

mgr inż. Janusz Banera¹⁾
 dr hab. inż. Marek Maj, prof. uczelni^{2)*)}
 ORCID: 0000-0002-4151-7298

Reasons for lack of adhesion of polyurea coatings to concrete substrates in chemically aggressive water tanks

Przyczyny utraty przyczepności powłok polimocznikowych do betonowego podłoża w zbiornikach na wodę chemicznie agresywną

DOI: 10.15199/33.2024.12.03

Abstract. The article discusses the use of polyurea coatings to strengthen waterproofing in liquid tanks, the difficulties associated with the application of coatings and maintaining their durability during long-term use. The causes of detachment of coatings from the substrate, their too rapid aging, problems related to the preparation of the concrete substrate, the efficiency of technical equipment and the application technique itself, as well as the influence of many other factors on the technical degradation of polyurea coatings are presented.

Keywords: chemical aggressiveness; loss of adhesion; polyurea coatings.

Streszczenie. W artykule poruszono zagadnienia zastosowania powłok polimocznikowych do wzmacniania izolacji przeciwwodnej w zbiornikach na ciecz, trudności związane z aplikacją powłok oraz z utrzymaniem ich trwałości podczas długoletniego użytkowania. Przedstawiono przyczyny odspojenia powłok od podłoża, ich zbyt szybkiego starzenia, problemy związane z przygotowaniem podłoża betonowego oraz sprawność sprzętu technicznego i techniki aplikacji, a także wpływ wielu innych czynników na degradację techniczną powłok polimocznikowych.

Słowa kluczowe: agresywność chemiczna; powłoki polimocznikowe; utrata przyczepności.

Thanks to their highly versatile physical properties and excellent resistance to wear and chemical stresses, polyurea coatings have gained widespread support and are increasingly applied across the construction industry [1]. Generally, growing demand for a specific technology motivates users to deepen their understanding of its applications. As a result, these technologies are more likely to be used correctly, safely, and in accordance with procedural requirements. However, a lack of such knowledge can lead to errors in the application of polyurea spray coating technology, both during the design phase and at the implementation stage.

Physicochemical properties of polyurea coatings

Environment in which polyurea coatings are used. Reinforced concrete tanks in sewage treatment plants are an example of an aggressive environment in which there is a strong chemical impact on coatings. In an anaerobic environment, *Thiobacillus* bacteria present in wastewater (Photo 1) decompose fats, carbohydrates and proteins, and as a result of chemical reactions, hydrogen sulphide (H_2S) is formed, which after contact with oxygen in the air is transformed into sulphuric acid (H_2SO_4). It causes corrosion of both steel and concrete. In reinforced concrete tanks (swimming pools, tanks

Powłoki polimocznikowe, ze względu na bardzo uniwersalne właściwości fizyczne, dużą odporność na zużycie i obciążenia chemiczne, znalazły wielu zwolenników oraz cieszą się coraz powszechniejszym zastosowaniem w szeroko pojętym budownictwie [1]. Z reguły zwiększający się popyt na daną technologię sprzyja rozwojowi i poszerzaniu wiedzy przez tych, którzy z niej korzystają. W efekcie technologie te są wykorzystywane zgodnie z przeznaczeniem z zastosowaniem bezpieczeństwa i dotrzymaniem wymagań procedur wykonawczych. W sytuacji braku źródła takiej wiedzy pojawiają się jednak błędy w zastosowaniu technologii natryskowych powłok polimocznikowych, zarówno na etapie projektowania, jak i w fazie wykonawczej.

Fizykochemiczne cechy powłok polimocznikowych

Środowisko, w którym użytkowane są powłoki polimocznikowe. Przykładem agresywnego środowiska, w którym występuje silne oddziaływanie chemiczne na powłoki, są zbiorniki żelbetowe w oczyszczalniach ścieków. W środowisku beztlenowym, obecne w ściekach wodnych bakterie *thiobacillus* (fotografia 1) rozkładają tłuszcze, węglowodany i białka, a w wyniku reakcji chemicznych powstaje siarkowodor (H_2S), który po zetknięciu się z tlenem z powietrza przekształca się w kwas siarkowy (H_2SO_4). Powoduje on korozję zarówno stali, jak i betonu. W zbiornikach żelbetowych (baseny kąpielowe, zbiorniki w gospodarce rolnej, w oczysz-

¹⁾ SIKA Poland Sp. z o.o.

²⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

*) Correspondence address: marek.maj@pwr.edu.pl

in agriculture, in sewage treatment plants, etc.), it is necessary to reconcile the use of flexible coatings, which are at the same time resistant to chemical impact and to the penetration of water molecules. For economic reasons, investors often require coatings that are as thin as possible while still being sufficiently thick and dense enough to ensure the coating's integrity and impermeability. One of the most critical aspects of coating application is its interaction with the substrate.

