



## Uszkodzenia szkieletowych konstrukcji drewnianych spowodowane korozją biologiczną na przykładzie magazynu suchych pasz objętościowych

Agnieszka Grzybowska<sup>1</sup>, Dariusz Bajno<sup>2</sup>

### STRESZCZENIE:

Niejednokrotnie drewno uznawane jest za jeden z najmniej trwałych materiałów budowlanych, nie wykazuje na zewnątrz symptomów degradacji biologicznej, niezależnie od wieku, który nie jest tu wykładnią jego zużycia technicznego. Wbrew pozorom, problem okazuje się bardzo szeroki i istotny, a jego wagę podkreśla nieświadomość społeczna istnienia takich zagrożeń w obiektach wyglądających na masywne i bezpieczne. W naszym otoczeniu znajduje się wiele takich konstrukcji, które są eksploatowane w warunkach nieświadomości o występujących zagrożeniach, jakie stwarza niewidoczne i zużyte technicznie drewno. Zły stan techniczny drewna niejednokrotnie bywa przyczyną katastrof budowlanych, szczególnie gdy dotyczy to belek stropowych, które utraciły swoje oparcie na murach wskutek korozji końcówek. W tych miejscach elementy te nie są praktycznie badane, a są to lokalizacje największych dla nich zagrożeń, natomiast zakres uszkodzeń drewna ujawnia się zazwyczaj w momencie katastrofy budowlanej lub wymiany stropu. Dlatego, problem ten należy uznać za badawczy, wymagający pilnego i kompleksowego rozwiązania nie tylko ze względu na ratowanie wartości historycznej (zabytkowej) niektórych budynków i budowli, ale przede wszystkim ze względu na ich bezpieczeństwo użytkowe. Zarówno w na etapie projektowania, wykonawstwa, jak i eksploatacji zapomina się o procesach fizykalnych zachodzących we wnętrzu przegród, od których w bardzo wysokim stopniu zależy rodzaj, intensywność i zasięg korozji biologicznej. W artykule zaprezentowany zostanie przykład wpływu korozji biologicznej drewna na bezpieczeństwo użytkowania magazynu pasz objętościowych. Wykonane „in situ” pomiary ubytków w przekrojach belek drewnianych, spowodowanych korozją biologiczną, zweryfikowane zostaną obliczeniami sprawdzającymi pod kątem ich nośności w stosunku do zakładanych dla nich wielkości obciążeń. Obliczenia zostaną przeprowadzone tu zarówno dla belek uszkodzonych, o zmniejszonych przekrojach poprzecznych, jak i dla elementów pełnowartościowych.

### SŁOWA KLUCZOWE:

korozja biologiczna; eksploatacja; zagrożenie; diagnostyka konstrukcji

## 1. Wprowadzenie

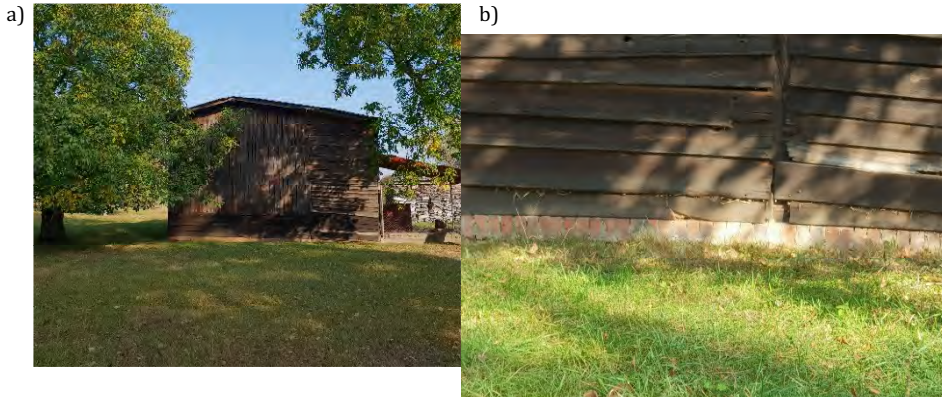
Nie istnieją bezpośrednie metody badawcze, które mogłyby kompleksowo wyeliminować stan zagrożenia eksploatowanych konstrukcji drewnianych w różnych przedziałach wiekowych. Wbrew pozorom problem jest tu bardzo szeroki i istotny, a jego wagę podkreśla nieświadomość społeczna istnienia takich zagrożeń w obiektach wyglądających na masywne i bezpieczne. Jak wykazały dotychczasowe wyniki badań przeprowadzonych przez autorów, w naszym otoczeniu znajduje się wiele takich obiektów, nieświadomie eksploatowanych bez dysponowania stosowną wiedzą o zagrożeniach, jakie dla nich stwarza niewidoczne i zużyte technicznie

