

mgr inż. Aleksandra Ubysz^{1*)}
 dr hab. inż. Marek Maj, prof. uczelni²⁾
 ORCID: 0000-0002-4151-7298
 prof. dr hab. inż. Andrzej Ubysz²⁾
 ORCID: 0000-0003-3063-0946

Physical and chemical aspects of polyurea coating design

Fizyczne i chemiczne aspekty przy projektowaniu powłok polimocznikowych

DOI: 10.15199/33.2026.03.06

Abstract. Over the past decade or so, polyurea coatings have become a highly popular insulating material in the construction market. Despite the specialized application technology, these coatings enjoy popularity due to their versatile physical properties and high resistance to mechanical and chemical loads. An additional advantage of polyurea is the possibility of applying it not only on even flat substrate. However, several preliminary assumptions must be met to avoid negative consequences both during installation and use.

Keywords: polyurea coatings; polyurea properties; durability of waterproof insulation.

Polyurea is a chemical compound obtained from the chemical reaction of an isocyanate and a resin. In the case of waterproofing coatings, it is most often the reaction product of aromatic or aliphatic isocyanates or isocyanate prepolymers with an amino resin. The Polyurea Development Association defines pure polyurea as a polymer derived from the reaction of a polyisocyanate component and an amino resin terminated with amino groups. This material is applied at elevated temperatures using two-nozzle pumps. It is most often used as an internal waterproofing jacket in tanks and swimming pools, as a roof covering, and sometimes as a thermal insulation shield (e.g., polyurethane foam).

Parameters essential for coating design

A waterproofing coating acts as a barrier against water penetration. Currently, modern waterproofing materials should be: resilient (flexible); It must have the ability to bridge cracks under static and cyclic loads; be resistant to thermal, chemical, UV radiation, and freeze-thaw cycles (frost resistance), as well as long-term water exposure; and ensure adhesion to various substrates and color stability.

Elasticity and flexibility are not synonymous. Elastic deformation of construction materials generally refers to the deformation of interatomic bonds, and in the case of polyurea, it refers to the straightening of macromolecular chains (figure). The elongation of the material to break is

¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny

²⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

*) Correspondence address: aleksandra-ubysz@wp.pl

Streszczenie. W ostatnich kilkunastu latach materiałem izolacyjnym, który zdobył dużą popularność na rynku budowlanym, jest polimocznik. Powłoki polimocznikowe, pomimo specjalistycznej technologii aplikacji, cieszą się powodzeniem ze względu na uniwersalne cechy fizyczne i chemiczne oraz dużą wytrzymałość na obciążenia mechaniczne. Dodatkową zaletą polimocznika jest możliwość nanoszenia go nie tylko na równe podłoża. Nie ma też rygorystycznych zaleceń dotyczących wstępnego przygotowania podłoża. Należy jednak spełnić kilka wstępnych wymagań, które pozwolą uniknąć późniejszych negatywnych skutków zarówno podczas układania warstw izolacyjnych, jak i ich użytkowania.

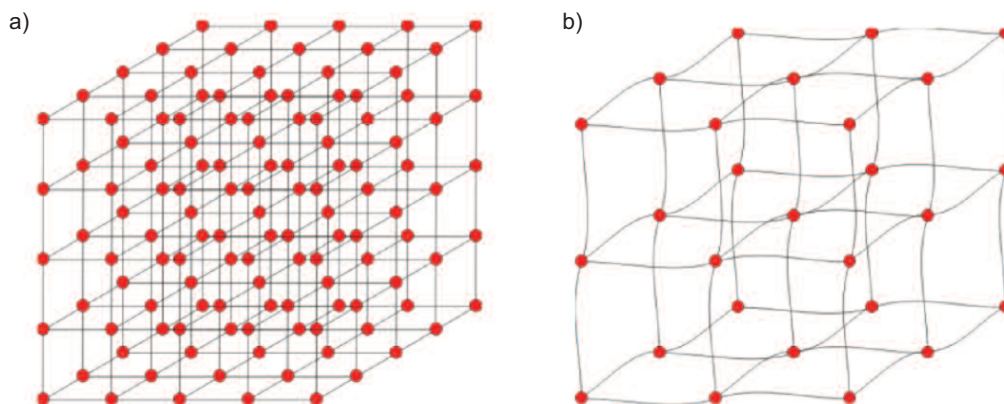
Słowa kluczowe: powłoki polimocznikowe; właściwości polimocznika; trwałość izolacji wodoszczelnych.

