

Aniela GLINICKA, Cezary AJDUKIEWICZ

SKUTKI POWIERZCHNIOWEJ KOROZJI GLOBALNEJ SCHODÓW STALOWYCH

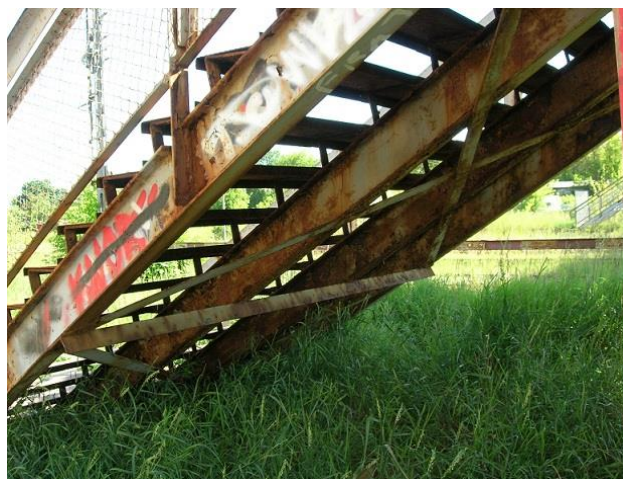
W artykule przedstawiono narastanie w czasie defektów korozyjnych na belkach nośnych schodów stalowych, które znajdują się w konstrukcji kładki nad torami kolejowymi. Założono, że konstrukcja koroduje w atmosferze miejskiej oraz, dla porównania, w atmosferze morskiej i w atmosferze na terenie wiejskim. Rozpatrzono przypadek powierzchniowej korozji globalnej. Szybkości korozji, przyjęte do obliczeń, zaczerpnięto z literatury. Praca ma charakter teoretyczny. Rozważane defekty korozyjne można znaleźć na zbudowanych kładkach dla pieszych umiejscowionych nad torami kolejowymi lub nad innymi przeszkodami. Kładka, jako całość, ulega korozji globalnej. Powoduje to obniżenie nośności i zwiększenie ugięć elementów oraz może powodować ich lokalną utratę stateczności. Zagadnienie zilustrowano przykładem obliczeń belki biegujowej schodów; statycznie niewyznaczalnej o przekroju cienkościennym dwuteowym IPBS 360 ze stali S355. Rozpatrzono wpływ korozji górnej półki tego dwuteownika. Do obliczeń przyjęto trzy szybkości korozji. Przedstawiono i przedyskutowano uzyskane wyniki destrukcji belki w długim czasie korodowania.

WSTĘP

Kładki stalowe zlokalizowane nad przeszkodami zabezpiecza się przed korozją farbami ochronnymi. Jednak po długim czasie eksploatacji, przy braku bieżących napraw, farba zabezpieczająca odpryskuje i pojawiają się na powierzchni konstrukcji defekty korozyjne. Są to powierzchniowe ubytki materiału, które mogą obejmować całą powierzchnię elementów lub tylko jej fragmenty. Na rzeczywistych konstrukcjach korodujących w atmosferze występuje korozja powierzchniowa globalna, a w szczególności, w pobliżu podpór i węzłów, korozja lokalna, która skutkuje głębszymi wżerami, a więc większymi ubytkami stali. Na rys. 1 przedstawiono widok z góry na skorodowane schody kładki nad torami kolejowymi, a na rys. 2 widok od spodu na te same schody. Wyraźnie widać skorodowane dwuteowniki, ceowniki i płaskowniki. Na rys. 3 przedstawiono widok skorodowanych schodów i prętów w węzłach. Zaprezentowane fotografie własne dotyczą kładek w województwie podlaskim.



Rys. 1. Fragment skorodowanych schodów kładki nad torami kolejowymi; widok z góry (fot. własna)



Rys. 2. Fragment skorodowanych schodów kładki nad torami kolejowymi; widok z dołu (fot. własna)

1. KOROZJA ATMOSFERYCZNA STALI

Do określenia ubytku masy elementu stalowego w czasie eksploatacji potrzebna jest znajomość szybkości korozji w danym ośrodku korozyjnym. Wartość tę można określić w dwojaki sposób:

1. przeprowadzić pomiary szybkości korozji elementu w czasie,
 2. przyjmując szybkość korozji z literatury np. z norm [1, 2, 3].
- Ubytek masy elementu określony tym drugim sposobem będzie przybliżony.

