

Przypadki uszkodzeń w halach wysokiego składowania z uwzględnieniem zamocowania do posadzki

MARTA KADELA*, LESZEK CHOMACKI, DANIEL DUDEK, KAZIMIERZ KONIECZNY
Instytut Techniki Budowlanej

Streszczenie: Celem artykułu jest przedstawienie przypadków dodatkowych oddziaływań, które mogą prowadzić do takich uszkodzeń, powstających w halach magazynowych, które mogą doprowadzić do awarii budowlanych. W artykule omówione zostały dwa przypadki rzeczywistych obiektów halowych, wyposażonych w regały wysokiego składowania, stanowiących konstrukcję hal magazynowych. Każdorazowo regały doznały znacznego uszkodzenia (wychylenia), które zagrażało nie tylko użytkowaniu tych obiektów, ale przede wszystkim w przypadku braku wprowadzenia profilaktyki, mogło doprowadzić, do ich zawalenia. W pierwszym przypadku była to deformacja regałów w skutek występującego podciśnienia, wywołanego włączeniem wentylacji i jej awarią. W drugim przypadku w wyniku złego rozpoznania warunków gruntowo-wodnych doszło do deformacji posadzki, która wpłynęła na wychylenie regałów. W artykule przedstawiono wyniki analiz wpływu wychylenia regałów na siły w podstawie słupów, co w wyniku znacznej deformacji mogło prowadzić do utraty nośności połączenia słupa ze stopą, a w konsekwencji do utraty stateczności regału. Analizy te nie uwzględniają jednak możliwości występowania złożonego stanu obciążeń oraz stanu rzeczywistego uszkodzenia posadzki (spękań i zarysowań). Dlatego w drugiej części artykułu przedstawiono wpływ zarysowania na spadek nośności na wyrywanie z podłoża betonowego niezarysowanego i zarysowanego.

Słowa kluczowe: regały magazynowe, deformacja konstrukcji regałów, wychylenie, betonowe posadzki przemysłowe, łączniki wklejane, podłoże betonowe zarysowane/niezarysowane, nośność na wyrywanie

1. Wprowadzenie

Z uwagi na stale rozwijające się zapotrzebowanie na nowe powierzchnie przechowywania oraz przeładunku, obiekty magazynowe to jedno z najczęściej realizowanych w ostatnim czasie inwestycji. Zgodnie z Raportem [1] w ciągu ostatnich 5 lat zaplecze magazynowe wzrosło o więcej niż 120% i na koniec I kwartału 2021 r. powierzchnie magazynowe wynosiły około 21,5 mln m², a ponad 2,5 mln m² pozostawało w budowie. Ponadto wciąż zgłaszane jest zapotrzebowanie na nowe powierzchnie magazynowe, co jest związane z rozwojem rynku e-commerce, które znaczenie dodatkowo wzrosło w czasie pandemii [2]. Efektywność zagospodarowania powierzchni magazynowej jest ściśle związana z określeniem urządzeń

*Autor do korespondencji: m.kadela@itb.pl

i środków transportu, które będą wykorzystywane. Podstawowym wyposażeniem magazynów jest odpowiedni system regałów [3,4]. Z uwagi na optymalne wykorzystanie ich powierzchni oraz bezpieczne przechowywanie towaru magazyny są najczęściej wyposażone w regały wysokiego składowania [3]. Są one wykonane z elementów stalowych o przekrojach poprzecznych cienkościennych otwartych oraz zamkniętych. W związku z powyższym zachodzi konieczność przeprowadzenia odpowiednich obliczeń i analiz konstrukcji regałów [4–8] oraz ich połączeń [9]. W literaturze przedmiotu można znaleźć przykłady błędów popełnianych w projektowaniu i wykonawstwie, będące przyczyną awarii lub katastrofy [10–12]. Drugim problemem, z jakim zmagają się wykonawcy i użytkownicy hal magazynowych są uszkodzenia posadzek przemysłowych [13–16], przy czym do nich mogą się przyczynić powstające w zamocowaniach siły np. pod wpływem wychylenia regałów. Dlatego celem artykułu było wskazanie potencjalnie występujących problemów, które powinny zostać uwzględniona na etapie projektowania i budowy obiektu magazynowanego wysokiego składowania, a których brak uwzględnienia może prowadzić do awarii budowlanej, a w przypadku przekroczenia nośności na wrywanie z podłoża betonowego (posadzki) do katastrofy budowlanej. Przedmiotem analizy były dwie hale magazynowych, w których konstrukcja regałów pełni funkcję nośną, czyli konstrukcja dachu i przegród ściennych jest oparta na konstrukcji regałów. Takie rozwiązanie wiąże się za znacznymi oszczędnościami, wynikającymi głównie z braku konieczności budowy niezależnej konstrukcji nośnej obiektu dla dachu i ścian, a tym samym z prostszym fundamentowaniem i szybszą realizacją. Jednak w takim przypadku awaria konstrukcji regałów może doprowadzić do awarii konstrukcji całego obiektu, co nie występuje w przypadku tradycyjnych rozwiązań konstrukcyjnych hal z tradycyjnymi regałami wysokiego składowania.

