

URSZULA PASZEK

ORCID: 0000-0002-6137-9099

Road and Bridge Research Institute, Warsaw, Poland

DOI: 10.15199/40.2023.12.3

# Development of road infrastructure in Poland and trends in protecting concrete structures with protective coatings

## Rozwój infrastruktury drogowej w Polsce i trendy w zabezpieczaniu konstrukcji betonowych powłokami ochronnymi

Statistical data and factors influencing the development of road infrastructure assets in Poland are presented. The impact of aggressive factors on the durability of concrete and reinforced concrete structures, and trends in their protection with anti-corrosion coatings are discussed.

**Keywords:** statistical data in construction, construction engineering structures, bridges, concrete protective coatings, anti-corrosion coatings

### 1. Introduction

The growing importance of concrete corrosion protection is determined by its increasing production and use, as confirmed by statistics from the Central Statistical Office (GUS), the General Directorate for National Roads and Highways (GDDKiA) and the Association of Ready-Mixed Concrete Producers (SPBT).

The vast majority of concrete transportation infrastructure is protected with surface protection products, the application of which is intended to protect the structure from aggressive corrosion-inducing factors. The article discusses surface protection methods and trends that have changed over the years.

### 2. Development factors in construction and statistical data

Based on the GUS study entitled *Production of Industrial Products in 2015–2019* [1], it can be concluded that the production of ready-mixed concrete is increasing. This product is used in the construction of buildings (residential, commercial, industrial) as well as in road construction. Figure 1, compiled on the basis of GUS data from 2000–2019 [2] and presented in tabular form, shows that the upward trend continues throughout the period under review: *A 20.9% increase in the production of this product was observed between 2015 and 2019 [...]. The value of the production sold also increased significantly by 34.7% compared to 2015. A similar trend was observed for regular ready-mixed concrete, the production of which also increased (except in 2016), reaching*

W artykule omówiono stymulatory rozwoju infrastruktury drogowej w zakresie obiektów inżynierskich w Polsce oraz przedstawiono związane z tym dane statystyczne. Przeanalizowano wpływ czynników agresywnych na trwałość betonowych i żelbetonowych budowli, a także trendy w zabezpieczaniu ich powłokami antykorozyjnymi.

**Słowa kluczowe:** dane statystyczne w budownictwie, obiekty inżynierskie, mosty, powłoki ochronne na beton, powłoki antykorozyjne

### 1. Wstęp

O coraz większym znaczeniu zabezpieczeń antykorozyjnych betonu decyduje jego wzrastająca produkcja oraz coraz szersze zastosowanie, czego potwierdzeniem są dane statystyczne Głównego Urzędu Statystycznego (GUS), Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) oraz Stowarzyszenia Producentów Betonu Towarowego (SPBT).

Zdecydowana większość betonowych obiektów infrastruktury komunikacyjnej jest zabezpieczana wyrobami do ochrony powierzchniowej, których zastosowanie ma na celu ochronę konstrukcji przed agresywnymi czynnikami powodującymi procesy korozyjne. W artykule przedstawiono sposoby zabezpieczania powierzchni i trendy w tym zakresie, zmieniające się na przestrzeni lat.

### 2. Czynniki rozwoju w obszarze budownictwa i dane statystyczne

Opierając się na opracowaniu GUS pt. *Produkcja wyrobów przemysłowych w latach 2015–2019* [1], można stwierdzić, że zwiększa się produkcja prefabrykowanej masy betonowej (tzw. betonu gotowego do wylania). Wyrób ten ma zastosowanie zarówno w budownictwie kubaturowym (mieszaniowo-usługowym, przemysłowym), jak i w drogownictwie. Na rys. 1, opracowanym na podstawie danych GUS z lat 2000–2019 [2], przedstawionych w ujęciu tabelarycznym, widać, że trend wzrostowy utrzymuje się w całym analizowanym okresie: *W latach 2015–2019 obserwowano wzrost produkcji tego wyrobu o 20,9% [...]. Znacznie wzrosła także wartość produkcji sprzedanej –*

**Mgr inż. Urszula Paszek** is a graduate of the Rzeszów University of Technology and works at the Road and Bridge Research Institute as an assistant in the Corrosion Protection Laboratory. She deals with issues related to corrosion, construction products and the broadly understood protection of concrete structures.

**Mgr inż. Urszula Paszek** jest absolwentką Politechniki Rzeszowskiej, pracuje w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów na stanowisku asystenta w Pracowni Zabezpieczeń Antykorozyjnych. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z korozją, wyrobami budowlanymi i szeroko rozumianą ochroną konstrukcji betonowych.

E-mail: upaszek@ibdim.edu.pl

■ Otrzymano / Received: 06.10.2023. Przyjęto / Accepted: 10.11.2023

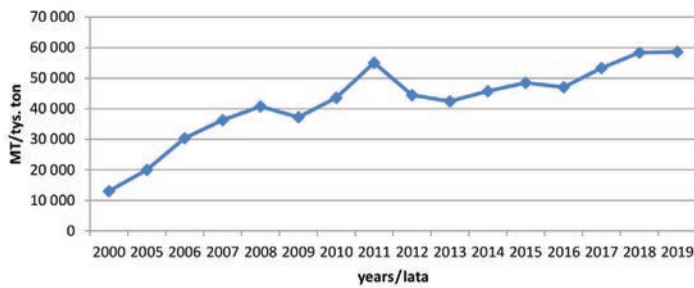


Fig. 1. Production of ready-mixed concrete from 2000 to 2019

Rys. 1. Produkcja prefabrykowanej masy betonowej (betonu gotowego do wylania) w latach 2000–2019

Source: own work based on [2].

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2].

51,752 thousand tonnes in 2019 (15.6% more than in 2015). The value of production sold increased by 27.5% over the period [1, p. 86].

The increase in concrete production between 2000 and 2019 was 350%. The peak observed in 2011 was due to the investment momentum associated with the organisation of the EURO 2012 European Football Championships and the 2008–2012 National Road Construction Programme [3], which was adopted by the Council of Ministers on 25 September 2007 and was not completed earlier due, among other reasons, to the global financial crisis [4, 5]. At that time, PLN 121 billion was earmarked for the financing of the project [3] (Table 1).

In 2010, a new plan was adopted for the years 2011–2015 [6]. The financial limit for its implementation, namely the creation of a network of motorway connections, expressways and national roads, the renovation of existing roads and their upgrading by changing their technical parameters, was set at PLN 82.8 billion [7] (later amended).

The National Roads Construction Programme 2014–2023 (with an outlook to 2025) [8], approved by a resolution of the Council of Ministers on 8 September 2015 [9], which prioritised the development of national roads (the financial limit was initially PLN 107 billion, later increased to PLN 135 billion), was replaced by a new programme on 1 January 2023 [18].

The current programmes in place to improve road infrastructure in Poland include:

- The Government Road Development Fund (RFRD; formerly the Local Government Roads Fund, FDS) [10], introduced by the Act of 23 October 2018 on the Local Government Roads Fund [11] – supports local government units in making investments in local government roads.
- Safe Road Infrastructure Programme 2021–2024 [12], introduced by the Resolution of the Council of Ministers of 23 Febru-

o 34,7% w stosunku do 2015 r. Podobną tendencję obserwowano dla betonu zwykłego towarowego, którego produkcja również wzrastała (z wyjątkiem 2016 r.) i w 2019 r. osiągnęła poziom 51 752 tys. ton (była wyższa o 15,6% w stosunku do 2015 r.). Wartość produkcji sprzedanej w analizowanym okresie zwiększyła się o 27,5% [1, s. 86].

Wzrost produkcji betonu w latach 2000–2019 wyniósł 350%. Pik obserwowany w 2011 r. wynika z rozpędu inwestycyjnego związanego z organizacją Mistrzostw Europy w Piłce Nożnej EURO 2012 oraz przyjętym 25 września 2007 r. przez Radę Ministrów Programem Budowy Dróg Krajowych na lata 2008–2012 [3], który między innymi ze względu na światowy kryzys finansowy nie został wcześniej ukończony [4, 5]. Na finansowanie projektu [3] przeznaczono wówczas 121 mld zł (tabela 1).

W 2010 r. przyjęto nowy plan, na lata 2011–2015 [6]. Limit finansowy przeznaczony na jego realizację: stworzenie sieci połączeń autostradowych, dróg ekspresowych i dróg krajowych, remont istniejących dróg oraz podniesienie ich standardu poprzez zmianę parametrów technicznych, ustalono na poziomie 82,8 mld zł [7] (później wprowadzono zmiany).

Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2014–2023 (z perspektywą do 2025 r.) [8], zatwierdzony uchwałą Rady Ministrów z dnia 8 września 2015 r. [9], w którym priorytetem był rozwój dróg krajowych (limit finansowy początkowo wynosił 107 mld zł, zwiększono go do 135 mld zł) został 1 stycznia 2023 r. zastąpiony nowym programem [18].

Obecnie obowiązującymi programami wpływającymi na polepszenie infrastruktury drogowej w Polsce są:

- Rządowy Fundusz Rozwoju Dróg (RFRD; dawniej Fundusz Dróg Samorządowych, FDS) [10], wprowadzony ustawą z dnia 23 października 2018 r. o Funduszu Dróg Samorządowych [11] – wspiera jednostki samorządu terytorialnego w realizacji inwestycji na drogach samorządowych.

Table 1. Sources of funding for road construction

Tabela 1. Źródła finansowania budowy dróg

No./Lp.	Details/Wyszczególnienie	Amounts by year [thousand PLN]/Kwoty w poszczególnych latach [tys. zł]					
		2008	2009	2010	2011	2012	total/razem: 2008–2012
1	Total budgetary expenditure limit for the programme (2 + 3)/Całkowity limit wydatków budżetowych na realizację programu (2 + 3)	18 804 099	31 280 472	30 155 858	21 603 643	11 426 128	113 270 200
2	State budget funds – part 38 (within the limit of 18% of the accession tax on motor fuels)/Środki z budżetu państwa – część 38 (w ramach limitu wynoszącego 18% podatku akcyzowego od paliw silnikowych)	2 800 395	2 933 500	3 054 600	3 192 100	3 332 500	15 313 095
3	State budget funds, including reimbursable EU funds/Środki z budżetu państwa, w tym podlegające zwrotowi ze środków UE	16 003 704	28 346 972	27 101 258	18 411 543	8 093 628	97 957 105
4	KFD funds/Środki KFD	1 996 700	1 077 300	1 235 400	1 617 600	1 799 500	7 726 500
5	Private and municipal funds/Środki prywatne i samorządowe	3 300	–	–	–	–	3 300
6	Total (2 + 3 + 4 + 5)/Razem (2 + 3 + 4 + 5)	20 804 099	32 357 772	31 391 258	23 221 243	13 225 628	121 000 000

Source: [5, s. 68–69].

