

Stanisław Sieluk<sup>1)</sup>

„STATIC” s. c. Usługi inżynierskie

## Krajowe a europejskie wytyczne dotyczące wymiarowania regałów (Cz. 2) w aspekcie bezpieczeństwa ich użytkowania

W części I artykułu („Logistyka” 6/2001) dokonano porównania krajowych wytycznych (IL-B-001 opartych 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. Porównanie przeprowadzono w aspekcie bezpieczeństwa użytkowania regałów jako najistotniejszej ich cechy. W drugiej części autor analizuje inne, bardzo istotne dla bezpieczeństwa kwestie będące przedmiotem porównywanych przepisów takie jak: obliczeniowy kat pochylenia regału, uwzględnienie w analizie luzów w złączu zaczepowym, sztywność złącza zaczepowego oraz charakterystyczne cechy najczęściej spotykanych stanowisk do badań tej sztywności.

### Obliczeniowy kat pochylenia regału

Na wielkość momentów II rzędu, decydujących w duży stopniu o obciążeniu zarówno słupa jak i zaczepu, ma między innymi wpływ początkowy, obliczeniowy kat pochylenia regału  $\Psi_0$ , co widać na schematach – rys. 5 i 6 (cz. I). Superpo-

zycję momentu II rzędu i momentu pochodzącego od pionowego obciążenia gniazda przedstawia (rys. 8). Należy zaznaczyć, że w analizie porównawczej stateczności słupa przy ściskaniu z jednoczesnym zginaniem przyjęto, iż kąt ten w obu przypadkach jest jednakowy.

W rzeczywistości jednak tak nie jest. Porównanie obu metod określania tego parametru (tab. 2) wykazuje znaczne różnice.

Widać, że przepis polski w odróżnieniu od FEM nie uwzględnia wpływu liczby kondygnacji, natomiast uwzględnia ich wysokość, czego z kolei nie czyni FEM.

Ponadto formuła zalecana przez FEM, dzięki dostosowaniu do specyfiki konstrukcji regałów uwzględnia występujące bardzo często luzy kątowe w złączu zaczepowym. W PN-90/B-03200 brak tego uzależnienia jest oczywisty (dotyczy ona budowl

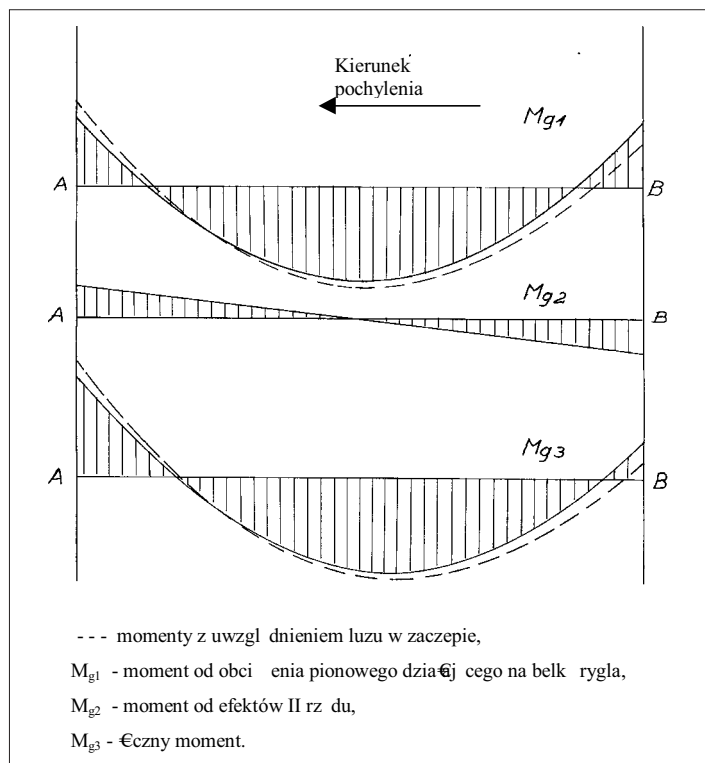
wych, w których luzy są wykluczone).

