

Regały magazynowe wysokiego składowania. Zasady ogólne projektowania



mgr inż.
MAGDALENA PAPADOPOULOS-WOŹNIAK
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Łądowej
ORCID: 0000-0001-9388-5415

Regały wysokiego składowania są konstrukcjami, które w trakcie użytkowania mogą być przemodelowywane. Zmianie ulega rozkład obciążeń, sposób ich przekazywania, a nawet wysokość całych konstrukcji. Stanowią więc spore wyzwanie dla projektantów.

Charakterystyka stalowych regałów magazynowych wysokiego składowania

Stalowe regały wysokiego składowania to przestrzenne konstrukcje stalowe, których główne elementy składowe mają przekroje cienkościennie. Konstrukcje te wciąż zyskują na popularności, głównie ze względu na ciągły wzrost sprzedaży internetowej, który szczególnie przybrał na sile w okresie pandemii. Na obrzeżach dużych miast cały czas powstają nowe centra dystrybucji, w których artykuły są przechowywane na stalowych regałach wysokiego składowania. Największą zaletą systemów regałowych jest możliwość przechowywania dużych ilości towarów na relatywnie małej powierzchni oraz ich elastyczność, która pozwala między innymi w szybki i stosunkowo prosty sposób zmieniać rozkład belek regałów po wysokości.

Omawiając nośność regałów paletowych, gdy wspominamy o kierunku działania sił, posługujemy się terminami: wzdłuż oraz w poprzek drogi transportowej. Kierunki te obrazowo pokazano na rys. 1. i rys. 2. W systemach regałów stężonych siły działające wzdłuż drogi transportowej są przenoszone przez stężenia pionowe (rys. 1.), a stateczność poprzeczną zapewniają połączone stężeniami ramy słupów. Natomiast w systemach niestężonych (rys. 2.) występują stężenia ram słupów i działają tak samo jak w przypadku systemów stężonych, lecz stateczność wzdłuż drogi transportowej jest zabezpieczona przez usztywniające działanie zaczepów rygli.

Najczęściej spotykane są regulowane niestężone regały paletowe charakteryzujące się bardzo dużą elastycznością systemów. Składają się one ze słupów projektowanych

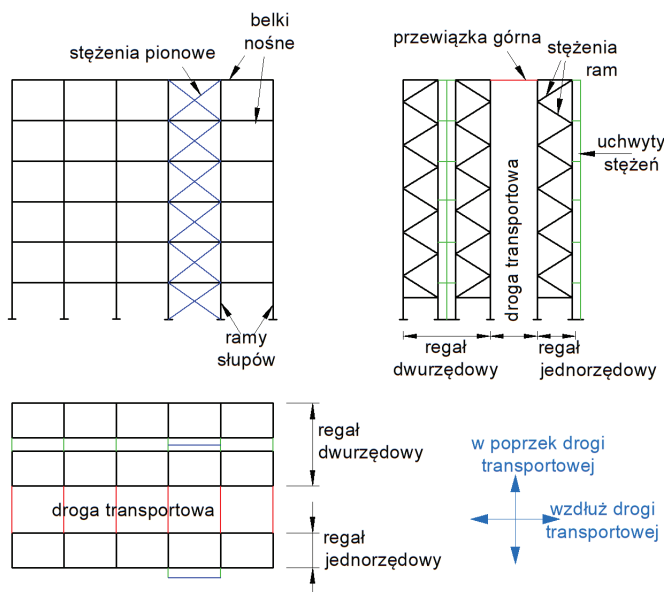
z kształtowników otwartych zamocowanych do posadzki za pomocą stóp z blachy i połączonych ze sobą skratowaniem w kierunku w poprzek drogi transportowej. Słupy są na całej długości perforowane, aby można było na dowolnej wysokości montować do nich rygle. Belki wykonane są zazwyczaj z elementów zamkniętych i zakończone blachą węzłową połączenia hakowego (rys. 3.).