Źródło: [5, s. 68–69].

- ary 2021 [13] – aims to improve road traffic safety on national roads under the authority of the General Directorate for National Roads and Highways, including through the construction of pedestrian bridges, left-turn lanes, pavements, cycle paths, and improved visibility. The financial limit for this purpose is PLN 2.5 billion (the funds come from the National Road Fund).
- Programme for the Construction of 100 Ring Roads for 2020–2030 [14], introduced by a Resolution of the Council of Ministers of 13 April 2021 [15] – includes the implementation of ring roads with a total length of approximately 820 km, removing traffic from urban areas. It is intended to reduce air pollution, lower noise levels and improve capacity. The financial limit for this is PLN 28 billion.
  - National Road Network Improvement Programme until 2030 [16], adopted by the Resolution of the Council of Ministers of 4 October 2022 [17] – provides funds for the comprehensive maintenance of national roads under the authority of the General Directorate for National Roads and Highways, both in the structural scope (for adapting roads to the load of 11.5 t/axle, including the reconstruction and widening of road sections) and in the scope of ongoing maintenance, renovation, repair and cleaning work to prevent deterioration). The financial limit for this purpose is approximately PLN 58.3 billion.
  - Government National Roads Construction Programme until 2030 (with an outlook until 2033) [18], approved by the Council of Ministers' resolution of 13 December 2002 [19], which includes the implementation of road investments, construction of national roads, expressways and highways with a length of over 6,000 km, including 2,600 km of new investments and over 3,500 km of investments started under the previous road programme [8]. This programme is part of the transport policy for the construction of the Trans-European Transport Network (TEN-T) [20], in accordance with the Regulation of the European Parliament and the Council of the European Union [21]. The financial limit for this purpose is approximately PLN 294.4 billion (funded, among others, by KFD and EU funds). Approximately PLN 187 billion has been earmarked for the implementation of new tasks, PLN 104.5 billion for the continuation of existing tasks and PLN 3 billion is in reserve.
- SPBT [22] projected that construction and installation output would be stable in 2021, at a similar level to 2020, and that ready-mixed concrete output would reach a level above 25 million m<sup>3</sup> for the next consecutive year.
- Government programmes contribute significantly to the development of infrastructure and generate growth in this sector.
- Program Bezpiecznej Infrastruktury Drogowej 2021–2024 [12], wprowadzony Uchwałą Rady Ministrów z dnia 23 lutego 2021 r. [13] – ma na celu zwiększenie bezpieczeństwa ruchu drogowego na drogach krajowych podlegających GDDKiA, między innymi poprzez: budowę kładek dla pieszych, lewoskrętów, chodników, ścieżek rowerowych, a także poprawę widoczności. Limit finansowy na ten cel wynosi 2,5 mld zł (środki pochodzą z Krajowego Funduszu Drogowego).
  - Program Budowy 100 Obwodnic na lata 2020–2030 [14], wprowadzony Uchwałą Rady Ministrów z dnia 13 kwietnia 2021 r. [15] – obejmuje realizację obwodnic o łącznej długości ok. 820 km, wyprowadzających ruch poza teren zurbanizowany. Ma na celu zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza, obniżenie poziomu hałasu i poprawę przepustowości. Limit finansowy na ten cel wynosi 28 mld zł.
  - Program Wzmocnienia Krajowej Sieci Drogowej do 2030 roku [16], przyjęty Uchwałą Rady Ministrów z dnia 4 października 2022 r. [17] – zapewnia środki na kompleksowe utrzymanie dróg krajowych będących pod opieką GDDKiA, zarówno w zakresie strukturalnym (na dostosowanie dróg do przenoszenia obciążeń 11,5 t/oś, obejmujące przebudowy i rozbudowy odcinków dróg), jak i w zakresie bieżących konserwacji, remontów, napraw oraz prac porządkowych zapobiegających degradacji). Limit finansowy na ten cel wynosi ok. 58,3 mld zł.
  - Rządowy Program Budowy Dróg Krajowych do 2030 r. (z perspektywą do 2033 r.) [18], przyjęty Uchwałą Rady Ministrów z dnia 13 grudnia 2022 r. [19] – obejmuje realizację inwestycji drogowych, dróg krajowych, ekspresowych i autostrad, o długości ponad 6 tys. km, w tym 2,6 tys. km nowych inwestycji i ponad 3,5 tys. km inwestycji rozpoczętych w ramach poprzedniego programu drogowego [8]. Program ten wpisuje się w politykę transportową w zakresie budowy Transeuropejskiej Sieci Transportowej (TEN-T) [20], zgodną z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej [21]. Limit finansowy na ten cel wynosi ok. 294,4 mld zł (środki pieniężne pochodzą między innymi z KFD oraz środków UE). Na realizację nowych zadań przeznaczono ok. 187 mld zł, na kontynuację wcześniejszych: ok. 104,5 mld zł, a 3 mld zł stanowią rezerwę.
- SPBT [22] prognozowało, że produkcja budowlano-montażowa powinna w 2021 r. być stabilna i na podobnym poziomie co w roku 2020, a produkcja betonu towarowego kolejny rok z rzędu powinna osiągnąć poziom powyżej 25 mln m<sup>3</sup>.
- Programy rządowe w istotny sposób przyczyniają się do rozwoju budownictwa infrastrukturalnego, generując wzrosty w tym sektorze. Opierając się na danych statystycznych GDDKiA [23]

**Table 2. Breakdown of road bridge structures, tunnels and underground crossing structures belonging to roads managed by the General Directorate for National Roads and Highways – as at 15 October 2010**

**Tabela 2. Podział drogowych obiektów mostowych, tuneli i przejść podziemnych na drogach zarządzanych przez GDDKiA – stan na 15 października 2010 r.**

Type of construction material/ Rodzaj materiału konstrukcyjnego	Number/Liczba		Length/Długość		Surface/Powierzchnia	
	pcs/szt.	%	m	%	m <sup>2</sup>	%
Steel/Stal	623	13.82	48 595	25.51	619 391	26.41
Reinforced concrete/Beton zbrojony	2 534	56.20	66 967	35.16	763 268	32.55
Prestressed concrete/Beton sprężony	1 263	28.01	73 965	38.83	951 664	40.58
Stone, brick, concrete/Kamień, cegła, beton	84	1.86	896	0.47	10 400	0.44
Other (temporary)/Pozostałe (tymczasowe)	5	0.11	63	0.03	471	0.02
Total/Ogółem	4509	–	190 487	–	2 345 194	–

Including tunnels and underground crossings: 120 in total/length 4092 m/surface area 25,779 m<sup>2</sup>/W tym tunele i przejścia podziemne: 120 szt./dług. 4092 m/pow. 25 779 m<sup>2</sup>

Source: [24].

Źródło: [24].

**Table 3. Breakdown of road bridge structures, tunnels and underground crossings belonging to national roads managed by the General Directorate for National Roads and Highways – as at 20 November 2016****Tabela 3. Podział drogowych obiektów mostowych, tuneli i przejść podziemnych na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA – stan na 20 listopada 2016 r.**

Type of construction material/ Rodzaj materiału konstrukcyjnego	Number/Liczba		Length/Długość		Surface/Powierzchnia	
	pcs/szt.	%	m	%	m <sup>2</sup>	%
Steel/Stal	1 029	13.97	91 812	22.19	1 295 721	22.81
Reinforced concrete/Beton zbrojony	3 255	44.21	105 726	25.55	1 247 885	21.97
Prestressed concrete/Beton sprężony	3 018	40.99	215 478	52.09	3 128 542	55.09
Stone, brick, concrete/Kamień, cegła, beton	61	0.83	687	0.17	7 369	0.13
Other (temporary)/Pozostałe (tymczasowe)	0	–	0	0	0	0
Total/Ogółem	7 363	–	413 703	–	2 345 194	–
Including tunnels and underground crossings: 184 in total/length 7029 m/surface area 71 684 m <sup>2</sup> /W tym tunele i przejścia podziemne: 184 szt./dług. 7029 m/pow. 71 684 m <sup>2</sup>						

Source: [25].

Źródło: [25].

Based on the statistics of the General Directorate for National Roads and Highways [23] and comparing the data from 2010 [24] and 2016 [25] on road bridges, tunnels and underground crossings on national roads managed by this institution, it can be concluded that the number of engineering structures has increased (steel: from 623 to 1029, reinforced concrete: from 2534 to 3255; Tables 2, 3).

In March 2023, data from the end of 2021 on the condition of bridges on national roads managed by the General Directorate for National Roads and Highways appeared on the government website [26]. According to the report, at that time there were 9191 bridges under the management of the Directorate for National Roads and Highways with a total area of more than 7.8 million m<sup>2</sup> and a total length of more than 530 km. The report also states that from 2002 to the end of 2021, the number of bridges managed by the General Directorate for National Roads and Highways almost tripled (from 3370 to 9191), with about 423 new bridges per year added between 2011 and 2021. The total area of bridges increased more than fivefold: from 1.545 million m<sup>2</sup> in 2002 to 7.815 million m<sup>2</sup> in 2021. More than 60.3% of the structures were built between 2011 and 2021, and since 2000: 77.1%. More than 20% of the structures were built before 2000. This shows that, statistically, the average age of a facility managed by the General Directorate for National Roads and Highways is 19 years. The data shows that they are still mostly made of prestressed concrete (49.5%), reinforced concrete (36.4%) and steel (13.6%). Bridge structures made of stone, brick or unreinforced concrete account for only 0.5%.