W normie ISO 9223 [2] przyjęto sześć kategorii odporności korozyjnej stali niskowęglowej i określono ubytek grubości Δ [mm] po pierwszym roku eksploatacji jako następujący:

- C1. $\Delta \leq 0,0013$ mm; tylko wnętrza budynków,
- C2. $\Delta 0,0013$ mm \pm 0,025 mm; atmosfera w terenie wiejskim,
- C3. $\Delta 0,025$ mm \pm 0,05 mm; atmosfery miejskie, przemysłowe i obszary przybrzeżne o małym zasoleniu,
- C4. $\Delta 0,05$ mm \pm 0,08 mm; obszary przemysłowe i przybrzeżne o średnim zasoleniu,
- C5. $\Delta 0,08$ mm \pm 0,2 mm; obszary przemysłowe o dużej wilgotności i agresywnej atmosferze,
- C6. $\Delta 0,08$ mm \pm 0,2 mm; obszary przybrzeżne i oddalone od brzegu w głąb morza o dużym zasoleniu.

Różne substancje zanieczyszczające atmosferę przyspieszają korozję metali. Są nimi dwutlenek siarki, jony chloru, amoniak i jego sole, sadze, ozon, kwasy i odpady organiczne [4]. Szybkość korozji stali w całym okresie ekspozycji nie jest taka sama, po pierwszym roku korodowania na ogół ona maleje.

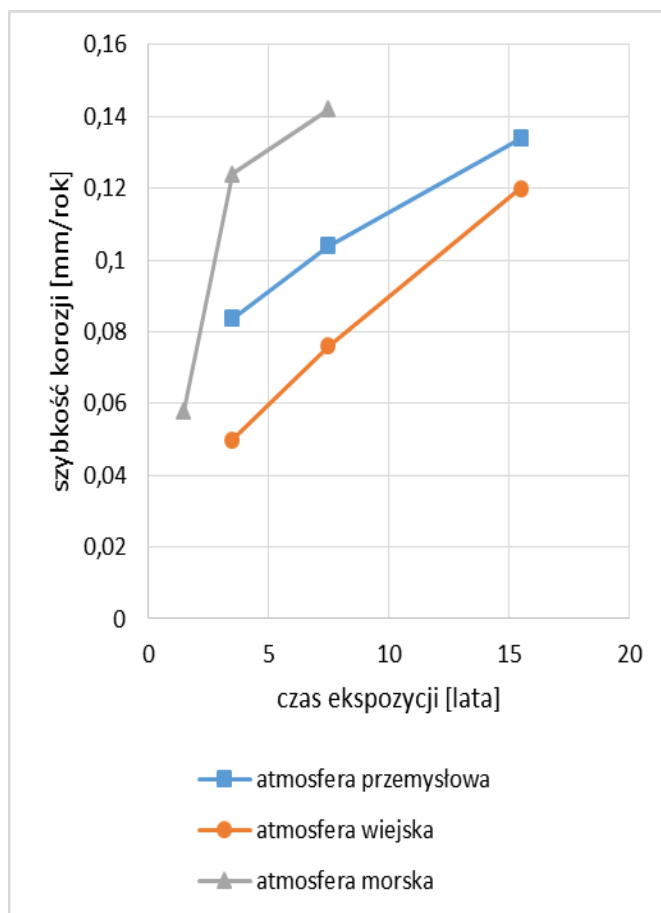


Rys. 3. Fragment skorodowanej konstrukcji kładki; (fot. własna)

Z tego powodu w normie ISO 9224 [3] podano średnią szybkość korozji stali w ciągu pierwszych 10 lat ekspozycji – oznaczoną jako ST i szybkość korozji stali w długim czasie ekspozycji – oznaczoną jako LT (stan ustalony korozji). Wartości szybkości korozji v -ST i v -LT [mm/rok] dla pięciu klas odporności korozyjnej stali zamieszczono poniżej:

1. $v < 0,005$ – ST i $v < 0,001$ – LT,
2. $0,005 < v < 0,002$ – ST i $0,001 < v < 0,0015$ – LT,
3. $0,002 < v < 0,01$ – ST i $0,0015 < v < 0,006$ – LT,
4. $0,01 < v < 0,035$ – ST i $0,006 < v < 0,02$ – LT,
5. $v > 0,035$ – ST i $v > 0,02$ – LT.

