Trwałość konstrukcji stalowych. Część I. Wymagania normowe, materiał

Durability of steel structures. Part I. Standard requirements, material

dr hab. inż. Jan Zamorowski, prof. UBB (ORCID: 0000-0003-4394-4821), inż. Marek Miczko, studia II stopnia w UBB w Bielsku-Białej

DOI: 10.5604/01.3001.0054.3644

Streszczenie: W artykule przedstawiono dwie grupy zagadnień związanych z trwałością konstrukcji stalowych. Pierwsza grupa dotyczy procedur związanych z osiągnięciem projektowego okresu użytkowania obiektu i zarządzaniem niezawodnością, a druga doborem właściwego gatunku stali z uwagi na temperaturę, kruche pękanie i ciągliwość międzywarstwową. Popełniane błędy w tym zakresie mogą zdecydowanie skrócić okres użytkowania obiektu. Za trwałość obiektu odpowiada projektant, wykonawca oraz najdłużej użytkownik. W artykule przedstawiono ich obowiązki wynikające z przepisów prawa budowlanego i związanych z nim aktów normatywnych.

Słowa kluczowe: trwałość konstrukcji stalowych, dobór gatunku stali, kruche pękanie, pęknięcia lamelarne.

Abstract: This paper presents two groups of issues related to durability of steel structures. The first group relates to procedures associated with achieving the design life of the facility and managing reliability, and the second one with selection of the relevant steel grade, considering temperature, brittle fracture and through-thickness ductility. Mistakes made in this area can definitely shorten the life of the facility. The durability of the building is the responsibility of the designer, the contractor and, for the longest time, the user. The article outlines their obligations under the Building Act and related standards.

Keywords: durability of steel structures, selection of steel grade, brittle fracture, lamellar cracks.

1. Wprowadzenie

Wprowadzenie Eurokodów do praktyki projektowej zdecydowanie wpłynęło na trwałość konstrukcji stalowych, którą traktuje się równorzędnie z jej nośnością i użytkowalnością [N1]. Powiązano ją z projektowym okresem użytkowania, przez wprowadzenie kategorii – patrz tablica 2.1 w normie [N1] oraz klas niezawodności – patrz załącznik B w [N1], od których uzależniono procedury projektowania, współczynniki częściowe, poziomy nadzoru przy projektowaniu oraz poziomy inspekcji w trakcie wykonania.

Druga grupa przepisów zawartych w Eurokodach i normach z nimi związanych dotyczy doboru odpowiedniego gatunku stali z uwagi na temperaturę, grubość elementu, kruche pękanie, pęknięcia lamelarne i korozję, co jest bezpośrednio związane z trwałością konstrukcji. W artykule przedstawiono wybrane problemy dotyczące tych dwóch grup zagadnień.

2. Wymagania normowe

W normie [N1] trwałość konstrukcji traktuje się równorzędnie z jej nośnością i użytkowalnością. Jest ona ściśle związana z projektowym okresem użytkowania. Orientacyjne wartości tych okresów zawarto w tablicy 2.1 normy [N1], w zależności od kategorii. Rozróżniono przy tym 5 kategorii, przypisując przykładowo do kategorii 1 konstrukcje tymczasowe (z 10-letnim okresem użytkowania), do kategorii 3 konstrukcje rolnicze (z okresem od 15 do 30 lat), do kategorii 4 konstrukcje budynków i podobne (50 lat), a do kategorii 5 – konstrukcje monumentalne, mosty itp. (100 lat).

Problem trwałości konstrukcji w pracy [1] opisano za pomocą dwóch zmiennych. Pierwsza to odporność konstrukcji na czynniki środowiskowe, a druga to oddziaływania środowiska na konstrukcję. Obie te wartości są zależne od czasu. Zatem jeśli za miarę trwałości przyjąć czas użytkowania konstrukcji w określonych warunkach środowiskowych, powstałej przy określonych kryteriach projektowych i wykonawczych, to staje się on podstawowym parametrem, w którym projektant, wykonawca i użytkownik powinni zapewnić bezawaryjne użytkowanie obiektu, bez wyraźnego obniżenia jego właściwości użytkowych i bez potrzeby większych napraw.