Polimocznik jest związkiem chemicznym otrzymanym w wyniku reakcji chemicznej izocyjanianu i żywicy. W przypadku powłok hydroizolacyjnych jest to najczęściej produkt reakcji izocyjanianów aromatycznych, alifatycznych lub prepolimerów izocyjanianów z żywicą aminową. *Polyurea Development Association* (Stowarzyszenie Rozwoju Polimocznika) definiuje czysty polimocznik jako polimer pochodzący z reakcji składnika poliizocyjanianowego i żywicy aminowej zakończonej grupami aminowymi. Materiał ten aplikowany jest w podwyższonej temperaturze dwudyszowymi pompami. Najczęściej stosuje się go jako wewnętrzny płaszcz hydroizolacyjny w zbiornikach i basenach lub jako pokrycie dachu, a niekiedy osłonę izolacji termicznej (np. pianki poliuretanowej).

Parametry niezbędne przy projektowaniu powłok

Powłoka hydroizolacyjna stanowi zaporę przed przenikaniem wody. Obecnie nowoczesne materiały hydroizolacyjne powinny być: sprężyste (elastyczne); mieć zdolność przeskakiwania rys przy obciążeniach statycznych, a także cyklicznych; wykazywać się odpornością: termiczną, chemiczną, na promieniowanie UV oraz na długotrwałe obciążenie wodą; zapewniać adhezję do różnych podłoży i stabilność kolorystyczną.

Sprężystość i elastyczność nie są synonimami. Odształcenia sprężyste materiałów konstrukcyjnych dotyczą z reguły odształceń wiązań międzyatomowych, a w przypadku polimocznika są prostowaniem łańcuchów makrocząsteczek (rysunek). Mierzy się wydłużenie materiału do zerwania. Pomiar przeprowadzany jest w określonym reżimie, ale w prak-



Network of polymer bonds in: a) rigid; b) flexible material [1]
Sieć wiązań polimerowych w materiale: a) sztywnym; b) elastycznym [1]

measured. The measurement is performed within a specific regime, but in practice, it is approximate, as factors such as temperature, deformation rate, method of attachment to the substrate, and the chemical composition of the substance in contact with the polyurea have a significant impact on the break during use. The chemical cross-linking process on the structural, mechanical, and chemical properties of polyurea applied by spraying has been the subject of research [2].

Crack-bridging ability is of great practical importance in the event of "wild" expansion. Most polyurea coatings are classified in the highest class, A5, in which the crack width is greater than 2.5 mm at a crack expansion rate of 0.5 mm/min at -10°C . Additionally, crack-bridging ability under cyclic loading is determined (photo 1). Tests for 1,000 cycles ($v = 0.03 \text{ Hz}$; $T = -20^{\circ}\text{C}$) with a maximum horizontal crack opening of $w = 0.5 \text{ mm}$ and a further 20,000 cycles ($v = 1 \text{ Hz}$) qualify most polyurea coatings for the highest class B 4.2 according to EN 1062-7, method B [3].

When designing polyurea coatings, the thermal conditions in which they will be used should be taken into account. Although short-term exposure up to 180°C is

tyce ma charakter przybliżony, gdyż podczas użytkowania materiału duży wpływ na zerwanie mają takie czynniki, jak np. temperatura, prędkość odkształceń, sposób mocowania do podłoża, skład chemiczny substancji mającej kontakt z polimocznikiem. Proces sieciowania chemicznego na strukturalne, mechaniczne i chemiczne cechy polimocznika aplikowanego metodą natrysku był przedmiotem badań [2].

Zdolność do przesklepiania rys ma duże znaczenie praktyczne w przypadku powstania „dzikiej” dylatacji. Większość powłok polimocznikowych znajduje się w najwyższej klasie A5, w której szerokość pokrywanej rysy jest większa niż 2,5 mm przy prędkości rozszerzania rysy 0,5 mm/min w temperaturze -10°C . Dodatkowo oznacza się zdolność przesklepiania rys przy obciążeniach cyklicznych (fotografia 1). Badania w przypadku 1000 cykli ($v = 0,03 \text{ Hz}$; $T = -20^{\circ}\text{C}$) przy maksymalnym rozwarciu rysy podkładu w kierunku poziomym $w = 0,5 \text{ mm}$ oraz kolejnych 20 000 cykli ($v = 1 \text{ Hz}$) kwalifikują większość powłok polimocznikowych do najwyższej klasy B 4.2 wg EN 1062-7, metoda B [3].

