



Mirosław BRONIEWICZ • Filip BRONIEWICZ • Karolina DEC

TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH PODDANYCH ODDZIAŁYWANIOM ŚRODOWISKOWYM

Mirosław Broniewicz, dr hab. inż. – Politechnika Białostocka

Filip Broniewicz, inż. – Politechnika Białostocka

Karolina Dec, inż. – Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:

Katedra Konstrukcji Budowlanych

ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

e-mail: m.broniewicz@pb.edu.pl

SERVICE LIFE OF THE ENGINEERING STRUCTURES SUBJECTED TO ENVIRONMENTAL IMPACTS

SUMMARY: The aim of the paper is to present a state-of-the-art report on service life design methods with reference to engineering structures. The approach to durability assessment and verification method developed in the ISO Standards and scientific literature are discussed. The basic durability requirements presented in the structural codes, as well as full probabilistic procedures taking into account statistical properties, are considered. In particular, the limiting values method, the factor method, the semi-probabilistic dimensioning methods such as the lifetime safety factor method and alternative approaches are presented.

KEYWORDS: service life, engineering structures, environmental impact

Wstęp

Każda konstrukcja budowlana w okresie swojego cyklu życia jest narażona na czynniki niszczące, takie jak warunki otoczenia, naturalne starzenie, pogorszenie właściwości użytkowych, uszkodzenia w procesie budowy lub podczas eksploatacji. Procesy niszczenia mogą doprowadzić do zmniejszenia użyteczności elementów i materiałów do takiego stopnia, że konstrukcja obiektu nie będzie w stanie spełniać podstawowych wymagań dotyczących jej nośności i użyteczności przed upływem projektowanego czasu eksploatacji obiektu. W celu zapobieżenia zbyt wczesnemu zniszczeniu konstrukcji normy budowlane podają wiele praktycznych zasad i przepisów, dotyczących przedłużenia okresu eksploatacji konstrukcji, przykładowo przez stosowanie specjalnych powłok ochronnych konstrukcji stalowych narażonych na agresywne czynniki środowiska czy zbyt wysoką temperaturę.

Ponadto, w ramach międzynarodowych programów badawczych powstało szereg procedur projektowych pozwalających przewidzieć niekorzystne czynniki wpływające na pogorszenie stanu konstrukcji. Dotyczą one szczególnie konstrukcji żelbetowych i betonowych (przykładowo: program BRITTE/UERAM¹).

Stany graniczne konstrukcji

Zgodnie z podstawowymi wymaganiami norm projektowych konstrukcja powinna być zaprojektowana i wykonana w taki sposób, aby w zamierzonym okresie użytkowania przejmowała wszystkie oddziaływania i wpływy środowiska, których pojawienia się można oczekiwać podczas wykonania, montażu i eksploatacji. Konstrukcja powinna spełniać te wymagania z należyтым poziomem niezawodności i bez ponoszenia związanych z tym nadmiernych kosztów.

Prawidłowo zaprojektowana konstrukcja powinna odznaczać się wymaganą nośnością, użytecznością i trwałością. W wypadku zaistnienia pożaru jej nośność powinna być zapewniona w wymaganym przedziale czasu niezbędnym na ewakuację. Konstrukcja powinna być również odporna na zaistnienie nieprzewidywalnych zdarzeń takich jak wybuch, uderzenie czy konsekwencje ludzkich błędów.

Czynniki środowiskowe, które mogą mieć wpływ na trwałość konstrukcji należy uwzględniać przy doborze materiałów konstrukcyjnych, rodzaju

¹ BRITTE/UERAM Program. DuraCrete 1996-99. DuraNet 1998-01. Darts 1997-2004.

ustroju konstrukcyjnego i w wymaganiach technicznych obiektu. W celu właściwej oceny trwałości konstrukcji zaleca się określanie ilościowe efektów wpływów środowiskowych.

Wymienione podstawowe wymagania dotyczące nośności, użyteczności i trwałości konstrukcji powinny być spełnione w wyniku doboru odpowiednich materiałów, należytego zaprojektowania ustroju konstrukcyjnego oraz ustalenia i przeprowadzania odpowiednich procedur kontrolnych na etapie projektowania, produkcji materiałów i wykonania elementów, a także podczas użytkowania obiektu.