W miarę upływu czasu zniszczeniu ulegają poszczególne elementy stalowego budynku, aż do ich degradacji. Następuje utrata jego wartości użytkowej, czyli jego zdolności do zaspokajania potrzeb. Im gorszy jest stan obiektu, tym jest niższa jego wartość użytkowa.

Przyjmuje się następujące rodzaje zużycia budynku [M1]:

- zużycie techniczne rozumiane jako spadek wartości użytkowej; zakłada się że wzrasta liniowo w stosunku do upływu czasu,

• zużycie społeczne, w tym:
– zużycie funkcjonalne, które jest wynikiem postępu technologicznego i przejawia się brakiem popytu użytkowników na budynki o przestarzałych technologiach,
– zużycie środowiskowe, które spowodowanie jest zmianą zagospodarowania przestrzeni otaczającej nieruchomość.
Za trwałość obiektu odpowiada nie tylko projektant i wykonawca, ale także użytkownik i to w najdłuższym czasie.
Projektant konstrukcji stalowej, w rozumieniu normy [N1], powinien uwzględnić wymagane (przepisami i normami) kryteria projektowe, dobrać właściwe materiały dla oczekiwanych warunków środowiskowych, uwzględnić właściwości podłoża, dobrać adekwatne schematy statyczne, zastosować odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne i zabezpieczenia antykorozyjne minimalizujące wpływ korozji, dobrać wymagane zabezpieczenia p.poż. oraz zapewnić możliwość utrzymania właściwego stanu technicznego [M1], w tym możliwość dostępu do konstrukcji przy okresowych jej kontrolach czy naprawach powłoki malarskiej i zabezpieczeń p.poż., a także przy ewentualnie potrzebnych naprawach, wymianie czy wzmocnieniach poszczególnych jej elementów. Elementy stalowe ulegające zakryciu powinny mieć trwałość zgodną z projektowanym okresem użytkowania, bez obniżenia ich właściwości użytkowych.
Wykaz szczegółowych obowiązków projektanta zawarty jest w ustawie Prawo budowlane [M2] i przepisach z nią związanych.
Wykonanie konstrukcji stalowej i jej montaż powinny być zgodne z Prawem budowlanym [M2], projektem (budowlanym, technicznym, wykonawczym, warsztatowym), specyfikacją (techniczną [M3], wykonawczą [N2]) oraz wymaganiami normy [N2], niezbędnymi do zapewnienia jej odpowiedniego poziomu nośności, stateczności oraz użytkowalności i trwałości.
Obowiązki właściciela lub zarządcy obiektu w zakresie jego utrzymania określone są w rozdziale 6 Prawa budowlanego [M2]. Zgodnie z tymi przepisami obiekt budowlany należy użytkować w sposób zgodny z jego przeznaczeniem i wymaganiami ochrony środowiska oraz utrzymywać w należytym stanie technicznym i estetycznym, nie dopuszczając do nadmiernego pogorszenia jego właściwości użytkowych i sprawności technicznej. W czasie użytkowania obiekt powinien być poddawany kontroli:
a) okresowej, co najmniej raz w roku, polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego,
b) okresowej, co najmniej raz na 5 lat, polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego i przydatności do użytkowania, estetyki oraz jego otoczenia,
c) okresowej w zakresie, o którym mowa w pkt. a), co najmniej dwa razy w roku, w terminach do 31 maja oraz do 30 listopada, w przypadku budynków o powierzchni zabudowy przekraczającej 2000 m^2 oraz innych obiektów budowlanych o powierzchni dachu przekraczającej 1000 m^2,