Currently, the General Directorate for National Roads and Highways maintains 17,792 km of national roads (out of a total of 19,460 km) [27], including high speed roads with a total length of 5115.6 km (expressways: 3266.4 km, highways: 1849.2 km, including 465 km of licensed sections). As part of the Government's National Roads Construction Programme until 2030 [18], 83 sections with a total length of 1132.2 km are under construction. The remaining 37 tasks include projects for the construction of sections with a length of 459.5 km which are in the tendering phase, while plans for another 2507.2 km of sections are in preparation. In addition to this, two other tasks are also being implemented: the GP47 Rdzawka–Nowy Targ and S19 Sokołów Małopolski–Północ–Jasionka sections.

Two tasks have already been completed as part of the Programme for the Construction of 100 Ring Roads for 2020–2030 [14] – sections with a total length of 10.3 km have been commissioned. Another 16 ring roads, with a total length of 127.2 km, are under construction; four projects, with a length of 37 km, are at the tendering stage, and 78 tasks, covering sections with a length of 703.3 km, are in preparation.

i porównując dane z 2010 r. [24] i z 2016 r. [25] dotyczące drogowych obiektów mostowych, tuneli i przejść podziemnych na drogach krajowych zarządzanych przez tę instytucję, można stwierdzić, że zwiększyła się liczba obiektów inżynierskich (stalowych: z 623 do 1029, z betonu zbrojonego: z 2534 do 3255; tabele 2, 3).

W marcu 2023 r. na stronie rządowej [26] pojawiły się dane z końca 2021 r. dotyczące stanu obiektów mostowych na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA. Zgodnie z raportem w tym czasie pod zarządem GDDKiA było 9191 obiektów mostowych o łącznej powierzchni ponad 7,8 mln m<sup>2</sup> i łącznej długości ponad 530 km. W raporcie stwierdzono również, że od 2002 r. do końca 2021 r. liczba obiektów mostowych zarządzanych przez GDDKiA zwiększyła się prawie trzykrotnie (z 3370 do 9191), przy czym w latach 2011–2021 przybywało około 423 nowych obiektów na rok. Łączna powierzchnia obiektów mostowych zwiększyła się ponad pięciokrotnie: z 1,545 mln m<sup>2</sup> w 2002 r. do 7,815 mln m<sup>2</sup> w 2021 r. Ponad 60,3% obiektów powstało w latach 2011–2021, a od 2000 r. – 77,1%. Ponad 20% obiektów wybudowano przed 2000 r. Wynika z tego, że statystycznie średni wiek obiektu zarządzanego przez GDDKiA wynosi 19 lat. Dane wskazują, że nadal są to obiekty w większości wykonane z betonu sprężonego (49,5%), betonu zbrojonego (36,4%) i stali (13,6%). Obiekty mostowe wykonane z kamienia, cegły lub betonu niezbrojonego stanowią tylko 0,5%.

Obecnie GDDKiA utrzymuje 17 792 km dróg krajowych (z 19 460 km) [27], w tym drogi szybkiego ruchu o łącznej długości 5115,6 km (drogi ekspresowe: 3266,4 km, autostrady: 1849,2 km, w tym 465 km odcinków koncesyjnych). W ramach Rządowego Programu Budowy Dróg Krajowych do 2030 r. [18] trwają prace nad 83 odcinkami o łącznej długości 1132,2 km, wśród pozostałych 37 zadań projekty wykonania odcinków o długości 459,5 km są w fazie przetargu, a plany dotyczące kolejnych, liczących ok. 2507,2 km, w przygotowaniu. Oprócz tego realizowane są także dwa inne zadania: odcinki GP47 Rdzawka–Nowy Targ oraz S19 Sokołów Małopolski–Północ–Jasionka.

W ramach Programu Budowy 100 Obwodnic na lata 2020–2030 [14] wykonano już dwa zadania – oddano do użytku odcinki o łącznej długości 10,3 km. W realizacji jest 16 kolejnych obwodnic, o łącznej długości 127,2 km, cztery projekty, o długości 37 km, są na etapie przetargu, a 78 zadań, obejmujących odcinki o długości 703,3 km, w przygotowaniu.

W ramach realizowanych i planowanych zadań powstaje nie tylko wiele kilometrów nowych dróg, ale i wiele nowych obiektów inżynierskich, co istotnie wpływa na bezpieczeństwo i zwiększa komfort użytkowników dróg. Kwestie dotyczące zabezpieczenia powierzchni obiektów są z kolei ujęte w odpowiednich normach i wytycznych.



Ongoing and planned projects not only involve the construction of many kilometres of new roads, but also many new engineering structures that have a significant impact on the safety and comfort of road users. The surface protection of these structures is covered by the relevant standards and guidelines.

### 3. Key documents on concrete and reinforced concrete protection

The main documents that deal with ensuring proper care and protection of reinforced concrete surfaces include the standard PN-EN 206+A2:2021-08: Concrete – Requirements, performance, production and conformity [28], PN-EN 1504-1-10: Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity [33] and the WR-M-32: Design guidelines for corrosion protection of concrete elements of road engineering structures [37].

The PN-EN 206+A2:2021-08 standard [28] was published by the Polish Committee for Standardisation in 2021, replacing the PN-EN 206+A1:2016-12 standard [29]. An addendum PN-B-06265:2022-08 to this standard was published in 2022 [30]. These documents cover essential issues concerning the selection of a proper material solution. They define, among other things, the requirements for the composition of concrete, the properties of the concrete mix and hardened concrete, the environmental exposure classes and their intensity levels [31, 32]. They are therefore an essential source of information when it comes to selecting a material solution used to protect and repair structures.

The 10-part EN 1504 European standard [33] comprehensively discusses methods for the protection and repair of concrete structures. It formulates rules of conduct and defines basic product requirements: in part 2 for concrete surface protection systems [34], in part 3 for structural and non-structural surface repairs [35]. Knowledge of the requirements described in this standard makes it much easier to address the effects of corrosion. A study commenting this document has also been published [36].

The document WR-M-32 [37] includes the latest knowledge on the protection of concrete, reinforced concrete and prestressed concrete structures using structural protection, combined material and structural protection (includes information on the selection of exposure classes, concrete components, method of incorporation and care of concrete) and surface protection (excluding elements intended for pedestrian or vehicular loads and surfaces in underground and buried transportation engineering infrastructure). According to the guidelines, surface protection may be used for newly built structures, if material and structural protection is insufficient to protect against corrosion, and for structures being repaired, reconstructed, extended and rebuilt.

EN 206+A2:2021-08 [28] states that the durability of structures made of concrete should extend to a minimum of 50 years. During this period, the concrete in the structure should be airtight and should not require additional surface protection. On this basis, the WR-M-32 guidelines [37] assume that if the values specified in EN 206 are maintained, the concrete retains its protective properties.

Typical methods of surface protection are also specified, i.e. hydrophobising impregnation (based on silanes and siloxanes and so-called coloured impregnation – with pigments, in which case the product is treated as a thin-layer coating), sealing impregnation (based on synthetic resins) and protective coatings (thin-layer and thick-layer, divided into rigid and flexible – also based on synthetic resins or a cement base).

Adherence to the principles and guidelines contained in the documents described should ensure adequate durability and effective protection of engineering structures against various types of corrosion hazards under specific environmental conditions.

### 3. Najważniejsze dokumenty z zakresu ochrony betonu i żelbetu

Podstawowymi dokumentami dotyczącymi prawidłowego zabezpieczenia powierzchni żelbetonowych są: norma PN-EN 206+A2:2021-08: Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność [28], norma PN-EN 1504-1-10: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności [33] oraz Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego betonowych elementów drogowych obiektów inżynierskich WR-M-32 [37].

Norma PN-EN 206+A2:2021-08 [28] została opublikowana przez Polski Komitet Normalizacyjny w 2021 r., zastępując normę PN-EN 206+A1:2016-12 [29]. W 2022 r. ukazało się uzupełnienie PN-B-06265:2022-08 tej normy [30]. W dokumentach tych ujęto zasadnicze kwestie dotyczące właściwego doboru rozwiązania materiałowego, określono w nich bowiem między innymi wymagania w zakresie składu betonu, właściwości mieszanki betonowej oraz betonu stwardniałego, klas ekspozycji środowiska i poziomów ich intensywności [31, 32]. Są więc podstawowym źródłem informacji, jeśli chodzi o dobór rozwiązania materiałowego stosowanego do ochrony i naprawy obiektów.

W 10-częściowej europejskiej normie PN-EN 1504 [33] kompleksowo omówiono metody ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Sformułowano w niej zasady postępowania i określono podstawowe wymagania dotyczące wyrobów: w części 2 odnośnie do systemów ochrony powierzchni betonu [34], w części 3 – napraw konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych powierzchni [35]. Znajomość wymagań opisanych w tej normie znacznie ułatwia przeciwdziałanie skutkom korozji. Zostało również wydane opracowanie będące komentarzem do tego dokumentu [36].

Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego betonowych elementów drogowych obiektów inżynierskich [37] ujmują najnowszą wiedzę z zakresu zabezpieczania konstrukcji betonowych, żelbetonowych i z betonu sprężonego z zastosowaniem ochrony konstrukcyjnej, materiałowo-strukturalnej (zawierają informacje o doborze klas ekspozycji, składników betonu, sposobu wbudowania i pielęgnacji betonu) i powierzchniowej (z wyłączeniem elementów przeznaczonych do obciążenia ruchem pieszych lub kołowym oraz powierzchni w podziemnych i zasypanych gruntem obiektach inżynierii komunikacyjnej). Zgodnie z nimi ochronę powierzchniową można stosować w wypadku nowo budowanych konstrukcji, jeśli ochrona materiałowo-strukturalna niewystarczająco zabezpiecza przed korozją, oraz na naprawianych, odbudowywanych, rozbudowywanych i przebudowywanych konstrukcjach.

W normie PN-EN 206+A2:2021-08 [28] stwierdzono, że okres trwałości konstrukcji wykonanych z betonu powinien wynosić minimum 50 lat. W tym okresie beton w konstrukcji powinien być szczelny i nie powinien wymagać dodatkowej ochrony powierzchniowej. Na tej podstawie w wytycznych WR-M-32 [37] przyjęto, że jeżeli są zachowane wartości określone w normie PN-EN 206, beton zachowuje właściwości ochronne.