Na rys. 9 przedstawiono zależność kąta (jego odwrotności) pochylenia od liczby kolumn dla wytycznych krajowych na tle FEM-owskich, gdzie krzywe:

- I – dla PN przy wysokości regału  $h \leq 5$  m, lub traktując regał jako konstrukcję wielokondygnacyjną ( $r_1 = 1$ )<sup>3)</sup>,
- A, B, C, D i E – dla FEM, bez luzów w zaczepie, kolejno dla liczby poziomów składowania  $n_s = 6, 5, 4, 3$  i  $2$ ,
- E, F, G i H – dla FEM, przy  $n_s = 4$ , kolejno dla luzów.

$$\phi_i = \frac{1}{700}, \frac{1}{500}, \frac{1}{300}, \frac{1}{100} \text{ rad.}$$

Z wykresu wynika, że w tym konkretnym przypadku dla zerowych luzów,



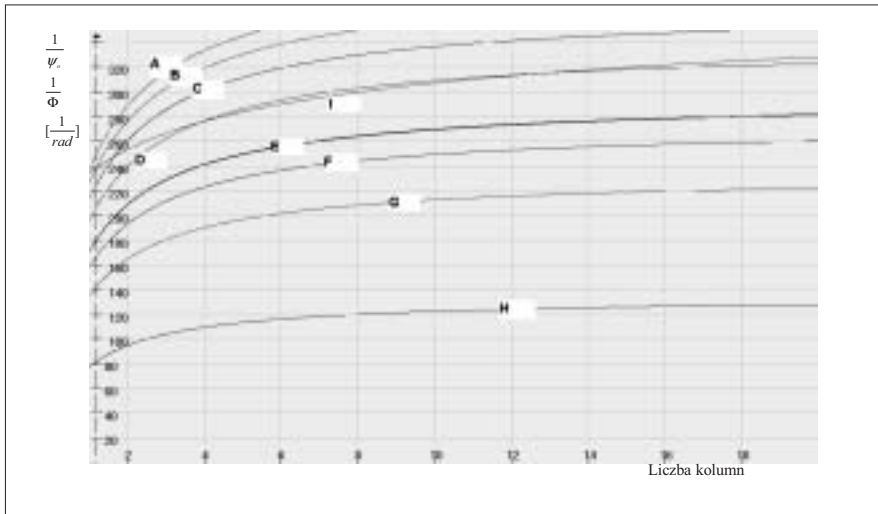
Rys. 8. Superpozycja momentów w elementach ryglu (zaczep – belka).  
 Źródło: Opracowanie własne.

PN-90/B-03200 (IL-B-001)	FEM 10.2.02
$\Psi_0 = \frac{1}{200} \cdot r_1 \cdot r_2,$	$\phi = \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{n_c}\right)} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{5} + \frac{1}{n_s}\right)} \cdot (2\phi_s + \phi_i)$
gdzie: $r_1 = \sqrt{\frac{5}{h}}$ , lecz $r_1 \leq 1$	przy czym $\phi \leq (2\phi_s + \phi_i)$ oraz $\phi \geq (\phi_s + 0.5\phi_i)$
$r_2 = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{1}{n}}\right)$	i $\phi \geq \frac{1}{500} \text{ rad.}$
h – wysokość kondygnacji w m, n – liczba słupek danej kondygnacji w rozpatrywanej przeszczepie.	gdzie: $n_c$ – liczba kolumn, $n_s$ – liczba poziomów składowania, $\phi_s$ – maksymalne, przyjęte odchylenie słupek od pionu podzielone przez wysokość, <sup>2)</sup> $\phi_i$ – pochylenie kąta luzu kątowego w zaczepie.