d) bezpiecznego użytkowania obiektu każdorazowo w przypadku wystąpienia czynników zewnętrznych oddziaływujących na obiekt, związanych z działaniem człowieka lub sił natury, takich jak: wyładowania atmosferyczne, wstrząsy sejsmiczne, silne wiatry, intensywne opady atmosferyczne, osuwiska ziemi, zjawiska lodowe na rzekach i morzu oraz jeziorach i zbiornikach wodnych, pożary lub powodzie, w wyniku których następuje uszkodzenie obiektu budowlanego lub bezpośrednie zagrożenie takim uszkodzeniem, mogące spowodować zagrożenie życia lub zdrowia ludzi, bezpieczeństwa mienia lub środowiska.
W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości obiekt należy doprowadzić do stanu bezpiecznego w określonym terminie – patrz art. 66 i 67 w [M2].
Zużycie techniczne stalowego obiektu ma bezpośredni związek z obowiązkami właściciela i wiąże się z konserwacjami, naprawami i remontami. Z kolei zużycie społeczne jest dla właściciela nieruchomości sygnałem do podjęcia decyzji inwestycyjnych [M1].
Nie uzyska się wymaganej trwałości konstrukcji stalowej bez odpowiednich (przewidzianych przepisami) kontroli na etapie: projektowania, wykonywania, montażu oraz podczas jej użytkowania, które są powiązane z zarządzaniem niezawodnością obiektów budowlanych – patrz załącznik B w [N1].
W celu zróżnicowania niezawodności wprowadza się trzy klasy konsekwencji dotyczące zagrożenia życia ludzkiego oraz konsekwencji ekonomicznych i społecznych – od najniższej CC1 do najwyższej CC3. Z tymi klasami wiąże się trzy klasy niezawodności RC1, RC2 i RC3. Różnicowanie klas niezawodności RC może odbywać się za pomocą wskaźnika niezawodności β (patrz tablica B2 w [N1] lub za pomocą współczynników częściowych γ_F i γ_M – patrz pkt. B3.3 w [N1].
Zarządzanie niezawodnością dotyczy jeszcze różnicowania nadzoru w czasie projektowania, przez wprowadzenie trzech klas DSL 1, DSL 2, DSL 3 odniesionych do klas niezawodności RC1, RC2 i RC3 – patrz pkt. B4 w [N1] oraz inspekcji w trakcie wykonania o poziomach IL 1, IL 2 [N1], IL 3 odniesionych do klas niezawodności RC – patrz pkt. B5 w [N1].
Zgodnie z normą [N3] w celu zapewnienia niezawodności konstrukcji stalowej w prognozowanym okresie użytkowania dobiera się odpowiednią klasę wykonania (EXC1, EXC2, EXC3 lub EXC4), którą utożsamia się z określonym zbiorem wymagań wykonawczych dotyczących zarówno pojedynczego elementu czy szczegółu konstrukcyjnego jak i całej konstrukcji. Rygorystyczność wymagań wzrasta wraz z numerem klasy. Czynnikami decydującymi o przyporządkowaniu klasy są: wymagana niezawodność, rodzaj konstrukcji, elementu lub szczegółu oraz rodzaj obciążeń, na które konstrukcja, element czy szczegół zostały zaprojektowane.
Dobór klasy z uwagi na zarządzanie niezawodnością opiera się na podstawie wymaganej klasy konsekwencji (CC) lub klasy niezawodności (RC) albo też na podstawie obu tych klas. Dobór klasy z uwagi na rodzaj obciążenia uzależniony jest od tego czy konstrukcja została zaprojektowana

na obciążenie statyczne, quasi-statyczne, zmęczeniowe czy sejsmiczne. Klasę wykonania (EXC) dobiera się na podstawie tablicy 1 – patrz tablica C.1 w [N3] – dodatek A1 z 2014 r.