Main parameters determining the cooperation of the polyurea coating with concrete. When selecting the appropriate type of protective polyurea layer, a thorough understanding of the concrete used in the construction of the tank's slabs or walls is essential. The correct choice of protective coatings is critical to ensuring the structure's long-term durability and performance. A comprehensive knowledge of the concrete's physical properties is vital for matching the polyurea coating to the specific characteristics of the concrete base.

Important parameters characterizing concrete before the application of polyurea, indicated by, among others [2÷5], are: compressive and peel strength (usually >1.5 MPa); modulus of elasticity; porosity; frost resistance; tightness; crack width; moisture and water insulation qualities; bridging ability; share of the dust fraction in the aggregate composition; rheological properties; concrete surface roughness; resistance to abrasion, impact and chemical impact, especially to chloride penetration; degree of carbonation and corrosion of concrete and steel; resistivity; resistance to rapid temperature changes. In the case of swimming pools, the resistance of the coating to color change under the influence of UV radiation is also taken into account.

The relationship between the chemical resistance of polyurea and its elasticity [1]. Figure 1 depicts models of polymer bond networks [1]. Polyureas with a high density of polymer bonds show good resistance to chemical loads (Figure 1a). However, the bonds constructed in this way have very small gaps between the nodes, which makes any movement of individual molecules difficult, which in turn makes the material very stiff.

Rigid materials used as tight protection against the penetration of harmful substances into groundwater do not meet the assumed requirements because they tend to develop micro-cracks and cracks when the concrete structure deforms, which is caused by changes in temperature, for example. Any cracks

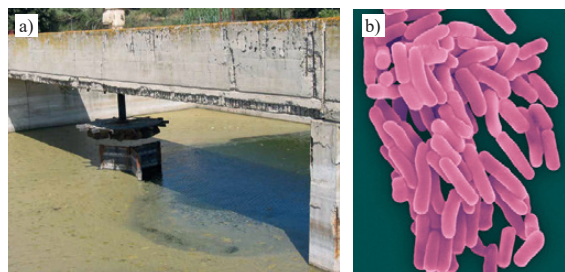


Photo 1. Tank (a) and anaerobic thiobacillus bacteria in a sewage treatment plant tank (b) [1]

Fot. 1. Zbiornik oczyszczalni (a) i bakterie beztlenowe thiobacillus w zbiorniku (b) [1]

czło zagadnień związanych z aplikacją powłok wysuwa się ich współpraca z podłożem.

Główne parametry decydujące o współpracy powłoki polimocznikowej z betonem. Decydując się na wybór odpowiedniego rodzaju aplikowanej warstwy ochronnej polimocznika, zakłada się bardzo dobrą wiedzę o betonie, z którego konstruuje się płyty lub ściany zbiorników. Celem odpowiednio dobranych powłok ochronnych jest zapewnienie skutecznej, wieloletniej trwałości obiektu. Znajomość wartości parametrów fizycznych betonu warunkuje dobór odpowiedniej powłoki polimocznika do rozpoznanych właściwości betonowego podkładu.

Ważnymi parametrami charakteryzującymi beton przed aplikacją polimocznika, na które wskazują m.in. [2÷5], są: wytrzymałość na ściskanie i odrywanie (przeważnie >1,5 MPa); moduł sprężystości; porowatość; mrozoodporność; szczelność; szerokość rys; izolacyjność wilgotnościowo-wodna; zdolność do mostkowania; udział frakcji pylastej w składzie kruszywa; cechy reologiczne; szorstkość powierzchni betonowej; odporność na ścieranie; udar i oddziaływanie chemiczne, szczególnie na wnikanie chlorków; stopień karbonatyzacji i korozji betonu oraz stali; rezystywność; odporność na gwałtowne zmiany temperatury. W przypadku basenów kąpielowych brana jest również pod uwagę odporność powłoki na zmianę kolorów pod wpływem promieni UV.

Związek między odpornością chemiczną polimocznika a jego elastycznością [1]. Ilustracją modeli sieci wiązań polimerowych jest rysunek 1 [1]. Polimoczniki o dużej gęstości wiązań polimerowych wykazują dobrą odporność na obciążenia chemiczne (rysunek 1a). Tak skonstruowane wiązania mają jednak bardzo krótkie odstępki pomiędzy węzłami, co utrudnia jakiegokolwiek ruch poszczególnych cząsteczek (molekuł), a to z kolei powoduje, że materiał jest bardzo sztywny.