Wyszczególniono również typowe sposoby ochrony powierzchniowej, tj. impregnację hydrofobizującą (na bazie silanów i siloksanów oraz tzw. barwną – z pigmentami, wówczas wyrób traktowany jest jako powłoka cienkowarstwowa), impregnację uszczelniającą (na bazie żywic syntetycznych) oraz powłoki ochronne (cienkowarstwowe i grubowarstwowe, z podziałem na sztywne i elastyczne – również na bazie żywic syntetycznych lub bazy cementowej).

Przestrzeganie zasad i wytycznych zawartych w opisanych dokumentach powinno zapewnić odpowiednią trwałość i skuteczną ochronę obiektów inżynierskich przed różnego rodzaju zagrożeniami korozyjnymi w określonych warunkach środowiskowych.

#### 4. Influence of aggressive factors on the durability of structures

Destructive processes are an inevitable part of nature, which drives to reach a state of energy minimum and increase the level of entropy. This inevitability is due, among other things, to environmental impacts, which consist of the synergistic effect of destructive physical and chemical processes. Underestimating the importance of these impacts leads to higher than normal wear of the structure as a result of corrosion damage, thereby reducing the durability of the structure [32, 38–41].

Aggressive impacts threaten all types of structures, but the problem is particularly significant in the case of strategically important facilities, such as transportation infrastructure or water engineering structures [42–45].

The dynamic climatic changes currently observed on a global scale and scientific reports from various fields demonstrate the need for an in-depth analysis of corrosion risks and, consequently, for an extension of the range of methods used to protect structures. These risks are the result of increasing environmental pollution: excessive concentrations of harmful gases (nitrogen, carbon and sulphur oxides), benzene derivatives, liquids and solids (dust), exceeding the levels naturally present in the Earth's atmosphere, and the presence of significantly increased quantities of inorganic and organic substances, including bacteria and micro-organisms, in inland and marine waters. Also significant, especially in the case of marine waters, are the increases in temperature and salinity and the progressive increase in dynamic hydrological phenomena.

In practice, the most common causes of damage to reinforced concrete structures are frost corrosion, together with chloride corrosion and carbonation. In winter, bridge structures are constantly exposed to the damaging effects of de-icing agents used for winter road maintenance, marine structures are constantly exposed to the destructive effects of chlorides contained in water and salt spray, and in the case of water engineering (inland) structures, the destruction of reinforced concrete elements is additionally observed due to, among other things, the effects of biogenic sulphuric acid and the widespread use of fertilisers and pesticides.

When analysing the nature of damage to reinforced concrete structures, other factors that intensify corrosion are also important. These include:

- changes in the liquid column in submerged zones of construction elements such as supports in rivers, tanks in water and wastewater treatment plants, as well as quays and breakwaters;
- water and contaminants (de-icing agents and chemicals) on the surfaces of transportation infrastructure, such as supports, abutments, barriers, located in the so-called splash zones;
- the occurrence of critical areas in the structure, i.e. areas susceptible to rapid development of damage; these include: areas of contact between different material structures (concrete-steel), expansion joints, rainwater drainage systems, anchorage points for energy barriers, noise barriers, ladders, dikes, pipe supports and anchorage elements in piers and wharves, as well as areas of complex geometry;
- faulty workmanship resulting in discontinuities in surface protection (for example, coating detachment) or a change in the geometry of a component favouring the formation of water ponding.

Regardless of the complexity of the phenomena leading to the corrosive destruction of structures, such as a change in the pH of concrete and the depassivation of reinforcing steel, or the penetration of ions, mainly chloride, but also of other aggressive substances, it is reasonable to use products or sets of products aimed at limiting the absorption of water, creating an effective barrier

#### 4. Wpływ czynników agresywnych na trwałość obiektów

Procesy destrukcyjne są w naturze nieuniknione, co wynika z dążenia układu do osiągnięcia stanu minimum energetycznego i ze wzrostu entropii. Ta nieuchronność wynika między innymi z oddziaływań środowiskowych, polegających na synergicznym wpływie niszczących procesów fizycznych i chemicznych. Niedoszacowanie znaczenia tych oddziaływań prowadzi do ponadnormalnego zużycia obiektu w wyniku uszkodzeń korozyjnych, a tym samym obniżenia trwałości konstrukcji [32, 38–41].

Oddziaływania agresywne zagrażają wszystkim rodzajom obiektów budowlanych, jednak problem ten jest szczególnie istotny w wypadku obiektów o znaczeniu strategicznym, takich jak komunikacyjne obiekty inżynierskie czy obiekty hydrotechniczne [42–45].

Obserwowane obecnie w skali globalnej dynamiczne zmiany klimatyczne oraz doniesienia naukowe z różnych dziedzin świadczą o konieczności przeprowadzenia pogłębionej analizy zagrożeń korozyjnych, a w konsekwencji – rozszerzenia zakresu metod ochrony budowli. Zagrożenia te to skutek coraz większego zanieczyszczenia środowiska: zbyt wysokich stężeń szkodliwych gazów (tlenków azotu, węgla i siarki), pochodnych benzenu, cieczy i ciał stałych (pyłów), przekraczających wartości naturalnie występujące w atmosferze ziemskiej, a także obecności znacznie zwiększonej ilości substancji nieorganicznych i organicznych, w tym bakterii i mikroorganizmów, w wodach śródlądowych i morskich. Nie bez znaczenia, szczególnie w wypadku wód morskich, są również wzrost temperatury i zawartość soli oraz obserwowane progresywnie narastające dynamiczne zjawiska hydrologiczne.

W praktyce najczęstszymi przyczynami uszkodzeń konstrukcji żelbetowych są korozja mrozowa, wraz z korozją chlorkową, oraz karbonatyzacja. W okresie zimowym konstrukcje mostowe poddawane są stałym oddziaływaniom szkodliwych dla betonu środków odładzających używanych podczas zimowych akcji utrzymania dróg, budowle morskie nieustannie poddawane są natomiast destrukcyjnemu działaniu chlorków zawartych w wodzie i mgie solnej, a w wypadku budowli hydrotechnicznych (śródlądowych) dodatkowo obserwuje się destrukcję konstrukcji żelbetowych wynikającą między innymi z oddziaływania biogenicznego kwasu siarkowego oraz powszechnego stosowania nawozów sztucznych i środków biologicznej ochrony roślin.

Analizując charakter zniszczeń budowli żelbetowych, można stwierdzić, że istotne są również inne czynniki intensyfikujące korozję, na przykład:

- zmiany słupa cieczy w zanurzonych strefach elementów konstrukcji, takich jak podpory w nurtach rzek, zbiorniki w stacjach uzdatniania wody i oczyszczalniach ścieków, nabrzeża i falochrony;
- nanoszenie wody i zanieczyszczeń (środków odładzających i chemikaliów) na powierzchnie elementów konstrukcji komunikacyjnych, takich jak podpory, przyczółki, bariery, usytuowanych w tzw. strefach rozbryzgu cieczy;
- występowanie w konstrukcji miejsc krytycznych, czyli takich, które są podatne na szybki rozwój uszkodzeń; należą do nich: miejsca styku odmiennych struktur materiałowych (beton–stal), dylatacje, systemy odprowadzenia wód opadowych, miejsca kotwienia barier energochłonnych, ekranów akustycznych, drabinek, dalb, podpór rurociągów i elementów kotwiących w nabrzeżach i pirsach, a także miejsca o skomplikowanej geometrii;
- wadliwe wykonawstwo skutkujące nieciągłością ochrony powierzchni (na przykład odspojeniem powłok) czy zmiana geometrii elementu sprzyjająca tworzeniu się zastoin wody.

Niezależnie od złożoności zjawisk prowadzących do destrukcji korozyjnej budowli, takich jak zmiana wartości pH betonu i depasywacja stali zbrojeniowej bądź penetracja jonów, głównie chlorkowych, ale i innych agresywnych czynników, uzasadnione jest stosowanie wyrobów lub złożonych zestawów wyrobów mających na celu ogranicze-



Photo 1. Measurements on a reinforced concrete structure  
Fot. 1. Pomiary na obiekcie żelbetonowym

Source: [51].  
Źródło: [51].



Photo 2. Installation of measuring electrodes on an object under construction  
Fot. 2. Instalacja elektrod pomiarowych na powstającym obiekcie

Source: [51].  
Źródło: [51].

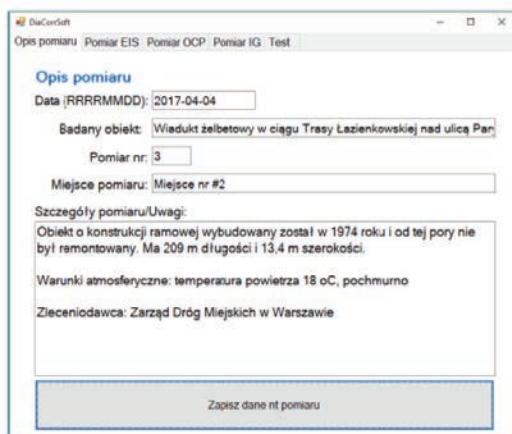


Photo 3. DiaCorrSoft software interface – description of the measurement  
Fot. 3. Interfejs oprogramowania DiaCorrSoft – opis pomiaru

Source: [51].  
Źródło: [51].

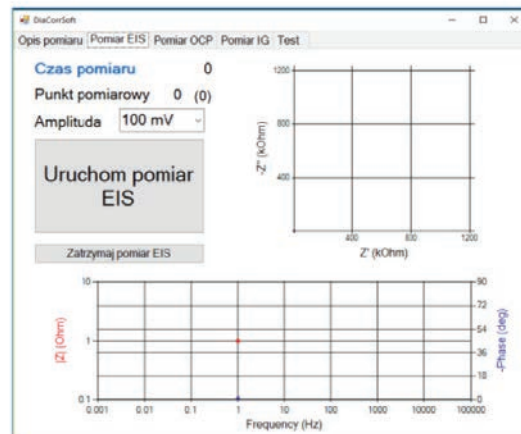


Photo 4. DiaCorrSoft software interface – measurement time  
Fot. 4. Interfejs oprogramowania DiaCorrSoft – czas pomiaru

Source: [51].  
Źródło: [51].

against aggressive substances and at the same time maintaining the water vapour permeability properties, i.e. the so-called breathing properties of concrete.

