-nawierzchni na bazie żywic syntetycznych stosowanej na obiektach mostowych wynosi 2 – 12 mm w zależności od miejsca zastosowania i spodziewanych obciążeń. W przypadku izolacja-nawierzchni obciążonej ruchem pieszych, ruchem rowerowym lub lekkim ruchem kołowym wynosi 2 – 6 mm. Typowy układ warstw wbudowanych w izolacja-nawierzchnię na bazie żywic syntetycznych jest następujący:

- warstwa gruntująca (w zależności od producenta może być z posypką z piasku kwarcowego);
- warstwa flotacyjna, zwana także pływającą (opcjonalnie w zależności od producenta i zastosowania);
- warstwa zasadnicza (nawierzchniowa) z dodatkiem piasku kwarcowego;
- warstwa zamykająca (opcjonalnie w zależności od producenta).

Podstawowe schematy układu warstw izolacja-nawierzchni chodników obiektów mostowych lub jezdni obiektów mostowych obciążonych ruchem pieszych z możliwością występowania lekkiego ruchu kołowego, na podstawie [2], przedstawiono na rysunku 1, a na rysunku 2 izolacja-nawierzchni w strefie jezdni obiektów mostowych obciążonych ruchem kołowym.

Wyróżniamy dwa główne typy izolacja-nawierzchni na bazie żywic syntetycznych stosowanych w strefie chodników lub jezdni obiektów mostowych obciążonych ruchem pieszych z możliwością występowania lekkiego ruchu kołowego:

■ **izolacja-nawierzchnie sztywne** (z ograniczoną zdolnością mostkowania zarysowań podłoża), zazwyczaj o grubości 2 – 4 mm i bez warstwy flotacyjnej, przeznaczone do stosowania na podłożach betonowych i stalowych;

The purpose of the individual layers incorporated into the insulation and surfacing system is as follows:

- **primer**, which is usually made with a quartz sand sprinkle, has the task of ensuring adhesion between the concrete or steel substrate and the flotation layer or the base layer pavement membrane. At the present time epoxy-based resins used on the market allow for a primer coat to be applied on fresh

concrete substrates, i.e. 2 – 6 h after the concrete mix has been installed. However, it is standard practice to prime damp concrete substrates after 7 days of hardening;

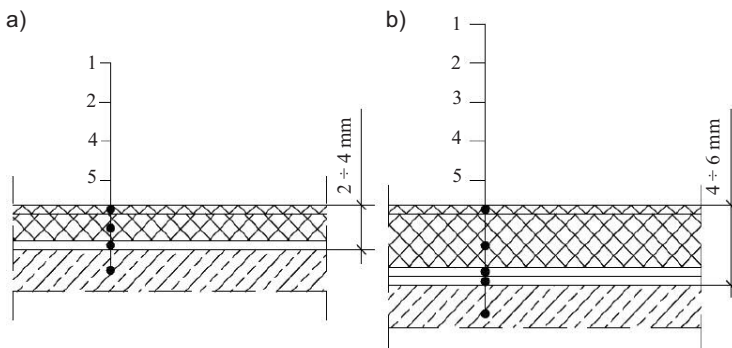
- **flotation layer** used to increase the flexibility of the entire waterproof pavement membrane and, above all, to improve its properties in terms of its ability to bridge cracking in the concrete substrate;

- **base layer**, which is the structural layer carrying the service load, is made with the addition of quartz sand to improve its resistance to abrasion and ensure adequate roughness. The quartz sand used for the waterproof pavement membrane should be fire-dried, with a grain size and performance characteristics in accordance with the manufacturer's guidelines;

- **sealing layer** usually acting as a UV-resistant coloured topcoat. The appropriate colour is imparted through the use of dyed quartz sand or dyed resin.

Substrate preparation

Waterproof pavement membrane should be carried out by companies that are authorised by their manufacturer, and the application of the products included in the waterproof pavement membrane should be applied in accordance with the manufacturer's instructions. During application, records must be kept of the environmental conditions, especially: substrate and ambient temperature, dew-point temperature and air

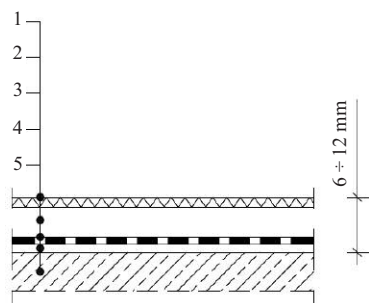


Indications/Oznaczenia:

1 – sealing layer (optional, depending on manufacturer)/1 – warstwa zamykająca (opcjonalna, w zależności od producenta); 2 – base layer with quartz sand/2 – warstwa zasadnicza z dodatkiem piasku kwarcowego; 3 – flotation layer (floating)/3 – warstwa flotacyjna (pływająca); 4 – priming layer/4 – warstwa gruntująca; 5 – concrete or steel substrate/5 – podłoże betonowe lub stalowe