2. Charakterystyka analizowanych obiektów

2.1. Opis konstrukcji dwóch hal magazynowych

Przedmiotowe obiekty zostały wykonane jako hale jednonawowe o rzucie poziomym w kształcie prostokąta. Są to budynki parterowe, niepodpiwniczone o konstrukcji słupowo-ryglowej (rys. 1).



Rys. 1. Widok na jedną z hal magazynowych.

Elementem nośnym obiektu jest stalowa konstrukcja regałów, składająca się z następujących elementów składowych:

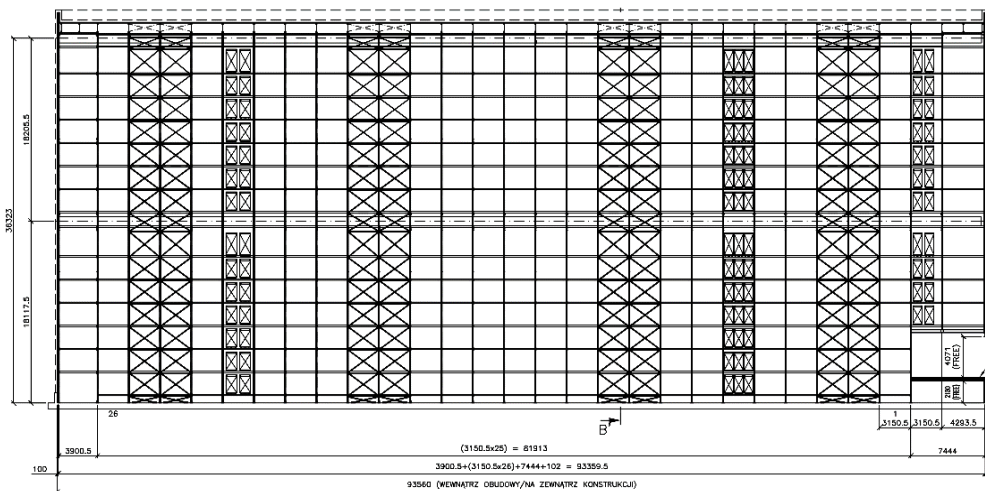
- słupów, w których są wykonane perforacje w celu zamontowania belek oraz stężeń,
- stężeń poziomych i ukośnych, wykonanych z kształowników ceowych zimmnogiętych, łączących słupy w układy ramowe,

- belek poprzecznych, składających się z zimnogiętego elementu rurowego,
- stóp słupów mocowanych 4 kotwiącymi łącznikami wklejanymi do fundamentu poprzez podstawy wykonane z blach.

Na słupach regałów spoczywa kratowa konstrukcja więźarów dachowych. Przekrycie połączeń dachowej stanowią płyty warstwowe. Stężenia dachowe oraz regałowe pozwalają na odpowiednie usztywnienie hali w kierunku podłużnym.

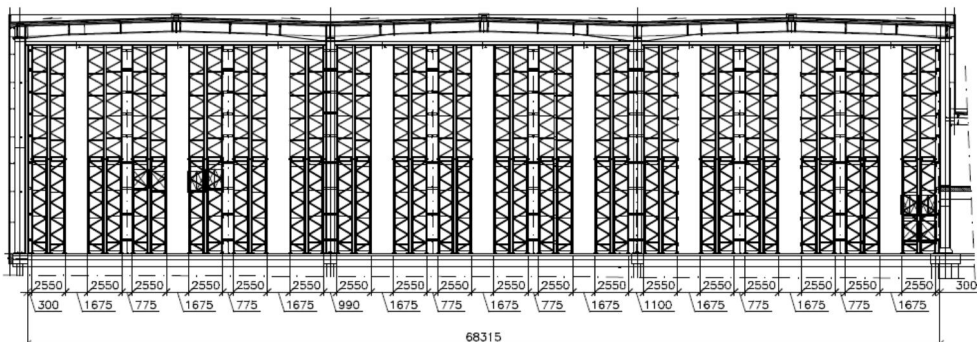
Ściany wewnętrzne i zewnętrzne zostały wykonane z płyt warstwowych wypełnionych wełną mineralną, przymocowanych do samonośnej konstrukcji ramowej.

W przypadku pierwszej hali w kierunku poprzecznym hali magazynowej ustawiono 16 ciągów regałów stałych ramowych (rys. 2). Słupy są rozstawione w układzie 3,15' 0,87 m (rys. 2), każdy słup składa się z trzech kształtowników zimnogiętych typu Ω i długości ok. 12 m, przekrój kształtowników jest zmiennych na długości słupa. Wysokość hali ok. 38,4 m.



Rys. 2. Przekrój podłużny przez konstrukcję hali I.

Natomiast w przypadku drugiej hali magazynowej w kierunku poprzecznym jest ustawionych 18 ciągów regałów stałych. Każdy słup składa się z dwóch kształtowników zimnogiętych typu Ω . Na wysokość konstrukcja składa się z dwóch połączonych ze sobą części na wysokości 7,0 m (rys. 3). Łączna wysokość regałów wynosi ok. 15,6 m, na tej wysokości regały są ze sobą połączone śrubami.