Tabela 1. *Dobór klasy wykonania konstrukcji stalowej, elementu lub szczegółu według [N3]*

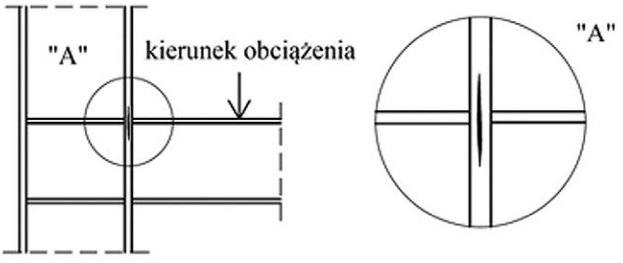
Klasa niezawodności (RC) lub Klasa konsekwencji (CC)	Rodzaj obciążenia	
	Statyczne, quasi-statyczne, sejsmiczne przy niskiej klasie ciągliwości (DCL)*	Zmęczeniowe lub sejsmiczne przy średniej (DCM) i wysokiej (DCH) klasie ciągliwości*
RC3 lub CC3	EXC3**	EXC3**
RC2 lub CC2	EXC2	EXC3
RC1 lub CC1	EXC1	EXC2

* Sejsmiczne klasy ciągliwości są zdefiniowane w [N8].
** W przypadku ekstremalnych konsekwencji zniszczenia konstrukcji uzasadniony jest dobór klasy EXC4.

W tablicy A.3 normy [N2] podano wykaz wymagań związanych z poszczególnymi klasami wykonania. Dotyczą one: specyfikacji i dokumentacji, identyfikacji wyrobów i dokumentów kontrolnych, przygotowania i scalania, spawania, łączenia mechanicznego, kryteriów akceptacji, montażu, kontroli, badań i działań korygujących.

3. Materiał

Konstrukcja stalowa może być między innymi narażona na działanie: zewnętrznych czynników korozyjnych, niskiej temperatury, zmęczenia oraz pęknięć lamelarnych, które powodują rozwarstwienie elementów (rys. 1). Zgodnie z normą [N3] konsekwencjom pogarszania się właściwości materiału wskutek wyżej wymienionych czynników zapobiega się przez odpowiedni dobór materiałów [N4, N5].



Rys. 1. *Pęknięcie lamelarne pasa słupa na skutek niedostatecznej ciągliwości międzywarstwowej stali*

Oczekiwaną trwałość konstrukcji ze stali konstrukcyjnej walcowanej na gorąco osiąga się przez dobór odpowiedniego gatunku stali z uwagi na kruche pękanie, udarność i ciągliwość międzywarstwową oraz odpowiednie zabezpieczenia antykorozyjne. (Przez ciągliwość międzywarstwową należy rozumieć zdolność do odkształceń plastycznych na wskroś grubości materiału).

W przypadku stali konstrukcyjnych wymagana jest:

- Minimalna ciągliwość, którą określa się za pomocą stosunku f_u/f_y (minimalnej wytrzymałości na rozciąganie do specyfikowanej minimalnej granicy plastyczności), wydłużenia na próbce o długości $5{,}65\sqrt{A_0}$, gdzie A_0 – pierwotne pole przekroju oraz odkształcenia przy zniszczeniu ε_u odpowiadającego wytrzymałości na rozciąganie f_u. Przyjmuje się, że gatunki stali wymienione w tablicy 3.1 normy [N3] spełniają powyższe warunki ciągliwości;
- Wystarczająca udarność, aby uniknąć kruchego pękania elementów z naprężeniami rozciąganymi, przy najniższej temperaturze eksploatacyjnej w projektowym okresie użytkowania konstrukcji. W poprawce krajowej NA. 5 do normy [N3] zaleca się przyjmować najniższą wartość charakterystyczną temperatury powietrza zewnętrznego o 50-letnim okresie powrotu $T_{md} = -32°C$.

Gatunek stali odpornej na kruche pękanie i ciągliwość międzywarstwową należy dobierać zgodnie z normą [N5]. Przedstawione tam reguły stosuje się do elementów rozciąganych oraz elementów spawanych narażonych na zmęczenie, w których część zakresu zmienności naprężeń jest skutkiem rozciągania. W przypadku elementów, które nie są rozciągane, spawane lub narażone na zmęczenie reguły te mogą być zachowawcze. Dla takich przypadków można przeprowadzić dokładniejszą ocenę na podstawie mechaniki pękania – patrz pkt. 2.4 w [N5].
Gatunek stali nierdzewnej dobiera się stosownie do wymaganej odporności korozyjnej konstrukcji. W przypadku zaś stali nierdzewnych oczekiwana trwałość konstrukcji nie jest wynikiem zabiegów ochronnych lecz jest uzależniona od doboru materiałów, procedur projektowania i wytwarzania oraz walorów w określonym środowisku.