Wymaganą trwałość i niezawodność konstrukcji należy zapewnić projektując konstrukcję zgodnie z wytycznymi eurokodów budowlanych, odpowiednio ją wykonując oraz podejmując środki dla zapewnienia jakości. Konstrukcja powinna być zaprojektowana w taki sposób, aby zmiany następujące w projektowym okresie użytkowania, z uwzględnieniem wpływów środowiska i przewidywanego poziomu utrzymania konstrukcji nie obniżały jej właściwości użytkowych poniżej zamierzonego poziomu. Warunki środowiskowe mające wpływ na trwałość konstrukcji powinny być określone już na etapie projektowania, aby można było przedsięwziąć odpowiednie środki zapobiegawcze.

W obecnej praktyce projektowej konstrukcje budowlane projektuje się wykorzystując metody deterministyczne oraz probabilistyczne. Metody deterministyczne są oparte o metody porównawcze oraz metody badań empirycznych. Wśród metod probabilistycznych można wyróżnić pełne podejście probabilistyczne, podejście półprobabilistyczne z częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa oraz metodę stanów granicznych.

Podstawowe wymaganie trwałości może być wyrażone za pomocą równania (1), w którym okres użytkowy konstrukcji lub jej elementu t_S nie powinien być mniejszy od okresu projektowego konstrukcji t_D :

$$t_S \geq t_D \quad (1)$$

W przypadku, gdy element konstrukcji jest zabezpieczony przez określony czas przeciwko niekorzystnym wpływom środowiska (na przykład ocynkowanie elementów stalowych, lakierowanie ochronne drewna), wówczas okres użytkowania konstrukcji można przedstawić za pomocą wyrażenia:

$$t_S = t_{start} + t_{exposed} \quad (2)$$

gdzie:

- t_{start} – czas potrzebny do zapoczątkowania degradacji elementu,
- $t_{exposed}$ – okres użytkowania po zapoczątkowaniu degradacji.

W okresie użytkowym t_S konstrukcja spełnia wymagania projektowe, a w okresie projektowym t_D , wyspecyfikowanym na etapie projektowania,

zapewnia się prawidłowe funkcjonowanie obiektu lub elementu bez poważnych napraw. Liczbowe wartości okresu projektowego są zazwyczaj podawane w eurokodach projektowych (tabela 1).

Tabela 1. Orientacyjne okresy projektowe obiektów budowlanych

Kategoria obiektu	Projektowy okres użytkowania (lata)	Przykłady obiektów
1	10	Konstrukcje tymczasowe
2	10-25	Wymienialne części konstrukcji zwykłych
3	15-30	Konstrukcje rolnicze
4	50	Konstrukcje budynków i inne konstrukcje zwykłe
5	100	Konstrukcje budynków monumentalnych, mosty i inne konstrukcje inżynierskie

Źródło: PN-EN 1990: 2002 Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji.

Okres użytkowy konstrukcji t_S jest wypadkową wielu czynników, na przykład czasu użytkowania elementów i części składowych konstrukcji, zastosowanych procedur zarządzania i kontroli, bieżących napraw. Te części i elementy, których okres użytkowy jest mniejszy od okresu użytkowego całej konstrukcji muszą podlegać wymianie. Renowacja lub naprawa elementu budowlanego powinny być uwzględnione w okresie użytkowym.

W pełnej metodzie probabilistycznej dokonuje się oszacowania prawdopodobieństwa zniszczenia konstrukcji P i sprawdza, czy obliczone prawdopodobieństwo jest mniejsze lub równe założonemu na etapie projektowania docelowemu prawdopodobieństwu P_{target} zgodnie ze wzorem:

$$P(t_S < t_D) \leq P_{target} \quad (3)$$

Półprobabilistyczna metoda współczynnikowa projektowania trwałości konstrukcji wprowadza pojęcia wartości charakterystycznej okresu życia konstrukcji t_{sk} , wartości obliczeniowej t_D oraz częściowy współczynnik bezpieczeństwa γ_S określony za pomocą wyrażenia:

$$\frac{t_{sk}}{\gamma_S} \geq t_D \quad (4)$$

Sprawdzenie trwałości konstrukcji w tej metodzie polega na porównaniu wartości prognozowanego okresu użytkowego t_{sp} z wartością obliczeniową okresu życia konstrukcji t_D według wzoru:

$$t_S = t_{sp} \geq t_D \quad (5)$$

Metoda stanów granicznych obejmuje obecnie trzy stany graniczne konstrukcji. Stan graniczny nośności (ULS) odnosi się do bezpieczeństwa konstrukcji. W stanie granicznym użyteczności (SLS) ocenie podlegają nadmierne deformacje konstrukcji uniemożliwiające jej prawidłowe funkcjonowanie. Stan graniczny trwałości (ILS) odpowiada początkowi procesu degradacji konstrukcji². Podstawowe wymaganie dla stanu granicznego nośności można zapisać w postaci wyrażenia:

$$R(t) \geq Q(t) \quad (6)$$

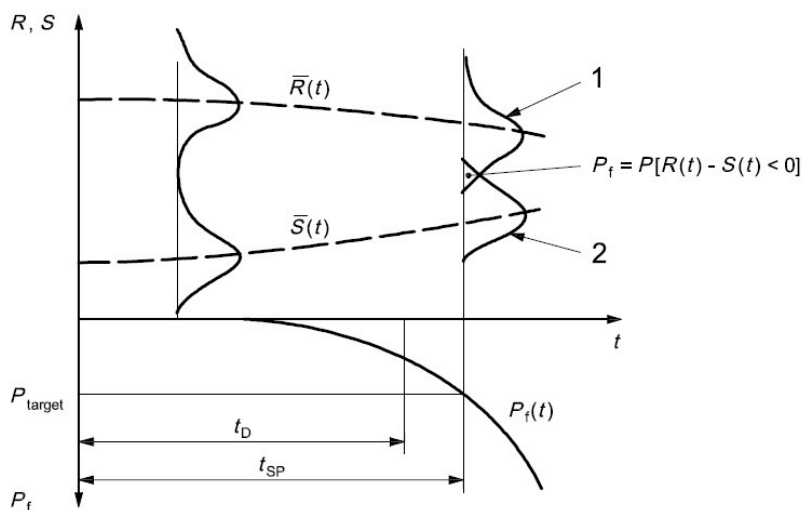
gdzie:

$R(t)$ – nośność konstrukcji,

$Q(t)$ – oddziaływania działające na konstrukcję.

W stanie granicznym użyteczności odkształcenie lub przemieszczenie konstrukcji $S(t)$ nie może przekraczać wartości uznanych za dopuszczalne S_{lim} :

$$S(t) \leq S_{lim} \quad (7)$$



- 1 funkcja gęstości prawdopodobieństwa $R(t)$ t_D projektowany okres użytkowy
 2 funkcja gęstości prawdopodobieństwa $S(t)$ t_{SP} prognozowany okres użytkowy

Rysunek 1. Matematyczny model prognozowania okresu użytkowego t_{sp}

Źródło: ISO 13823:2008: General principles on the design of structures for durability.

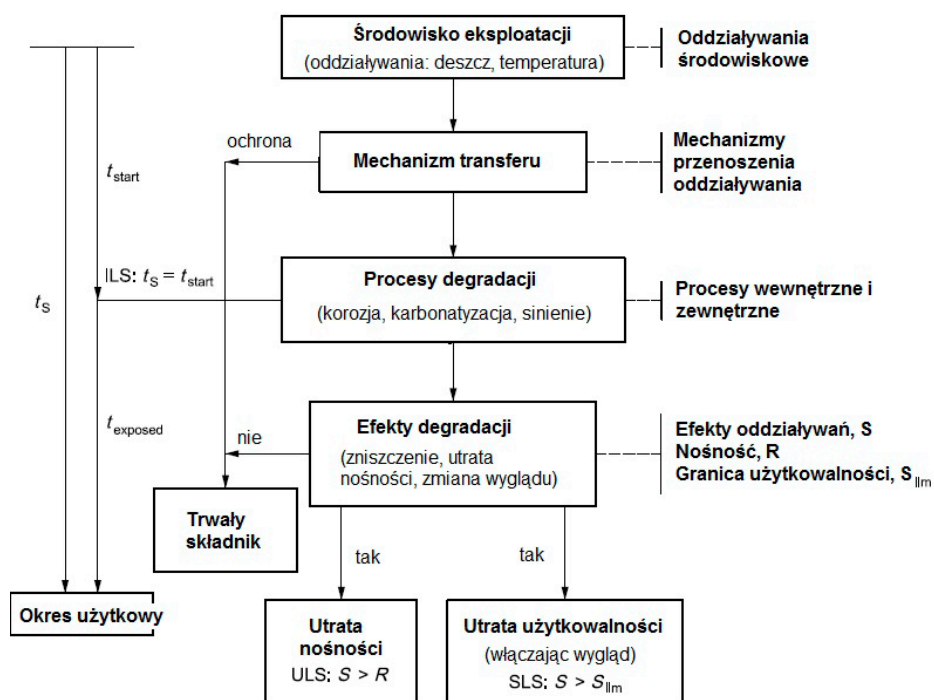
² CIB W80/RILEM 71-PSL 1987. Prediction of service life of building materials and components. Materials and Structures 20(1987)115.