With the development of knowledge and measurement techniques, it is now possible to diagnose the condition of structures with increasing sophistication, including with non-destructive methods. For example, corrosion risk can be assessed by measuring the steady-state potential, the resistivity of the concrete coating and by directly measuring corrosion losses in forgings. Another innovative method is DiaCorr, which was created as part of INNOTECH project No. K1/IN1/25/153217/NCBR/12, developed in partnership the AGH University of Science and Technology in Cracow, the Road and Bridge Research Institute in Warsaw, the BETOTECH Technology Centre and TPA Sp. z o.o. As a result of this collaboration, a method and a device have been developed which can be used to monitor the state of corrosion and assess the degree of corrosion of reinforcement in existing and newly constructed reinforced concrete structures (it is also possible to use it on steel structures).

The DiaCorr method is based on a combination of stationary potential measurement techniques, electrochemical impedance spectroscopy and galvanostatic pulse [46–50]. Its main advantage is the possibility of making measurements in the field and, above all, its simplicity – both in making the measurements and in interpreting the results using the DiaCorrSoft software with

nie wchłaniania wody, utworzenie skutecznej bariery dla substancji agresywnych przy jednoczesnym zachowaniu właściwości przepuszczalności pary wodnej, czyli tzw. właściwości oddechowych betonu.

Dzięki rozwojowi wiedzy i technik pomiarowych obecnie możliwe jest coraz bardziej zaawansowane diagnozowanie stanu konstrukcji, również metodami nieniszczącymi. Ocenę zagrożenia korozyjnego można na przykład przeprowadzić metodą pomiaru potencjału stacjonarnego, rezystywności otuliny betonu i bezpośredniego pomiaru ubytków korozyjnych w odkuwkach. Inną innowacyjną metodą jest DiaCorr, którą opracowano w ramach projektu INNOTECH nr K1/IN1/25/153217/NCBR/12, zrealizowanego wspólnie przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie, Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie, Centrum Technologiczne BETOTECH oraz TPA Sp. z o.o. W wyniku tej współpracy powstała metoda i urządzenie, które służą do kontroli stanu zagrożenia korozją i oceny stopnia korozji zbrojenia w istniejących i nowo budowanych konstrukcjach żelbetonowych (możliwe jest także zastosowanie ich na konstrukcjach stalowych).

Metoda DiaCorr jest oparta na połączeniu technik pomiaru potencjału stacjonarnego, elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej oraz impulsu galwanostaticznego [46–50]. Jej główną zaletą jest możliwość dokonywania pomiarów w terenie i przede wszystkim prostota – zarówno wykonywania pomiarów, jak i interpretacji wyników za pomocą oprogramowania DiaCorrSoft z intuicyjnym interfejsem. Stosowanie tej metody zaleca się przede wszystkim w wypadku nowo budowanych obiektów ze względu na możliwość łatwej instalacji



its intuitive interface. The use of this method is recommended especially in the case of newly-built structures thanks to the easy installation of measuring electrodes during the construction phase. With this solution, in addition to monitoring the corrosion status of the reinforcement bars, the speed of the process is also controlled. The performance of measurements and the installation of electrodes on structures, as well as a screenshot of the DiaCorrSoft software interface, are shown in Photos 1–4.

Certainly, in the years to come, knowledge of the mechanisms of destruction caused by various types of risks will increase. Given the current environmental conditions, we have at our disposal the knowledge and experience to apply effective anti-corrosion products.

## 5. Trends in surface protection of engineering structures

### 5.1. Introductory remarks

The main purpose of surface protection is to prevent the penetration of aggressive corrosive agents into a structure. Aesthetic considerations and ease of maintenance are also important. However, coatings are also used to cover up workmanship errors.

For many years, structures in Poland were protected by coloured resin dispersions, which were mainly used for buildings integrated into urban areas or to signal a matter of particular importance to road users. There is a trend towards the integration of buildings into the landscape architecture so that their presence does not stand out.

An important property of coating protection systems is their scratch resistance. This is a characteristic that significantly affects the protection of the structure and its use. It is customary to distinguish between rigid and flexible coatings. In fact, they are classified according to their ability to bridge and cover scratches. Accordingly, coatings used for the protection of engineering structures are divided into three types: coatings with no scratch-bridging ability, with minimal scratch-bridging ability, with enhanced scratch-bridging ability.

Flexible coatings are characterised by their scratch covering properties within a certain range, as defined in EN 1062-7 [52], and cannot be used, for example, on prestressed structures, as they would mask possible scratches and potentially contribute to a structural catastrophe.

The basic types of coating products used for the surface protection of concrete will be discussed depending on the binder used. This is because the binder mainly determines the properties of the coating, such as scratch-bridging ability [52], adhesion to the substrate [53], CO<sub>2</sub> permeability [54], water vapour permeability [55], water penetration [56], UV resistance [57], chemical resistance [58], and chloride ion permeation [59]. In addition to the products described, hydrophobic impregnates for sealing concrete and anti-graffiti coatings for protecting surfaces against vandalism are also being used on an increasing scale.

Among the most commonly used products for the surface protection of concrete, however, are coatings based on acrylic and epoxy resins. According to the PaintSquare portal, they constitute the most popular polymer bases for the corrosion protection of concrete surfaces and their prices are increasing rapidly [60].

### 5.2. Acrylic resins

Acrylic resins in the form of coloured dispersions have been one of the most commonly used coatings for the protection of engineering structures for many years, mainly due to economic reasons, as acrylic paints are relatively cheap, and practical reasons related to ease of application. Acrylic coatings are single component and are often ready to use or simply diluted with water according to

elektrod pomiarowych właśnie na etapie wykonawstwa konstrukcji. Dzięki takiemu rozwiązaniu oprócz monitorowania stanu korozji prętów zbrojeniowych kontrolowana jest również szybkość tego procesu. Wykonywanie pomiarów i instalacja elektrod na obiektach oraz wygląd interfejsu oprogramowania DiaCorrSoft przedstawiono na fot. 1–4.

Z pewnością w kolejnych latach wiedza o mechanizmach destrukcji powodowanych przez różnego rodzaju zagrożenia będzie coraz większa. Biorąc pod uwagę obecne uwarunkowania środowiskowe, dysponujemy wiedzą i doświadczeniem, które pozwalają na aplikowanie skutecznych wyrobów antykorozyjnych.

## 5. Trendy w zabezpieczeniu powierzchni obiektów inżynierskich

### 5.1. Uwagi wstępne

Głównym celem zabezpieczania powierzchni jest ochrona przed wnikaniem agresywnych czynników powodujących procesy korozyjne, istotne są również względy estetyczne i łatwość utrzymania obiektu. Czasami w ten sposób próbuje się zamaskować błędy wykonawcze.

Przez wiele lat obiekty w Polsce były zabezpieczane barwnymi dyspersjami żywicznymi, znajdującymi zastosowanie głównie w wypadku budowli wkomponowanych w przestrzeń urbanistyczną lub gdy trzeba zasygnalizować coś szczególnie ważnego użytkownikom dróg. Obserwuje się tendencję do wkomponowywania obiektów w architekturę krajobrazu, tak aby nad nim nie dominowały.

Ważną właściwością systemów ochrony powłokowej jest ich zdolność przenoszenia zarysowań. Jest to cecha istotnie wpływająca na zabezpieczenie obiektu i jego użytkowanie. Zwyczajowo wyróżnia się powłoki sztywne i elastyczne. Faktycznie klasyfikuje się je ze względu na zdolności do mostkowania i przenoszenia zarysowań powłoki. W związku z tym powłoki stosowane do zabezpieczania obiektów inżynierskich dzieli się na trzy rodzaje: powłoki bez zdolności pokrywania zarysowań, z minimalną zdolnością pokrywania zarysowań, z podwyższoną zdolnością pokrywania zarysowań.

Powłoki elastyczne charakteryzują się właściwościami przenoszenia zarysowań w określonym zakresie, zgodnie z PN-EN 1062-7 [52], i nie mogą być stosowane na przykład na obiektach sprężonych, ponieważ zamaskowałyby ewentualne rysy na konstrukcji, co w konsekwencji mogłoby doprowadzić do katastrofy budowlanej.

Omówione zostaną podstawowe typy wyrobów powłokowych stosowanych do ochrony powierzchniowej betonu wyróżnione ze względu na zastosowane spoiwo, ponieważ to głównie ono determinuje właściwości powłoki, między innymi: zdolność mostkowania rys [52], przyczepność do podłoża [53], przepuszczalność CO<sub>2</sub> [54], przepuszczalność pary wodnej [55], przenikanie wody [56], odporność na UV [57], odporność chemiczną [58], przenikanie jonów chlorkowych [59]. Oprócz opisanych wyrobów na coraz większą skalę wykorzystuje się również impregnaty hydrofobizujące, służące do uszczelniania betonu, oraz powłoki antygraffiti do ochrony powierzchni przed skutkami aktów wandalizmu.

Do najczęściej stosowanych wyrobów do ochrony powierzchniowej betonu należą jednak powłoki na bazie żywic akrylowych i epoksydowych. Według portalu PaintSquare są to najbardziej popularne bazy polimerowe do zabezpieczeń antykorozyjnych powierzchni betonowych; ich ceny dynamicznie rosną [60].

### 5.2. Żywice akrylowe

Żywice akrylowe w formie barwnych dyspersji od lat należą do grupy najczęściej stosowanych zabezpieczeń obiektów inżynierskich, głównie ze względów ekonomicznych – farby akrylowe są stosunkowo tanie – oraz praktycznych, związanych z łatwością aplikacji. Farby akrylowe są jednoskładnikowe i często są gotowe do użycia lub wystarczy je rozcieńczyć wodą zgodnie z instrukcjami podanymi przez producenta. Według wytycznych zawartych w większości SST tego typu wyroby nanosi się na zagruntowaną powierzchnię w dwóch warstwach.



the manufacturer's instructions. The guidelines in most detailed technical specifications are for this type of product to be applied to the primed surface in two coats.

Acrylic resin-based products can be water-based, emulsion-based or solvent-based [61]. Depending on the substituent (R1 group) used, products with different molecular weights can be formulated, which affects, for example, their hardness or resistance to UV degradation. Styrene-acrylic resin is less UV stable than pure acrylic. High-molecular-weight acrylic polymers, on the other hand, are hard and provide a better barrier to CO<sub>2</sub> ingress, but can crack at low temperatures as a result of structural movement. Pure acrylic emulsion polymers, on the other hand, have a favourable water vapour to CO<sub>2</sub> permeability ratio [62].