Przy projektowaniu powłok polimocznikowych należy brać pod uwagę warunki termiczne, w których będą one użytkowane. Pomimo że dopuszczalne jest krótkotrwałe ob-

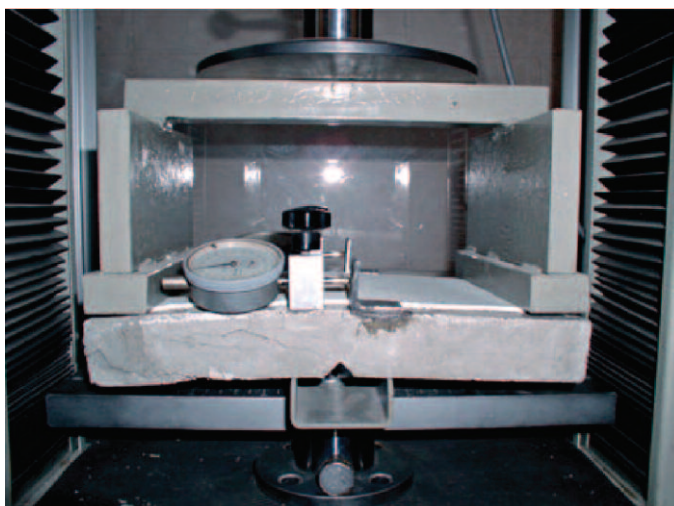


Photo 1. Cyclic testing of polyurea coating [1]
Fot. 1. Cykliczne badania powłoki polimocznikowej [1]

permissible, the basic limit is considered to be 80 – 120°C. The more humid the environment, the greater the reduction in heat resistance, while continuous contact with hot water allows for a temperature of 60°C.

Frost resistance is also taken into account. In this case, tests conducted in accordance with EN 1542 [4] and EN 13687/1 [5] assuming a concrete substrate strength greater than 3 MPa showed that failure occurred due to substrate damage.

Adhesion tests confirmed **good adhesion of the polyurea coating** to substrates made of various materials (concrete, various types of metal, PVC, bituminous felt, etc.), as well as irregularly shaped substrates (photo 2). During tests for detachment from a concrete substrate with a characteristic strength of $f_{ck} > 50$ MPa, detachment occurred due to exceeding the tensile strength of the concrete. No detachment of the coating was observed under tangential loads, e.g., on car park surfaces (photo 3).

Polyurea coatings should be resistant to **ultraviolet radiation**, which causes photochemical reactions in their structure. Exposure to UV radiation causes a color change but does not alter the physical properties of the material. Tests performed in accordance with EN 1062/11 [6] showed that exposure to ultraviolet radiation for 2000 hours does not cause blistering on the coating surface or other surface structure disturbances.

Although clear numerical values or ranges are expected when parameterizing physical properties, it should be noted that for some physical quantities, such as crack bridging, UV resistance, the number of variable factors (e.g., the range of variation in coating thickness, temperature, humidity), as well as their dynamics over time, result in test values being obtained with a certain tolerance. The tests presented in this article do not exhaust the expectations of investors, designers, and contractors. The diffusion resistance

ciężenie do 180°C, to uważa się, że podstawowa granica wynosi 80 ÷ 120°C. Im bardziej wilgotne jest środowisko, tym bardziej zmniejsza się odporność na wysoką temperaturę, a przy stałym kontakcie z gorącą wodą dopuszcza się temperaturę 60°C.

Na drugim biegunie jest uwzględnianie **mrozoodporności**. W tym przypadku badania wykonane zgodnie z normami EN 1542 [4] i EN 13687/1 [5] przy założeniu wytrzymałości podłoża betonowego większej niż 3 MPa wykazały, że zniszczenie następowało wskutek uszkodzenia podłoża.

Badania adhezji potwierdziły **dobrze przyleganie powłoki polimocznikowej do podłoży** z różnych materiałów (beton, różne rodzaje metali, PVC, papa bitumiczna itp.), jak i o nieregularnym kształcie (fotografia 2). Podczas prób na odrywaniu od podłoża betonowego, o wytrzymałości charakterystycznej $f_{ck} > 50$ MPa, następowało ono wskutek przekroczenia wytrzymałości na rozciąganie w betonie. Nie stwierdzono też odrywania powłoki przy obciążeniu siłami stycznymi, np. na nawierzchniach parkingów samochodowych (fotografia 3).

Powłoki polimocznikowe powinny być **odporne na promieniowanie ultrafioletowe** powodujące w ich strukturze reakcje fotochemiczne. Oddziaływanie promieniowania UV wpływa na zmianę barwy, ale nie zmienia właściwości fizycznych materiału. Badania wykonywane zgodnie z EN 1062/11 [6] wykazały, że oddziaływanie promieniowania ultrafioletowego przez 2000 h nie powoduje powstawania pęcherzy na powierzchni powłoki oraz innych naruszeń struktury powierzchniowej.

Wprawdzie przy parametryzacji cech fizycznych oczekuje się jednoznacznych wartości liczbowych lub ich zakresów, to należy mieć na uwadze, że w przypadku niektórych wielkości fizycznych, jak mostkowanie pęknięć, odporność na promieniowanie UV, liczba zmiennych czynników (np. zakres zmienności grubości powłoki, temperatury, wilgotności), a także ich dynamika w czasie sprawiają, że wartości z badań otrzymuje się z pewną tolerancją. Przedstawione w artykule badania nie wyczerpują oczekiwań inwestorów, projektantów i wykonawców.