Dokumenty normalizacyjne dotyczące regałów

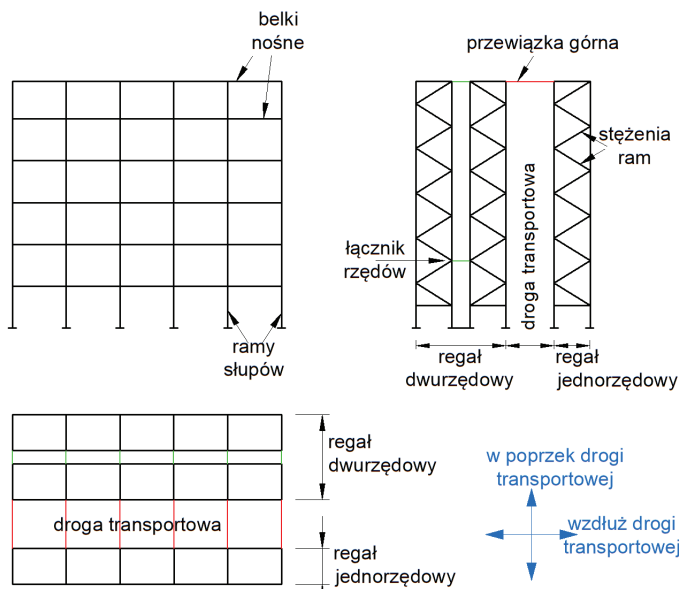
Dostępne są dwa dokumenty normalizacyjne regałów wysokiego składowania: Polska Norma PN-EN 15512:2011: Stalowe statyczne systemy składowania – Regały paletowe o zmiennej konfiguracji – Zasady projektowania konstrukcji [1] oraz wydany przez Instytut Logistyki i Magazynowania dokument normalizacyjny IL-B-001: 1998 Bezpieczeństwo urządzeń techniki magazynowania. Wymagania podstawowe [2].

Norma [1] jest dokumentem przyjętym przez Europejski Komitet Normalizacyjny CEN, a jej procedury związane z wymiowaniem konstrukcji cechuje spójność z Eurokodem 3 [3] i [4]. Dokument Instytutu Logistyki [2] dla odmiany jest spójny z zasadami projektowania zawartymi w poprzednich normach z serii PN-B oraz PN-M, choć w przypadku obliczeń regałów niestężonych metodą stanów granicznych odsyła do projektu normy PN-ENV 1993-1-1. Skupia się on nie tylko na projektowaniu, ale też na bezpieczeństwie użytkowania regałów. Można w nim znaleźć sporo informacji na temat zagrożeń, które mogą wystąpić w trakcie eksploatacji regałów, oraz sposobu zapobiegania im już na etapie projektu.

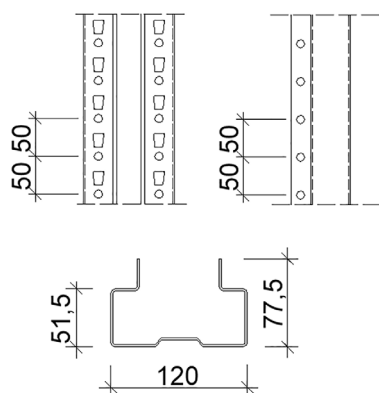
Dokumenty [1] oraz [2] zostały wydane w odstępie trzynastu lat, nie dziwi więc fakt, że znacznie się od siebie różnią. Przede wszystkim w kwestii sposobu określenia nośności i stateczności regałów oraz metod wykonywa-



Rys. 1. Przykład konfiguracji stężonego regału wysokiego składowania



Rys. 2. Przykład konfiguracji niestężonego regału wysokiego składowania



Rys. 3. Rygiel wraz z blachą węzłową

nia badań wytrzymałościowych. Jednak oba uważają, że badania wytrzymałościowe są nieodłączną częścią projektowania regałów i nie da się bez nich określić nośności całych systemów.

Główne czynniki wpływające na nośność i stateczność regałów wysokiego składowania

Elastyczność systemów regałów

Jedną z największych zalet stalowych regałów wysokiego składowania jest ich elastyczność. Powoduje ona jednak, iż projektując je, trzeba brać pod uwagę wiele zmiennych parametrów. W trakcie użytkowania regałów często zmienia się rodzaj magazynowanych towarów, a co za tym idzie, ich ciężar i sposób przechowywania. Metody zapakowania składowanych dóbr, takie jak palety, skrzynie, kartony czy kosze, wpływają na sposób, w jaki siły są przekazywane na rygle. Duży wpływ ma również rozłożenie belek, które jest zmiennie w trakcie użytkowania obiektu. Rygle nie powinny być zbyt

ciężkie, a ich sposób montażu i demontażu łatwy oraz szybki. Prostota konfiguracji systemu regałów i jak największa ich elastyczność jest szczególnie ważna z punktu widzenia użytkowników.