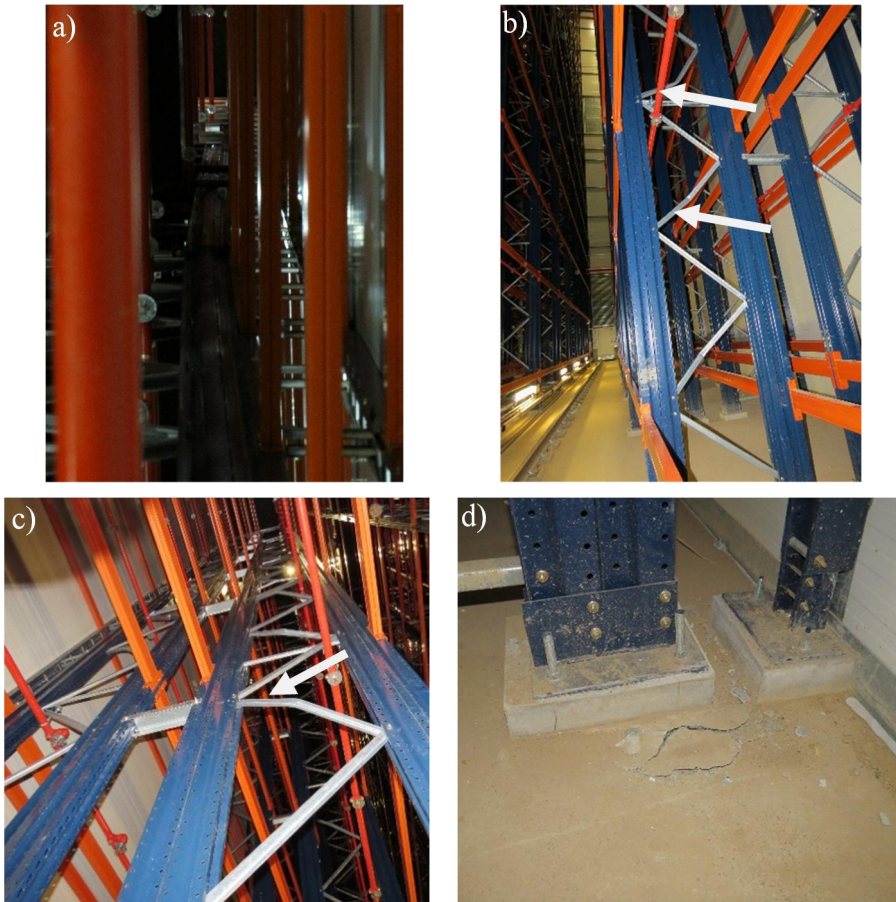


Rys. 3. Przekrój poprzeczny przez halę magazynową II.

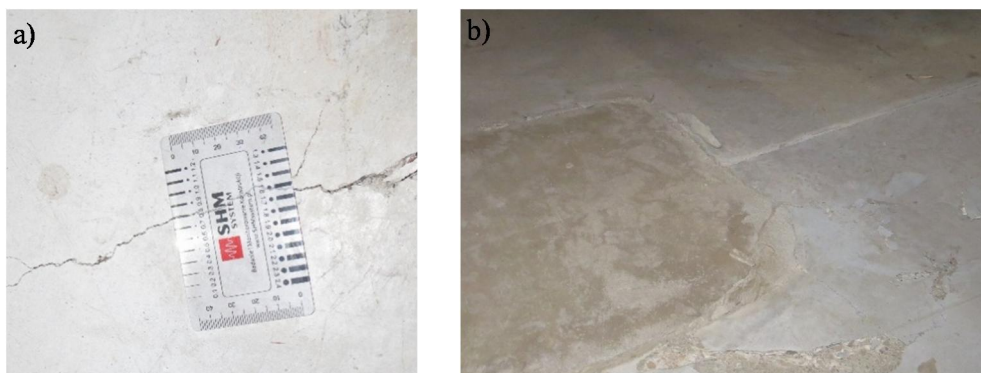
2.2. Opis uszkodzeń i deformacji elementów konstrukcji hali

W pierwszym przypadku zaobserwowano deformację regałów i ścian działowych z płyt warstwowych w kilku ciągach regałów magazynowych. Maksymalne deformacje regałów, w kierunku do wewnątrz korytarzy, osiągnęły wartość 44 mm (korytarz 1), 114 mm (korytarz 3), 49 mm (korytarz 4), 427 mm (korytarz 5), 47 mm (korytarz 8). Na skutek zaistniałej deformacji (rys. 4a) zaobserwowano szereg uszkodzeń elementów regału, takich jak deformacje krzyżulców (rys. 4b, c), zniszczenie śrubowych mocowań słupów do stalowych stóp, uszkodzenie fragmentów posadzki w sąsiedztwie posadowienia słupów (rys. 4d).

W przypadku drugiej hali również zaobserwowano uszkodzenia regałów, tzn. stwierdzono wychylenie części regałów magazynowych, o wartości do 31 mm. Ponadto zaobserwowano występowanie nachylenia posadzki, które wynosiło nawet do 2,2‰ w kierunku poprzecznym hali, spękania posadzki o maksymalnej szerokości 0,8 mm (rys. 5a) oraz ubytki i wykruszenia (rys. 5b).