3.1. Dobór stali ze względu na odporność na kruche pękanie

Gatunek stali i grupę jakościową dobiera się z uwzględnieniem następujących czynników:

- właściwości stali: (granicy plastyczności w zależności od grubości elementu i minimalnej pracy łamania w określonej temperaturze),
- charakterystyk części: (kształtu i szczegółów, koncentracji naprężeń zdefiniowanej kategorią zmęczeniową wg [N6], grubości elementu, przewidywanej wady produkcyjnej, np. pęknięcia na wskroś grubości).

Zgodnie z [N5] obliczeniową wartość najniższej temperatury elementu w miejscu potencjalnego pęknięcia, oblicza się ze wzoru:

$$T_{Ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_\sigma + \Delta T_R + \Delta T_{\dot{\varepsilon}} + \Delta T_{\varepsilon_{cf}}, \qquad (1)$$

gdzie:
T_{md} – najniższa temperatura powietrza o ustalonym okresie powrotu; według [N3] postanowienie NA. 5, $T_{md} = -32°C$, przy 50-letnim okresie powrotu,
ΔT_r – składnik uwzględniający straty promieniowania – patrz załącznik krajowy do [N7],

ΔT_σ – składnik uwzględniający naprężenia i granicę plastyczności materiału, imperfekcje pęknięć oraz kształt i wymiary elementu; przy korzystaniu z tablicy 2.1 w [N5] można przyjmować $\Delta T_\sigma = 0$,
ΔT_R – składnik bezpieczeństwa, umożliwiający różnicowanie poziomów niezawodności przy różnych zastosowaniach; przy korzystaniu z tablicy 2.1 w [N5] zaleca się przyjmować $\Delta T_R = 0$,
$\Delta T_{\dot{\varepsilon}}$ – składnik ujemny uwzględniający inną szybkość odkształcenia niż szybkość podstawowa – patrz wzór (2.3) w [N5],
$\Delta T_{\varepsilon_{cf}}$ – składnik ujemny uwzględniający stopień kształtowania na zimno – patrz wzór (2.4) w [N5].
Największe naprężenie od obciążeń stałych i zmiennych określa się według następującej kombinacji traktowanej jako wyjątkowa:

$$E_d = E\{A[T_{Ed}] + \sum G_k + \psi_1 \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,1}\}, \quad (2)$$

gdzie:
T_{Ed} – temperatura (oddziaływanie wiodące); ma wpływ na odporność stali na kruche pękanie stali w elemencie i może także doprowadzić do wzrostu naprężeń wskutek ograniczenia przemieszczeń,
$\sum G_k$ – obciążenia stałe,
$\psi_1 \cdot Q_{k,1}$ – wartość częsta obciążenia zmiennego,
$\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$ – wartości prawie stałe towarzyszącego obciążenia zmiennego, które decydują o poziomie naprężeń w materiale.
Jeżeli w największym naprężeniu σ_{Ed} obliczonym w miejscu potencjalnej inicjacji pęknięcia oddziaływaniem wiodącym jest temperatura T_{Ed}, to naprężenia σ_{Ed} nie powinny przekraczać 75% granicy plastyczności.
Dopuszczalną grubość elementu wyznacza się według tablicy 2.1 w [N5], w której podano wartości dla trzech poziomów naprężeń odniesionych do nominalnej granicy plastyczności wyrażonej w MPa:

$$\sigma_{Ed} = 0{,}75 f_y(t),\ \sigma_{Ed} = 0{,}50 f_y(t),\ \sigma_{Ed} = 0{,}25 f_y(t), \quad (3)$$

