

Cees J. Tilburgs*

Grupa Nedcon – Holandia

Regały dla poprawnie użytkowanych wózków (Cz. 1)

Projektowanie regałów z uwzględnieniem dynamiki wózków widłowych

Podstawą projektu konstrukcyjnego regału paletowego jest statyczne obciążenie całkowite ciężarem palet, pomnożone przez współczynnik bezpieczeństwa, wynoszący 1,5 (50% przeciążenia). Obowiązuje on w większości krajów europejskich, z wyjątkiem Francji, gdzie zaakceptowano współczynnik 1,3 (zob. tab. 1).

Regały paletowe obsługiwane są przez wózki unoszące i podnośnikowe (np. z wysuwym masztem, z widłami obrotowo – przesuwymi). W magazynach wysokoregatowych i zautomatyzowanych wykorzystuje się do tego celu układnice i suwnice słupowe. W zależności od kraju, uwzględniając dynamiczne wzajemne oddziaływanie między wózkiem a regałem, przyjmuje się do obliczeń siłę poziomą o wartości od 0 kN do maksymalnie 0,5 kN.

Oczywiście, wartość obliczeniowej poziomej siły nie odpowiada siłom, występującym podczas kolizji wózka (np. o masie 4000 kg i poruszającego się z prędkością 5 – 15 km/godz.) z regałem. **W związku z powyższym konieczne jest zapewnienie takich warunków pracy wózków między regałami paletowymi, które maksymalnie eliminowałyby możliwość wystąpienia kolizji (ryc. 1).**

Najważniejsze elementy konstrukcyjne

Ze względu na potrzebę łatwego demontażu oraz możliwość zmian położenia belek nośnych, słupy wykonane są z ciągłą perforacją. Belka jest połączona ze słupem za pomocą zaczepu hakowego (ryc. 2). Przykładowy regał pokazano na ryc. 3.

Belka nośna

W regałach paletowych stosuje się najczęściej następujące typy belek no-

śnych:

- gorącowałcowane dwuteowniki
- zimnogięte belki w postaci dwóch złączonych ceowników (ryc. 4)
- zimnogięte belki typu Sigma (ryc. 5).

Stosunkowo duża odporność na zginanie i skręcenie ma pozytywny wpływ na nośność belek pokazanych na ryc. 4 i 5. Chodzi tu o:

- stabilność giętno-skrętną profili z dwuteowników lub złożonej pary ceowników
- skręcanie pierwszego i drugiego rzędu przy profilach typu Sigma.

Producenci często wyznaczają nośność belki w sposób empiryczny (ryc. 6).

Należy tutaj zwrócić uwagę na gniazda przeznaczone do składowania trzech lub więcej palet. W sytuacji takiej warto rozważyć dodatkowe wzmocnienie w płaszczyźnie poziomej, ponieważ w przypadku błędnej manipulacji paletami, mogą pojawić się w środku lub blisko środka belki, znaczące siły poziome.

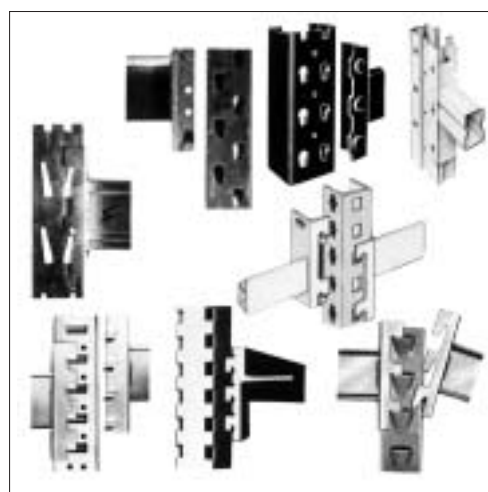
Słup

Słup regału paletowego prawie zawsze produkowany jest jako formowany na zimno profil otwarty o jednej osi symetrii (ryc. 7). Profile te stanowią warianty podstawowego kształtu „C”.

Złożony rozkład naprężeń w materiale słupa, będący wynikiem jego perforacji oraz możliwość wybożenia i podat-



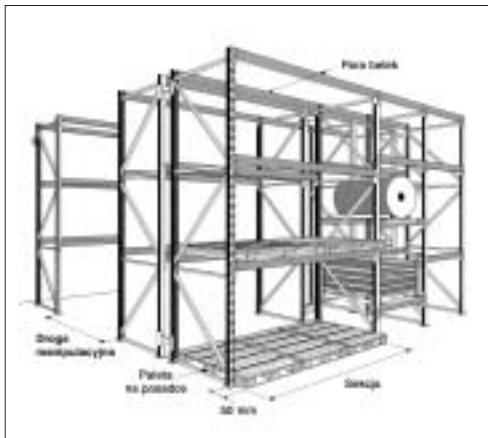
Ryc. 1. Tradycyjny regał paletowy z progiem ochronnym przed uderzeniem wózkami podnośnikowymi widłowymi w słupy regału. Próg zamocowany bezpośrednio do posadzki z pominięciem regału.



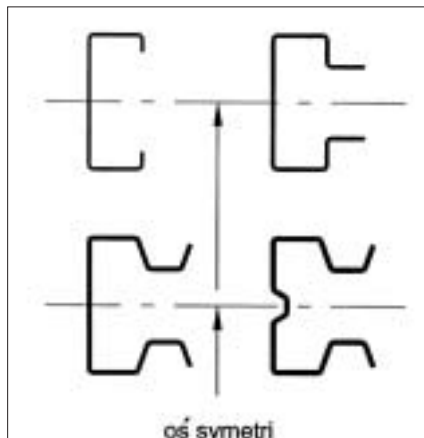
Ryc. 2. Przykłady łączenia belek ze słupami regałów

ność na deformacje powodują, że profil słupa musi być zawsze ustalony w sposób empiryczny (ryc. 8).

* Autor jest dyrektorem technicznym Grupy Nedcon, posiadającej fabryki regałów w Holandii i w Czechach oraz przedstawicielstwa handlowe w 9 krajach europejskich (m.in. Nedcon Silesia we Wrocławiu) i w Stanach Zjednoczonych; - przewodniczącym Komitetu Technicznego FEM Sekcji X - WG2 i WG3 (zajmującej się projektowaniem regałów w Europejskim Zrzeszeniu Branżowym Producentów Regałów, w ramach Federation Europeene de la Manutention); - przewodniczącym Holenderskiego Komitetu Technicznego dla Eurocode - część 1.3 (zimnogięte przekroje i blachy)



Ryc. 3. Przykładowy ramowy regał o 3 paletowym gnieździe



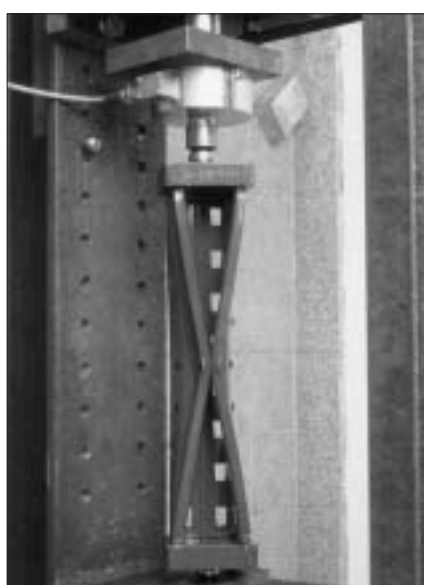
Ryc. 7. Typowe przekroje słupów regałów paletowych



Ryc. 4. Belka nośna zimnogięta CC



Ryc. 5. Belka nośna Sigma



Ryc. 8. Doświadczalne ustalenie właściwego przekroju słupa regału



Ryc. 6. Badanie wytrzymałości na zginanie pary belek. Obciążenie punktowe stosuje się dla europalet (palet skrzyniowych)



Ryc. 9. Skręcanie „otwartego” profilu słupa z jedna osią symetrii pod wpływem siły sciskającej

Monosymetria (pojedyncza oś symetrii) otwartych profili powoduje, że wpływ wybożenia giętno-skrętnego jest bardzo istotny, gdyż dochodzi do redukcji nośności o 10-20%.

Wielkość obniżenia nośności zależna jest od:

- kształtu przekroju słupa
- konfiguracji stężeń w ramie
- szczegółowego rozwiązania połączenia słupa z profilem stężącym.

Na ryc. 9 przedstawiono słup, który utracił stateczność giętno-skrętną.

Połączenie zaczepowe

Regały paletowe nie zawsze posiadają dodatkowe stężenia. Brak miejsca na stężenia oraz konieczności zapewnienia przestawialności poziomów belek powoduje niestosowanie tylnych pionowych stężeń stabilizujących oraz odpowiednich stężeń poziomych pomiędzy parami belek.

W tej sytuacji ogólna stateczność wzdłużna regału, w dużej mierze zapewniona jest jedynie przez odpowiednią sztywność hakowych połączeń zaczepowych belka-słup (ryc. 10). W ekstremalnej sytuacji, kiedy połączenie nie jest odpowiednio skonstruowane i ma właściwości przegubu, regał przy najmniejszym nawet obciążeniu może stracić stateczność wzdłużną, niezależnie od tego jak silne są słupy i belki (ryc. 11).

Obecnie na rynku jest wiele różnych systemów połączeń zaczepowych (ryc. 2). Konsekwencją takiej sytuacji jest brak uniwersalnych reguł obliczeniowych do określenia nośności tych połączeń. Sztywność węzła zaczepowego (moment oraz siła ścinająca przenoszona przez połączenie) muszą być wyznaczone w sposób empiryczny¹ (ryc. 12).

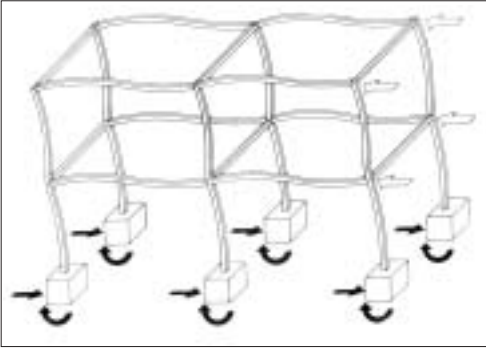
Typowe obciążenia regałów

Każda konstrukcja, a więc również regał paletowy, jest obciążona ciężarem własnym (wielkość zazwyczaj pomijalnie mała) oraz ciężarem innych, połączonych z regałem konstrukcji i/lub instalacji.

Typowe obciążenia regału paletowego to:

- A. Ciężar składowanych palet. (Za podanie do obliczenia właściwego ciężaru palety odpowiedzialny jest użytkownik. On również powinien przestrzegać tego, aby masa składowanej palety nigdy nie przekraczała podanej wartości).
- B. Siły poziome, pojawiające się przy poprawnym wkładaniu i pobieraniu palet przez wózek widłowy.

¹ Polecone przez autora pozycje literatury szczegółowo omawiające problem projektowania i badania regałów paletowych: [1], [2], [3], [4], [5], [6] i [7].



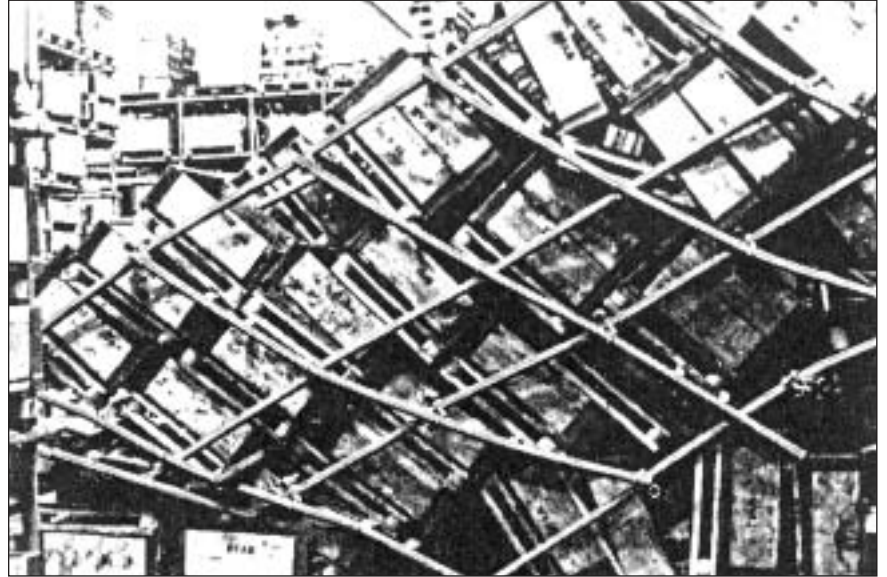
Ryc. 10. Działania ramowe niestężonego regału paletowego. Odporność na zginanie belek i słupów oraz ich wzajemne połączenia oraz kotwienie z posadzką mają duży wpływ na nośność regału

- C. Pionowe siły dynamiczne, występujące przy ustawianiu palety na belkach.
- D. Obciążenia wypadkowe, spowodowane nieuniknionymi błędami przy obsłudze wózka.
- E. Obciążenie równomiernie rozłożone oraz oddziaływanie środków transportu wewnętrznego, przekazywane z pomostów obsługowych zamocowanych do regałów (ryc. 13).

Bardzo duży wpływ na późniejszą stateczność niestężonego regału paletowego, ma przyjęta do obliczeń wartość odchylenia słupów regału od pionu. Ważne jest, aby wartość ta była co najmniej

równa lub większa od odchylenia, które będzie miało miejsce po zmontowaniu konstrukcji. Odchylenie słupa od pionu powoduje, że siła w słupie rozkłada się na dwie składowe: pionową i poziomą (ryc. 14).

Tabela 1 przedstawia przegląd typowych obciążeń, uwzględnianych przy projektowaniu regałów w krajach takich, jak: Polska, Holandia, Niemcy, Anglia



Ryc. 11. Awaria regału typu „domek z kart” mimo właściwych przekrojów słupów i belek nośnych



Ryc. 13. Przykład regału paletowego o wąskich drogach manipulacyjnych i z pomostami obsługowymi do kompletacji usytuowanymi jeden nad drugim

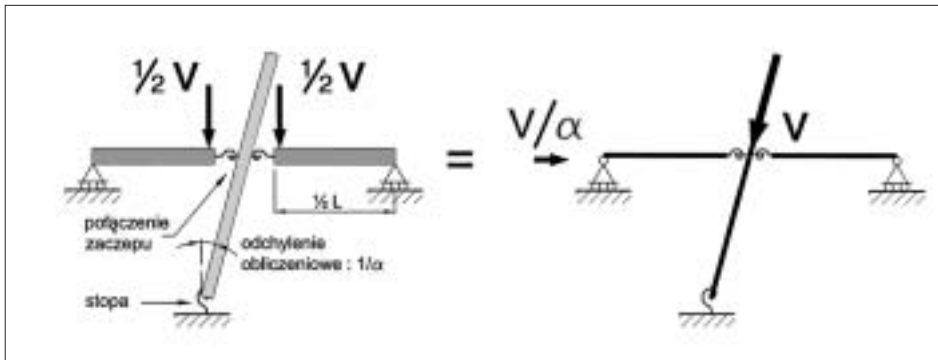


Ryc. 12. Stanowisko badawcze dla wyznaczenia sztywności węzła zaczepowego belki ze słupem

i Francja, a więc w krajach, które już od ponad 20 lat znają dyrektywę w dziedzinie regałów paletowych. Z tabeli jasno wynika, że zachodzą istotne różnice między tymi krajami. Dotyczą one także niezbędnego zapasu bezpieczeństwa między rzeczywistym obciążeniem a granicą, po przekroczeniu której regał ulegnie zniszczeniu².

Należy zwrócić uwagę na fakt, że wymienione polskie normy i dyrektywa II-B001 nie mają statusu obligatoryjnego. Założenia konstrukcyjne omówione w tabeli 1, powinny być uzgodnione w kontrakcie między producentem a użytkownikiem regału.

² Zagadnienie będzie dodatkowo omówione w cz. 2 artykułu



Ryc. 14. Odchylenie obliczeniowe np. 0,5% ($\alpha = 1/2000$) oznacza, że regał faktycznie jest obciążony pionową siłą równą sumie ciężarów palet V i siłą poziomą równą $0,05V$



Ryc. 15. Wózek ustawiony przed regałem przed włożeniem palety do gniazda regału

Oddziaływanie wózka widłowego na regał paletowy

Z tabeli 1 wynika, że europejski przemysł regałowy w bardzo małym stopniu uwzględnia wzajemne oddziaływanie wózek – regał. Podobna sytuacja istnieje również w przemyśle amerykańskim. Znamienne jest przy tym, że:

- a) nie ma parametru, który uwzględniałby dynamikę masztu wózka przy odciążeniu (wkładaniu palety) lub obciążeniu widel (pobieraniu). Zwraca uwagę fakt, że dynamika masztu (sprężynowanie masztu) nie stanowi kryterium przy projektowaniu wózków widłowych, które są przecież przeznaczone do pracy w środowisku regałów magazynowych;
- b) poziome siły przy wkładaniu palet do gniazda wahają się od 0 kN do niepełna 0,5 kN. Takie parametry dotyczą obsługi palet ważących 500-1250 kg przez wózki o ciężarze 3000-5000 kg.

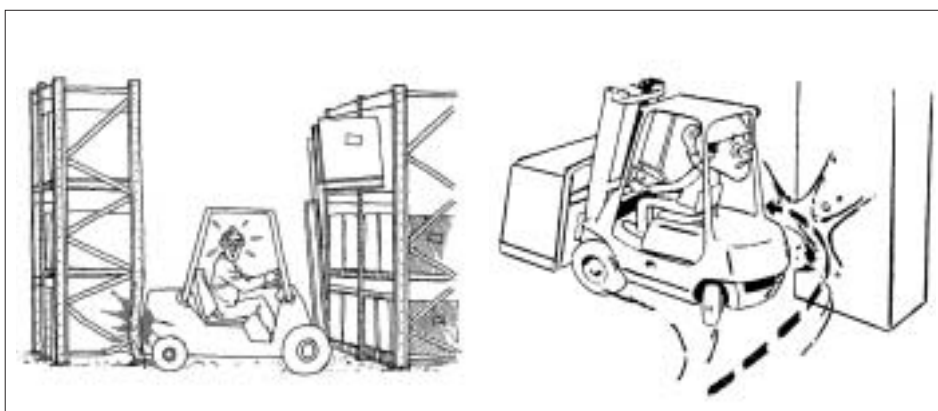
Wydaje się to być dość optymistyczne³. Temat ten został obszernie omówiony trzy lata temu w Grupie Roboczej

2 Europejskiego Zrzeszenia Branżowego Producentów Regałów – Fédération Européenne de la Manutention – Section X (FEM- Section X).

Zaproponowano wówczas zwiększenie wartości poziomej siły – przyjmowanej do projektowania regałów paletowych – z 0,5 kN (taka wartość była zawarta w propozycji FEM 10.2.02) do 1,0 kN. Jest to również wartość teoretyczna, ale z pewnością bardziej zbliżona do realiów istniejących w wielu magazynach. Propozycja ta została jednak odrzucona i ostatecznie FEM (w dokumencie 10.2.02) siłę tę obniżył do 0,25 kN dla manipulacji paletami na wysokości powyżej 6m.

Decyzję argumentowano następująco:

- A. W ponad 30-letniej praktyce użytkowania regałów paletowych zdarzały się wypadki, ale stosunkowo rzadko i jeśli już, to prawie zawsze występowały na skutek silnego uderzenia wózkiem w regał lub wskutek błędu manipulacyjnego.
- B. Operatorzy wózków widłowych powinni posiadać odpowiednie kwalifikacje. Tym bardziej, jeżeli pracują w środowisku regałów paletowych lub wjeżdżnych, co wymaga dodatkowych zdolności, związanych z ustawieniem wózka między regałami przed wstawieniem palety do gniazda i z manewrowaniem paletą (wkładanie i pobieranie).
- C. Szerokość drogi między rzędami regałowymi i wymiary gniazda muszą zapewnić wystarczającą swobodę manewrowania dla operatora wózka widłowego.
- D. Faktem jest, że przyszli użytkownicy regałów paletowych, przy omawianiu



Ryc. 16. Operator musi być przeszkolony a szerokość drogi manipulacyjnej musi gwarantować wystarczającą ilość miejsca do manewrowania. Prędkość jazdy musi gwarantować bezpieczeństwo.



Ryc. 17. Przedmioty znajdujące się na drodze manipulacyjnej mogą być źródłem wypadku

³ Zagadnienie będzie dodatkowo omówione w cz. 2 artykułu

oferty projektowej, prawie nigdy nie są zainteresowani regałem magazynowym jako produktem technicznym. A dokładniej: jakie konstrukcyjne wymogi muszą być spełnione i w jaki sposób wpływa to na stosunek ceny do jakości. Doświadczenia firmy Nedcon, jak i autora tekstu, potwierdzają niestety fakt, że klient zazwyczaj zwraca uwagę tylko na niską cenę za miejsce paletowe. W tej chwili europejski przemysł regałowy wychodzi z założenia, że użytkownik jest świadomy szkodliwego wpływu wózka widłowego na konstrukcję regału paletowego.

Sekcja X FEM zadecydowała o nieobciążaniu przyszłych użytkowników ostrzejszymi wymaganiami projektowymi, gdyż prowadziłyby to do podwyżki cen regałów. Zaakceptowano niższy poziom bezpieczeństwa w momencie wkładania i pobierania palety, opierając się na fakcie nie notowania poważniejszych wypadków w praktyce.

Kwalifikacje operatora wózka widłowego

W niektórych krajach europejskich istnieją specjalistyczne kursy dla operatorów wózków widłowych, kładące szczególnie nacisk na umiejętność manewrowania, zwłaszcza na drogach między regałami oraz na wkładanie i pobieranie palet z regału paletowego (ryc. 15) i wjeżdżnego. Ciągłe toczą się rozmowy o wprowadzeniu obowiązkowego prawa jazdy, ale jak dotąd nigdzie nie jest ono jeszcze wymagane. Pewne przepisy (np. European Council Directive 89/391/EEG on the Introduction of Measures to Encourage Improvements in the Safety and Health of Workers at Work; European Council Directive 86/663/EEC on the Approximation of the Laws of the Member States relating to the Self-propelled Industrial Trucks) mówią, kto może obsługiwać urządzenia mechaniczne. Są to osoby które:

- fizycznie są w stanie wykonać wymagane czynności w odpowiedzialny sposób;
- mają odpowiednie wykształcenie i przeszkolenie;
- są świadomi ryzyka i niebezpieczeństwa związanego z wykonywaną przez siebie pracą.

Odpowiedzialność za bezpieczeństwo pracy leży po stronie pracodawcy, co oznacza, że pracodawca ma obowiązek zapewnić odpowiednie szkolenie swoim pracownikom. Operator wóz-

ka widłowego jest odpowiedzialny za prawidłowe wykonanie poleceń służbowych. Musi postępować według następujących zasad:

1) Wózkiem widłowym należy zawsze jeździć ostrożnie, z prędkością jazdy gwarantującą bezpieczeństwo, tzn. bez kolizji i wypadków (ryc. 16).

2) Wymiary i ciężar palety wraz z ładunkiem muszą odpowiadać nośności, rozstawieniu i konfiguracji regału.

3) Palety muszą być wkładane i pobierane ostrożnie przez wykwalifikowany personel, według właściwego opisu użytkownika.

4) Palety trzeba ustawiać symetrycznie względem głębokości regału (paleta wystaje zazwyczaj 50 mm poza zewnętrzną krawędź belki) i szerokości gniazda.

5) Drogi manipulacyjne między regałami nie mogą być zastawione jakimikolwiek przedmiotami (ryc. 17).

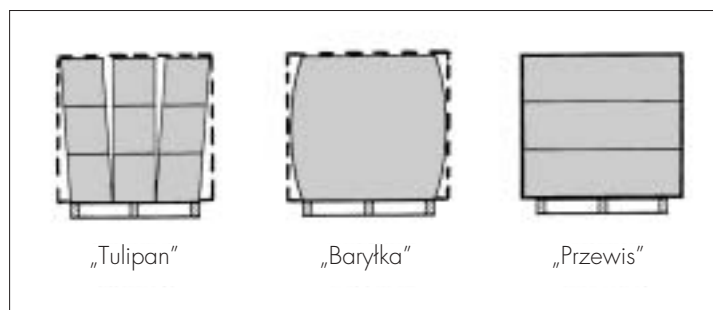
6) W razie powstania uszkodzenia regału, należy od razu powiadomić osobę odpowiedzialną za bezpieczeństwo w magazynie.

W 2001 roku pojawi się dokument FEM 10.2.04 „User's Code”, zawierający dokładny instruktaż. Oprócz tego,

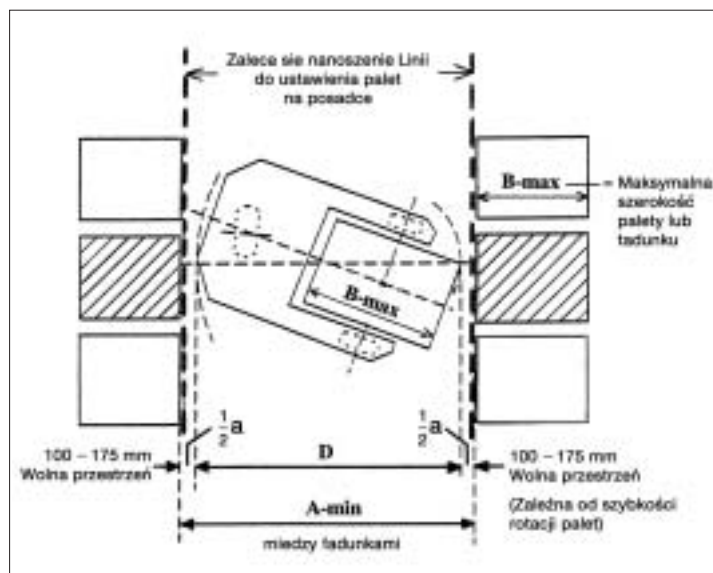
FEM Sekcja X planuje w połowie 2003r. wydać dokument FEM 10.2.05 „Bezpieczeństwo pracy wózków widł-



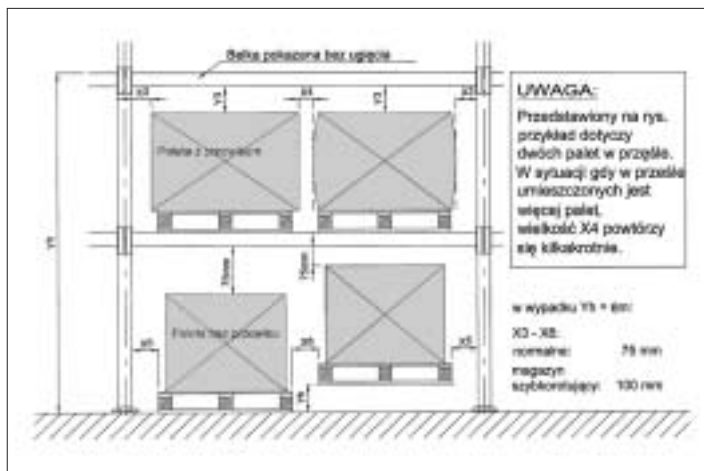
Ryc. 18. Awaria w regałowej strefie składowania



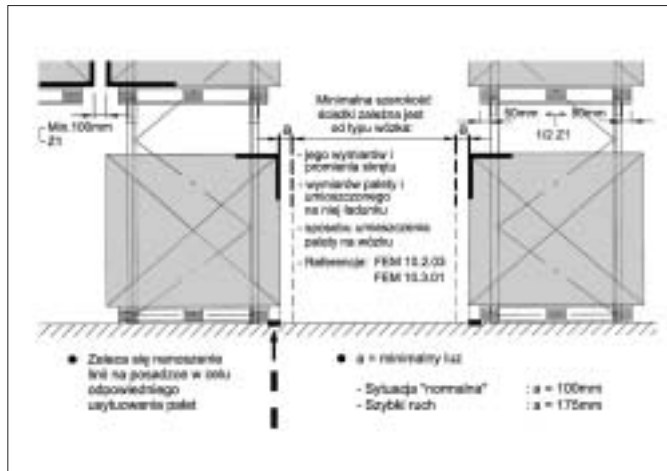
Ryc. 19. Możliwe zmiany wymiarów i kształtu paletowej jednostki ładunkowej



Ryc. 20. Promień skrętu wózka, wymiary jednostki ładunkowej i ilość ruchów przemieszczeń palet w ciągu godziny decydują o minimalnej wymaganej szerokości drogi manipulacyjnej.



Ryc. 21. Minimalne wymagane luzy bezpieczeństwa wg FEM 10.2.03 i FEM 10.3.01 w gnieździe regałowym dwupaletowym. Dla wysokości regału $Y_4=6m$ luzy x_3, x_4, x_5, x_6 dla normalnej pracy wózków wynoszą 75 mm, a dla „gorączkowej” - 100 mm. Luz Y_3 wynosi 100 mm



Ryc. 22. Minimalne wymagane luzy bezpieczeństwa wg FEM 10.2.03 i FEM 10.3.01 na drodze manipulacyjnej. $a = 100$ mm przy normalnej pracy wózka i 175 mm dla pracy z dużą prędkością. Luz bezpieczeństwa „w plecach” $ZL = \min 100$ mm

wych obsługujących regały magazynowe”. Właściwy sposób użytkowania regałów zazwyczaj nie jest zależny od ich producenta.

Ze względu na aktualność tematu, wyprzedzając wymienione publikacje, wkrótce ukaże się specjalna broszura firmy „Nedcon”.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że negatywnym efektem wzrostu gospodarki w wielu krajach europejskich, jest brak w niektórych dziedzinach odpowiednio wykwalifikowanych pracowników. Dotyczy to między innymi operatorów wózków widłowych. Może

być to wyjaśnieniem faktu, że w ciągu ostatnich 2 lat zdarzyło się więcej poważnych wypadków przy użytkowaniu regałów paletowych i wjezdnych niż przez poprzednich 15 lat (ryc. 18).

Właściwe miejsce manewrowania

Oczywiście, nawet wykwalifikowany operator wózka widłowego będzie miał problemy z ustawieniem i pobieraniem palety w odpowiedni sposób, jeżeli nie będzie miał wystarczająco dużego pola manewru. Problemy mogą stwarzać:

- wąskie drogi między regałami
- zbyt ciasne gniazda
- niewystarczająca odległość między regałami (między „plecami”) w przypadku regałów dwurzędowych.

O tym ważnym aspekcie należy pomyśleć we wstępnej fazie projektowania magazynu, a mianowicie przy określaniu:

- potrzebnej objętości magazynu
- siatki słupów budynku, w zależności

do pożądanego bloku regałowego.

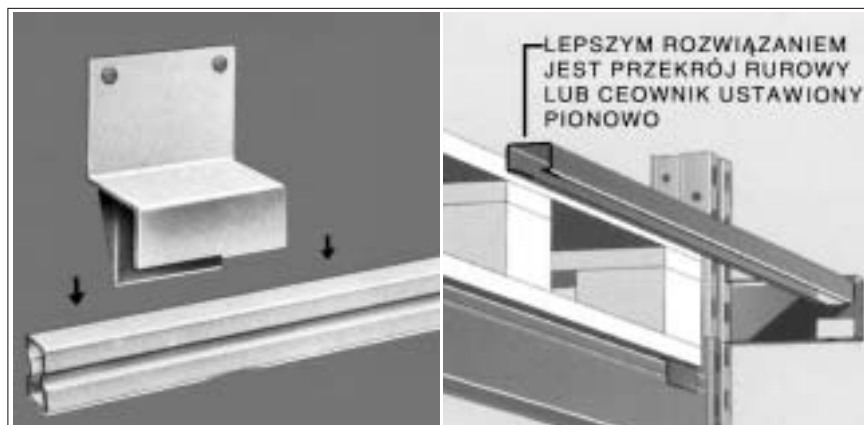
Należy przy tym zdać sobie sprawę, że budynki są budowane z pewną tolerancją.

Już na etapie projektowania, należy wziąć pod uwagę następujące pytania:

- a) Jakie są przewidywane maksymalne wymiary palet wraz z ładunkiem, łącznie z możliwą niedokładnością i przewisem (ryc. 19)?
- b) Jak wysoko trzeba będzie podnosić palety?
- c) Jaki promień skrętu mają wózki, które zamierza się kupić (ryc. 20)?
- d) Czy kompletowanie będzie miało miejsce również na drogach? Jakie są wymagania w zakresie manewrowania wózkiem do kompletowania? Zagrożenie kolizją wzrasta przy długich wózkach (np. z przedłużonymi widłami dla 2 palet), z doczepianymi wózkami.
- e) Jaka jest zakładana szybkość rotacji:



Ryc. 23. Przeprowadzone w Holandii badania wykazały, że w większości magazynów występują awarie i wypadki obniżające ich pojemność o 40÷50%. Zalecono stosowanie współczynnika „użytkowania”



Ryc. 24. Przykłady zabezpieczenia antyprzesuwne

Tab. 1. Specyficzne obciążenia regałów paletowych i współczynniki bezpieczeństwa (współczynnik materiałowy \times współczynnik obciążenia = $\gamma_M \times \gamma_f$) określone przez różne normy europejskie i dyrektywy przemysłowe¹).

Kraj	Qp ciężar palety	Hpl Pozioma siła przy składowaniu	Pionowy współczynnik uderzeń (minimalnie 2 palety w gnieździe)	Hacc ²⁾ (na wysokości x [m] nad posadzką)	Obliczeniowe odchyłki przy: - ilości poziomów 4 - wysokości 8m - sekcji 10	$\gamma_M \times \gamma_f$
Polska; M-78321 + B-02004 + B-03200	Do ustalenia i na odpowiedzialność użytkownika	Zależne od sposobu użytkowania	-	10kN (nośność wózka do 1000kg) 20kN (nośność wózka 1000-2000kg) x=? ³⁾	-	• 1.15x? = (Metoda stanów granicznych ⁴⁾) • k=2.0 (Metoda uproszczona)
Polska; IL-B001 + B-03200 + PN ENV/1993-1-1 (Eurocode3)		0.35kN	-	- ³⁾	1/385	1.15x1.2=1.38 (Metoda stanów granicznych ⁴⁾) k=2.0 (Metoda uproszczona)
Europa; FEM 10.2.02		-	-	-	-	?x? = -1,55
Anglia; SEMA Code		0,5 kN (<3m) 0,25 kN (>6m)	1.0	Równoległe do drogi: 1,25kN Prostopadłe do drogi: 2,5 kN x=0,5m	1/500	belki: 1,0x1,4=1,4 słupy: 1,1x1,4=1,54
Francja Simma Code		≈0.15 kN	-	-	1/200	?x? = 1.33
Holandia NEN 5052		0.5 kN	1.0	zobacz Europa	1/136 (Montaż: maks.1/350)	1,0x1,5=1,5
Niemcy; RAL RG 614 + DIN 18800		0.35 kN	-	-	1/385 (Montaż: maks.1/350)	

Uwagi:
1. Wymienione powyżej normy (polskie, jak i europejskie) i dyrektywy przemysłowe, nie są obligatoryjne w Polsce. Założenia konstrukcyjne tego typu należy ustalać w kontrakcie. (Zob. także cz. 2 artykułu).
2. Hacc = wypadkowe dodatkowe obciążenie, tzn. obciążenie nie występujące przy codziennym użytkowaniu (współczynnik obciążenia wynosi $\gamma=1.0$).
3. Uderzenia powodowane wózkami widłowymi są wykluczone przez zastosowanie wolnostojących, przymocowanych do posadzki ochron. Wymagania konstrukcyjne ochron nie są określone.
4. Metoda stanów granicznych: obliczenie obciążenia regału przy uwzględnieniu imperfekcji i tzw. efektów drugiego rzędu. Metoda uproszczona: ustalenie nośności regału metodą doświadczalną, bez uwzględnienia właściwości konstrukcyjnych i materiałowych regału.

„normalna” czy „stosunkowo wysoka”? To również decyduje o wymaganych bezpiecznych odległościach. Odległość bezpieczna to wymagana minimalna odległość między elementami regału (słupy, belki) lub składowanymi paletami a elementami ruchomymi (np. wózek widłowy i paleta na widłach). Jest to odległość, która zapewnia bezpieczne manewrowanie.

f) Czy zakłada się składowanie 2, 3 lub więcej palet w gnieździe? Trzeba zwrócić uwagę, że również to ma wpływ na wielkość obciążenia skupionego, przekazywanego ze słupa na posadzkę, która musi być tak zaprojektowana, aby obciążenie to przenieść.

Oprócz holenderskiej normy NEN 5051, autor tego artykułu nie zna żadnej normy lub dyrektywy, która określałaby bezpieczną szerokość gniazda regału paletowego i odległości „w plecach” regału, w zależności do wykorzystywanego wózka widłowego. Dopiero z ukazaniem się FEM 10.2.03-„Specificer's Code” pod koniec 1999r., niektóre zagadnienia zostały ustalone przez europejską branżę regałową (ryc. 21 i 22).

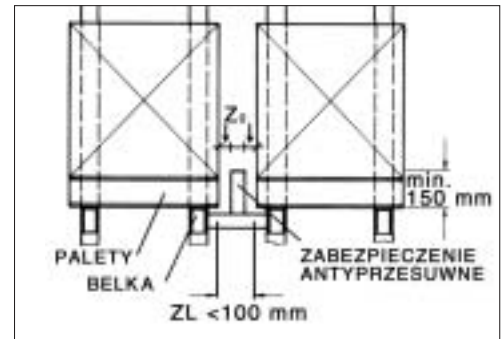
Do określenia minimalnej, niezbędnej szerokości drogi netto (to znaczy między paletami leżącymi na posadzce po obu stronach drogi, bez uwzględniania odchył w pozycjonowaniu palet), może nam posłużyć niemiecka VDI 2199: „Empfehlungen für bauliche Planungen beim Einsatz von Flurförderzeugen”, 1986 r.. Jest tu określony zapas bezpieczeństwa $1/2a = 50$ mm, z zaleceniem zwiększenia odpowiednio tej wartości, w przypadku gdy palety ustawione są powyżej 5,5m (ryc. 20).

VDI 2198, „Typenblätter für Flurförderzeuge”, 1994 r. zaleca: $1/2a = 100$ mm.

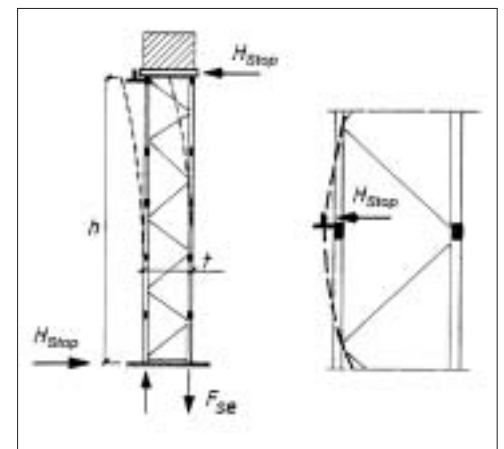
FEM 10.2.03, 1999 r. rozróżnia ponadto wartość zapasu bezpieczeństwa ze względu na prędkość pracy wózka widłowego:

- „normalna”, $1/2a = 100$ mm
- „gorączkowa”, $1/2a = 175$ mm.

Niestety, w praktyce projektant rozwiązań logistycznych często za późno lub w ogóle nie jest zaangażowany w pro-



Ryc. 25. Ograniczenie przesuwu palety zgodnie z niemieckim dokumentem 2H1/428. Przy ZL mniejszym niż 100 mm Z_o nie będzie większe niż 25÷30 mm. Taka odległość utrudnia operatorom właściwe ustawienie palety i w rezultacie wzrasta siła H_{stop} (zob. ryc. 26)



Ryc. 26. Projektowanie ramy regału uwzględniając realne siły H_{stop} rzędu 2,5÷7,5 kN powoduje zwiększenie wymiarów przekrojów układu konstrukcyjnego

jektowanie budynku magazynowego. W efekcie, aby nie stracić pojemności magazynowania, akceptuje się za wąskie drogi, za ciasne gniazda paletowe, za małe odległości „w plecach” regałów dwurzędowych. Skutki takich decyzji pokazuje ryc. 23.

Ograniczenie przesuwu palety w gnieździe regału

Zdarza się, że w zapytaniu ofertowym klient wyspecyfikuje ograniczenie przesuwu

Tab. 2. Możliwe współczynniki związane z niewłaściwym użytkowaniem: $\gamma = \gamma_{\text{uzytkowanie}} \times \gamma_M \times \gamma_f$

Sposób użytkowania	γ użytkowanie
Magazyn automatyczny z układnicami	1.0
Magazyn z wąskimi drogami	1.1
„Spokojny” magazyn z wózkami widłowymi	1.1
„Normalny” magazyn z wózkami widłowymi	1.2
„Gorączkowy” magazyn z wózkami widłowymi	1.5

wu palety w regale paletowym, obsługiwanym przez wózek widłowy (ryc. 24). Ograniczenia takie (niem. „Durchschubsicherungen”) są bowiem w pewnych przypadkach wymagane przez niemiecki ZH 1/428 („Richtlinien für Lagereinrichtungen und Geräte”). Konieczność taką tłumaczy się następująco: przy za małym odstępnie „w plecach” regału w rzędach podwójnych (mniej niż 100 mm), wkładając paletę zbyt głęboko w gniazdo, można zepchnąć paletę znajdującą się z drugiej strony konstrukcji regałowej (ryc. 25).

Jeszcze dziesięć lat temu pytano organizację „Verband für Lagertechnik und Betriebseinrichtungen”, jakie siły poziome należy uwzględnić przy projektowaniu regałów (ryc. 26). Można się spodziewać, że w praktyce operator wózka widłowego wjeżdża po prostu do regału lub tak daleko wysuwa widły, aż wyraźnie „poczuje”, że paleta zatrzyma się o zabezpieczenie. Prowadzi to do niewłaściwego użytkownika, związane z pojawieniem się stosunkowo dużych sił poziomych. Niemieccy specjaliści odpowiedzieli wówczas, że nie jest konieczne uwzględnienie większych sił, ponad to, co standardowo wymagane, czyli 0,35 kN (zob. tab. 1).

Obecnie pogląd na tę sprawę wyraźnie się zmienił. Dowodzi tego stanowisko FEM Sekcji X oraz Europejskiego Zrzeszenia Branżowego Dostawców Regałów, opisane w publikacjach FEM 10.2.01 (1998 r.) i FEM 10.2.03 (1999 r.). Można je podsumować następująco:

1. Stosowanie ograniczeń przesuwu palet jest mocno odradzane. Prowadzi to bowiem do sytuacji, w których na regał wywierane są duże siły.
2. Bezpieczne włożenie palety do regału, bez ryzyka wypchnięcia z gniazda palety leżącej głębiej jest możliwe.
Należy jednak zwrócić uwagę czy:
 - a) wymagana bezpieczna odległość między „plecami” regałów jest przestrzegana;
 - b) bezpieczna odległość odpowiada przewisowi palety poza parę belek przy symetrycznym włożeniu względem belek (zaleca się 50mm – ryc. 22);
 - c) paleta jest tak wkładana, ażeby operator wózka zawsze widział chociaż małą część drewnianej palety.
3. Jeżeli jednak użytkownik życzy sobie zastosowanie ograniczeń przesuwu, powinien też określić siłę projektową tego zabezpieczenia. Tylko on ma bowiem wpływ na rzeczywisty sposób obsługi regałów. Dokument FEM 10.2.02 określa przy tym, że siła ta nigdy nie może być mniejsza niż 25% zakładanego ciężaru palety, przykładowo 2,5 kN przy maksymalnym ciężarze palety wynoszącym 1000 kg. Uwzględnienie tej siły poziomej w obliczeniach ma duże konsekwencje dla ramy regałowej, kotwienia regałów oraz wykonania ograniczenia przesuwu.

LITERATURA

1. Möll, dr ing. R., „Palettenregale mit Hakenlaschenverbindungen ohne Langsverbände als Baukastensystem”, der

Stahlbau Heft 8 – August 1975, Heft 7 – Juli 1976.

2. Stark, ir. J. W. B., Tilburgs, ir. C. J., „Frame instability of unbraced pallet racks”, international conference on thin – walled structures – University of Strathclyde uk, april 1979.
3. Möll, dr ing. R., Rossbach, dipl. – ing. R., „Entwicklung auf dem Gebiet der Lagertechnik, neueste Erkenntnisse aufgezeigt am Beispiel des Palettenregals”, Fachhandbuch Verband für Lagertechnik und Betriebseinrichtungen (Hagen – Deutschland), 1991.
4. Davies, prof. J. J. M., „Down – Aisle stability of rack structures”, conference on cold – formed steel structures, University of Missouri – Rolla, USA, 1992.
5. Tilburgs, ir. C. J., „Vom Gerüst zur Regalkonstruktion – letzte Entwicklungen auf dem Fachgebiet Regalbau”, Fördern und Heben, Teil I – März 1995, Teil II – April 1995.
6. Dawies, prof. J. J. M., Godley, dr m. H. R., „A european design code for pallet racking”, 14 Conference on cold – formed steel structures University of Missouri – Rolla, USA, 1998.
7. Baldassino, prof. N., Bernuzzi, prof. C., „Analysis and behaviour of steel storage pallet racks”, Report no. 12, University of Trento – Italy, 1999.
8. PN – 88/M-78321. „Regały magazynowe wolnostojące. Wymagania i badania”.
9. PN-82/B-02004, „Obciążenie wywołane uderzeniami pojazdów mechanicznych”.
10. PN-80/B03200, „Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie”.

Przetłumaczył z języka holenderskiego: Ruben Nooitgedagt – Nedcon Silesia z Wrocławia