Fig. 1. Diagrams of the layers system in the case of waterproof pavement membrane used in the zone of sidewalks of bridge structures or roadways of bridge structures loaded with pedestrian traffic with the possibility of light vehicular traffic; a) without floating layer; b) with floating layer

Rys. 1. Schematy układu warstw w przypadku izolacji-nawierzchni stosowanej w strefie chodników obiektów mostowych lub jezdni obiektów mostowych obciążonych ruchem pieszych z możliwością występowania lekkiego ruchu kołowego; a) bez warstwy flotacyjnej; b) z warstwą flotacyjną



Indications/Oznaczenia:

1 – anti-skid layer made of crushed aggregate with a grain size of e.g. – 4 mm/1 – warstwa antypoślizgowa z kruszywa łamanego o uziarnieniu np. 2 – 4 mm; 2 – base layer with added crushed aggregate/2 – warstwa zasadnicza z dodatkiem kruszywa łamanego; 3 – intermediate layer (optional), e.g. flexible waterproofing layer/3 – warstwa pośrednia (opcjonalna), np. elastyczna warstwa wodoszczelna; 4 – primer layer/4 – warstwa gruntująca; 5 – concrete or steel substrate/5 – podłoże betonowe lub stalowe

Fig. 2. Scheme of the layers system in the case of waterproof pavement membrane used in the road zone of bridge structures loaded with road traffic

Rys. 2. Schemat układu warstw w przypadku izolacji-nawierzchni stosowanej w strefie jezdni obiektów mostowych obciążonych ruchem kołowym

- **izolacja-nawierzchnie elastyczne** (z dużą zdolnością mostkowania zarysowań podłoża) zazwyczaj o grubości 4 – 6 mm i z warstwą flotacyjną, przeznaczone do stosowania na podłożach betonowych.

Przeznaczenie poszczególnych warstw wbudowanych w system izolacji-nawierzchni jest następujące:

- **warstwa gruntująca** wykonywana zazwyczaj z posypką z piasku kwarcowego ma za zadanie zapewnienie adhezji między podłożem betonowym lub stalowym a warstwą flotacyjną lub zasadniczą izolacji-nawierzchni. Obecnie stosowane na rynku żywice na bazie epoksydowej pozwalają na wykonywanie warstwy gruntującej

na świeżym betonie, tj. 2 – 6 h po wbudowaniu mieszanki betonowej. Standardem jest natomiast gruntowanie wilgotnego podłoża betonowego po 7 dniach twardnienia;

- **warstwa flotacyjna** stosowana w celu zwiększenia elastyczności całej konstrukcji izolacji-nawierzchni, a przede wszystkim poprawy jej właściwości pod względem zdolności mostkowania zarysowań podłoża betonowego;

- **warstwa zasadnicza**, pełniąc funkcję warstwy konstrukcyjnej przenoszącej obciążenia eksploatacyjne, wykonywana z dodatkiem piasku kwarcowego, który poprawia jej odporność na ścieranie oraz zapewnia odpowiednią szorstkość. Piasek kwarcowy stosowany do wykonania izolacji-nawierzchni powinien być suszony ogniewo, o uziarnieniu i właściwościach użytkowych zgodnych z wytycznymi producenta;

- **warstwa zamykająca** zazwyczaj pełniąc rolę barwnej warstwy nawierzchniowej, odpornej na działanie promieniowania UV. Odpowiedni kolor jest nadawany przez zastosowanie barwionego piasku kwarcowego lub barwionej żywicy.

Przygotowanie podłoża

Izolacja-nawierzchnie powinny być wykonywane przez firmy, które mają autoryzację ich producenta, a aplikacja wyrobów wchodzących w skład izolacji-nawierzchni powinna odbywać się zgodnie z instrukcją dostarczoną przez producenta. Podczas aplikacji należy prowadzić zapisy dotyczące warunków środowiskowych, a przede wszystkim: temperatury podłoża i otoczenia, temperatury punktu rosy oraz wilgotności powietrza. Ma to szczególne znaczenie w przypadku żywic poliuretanowych i epoksydowych, w odniesieniu do któ-

humidity. This is especially important for polyurethane and epoxy resins, for which the minimum ambient and substrate temperature during application should be 8 – 12°C depending on the manufacturer, with the air temperature at least 3°C above the dew-point.

Another important step prior to the targeted application of the waterproof pavement membrane is the **execution of reference fields**. Their number and size, including the scope of the acceptance tests, should be specified in the execution project documentation, which specifies in detail how the membrane is to be installed, including in particular the type and thickness of the layers. In addition, the execution documentation, taking into account the manufacturer's guidelines, should specify the method of execution of the membrane at the drainage elements (bridge inlets, drains and bridge filters).