Rys. 4. Uszkodzenia i deformacje w obiekcie, a) deformacja słupów wewnątrz regału, b) uszkodzenia krzyżulców skratowań pomiędzy słupami, c) uszkodzenia krzyżulców skratowań pomiędzy słupami, d) uszkodzenie posadzki w sąsiedztwie stopy słupa.



Rys. 5. Uszkodzenia posadzki: a) spękania posadzki betonowej hali magazynowej, b) ubytki i wykruszenia w posadzce hali magazynowej.

3. Potencjalne skutki wpływu wychylenia na nośność zamocowania

3.1. Przyczyny uszkodzeń

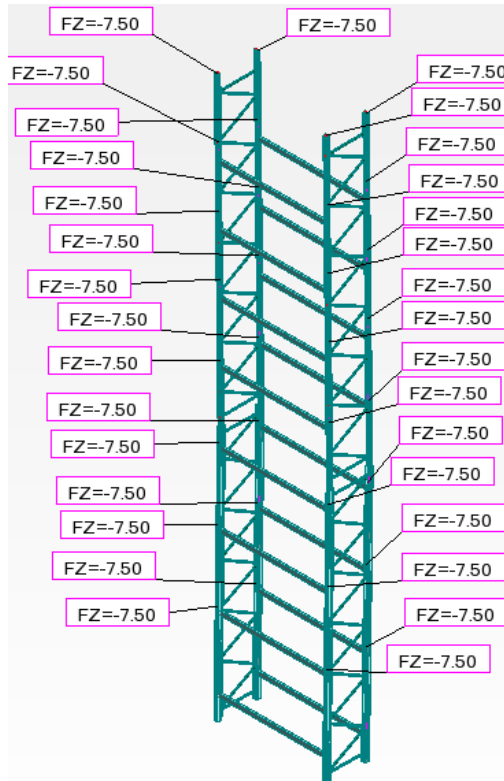
W pierwszym przypadku w końcowej fazie realizacji obiektu magazynowego przystąpiono do próby wentylowania obiektu. Na skutek awarii systemu sterującego zestawu wentylowania o dużej wydajności, wytworzyło się znaczne podciśnienie w odizolowanych częściach hali. Duża różnica w obciążeniu konstrukcji sąsiadujących ze sobą komór obiektu skutkowałą znaczącą deformacją ścian działowych z płyt warstwowych przymocowanych do konstrukcji kilku przyległych regałów magazynowych. Zaistniała deformacja przyczyniła się do powstania dodatkowych sił w zamocowaniu regałów do posadzki. Natomiast w drugim przypadku w skutek deformacji posadzki, w skutek złego rozpoznania warunków gruntowo-wodnych, powstało wychylenie regałów, co z kolei skutkowało zmianą schematu przekazywania obciążeń w konstrukcji regałów i zmianą stanu naprężeń. Spowodowało to powstanie dodatkowych sił w zamocowaniu słupów regałów do posadzki.

3.2. Analiza numeryczna wpływu wychylenia słupów na konstrukcję

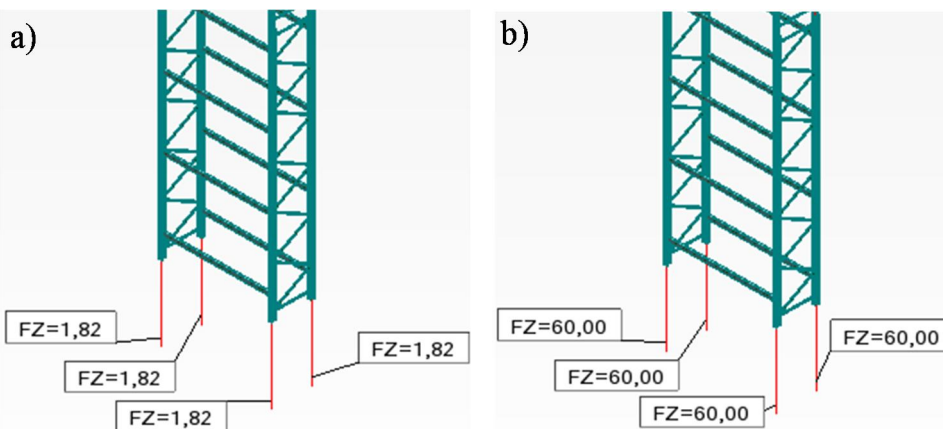
W celu oceny wpływu wychylenia na wyężenie konstrukcji zostały przeprowadzone stosowne analizy. Przygotowany został trójwymiarowy model obliczeniowy, o wymiarach osiowych w rzucie poziomym równych $1,08 \times 3,0$ m oraz wysokości 15,5 m (rys. 6). Pręty reprezentujące słupki, stężenia poprzeczne oraz belki poprzeczne zostały zdefiniowane o geometrii zgodnej z pomierzoną i przedstawioną w p. 2.1 jako wykonane ze stali S235. Model podparto u podstawy słupów podporami przegubowymi nieprzesuwными. Do modelu przyłożono obciążenia wynikające z ciężaru własnego konstrukcji regału oraz najbardziej niekorzystne obciążenia eksploatacyjne. Zakładając pełne użytkowe obciążenie pojedynczego poziomu składowania wynoszące 30 kN, tj. 7,5 kN na słup, sumarycznie przy 8 poziomach składowania otrzymano obciążenie pojedynczego regału siłą pionową wynoszącą sumarycznie 240 kN. Rozkład obciążeń eksploatacyjnych został przedstawiony na rys. 6. Obliczenia zostały wykonane w kilku wariantach deformacji konstrukcji:

- 1). Konstrukcja idealnie pionowa (bez wychylenia),
- 2). Konstrukcja o rzeczywistym najbardziej niekorzystnym przemieszczeniu wynoszącym 31 mm na wysokości 7 m, odpowiadającym wychyleniu słupka o 4,43‰,

- 3). Konstrukcja przy wzroście przemieszczenia do wielkości 49 mm na wysokości 7 m, odpowiadającym wychyleniu słupka o 7,0‰,
- 4). Konstrukcja przy wzroście przemieszczenia do wielkości 98 mm na wysokości 7 m, odpowiadającym wychyleniu słupka o 14,0‰,
- 5). Konstrukcja przy wzroście przemieszczenia do wielkości 154 mm na wysokości 7 m, odpowiadającym wychyleniu słupka o 22,0‰.



Rys. 6. Schemat obciążenia konstrukcji obciążeniem eksploatacyjnym.



Rys. 7. Pionowe reakcje dla konstrukcji pionowej od obciążeń: a) stałych, b) eksploatacyjnych [kN].

W hipotetycznie analizowanych podpunktach III–V wielkości wychylenia słupów regału nawiązują do pomierzonego nachylenia posadzki hali II, wynoszącego w niektórych obszarach hali w rejonie usytuowania regałów: 7, 14, 22‰, a więc są one możliwe do zaistnienia w rejonach oparcia słupów na posadzce. Przykładowe wyniki obliczeń statycznych regałów, dla idealnie pionowej konstrukcji przedstawiono na rys. 7. Porównawcze zestawienie wyników uzyskanych dla różnych wychyleń konstrukcji zostało zamieszczone w tablicy 1.

Tablica 1. Wartości pionowych reakcji u podstawy konstrukcji.

Lp.	Wychylenie konstrukcji	Reakcja od obciążeń stałych [kN]		Reakcja od obciążeń eksploatacyjnych [kN]	
1	Brak wychylenia	1,82	1,82	60,00	60,00
2	4,43‰	1,77	1,87	58,20	61,80
3	7,00‰	1,73	1,90	57,15	62,85
4	14,00‰	1,65	1,99	54,29	65,71
5	22,00‰	1,55	2,09	51,02	68,98

Przeprowadzona analiza możliwości przejścia sił przez konstrukcję wykazała, że dla najbardziej zdeformowanego z wariantów (wariantu V) nośność obliczeniowa jest zachowania, a zapas nośności wyniósł 115%. Zatem można stwierdzić, że otrzymane wyniki obliczeń, w rozpatrywanym przypadku obciążeń, nie wskazują możliwości powstania sił rozciągających w podstawie słupów, nawet przy hipotetycznym znacznie większym wychyleniu konstrukcji z pionu (wariant V). Jednakże w przypadku otrzymania rozciągających sił w podstawie słupów, mogłyby dojść do utraty nośności połączenia słupa ze stopą, a w konsekwencji do utraty stateczności regału. Szczególnie niekorzystny wydaje się hipotetyczny przypadek niekorzystnego oddziaływania wiatru przy braku obciążeń użytkowych, który mógłby doprowadzić do wystąpienia sił rozciągających w elementach zamocowania.

3.3. Analiza zamocowania

Zaprojektowane zamocowania słupów regałów magazynowych do betonowego podłoża w postaci wklejanych prętów gwintowanych (rys. 8a) za pomocą żywicy epoksydowej (rys. 8b), miały przenosić osiowo siły rozciągające. Nie uwzględniono jednak przenoszenia przez nie złożonych stanów obciążenia, czy stanu uszkodzenia posadzki, czyli m.in. zarysowania podłoża i oddziaływań obciążeń zmiennych.

Dlatego na potrzeby niniejszej pracy przeprowadzono badania nośności na wrywanie z podłoża betonowego (niezarysowanego i zarysowanego), wykorzystując stalowe łączniki wklejane M12, dla których specyfikację przedstawiono w tablicy 2. Na rys. 8 przedstawiono łącznik wklejany M12 wraz z żywicą epoksydową MVA. Parametry montażowe, zawarto w tablicy 3.

Tablica 2. Dane materiałowe łączników wklejanych.