w których zależność między wytrzymałością materiału i grubością elementu przyjmuje się w postaci:

$$f_y(t) = f_{y,nom} - 0{,}25\frac{t}{t_0}, \quad (4)$$

gdzie: t – grubość blachy (ścianki elementu) w mm,
$t_0 = 1$ mm.
Można stosować interpolację liniową między poszczególnymi wartościami naprężeń. Z kolei ekstrapolacja poza wartościami skrajnymi jest niedozwolona.
Przedstawioną procedurę doboru grubości stali należy stosować dla elementów rozciąganych oraz elementów spawanych narażonych na zmęczenie, w których część zakresu zmienności naprężeń wynika z rozciągania. Procedurę tę można również stosować w innych przypadkach, jednak wtedy należy ją traktować jako zachowawczą. Przykład doboru grupy jakościowej stali dla belki w budynku wielokondygnacyjnym podano w [2].
Wymaganą niezawodność konstrukcji poddanej obciążeniom zmęczeniowym można uzyskać, stosując do oceny metodę tolerowanych uszkodzeń lub metodę bezwarunkowej żywotności – patrz [N6]. W przypadku metody kontrolowanych uszkodzeń konieczne są kontrola konstrukcji i zabiegi utrzymania mające na celu wykrycie i usunięcie uszkodzeń zmęczeniowych [N6], [4, 5]. W metodzie bezwarunkowej żywotności dobiera się rozwiązania konstrukcyjne i poziom naprężeń takie, które są wystarczające dla osiągnięcia niezawodności w całym, projektowym okresie użytkowania.

3.2. Dobór stali ze względu na ciągliwość międzywarstwową

Konstrukcje narażone na pęknięcia lamelarne zaleca się kształtować z wyrobów stalowych klasy 1, do której zgodnie z tablicą 3.1 w [N5] zalicza się wszystkie wyroby według norm europejskich, niezależnie od ich grubości i zastosowania.
Sposób postępowania powinien być zgodny z pkt. 3 w [N5]. Zgodnie z zawartymi tam wymaganiami ryzyko pęknięć lamelarnych można pomijać, jeśli jest spełniony warunek:

$$Z_{Ed} \le Z_{Rd}, \quad (5)$$

gdzie:
Z_{Ed} – wymagany obliczeniowy wskaźnik, określony na podstawie wielkości odkształceń od skurczu metalu pod ściegiem spoiny, obliczany ze wzoru:

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e, \quad (6)$$

w którym składowe wartości wskaźnika Z_a, Z_b, Z_c, Z_d, Z_e przyjmuje się z tabl. 3.2 normy [N5],
Z_{Rd} – osiągalny obliczeniowy wskaźnik dla materiału wg EN 10164, tj. Z15, Z25, Z35.
Na podstawie uzyskanej wartości Z_{Ed} dobiera się klasę jakości zgodnie z tablicą 3.2 w [N3] (tab. 2).

Tabela 2. *Dobór klasy jakości według [N9]*

Wymagany wskaźnik Z_{Ed}, obliczony wg [N5]	Klasa jakości ze względu na Z_{Rd} wg [N9]	Przewężenie w % wg [N9]	
		Minimalna wartość średnia z trzech próbek	Minimalna wartość z pojedynczej próby
$Z_{ED} \le 10$	–	–	–
$10 < Z_{ED} \le 20$	Z15	15	10
$20 < Z_{ED} \le 30$	Z25	25	15
$Z_{ED} > 30$	Z35	35	25

W normie [N9] klasę jakości (Z15, Z25, Z35) określa się na podstawie minimalnych wartości przewężenia, które definiuje się jako:

$$\frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100\%, \qquad (7)$$

gdzie:

S_0 – początkowy przekrój poprzeczny części równoległej próbki,

S_u – minimalny przekrój poprzeczny próbki po zerwaniu.