Warunek stanu granicznego trwałości można zapisać jako wyrażenie (8) i przedstawić w formie graficznej (rysunek 1):

$$P(t) = Pf[R(t) - S(t) \leq 0] < P_{target} \quad (8)$$

Projektowanie konstrukcji budowlanych ze względu na trwałość

Ogólne wymagania dotyczące projektowania konstrukcji budowlanych ze względu na trwałość z wykorzystaniem metody stanów granicznych zostały przedstawione w normie ISO 13823³. W metodzie tej trwałość konstrukcji budowlanych określa się analizując środowisko eksploatacji konstrukcji, mechanizmy transferu, czyli przenoszenia się oddziaływań środowiskowych na elementy budowlane, procesy wewnętrzne i zewnętrzne powodujące ich degradację oraz ilościowe efekty degradacji. Schemat ideowy tej metody podano na rysunku 2.



Rysunek 2. Stan graniczny trwałości konstrukcji

Źródło: ISO 13823:2008: General principles on the design of structures for durability.

³ ISO 13823:2008: General principles on the design of structures for durability.

W pierwszym etapie należy określić środowisko eksploatacji konstrukcji. Obejmuje ono wszystkie elementy środowiska otaczającego konstrukcję, które powodują powstanie oddziaływań środowiskowych degradujących elementy budowlane takich jak: wilgoć, temperatura, promieniowanie słoneczne i inne. Przykłady rodzajów środowisk eksploatacji konstrukcji oraz odpowiadające im oddziaływania na konstrukcje budowlane przedstawiono w tabeli 2, a parametry opisu oddziaływań środowiskowych – w tabeli 3.

Tabela 2. Rodzaje środowisk i ich oddziaływania

Rodzaj środowiska	Oddziaływania środowiskowe
Środowisko zewnętrzne – atmosfera	Deszcz, śnieg, lód Składniki powietrza (azot, tlen, argon) Zanieczyszczenia powietrza (freony) Temperatura, wilgoć Promienie słoneczne
Środowisko zewnętrzne – grunt lub woda	Woda Składniki gruntu Zanieczyszczenia gruntu Sól drogowa
Środowisko wewnętrzne	Wilgotność i temperatura Zanieczyszczone materiały Woda i ścieki Środki chemiczne Inne działania powodujące zużycie

Źródło: CIB W80/RILEM 71-PSL 1987. Prediction of service life of building materials and components. Materials and Structures 20(1987)115.

Tabela 3. Parametry opisu oddziaływań środowiskowych

Elementy środowiska	Oddziaływania środowiskowe	Parametry opisu
Wilgoć (składniki)	Stałe (lód, śnieg) Płynne (deszcz, kondensacja) Gazowe (parowanie wody)	Okres zawilgocenia (TOW) Wilgotność względna (RH)
Wilgoć (zanieczyszczenia)	Chlorki, kwasy, siarczany	Czas ekspozycji (TOE) Wilgotność względna (RH) Odczyn pH Koncentracja
Powietrze (składniki)	Tlen, dwutlenek węgla	Czas ekspozycji (TOE) Koncentracja
Powietrze (zanieczyszczenia)	Tlenki, cząstki stałe, aerozole	Czas ekspozycji (TOE) Koncentracja