Sztywne materiały, zastosowane jako szczelne zabezpieczenie przed przenikaniem szkodliwych substancji do wód gruntowych, nie spełniają z założenia zakładanych wymagań, ponieważ mają tendencję do mikro-pęknięć i rys przy od-

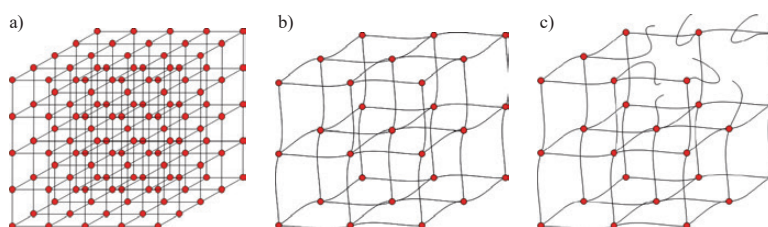


Fig. 1. Models of the network of polymer bonds in a rigid (a), flexible material (b) and a model of network damage in a material with a low density of polymer bonds (c) [1]

Rys. 1. Modele sieci wiązań polimerowych w materiale sztywnym (a), elastycznym (b) i model uszkodzeń sieci w materiale o małej gęstości wiązań polimerowych (c) [1]

and fissures allow aggressive substances to penetrate concrete, causing its degradation and the loosening its coatings.

Materials with low density of polymer bonds allow for great freedom of movement of individual material molecules relative to each other (Figure 1b). This results in high flexibility of the coating, which, together with the substrate's work (e.g. during its alternating expansion and contraction under the influence of variable ambient temperature), will also stretch and shrink without cracking. In such a case, the concrete structure is effectively protected against degradation and possible penetration of harmful substances into groundwater. However, the lower the cross-linking density, the easier it is to destroy less protected molecules by mechanical or chemical interactions (Figure 1c). In order to obtain permanent surface protection with coatings, it is necessary to reconcile the requirements of material stiffness and flexibility with its tightness and chemical resistance. In applications [4] a coating thickness of >2 mm is recommended, with a material density of approx. 2800 kg/m^3 , while in application [5] the recommended thickness is 1.5 mm, with a density of the applied material of 1000 kg/m^3 . We would like to point out that at a lower thickness the coating becomes a semi-permeable layer and osmotic processes may occur.

The relationship between the tightness of the polyurea coating and its thickness. The appropriate thickness of the polyurea coating is a separate issue. Generally, a coating thickness of 2–5 mm is recommended, depending on the conditions set in the technical design. The thickness of the layers depends mainly on the amount of material used, and the method of making the coating (manually or mechanically). One of the most important criteria when designing the thickness of the coating is the chemical aggressiveness of the environment, in which it will perform a protective function.

Note the difference in recommended coating thickness given by different manufacturers. In similar environmental conditions, in application [4], the recommended coating thickness is >2 mm, with a material density of approx. 2800 kg/m^3 , while in application [5], the recommended thickness is 1.5 mm, with a density of the applied material of 1000 kg/m^3 . We would like to point out that at a lower thickness the coating becomes a semi-permeable layer and osmotic processes may occur.

Resistance to long-term load of stored solution upon the tank. In tanks containing water that is actually a solution of various substances (e.g., swimming pools and tanks in sewage treatment plants), polyurea coatings are primarily subjected to hydrostatic pressure, as well as corrosive chemical and microbiological interactions with harmful substances of varying concentrations. The deterioration of the coating can be accelerated by mechanical interactions, such as mixers in sewage treatment plant tanks. For insulation exposed to long-term hydrostatic pressure, both the strength and watertightness of the concrete, as well as the durability of the protective coating are crucial.

Loss of adhesion of polyurea coatings to concrete substrate

Defects in polyurea applications. After a longer period of use, unfavorable phenomena were revealed in some polyurea applications in liquid tanks [6, 7]. Most often, these are

kształceniach konstrukcji betonowej, spowodowanych np. zmianami temperatury. Wszelkie rysy i pęknięcia umożliwiają agresywnym substancjom przedostanie się do betonu, powodując jego degradację i odpajanie powłoki.

Materiały o małej gęstości wiązań polimerowych pozostawiają dużą swobodę przemieszczania się względem siebie poszczególnych cząsteczek materiału (rysunek 1b). Wynikiem tego jest duża elastyczność powłoki, która wraz z pracą podłoża (np. przy jego naprzemiennym rozszerzaniu się i kurczeniu pod wpływem zmiennej temperatury otoczenia) będzie się również rozciągać i kurczyć bez spękania. W takim przypadku konstrukcja betonowa jest skutecznie zabezpieczona przed degradacją i ewentualnym przenikaniem szkodliwych substancji do wód gruntowych. Im mniejsza jest gęstość sieciowania, tym łatwiej jednak o zniszczenie słabiej chronionych cząsteczek przez oddziaływania mechaniczne czy chemiczne (rysunek 1c). Chcąc uzyskać trwałe zabezpieczenie powierzchni powłokami, należy pogodzić wymagania sztywności i elastyczności materiału oraz jej szczelności i odporności chemicznej.