Lp.	Rodzaj łącznika	Element	Dane materiałowe
1	wklejany	trzcień gwintowany	stal węglowa klasy 5.8 wg EN ISO 898-1
2		nakrętka	stal węglowa klasy 6 wg EN ISO 898-1, ocynkowana wg EN ISO 4042
3		podkładka	stal węglowa wg DIN 125A, ocynkowana wg EN ISO 4042
4		żywica	żywica epoksydowa

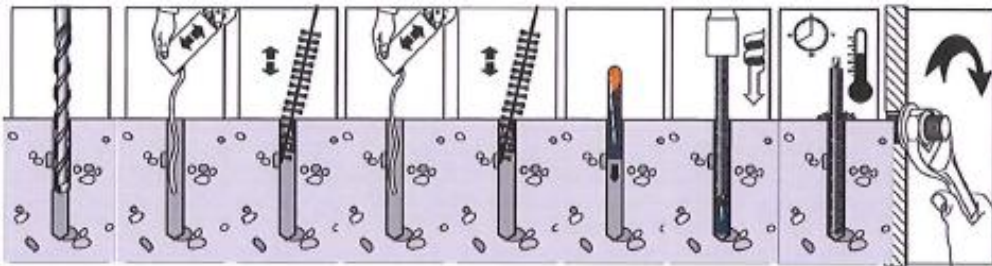


Rys. 8. Stalowe łączniki wklejane M12: a) żywica epoksydowa, b) pręt gwintowany.

Tablica 3. Parametry montażowe łączników wklejanych M12

Lp.	Dane instalacyjne		M12
1	Nominalna średnica wiertła	d_o [mm]	14
2	Min. głębokość wierconego otworu	h_1 [mm]	185
3	Całkowita głębokość zakotwienia łącznika	h_{ef} [mm]	180
4	Rozstaw łączników	s [mm]	240
5	Odległość od krawędzi	c [mm]	240

Badania łączników wklejanych na wrywanie, wykorzystując żywicę epoksydową, polegały na wyznaczeniu maksymalnych sił niszczących. Stalowe łączniki wklejane M12 wrywano pod działaniem statycznych i dynamicznych sił rozciągających z podłoża betonowych niezarysowanych i zarysowanych. Łączniki instalowano zgodnie ze schematem montażowym, przedstawionym na rys. 9. W skład działań montażowych wchodziło osiowe wiercenie w podłożu betonowym, czyszczenie otworów montażowych oraz instalacja łączników zgodnie z przyjętymi parametrami montażowymi.



Rys. 9. Schemat instalacji stalowych łączników wklejanych M12.

Na potrzeby badań laboratoryjnych przygotowano podłoża betonowe klas C20/25. Maksymalny wymiar kruszywa zawierał się w przedziale od 16 do 20 mm. Ciężar objętościowy zastosowanego kruszywa wahał się od 2,0 do 3,0 t/m³. Nośność na wrywanie wyznaczono według równania (1):

$$N_{Ru,m} = F_{Ru} \times \left(\frac{f_c}{f_{c,test}} \right)^{0,5} \quad (1)$$

gdzie:

- $N_{Ru,m}$ – średnia nośność na wrywanie [kN],
- F_{Ru} – średnia siła niszcząca [kN],
- f_c – wytrzymałość normowa na ściskanie betonu [MPa],
- $f_{c,test}$ – wytrzymałość testowa na ściskanie betonu [MPa].

Dynamiczne obciążenie zawarte w przedziale min i max w czasie 100 cykli rozwarcia rysy w zakresie od 0,10 do 0,30 mm oraz dla betonu niezarysowanego, obliczano wg równania (2):

$$N_{p,\min} = 0,1 \times N_R \quad (2)$$

$$N_{p,\max} = 0,4 \times N_R \quad (3)$$

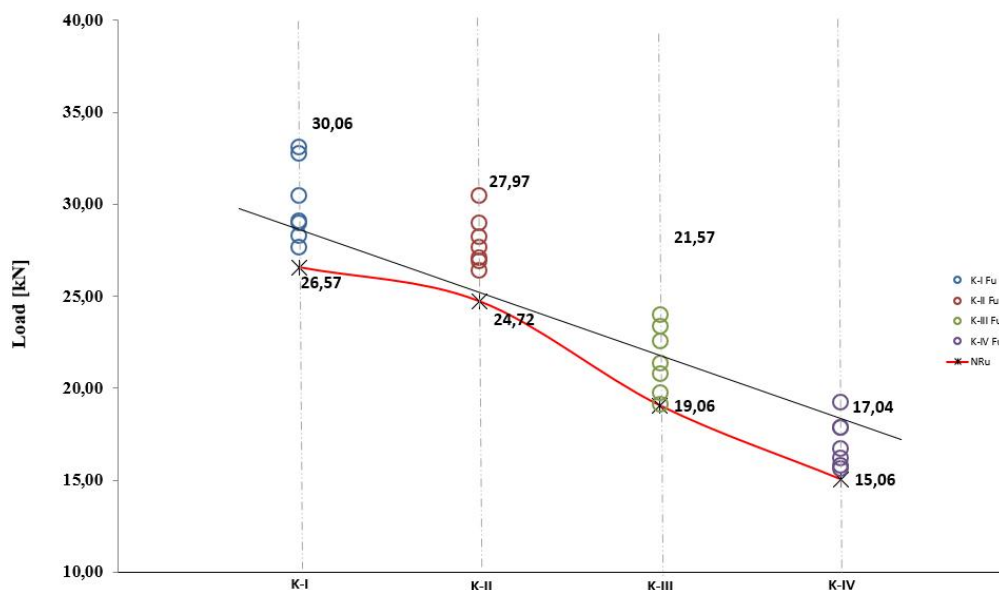
gdzie:

$N_{p,\min}$ – minimalny naciąg siły [kN],

$N_{p,\max}$ – maksymalny naciąg siły [kN],

N_R – średnia nośność na wyrywanie [kN].