Elementy środowiska	Oddziaływania środowiskowe	Parametry opisu
Grunt (składniki)	Siarczany i inne sole	Czas ekspozycji (TOE) Wilgotność względna (RH) Odczyn pH Koncentracja
Powietrze (zanieczyszczenia)	Chemikalia z wycieków i skażeń Chlorki z soli drogowej Wzbudzone prądy elektryczne	Czas ekspozycji (TOE) Wilgotność względna (RH) Czas (T) Odczyn pH Koncentracja
Życie biologiczne	Mikroorganizmy, insekty, zwierzęta, rośliny	Okres zawilgocenia (TOW) Wilgotność względna (RH) Czas (T) Położenie geograficzne
Temperatura	Cykle zamrażania i rozmrażania, ogrzewanie	Ilość cykli (F-T)
Promieniowanie słoneczne	Promienie UV, promienie IR	Czas ekspozycji (TOE) Wilgotność względna (RH) Czas (T)
Eksploatacja lub ekspozycja	Zużycie, zniszczenie	Czas ekspozycji (TOE) Obciążenie

Źródło: opracowanie własne na podstawie: CIB W80/RILEM 71-PSL 1987. Prediction of service life of building materials and components. *Materials and Structures* 20(1987)115; E. Vesikari, *The Effect of Coatings on the Service Life of Concrete Facades*, Proc. 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Brisbane, Australia, 17–21 March 2002.

Mechanizmy przenoszenia oddziaływań środowiskowych na elementy konstrukcji są nazywane mechanizmami transferu. Są to zjawiska fizyczne takie, jak grawitacja, kondensacja, podciąganie kapilarne, które sprzyjają lub zapobiegają degradacji elementów.

Modelowanie procesu degradacji wymaga poznania mechanizmów transferu oddziaływań środowiskowych do elementów. Wiedza ta powinna uwzględniać zarówno właściwości materiałów budowlanych i ich składników oraz znajomość mikroklimatu w otoczeniu użytkowanych elementów. Przykłady mechanizmów transferu przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Mechanizmy transferu oddziaływań środowiskowych

Mechanizm transferu	Przykłady
Bezpośrednia ekspozycja	Promieniowanie UV na powierzchnie zewnętrzne Deszcz na dachy i ściany Wilgoć gruntowa
Grawitacja	Zastoiny wodne w kształtownikach stalowych Gromadzenie się wody na płaskich powierzchniach Penetracja wody opadowej w dachach Zacieki wodne na elewacjach budynków
Ciśnienie pary/powietrza	Penetracja wody opadowej w ścianach Przenikanie i kondensacja pary w przegrodach budowlanych
Podciąganie kapilarne	Gromadzenie się wody opadowej i gruntowej w porach materiałów wskutek kapilarnego podciągania wody Migracja soli w materiałach porowatych
Energia kinetyczna	Prześliskanie wody przez ściany i otwory okienne
Prześliskanie	Przenikanie CO ₂ wraz z wodą powodujące korozję betonu Przenikanie pary przez materiały ściennie
Konwekcja	Przenikanie powietrza przez nieszczelności w przegrodach budowlanych
Kondensacja	Kondensacja pary wodnej w mostkach termicznych
Dyfuzja	Wnikanie chlorków w stwardniały beton

Źródło: opracowanie własne na podstawie: E. Vesikari, op. cit.

Wskutek działania mechanizmów transferu oddziaływań środowiskowych w materiałach budowlanych zachodzą procesy wewnętrzne i zewnętrzne. Mogą być one korzystne (na przykład wzmocnienie stali wskutek naturalnego starzenia się materiału) lub niekorzystne (na przykład kruchość materiałów z tworzyw sztucznych pod wpływem promieniowania UV). Procesy degradacji zachodzące wewnątrz materiału, jak na przykład korozja stali, rozkład biologiczny drewna czy skurcz betonu są działaniami chemicznymi, elektrochemicznymi, biologicznymi i fizycznymi powodującymi niszczenie lub deformację elementów konstrukcyjnych. Są one zależne od właściwości materiałów budowlanych oraz rodzaju środowiska otaczającego konstrukcję.

Efekty degradacji konstrukcji są to mierzalne skutki oddziaływań środowiskowych (tabela 5). Charakteryzują się one przekroczeniem jednego ze stanów granicznych konstrukcji, czyli stanu granicznego nośności, użyteczności lub trwałości. Uwidaczniają się w postaci niszczenia elementów konstrukcyjnych, zmniejszenia nośności, powstania dodatkowych sił lub naprężeń czy utraty właściwości użytkowych z powodu nadmiernego odkształcenia.