Związek szczelności powłoki polimocznikowej z jej grubością. Osobnym zagadnieniem jest odpowiednia grubość powłoki polimocznikowej. Zasadniczo zaleca się grubość powłoki 2–5 mm w zależności od warunków, jakie stawiane są w projekcie technicznym. Grubość warstw zależy głównie od ilości aplikowanego materiału i sposobu wykonania powłoki (ręcznie, czy maszynowo). Jednym z ważniejszych kryteriów przy projektowaniu grubości powłoki jest agresywność chemiczna środowiska, w którym będzie pełniła funkcja ochronne.

Uwagę zwraca różnica w zalecanej grubości powłoki podawanej przez różnych producentów. W podobnych warunkach środowiskowych, w aplikacji [4] zalecana jest grubość powłoki >2 mm, przy gęstości materiału ok. 2800 kg/m^3 , natomiast w aplikacji [5] zalecana grubość to 1,5 mm, przy gęstości aplikowanego materiału 1000 kg/m^3 . Zwracamy uwagę, że przy mniejszej grubości powłoki staje się ona warstwą półprzepuszczalną i mogą powstać procesy osmotyczne.

Odporność na długotrwałe obciążenie przechowywanym roztworem. W zbiornikach na wodę będącą roztworem różnych substancji (np. baseny kąpielowe, zbiorniki w oczyszczalniach ścieków) podstawowym obciążeniem, jakim są poddane powłoki polimocznikowe, jest ciśnienie hydrostatyczne oraz korozyjne oddziaływania chemiczne i mikrobiologiczne cieczy o różnym stężeniu substancji szkodliwych. Destrukcję powłoki mogą przyspieszać oddziaływania mechaniczne, np. mieszalniki w zbiornikach oczyszczalni. W przypadku wykonywania izolacji na długotrwałe obciążenie ciśnieniem hydrostatycznym istotne są nie tylko wytrzymałość i wodoszczelność betonu, ale także wytrzymałość wykonanej powłoki ochronnej.

Utrata przyczepności powłok polimocznikowych do podłoża betonowego

Usterki w zastosowanych aplikacjach polimocznika. W niektórych aplikacjach polimocznika w zbiornikach na cieczy po dłuższym czasie użytkowania ujawniły się niekorzyst-

detachment of the coating from the substrate in the walls and bottom of the tanks, as well as the appearance of bubbles and blisters filled with water or concrete corrosion products (Photo 2).

Other observed defects include local thickening and narrowing of the coating, small holes and micro-cavities in the coating (Photo 3), infiltrations on the coatings (Photo 4a), as well as multiple coatings applied in the same place.

Defects also appear at the joints between the wall and steel elements (Photo 2b), in the convex and concave corners of the tanks, on re-applied coatings (Photos 4a, b), fillings and coverings of expansion joints, construction joints, scratches and cracks (Photo 4c).

Causes of blistering under polyurea coatings. Osmotic blistering is perhaps the most commonly recognized form of blistering in coatings applied to substrates like concrete and steel, particularly those immersed in or exposed to high-humidity environments over extended periods. The causes of blistering in polyurea coatings can be attributed to various factors, such as [9]:

1) deficient technological design of polyurea application: This primarily refers to the improper selection of repair materials for the cover, bonding layer, and polyurea type. The chosen materials may not be adequately adapted in terms of strength, physical, chemical, or other parameters required to store the intended medium. The properties of the applied materials are detailed in the technical data sheets (TDS) and are selected accordingly to meet the technical requirements of the reinforced surfaces.

2) polyurea waterproofing coatings in reinforced concrete water tanks must meet many requirements, such as: low cap-



Photo 2. Osmotic activity sector – the substrate initiating the blistering process (a) [8]; osmotic bubbles at the junction of the wall with the bottom and steel elements in a tank in a sewage treatment plant (b) [8]

Fot. 2. Sektor aktywności osmotycznej – podłoże inicjujące proces tworzenia pęcherzy (a) [8]; pęcherze osmotyczne w miejscu połączenia ściany z dnem i elementami stalowymi w zbiorniku w oczyszczalni ścieków (b) [8]

ne zjawiska [6, 7]. Najczęściej są nimi odspojenia powłoki od podłoża, w ścianach i dnie zbiorników, bąble oraz pęcherze wypełnione wodą lub produktami korozji betonu (fotografia 2).

Inne zaobserwowane usterki to miejscowe pogrubienie i zwężanie powłoki, małe otwory i mikrowgłębienia w powłoce (fotografia 3), nacieki na powłokach (fotografia 4a), wielokrotne

nakładanie powłok w tym samym miejscu.

Pojawiają się także usterki w miejscach połączeń ściany z elementami stalowymi (fotografia 2b), w miejscach wypukłych i wklęsłych naroży zbiorników, ponownie położonej powłoki (fotografia 4a,b), wypełnienia i pokrycia dylatacji, przerw roboczych, rys i pęknięć (fotografia 4c).