Na rys. 3 przedstawiono wykresy przebiegu szybkości korozji v [mm/rok] stali węglowej w atmosferze przemysłowej, w atmosferze wiejskiej i atmosferze morskiej, sporządzone według danych z pracy [5]. Wykresy zależności szybkość korozji – czas ekspozycji w atmosferze przemysłowej i wiejskiej są prawie liniowe, natomiast wykres zależności szybkość korozji – czas ekspozycji w atmosferze morskiej jest nieliniowy (po szybkim wzroście, maleje tempo korozji). Ponadto, nie zawsze próbki stalowe ekspozycyjne w danej atmosferze przy stałej temperaturze korodują w takim samym tempie, zależy to od ich ustawienia w przestrzeni. W pracy [5] stwierdzono, że na próbkach ustawionych pionowo korodują szybciej powierzchnie od strony morza, niż od strony lądu oraz że szybkość korozji próbek ułożonych poziomo była większa od szybkości korozji próbek ułożonych pod kątem 30 stopni do poziomu. Natomiast w pracy [6] zauważono zależność szybkości korozji od średnicy rury stalowej korodującej w roztworze kwasu siarkowego.

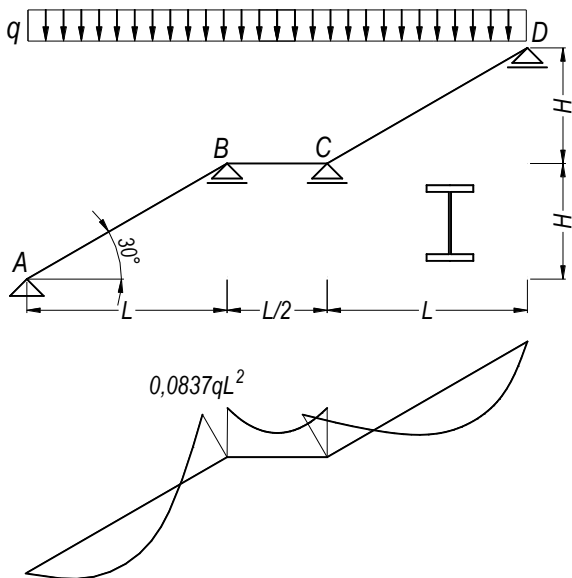


Rys. 4. Wykresy zmiany szybkości korozji stali w czasie jej ekspozycji w trzech atmosferach korozyjnych; (według danych z pracy [5])

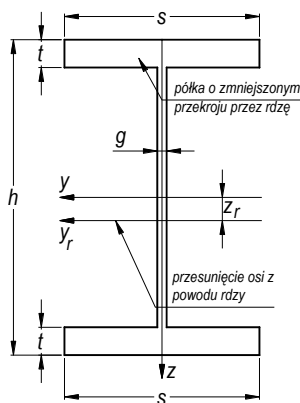
Zatem, przyjęcie średniego tempa korozji materiału do oceny ubytku masy zawsze da odpowiedź przybliżoną. Ponadto na tej samej konstrukcji stalowej można wyróżnić więcej niż jedno tempo korozji biorąc pod uwagę jej części.