One of the main factors influencing the durability and effectiveness of the waterproof pavement membrane is the **correct way of preparing the substrate** [2 ÷ 4]. In the case of bridges, the substrate for the waterproof pavement membrane is the structure of the bridge slab or pavement slab. Depending on the structural solutions used in the bridge structure, the bridge deck or pavement slab may be made of concrete (reinforced or prestressed concrete) or steel, the most common being concrete.

The concrete substrate for waterproof pavement membrane made on bridges should be of strength:

- **compressive strength**, determined in accordance with EN 206 [5]:

- in the new civil engineering construction, **the guaranteed strength** resulting from the concrete class, but not less than that of a C30/37 concrete class;

- in reconstructions and rebuilt structures, **a minimum concrete strength** of at least C25/30 class;

- **for bond strength**, by a specified method „pull-off”:

- in the new civil engineering construction not less than 1.5 MPa;

- in reconstructions and rebuilt structures, **an average of not less than 1.5 MPa**, with a minimum of not less than 1.2 MPa.

Depending on the type of waterproofing pavement membrane and the conditions of use specified by the manufacturer, the membrane may be applied to the following concrete substrates:

- for newly constructed civil engineering objects on substrates:

- from fresh concrete – 2 – 6 h after placing the concrete mix;
- from young concrete - during the curing period of 1 – 14 days;

- from moist concrete – after at least 14 days of curing (when the moisture content of the concrete is more than 4%);
- of dry concrete – after at least 14 days of curing (when the moisture content of the concrete is no more than 4%);

- in the case of renovated objects on existing substrates:

- damp (when the moisture content of the concrete is greater than 4%);

- dry (when the moisture content of the concrete is 4% or less).

rych minimalna temperatura otoczenia i podłoża podczas aplikacji powinna wynosić 8 – 12°C w zależności od producenta, przy czym temperatura powietrza powinna być wyższa od temperatury punktu rosy o co najmniej 3°C.

Kolejnym ważnym etapem przed docelową aplikacją izolacji-nawierzchni jest **wykonanie pól referencyjnych**. Ich liczba i wielkość, w tym zakres badań odbiorczych, powinny być określone w dokumentacji wykonawczej, w której jest podawany szczegółowy sposób wykonania izolacji-nawierzchni, w tym przede wszystkim typ oraz grubość warstw. Dodatkowo w dokumentacji wykonawczej, z uwzględnieniem wytycznych producenta, powinien być określony sposób wykonania izolacji-nawierzchni przy elementach odwadniających (przy wpustach, sączkach i drenach).

Jednym z podstawowych czynników mających wpływ na trwałość i skuteczność izolacji-nawierzchni jest **właściwy sposób przygotowania podłoża** [2 ÷ 4]. W przypadku obiektów mostowych podłożem pod izolację-nawierzchnię jest konstrukcja płyty pomostu lub konstrukcja kapy chodnikowej. W zależności od rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych w obiekcie mostowym płyta pomostu lub kapa chodnikowa mogą być wykonane jako betonowe (żelbetowe lub z betonu sprężonego) albo stalowe, przy czym najczęściej są to konstrukcje betonowe.

Podłoże betonowe w przypadku izolacji-nawierzchni wykonywanych na obiektach mostowych powinno mieć wytrzymałość:

- **na ściskanie**, określoną zgodnie z normą PN-EN 206 [5]:

- w konstrukcjach nowo budowanych obiektów – wytrzymałość **gwarantowaną** wynikającą z przyjętej klasy betonu, lecz nie mniejszą niż w stosunku do klasy C30/37;

- w konstrukcjach odbudowywanych, rozbudowywanych i przebudowywanych – **minimalną wytrzymałość charakterystyczną** betonu odpowiadającą klasie co najmniej C25/30;

- **na odrywanie**, określoną metodą „pull-off”:

- w konstrukcjach nowo budowanych obiektów nie mniejszą niż 1,5 MPa;

- w konstrukcjach odbudowywanych, rozbudowywanych i przebudowywanych – **średnią** nie mniejszą niż 1,5 MPa, przy wartości minimalnej nie mniejszej niż 1,2 MPa.

W zależności od typu izolacji-nawierzchni i warunków jej stosowania, określonych przez producenta, dopuszcza się wykonywanie izolacji-nawierzchni na następujących podłożach betonowych:

- w przypadku nowo budowanych obiektów na podłożach:
 - ze świeżego betonu – 2 – 6 h po ułożeniu mieszanki betonowej;

- z młodego betonu – w okresie dojrzewania 1 – 14 dni;
- z wilgotnego betonu – po co najmniej 14 dniach dojrzewania (gdy wilgotność betonu wynosi więcej niż 4%);

- z suchego betonu – po co najmniej 14 dniach dojrzewania (gdy wilgotność betonu wynosi nie więcej niż 4%);

- w przypadku remontowanych obiektów na istniejących podłożach:

- wilgotnych (gdy wilgotność betonu wynosi więcej niż 4%);
- suchych (gdy wilgotność betonu wynosi nie więcej niż 4%).