Bezpieczeństwo użytkowania regałów

Podczas użytkowania elementy regałów mogą ulegać uszkodzeniom spowodowanym niewłaściwą eksploatacją. Zdarzają się kolizje z wózkami widłowymi, które potrafią być tragiczne w skutkach. Należy również mieć na uwadze, że pomiędzy regałami swoją pracę wykonuje obsługa magazynów, a czasem także przemierzają się klienci sklepów, gdyż w ostatnich latach regały wysokiego składowania można coraz częściej spotkać w sklepach wielkopowierzchniowych.

Obciążenia regałów

Oprócz obciążeń wywołanych przez ciężar przechowywanych towarów nie można zapomnieć o tych, które są spowodowane załadunkiem, przekładaniem i opróżnianiem regałów oraz o obciążeniach wywołanych przez maszyny i obsługę.

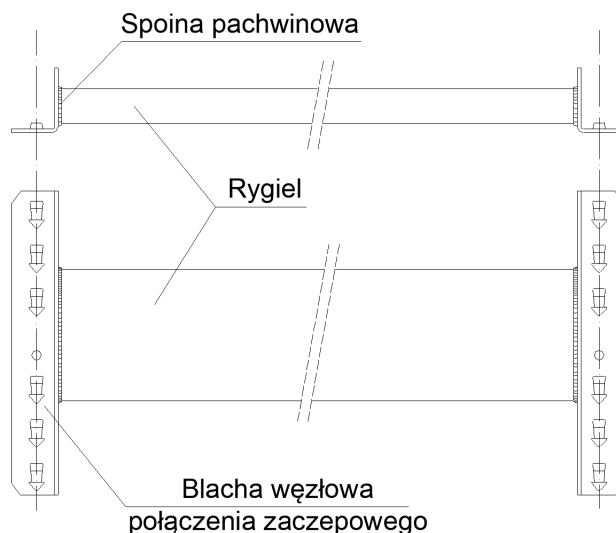
Ekonomiczność systemów regałów

Równie ważnym zagadnieniem jest ekonomiczność regałów wysokiego składowania, na którą oczywiście duży wpływ ma ich elastyczność. Można jednak łatwo założyć, że użytkownicy częściej niż łatwością montażu i demontażu całych systemów kierują się ceną.