### 5.3. Epoxy resins

The epoxy resins most commonly used in civil engineering are bisphenol A/bisphenol B resin blends modified with alkyl glycidyl ether [62]. These two-component products have high impact resistance, high peel strength and chemical resistance. However, they are not resistant to UV radiation and are therefore often used in a system with a polyurethane coating to prevent chalking.

In transportation engineering, they are used on bridge girders and pavement decks as thick-coat insulation and surfacing systems. They are also used as flooring in public buildings and in highly aggressive environments where there is a risk of chemical contamination of the concrete, such as in sewage treatment plants, where epoxy-bitumen copolymers are used.

### 5.4. Polyurethane resins

Polyurethane resin is formed by reacting a polyol (polyester, polyether, polycarbonate, polyacrylate) with a di- or polyisocyanate. Aliphatic isocyanates form coatings that are stable and UV resistant, but have lower chemical resistance. Aromatic isocyanates form coatings with good chemical resistance, but become chalky when exposed to UV radiation. Polyacrylate polyurethanes have good UV resistance and good resistance to saponification. The best polyurethanes, however, are fluorinated polyurethanes as they offer the best properties in all respects, but are extremely expensive and therefore rarely used.

Polyurethane resins, like epoxy resins, are most commonly used in transportation engineering as an insulating coating or as a topcoat to protect the epoxy coating from UV radiation.

### 5.5. Polymer-cement products

Polymer-cement coatings are usually dry blends of Portland cement, redispersible polymers (e.g. acrylic) and a filler in the form of quartz sand of varying grain size. It should be mixed with water. This type of coating is used in areas where the surface of the structure may come into contact with salt from winter de-icing operations (usually up to a height of 2.5 m) and to protect marine structures exposed to the aggressive effects of chlorides found in seawater.

### 5.6. Silanes, siloxanes

Silanes (alkyltrialkoxysilanes) and siloxanes (alkylalkoxysiloxanes) are molecules dispersed in organic solvents or water that form hydrophobic impregnations designed to seal the concrete matrix [63, 64]. Their action is to penetrate deep into the concrete matrix (without forming a coating on the surface) and change the properties of the concrete from hydrophilic to hydrophobic. Particularly important for the effectiveness of the protection obtained with this type of product is the bonding mechanism with the substrate: a chemical reaction forms an extremely stable Si–O–Si covalent bond between the hydrophobing agent

Wyroby na bazie żywic akrylowych mogą być produktami wodorozcieńczalnymi, emulsyjnymi lub wyrobami rozpuszczalnikiowymi [61]. W zależności od zastosowanego podstawnika (grupy R1) można formułować wyroby o różnej masie cząsteczkowej, co ma wpływ na przykład na ich twardość, odporność na degradację pod wpływem promieniowania UV. Żywica styrenowo-akrylowa jest mniej odporna na promieniowanie UV niż czysty akryl. Z kolei polimery akrylowe o dużej masie cząsteczkowej są twarde i stanowią lepszą barierę przed wnikaniem CO<sub>2</sub>, ale w wyniku ruchów konstrukcji mogą pękać w niskich temperaturach. Czyste akrylowe polimery emulsyjne charakteryzują się natomiast korzystnym stosunkiem przepuszczalności pary wodnej i CO<sub>2</sub> [62].

### 5.3. Żywice epoksydowe

Żywice epoksydowe najczęściej stosowane w inżynierii lądowej są to mieszaniny żywicy bisfenol-A/bisfenol-B modyfikowanej eterem alkiloglicydydowym [62]. Te dwuskładnikowe wyroby cechują się wysoką odpornością na uderzenie, dużą wytrzymałością na odrywanie od podłoża, odpornością na chemikalia. Nie są jednak odporne na działanie promieniowania UV, przez co, aby zapobiec kredowaniu, często stosowane są w systemie z powłoką poliuretanową.

W obiektach inżynierii komunikacyjnej stosowane są na belkach podporęczowych i kapach chodnikowych obiektów mostowych jako grubowarstwowe systemy izolacji-nawierzchni. Używane są także jako posadzki w obiektach użyteczności publicznej oraz wszędzie tam, gdzie jest silnie agresywne środowisko zagrażające skażeniem betonu chemikaliami, takie jak w oczyszczalniach ścieków – wówczas stosuje się na przykład kopolimery epoksydowo-bitumiczne.

### 5.4. Żywice poliuretanowe

Żywica poliuretanowa powstaje w wyniku reakcji polioliu (poliestru, polieteru, poliwęglanu, poliakrylanu) z di- lub poliizocyanianem. Izocyaniany alifatyczne tworzą powłoki stabilne i odporne na działanie promieniowania UV, ale o mniejszej odporności chemicznej. Izocyaniany aromatyczne tworzą powłoki o dobrej odporności chemicznej, jednak pod wpływem promieniowania UV ulegają kredowaniu. Dobrą odpornością na promieniowanie UV i dobrą odpornością na zmydlenie charakteryzują się poliuretany poliakrylanowe. Najlepszymi poliuretanami są jednak poliuretany fluorowane – wykazują one najlepsze właściwości pod każdym względem, lecz są wyjątkowo kosztownym rozwiązaniem, więc rzadko się je wykorzystuje.

Żywice poliuretanowe, tak jak i epoksydowe, w inżynierii komunikacyjnej są najczęściej stosowane jako izolacji-nawierzchnie lub jako warstwa nawierzchniowa chroniąca powłokę epoksydową przed UV.

### 5.5. Wyroby polimerowo-cementowe

Powłoki polimerowo-cementowe są najczęściej suchymi mieszaninami cementu portlandzkiego, redyspersyjnych polimerów (na przykład akrylowych) oraz wypełniacza w postaci piasku kwarcowego o różnej granulacji. Wyrób ten należy zmieszać z wodą. Tego typu powłoki stosowane są w miejscach, w których może dojść do kontaktu powierzchni obiektu z solą pochodzącą z zimowych akcji odladzania (zazwyczaj do wysokości 2,5 m), oraz do zabezpieczenia budowli morskich, które są narażone na agresywne działanie chlorków znajdujących się w wodzie morskiej.

### 5.6. Silany, siloksany

Silany (alkilotrialkoksylilany) i siloksany (alkiloalkoksyliloksany) są to cząsteczki dyspersowane w rozpuszczalnikach organicznych lub wodzie, tworzące impregnaty hydrofobizujące mające za zadanie uszczelnić matrycę betonu [63, 64]. Ich działanie polega na przeniknięciu w głąb matrycy betonowej (bez utworzenia powłoki na powierzchni) i zmianie charakterystyki betonu z hydrofilowej na hydrofobową. Szczególnie istotny, ze względu na skuteczność ochrony uzyskanej z zastosowaniem tego typu wyrobów, jest

and the silicate matrix of the concrete. The result is high alkali resistance, temperature resistance (up to 350°C), UV resistance and, most importantly, a barrier to chlorides and water while maintaining vapour permeability.

The disadvantage of this solution is a slight change in the colour of the concrete, namely a deeper shade of grey. In addition, the product does not have the ability to hide possible defects in workmanship. The products are usually applied in two coats using the wet-on-wet method and the protected surface acquires hydrophobic properties after 2–3 weeks.

### 5.7. Anti-graffiti coatings

Another type of concrete surface protection, which not only protects against aggressive chemical agents but also against the effects of vandalism, are the increasingly common anti-graffiti coatings. Such products are most commonly used in urban areas due to the higher risk of vandalism. As a specialised product, they have two functions: to provide barrier surface protection (like a standard protective coating approved for this purpose by a national technical approval) and to create a surface with properties that allow graffiti to be easily removed. The products can be divided into three types: temporary, semi-permanent and permanent protection. These coatings are usually applied to a certain height, usually up to 3 m.

Sometimes anti-graffiti coatings [65] are applied over an existing coating that has been in place for a long time. This is an acceptable solution, provided that the total vapour permeability parameter of the old coating and the new anti-graffiti coating is determined. Excessive thickening of the system, resulting in a disruption of the vapour permeability parameter, can lead to detachment of the coating or the formation of blisters in which water accumulates [66].

## 6. Summary

As is evident from the statistics, road infrastructure in Poland is developing dynamically, and this undoubtedly has an impact on the development of products for the protection of structures against corrosion and other damage. Certainly, legislative changes are also contributing to this, forcing manufacturers of construction products to seek new material solutions as a result of new restrictions being imposed, for example, on the use of certain ingredients such as anthracene oil, titanium white or VOC emissions, and as a result of new construction safety risks being defined. It is important that this development is sustainable, striking a balance between the rational use of material resources, energy, durability and improved technical performance.

For many years, the most common way to protect engineering structures was by using coatings based on acrylic resins. Nowadays, this standard solution is being abandoned in favour of protecting new reinforced concrete structures with colourless water-repellent impregnations, which are effectively replacing coloured coating systems. As a result, the buildings blend in with their surroundings.

In recent years, structures have also increasingly been protected with a new type of coating that is designed as a 2-in-1 product, i.e. one that contains both a coating and a water-repellent impregnation. These products are a mixture of an active substance, silanes and/or siloxanes, in a coloured polymer dispersion (usually also acrylic). The application of this type of product results in the formation of a coloured micro-coating on the concrete surface and the penetration of the active substance into the concrete matrix (the depth of penetration depends on the impermeability of the concrete). This is an interesting solution as it allows the surface of the concrete to be provided with both depth

mechanizm wiązania z podłożem: w wyniku reakcji chemicznej tworzy się niezwykle stabilne wiązanie kowalencyjne Si–O–Si pomiędzy środkiem hydrofobizującym a krzemianową matrycą betonu. Efektem jest wysoka odporność na alkalia, temperaturę (do 350°C), odporność na promieniowanie UV oraz, co najważniejsze, bariera dla chlorków oraz wodoodporność przy jednoczesnym zachowaniu paroprzepuszczalności.

Wadą tego rozwiązania jest nieznaczna zmiana koloru betonu, pogłębienie odcienia szarości. Nie ma także możliwości zakamuflowania ewentualnych błędów wykonawczych. Wyroby najczęściej nanosi się w dwóch warstwach metodą mokre na mokre, a zabezpieczona powierzchnia zyskuje właściwości hydrofobowe po 2–3 tygodniach.