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, ul. S. Kaliskiego 7, 85–796 Bydgoszcz, e-mail: agnieszka.grzybowska@utp.edu.pl, orcid id: 0000-0003-2798-3097

<sup>2</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, ul. S. Kaliskiego 7, 85–796 Bydgoszcz, e-mail: dariusz.bajno@utp.edu.pl, orcid id: 0000-0001-7664-8653

drewno. Stan drewna jest też przyczyną wielu katastrof budowlanych, które w najbliższym czasie mogą się nasilić wskutek uszkodzeń stropów, których np. belki utraciły swoje oparcie na murach w wyniku korozji biologicznej ich końcówek. Na takie skutki składa się kilka przyczyn. W tych miejscach elementy te nie są praktycznie badane, a są to lokalizacje największych dla nich zagrożeń, natomiast zakres uszkodzeń drewna ujawnia się zazwyczaj w momencie katastrofy budowlanej lub rozbiórki konstrukcji.

Przykładem degradacji konstrukcji drewnianej jest pochodzący z 1900 roku magazyn suchych pasz objętościowych (rys. 1a) o ceglonym fundamencie (rys. 1b).



Rys. 1. Widok rozważanego magazynu: a) elewacja frontowa; b) fundament

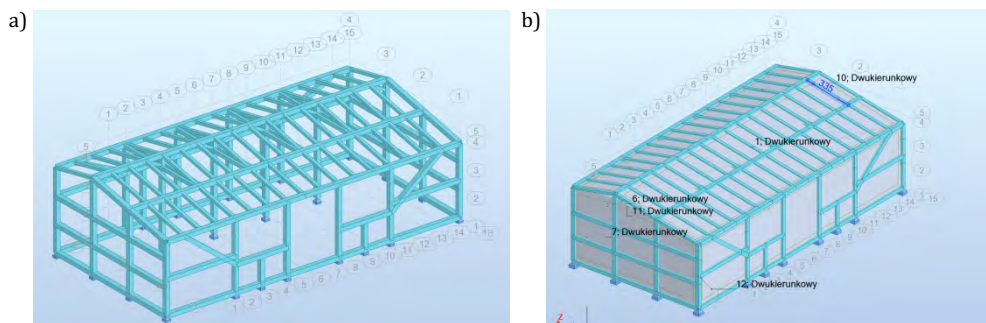
Procesy korozji biologicznej doprowadziły tutaj do znacznego osłabienia nośności przekrojów, rzutując w istotny sposób na nośność ram drewnianych. W związku z tym przeprowadzono adekwatne analizy statyczno-wytrzymałościowe ustroju. Widok rzeczywistych dźwigarów przedstawiono na rysunku 2, na którym widoczne są ubytki spowodowane korozją biologiczną.



Rys. 2. Widok ustrojów nośnych

## 2. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

Model konstrukcji (rys. 3a) utworzono w programie Autodesk Structural Analysis Professional 2018, odzwierciedlając połączenia pomiędzy poszczególnymi ustrojami poprzez zwolnienie i wprowadzenie okładzin umożliwiających nałożenie obciążeń (rys. 3b). Wymiary przekrojów podano w tabeli 1. Weryfikacji dokonano według zestawu norm PN-EN [1, 2] uważanych powszechnie za aktualne, jednak zdaniem autorów adekwatny byłby zestaw norm PN [3–5].



Rys. 3. Model konstrukcji: a) elewacja frontowa; b) z wygenerowanymi okładzinami od dwukierunkowym schemacie rozkładania obciążenia

Tabela 1

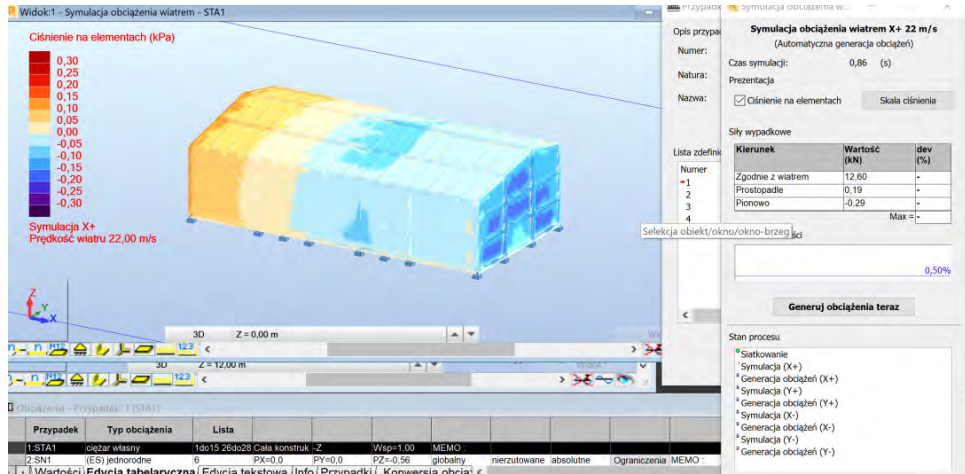
Wymiary przekrojów przyjęte do analiz statyczno-wytrzymałościowych w poszczególnych iteracjach