Bardzo ważnym elementem jest przyjęcie odpowiedniej metody obróbki powierzchniowej, dotyczącej zarówno prac

The selection of a suitable surface working method, both for the cleaning of the concrete sub-base and for its roughening, is a very important element. The choice of method should always be directly related to the desired effect. We must therefore take into account the working mechanism and the related degree of aggressiveness of the working [6], as well as the effect of the working on the formation of cracks [7]. In the case of steel surfaces, particular attention must be paid to cleaning and creating an appropriate surface finish profile. They should be cleaned of rust and other contaminants to the degree that they are free from rust, at Sa2½ or St 3 degree of purity, accordance with [8], the roughness of the substrate, as measured by the Rz parameter, must be between 40 and 70 µm or it must achieve the „Intermediate” profile assessed with the G comparator according to [9].

The substrate, whether concrete or steel, should be prepared taking into account the guidelines of the waterproof pavement membrane manufacturer and the execution project documentation. In addition, the necessary repair and reprofiling of the concrete or steel substrate must be carried out in the case of reconstructions and rebuilding of construction. A very important aspect is the rapid removal of natural rain water from the membrane by means of appropriate gradients. According to [2], **the slope of the waterproof pavement membrane** should be no less than: **longitudinal** – 1.0%; **transverse**: in the roadway zone and on pavements with a width of at least 1.5 m – 2.5%; on pavements with a width of less than 1.5 m – 4.0%; on elements with a width of less than 0.4 m – 10.0%.

Performance characteristics

Due to their intended use and function, waterproof pavement membrane are a special type of coating, whose functional properties are different from typical coatings for surface protection as described in EN 1504-2 [10]. This applies primarily to the basic characteristics associated with resistance to prolonged cyclic freezing in air and thawing in water at a temperature of -18°C to +18°C and with water absorption limitation, i.e. resistance to a water column under varying pressure from 0.2 to 1.0 MPa. In view of the inconsistent declaration of performance properties of waterproof pavement membrane by manufacturers according to [10], often limited to the designation of characteristics specific to protective coatings not subjected to pedestrian or wheel traffic, the Road and Bridge Research Institute (IBDiM) developed a required set of performance properties [4], which is currently used in the development of National Assessments of Technical Data. The performance properties of a waterproof pavement membrane based on synthetic resin for use on concrete or steel substrates are summarised in the table.

The input data for the determination of the current functional properties of waterproof pavement membrane based on synthetic resins, with reference to the selected key characteristics, included the results of tests carried out, conclusions of expert reports and supervision carried out by the Department of Bridges of the IBDiM, of which we are

związanych z oczyszczaniem podłoża betonowego, jak i z jego uszorstnieniem. Wybór tej metody powinien być zawsze bezpośrednio powiązany z efektem, jaki zamierzamy osiągnąć. Musimy więc uwzględnić mechanizm obróbki oraz związany z tym stopień agresywności obróbki [6], a także wpływ obróbki na powstawanie rys [7]. W przypadku powierzchni stalowych szczególną uwagę należy zwrócić na ich oczyszczenie i nadanie właściwego profilu chropowatości. Powinny być oczyszczone z rdzy i innych zanieczyszczeń do stopnia czystości Sa 2½ lub St 3 wg [8], natomiast chropowatość podłoża, mierzona parametrem Rz, musi wynosić 40 – 70 µm lub osiągnąć profil „Pośredni” oceniany komparatorem G wg [9].

Podłoże, zarówno betonowe, jak i stalowe, powinno być przygotowane z uwzględnieniem wytycznych producenta izolacji-nawierzchni i dokumentacji wykonawczej. Dodatkowo w przypadku podłoża betonowego lub stalowego w konstrukcjach odbudowywanych, rozbudowywanych i przebudowywanych należy wykonać niezbędne prace związane z naprawą i reprofilacją powierzchni betonowej lub stalowej. Bardzo ważnym aspektem jest szybkie odprowadzenie wody z powierzchni izolacji-nawierzchni przez nadanie jej odpowiednich pochyłości. Zgodnie z [2] **pochylenie izolacji-nawierzchni** powinno wynosić nie mniej niż: **podłużne** – 1,0%; **poprzeczne**: w strefie jezdni oraz na chodnikach o szerokości co najmniej 1,5 m – 2,5%; na chodnikach o szerokości mniejszej niż 1,5 m – 4,0%; na elementach o szerokości mniejszej niż 0,4 m – 10,0%.