Tabela 5. Efekty degradacji w zależności od rodzaju konstrukcji

Materiał	Środowisko eksploatacji	Mechanizm przenoszenia	Procesy degradacji	Efekty oddziaływania
Stal	atmosfera zewnętrzna	kondensacja wilgoci	korozja atmosferyczna	redukcja grubości elementów
Żelbet	atmosfera zewnętrzna i wewnętrzna	dyfuzja jonów chlorkowych	karbonatyzacja betonu	zmniejszenie przekroju zbrojenia, zmniejszenie wytrzymałości betonu elementu
Drewno	woda	ekspozycja bezpośrednia	działanie grzybów	rozkład biologiczny materiału

Najważniejszym czynnikiem wpływającym na degradację konstrukcji budowlanych są kwaśne deszcze. Są to opady atmosferyczne o odczynie pH mniejszym od 5,6. Zawierają one kwasy wytworzone w reakcji wody z pochłoniętymi z powietrza gazami (dwutlenek siarki, trójtlenek siarki, tlenki azotu, dwutlenek węgla). Zanieczyszczenia przemysłowe emitowane do atmosfery w procesach spalania paliw czy produkcji przemysłowej zwiększają kwasowość środowiska do pH niższego od 5,0.

Poziom zagrożenia ścian budynków penetracją wilgoci jest scharakteryzowany wskaźnikiem zacinającego deszczu dla powierzchni pionowych (DRI) według PN ISO 15927-3⁴, wyrażonym w metrach oraz średnią prędkością wiatru wyrażoną w m/s. Wartość wskaźnika $DRI \leq 3$ oznacza poziom bezpieczny, $3 < DRI \leq 7$ poziom średni oraz $DRI > 7$ poziom ciężki.

Okres zawilgocenia materiału (TOW) jest kolejnym z podstawowych parametrów opisu zagrożeń środowiskowych. Procesy korozji zachodzą w środowisku, w którym powierzchnie konstrukcji metalowych pokryte są cienką warstwą wody. Występuje ona zazwyczaj w temperaturze dodatniej przy względnej wilgotności powietrza od 80% do 90%. Okres zawilgocenia powierzchni elementów konstrukcji zależy także od ich ukształtowania, na przykład od tego czy umożliwiony jest spływ wody z konstrukcji⁵.

Ekspozycja tworzyw sztucznych (polichlorku winylu (PVC), poliwęglanu (PC), polimetakrylanu metylu (PMMA), polietylenu (PE) lub polipropylenu (PP)), z których wykonywane są elementy dachów i ścian na światło słoneczne ma negatywny wpływ na ich żywotność. Zawarte w świetle promieniowanie ultrafioletowe (UV) rozbija wiązania chemiczne tych polimerów, w wyniku czego materiały ulegają różnego typu uszkodzeniom: sztywnieniu, pękaniu czy odbarwianiu. Czas ekspozycji (TOE) tych elementów na światło sło-

⁴ PN ISO 15927-3: 2010 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe budynków – Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych – Część 3: Obliczanie wskaźnika zacinającego deszczu dla powierzchni pionowych z danych godzinowych wiatru i deszczu.

⁵ J. Bródka, M. Broniewicz, *Projektowanie konstrukcji stalowych według Eurokodów*, Rzeszów 2014.

neczne ma więc duże znaczenie przy ocenie stopnia degradacji elementów budowlanych⁶.

W okresie jesienno-zimowym istotną właściwością materiałów ściennych jest mrozoodporność, czyli odporność na procesy cyklicznego zamrażania i odmrażania (F-T). Właściwość ta ma bardzo duże znaczenie w zakresie zachowania trwałości materiału budowlanego i konstrukcji. Woda, która wnika do środka wyrobu budowlanego, poddawana wielokrotnemu zamrażaniu i odmrażaniu, może oddziaływać na właściwości materiału budowlanego, na przykład zmniejszając jego wytrzymałość mechaniczną.

W celu ograniczenia wpływu niekorzystnych oddziaływań środowiskowych na konstrukcje należy już na etapie jej projektowania i wykonania podjąć odpowiednie środki zapobiegawcze. Najważniejszymi z nich jest opracowanie ogólnej koncepcji obiektu budowlanego o zwiększonej odporności na oddziaływania środowiskowe, dobór odpowiednich materiałów, opracowania szczegółów konstrukcyjnych, prawidłowe wykonanie, zapewnienie odpowiedniej kontroli jakości i systemu przeglądów okresowych oraz zastosowanie środków ochronnych, jak na przykład odpowiednie kształtowanie połączeń czy stosowanie powłok ochronnych. Przykłady odpowiednich przedsięwzięć podano w tabeli 6.