Lp.	Rodzaj elementu	Wymiary pierwotne [mm x mm]	Przekrój pierwotny [mm <sup>2</sup> ]	Wymiary rzeczywiste – efektywne [mm x mm]	Przekrój rzeczywisty – efektywny [mm <sup>2</sup> ]	Zmniejszenie pola przekroju [%]
1	belka 1	230x200	46 000	210x180	37 800	18
2	krokiew	160x130	20 800	150x120	18 000	13
3	kleszcze	160x130	20 800	150x120	18 000	13
4	zastrzał 1	160x130	20 800	150x120	18 000	13
5	zastrzał 2	220x200	44 000	200x180	36 000	18
6	słup	220x200	44 000	200x180	36 000	18
7	podwalina	240x200	48 000	225x180	40 500	16
8	belka 2	240x200	48 000	225x180	40 500	16

W modelu wprowadzono odpowiednie zwolnienia w miejscu połączeń prętów, szczególnie uwzględniając miejsca odcięcia słupów głównych ustrojów nośnych, co odzwierciedlone zostało za pomocą przegubów. W celu analizy przyjęto następujące obciążenia:

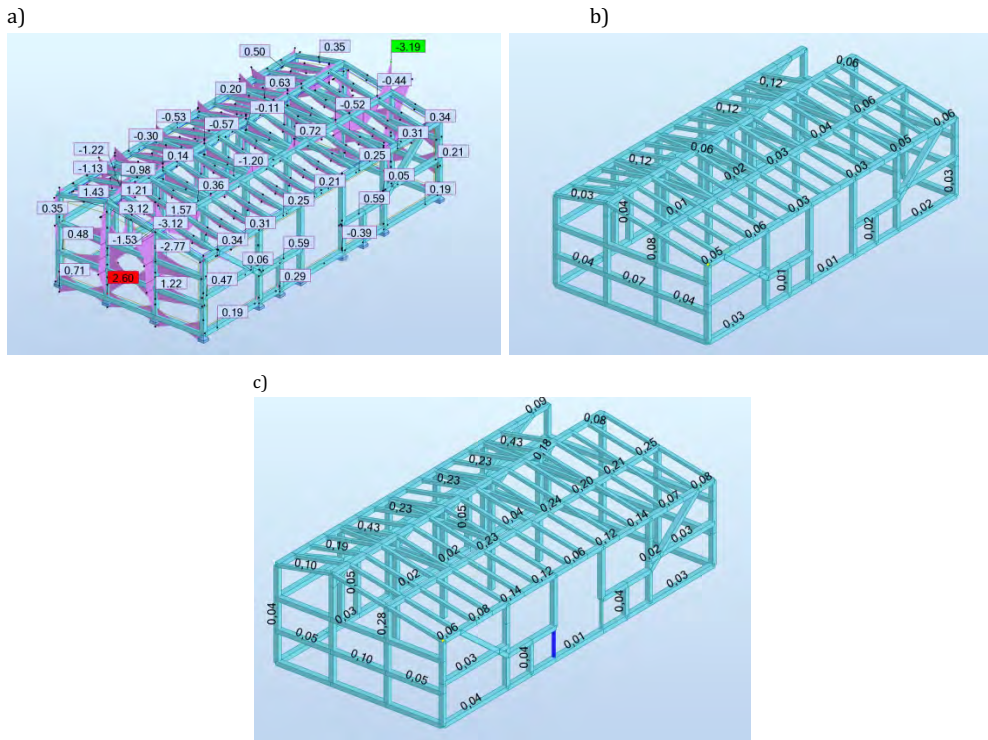
- ciężarem własnym konstrukcji, zdefiniowano w programie, narzucając poszczególnym prętom, odpowiednie przekroje oraz definiując klasę drewna jako C24, w pierwszej iteracji oraz C20, w iteracji drugiej redukując jednocześnie wymiary przekrojów do rzeczywistych wynikających z badań situ.
- Śniegiem, przyjęto jak dla pierwszej strefy śniegowej według PN-EN 1991-1-3, zatem  $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ , sporządzając normowe schematy obciążenia jak dla dachu dwuspadowego;
- Wiatrem, przyjęto jak dla pierwszej strefy wiatrowej według PN-EN 1991-1-4, zatem  $v_b = 22 \text{ m/s}$ , wygenerowane zostało automatycznie w tunelu wiatrowym. Pominięte zostało obciążenie na kierunku wiatru  $\theta = 0^\circ$ , ze względu na połączenie z sąsiednim budynkiem.