Przyczyny powstawania pęcherzy pod powłoką polimocznikową. Pęcherze osmotyczne są prawdopodobnie najczęściej rozpoznawalnym rodzajem pęcherzy, które występują w powłokach nakładanych na podłoże betonowe, stalowe itp., poddawanych zanurzeniu lub długotrwałemu wystawieniu na działanie środowiska o dużej wilgotności. Przyczyn powstania pęcherzy należy upatrywać w wielu aspektach, takich jak [9]:

1) nieodpowiedni projekt technologiczny aplikacji polimocznika; dotyczy to przede wszystkim nieodpowiedniego doboru materiałów naprawczych otuliny, warstwy szepnej oraz rodzaju polimocznika, który jest niedostosowany pod względem parametrów wytrzymałościowych, fizycznych, chemicznych itp. do magazynowania medium. Właściwości aplikowanych materiałów są opisane w kartach produktów i w miarę szczegółowości tego opisu materiał dobiera się do warunków technicznych wzmacnianych powierzchni;

2) wodochronne powłoki polimocznikowe w żelbetowych zbiornikach na wodę muszą spełnić wiele wymagań, takich jak

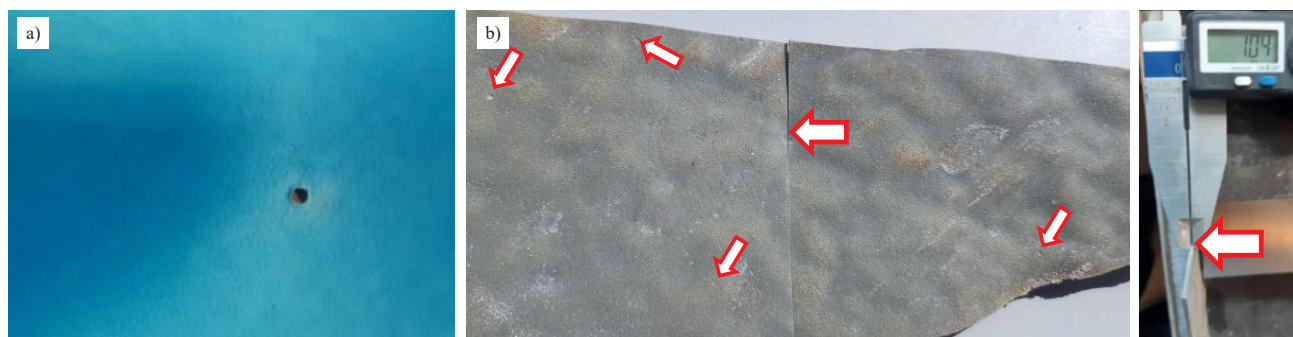


Photo 3. Small holes are the contact point between the pool water and the surface beneath the coating (a) [8]; places of smaller thickness or large defects in the coating caused by the method of applying a polyurea coating, which may be a place of initiation of osmosis (b) [8]

Fot. 3. Małe otwory są miejscem kontaktowym wody w basenie z powierzchnią pod powłoką (a) [8]; miejsca o mniejszej grubości lub duże ubytki w powłoce spowodowane metodą nakładania powłoki polimocznikowej, które mogą być miejscem inicjacji osmozy (b) [8]

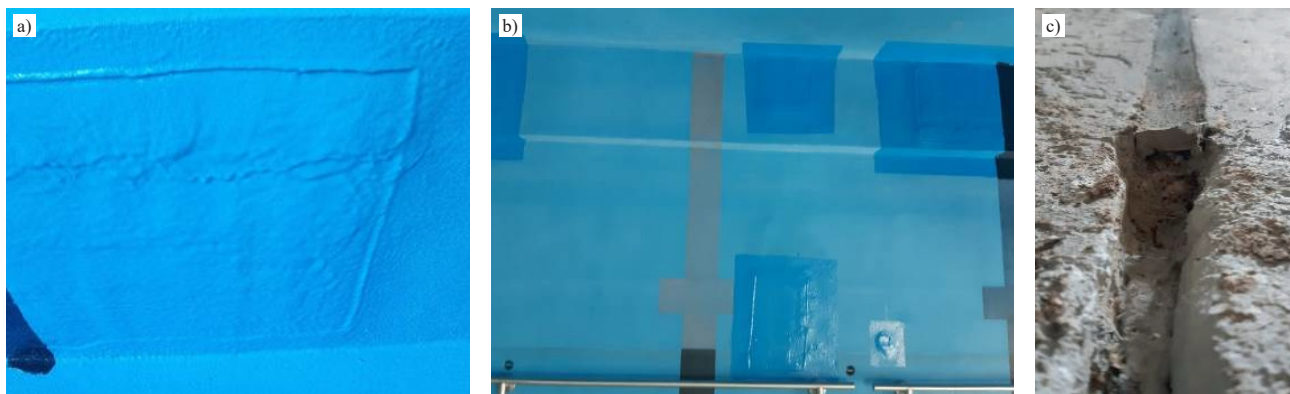


Photo 4. Polyurea applied in place of the removed bladder (a) [8]; patches of re-coating in place of bubbles of detached polyurea (b) [8]; the working break is the place where osmosis or diffusion is initiated (c) [8]