Tabela 6. Przykłady przedsięwzięć ograniczających niekorzystne wpływy środowiska

Mechanizm transferu	Przykłady
Bariera	Ocynkowanie wyrobów stalowych, powłoki ochronne elementów drewnianych Impregnacja drewnianych elementów konstrukcji Uszczelnianie połączeń i styków Izolacje przeciwwilgociowe fundamentów Membrany hydroizolacyjne parkingów, garaży, wiaduktów Folie paroizolacyjne w przegrodach budowlanych
Odwadnianie	Unikanie miejsc powodujących gromadzenie się wody Zapobieganie penetracji wody opadowej w ścianach Odprowadzenie wody z dala od dolnych elementów konstrukcji Stosowanie systemów odwadniania obiektów budowlanych
Wentylacja	Wymiana wilgotnego powietrza na powietrze suche w pomieszczeniach

Podsumowanie

Problem trwałości konstrukcji może być opisany przez dwie podstawowe zmienne: odporność konstrukcji R przeciwko czynnikom środowiskowym powodującym jej degradację, działającym przez cały okres użytkowy

⁶ E. Vesikari, op. cit.

oraz oddziaływania środowiska S w okresie użytkowania konstrukcji. Już na etapie projektowania konstrukcji i wyboru materiałów budowlanych należy sprawdzić, czy odporność konstrukcji przewyższa wymagania użytkowe, które mogą się pojawić w okresie jej eksploatacji. Zarówno odporność konstrukcji R , jak i oddziaływania środowiskowe S są wartościami zależnymi od czasu. Przy projektowaniu konstrukcji ze względu na jej nośność i stateczność czynnik czasu jest pomijany w rozważaniach projektowych, a przy określaniu trwałości konstrukcji czas jest bardzo ważnym elementem zmniejszającym odporność konstrukcji.

W powszechnej praktyce budowlanej konstrukcje projektuje się opierając się na zbiorze przepisów i zaleceń normatywnych przedstawionych w normach projektowych. Projektowanie trwałości konstrukcji nie doczekało się jeszcze właściwych aktów normatywnych. W ramach międzynarodowych programów badawczych powstało szereg metod projektowych. Publikacja normy ISO 13823 była pierwszym krokiem w kierunku kodyfikacji problemu wyznaczania trwałości konstrukcji budowlanych narażonych na oddziaływania środowiskowe. Co prawda norma nie przedstawia ścisłych metod projektowania trwałości konstrukcji ani nie wprowadza częściowych współczynników bezpieczeństwa zmniejszających odporność konstrukcji na oddziaływania zewnętrzne z uwagi na szkodliwe czynniki środowiskowe, niemniej jednak jest ważnym elementem ogólnych założeń projektowych służących wyznaczaniu trwałości konstrukcji i ujednocila zakres pojęciowy związany z tą dziedziną projektowania.

Wkład autorów w powstanie artykułu

dr hab. inż. Mirosław Broniewicz – 40% – opracowanie koncepcji artykułu, wkład merytoryczny

inż. Filip Broniewicz – 30% – przegląd literatury, wkład merytoryczny i organizacyjny

inż. Karolina Dec – 30% – przegląd literatury, wkład merytoryczny i organizacyjny

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiŚ/2/2012 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

Literatura

BRITTE/UERAM Program. DuraCrete 1996-99. DuraNet 1998-01. Darts 1997-2004

Bródka J., Broniewicz M., *Projektowanie konstrukcji stalowych według Eurokodów*, Rzeszów 2014

CIB W80/RILEM 71-PSL 1987. Prediction of service life of building materials and components. *Materials and Structures* 20(1987)115

ISO 13823:2008: General principles on the design of structures for durability

PN ISO 15927-3: 2010 Ciepno-wilgotnościowe właściwości użytkowe budynków – Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych – Część 3: Obliczanie wskaźnika zacinającego deszczu dla powierzchni pionowych z danych godzinowych wiatru i deszczu

PN-EN 1990: 2002 Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji

Vesikari E., *The Effect of Coatings on the Service Life of Concrete Facades*, Proc. 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components. Brisbane, Australia, 17–21 March 2002