Właściwości użytkowe

Izolacja-nawierzchnie, ze względu na przeznaczenie i pełnione funkcje, są specjalnym typem powłok, których właściwości użytkowe są inne niż typowych powłok do ochrony powierzchniowej betonu, opisanych w PN-EN 1504-2 [10]. Dotyczy to przede wszystkim zasadniczych charakterystyk związanych z odpornością na długotrwałe cykliczne zamrażanie w powietrzu i odmrażanie w wodzie w temperaturze od -18°C do +18°C oraz z ograniczeniem chłonności wody, tj. odpornością na działanie słupa wody pod zmiennym ciśnieniem od 0,2 do 1,0 MPa. Mając na uwadze niespójne deklarowanie właściwości użytkowych izolacji-nawierzchni przez producentów wg [10], często ograniczające się do oznaczenia charakterystyk właściwych dotyczących powłok ochronnych nieobciążonych ruchem pieszych lub kołowym, w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów (IBDiM) opracowano wymagany zestaw właściwości użytkowych [4], który obecnie jest wykorzystywany przy opracowywaniu Krajowych Ocen Technicznych. Właściwości użytkowe izolacji-nawierzchni na bazie żywic syntetycznych, przeznaczonej do stosowania na podłoża betonowe lub stalowe, przedstawiono w tabeli.

Danymi wejściowymi do określenia obecnych właściwości użytkowych izolacji-nawierzchni na bazie żywic syntetycznych, w odniesieniu do wytypowanych zasadniczych charakterystyk, były m.in. wyniki wykonanych badań, wnioski z opracowanych ekspertyz i przeprowadzonych nadzorów przez Zakład Mostów IBDiM, którego jesteśmy pracownikami i czynnie uczestniczyliśmy w tych pracach badawczych. Na przestrzeni ostatnich dwudziestu pięciu lat badaniu w IBDiM poddano izolacji-nawierzchnie kilkudziesięciu produ-

Performance properties of waterproof pavement membrane based on synthetic resins

Właściwości użytkowe izolacji nawierzchni na bazie żywic syntetycznych

Essential characteristics of the construction product for the intended use/ Zasadnicze charakterystyki wyrobu budowlanego do zamierzonego zastosowania	Performance characteristics expressed in levels, classes or descriptively/ Właściwości użytkowe wyrażone w poziomach, klasach lub w sposób opisowy	Test and calculation methods/ Metody badań i obliczeń
Adhesion waterproof pavement membrane to the concrete substrate, pull-off method/Wytrzymałość na odrywanie od podłoża betonowego, metodą „pull-off” – flexible [MPa]/izolacja-nawierzchnie elastyczne [MPa] – inflexible (rigid) [MPa]/izolacja-nawierzchnie sztywne [MPa]	≥ 1,2 ≥ 2,0	PN-EN 1542:2000/ IBDiM Test Procedure PB/TM-1/6:2016 PN-EN 1542:2000/ Procedura Badawcza IBDiM PB/TM-1/6:2016
Adhesion waterproof pavement membrane to the concrete substrate, after 200 freeze-in-air and thaw-in-water cycles at -18°C/+18°C, pull-off method/Wytrzymałość na odrywanie od podłoża betonowego, po 200 cyklach zamrażania i odmrażania w wodzie, w temperaturze -18°C/+18°C, metodą „pull-off” – flexible [MPa]/izolacja-nawierzchnie elastyczne [MPa] – inflexible (rigid) [MPa]/izolacja-nawierzchnie sztywne [MPa]	≥ 1,0 ≥ 1,5	PN-EN 1542:2000/IBDiM Test Procedure PB/TM-1/6:2016 PN-EN 1542:2000/ Procedura Badawcza IBDiM PB/TM-1/6:2016
Condition assessment of the coating laid on the concrete substrate, after 200 freeze-in-air and thaw-in-water cycles at -18°C/+18°C/Ocena stanu powłoki ułożonej na podłożu betonowym, po 200 cyklach zamrażania i odmrażania w wodzie, w temperaturze: -18°C/+18°C	unchanged/bez zmian	IBDiM Test Procedure PB/TM-1/13:2009/Procedura Badawcza IBDiM PB/TM-1/13:2009
Adhesion waterproof pavement membrane to the steel substrate, pull-off method [MPa]/ Wytrzymałość na odrywanie od podłoża stalowego, metodą „pull-off” [MPa]	≥ 2,5	PN-EN 1542:2000/IBDiM Test Procedure PB/TM-1/6:2016/ PN-EN 1542:2000/Procedura Badawcza IBDiM PB/TM-1/6:2016
Adhesion waterproof pavement membrane to the steel substrate, after 200 freeze-in-air and thaw-in-water cycles at -18°C/+18°C, pull-off method [MPa]/Wytrzymałość na odrywanie od podłoża stalowego, po 200 cyklach zamrażania i odmrażania w wodzie, w temperaturze: -18°C/+18°C, metodą „pull-off” [MPa]	≥ 2,0	PN-EN 1542:2000/IBDiM Test Procedure PB/TM-1/6:2016 PN-EN 1542:2000/Procedura Badawcza IBDiM PB/TM-1/6:2016
Condition assessment of the coating laid on the steel substrate, after 200 freeze-in-air and thaw-in-water cycles at -18°C/+18°C/Ocena stanu powłoki ułożonej na podłożu stalowym, po 200 cyklach zamrażania i odmrażania w wodzie, w temperaturze: -18°C/+18°C	unchanged/bez zmian	IBDiM Test Procedure No PB/TM-1/13:2009/procedura badawcza IBDiM nr PB/TM-1/13:2009
Water absorption reduction rate [%]/Wskaźnik ograniczenia chłonności wody [%]	≥ 90	IBDiM Test Procedure No PB-TM-X5:2012/Procedura badawcza IBDiM nr PB-TM-X5:2012
Abrasion resistance [mm ³ /5000 mm ²]/Ścieralność [mm ³ /5000 mm ²]	≤ 12500	PN-EN 1338:2005
Classes of skid resistance [SRT]/Wskaźnik szorstkości [SRT]	≥ 45	PN-EN 1436:2018