W celu przypisania odpowiednich współczynników przyjęto klasę użytkowania 3 oraz obciążeniom zmiennym przypisano klasę trwania obciążenia średiotrwałą.



Rys. 4. Model obciążenia wiatrem w tunelu wiatrowym programu Autodesk Structural Analysis Professional 2018

Analiza statyczna wykazała niestabilności pierwszego rodzaju w miejscach wprowadzenia dodatkowych przegubów, co oznacza występowanie elementu o wartości zero na przekątnej macierzy sztywności. W rozpatrywanym przypadku ten typ niestabilności jest spowodowany mechaniczną niestabilnością konstrukcji, bowiem część konstrukcji stała się mechanizmem – parametry podpór konstrukcji (liczba, typ i położenie podpór) nie są wystarczające.



Rys. 5. Analizy statyczno-wytrzymałościowe: a) rozkład momentów zginających; b) wyężenia w iteracji pierwszej – ustroju pierwotnego; c) wyężenia w iteracji drugiej – ustroju aktualnego (o przekrojach efektywnych wg tab. 1)

Pomimo zmniejszenia się przekrojów czynnych konstrukcji budynku wskutek zaawansowanej korozji biologicznej, na podstawie przeprowadzonych obliczeń dla najbardziej niekorzystnej kombinacji obciążeń, nie stwierdzono przekroczenia nośności w słupach, natomiast podczas weryfikacji przekrojów zostały one ocenione jako niepoprawne, bowiem węzły doznają nadmiernych przemieszczeń, w związku z czym nie pozostają spełnione warunki stanu granicznego użyteczności. Spowodowane jest to opisaną powyżej niestabilnością wywołaną przez wprowadzenie dodatkowych przegubów w miejscach odcięcia słupów. Ponadto nie występuje tu poważne zagrożenie przekroczenia nośności w elementach więźby dachowej, lecz wyężenie wzrosło blisko o ok. 40%. O przekroczeniu stanów granicznych użyteczności konstrukcji świadczy tu również zdiagnozowana podczas wizji lokalnej deformacja dachu. Więźba dachowa budynku nosi ślady przeróbek, wzmocnień, a także wymian elementów konstrukcyjnych. Jej dotychczasowe naprawy wykonywane były bez wstępnego projektu, dlatego należy je uznać za przypadkowe, niepoprawiające bezpieczeństwa konstrukcji dachu ani też całego obiektu.

### 3. Wnioski

Opisany w artykule przypadek jest z konstrukcyjnego i konserwatorskiego punktu widzenia bardzo interesujący. Wyniki badań dotyczące głównie elementów drewnianych, w obiekcie eksploatowanym w stanie przedawaryjnym, których oględziny zewnętrzne nie budziły zastrzeżeń, wskazały na możliwość łatwych, lecz jednocześnie istotnych pomyłek w ocenach stanu technicznego obiektów budowlanych, mogących mieć istotny wpływ na dalszą ich bezpieczną eksploatację. Wskazuje to na zasadność, a nawet konieczność przeprowadzania wnikliwych badań stanu technicznego obiektów budowlanych przed podjęciem ostatecznej decyzji o zakresie przewidywanych dla nich prac naprawczych. W ocenach technicznych ich autorzy, szczególnie ci o krótkim stażu zawodowym, zbyt często opierają się jedynie na własnych, pobieżnych oględzinach wzrokowych, natomiast całość wniosków precyzują w oparciu o wyniki obliczeń, uzyskane za pomocą uniwersalnych programów komputerowych. Taka ocena często mija się z rzeczywistym stanem technicznym obiektu. Rzetelna ocena stanu technicznego powinna zostać wypracowana na podstawie szczegółowo przeprowadzonej inwentaryzacji obiektu (w tym materiałowej), inwentaryzacji i ocenie uszkodzeń oraz stopnia zużycia elementów budynku decydujących o jego bezpieczeństwie i ich przyczynach. Powinna ona jednocześnie uwzględniać znaczący wpływ procesów fizykalnych zachodzących wewnątrz przegród na trwałość zabudowanych w nich materiałów. Podsumowanie wniosków wynikających z takich badań i analiz, doświadczenie oraz wiedza eksperta powinny dążyć do wypracowania takich metod naprawczych, które poparte odpowiednim aparatem obliczeniowym mogą zostać wdrożone do realizacji. Obliczenia statyczno-wyrztrzymałościowe w ocenach stanów technicznych obiektów budowlanych nie powinny być celem samym w sobie, lecz jedynie narzędziem wspomagającym w praktyce budowlanej i konserwatorskiej. W analizowanym przypadku, pod wpływem korozji biologicznej, wyężenie przekrojów znacznie wzrosło, ale nie spowodowało przekroczenia stanu granicznego nośności, bowiem tego typu obiekty pochodzące z lat przedwojennych nie były projektowane na wysokie wyężenia przekrojów (w iteracji pierwszej sięga zaledwie 10%\*).