### 5.7. Powłoki antygraffiti

Kolejnym typem zabezpieczenia powierzchni betonu, nie tylko przed agresywnymi czynnikami chemicznymi, ale i skutkami aktów wandalizmu, są coraz powszechniej stosowane powłoki antygraffiti. Wyroby te najczęściej wykorzystywane są w miastach, ze względu na większe ryzyko wandalizmu. Jako specyficzny produkt mają dwie funkcje: zapewnić barierową ochronę powierzchniową (jak standardowo stosowana powłoka ochronna dopuszczona do tego celu krajową oceną techniczną) i utworzyć powierzchnię charakteryzującą się właściwościami pozwalającymi na łatwe usunięcie graffiti. Wyróżnia się trzy typy takich wyrobów: zabezpieczenia tymczasowe, półtrwałe i trwałe. Powłoki standardowo nanosi się do pewnej wysokości, najczęściej do 3 m.

Zdarza się, że powłoki antygraffiti [65] są nakładane na wcześniejsze zabezpieczenie powłokowe, pozostające w eksploatacji od dłuższego czasu. Jest to dopuszczalne rozwiązanie, pod warunkiem że zostanie obliczony sumaryczny parametr paroprzepuszczalności starej powłoki i nowej powłoki antygraffiti. Przegrubienie systemu, wiążące się z zaburzeniem parametru paroprzepuszczalności, może spowodować odspojenie powłok lub powstanie pęcherzy, w których będzie się gromadzić woda [66].

## 6. Podsumowanie

Jak wskazują dane statystyczne, dynamicznie rozwija się infrastruktura drogowa w Polsce, co bez wątpienia ma wpływ na rozwój w dziedzinie wyrobów do ochrony konstrukcji przed korozją i innymi zniszczeniami. Z pewnością przyczyniają się również do tego zmiany legislacyjne, które wymuszają na producentach wyrobów budowlanych poszukiwanie nowych rozwiązań materiałowych w związku z wprowadzanymi ograniczeniami, na przykład w stosowaniu niektórych składników, takich jak chociażby olej antracenyowy, biel tytanowa, czy emisji VOC, oraz definiowaniem nowych zagrożeń bezpieczeństwa konstrukcji. Ważne jest, aby ten rozwój był zrównoważony, aby poszukiwano równowagi pomiędzy racjonalnym gospodarowaniem zasobami materialnymi i energią a trwałością i lepszymi właściwościami technicznymi.

Przez wiele lat obiekty inżynierskie były najczęściej zabezpieczane powłokami na bazie żywic akrylowych. Obecnie odchodzi się od tego standardowego rozwiązania na rzecz zabezpieczania nowych budowli żelbetonowych bezbarwnymi impregnatami hydrofobizującymi, które skutecznie wypierają barwne systemy powłokowe. Dzięki temu obiekty wkomponowują się w otoczenie.

W ostatnich kilku latach coraz częściej zabezpiecza się również obiekty powłokami nowego rodzaju, które są produktami typu 2 w 1, czyli zarówno powłoką, jak i impregnatem hydrofobizującym. Wyroby te są mieszaniną substancji czynnej, silanów i (lub) siloksanów, w barwnej dyspersji polimerowej (zazwyczaj także akrylowej). Zastosowanie tego typu produktów powoduje powstanie na powierzchni betonu barwnej mikropowłoki oraz wnikięcie w matrycę betonu substancji czynnej (głębokość penetracji uzależniona jest od szczelności betonu). Jest to ciekawe rozwiązanie, ponieważ

and barrier protection, and for the colour of the structure to be evened out, which is particularly useful in situations where an architectural concrete surface is required (there are major problems in this area) or where the structure is prestressed. It has also led to a move away from the use of hybrid systems, i.e. protecting building elements first with a colourless water-repellent impregnation and then with a coloured protective coating. This solution is mainly used to protect new buildings.

The situation is different for old buildings that are being partially renovated. These are generally treated with a coloured coating system, usually of the same type as the one that was originally used.

In the case of exceptional risks, special coatings are used. In cities and vulnerable areas, anti-graffiti coatings are applied up to a certain height. Epoxy or modified epoxy coatings are used in highly aggressive chemical environments, and polymer-cement coatings are used where the risk is mainly related to chlorides in seawater.

The observed dynamic increase in the production of concrete resulting from the growing number of civil engineering works and the progressive rise in environmental hazards necessitates the development of new methods and instruments for the identification of hazards and their effects, development of products for the protection of concrete, and an extension of technical supervision.

Experience in the observation of concrete structures in service shows that, under conditions of ever-increasing corrosive, operational and environmental hazards, the material and structural protection provided is generally not sufficient to ensure the required durability. Therefore, there is a need for wider use of corrosion protection systems, and further research and dissemination of knowledge on their application, maintenance and monitoring. In view of the large number of structures in service and under construction, the scale of the risks, the specific nature of the products and the problems of application, it is necessary to appoint inspectors specialised in corrosion protection.

pozwała zabezpieczyć powierzchnię betonu zarówno wgłębnie, jak i barierowo oraz wyrównać kolorystykę obiektu – sprawdza się zwłaszcza w sytuacjach, w których wymagane jest uzyskanie powierzchni betonu architektonicznego (występują duże problemy w tym zakresie) lub gdy konstrukcja jest sprężona. Wpłynęło ono również na odchylenie od stosowania systemu hybrydowego, czyli zabezpieczania elementów budowli najpierw bezbarwnym impregnatem hydrofobizującym, a następnie barwną powłoką ochronną. Rozwiązanie to jest stosowane głównie do zabezpieczania nowych obiektów.

Inaczej jest ze starymi obiektami, które są poddawane remontom częściowym. Odtwarzane są na nich zwykle barwne systemy powłokowe – zazwyczaj tego samego typu, jaki zastosowano pierwotnie.

W wypadku nietypowych zagrożeń stosuje się specjalne powłoki. W miastach i w miejscach newralgicznych do określonej wysokości stosuje się powłoki antygraffiti. Tam, gdzie jest silnie agresywne środowisko chemiczne, stosuje się powłoki epoksydowe lub epoksydowe modyfikowane, a tam, gdzie zagrożenie jest związane głównie z chlorkami zawartymi w wodzie morskiej, używa się powłok polimerowo-cementowych.

Obserwowany dynamiczny wzrost produkcji masy betonowej, spowodowany zwiększeniem liczby powstających obiektów inżynierskich i postępującym wzrostem zagrożeń środowiskowych, wymaga opracowywania nowych metod i instrumentów identyfikacji zagrożeń oraz ich skutków, a także wyrobów do ochrony betonu; konieczne jest także rozszerzenie nadzoru technicznego.

Z doświadczenia w zakresie obserwacji eksploatowanych obiektów betonowych wynika, że w warunkach stale rosnących zagrożeń korozyjnych, eksploatacyjnych i środowiskowych ochrona materiałowo-strukturalna na ogół nie jest wystarczająca do zapewnienia wymaganej trwałości. Konieczne jest więc powszechne stosowanie systemów zabezpieczeń antykorozyjnych, potrzebne są również dalsze badania nad nimi oraz popularyzacja wiedzy na temat ich aplikacji, utrzymania i sprawowania nad nimi nadzoru. Ze względu na dużą liczbę eksploatowanych oraz nowo powstających obiektów, a także na skalę zagrożeń, specyfikę wyrobów i problemy wykonawcze niezbędne jest powołanie inspektorów ze specjalnością z dziedziny zabezpieczeń antykorozyjnych.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] GUS. 2020. *Produkcja wyrobów przemysłowych w latach 2015–2019*. Warszawa.
- [2] GUS. 2020. *Produkcja wyrobów przemysłowych w latach 2015–2019. Tablice w formacie XLSX*.
- [3] Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2008–2012. Załącznik do uchwały nr 163/2007 Rady Ministrów z dnia 25 września 2007 r.
- [4] J. Kaliński. 2013. „Autostrady na EURO 2012”. *Kwartalnik Kolegium Ekonomiczno-Społecznego. Studia i Prace* 1: 139–163. DOI: <https://doi.org/10.33119/KKESiP.2013.1.6>.
- [5] R. Kozłowski, I. Tomczyk. 2009. *Problematyka budowy dróg w Polsce na przykładzie drogi ekspresowej S-8 w województwie łódzkim*. Łódź–Sieradz.
- [6] Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2011–2015. <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/program-budowy-drog-krajowych-na-lata-2011-2015> (access: 15.09.2023).
- [7] Uchwała Rady Ministrów nr 10/2011 z dnia 25 stycznia 2011 r. w sprawie ustanowienia programu wieloletniego pod nazwą „Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2011–2015”.
- [8] Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2014–2023 (z perspektywą do 2025 r.). <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/program-budowy-drog-krajowych-na-lata-2014-2023-z-perspektywa-do-2025-r> (access: 15.09.2023).
- [9] Uchwała nr 156/2015 Rady Ministrów z dnia 8 września 2015 r. w sprawie ustanowienia programu wieloletniego pod nazwą „Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2014–2023 (z perspektywą do 2025 r.)”.
- [10] <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/rzadowy-fundusz-rozwoju-drog--dawniej-fundusz-drog-samorzadowych> (access: 15.09.2023).
- [11] Ustawa z dnia 23 października 2018 r. o Rządowym Funduszu Rozwoju Dróg (Dz.U. 2018 poz. 2161).
- [12] Program Bezpiecznej Infrastruktury Drogowej na lata 2021–2024. <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/program-bezpiecznej-infrastruktury-drogowej-na-lata-2021-2024> (access: 15.09.2023).
- [13] Uchwała nr 29/2021 Rady Ministrów z dnia 23 lutego 2021 r. w sprawie ustanowienia programu wieloletniego pod nazwą „Program Bezpiecznej Infrastruktury Drogowej 2021–2024”.
- [14] Program Budowy 100 Obwodnic na lata 2020–2030. <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/program-budowy-100-obwodnic-na-lata-2020---2031> (access: 15.09.2023).
- [15] Uchwała nr 46/2021 Rady Ministrów z dnia 13 kwietnia 2021 r. w sprawie ustanowienia programu wieloletniego pod nazwą „Program Budowy 100 Obwodnic na lata 2020–2030”.
- [16] Program Wzmocnienia Krajowej Sieci Drogowej do 2030 roku. <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/program-wzmocnienia-krajowej-sieci-drogowej-do-2030-roku> (access: 15.09.2023).
- [17] Uchwała nr 198/2022 Rady Ministrów z dnia 4 października 2022 r. w sprawie ustanowienia programu wieloletniego pod nazwą „Program Wzmocnienia Krajowej Sieci Drogowej do 2030 roku”.