employees and actively participated in the research work. Over the past twenty-five years, insulation materials from dozens of manufacturers, totalling more than 100 types, have been tested at the IBDiM, with tests being carried out most frequently as part of ongoing inspections, usually every five years.

Since the beginning of the research work, the greatest attention has been paid to the **permanent adhesion** of the membrane to the substrate, i.e. the adhesion which will be by the system will continue to perform well after several years or decades of use. To this end, the IBDiM has implemented ageing tests to simulate the behaviour of the system over time. Under Polish conditions, the factor with the greatest influence on the durability of the waterproof pavement membrane is its **resistance to cyclic freezing and thawing** and the associated loss of adhesion. The number of cycles through 0°C, i.e. freezing and thawing cycles, per year is more than 100. Until 2008, the number of freezing cycles in air and thawing cycles in water at a temperature of -18°C to +18°C in insulation-surface tests was 150 and was due to the adaptation of the frost resistance tests of membranes systems and it was connected with concrete frost resistance tests – F150 performed as standard at that time. As a result of discussions in the development of [4], the number of freeze-thaw cycles was increased to 200 in 2008.

centów, w sumie ponad 100 typów, przy czym najczęściej badania były wykonywane cyklicznie w ramach badań kontrolnych, najczęściej co 5 lat.

Od początku prac badawczych największą uwagę zwracano na **pryczepność trwałą** izolacji nawierzchni do podłoża, czyli przyczepność, którą będzie wykazywał zastosowany system po kilkunastu lub kilkudziesięciu latach w czasie eksploatacji konstrukcji. W tym celu IBDiM wdrożono badania starzeniowe symulujące zachowanie się izolacji nawierzchni w czasie. W warunkach polskich czynnikiem mającym największy wpływ na trwałość izolacji nawierzchni jest jej **odporność na cykliczne zamrażanie i odmrażanie** oraz związana z tym utrata przyczepności. Liczba cykli przejść przez 0°C, a więc cykli zamrażania i odmrażania, w ciągu roku wynosi ponad 100. Do 2008 r. w badaniach starzeniowych izolacji nawierzchni liczba cykli zamrażania w powietrzu i odmrażania w wodzie w temperaturze od -18°C do +18°C wynosiła 150 i wynikała z dostosowania badań mrozoodporności izolacji nawierzchni do wykonywanych standardowo w tym czasie badań mrozoodporności betonu – F150. W wyniku dyskusji przy opracowywaniu [4], w 2008 r. zwiększono liczbę cykli zamrażania i odmrażania do 200.

Nasze doświadczenia z przeprowadzonych badań przyczepności izolacji nawierzchni do podłoża po próbie mrozoodpor-

Our experience from testing the adhesion of the waterproof pavement membrane to the substrate after the frost resistance test shows that the greatest reduction in this parameter occurs after the frost resistance test, when applying the membrane to fresh or young concrete (up to three days maturing). The most frequently observed average reduction in adhesion is several percent, with drops of several tens of percent occurring, or even complete detachment of the membrane from the concrete substrate. The predominant type of take off during pull-off adhesion tests, after the frost resistance test, is between the primer and the concrete substrate or in the concrete surface layer. This is due to the fact that, when applying synthetic resin-based membrane to fresh or young concrete, the most difficult part is to achieve proper and lasting adhesion between the priming resin and the damp concrete.

Typical deterioration and defects

Most deterioration of waterproof pavement membrane based on synthetic resins is due to mistakes made during substrate preparation and product application. In the case of the substrate, it is inadequate preparation in terms of cleanliness, durability and suitability for use. The concrete surface is not cleaned of cement laitance and other impurities. Failure to remove cement laitance and other impurities from the concrete surface, or their incomplete removal, leads to reduced adhesion of the insulation to the concrete substrate and to the formation of detachments, especially after the winter period. The same applies to the strength of the concrete sub-structure, especially the tensile strength of the surface layer, which is often characterised by mechanical and physical properties that are significantly inferior to those of the concrete layers built into the sub-structure below. Very often, this is due to a lack of control of the environmental conditions during application, relating to the substrate and the materials to be incorporated. This applies mainly to the temperature and humidity of the substrate and the application temperature of the products incorporated in the membrane layers, as well as the dew point. The most common causes of damage and deteriorations, are directly related to the application of products, include:

- **errors in dosing the curing agent (catalyst) and mixing the components**, often resulting in a lack of proper curing of the layer;

- **lack of proper venting of the resin**, resulting in air bubbles in the dispersed resin layer, which increase the porosity of the resin layer and, as a result, reduce the durability of the insulation and the effectiveness of the waterproofing properties;

- **too long or too short intervals between the application of individual layers**, resulting in a lack of adhesion between the layers;

- **the use of sand with a high dust content, moisture content, wrong grain size or inadequate quantity which**, depending on the layer, results in a deterioration of the mechanical or physical properties and, in the case of the capping layer, in flaking and spalling of the topping, with the result that the safety of use is risky, if the required roughness of the pavement is not achieved;

ności wskazują, iż największe zmniejszenie tego parametru występuje przy aplikacji izolacji nawierzchni na świeży lub młody beton (do trzech dni dojrzewania). Najczęściej obserwowana średnia wartość zmniejszenia przyczepności wynosi kilkanaście procent, przy czym zdarzają się spadki kilkadziesiąt procent, a nawet całkowite odspojenie izolacji nawierzchni do podłoża betonowego. Dominującym typem zerwania w trakcie wykonywania badań przyczepności metodą „pull-off”, po próbie mrozoodporności, jest zerwanie między warstwą gruntującą a podłożem betonowym lub w warstwie przypowierzchniowej betonu. Jest to związane z faktem, iż w przypadku aplikacji izolacji nawierzchni na bazie żywic syntetycznych na świeży lub młody beton, najtrudniejszym elementem jest uzyskanie prawidłowej i trwałej adhezji między żywicą gruntującą a wilgotnym betonem.

Typowe uszkodzenia i wady

Najwięcej uszkodzeń izolacji nawierzchni na bazie żywic syntetycznych wynika z błędów popełnianych podczas przygotowania podłoża i aplikacji wyrobów. W przypadku podłoża jest to niewłaściwe przygotowanie pod względem czystości i wytrzymałości. Brak usunięcia mleczka cementowego i innych zanieczyszczeń z powierzchni betonu lub usunięcie ich w sposób niepełny prowadzi do obniżonej adhezji izolacji nawierzchni do podłoża betonowego i odspojen obserwowanych szczególnie po okresie zimowym. To samo dotyczy wytrzymałości podłoża betonowego, a przede wszystkim wytrzymałości na rozciąganie przypowierzchniowej warstwy, która często charakteryzuje się właściwościami mechanicznymi i fizycznymi znacznie gorszymi niż warstwy betonu wbudowane w konstrukcję niżej. Bardzo często tego przyczyną jest brak kontroli warunków środowiskowych w trakcie aplikacji, dotyczących podłoża i wbudowywanych materiałów. Dotyczy to głównie temperatury i wilgotności podłoża oraz temperatury aplikacji wyrobów wchodzących w skład izolacji nawierzchni, a także punktu rosy. Najczęstszymi przyczynami uszkodzeń, związanymi bezpośrednio z aplikacją wyrobów, są m.in.:

- **błędy przy dozowaniu utwardzacza (katalizatora) i mieszanii składników**, skutkujące często brakiem właściwego utwardzenia wykonanej warstwy;

- **brak właściwego odpowietrzenia żywicy**, w wyniku czego w rozprowadzanej warstwie żywicy znajdują się pęcherze powietrza, które zwiększają porowatość warstwy żywicznej, a w efekcie zmniejszają trwałość izolacji nawierzchni i skuteczność w odniesieniu do właściwości wodochronnych;

- **zbyt długie lub zbyt krótkie okresy między aplikacją poszczególnych warstw**, skutkujące brakiem adhezji między warstwami;

- **zastosowanie piasku o dużej zawartości pyłów, wilgotności, o złym uziarnieniu lub w niewłaściwej ilości**, powodujące w zależności od warstwy pogorszenie właściwości mechanicznych lub fizycznych, a w przypadku warstwy zamykającej jej łuszczenie i odspojenie posypki, w wyniku czego powstaje zagrożenie bezpieczeństwa użytkowania, w postaci braku wymaganej szorstkości nawierzchni;

- **niewłaściwe zabezpieczenie świeżo ułożonych warstw żywicznych**, skutkujące ich zawilgoceniem w przypad-

■ **inadequate protection of freshly laid resin layers**, resulting in them becoming damp in the event of precipitation or a drop in temperature during the resin curing process, with the result that the resin does not cure or the completed layer is destroyed.

Photographs 1 ÷ 3 show typical damages of waterproof pavement membrane based synthetic resin.