Badania określające nośności na wyrywanie łączników wklejanych zostały w całości zrealizowane w Instytucie Techniki Budowlanej, Filia w Katowicach. Badania realizowano za pomocą urządzenia do pomiaru sił i przemieszczeń firmy HBM. Wyniki badań zestawiono w tablicy 4. Określone nośności na wyrywanie łączników wklejanych przedstawiono na rys. 8.



Rys. 10. Nośności na wyrywanie z podłoża betonowego klasy C20/25 łączników wklejanych M12.

Na rys. 10 przedstawione zostały określone nośności na wyrywanie dla czterech kombinacji badawczych (tablica 4) stalowych łączników wklejanych M12 za pomocą żywicy epoksydowej. Spadek nośności dla kombinacji K-II to 7%, względem nośności referencyjnej (K-I). Dalszy spadek nośności o 16% obserwuje się dla kombinacji K-III. Dla kombinacji K-IV, przy dodatkowych dynamicznych obciążeniach w 100 cyklach, spowodowały maksymalny spadek nośności o 39%, względem kombinacji K-I (beton niezarysowany) i 16% spadek dla betonu zarysowanego dla statycznie obciążonych łączników (K-III).

Spadek nośności łączników przy zmiennych obciążeniach ma wpływ na końcową nośność zamocowań łączników, będących podstawą do projektowania konstrukcji budowlanych, z zastosowaniem stalowych łączników wklejanych M12 (żywica MVA).

Tablica 4. Nośności na wyrwanie z podłoża betonowych klasy C20/25 łączników wklejanych M12.

Kombinacja	Opis badania	Siła niszcząca F_{Ru} [kN]	Średnia nośność na wyrwanie $N_{Ru,m}$ [kN]	Obraz zniszczenia
K-I	głębokość zakotwienia: $h_{ef} = 180$ mm beton zwykły niezarysowany: C20/25 obciążenie łącznika: brak	29,12 32,75 33,10 27,66 29,00 30,50 28,30	26,57	7 , wyrwanie
K-II	głębokość zakotwienia: $h_{ef} = 180$ mm beton zwykły niezarysowany: C20/25 obciążenie łącznika dynamiczne: $N_{p,min} = 2,66$ kN $N_{p,max} = 15,94$ kN	27,65 29,00 30,50 27,10 28,25 26,40 26,90	24,72	7 , wyrwanie
K-III	głębokość zakotwienia: $h_{ef} = 180$ mm beton zwykły zarysowany: C20/25, $w = 0,30$ mm obciążenie łącznika: brak	21,34 19,78 24,00 19,12 20,77 23,40 22,56	19,06	7 , wyrwanie
K-IV	głębokość zakotwienia: $h_{ef} = 180$ mm beton zwykły zarysowany: C20/25, $w = 0,10-0,30$ mm obciążenie łącznika: $N_{p,min} = 1,91$ kN $N_{p,max} = 7,63$ kN	17,89 19,23 16,70 15,78 17,88 15,61 16,20	15,06	7 , wyrwanie

* przy wytrzymałości na ściskanie podłoża betonowego $f_{cm} = 33$ MPa

4. Wnioski

W artykule przedstawiono dwie przyczyny potencjalnie możliwej deformacji regałów wysokiego składowania, stanowiących konstrukcję hal magazynowych. W pierwszym przypadku była to deformacja regałów w skutek występującego podciśnienia, wywołanego włączeniem wentylacji i jej awarią. W drugim przypadku w wyniku złego rozpoznania warunków gruntowo-wodnych doszło do deformacji posadzki, która wpłynęła na wychylenie regałów. W artykule przedstawiono wyniki analiz wpływu wychylenia regałów na siły w podstawie słupów, co w wyniku znacznej deformacji mogło prowadzić do utraty nośności połączenia słupa ze stopą, a w konsekwencji do utraty stateczności regału. Analizy te nie uwzględniają jednak możliwości występowania złożonego stanu obciążeń oraz stanu rzeczywistego uszkodzenia posadzki (spękań i zarysowań). W drugiej części artykułu przedstawiono wpływ zarysowania podłoża betonowego na spadek nośności na wyrwanie łączników wklejanych M12. Badania przeprowadzono dla czterech kombinacji badawczych. Wykazano, że spadek nośności dla kombinacji K-II to 7%, względem nośności referencyjnej

(K-I). Dalszy spadek nośności o 16% obserwuje się dla kombinacji K-III. Dla kombinacji K-IV, przy dodatkowych dynamicznych obciążeniach w 100 cyklach, spadek nośności na wrywanie oszacowano na 39%, względem kombinacji K-I (beton niezarysowany) i 16% spadek dla betonu zarysowanego dla statycznie obciążonych łączników (K-III).

Spadek nośności łączników przy zmiennych obciążeniach ma wpływ na końcową nośność zamocowań łączników, będących podstawą do projektowania konstrukcji budowlanych, z zastosowaniem stalowych łączników klejanych M12 (żywica MVA).