Fot. 4. Nacieki w powłoce i nałożony polimocznik w miejscu usuniętego pęcherza (a) [8]; łaty ponownie położonej powłoki na miejscu pęcherzy odszajonego polimocznika (b) [8]; przerwa robocza miejscem inicjacji osmozy lub dyfuzji (c) [8]

illary water absorption, high abrasion and impact resistance, resistance to chemical aggression and material aging, high adhesion of the coating to the substrate, flexibility, crack-bridging ability, durability and ability to transfer loads to the concrete base. Polyurea membranes can be applied to various types of substrates; however, both the polyurea coating and the concrete base must comply with the specifications outlined in the technical data sheets.

3) another cause of blistering may be the failure to meet the following conditions:

- the moisture content of the concrete before application should be below 4%. (If the moisture content exceeds this, special primers must be used.)
- preparation of the substrate, which should include procedures such as shot-blasting, sandblasting or grinding the surface. The adhesion should be at least 1.5 N/mm².
- relative air humidity during application should not exceed 90%.

4) one of the main causes of blisters is excessive moisture in the concrete slab or high air humidity during the application of polyurea layers. It should be assumed that concrete surfaces with humidity exceeding 5% require separate analysis. Osmosis-triggering liquid particles are most commonly formed when hot polyurea is applied to a damp substrate, or from moisture trapped in construction and technological joints, expansion joints, cracks, cavities, and caverns on the concrete surface. In this case, the sources of liquid droplets may include:

- droplets of unbound liquid in one of the two substances mixed during the application of polyurea;
- thermal gradients (temperature differences) on the coated surface;
- water condensing due to the cold wall effect;
- moisture in the air bubbles of aerated concrete;
- water attracted by capillary action and migrating under the bonding layer in porous concrete;
- water or moisture migrating beneath the polyurea coating due to its insufficient thickness;
- water penetrating through the walls or bottom of the tank from the outside, beneath the polyurea coating.

mała absorpcja kapilarna wody, duża odporność na ścieranie i uderzenia oraz na agresję chemiczną i starzenie się materiału; duża przyczepność powłoki do podłoża, elastyczność, zdolność do mostkowania rys, trwałość oraz zdolność do przeniesienia obciążeń na podkład betonowy. Membrany polimocznikowe można aplikować na każdy rodzaj podłoża. Zarówno aplikowana powłoka polimocznikowa, jak i betonowy podkład powinny spełniać wymagania opisane w kartach produktów.

3) kolejną przyczyną powstania pęcherzy może być niespełnienie następujących warunków:

- przed rozpoczęciem powlekania wilgotność betonu musi wynosić < 4% (przy większej wilgotności zachodzi konieczność stosowania specjalnych podkładów gruntujących);
- podłoża wymagają przygotowania np. przez śrutowanie, piaskowanie lub szlifowanie powierzchni; przyczepność nie może być mniejsza niż 1,5 N/mm²;
- wilgotność względna powietrza nie większa niż 90%;

4) jedną z głównych przyczyn powstawania pęcherzy jest również zbyt wilgotna płyta betonowa lub zbyt duża wilgotność powietrza w trakcie aplikacji warstw polimocznika. Należy przyjąć, że powierzchnie betonowe o wilgotności przekraczającej 5% wymagają osobnej analizy. Cząsteczki cieczy uruchamiającej osmozę tworzą się najczęściej podczas aplikacji gorącego polimocznika na wilgotne podłożo, na wilgoć zmagazynowaną w stykach przerw roboczych i technologicznych, w dylatacjach, rysach, ubytkach i kawernach na powierzchni betonu. W tym przypadku źródłami tworzenia się kropeł cieczy mogą być:

- krople cieczy niezwiązanej w jednej z dwóch substancji wymieszanej podczas aplikacji polimocznika;
- gradienty termiczne (różnice temperatur) na pokrytej powłoką powierzchni;
- woda skraplająca się wskutek efektu *zimnej ściany*;
- wilgoć w pęcherzykach powietrza betonu napowietrzanego;
- woda przyciągana kapilarnie i migrująca pod warstwę szczepną w porowatych betonach;
- woda lub wilgoć migrująca pod powłokę polimocznikową z powodu zbyt małej grubości;
- woda przenikająca przez ściany lub dno z zewnątrz do zbiornika;

5) among the construction errors made during the spraying of polyurea onto primer layers, and the factors related to the polyurea application that influence the initiation of blister formation, the most important are:

- component particles torn off by strong wind from the nozzle applying polyurea;
- excessive air humidity in the room during application;
- use of expired polyurea;
- air bubbles together with dust particles and moisture condensing due to low temperature or high relative humidity during application;
- water penetrating through poorly detailed connections between the concrete primer and steel or concrete elements protruding beyond the perimeter of the primer;
- excessive loss of volatile materials during application, which prevents the coating components from binding;
- uneven drying of polyurea across its thickness, which causes unbound solvent to trap water vapor bubbles, leading to the accumulation of substances such as salt;
- non-binding polyurea coatings applied several times in one place.