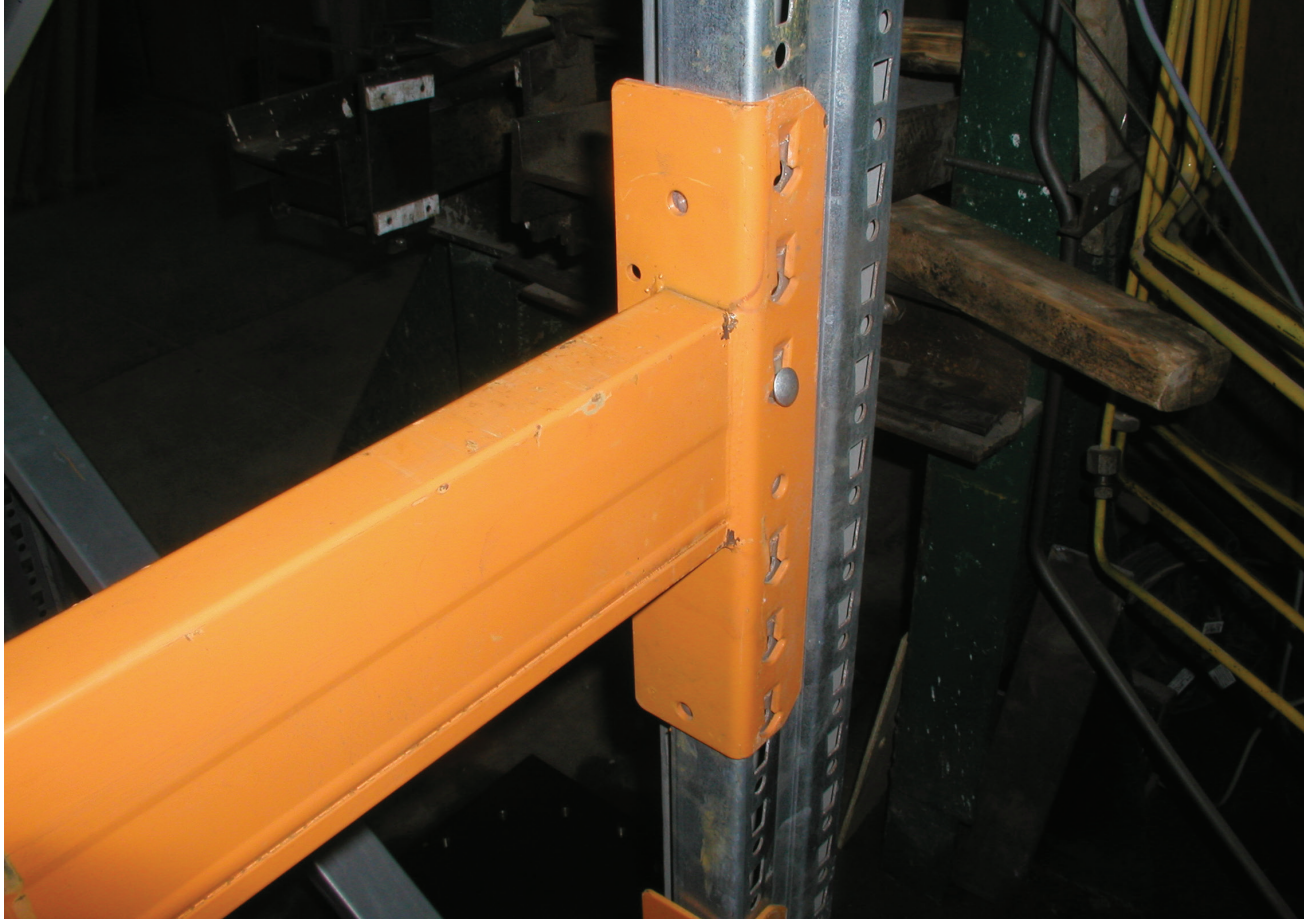
Trudności występujące podczas projektowania regałów wysokiego składowania

Elementy regałów mają przekroje cienkościennie, które dodatkowo w przypadku słupów są perforowane (rys. 4.). Same konstrukcje mają bardzo małe ciężary własne, natomiast ciężary magazynowanych na nich dóbr są stosunkowo duże, ładunki pojedynczych palet mogą mieć wagę nawet do 1500 kg. Powyższe czynniki oraz mała sztywność systemów niestężonych w kierunku wzdłuż drogi transportowej i zachowanie podatnych węzłów słup-rygiel powodują, że model pracy całego systemu jest trudny do przewidzenia. Niezbędne jest więc wykonanie badań laboratoryjnych poszczególnych elementów, aby poznać specyfikę ich pracy. Ponadto nie sposób analizować pracy całych systemów regałów bez przeprowadzenia badań zginania zaczepów belek nośnych (fot. 1.) w celu określenia momentu niszczącego oraz sztywności połączeń.

Norma [1] w przypadku słupów perforowanych przewiduje trzy wymienne procedury



Rys. 4. Przykładowy przekrój słupa regałów magazynowych



Fot. 1. Przykładowe rozwiązanie połączenia słup–rygiel

ich projektowania. Pierwsza z nich jest oparta całkowicie na badaniach, które pozwalają określać stateczności słupów. Druga jest nazywana całkowicie teoretyczną, wymaga jednak, aby uwzględnienia imperfekcji zwalidować przez badania. Trzecia jest oparta na doświadczalnym wyznaczeniu efektywnego pola przekroju i wymaga przeprowadzania badań, ale znacznie mniejszych oraz mniej kosztownych niż pierwsza.