2. OPIS KORODUJĄCEGO OBIEKTU

Analizowanym obiektem są schody stalowe stanowiące ciąg komunikacyjny kładki, które korodują w atmosferze miasta przemysłowego. Rozwiązania schodów kładek mogą przybierać różne formy, ponieważ są one ważnym elementem architektonicznym. Analizowanym obiektem, w niniejszej pracy, są teoretycznie przyjęte schody z dwoma przęsłami biegowymi i jednym przęsłem spocznikowym w połowie ich wysokości. Elementem nośnym w schodach jest co najmniej jedna belka biegowa [6]. Jeśli szerokość biegu jest większa od dwóch metrów stosuje się odpowiednio dwie lub trzy belki biegowe; przykładowo w konstrukcji pokazanej na rys. 2 zastosowano trzy belki biegowe. Stopnie schodów mogą być wykonane z blachy ryflowanej – rys. 2 albo z betonu – rys. 3. Na belki biegowe stosuje się kształtowniki stalowe spawane, na przykład dwuteowniki IPBS. Na rys. 5 przedstawiono schemat statyczny schodów, przyjęte obciążenie oraz wykres momentów zginających. Kąt nachylenia belki biegowej przyjęto jak dla schodów łagodnych, to jest 30° [7]. Przekrój poprzeczny belki biegowej i spocznika przyjęto jako dwuteowy, co pokazano na rys. 5 i 6. Obliczone wartości momentów podporowych i momentu w połowie rozpiętości schodów wynoszą: $M_B = M_C = -0,0837 \text{ qL}^2$, $M_k = -0,052 \text{ qL}^2$.



Rys. 5. Schemat statyczny i wykres momentów zginających



Rys. 6. Przekrój belki i zmiany położenia układu wskutek korozji

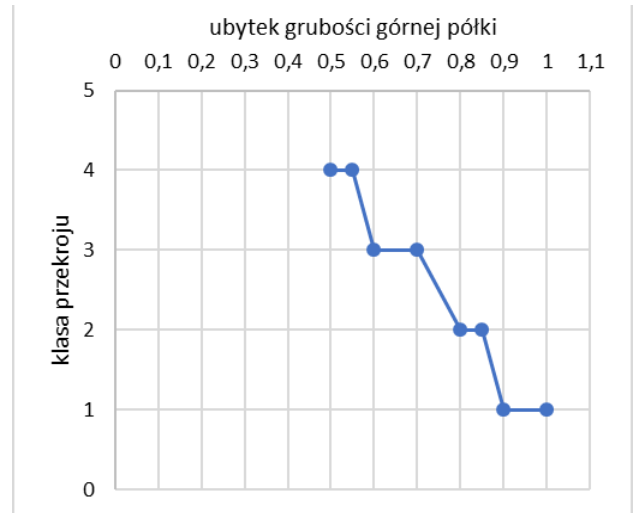
Wymiary dwuteownika IPBS 360 są: $h=36$ cm, $s=30$ cm, $t=2,3$ cm, $g=1,2$ cm. Średnie szybkości korozji belki o przekroju dwuteownika IPBS 360 założono na podstawie danych z pracy [4]; są one następujące:

1. $V_p=0,09$ [mmm/rok] – atmosfera miasta przemysłowego,
2. $V_p=0,5$ [mmm/rok] – atmosfera morska w pobliżu wybrzeża,
3. $V_p=0,01$ [mmm/rok] – atmosfera w terenach wiejskich.

Na rys. 6 przedstawiono dwuteownik, w którym koroduje równomiernie górna powierzchnia górnej półki. Założono, że inne ścianki kształtownika nie ulegają korozji. Na skutek pocieniania się górnej półki w czasie korodowania, środek ciężkości kształtownika przesuwają się wzdłuż osi pionowej ku dołowi, a charakterystyki geometryczne zmieniają swoje wartości. Ponadto klasa stalowego przekroju poprzecznego też zmienia się.