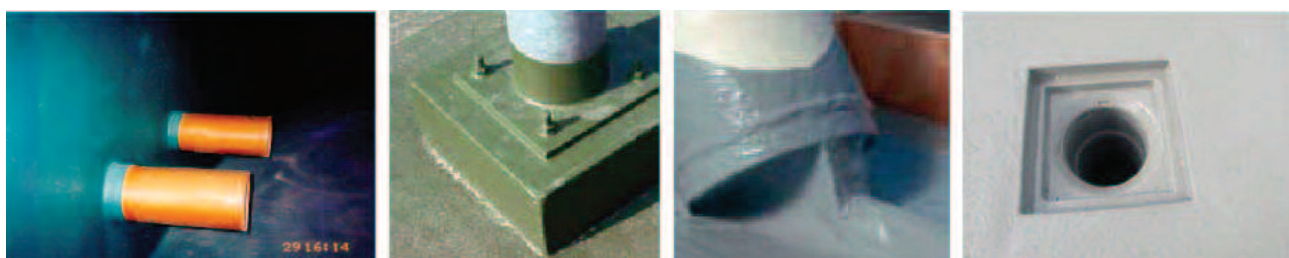


Photo 2. Insulation of construction details made on various substrates [1]

Fot. 2. Izolacja szczegółów konstrukcyjnych wykonana na różnych podłożach [1]



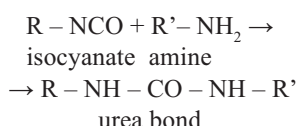
Photo 3. Polyurea parking surface made using Overspray technology [1]

Fot. 3. Polimocznikowa nawierzchnia parkingów wykonana w technologii Overspray [1]

coefficient, water tightness, tensile strength, and low-temperature flexibility should be tested, among other things. Other parameters of polyureas expected by users and provided by manufacturers often include adhesive strength after freeze-thaw cycles, CO₂ permeability, water vapor permeability, capillary water absorption, impact resistance, and hardness.

Chemical Aspects in Coating Design

The polyurea bonding reaction (addition polymerization) occurs at elevated temperatures and can be schematically represented as the combination of component A (isocyanate or diisocyanate) with component B, which is a polyamine.



where:

R – a rigid aromatic or aliphatic molecular element;

R' – a long, flexible chain (polyether) that gives the material flexibility

Polyurea is an elastomer. In the aromatic system, the isocyanate components are prepolymers based on methylenediphenyl diisocyanate (MDI), while in the aliphatic system, they are prepolymers of hexamethylene diisocyanate (HDI) or isophorone diisocyanate (IPDI), which constitute the rigid segment of the chain. The choice of isocyanate prepolymer influences most of the properties of the finished polyurea product.

When designing and applying polyurea layers, it is important to note that:

- the use of multiple reactive prepolymers increases the stress in the system, resulting in brittle coatings within the first 24 hours after application and a rapid gelation time, which can result in an unsightly surface appearance. The percentage of NCO groups in the material components influences its stiffness and reactivity. Generally, the content of isocyanate groups in prepolymers used for polyurea production is 8 ÷ 20%;

- the selection of isocyanate groups for prepolymers is closely related to the planned parameters and intended use of the polyurea. The prepolymer backbone determines the resistance of the finished coating to solvents;

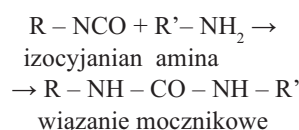
- the isocyanate group can react with water. To compensate for losses during storage, prepolymers with an excess of NCO groups are used. The content of these groups can be determined using infrared (IR) vibrational spectroscopy, based on the intensity of the bands originating from the stretching vibrations of the NCO groups. As the polymers are stored for longer, the intensity of these bands decreases, indicating the deactivation of some of the NCO groups;

- the amine component used in polyurea production is much more complex than the isocyanate component. The polyamine composition includes: high-molecular-weight polyetheramine and low-molecular-weight polyetheramine. Due to its elastic properties, high-molecular-weight

Przebadane powinny być m.in. współczynnik oporu dyfuzyjnego, wodoszczelność, wytrzymałość na rozciąganie, elastyczność w niskiej temperaturze. Z innych oczekiwanych przez użytkowników i zapewnianych przez producentów parametrów polimoczników często wymienia się także wytrzymałość adhezyjną po cyklach zamrażania-rozmrażania, przepuszczalność CO₂, przepuszczalność pary wodnej, kapilarna absorpcja wody, odporność na uderzenia, twardość.