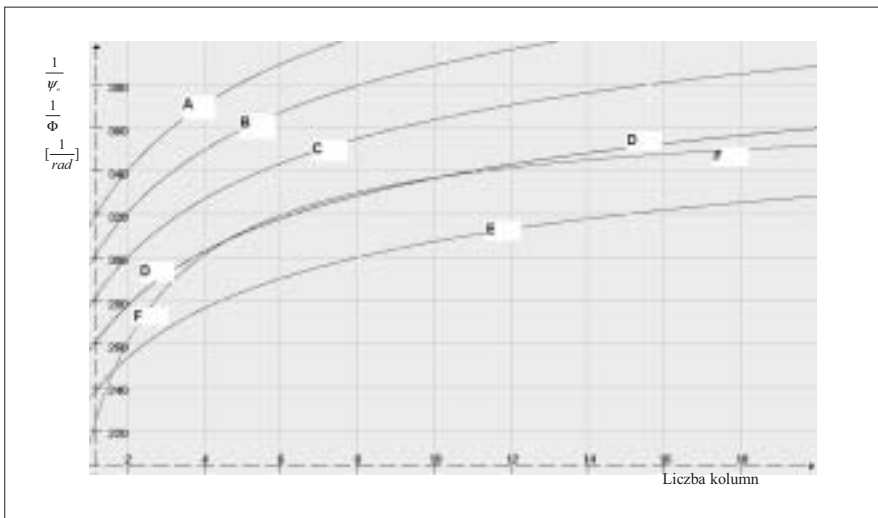
1 Autor jest byłym pracownikiem Instytutu Logistyki i Magazynowania (kierownik Zakładu Konstrukcji Urządzeń Magazynowych) a obecnie właścicielem firmy „STATIC” s. c. Usługi inżynierskie, specjalizującej się w przeprowadzaniu analiz nośności wszelkiego rodzaju regałów zarówno nowo projektowanych jak i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

2 Z interpretacji zaleceń FEM przez autora artykułu wynika, że kąt ten wynosi 1/350 rad.

3 Autor nie spotkał się w literaturze ani w przepisach z wyraźnym zaszeregowaniem regałów paletowych do jednej z grup konstrukcji (wielokondygnacyjne, bądź jednokondygnacyjne).



Rys. 9. Kąt obliczeniowego pochylenia regału a metoda jego określania (1). Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 10. Kąt obliczeniowego pochylenia regału a metoda jego określania (2). Źródło: Opracowanie własne.

uśredniając zagadnienie nieco bezpieczniej jest stosować przepis krajowy. Natomiast przy uwzględnieniu luzów, nawet tak niewielkich jak  $\frac{1}{700}$  rad, znaczną przewagę ma FEM (porównaj krzywe I i E – rys. 9).

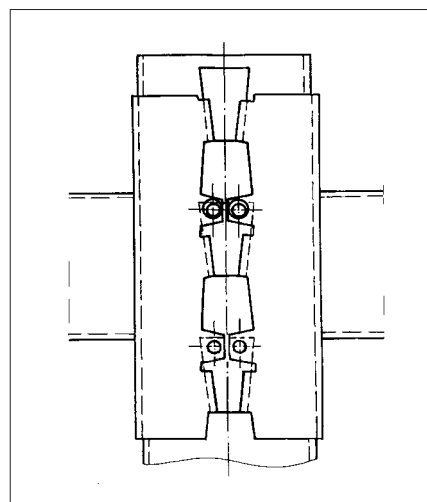
Jeżeli potraktować konstrukcję regału jako konstrukcję wielokondygnacyjną, (wysokość kondygnacji równa wysokości regału), to już przy wysokości powyżej 6 m, przepis krajowy daje mniejsze przechyły, co działa na jej niekorzyść (porównaj krzywe C i F – rys. 10).

Na wykresie (rys. 10) przedstawiono zależność kąta pochylenia regału od liczby kolumn dla przepisów FEM na tle przepisów krajowych, gdzie krzywa:

- F – dla FEM przy  $n_s = 4$ , bez luzów
- A, B, C, D, i E – dla PN, bez luzów, kolejno dla wysokości regału  $h = 9, 8, 7, 6$  i  $5$  m.

Z przeprowadzonej krótkiej analizy

wynika, że jeżeli złącze nie wykazuje luzów (co jest mało prawdopodobne) normę PN-90/B-03200 można stosować



Rys. 11. Przykład zaciskowego „hakowego” złącza zaciskowego. Źródło: Opracowanie własne

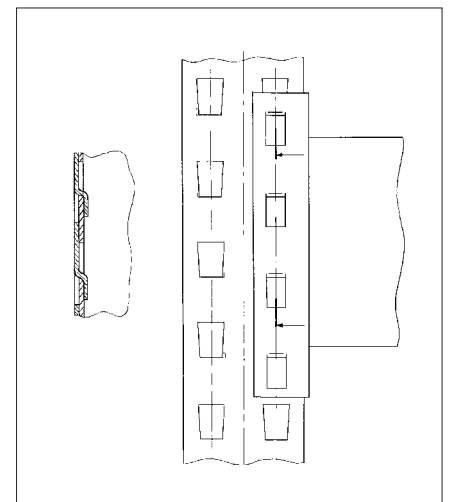
alternatywnie do przepisu FEM. Należałoby jednak przy tym traktować regał jako konstrukcję wielokondygnacyjną. Jeżeli natomiast luzy istnieją, autor proponowałby stosować w tym zakresie zalecenia FEM, lub opracować na bazie normy PN-90/B-03200 odpowiednie wzory empiryczne uwzględniające fakt istnienia tych luzów. Propozycja druga wydaje się lepsza, ponieważ niezależnie od opisanych już różnic, metodę wg FEM wyróżnia mało uzasadniony, dość intensywny przyrost kąta wraz ze spadkiem liczby kolumn w zakresie od  $n_c = 4$  do 1.

Należy zauważyć, że wg [1] (tab. 1) w różnych krajach wielkości pochylenia wyliczonych dla porównywalnych regałów są diametralnie różne (od  $\frac{1}{136}$  rad – Holandia, poprzez  $\frac{1}{385}$  – Niemcy i Polska, do  $\frac{1}{500}$  rad – Anglia), a to jest bardzo niepokojące i wskazuje na brak ujednolicenia przepisów w tym zakresie.

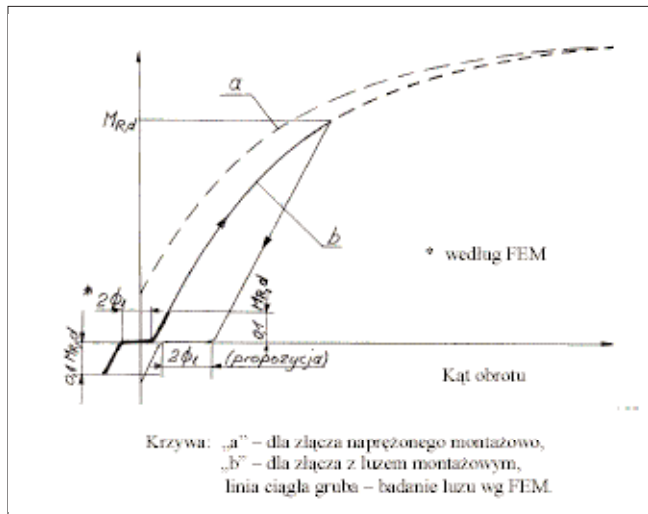
Jeśli chodzi o przepis FEM, autor poz. [1] sygnalizuje pewne zastrzeżenia, które dobrze byłoby dokładniej poznać (być może chodzi tu o wspomnianą wyżej gwałtowną zmianę kąta pochylenia dla małych liczb kolumn).

#### Luzy w złączu zaczepowym

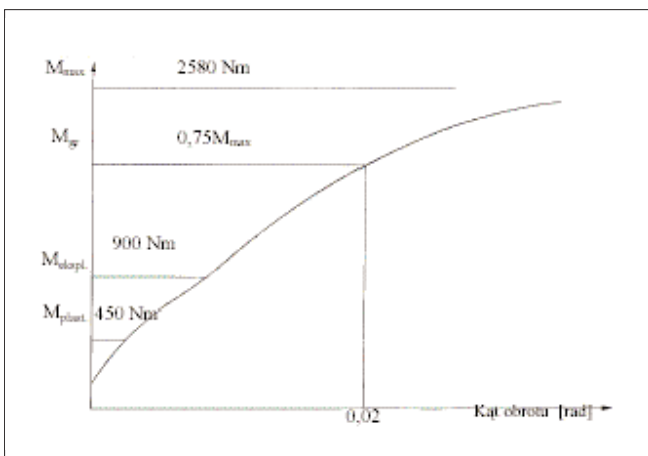
Według zaleceń FEM, kątowny luz w złączu wyznacza się doświadczalnie, tak jak jego sztywność. Analiza procedury tych badań nasuwa pewne pytania a mianowicie: czy badany jest wyłącznie luz montażowy, a jeżeli tak, to dlaczego? Zależy on przecież w dużym stopniu od sposobu montażu próbki przeznaczony do badań.



Rys. 12. Przykład zaciskowego „pazurkowego” złącza zaciskowego. Źródło: Opracowanie własne



Rys. 13. Propozycja metody badania luzu w zaczepek z uwzględnieniem luzu eksploatacyjnego. Źródło: Opracowanie własne



Rys. 14. Przykład rzeczywistej charakterystyki złącza z niewielkim naprężeniem wstępnym. Granica sprężystości została osiągnięta przy momencie ok. 0,25  $M_{gr}$ . Luz montażowy nie istnieje. Źródło: Opracowanie własne

W połączeniach zaczepowych zaciśkowych, takich jak, np. pokazanych na rys. 11 i 12, poprzez mocne zaciśnięcie (dobicie z góry) można spowodować, że charakterystyka złącza będzie miała przebieg jak na rys. 13 – krzywa „a” lub na rys. 14 (złącze wstępnie naprężone). Nie oznacza to jednak, że w trakcie eksploatacji luz się nie pojawi i to już po pierwszym pełnym obciążeniu regału. Zależy to bowiem od rodzaju i wytrzymałości złącza (czy i jak wielkie odkształcenia plastyczne spowoduje panujący w zaczepek moment i jak duży jest w nich udział luzów).

Należy zaznaczyć, że badanie luzu proponowanego przez FEM polega na obciążeniu złącza momentem  $M \approx 0,1 M_{R,d}$  (10% momentu granicznego), zmniejszeniu obciążenia do 0, a na-

stępnie obciążeniu momentem  $M \approx 0,1 M_{R,d}$  (patrz rys. 13). Oczywiście jest, że taka procedura umożliwia wyłącznie uchwycenie nie zawsze występujących w złączu luzów montażowych.

Wydaje się zatem uprawniona propozycja doświadczalnego wyznaczenia łącznego (montażowego i eksploatacyjnego) luzu kąтового w złączu (rys. 13).

Proponuje się zatem:

- określić moment graniczny metodą ogólnie znaną
- zbadać następną próbkę (lub kilka próbek w zależności od przyjętej metody) obciążając ją do chwili osiągnięcia wyznaczonego wcześniej momentu granicznego, a następnie stopniowo zmniejszać obciążenie do 0, poczym zmienić kierunek i obciążyć do wartości  $0,1 M_{gr}$  ( $M_{R,d}$ )

• określić kąt (luz)  $2\phi_1$  i podstawić jego wartość do wzoru na obliczeniowy kąt pochylenia regału wg przepisów FEM, lub do odpowiednio zmodyfikowanego wzór z PN-90/B-03200.

**Nie uwzględnione w obliczeniach luzy w złączu, to potencjalna przyczyna awarii regału**

Doświadczenie autora w tym względzie pokazuje, że powstanie w czasie eksploatacji regału omawianego tu odkształcenia, może być przyczyną utraty stateczności wzdłużnej konstrukcji.

Niektóre typy zaczepów wykazują szczególną podatność na powstawanie luzów. W pewnym konkretnym, badanym przez autora przypadku, poziom naprężeń plastycznych ( $R_e = 380$  MPa) został osiągnięty już przy ok. 25% momentu określonego jako dopuszczalny (rys. 14), a przy ok. 50% maksymalnego momentu obliczeniowego.

Dało to w czasie eksploatacji efekt w postaci luzów kątowych sięgających  $2\phi = \frac{1}{150}$  rad. Powstały one na skutek przekroczenia nacisków jednostkowych na krawędziach krzyżujących się ze sobą blach słupa i zaczepu.

Jeżeli założyć hipotetycznie, że w swojej analizie projektant nie uwzględnił tych odkształceń, popełnił niedoszacowanie rzeczywistego obliczeniowego kąta pochylenia regału o około 35% (z rys. 9:  $\frac{1}{340}$  rad bez uwzględnienia luzów i  $\frac{1}{250}$  rad z ich uwzględnieniem), a co się z tym wiąże – momenty w zaczepek i w słupie mogły być znacznie większe od określonych jako dopuszczalne. Zjawisko takie grozi utratą stateczności konstrukcji, a jej skutki mogą wyglądać jak na rys. 15.



Rys. 15. Widok po awarii. Źródło: Prospekt reklamowy.