- [18] Rządowy Program Budowy Dróg Krajowych do 2030 r. (z perspektywą do 2033 r.). <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/rzadowy-program-budowy-drog-krajowych-do-2030-r-z-perspektywa-do-2033-r> (access: 15.09.2023).
- [19] Uchwała nr 253/2022 Rady Ministrów z dnia 13 grudnia 2022 r. w sprawie ustanowienia programu wieloletniego pod nazwą „Rządowy Program Budowy Dróg Krajowych do 2030 r. (z perspektywą do 2033 r.)”.
- [20] Transeuropejska Sieć Transportowa – TEN-T. <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/transeuropejska-siec-transportowa-ten-t> (access: 15.09.2023).
- [21] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej i uchylające decyzję nr 661/2010/UE.
- [22] J. Piotrowska-Lój, M. Gruszczyński. 2021. „Nowa perspektywa jakości i bezpieczeństwa – branża betonu towarowego podsumowuje rok 2020”. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne* 4(97): 72–75.
- [23] Dane statystyczne GDDKiA. <https://www.gov.pl/web/gddkia/dane-statystyczne> (access: 15.09.2023).
- [24] Tablica 1A. Podział drogowych obiektów mostowych, tuneli i przejść podziemnych na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA (stan na dzień 15.10.2010 r.).
- [25] Tablica 1G. Podział drogowych obiektów mostowych, tuneli i przejść podziemnych na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA (stan na dzień 20.11.2016 r.).
- [26] GDDKiA. 2023. „Stan obiektów mostowych na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA”. <https://www.gov.pl/web/gddkia/stan-obiektow-mostowych-na-drogach-krajowych-zarządzanych-przez-gddkia> (access: 15.09.2023).
- [27] Ogólne informacje o sieci dróg krajowych. <https://www.gov.pl/web/gddkia/ogolne-informacje-o-sieci-drog-krajowych> (access: 15.09.2023).
- [28] PN-EN 206+A2:2021-08: Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność.
- [29] PN-EN 206+A1:2016-12: Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [30] PN-B-06265:2022-08: Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność – Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A2:2021-08.
- [31] M. Gruszczyński, U. Paszek. 2020. „Trwałość betonu w ujęciu aktualnych norm PN-EN 206+A1:2016-12 i jej krajowego uzupełnienia PN-B-06265:2018-10”. *Ochrona przed Korozją* 63(1): 12–17. DOI: 10.15199/40.2020.1.3.
- [32] T. Szczepański, A. Halicka. 2021. „Ocena agresywności środowiska w zamkniętych żelbetonowych obiektach gospodarki ściekowej”. *Przegląd Budowlany* 92(3): 16–22.
- [33] PN-EN 1504-1-10: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności.
- [34] 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.
- [35] PN-EN 1504-3:2006: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności – Część 3: Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne.
- [36] L. Czarniecki, P. Łukowski, A. Garbacz. 2017. *Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu. Komentarz do PN-EN 1504*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [37] WR-M-32: Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego betonowych elementów drogowych obiektów inżynierskich. Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu.
- [38] P. Łukowski. 2023. „Dobór materiałów do napraw i ochrony konstrukcji żelbetonowych”. *Inżynier Budownictwa* 7-8: 44–48.
- [39] L. Czarniecki. 1993. „Korozja w budownictwie: korozja betonu – ochrona – naprawa”. *Ochrona przed Korozją* 35(4): 77–89.
- [40] P. Woyciechowski, G. Adamczewski, P. Łukowski. 2020. „Użytkowanie i naprawy betonu eksploatowanego w silnie agresywnym środowisku”. *Ochrona przed Korozją* 65(1): 2–11. DOI: 10.15199/40.2022.1.1.
- [41] J. Bień. 2021. „Typowe procesy degradacji i uszkodzenia żelbetonowych obiektów mostowych”. *Przegląd Komunikacyjny* 76(1): 6–15.
- [42] K. Saramowicz, W. Majewski, B. Baraniecka, M. Ciecierski. 2018. „Materiały polimerowo-cementowe jako skuteczna ochrona i naprawa powierzchni morskich budowli hydrotechnicznych”. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4: 305–310.
- [43] K. Saramowicz, U. Paszek, M. Gruszczyński. 2018. „Zagrożenia korozyjne obiektów komunikacyjnych i hydrotechnicznych budowli śródlądowych i morskich”. *Mosty* 2: 38–40.
- [44] P. Chudziak, M. Zaborowski. 2020. „Wpływ środowiska morskiego na korozję żelbetu w morskich budowliach hydrotechnicznych”. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 3: 132–135.
- [45] M. Gruszczyński, M. Aleksion, U. Paszek. 2014. „Beton cementowo-polimerowy zastosowany do naprawy falochronu wyspowego w porcie Gdynia”. *Ochrona przed Korozją* 57(12): 466–474.
- [46] K. Szyszkiewicz, J. J. Jasiolec, A. Królikowska, R. Filipek. 2017. „Wyznaczanie współczynników dyfuzji chlorków w materiałach cementowych – przegląd metod eksperymentalnych i modelowania: część I – metody dyfuzyjne”. *Cement Wapno Beton* 22/84(1): 52–67.
- [47] J. J. Jasiolec, K. Szyszkiewicz, A. Królikowska, R. Filipek. 2017. „Wyznaczanie współczynników dyfuzji chlorków w materiałach cementowych – przegląd metod eksperymentalnych i modelowania: część II – metody migracyjne”. *Cement Wapno Beton* 22/84(2): 154–167.
- [48] K. Szyszkiewicz, J. J. Jasiolec, A. Królikowska, R. Filipek. 2017. „Wyznaczanie współczynników dyfuzji chlorków w materiałach cementowych – przegląd metod eksperymentalnych i modelowania: część III – metody impedancyjne”. *Cement Wapno Beton* 22/84(3): 219–229.
- [49] R. Filipek, P. Pasierb, A. Królikowska, L. Komorowski, J. Deja, A. Łagosz, J. Migdałski, A. Lewenstam, T. Plecha, S. Kaszuba. 2017. „Nowa, nieniszcząca metoda diagnostyki procesów korozyjnych na konstrukcjach żelbetonowych”. *Ochrona przed Korozją* 60(12): 391–395. DOI: 10.15199/40.2017.12.1.
- [50] M. Wutke, M. Konopska-Piechurska. 2018. „Nieniszczące metody diagnostyki w budownictwie”. In: *Nowoczesna diagnostyka i naprawy nawierzchni drogowych. Materiały konferencyjne*. Kielce.
- [51] „DiaCorr”. [https://www.tpaqi.com/databases/internet/\\_public/files30.nsf/SearchView/0EEC396A2BAAC672C12583BC003FD0D5/\\$File/Ulotka%20DiaCorr.pdf](https://www.tpaqi.com/databases/internet/_public/files30.nsf/SearchView/0EEC396A2BAAC672C12583BC003FD0D5/$File/Ulotka%20DiaCorr.pdf) (access: 15.09.2023).
- [52] PN-EN 1062-7:2005: Farby i lakiery – Wyroby lakierowe i systemy powłokowe stosowane na zewnątrz na mury i beton – Część 7: Oznaczenie właściwości pokrywania rys.
- [53] PN-EN 1542:2000: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Metody badań – Pomiar przyczepności przez odrywanie.
- [54] PN-EN 1062-6:2003: Farby i lakiery – Wyroby lakierowe i systemy powłokowe stosowane na zewnątrz na mury i beton – Część 6: Oznaczenie przepuszczalności ditlenku węgla.
- [55] PN-EN ISO 7783:2018-11: Farby i lakiery – Oznaczenie właściwości przenikania pary wodnej – Metoda z zastosowaniem naczynka.
- [56] PN-EN 1062-3:2008: Farby i lakiery – Wyroby lakierowe i systemy powłokowe stosowane na zewnątrz na mury i beton – Część 3: Oznaczenie przepuszczalności wody.
- [57] PN-EN 1062-11:2003: Farby i lakiery – Wyroby lakierowe i systemy powłokowe stosowane na zewnątrz na mury i beton – Część 11: Metody kondycjonowania przed badaniem.
- [58] PN-EN ISO 2812-1:2018-01: Farby i lakiery – Oznaczenie odporności na ciecze – Część 1: Zanurzanie w cieczach innych niż woda.
- [59] ASTM C1202-19: Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration.
- [60] „Paint Shortage, Prices on the Rise.” September 30, 2021. <https://www.paintsquare.com/news/view/?24236> (access: 15.09.2023).
- [61] A. Maślanka. 2013. „Farby akrylowe”. <https://www.rynekfarb.pl/farby-akrylowe/> (access: 15.09.2023).
- [62] R. Bassi, S. K. Roy. 2002. *Handbook of Coatings for Concrete*. Dunbeath, Scotland: Whittles Publishing.
- [63] U. Paszek, A. Królikowska. 2012. „Ocena skuteczności działania preparatów hydrofobizujących”. *Materiały Budowlane* 5: 71–72.
- [64] U. Paszek, M. Ilski. 2015. „Hydrofobizacja węglębna: nowa strategia poprawy trwałości konstrukcji betonowych”. *Ochrona przed Korozją* 58(3): 82–86. DOI: 10.15199/40.2015.3.3.
- [65] U. Paszek, A. Królikowska. 2010. „Estetyka otoczenia – problemy z graffiti, plakatami, gumą do żucia”. *Ochrona przed Korozją* 53(12): 686–689.
- [66] U. Paszek, A. Królikowska. 2016. „Wpływ grubości powłok ochronnych stosowanych na powierzchniach betonowych na ich paroprzepuszczalność”. *Ochrona przed Korozją* 59(2): 38–42. DOI: 10.15199/40.2016.2.1.