Aspekty chemiczne przy projektowaniu powłok

Reakcja wiązania polimocznika (polimeryzacja addycyjna) zachodzi w podwyższonej temperaturze i schematycznie można ją przedstawić jako połączenie składnika A (izocyjanian lub diizocyjanian) ze składnikiem B, jakim jest poliamina.



gdzie:

R – sztywny element cząsteczki aromatyczny lub alifatyczny;

R' – długi, giętki łańcuch (polieterowy) nadający materiałowi elastyczność.

Polimocznik jest elastomerem. W układzie aromatycznym składnikami izocyjanianowymi są prepolimery na bazie diizocyjanianu metylenodifenylu (MDI), natomiast w układzie alifatycznym – prepolimery diizocyjanianu heksametyleny (HDI) lub diizocyjanianu izoforonu (IPDI) i stanowią one sztywny segment łańcucha. Wybór prepolimeru izocyjanianowego wpływa na większość właściwości gotowego wyrobu z polimocznika.

W przypadku projektowania i układania warstw polimocznika należy zwracać uwagę na to, że:

- zastosowanie wielu reaktywnych prepolimerów zwiększa naprężenie w systemie i w efekcie powłoka jest krucha w ciągu pierwszych 24 h po nałożeniu, a także wpływa na szybki czas żelowania, co może spowodować brzydki wygląd powierzchni. Procentowy udział grup NCO w komponentach materiału ma wpływ na jego sztywność i reaktywność. Na ogół zawartość grup izocyjanianowych w prepolimerach stosowanych do produkcji polimocznika wynosi 8 ÷ 20%;

- wybór grup izocyjanianowych do prepolimerów jest ściśle związany z planowanymi parametrami i zamierzonym sposobem zastosowania polimocznika. To szkielet prepolimeru decyduje o odporności gotowej powłoki na rozpuszczalniki;

- grupa izocyjanianowa może reagować z wodą. W celu rekompensaty strat podczas przechowywania stosuje się prepolimery z nadmiarem grup NCO. Zawartość tych grup można określić za pomocą metody spektroskopii oscylacyjnej w podczerwieni (IR), na podstawie intensywności pasm pochodzących od drgań rozciągających grup NCO. Wraz z upływem czasu przechowywania polimerów, intensywność tych pasm maleje, co świadczy o dezaktywacji części grup NCO;

- składnik aminowy do produkcji polimocznika jest bardziej złożony niż składnik izocyjanianowy. W skład wieloaminy wchodzi: polieteroamina o dużym ciężarze cząsteczkowym oraz o małym ciężarze cząsteczkowym. Polieteroamina o dużym ciężarze cząsteczkowym, ze względu

polyetheramine constitutes a soft segment of the chain, while low-molecular-weight polyetheramine acts as a chain extender. The choice of amines is crucial for processing and the subsequent properties of the finished polyurea product;

- to avoid a photochemical reaction, which results in, among other things, color change, an aliphatic coating can be designed as an insulating layer, which will ensure color stability in exposed objects such as swimming pools or tanks (photo 4); in recent years, research has also been undertaken on the aging process of polyurea coatings with the interaction of fibers and basalt powders [7];

- pigments and additives must be used sparingly to avoid having an excessive impact on the material's viscosity, which is very important during application. A large amount of reinforcing fillers or additives can be added to the system as a third component;

- chain extenders are crucial for the reactivity and properties of polyurea. Diethyltoluenediamine (DETDA), typically used in the formulation of aromatic polyureas, increases the thermal resistance of the finished product;

- studies of physiochemical properties [8] have also confirmed the effectiveness of polyurea coatings in protecting concrete from moisture absorption; they also increase its resistance to atmospheric and chemical factors.

na właściwości elastyczne, stanowi miękki segment łańcucha, natomiast polieteroamina o niewielkim ciężarze cząsteczkowym, to środek wydłużający łańcuch. Wybór amin ma kluczowe znaczenie w przypadku przetwarzania i późniejszych właściwości gotowego produktu z polimocznika;

- aby uniknąć reakcji fotochemicznej, której skutkiem jest m.in. zmiana barwy, jako warstwę izolacyjną można zaprojektować powłokę alifatyczną, która pozwoli na stabilność barwy w wyeksponowanych obiektach, takich jak baseny czy zbiorniki (fotografia 4); w ostatnich latach podjęto również badania procesu starzenia powłok polimocznikowych z interakcją włókien i proszków bazaltowych [7]

- pigmenty i dodatki muszą być stosowane w ograniczonym zakresie, aby nie miały zbyt dużego wpływu na lepkość materiału, co jest bardzo istotne podczas aplikacji. Dużą ilość wypełniaczy wzmacniających lub dodatki można dozować do układu jako trzeci składnik;

- przedłużacze łańcucha są kluczowe w przypadku reaktywności i właściwości polimocznika. Diethyltoluenodiamina (DETDA), stosowana przeważnie w preparacie aromatycznych polimoczników, zwiększa odporność termiczną gotowego produktu;

- badania cech fizykochemicznych [8] potwierdziły również skuteczność powłok polimocznikowych do ochrony betonu przed absorpcją wilgoci; zwiększają także jego odporność na czynniki atmosferyczne i chemiczne.