Podsumowując należy podkreślić, że w przypadku hal magazynowych, w których konstrukcja regałów pełni funkcję nośną, czyli konstrukcja dachu i przegród ściennych jest oparta na konstrukcji regałów należy wnikliwe przeanalizowanie możliwych do wystąpienia różnego rodzaju oddziaływań, a w tym obciążeń wyjątkowych, takich jak możliwość wystąpienia podciśnienia, wywołanego włączeniem zaprojektowanej w hali wentylacji i/lub jej ewentualną awarią. Ponadto należy ocenić stan posadzki, w tym deformacje np. w skutek braku właściwego rozpoznania warunków gruntowo-wodnych i/lub ewentualnego wykonawstwa. Powyższe musi być uwzględnione na etapie projektowania i wykonawstwa zamocowań do posadzki.

Literatura

1. Krawczyk P.: Rynek magazynowy w Polsce: I kwartał 2021 [RAPORT]. Portal przemysłowy, 2021, <https://polskiprzemysl.com.pl/raporty/rynek-magazynowy-w-polsce/>
2. Rynek Magazynowy 1 kw. 2021 Polska. Walter Herz, Warszawa, 2021.
3. Wojciechowski A.: Regały magazynowe. Jakie są zalety i wady poszczególnych rodzajów regałów magazynowych? Muratorplus, 2020. <https://www.muratorplus.pl/inwestycje/inwestycje-komercyjne/regaly-magazynowe-stale-przejezdne-wysokiego-skladowania-aa-ESjW-cQ4M-i25N.html>
4. Wojciechowski A.: Regały wysokiego składowania. Rodzaje i obsługa regałów wysokiego składowania. Muratorplus, 2020. <https://www.muratorplus.pl/inwestycje/inwestycje-komercyjne/regaly-wysokiego-skladowania-rodzaje-i-obsługa-regalów-wysokiego-skladowania-aa-BULh-jFEU-aFzn.html>
5. Bródka J., Lubiński M.: Lekkie konstrukcje stalowe. Arkady, Warszawa 1978.
6. Brzoska Z.: Statyka i stateczność konstrukcji prętowych i cienkościennych. PWN, Warszawa 1965.
7. Żmuda J.: Podstawy projektowania konstrukcji metalowych. Arkady, Warszawa 1997.
8. IL-B-001: 1998. Bezpieczeństwo urządzeń techniki magazynowej. Regały magazynowe wolno stojące. Wymagania podstawowe. Instytut Logistyki i Magazynowania.
9. Kozłowski A., Ślęczka L., Wojnar A. O konstrukcji i połączeniach regałów magazynowych. Konstrukcje Stalowe, nr 4, 2005, s. 26–28.
10. Jankowiak R., Baran W., Żmuda J.: Przyczyny katastrofy regałów stalowych w magazynie wysokiego składowania. Materiały konferencji naukowo-technicznej „Awary budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje 2001.
11. Jankowiak R., Baran W., Żmuda J.: Wpływ imperfekcji przekroju poprzecznego słupa na przyczyny katastrofy regałów wysokiego składowania. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje 20–23 maja 2003 r.
12. Jankowiak R., Baran W., Żmuda J. O katastrofie regałów stalowych w magazynie wysokiego składowania. Inżynieria i Budownictwo, nr 1/2002, s. 31–33.
13. Czopowska-Lewandowicz M. Przyczyny uszkodzeń nowej posadzki betonowej w hali wysokiego składowania. XXVIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 22–26 maja 2017 r., s. 879–888.
14. Hajduk P.: Przyczyny powstawania rys w podłogach przemysłowych, Przegląd Budowlany, nr 4/2015.
15. Chmielewska B., Wojciechowski P., Łukowski P., Adamczewski G. Środki i zabiegi utrzymania czystości posadzek betonowych jako przyczyna ich zużycia. XXVII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 20–23 maja 2015 r., s. 751–762.

16. Kadela M., Konieczny K., Piotrowski T., Załęgowski K. Ocena uszkodzeń posadzki przy użyciu metod nieniszczących. *Inżynieria i Budownictwo* 77/2021, s. 37–40.

The case of the destructions in high storage halls including fixing to the floor

Summary: The aim of the article is to present the cases of additional impacts that may lead to such destruction, occurring in warehouse halls, which may lead to construction failures. Two cases of real hall buildings, equipped with high storage racks, constituting the structure of warehouse halls, were presented. Each time the racks suffered significant damage (deflection), which endangered not only the use of these objects, but above all, in the absence of prophylaxis, could lead to their collapse. In the first case, it was the deformation of the racks as a result of the negative pressure caused by the activation of ventilation and its failure. In the second case, as a result of poor diagnosis of soil and water conditions, the floor was deformed, which influenced the deflection of the racks. The article presents the results of analyzes of the influence of rack deflection on forces in the base of columns, which, as a result of significant deformation, could lead to loss of the load-bearing capacity of the column-foot connection, and consequently to the loss of rack stability. However, these analyzes do not take into account the possibility of a complex state of loads and the actual state of damage to the floor (cracks and scratches). Therefore, the second part of the article presents the effect of cracking on the drop in the bearing capacity on pulling out of non-cracked and cracked concrete substrates.

Key words: warehouse racks, deformation of the rack structure, deflection, concrete industrial floors, expansion anchor, cracked/non-cracked concrete substrate, pull-out load capacity