Omawiając kwestię projektowania regałów wysokiego składowania, warto wspomnieć o przyczynach ich awarii, czyli kolizjach z wózkami widłowymi, spowodowanych przez nieuwagę obsługi magazynów. Europejska Federacja Składowania FEM jest zdania, że projektowanie regałów odpornych na uderzenia wózków znacznie wpływa na koszty całych systemów. Zamiast tego wprowadzono więc wytyczne dotyczące eksploatacji regałów i pracy w ich otoczeniu. Często spotykane są oddzielnie montowane przed słupami zabezpieczenia, które mają przyjmować na siebie energię uderzeń.

Wnioski

Proces projektowania regałów wysokiego składowania różni się od projektowania standardowego opisanego w Eurokodzie 3 [3] i [4], a badania wytrzymałościowe są jego nieodzowną częścią. Stworzenie w pełni elastycznego systemu magazynowania wymaga od projektantów nie tylko wykonania szeregu badań, ale też modeli w programach obliczeniowych.

Można uznać, iż proces projektowania regałów jest wyjątkowo żmudny i kosztowny, należy jednak pamiętać, że nie mówimy tu o pojedynczym obiekcie. Znacznie większy wpływ na ekonomiczność rozwiązania mają odpowiednio dobrane przekroje elementów, które pozwalają na wiele konfiguracji regałów przy możliwie najmniejszym zużyciu stali. Dobrze zaprojektowane systemy regałów wysokiego składowania dzięki swojej elastyczności mogą być powielane i sprzedawane w tysiącach egzemplarzy.

Literatura:

- [1] PN-EN 15512:2011 – Stalowe statyczne systemy składowania – Regały paletowe o zmiennej konfiguracji – Zasady projektowania konstrukcji, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2011.
- [2] IL-B-001:1998, Bezpieczeństwo urządzeń techniki magazynowania, Wymagania podstawowe, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 1998.
- [3] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006.
- [4] PN-EN 1993-1-3:2008 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-3: Reguły ogólne – Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2008.
- [5] Tilburgs K., 2013, Those peculiar structures in cold-formed steel: „racking & shelving”, Steel Construction 6, No. 2, DOI: 10.1002/stco.201310016.
- [6] Baldassino N., Zandonini R., 2002, Design by testing of steel storage pallet racks, Eurosteel Coimbra 2002, Cold-Formed Members and Thin-Walled Sections, 689–698.
- [7] Baldasino N., Bernuzzi C., 2000, Analysis and behavior of steel storage pallet racks, Thin-Walled Structures 37, 277–304.
- [8] Król P.A., Papadopoulos-Woźniak M., Wójt J., Badania eksperymentalne regałów magazynowych wysokiego składowania w świetle dostępnych przepisów i dokumentów normalizacyjnych, 2013, Monografia Wydziału Inżynierii Łądowej, tom III, 155–174.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.3855

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
Papadopoulos-Woźniak Magdalena, 2021, Regały magazynowe wysokiego składowania. Zasady ogólne projektowania, „Builder” 11 (292). DOI: 10.5604/01.3001.0015.3855

Streszczenie: Stalowe regały wysokiego składowania są jedną z najbardziej popularnych cienkościennych konstrukcji szkieletowych, można je spotkać w centrach magazynowych oraz w sklepach wielkopowierzchniowych. Specyfika ich pracy sprawia, że przed projektantami stoi niełatwe zadanie: muszą stworzyć konstrukcję, która będzie nie tylko bezpieczna i ekonomiczna, ale także możliwie najbardziej elastyczna podczas użytkowania. Wszystko to sprawia, że badania eksperymentalne są nierozzerwalną częścią procesu projektowego.

Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe, regały magazynowe, regały paletowe, cienkościennie elementy perforowane

Abstract: STEEL STORAGE RACKS. GENERAL RULES OF DESIGN. Steel storage racks are one of most popular frame structures, they can be found in warehouse centers and large-area stores. The specificity of their work means that the designers face a difficult task, they must create a structure that will not only be safe and economical, but also as flexible as possible during use. All this makes experimental research an integral part of the design process.

Keywords: steel structures, storage racks, pallet racks, thin-walled perforated members