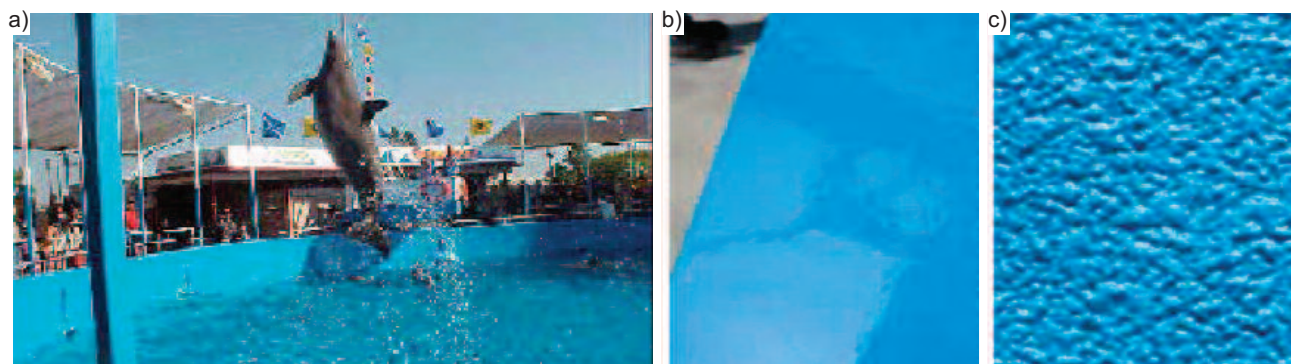


Photo 4. Aliphatic polyurea coating in a dolphinarium (a); smooth (b); anti-slip texture of the polyurea coating (c) [1]
Fot. 4. Alifatyczna powłoka polimocznikowa w delfinariu (a); gładka (b); antypoślizgowa faktura powłoki polimocznikowej (c) [1]

Notes on the application of polyurea coatings

Coating detachment is most often caused by:

- faulty preparation of the components;
- pressure under the coating resulting from capillary action;
- water vapor migration;
- corrosion processes in concrete and steel;
- processes initiated by anaerobic bacteria;
- diffusion and osmosis in concrete,
- faulty or worn-out equipment for spraying polyurea onto the surface;
- too low or too high an environmental temperature during application.

The above-mentioned errors primarily result in the progressive formation of bubbles on the polyurea coating. The most common errors include insufficient tensile strength of the

Uwagi dotyczące aplikacji powłok polimocznikowych

Zdarzające się odspojenia powłoki są najczęściej spowodowane:

- wadliwym przygotowaniem komponentów;
- ciśnieniem pod powłoką wynikającym z podciągania kapilarnego;
- migracją pary wodnej;
- procesami korozyjnymi w betonie i stali;
- procesami zainicjowanymi przez beztlenowe bakterie;
- dyfuzją i osmozą w betonie,
- niesprawnym użytym urządzeniem do natryskiwania polimocznika na powierzchnię;
- zbyt niską lub zbyt wysoką temperaturą środowiska podczas aplikacji.

Następstwem wymienionych błędów jest przede wszystkim postępująca ekspozycja pęcherzy na powłocę polimocznika. Naj-

substrate, substrate moisture content inconsistent with the specifications in the technical data sheet, and lack of insulation against osmotic pressure and negative pressure. Particular attention should be paid to osmosis occurring in settling tanks and reactors, which is the diffusion (usually of water) through a semi-permeable membrane separating solutions of varying concentrations. Balancing their concentration is a physico-chemical process that often leads to the formation of bubbles under the coating. Assuming a polyurea coating thickness of $g = 2$ mm, a bubble diameter of $d = 50$ mm, and a polyurea tensile strength of $f = 25$ MPa, and using the formula for the relationship between pressure p and thickness t in a sphere loaded with internal pressure, the pressure p can be estimated:

$$p = g \cdot 4 \cdot g/d = 0,002 \cdot 4 \cdot 25/0,05 = 4 \text{ MPa} \quad (1)$$

The opposing hydrostatic pressure from water in a tank with a height of $H = 4$ m is:

$$p_h = \gamma \cdot H = 0,01 \cdot 4 = 0,04 \text{ MPa} \quad (2)$$

After taking into account the adhesion forces to the concrete of $1.5 \div 3$ MPa, the pressure that separates the polyurea from the substrate is approximately 2 MPa.

$$\Delta p_h = p - (p_h + 2) = 4 - (0,07 + 2) = 1,93 \text{ MPa} \quad (3)$$

The long-term osmosis process causes an increasingly wide range of detachment of the coating from the substrate.