Reservations regarding the application of polyurea using specialized equipment are often overlooked, even though they can significantly affect the quality of the coating. The most critical of the many issues that may arise from the use of improper application equipment include:

- inappropriate temperature in the mixing nozzle;
- faulty equipment for the application of polyurea by spraying, including decalibrated nozzles, worn mixing chambers, old hoses, etc.;

6) other factors that cause the separation of the applied polyurea coating from the concrete base, leading to the formation of blisters include:

- tensile stresses occurring on the surface, exceeding the bridging capacity of the coating;
- different concrete strength across the thickness of the cover reaches up to 20% [8];
- large variations in the quantity, quality and diameter of aggregate in the cover resulting from the fact that the aggregate settles below the top layer of the slab during pouring and vibrations;
- lack of adhesion of the polyurea coating to the substrate;
- loss of volatile substances due to high temperature or wind.

Conclusions

The application of polyurea coatings in facilities exposed to continuous contact with liquids, including water, demands significant attention, expertise, and experience. Proper selection of the polyurea type, thorough substrate preparation, and precise application are essential, as these processes inherently involve challenges such as osmosis, diffusion, and corrosion. Since polyurea coatings age over time, expertise in their design and implementation is crucial to ensure durability and performance.

5) spośród błędów wykonawczych popełnianych podczas natrysku polimocznika na warstwy podkładu i czynników związanych z aplikacją polimocznika mających wpływ na inicjację zjawiska powstawania pęcherzy najważniejsze są:

- cząstki komponentu oderwane podczas silnego wiatru od dyszy nakładającej polimocznik;
- zbyt duża wilgotność powietrza w pomieszczeniu podczas aplikacji;
- użycie przeterminowanego polimocznika;
- pęcherzyki powietrza wraz z cząstkami kurzu i wilgocią wykraplającą się z powodu niskiej temperatury lub dużej wilgotności względnej podczas aplikacji;
- woda penetrująca przez niedopracowanie szczegółów połączeń podkładu betonowego z elementami stalowymi lub betonowymi wystającymi poza obrys podkładu;
- zbyt duża utrata części lotnych materiałów podczas aplikacji, która powoduje niezwiązanie składników powłoki;
- nierównomierne wysychania polimocznika na grubości, które powoduje, że rozpuszczalnik niezwiązany wytwarza uwięzione pęcherzyki pary wodnej, gromadzące roztwór np. soli;
- niewiążące ze sobą powłoki polimocznikowe kilkakrotnie położone w jednym miejscu.

Zastrzeżenia związane z aplikacją polimocznika przy użyciu sprzętu specjalistycznego są najczęściej niezauważone, choć mogą decydować o jakości wykonanej powłoki. Najważniejsze spośród kilkudziesięciu usterek, jakie mogą być następstwem nieodpowiedniego sprzętu aplikującego, są:

- nieodpowiednia temperatura w dyszy mieszającej;
- niesprawny sprzęt do aplikacji polimocznika metodą natryskową, w tym rozkalibrowane dysze, zużyte komory mieszania, stare węże itp.;

6) inne czynniki powodujące oddzielenie się powłoki aplikowanego polimocznika od podkładu betonowego, co skutkuje powstawaniem pęcherzy:

- powstające na powierzchni naprężenia rozciągające, przekraczające możliwości mostkowania powłoki;
- różna wytrzymałość betonu na grubości otuliny, osiągnęła nawet 20% [8];
- znaczna sedymentacja kruszywa w otulinie podczas wibracji;
- brak adhezji powłoki polimocznikowej do podłoża;
- utrata substancji lotnych spowodowana wysoką temperaturą lub wiatrem.

Wnioski

Stosowanie powłok polimocznikowych w obiektach poddanych stałemu oddziaływaniu cieczy, w tym wody, wymaga dużej uwagi, wiedzy i doświadczenia podczas doboru odpowiedniego rodzaju polimocznika, przygotowania podłoża i wykonania aplikacji, któremu towarzyszą zawsze zjawiska osmozy, dyfuzji i korozji. Powłoki z polimocznika ulegają starzeniu, dlatego bardzo ważne jest doświadczenie w ich projektowaniu i wykonywaniu.