4. Podsumowanie

Trwałość konstrukcji stalowych w porównaniu z konstrukcjami żelbetowymi czy murowanymi jest stosunkowo mała. Duże zróżnicowanie trwałości obiektów o konstrukcji stalowej występuje również w zależności od rodzaju tej konstrukcji i stopnia agresywności środowiska (np. budynki halowe z mało agresywnym środowiskiem wewnętrznym i kominy stalowe). Trwałość konstrukcji stalowych w dużej mierze zależy od ich systematycznego monitoringu i bieżących naprawach uszkodzeń. Istotnymi czynnikami zwiększającymi trwałość konstrukcji stalowych jest dobór właściwego gatunku stali w zależności od jej przeznaczenia, warunków środowiskowych i rodzaju obciążeń (statyczne, dynamiczne).
Zapewnienie zwiększonej trwałości obiektów o konstrukcji stalowej wiąże się z kompromisem miedzy kosztami, możliwościami technicznymi oraz przewidywanym zużyciem technicznym, funkcjonalnym i środowiskowym. Wszystkie te czynniki powinny być uwzględnione w fazie projektowania budowli. O innych aspektach mniejszej trwałości wielkopowierzchniowych hal, wynikającej ze zmniejszania ich niezawodności wskutek wprowadzenia lekkiej obudowy można zapoznać się w [3].

BIBLIOGRAFIA

[1] Broniewicz M., Broniewicz F., Trwałość konstrukcji budowlanych poddanych oddziaływaniom środowiskowym, Ekonomia i Środowisko 2(57)2016, str. 274–286

[2] Kubicki K., Diagnostyka elementów konstrukcji stalowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, Budownictwo 24/2018, str. 190–196

[3] Kowal Z., O przyczynach zmniejszania niezawodności stalowych konstrukcji wielkopowierzchniowych hal, Wiadomości Konserwatorskie 26/2009, str. 565–672

[4] Oppe M., Przykład: Dobór grupy jakościowej stali. Access Steel, dokument ref. SX005a-EN-EU, 2005

[5] Ślęczka L., Bernatowska E., Współczesne metody oceny trwałości zmęczeniowej stalowych konstrukcji budowlanych, Monografia pod redakcją Zamorowski J., Innowacyjne i współczesne rozwiązania w budownictwie, konstrukcje metalowe, posadzki przemysłowe lekka obudowa, rusztowania. Obciążenia, trwałość, zabezpieczenia, posadzki i rusztowania. Wydawnictwo ATH, Bielsko-Biała, 2020

[N1] PN-EN 1990: Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji

[N2] PN-EN 1090-2: 2018-09: Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych

[N3] PN-EN 1993-1-1: 2006+AC: 2009 + Ap1: 2010 + A1:2014-07: Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków

[N4] PN-EN 1993-1-4: 2007: Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-4: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji ze stali nierdzewnych.

[N5] PN-EN 1993-1-10: 2007: Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-10: Dobór stali ze względu na odporność na kruche pękanie i ciągliwość międzywarstwową

[N6] PN-EN 1993-1-9: 2007+NA:2010+Ap1:2010+AC:2009: Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych Część 1-9: Zmęczenie

[N7] PN-EN-1991-1-5:2005+AC:2009+Ap1:2010+NA:2010: Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję. Część 1-5: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania termiczne

[N8] PN-EN 1998-1:2005: Eurokod 8: Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym. Część 1: Reguły ogólne, oddziaływania sejsmiczne i reguły dla budynków

[N9] PN-EN 10164: 2007: Wyroby stalowe o podwyższonych własnościach plastycznych w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu. Warunki techniczne dostawy

[M1] MCM Projekt: Hale stalowe – okres użytkowania obiektu. https://www.mcmproject.com.pl/strefa-inwestora/hale-stalowe-okres-uzytkowania-obiektu

[M2] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 10 marca 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo budowlane Dz. U. z dnia 12 kwietnia 2023 r. poz. 682.

[M3] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 20 grudnia 2021 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych oraz programu funkcjonalno-użytkowego. Dz. U. 2021 poz. 2454.