Summary

Experience spanning several decades has confirmed the many potential applications of polyurea coatings as waterproofing materials. These coatings are resistant to positive and negative hydrostatic pressure, exhibit no noticeable aging processes or undesirable rheological effects, and are highly resistant to most chemical stresses encountered in industry. These coatings also perform well in agricultural construction and as finishing elements in residential buildings (terraces, roofs). They are relatively easy to apply and offer extensive possibilities for surfaces with diverse configurations and variable substrates, although they require specialized equipment and careful substrate preparation.

When designing polyurea coatings, it is important to maintain the coating thickness recommended in the product's Technical Data Sheet. A thin coating is exposed to increased moisture diffusion/osmosis (from the primer underneath the coating to the outside, or vice versa, from the outside of the coating towards the protected surface). Too thin a coating also causes accelerated aging of the material, and consequently changes in elastic parameters, including elasticity. It is also important to select the right polyurea for the medium stored in the tank. Some bases or acids can chemically react with polyurea, changing its physical parameters, causing flaking, cracking, delamination, etc. Furthermore, it should be noted that protection against osmosis (e.g., in tanks) is of great practical importance.

For standard polyureas, methylenediphenyl diisocyanate (MDI) is typically used, based on prepolymers containing

częstsze błędy to zbyt mała wytrzymałość podłoża na rozciąganie, wilgotność podłoża niezgodna z podaną w karcie technicznej oraz brak izolacji przed ciśnieniem i podciśnieniem osmotycznym. Szczególnie należy zwrócić uwagę na osmozę zachodzącą w osadnikach i reaktorach, która jest dyfuzją (najczęściej wody) przez półprzepuszczalną membranę rozdzielającą roztwory o różnym stężeniu. Wyrównywanie ich stężenia jest procesem fizykochemicznym prowadzącym często do powstawania pęcherzy pod powłoką. Przyjmując grubość powłoki polimocznika $g = 2$ mm i średnicę pęcherza $d = 50$ mm oraz wytrzymałość polimocznika na rozciąganie $f = 25$ MPa i stosując wzór na zależność pomiędzy ciśnieniem p a grubością g w kuli obciążonej wewnętrznym ciśnieniem, można oszacować ciśnienie p :

$$p = g \cdot 4 \cdot g/d = 0,002 \cdot 4 \cdot 25/0,05 = 4 \text{ MPa} \quad (1)$$

Przeciwnie ciśnienie hydrostatyczne od wody w zbiorniku o wysokości $H = 4$ m wynosi:

$$p_h = \gamma \cdot H = 0,01 \cdot 4 = 0,04 \text{ MPa} \quad (2)$$

Po uwzględnieniu sił adhezji do betonu wynoszących $1,5 \div 3$ MPa, ciśnienie, które odrywa polimocznik od podłoża, wynosi ok. 2 MPa.

$$\Delta p_h = p - (p_h + 2) = 4 - (0,07 + 2) = 1,93 \text{ MPa} \quad (3)$$

Proces osmozy przebiegający w długim okresie powoduje coraz szerszy zakres odspojenia powłoki od podłoża.

Podsumowanie

Doświadczenia kilkunastu lat potwierdziły wiele możliwości zastosowania powłok polimocznikowych jako materiału hydroizolacyjnego. Takie powłoki są wytrzymałe na parcie pozytywne i negatywne od ciśnienia hydrostatycznego, nie wykazują zauważalnych procesów starzenia i niepożądanych efektów reologicznych oraz mają dużą odporność na większość obciążeń chemicznych występujących w przemyśle. Powłoki te dobrze sprawdzają się również w budownictwie rolniczym i jako element wykończeniowy w budownictwie mieszkaniowym (taras, dachy). Są dosyć łatwe w aplikacji, dają duże możliwości w przypadku powierzchni o zróżnicowanej konfiguracji i zmiennym podłożu, chociaż wymagają specjalistycznego sprzętu i starannego przygotowania podłoża.

W przypadku projektowania powłok polimocznikowych ważne jest zachowanie ich grubości zalecanej w Karcie Technicznej produktu. Powłoka o niewielkiej grubości narażona jest na zwiększoną dyfuzję/osmozę wilgoci (z podkładu pod powłoką na zewnątrz lub odwrotnie od zewnątrz powłoki w kierunku zabezpieczonej powierzchni). Zbyt mała grubość powłoki powoduje też przyspieszone starzenie się materiału, a co za tym idzie zmianę parametrów sprężystych – w tym elastyczności. Ważny jest też odpowiedni dobór polimocznika do medium przechowywanego w zbiorniku. Niektóre zasady lub kwasy mogą wchodzić w reakcje chemiczne z polimocznikiem, zmieniając jego parametry fizyczne, powodować łuszczenie, pęknięcie, rozwarstwienie itp. Ponadto należy zwrócić uwagę, że duże znaczenie praktyczne ma zabezpieczenie przed występującym (np. w zbiornikach) zjawiskiem osmozy.