Znając przyczyny utraty przyczepności powłok polimocznikowych do betonowego podłoża w zbiornikach na wodę

By understanding the causes of adhesion loss in polyurea coatings applied to concrete substrates in tanks containing chemically aggressive water, the following conclusions can be drawn to help avoid the most common mistakes:

1) the substrate exposed to water or moisture penetration should be covered with a tight primer coating, which will prevent, among other things, water diffusion from the primer to the polyurea coating;

2) in the case of excessive moisture in the reinforced concrete slab, osmosis can be expected in the future in the slab in the direction from the slab to the protective layers;

3) the applied polyurea should be of an appropriate thickness, depending on the water pressure acting on the structure and the concentration of soluble salts;

4) the coating should be free of micropores and holes, with meticulous attention to detail, such as the connections between elements sealed by the polyurea;

5) it is necessary to plan periodic inspections of the technical condition of the coatings in connection with the possibility of the occurrence of osmosis or diffusion.

Repairing polyurea coatings is as challenging and demanding as their initial application. Therefore, ongoing monitoring of damages and addressing their root causes are crucial. This is especially important, as polyurea coatings play a key role within the waterproofing materials category.

Received: 01.10.2024

Revised: 28.10.2024

Published: 20.12.2024

chemicznie agresywną, można sformułować następujące wnioski, które pozwolą ustrzec się przed najczęściej popełnianymi błędami:

1) podłoże narażone na penetrację wody lub wilgoci powinno być pokryte szczelną powłoką gruntującą, która zapobiegnie m.in. dyfuzji wody z podkładu do powłoki polimocznikowej;

2) w przypadku nadmiernej wilgoci w płycie żelbetowej można w przyszłości spodziewać się pojawienia się osmozy w płycie w kierunku od płyty do warstw ochronnych;

3) aplikowany polimocznik powinien mieć odpowiednią grubość w zależności od ciśnienia wody oddziałującej na konstrukcję i stopnia stężenia rozpuszczalnych soli;

4) powłoka powinna być bez mikropór, otworów, ze staranym wykonaniem szczegółów, np. połączeń elementów, które polimocznik uszczelnia;

5) w związku z możliwością pojawienia się osmozy lub dyfuzji należy planować okresowe przeglądy stanu technicznego powłok.

Naprawy powłok polimocznikowych równie trudne jak pierwsza aplikacja powłoki wymagają dużego doświadczenia ekip remontowych. Z tego względu ważne są dalsze obserwacje uszkodzeń i eliminacja przyczyn tych uszkodzeń w powłokach polimocznikowych, gdyż stanowią one ważny materiał w grupie powłok hydroizolacyjnych.

Artykuł wpłynął do redakcji: 01.10.2024 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 28.10.2024 r.

Opublikowano: 20.12.2024 r.

Literature

[1] Banera J, Maj M, Ubysz A. Powłoki polimocznikowe w budownictwie, BASF 2018.

[2] Zalecenia stosowania płynnych membran hydroizolacyjnych na bazie polimocznika, https://pol.sika.com/dms/getdocument.get/33e54bd2-87bf-3f65-885e-749ca3c84d29/MS_2010-10_Aplikacja_LAM_Sikalastic_PL.pdf

[3] Kreijger PC. Inhomogeneity in Concrete and Its Effect on Degradation: A, Review of Technology, International Conference on the Protection of Concrete, pages 87-99, Dundee, Scotland, 1990.

[4] Karta techniczna MasterSeal M790, membrana Xolotec, 2019.; <https://assets.construction-chemicals.mbcc-group.com/pl-pl/tds%20mbs%20pl%20masterseal%20m%20790.pdf>

[5] Karta techniczna TECNOCOAT P-2049, 2011.; https://www.google.com/search?q=TECHNOCOAT+P-2049&rlz=1C1GCEU_plPL1034PL1034&oq=TECHNOCOAT+P-2049&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUY-

OTIICAEQABgNGB4yCggCEAAyAQYogQyCggDEAAyAQYogQyCggEEAAyAQYogTSAQgINDYzajBqN6gCALACAA&sourceid=chrome&ie=UTF-8

[6] Finch G, Hubbs B, Bombino R. Osmosis and the Blistering of Liquid Applied Polyurethane Roof Membranes, Building Engineering Ltd. Vancouver, BC BEST2 Portland April 2010, https://cdn.ymaws.com/www.nibs.org/resource/resmgr/BEST/BEST2_WB11-1.pdf

[7] J. D. Machen Common Causes of Blistering and Bubbling in Industrial Coatings, Coating Failure Coatings, Posted By Jim Machen - July 12, 2016, <https://kta.com/kta-university/blistering-bubbling-coatings/>

[8] Stawiski B. Gradienty wytrzymałości betonu w posadzkach przemysłowych, Materiały Budowlane, Zeszyt 11, DOI. 10.15199/33.2017.11.09

[9] Maj M, Ubysz A. The reasons for the loss of polyurea coatings adhesion to the concrete substrate in chemically aggressive water, tanks Elsevier, Engineering Failure Analysis, Volume 142, December 2022, doi. org/10.1016/j.engfailanal.2022.106774