### Literatura

- [1] PN-B-03150:2010 Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [2] PN-EN 1995-1-1:2010 Eurokod 5 Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków.
- [3] PN-64/B-03150 Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [4] PN-73/B-03150 Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [5] PN-81/B-03150.01 Materiały. Konstrukcje z drewna i materiałów drewnopochodnych. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [6] PN-EN 1995-1-2:2008 Eurokod 5 Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-2: Postanowienia ogólne. Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.

- [7] PN-EN 350-2 Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych. Naturalna trwałość drewna litego. Wytuczne dotyczące naturalnej trwałości i podatności na nasycanie gatunków drewna mających znaczenie w Europie.
- [8] PN-EN 460 Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych. Naturalna trwałość drewna litego. Wytuczne dotyczące wymagań w zakresie trwałości drewna sosnowego w klasach zagrożenia.
- [9] Ogólne warunki użytkowania wg PN-EN 335-1 Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych. Definicje klas użytkowania Część 1: postanowienia ogólne.
- [10] Ogólne warunki użytkowania wg PN-EN 335-1 Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych. Definicja klas użytkowania Część 2: zastosowanie do drewna litego.
- [11] PN-EN 351-1 Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych. Drewno lite zabezpieczone środkami ochrony. Część 1: Klasyfikacja wnikania i retencji środka ochrony.
- [12] Bajno D., Bednarz Ł., Nowak T., Problems relating to assessment, repair and restoration of wooden roof structures in historic buildings, as exemplified by two case studies in southern Poland, *Advanced Materials Research* 2013, 778, 888-894, DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.778.888.
- [13] Bajno D., Wybrane aspekty cieplno-wilgotnościowe związane z dostosowaniem budynków zabytkowych do eksploatacji w nowych warunkach. Monografia 61, Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB Bydgoszcz – Krynica 2015, 20-25 września 2015 r., 9-16.
- [14] Ważny J., Karyś J., Ochrona budynków przed korozją biologiczną, Arkady, Warszawa 2001.
- [15] Krzysik F., Nauka o drewnie, PWN, Warszawa 1978.

## **Damage of frame wooden structures caused by biological corrosion illustrated by the example of a dry roughage storehouse**

### **ABSTRACT:**

In spite of appearances, the problem is very complex and significant, and its gravity is stressed by the lack of social awareness about the existence of such hazards in buildings which look massive and safe. There are a number of such facilities in our surroundings which are unconsciously used without proper knowledge of hazards posed by invisible and technically worn wood. The condition of wood is a cause of many construction disasters which may progress in the foreseeable future due to damaged ceilings in which beams had lost their support on walls through biological corrosion of the beam ends. There are a few reasons for such effects. Although these are points where the most serious hazards occur, such elements are practically not checked within the said areas. In contrast, the scope of wood damage becomes apparent usually at the moment of a construction disaster or demolition. Therefore, this problem should be deemed a research one which requires an urgent and effective solution not only in order to preserve the historical (heritage) value of such buildings and facilities but also to protect human health and life. This would entail determination of the most common reasons of degradation of wood and its durability over time. Physical processes occurring inside barriers, on whose the type, intensity and range of biological corrosion depend to a great extent, are ignored. This article presents an example of the influence of wood biological corrosion on operational safety of a roughage storehouse. In situ measurements of defects caused by wood biological corrosion were carried out and followed by static and strength calculations considering biological corrosion or without taking it into account.

### **ABSTRACT:**

biological corrosion; operation; hazard; structure diagnostics