15 – 16% isocyanate groups. This allows for a good compromise between material viscosity and system reactivity. With a low isocyanate group content, the prepolymers, although more viscous, achieve greater elasticity and less reactivity. High viscosity reduces the mixing ability of the two components, which leads to negative consequences during material application [1]. Prepolymers with a high NCO group content and, consequently, stiffer chain segments have a lower viscosity, which facilitates mixing of the two components, making the system more reactive and increasing the hardness of the coating [1].

Compared to other seamless insulating materials, the most important advantages of polyurea coatings include the strength of the material itself and in cooperation with the substrate, high extensibility combined with very good crack-bridging properties, and resistance to a relatively wide range of chemical stresses. Additional positive features include the ease of creating detailed connections with technological elements, such as holes, fasteners, roundings in corners and edges, etc.

Despite their relatively high cost, polyurea waterproofing coatings should be considered one of the best materials that meet most user expectations.

W przypadku standardowych polimoczników stosuje się zazwyczaj diizocyjanian metylenodifenyłu (MDI), na bazie prepolimerów zawierających 15 – 16% grup izocyjanianowych. Można wówczas uzyskać dobry kompromis między lepkością materiału i reaktywnością układu. W przypadku małej zawartości grup izocyjanianów prepolimery, choć mają większą lepkość, to uzyskują większą elastyczność i mniejszą reaktywność. Duża lepkość wpływa na pogorszenie zdolności mieszania dwóch składników, co prowadzi do negatywnych konsekwencji podczas aplikacji materiału [1]. Prepolimery o dużej zawartości grup NCO i w konsekwencji sztywniejszych segmentach łańcucha, mają mniejszą lepkość, która ułatwia mieszanie dwóch części składowych, dzięki czemu system jest bardziej reaktywny, a to wpływa na zwiększenie twardości powłoki [1].

W porównaniu z innymi bezszwowymi materiałami izolacyjnymi do najważniejszych zalet powłok polimocznikowych należy wytrzymałość samego materiału i przy współpracy z podłożem, duża rozciągliwość połączona z bardzo dobrymi właściwościami mostkowania rys, odporność na dosyć szerokie spektrum obciążeń chemicznych. Dodatkowymi pozytywnymi cechami jest łatwość wykonania szczegółów połączeń z elementami technologicznymi, jak otwory, zamocowania, wyoblenia w narożach i krawędzi itp.

Pomimo stosunkowo dużych kosztów, polimocznikowe powłoki hydroizolacyjne należy uznać za jeden z najlepszych materiałów spełniających większość oczekiwań użytkowników.

Received: 08.12.2025
Revised: 20.01.2026
Published: 20.03.2026

Artykuł wpłynął do redakcji: 08.12.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 20.01.2026 r.
Opublikowano: 20.03.2026 r.

Literature

- [1] Banera J, Maj M, Ubysz A. Powłoki polimocznikowe w budownictwie. Wyd. DTP: D-concept, Grupa MD. Poznań 217. ISBN 978-83-941001-1-7.
- [2] Iqbal N, Tripathi M, Parthasarathy S, Kumar D, Roy PK. Polyurea spray coatings: Tailoring material properties through chemical crosslinking. *J Progress in Organic Coatings*. Elsevier 2018; <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.07.005>.
- [3] EN 1062-7:2004 Paints and varnishes – Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete – Part 7: Determination of crack bridging properties.
- [4] EN 1542 Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Measurement of bond strength by pull-off.
- [5] DIN EN 13687/1 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren; Bestimmung der Temperatur-

wechselverträglichkeit – Teil 1: Frost-Tau-Wechselbeanspruchung mit Tau-salzangriff; Deutsche Fassung.

- [6] EN 1062/11:2002 Paints and varnishes – Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete – Part 11: Methods of conditioning before testing
- [7] Barczewski M, Aniśko J, Piasecki A, Biedrzycka K, Moraczewski K, Stepczyńska M, Kloziński A, Szostak M, Hahn J. The accelerated aging impact on polyurea spray-coated composites filled with basalt fibers, basalt powder, and halloysite nanoclay. *J Composites Part B: Engineering*. Elsevier 2021; <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109286>.
- [8] Toutanji HA, Choi H, Wong D, Gilbert JA, Alldredge DJ. Applying a polyurea coating to high-performance organic cementitious materials. *J Construction and Building Materials*. Elsevier 2013. DOI. [org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.041](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.041).