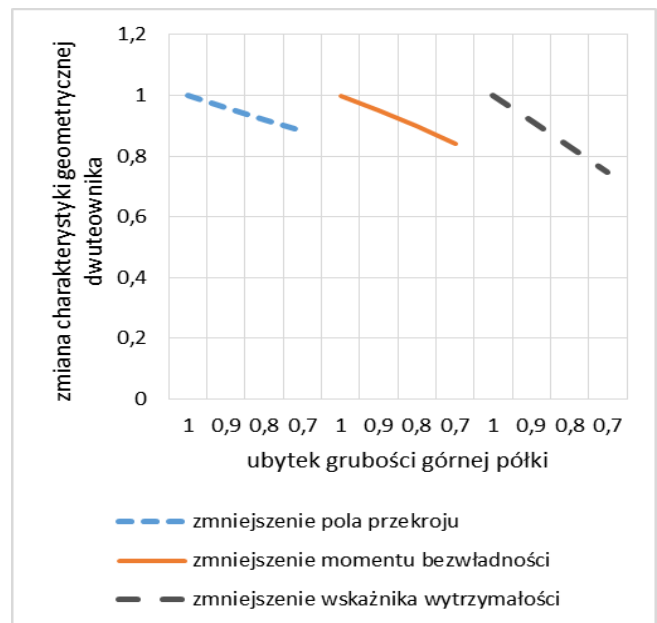
3. WYNIKI OBLICZEŃ

Pole przekroju poprzecznego dwuteownika - A [cm²] i moment bezwładności - J_y [cm⁴] obliczono tak jak dla przekroju cienkościennego [8]. Klasę przekroju poprzecznego określono zgodnie z normą, por. [9]. Z warunku geometrycznego ścianki stopki dwuteownika [9] wynika, że na skutek pocieniania się stopki w czasie korodowania klasa przekroju z początkowej - równej 1 przechodzi poprzez 2 i 3 w końcową – równą 4, co zilustrowano na rys.7.



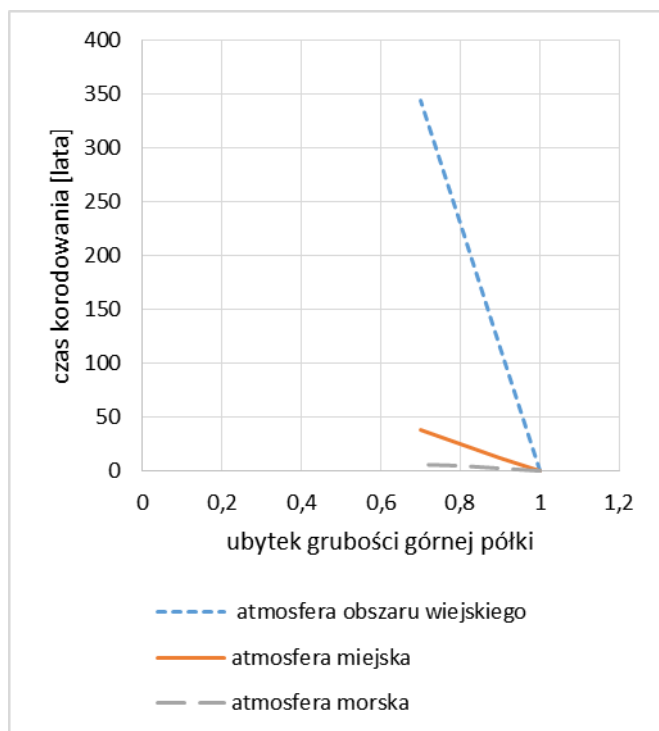
Rys. 7. Wykresy zmian klasy przekroju poprzecznego na skutek korozji górnej półki dwuteownika

Przekrój poprzeczny klasy 4 jest podatny na niestępczość miejscową. Należy wówczas w obliczeniach uwzględnić jego pole przekroju efektywnego, czyli pomniejszonego (to znaczy, że szerokość efektywna górnej półki będzie mniejsza od początkowej s). Taki przekrój nie będzie tu rozważany. W dalszym ciągu przedstawiono na wykresach, rys. 8, wyniki zmian charakterystyk geometrycznych przekroju poprzecznego: A_k/A , J_{yk}/J_y i W_{yk}/W_y (gdzie indeks k oznacza charakterystykę przekroju po korozji) otrzymane na skutek pocieniania górnej półki dwuteownika. Z przedstawionych na wykresach krzywych wynika, że w miarę postępu korozji przekrój ulega zmniejszeniu oraz moment bezwładności i wskaźnik wytrzymałości (będące podstawą w ocenie nośności i odkształcalności belki) ulegają zmniejszeniu. Przykładowo przy 20% ubytku grubości górnej półki dwuteownika, z powodu korozji, nośność belki maleje o około 17% i ugięcie belki zwiększa się o około 11 %.