Photo 1. View of the waterproof pavement membrane based on epoxy-polyurethane, cracked and detached from the concrete base

Fot. 1. Widok izolacji nawierzchni na bazie żywicy epoksydowo-poliuretanowej spękanej i odspójonej od podłoża betonowego



Photo 2. View of the waterproof pavement membrane based on MMA (methyl methacrylate); detachment occurred between the primer and base layers

Fot. 2. Widok izolacji nawierzchni na bazie MMA (metakrylanu metylu); odspojenie nastąpiło między warstwą gruntującą a zasadniczą

ku wystąpienia opadów atmosferycznych lub spadkiem temperatury podczas procesu utwardzania żywicy, a w efekcie jej nieutwardzeniem lub zniszczeniem wykończonej warstwy.

Na fotografiach 1 ÷ 3 przedstawiono typowe uszkodzenia izolacji nawierzchni na bazie żywic syntetycznych.

Summary

Currently, the Polish bridge market is dominated by epoxy-polyurethane resin-based waterproof pavement membranes, but methyl methacrylate-based membranes are also increasingly in use more. The last ones have many advantages, but also disadvantages. The advantages are the short curing time of the resins, which allows the membrane to be installed in one working day, and the possibility of laying in sub-zero temperatures, while the disadvantages are that they cannot be laid on fresh or young damp concrete that is less than 7 days old, as well as the higher cost than the epoxy-polyurethane membrane. For both types of waterproof pavement membrane, new material solutions have been developed in recent years. This applies in particular to resins for priming and sealing layers. Resins for priming layers have greater adhesion to the concrete substrate than before, depending on its age and humidity, while those for sealing layers have greater durability, including resistance to UV radiation.



Photo 3. Losses of waterproof pavement membrane in the curb zone caused by degradation of the concrete

Fot. 3. Ubytki izolacji nawierzchni w strefie krawężnika spowodowane degradacją podłoża betonowego

Obecnie na polskim rynku mostowym dominują izolacje nawierzchni na bazie żywic epoksydowo-poliuretanowych, ale coraz częściej stosowane są także izolacje nawierzchni na bazie metakrylanu metylu. Te ostatnie mają wiele zalet, ale także wad. Do zalet należy krótki czas utwardzania żywic, umożliwiający wykonanie izolacji nawierzchni w ciągu jednego dnia roboczego oraz możliwość układania w ujemnej temperaturze, natomiast wadami jest brak możliwości układania na świeży lub młody wilgotny beton w wieku krótszym niż 7 dni, a także wyższy koszt niż izolacji nawierzchni na bazie żywic epoksydowo-poliuretanowych. W przypadku obu typów izolacji, w ostatnich latach pojawiły się nowe rozwiązania materiałowe. Dotyczy to szczególnie żywic przeznaczonych na warstwy gruntujące i zamykające.

Żywice na warstwy gruntujące mają większą niż dotychczasową adhezję do podłoża betonowego w zależności od jego wieku i wilgotności, natomiast na warstwy zamykające – większą trwałość, w tym odporność na działanie promieniowania UV.

Fotografie: T. Gajda

Rys.: autorzy na podstawie [2]

Wpłynął do redakcji: 13.05.2024 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 17.06.2024 r.

Opublikowano: 22.10.2024 r.

Photo.: T. Gajda

Fig. prepared by authors base on [2]:

Received: 13.05.2024

Revised: 17.06.2024

Published: 22.10.2024

Literatura

- [1] Sybilski D. Stosowanie asfaltu lanego. *Magazyn Autostrady*. 2008; 5.
- [2] 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).
- [3] Garbacz A. Znaczenie przygotowania powierzchni betonu dla zapewnienia skuteczności napraw. *Materiały Budowlane*. 2013; 9: 10 – 13.
- [4] Germaniuk K, Gajda T, Królikowska A. Zalecenia IBDiM do udzielania Aprobat Technicznych Nr Z/2009-03-027 Wyroby i systemy do ochrony powierzchniowej konstrukcji betonowych. Zeszyt nr 79, IBDiM, Warszawa, 2010.
- [5] PN-EN 206+A2:2021-08 Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność.
- [6] Courard L, Garbacz A, Piotrowski T. Inżynieria powierzchni betonu. Część 1. Struktura geometryczna powierzchni. *Materiały Budowlane*. 2006; 9: 3 – 7.

[7] Courard L, Garbacz A, Niwęgłowska-Mazurkiewicz A, Piotrowski T. Inżynieria powierzchni betonu. Część 2. Wpływ obróbki na powstawanie rys. *Materiały Budowlane*. 2006; 12: 8 – 11.

[8] 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 niepokrytych podłoży stalowych oraz podłoży stalowych po całkowitym usunięciu wcześniej nałożonych powłok.

[9] PN-EN ISO 8503-2:2012 Przygotowanie podłoży stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów – Charakterystyki chropowatości powierzchni podłoży stalowych po obróbce strumieniowo-ściernej – Część 2: Metoda stopniowania profilu powierzchni stalowych po obróbce strumieniowo-ściernej – Sposób postępowania z użyciem wzorca.

[10] PN-EN 1504-2:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu.