

Stanisław Sieluk¹⁾

„STATIC” s.c. Usługi inżynierskie

Krajowe a europejskie wytyczne dotyczące wymiarowania regałów (Cz. 3) - w aspekcie bezpieczeństwa ich użytkowania

Artykuł jako całość przewidziany był przez autora do opublikowania w dwóch częściach. Część 1 umieszczona została w „Logistyce” 6/2001. W numerze 1/2002 miała zostać opublikowana część 2. Nie z winy i bez wiedzy autora, w numerze 1/2002 umieszczono tylko część wcześniej planowanej części drugiej, co spowodowało, że wstęp do niej stał się częściowo nieaktualny. Ponadto nie wynikało z jej treści, że będzie ciąg dalszy w postaci części 3. Mogło to spowodować pewną dezorientację u Czytelników, za co redakcja serdecznie przeprasza.

W części 1 i 2 artykułu („Logistyka” 6/2001 i 1/2002) porównano krajowe wytyczne (IL-B-001 oparte na normie PN-90/B-03200) z wytycznymi europejskimi (FEM 10.2.02) w zakresie stateczności słupów przy osiowym ściskaniu oraz przy ściskaniu z jednoczesnym zginaniem oraz omówiono inne bardzo istotne dla bezpieczeństwa kwestie takie jak obliczeniowy kat pochylenia regału, sposób badania luzów w złączu zaczepowym, czy wpływ uwzględnienia tych luzów w analizie stateczności na jej wynik. W trzeciej części autor omawia również w konwencji porównawczej dalsze zagadnienia mające wpływ na wyężenie konstrukcji regałów tj.: sztywność złącza zaczepowego, charakterystyczne cechy najczęściej spotykanych stanowisk do jej badań, współczynnik dynamiczny oraz wpływ luzów w złączu zaczepowym na obciążenie belki rygla i jego zaczepu.

O nośności regału może decydować również rygiel

Nośność regału nie koniecznie musi wynikać ze stateczności. Bardzo często decydują o niej elementy rygla -zaczep i belka.

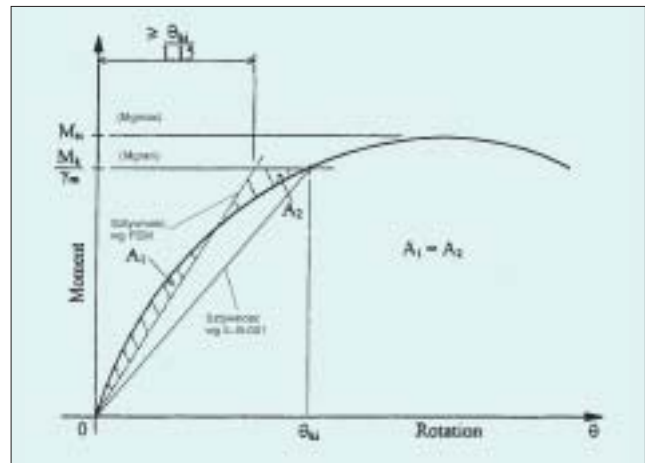
Rozpatrywane zalecenia różnią się od siebie w niewielkim stopniu sposobem określania momentu granicznego w za-

czepie oraz dość wyraźnie sposobem liniaryzacji jego nieliniowej charakterystyki dla wyznaczenia sztywności zastępczej. Różnicę tę przedstawia rys. 16. Widać, że wg propozycji FEM sztywność może być większa od wyznaczonej wg wytycznych IL-B-001 o około 15%.

Ponieważ zwiększenie sztywności pociąga za sobą zmniejszenie momentów II rzędu w węźle słup – zaczep, przy jednoczesnym zwiększeniu momentu pochodzącego od obciążenia ładunkiem spoczywającym na ryglu, to dla realnych parametrów regału i jego elementów sumaryczny wpływ tej sztywności na nośność może być niewielki. Jego intensywność zależy między innymi od sztywności całkowitej konstrukcji, udziału w niej zarówno sztywności zaczepu jak i belki rygla, geometrii regału itp.

Przeprowadzona specjalnie dla potrzeb tego artykułu analiza typowego regału paletowego (produkowanego przez jedną z poznańskich firm) o podstawowych parametrach:

- wysokość – 8000 mm
- liczba poziomów składowania – 4
- liczba jednostek ładunkowych w gnieździe – 3



Rys. 16. Schemat wyznaczania sztywności zaczepu wg IL-B-001 i FEM. Źródło: [10]

- liczba kolumn – 10
- pokazała, że zwiększenie sztywności zaczepu o 15% powoduje:
- zwiększenie nośności gniazda wynikającej z wytrzymałości belki rygla o ok. 2,7%
 - zwiększenie nośności gniazda wynikającej z dopuszczalnego ugięcia belki rygla ($\frac{1}{200}$ jej długości) o ok. 3,4%
 - zwiększenie nośności gniazda wynikającej ze stateczności słupa przy ści-



Rys. 17. Stanowisko do badań zaczepu – mierzony kąt obrotu nie zawiera w sobie zarówno lokalnych jak i globalnych odkształceń słupa. Źródło: [11]

1) Autor jest byłym pracownikiem Instytutu Logistyki i Magazynowania (kierownik Zakładu Konstrukcji Urządzeń Magazynowych), a obecnie właścicielem firmy „STATIC” s. c. Usługi inżynierskie, specjalizującej się w przeprowadzaniu analiz nośności wszelkiego rodzaju regałów zarówno nowo projektowanych jak i już eksploatowanych, wymagających określenia nośności. (e-mail: statics@poczta.onet.pl)

skaniu ze zginaniem o ok. 2%

- **zmniejszenie** nośności gniazda wynikającej z granicznej nośności zaczepu o ok. 1,5%.

Powyższe upoważnia do stwierdzenia, że zwiększenie sztywności zaczepu o 15% powoduje pomijalnie małe skutki (przy realistycznych parametrach regału i jego elementów). Przyjęta zatem metoda nie ma istotnego wpływu na wynik analizy stanu granicznej nośności.

Należy jednak zauważyć, że przyjęcie mniejszej sztywności zapewnia większą rezerwę nośności regału w przypadku, kiedy o niej decyduje (nie omawiamy tu z braku miejsca) stan graniczny użytkownika w postaci dopuszczalnego przemieszczenia poziomego konstrukcji. Z tego względu można uznać metodę proponowaną przez przepis krajowy, jako bezpieczniejszą.

Żeby jednak móc określić sztywność, a co równie ważne – moment graniczny zaczepu, należy sporządzić charakterystykę złącza (zależność obrotu złącza od momentu doń przyłożonego). W tym celu różne firmy budują charakterystyczne dla siebie stanowiska badawcze. Przykłady takich stanowisk przedstawiają rys. 17, 18 i 19.

Istotnym elementem w tych badaniach jest wyeliminowanie wpływu na ich wynik badań deformacji słupa i odcinka rygla, a uwzględnienie odkształceń lokalnych w rejonie zaczepu. Projektanta bowiem interesuje czysta deformacja złącza (zaczep i bezpośrednie sąsiedztwo elementów zaczepowych) w funkcji przyłożonego momentu.

Na rys. 17 przedstawiono stanowisko, na którym obrót rygla w pobliżu zaczepu jest mierzony względem ścianek (półek) profilu słupa, dzięki czemu w łącznym odkształceniu nie zawiera się jego odkształcenie lokalne. Przez to badany zaczep może mieć sztucznie zawyżoną sztywność.

Rys. 18 przedstawia zalecany przez FEM model stanowiska badawczego. Tu sytuacja jest odwrotna. Obrót rygla w pobliżu zaczepu (obróć złącza) mierzony jest względem niezależnego, stałego punktu odniesienia (statyw). Odcinek słupa traktowany jako pręt, może ulegać pewnej globalnej deformacji, która w tym przypadku sumuje się z deformacją lokalną słupa i deformacją samego zaczepu. Taka charakterystyka może mieć dla odmiany sztucznie zaniżoną sztywność.

Rys. 19 przedstawia zdjęcie unikatowego stanowiska badawczego zamontowanego

na maszynie wytrzymałościowej w Laboratorium Wytrzymałości Materiałów w Politechniki Poznańskiej. Jest ono własnością Instytutu Logistyki i Magazynowania, a współtwórcą koncepcji był dr inż. Piotr Wasilewicz, konsultant firmy „STATIC” s.c. i ILiM w zakresie komputerowych analiz nośności regałów.

Stanowisko to charakteryzuje się:

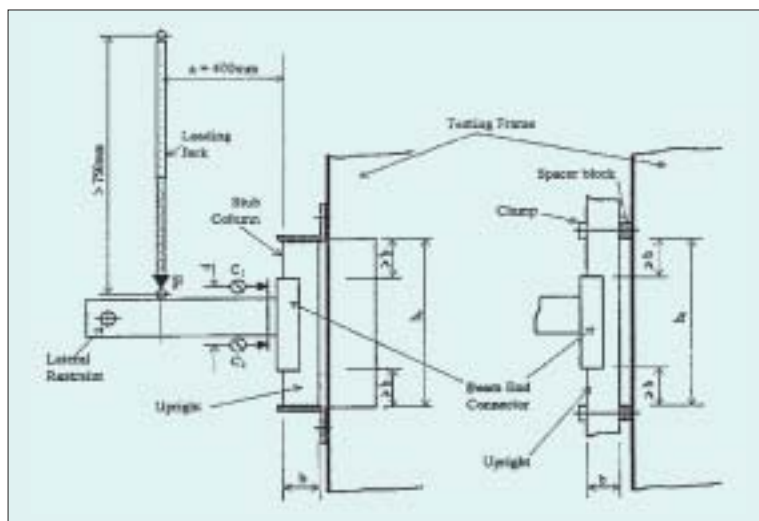
- możliwością jednoczesnego badania czterech zaczepów
- wzajemnym znoszeniem się momentów gnących przekazywanych na odcinek słupa, a tym samym wyeliminowanie jego globalnych odkształceń
- właściwym uwzględnieniem lokalnych odkształceń słupa.

Na wynik może negatywnie wpłynąć jedynie ugięcie belki rygla na odcinku 70 do 100 mm (rozstaw czujników). Z uwagi jednak na krótki odcinek i dużą sztywność przekroju, wpływ odkształcenia tego elementu jest pomijalnie mały.

Przykładową charakterystykę czterech jednakowych zaczepów zdjętą przy zastosowaniu wyżej opisanego stanowiska przedstawia rys. 20.

Poza sztywnością, wpływ na obliczeniowe obciążenie zaczepu ma współczynnik obciążenia γ_f oraz wspomniany już współczynnik dynamiczny β .

Przy założeniu dla obu porównywanych tu zaleceń jednakowego momentu granicznego w zaczepie upraszczając zagadnienie,



Rys. 18. Stanowisko do badań zaczepu – mierzony kąt zawiera w sobie globalne i lokalne odkształcenia słupa. Źródło: [10]

łączny współczynnik bezpieczeństwa można oszacować jako:

$$\gamma_c = \gamma_f + \beta'$$

gdzie jak już wspomniano w cz. 1, β' (zastępczy współczynnik dynamiczny) zależy od liczby jednostek ładunkowych w gnieździe. Wartości łącznego współczynnika bezpieczeństwa zestawiono w tab. 3.

W przypadku belki rygla, która również może decydować o nośności regału,

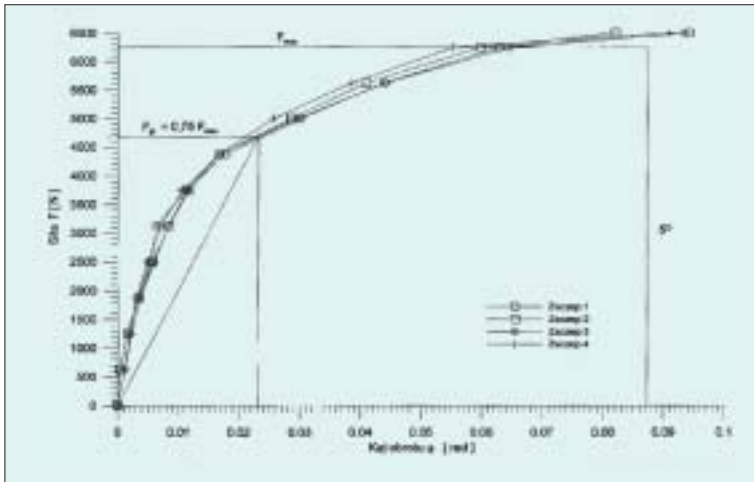
Tab. 3.

Liczba palet w gnieździe	Porównywany współczynnik bezpieczeństwa dla zaczepu / dla belki rygla	
	FEM 10.2.02	IL-B-001
1	1,75 / 1,92	1,8 / 2,07
2	1,57 / 1,73	1,5 / 1,72
3	1,51 / 1,66	1,4 / 1,61

Uwaga! Liczby tylko dla celów porównawczych



Rys. 19. Stanowisko do badań zaczepu - mierzony kąt obrotu nie zawiera w sobie globalnych odkształceń słupa lecz tylko jego deformacje lokalne.



Rys. 20. Charakterystyka zaczepów zdjęta na stanowisku ILiM. Źródło: [12]

współczynniki te otrzymano mnożąc odpowiednie współczynniki dla zaczepów przez odpowiednie dla każdego przepisu współczynniki materiałowe $\gamma_{S(M)}$.

W tab. 3 pokazano, że współczynniki są porównywalne dla liczby palet 1 i 2 ze wskazaniem na przepisy krajowe, natomiast dla trzech palet, w przypadku zaczepów, liczby te różnią się o ok. 8%, a w przypadku belek rygli są porównywalne ze wskazaniem na przepisy FEM. Dla zaczepów 8% to niewiele w porównaniu na przykład z możliwością popełnienia znacznego błędu w określeniu pochylenia początkowego, sztywności zaczepu, czy jego granicznego momentu.

Godne uwagi wydaje się właściwe modelowanie rygla przy określaniu panujących w nim momentów. Właściwe modelowanie, czyli takie, które uwzględnia wszystkie uchwytne zjawiska zwiększające margines bezpieczeństwa. Chodzi tu o ujęcie wpływu wspomnianego już luzu w złączu zaczepowym na nośność rygla z uwagi bezpośrednie zwiększenie momentu w zaczepie.

W rzeczywistości, fakt istnienia luzów w zaczepie może powodować znaczne zmniejszenie momentu podporowego po stronie przeciwnej do kierunku pochylenia regału. Konsekwencją tego jest odpowiedni przyrost momentu zarówno w belce, jak i w zaczepie po przeciwnej stronie (cz. II rys. 8 – linia przerywana).

Wielkość zwwyżki momentów jest trudna do oszacowania i wymaga głębszej analizy. W świetle poszukiwań rzetelnych czynników zwiększających do rozsądnych granic rezerwy nośności obliczeniowej w stosunku do obciążenia niszczącego wydaje się, że czynnik ten również powinien być brany pod uwagę.

Podsumowanie

Artykuł z oczywistych względów nie wyczerpuje zagadnienia właściwego podejścia do analizy nośności regałów w aspekcie bezpieczeństwa. Porusza jednak najistotniejsze kwestie związane z tym zagadnieniem, a głównie dokonuje oceny różnic w przepisach stosowanych w Polsce i w krajach Unii Europejskiej i ich wpływu na nośność obliczeniową.

Przeprowadzona ocena pokazuje, że poza wzorami do określania początkowego kąta pochylenia regału, porównywane przepisy można stosować alternatywnie lub komple-

mentarnie. Nie wykazują one bowiem znacznych różnic biorąc pod uwagę łączny wpływ czynników decydujących o nośności.

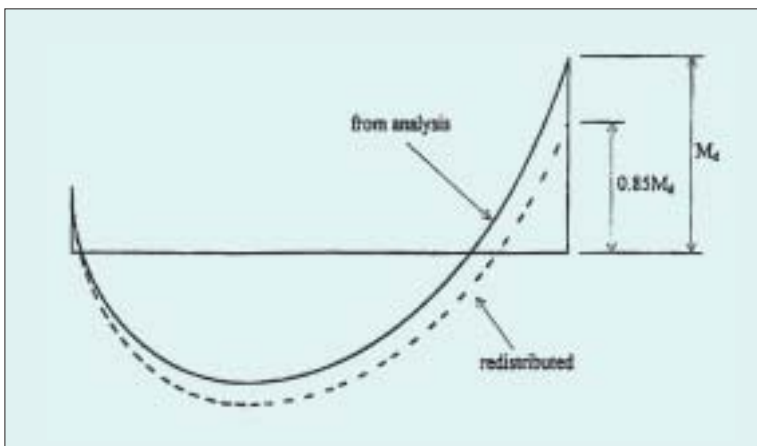
Trzeba podkreślić, że o wyniku decyduje nie tyle metoda, ale profesjonalizm i poczucie odpowiedzialności projektanta. W projektowaniu wszystkie wątpliwe przepisy powinny być interpretowane na korzyść konstrukcji. Projektant regałów winien przedkładać bezpieczeństwo obsługi magazynu i składowanego w nim towaru ponad interes ekonomiczny i konkurencyjność w rozumieniu lepszej sprzedawalności zaprojektowanego regału.

Niezależnie od zwiększania marginesu bezpieczeństwa za pomocą odpowiednio prowadzonych analiz konstrukcji zgodnie z teorią stanów granicznych, wszelkie działania w kierunku wprowadzenia dodatkowych współczynników bezpieczeństwa są słuszne [1].

Należy podkreślić, że w ostatnich latach konkurencja wymusiła na konstruktorach i naukowcach szukanie wszelkich możliwych rezerw nośności regałów. Wydaje się, że granice zostały osiągnięte i obecnie będą się pojawiać coraz częściej głosy za wprowadzeniem przepisów zmniejszających wyężenie tych konstrukcji, które zaczynają przypominać „domki z kart”.

LITERATURA

1. Tilburgs Cees J. „Regały dla poprawnie użytkowanych wózków” – „Logistyka” 1/2001 i 4/2001.
2. PN-90/B-03200 „Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie”.
3. PN-88/M-78321 „Regały magazynowe wolno stojące. Wymagania i badania”.
4. PN-82/B-02003 „Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe”.
5. PN-82/B-02004 „Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Obciążenie pojazdami”.
6. IL-B-001 „Bezpieczeństwo urządzeń techniki magazynowania. Wymagania podstawowe”. ILiM- 1998.
7. TW/13/ZL96/DS. Sieluk Stanisław – „Modelowanie informatyczne wpływu poszczególnych parametrów regału paletowego na jego nośność” – ILiM- 1996.
8. ZH 1/428 „Richtlinien für Lagereinrichtung und -geräte” 1988.
9. PN-ENV 1993-1-1/AK EUROCOD 3: „Projektowanie konstrukcji stalowych”.
10. FEM 10.2.02 „THE DESIGN OF STATIC STEEL PALLET RACKING & SHELVING” – 1998.
11. Moell R., Rossbach R. – „Einwicklung auf dem Gebiet der Lagertechnik. Neueste Erkenntnisse aufgezeigt am Beispiel des Palettenregals. Fachhandbuch Lagertechnik und Betriebseinrichtung” – kwiecień 1991.
12. Wasilewicz Piotr „Badania materiałowe i sztywności połączenia słup – zaczep rygla” P. P. Instytut Mechaniki Stosowanej. 1998 r.



Rys. 21. Schemat wyznaczania sztywności zaczepu wg IL-B-001 i FEM. Źródło: [10]