Rys. 8. Wykresy zmian charakterystyk przekroju poprzecznego dwuteownika na skutek korozji górnej półki dwuteownika

Na rys. 9 przedstawiono wykresy zależności ubytku grubości górnej półki dwuteownika od czasu korodowania z prędkościami w takimi, jakie wymieniono w punkcie 2 niniejszej pracy.



Rys. 9. Wykresy zależności ubytek grubości górnej półki dwuteownika – czas korodowania

Praktycznie przydatny jest wykres dotyczący korodowania w atmosferze miejskiej, z którego wynika, że ubytek grubości półki dwuteownika równy 10% nastąpi po upływie 12,8 lat, ubytek równy 20% po upływie 25,6 lat, a ubytek 30% po upływie 38,3 lat.

PODSUMOWANIE

Powierzchniowa korozja atmosferyczna skutkowała równomiernymi ubytkami materiału górnej półki stalowego kształtownika nośnego, który stanowi belkę biegową schodów. Równomierne zmniejszenie grubości półki wpłynęło na zmianę wartości charakterystyk geometrycznych kształtownika, które są istotne w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych. W wyniku obliczeń stwierdzono, że ubytek grubości górnej półki dwuteownika IPBS 360 w zakresie od zera do 20 % powoduje zmniejszenie nośności belki w granicach od zera do 17%, wzrost ugięć w zakresie od zera do 11% oraz zmianę klasy przekroju z 1 na 2. Stąd wynika, że nie można nawet takich niewielkich zmian korozyjnych nie uwzględniać w czasie eksploatacji konstrukcji. Czas zachodzenia tych zmian w atmosferze miast przemysłowych mieści się w granicach od zera do 25,6 lat, a w atmosferze morskiej mieści się w granicach od zera do 4,6 lat.

BIBLIOGRAFIA

1. Norma PN-H-04608, 1978. *Badania korozji metali. Skala odporności metali na korozję.*

2. ISO 9223, 1992. *Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification.*
3. ISO 9224, 1992. *Corrosion of metals and alloy – Corrosivity of atmospheres – Guiding values of the corrosivity categories.*
4. Baboian R. (ed), *Corrosion Engineering*, NACE INTERNATIONAL, Houston, 2002.
5. Cramer S.D., Covino B.S. (ed), *Corrosion: Environments and Industries*, Handbook, Volume 13, ASM International 2006.
6. Glinicka A., *O możliwości błędnego oszacowania parametrów korozyjnych elementów konstrukcji.* Autobusy 6/2016, s. 172 – 175.
7. Lichołai L., *Budownictwo ogólne. Tom 3. Elementy budynków, podstawy projektowania.* Arkady 2008.
8. Glinicka A., Ajdukiewicz C., Imielowski S., *Effects of uniformly distributed side corrosion on thin-walled open cross-section steel columns.* Roads and Bridges – Drogi I Mosty 15 (2016), s. 257 – 270.
9. Żmuda J., *Projektowanie konstrukcji stalowych. Cz.1*, PWN, Warszawa 2016.

Results of the superficial global corrosion of steel stairs

In the article one presented the growth during corrosive defects on beams of bearing steel-stairs, which are found in the construction of the footbridge over railway tracks. One assumed that the construction corroded in the urban atmosphere and, for comparison, in the sea-atmosphere and in the atmosphere on the rural area. One considered the case of the superficial global corrosion. Speeds of the corrosion, adopted to calculations, one laded from the literature. The work has a theoretical character. Considered corrosive defects can be found on built footbridges for pedestrian of located over railway tracks or over other obstacles. This problem was illustrated in the way of calculations. One carried out calculations of loss of the capacity of the beam and the increase of her deflections. The bearing beam of stairs is I-section IPBS 360 steel the species S355. The corrosion surrenders the upper shelf of this I-section. One assumed that the loss of her thickness was situated within the range from the zero to 30%. Authors discussed obtained results of the destruction of this beam in the long of corroding.

Autorzy:

dr hab. inż. Aniela **Glinicka**, prof. PW – Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Łądowej,

dr inż. Cezary **Ajdukiewicz** – Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Łądowej.