

STAN PRZEDAWARYJNY ROZKŁADANEJ TRYBUNY STALOWEJ

MICHAŁ DEMBY, e-mail: michal.demby@put.poznan.pl

JACEK ŚCIGAŁŁO

Instytut Konstrukcji Budowlanych, Politechnika Poznańska

Streszczenie: W pracy przedstawiono przykład stanu przedawaryjnego konstrukcji rozkładanej trybuny stalowej zamontowanej w Sali Ziemi na terenie Międzynarodowych Targów Poznańskich. Wniosek o stanie przedawaryjnym wyciągnięty został na podstawie analizy statyczno-wytrzymałościowej przeprowadzonej na prośbę Użytkownika trybuny zaniepokojonego dużymi przemieszczeniami konstrukcji. Obliczenia diagnostyczne potwierdziły obawy i wykazały zbyt małą sztywność konstrukcji. Zaproponowano przekonstruowanie trybuny, po którym wymogi obu stanów granicznych: nośności i użytkowności można uznać za spełnione.

Słowa kluczowe: Sala Ziemi, rozkładana trybuna stalowa, naprawa

1. Wprowadzenie

Sala Ziemi (rys. 1) jest jedną z plenarnych sal Międzynarodowych Targów Poznańskich oraz jedną z najlepszych – zdaniem ekspertów – dużych sal koncertowych w Polsce. Pozwalające pomieścić 2000 osób pomieszczenie wyposażone jest nie tylko w nowoczesne zaplecze multimedialne, ale i 2 rozkładane trybuny stalowe umożliwiające różne aranżacje Sali. Po zamontowaniu trybun teleskopowych zaniepokojenie użytkownika wzbudziły duże wartości przemieszczeń poziomych konstrukcji w trakcie imprez masowych. Przedmiotem niniejszej pracy jest analiza stanu przedawaryjnego konstrukcji trybuny związana z jej zbyt małą sztywnością przestrzenną.



Rys. 1. Sala Ziemi na terenie MTP w Poznaniu (źródło: www.mtp.pl)

2. Konstrukcja rozkładanej trybuny stalowej

Konstrukcję trybuny teleskopowej wykonano ze stali S235 z zimnogiętych kształtowników cienkościennych: słupy i stężenia słupów z rur kwadratowych, główne belki podestowe z kształtowników zetowych, natomiast belki wymianowe i elementy drugorzędne wykonano z kształtowników ceowych i kątowników. Płyty podestowe trybun wykonano ze sklejki, którą pokryto wykładziną dywanową. Zamontowane w Sali Ziemi trybuny teleskopowe (rys. 2) składają się z ośmiu przegubowo połączonych segmentów. Każdy segment złożony jest z 16 rzędów z czego ostatni, najwyższy rząd jest nieruchomy, na stałe połączony ze sztywnym stropem żelbetowym (rys. 9). Pozostałe ruchome rzędy składają się w obszarze ostatniego, nieruchomego rzędu trybuny teleskopowej (rys. 3, 4).



Rys. 2. Trybuna teleskopowa po jej rozłożeniu



Rys. 3. Trybuna teleskopowa w trakcie jej rozkładania



Rys. 4. Trybuna teleskopowa po jej złożeniu



Rys. 5. Obszar pomiędzy sąsiednimi segmentami trybuny

Konstrukcja każdego rzędu to zbieżne od góry ku dołowi ramy portalowe z obustronnymi przewieszeniami wspornikowymi. Rygle (Z 210/50/2 mm) ram wsporczych połączono ze słupami (RK 120/40/2 mm) ram portalowych sztywnymi zastrzałami (RK 30/30/2 mm) w kształcie odwróconej litery V (rys. 7). Poniżej zastrzału wprowadzono sztywny pręt poziomy (RK 35/35/2 m) połączony przegubowo ze słupami ram portalowych. Sztywne zastrzały podpierają rygle podestowe ram portalowych w połowie ich rozpiętości, a ponadto stanowią stężenie całej konstrukcji w kierunku poprzecznym trybuny teleskopowej.

Poszczególne segmenty są połączone ze sobą przegubowo w obszarze między segmentowym (rys. 8). Przegub został wykonstruowany w belce podestowej w połowie odległości pomiędzy segmentami. Rygle przewieszenia wspornikowego zewnętrznych segmentów połączone są przegubowo ze słupkami obudowy, które stanowią konstrukcję wsporczą rozbiernych ręcznie ścian obudowy zewnętrznej trybun (rys. 9). Ostatni, nieruchomy rząd trybuny teleskopowej został przymocowany do żelbetowej płyty stropowej za pomocą śrub kotwiących (rys. 10).



Rys. 6. Widok konstrukcji dolnych rzędów jednego z segmentów trybuny

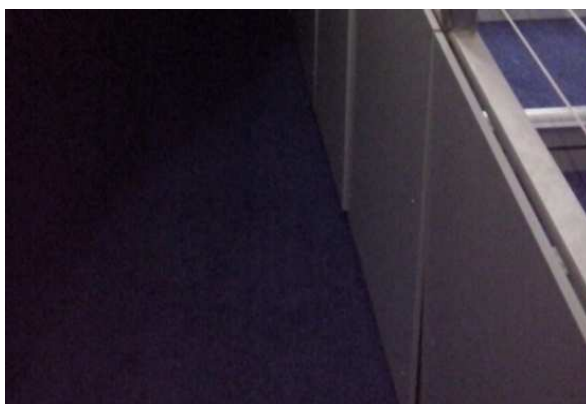


Rys. 7. Belki podestowe oraz stężenia typu V w złożonej konstrukcji trybuny

Zaniepokojenie użytkownika i operatora mobilnych trybun teleskopowych spowodowane było znacznymi, odczuwalnymi przez widzów trybun, przemieszczeniami poziomymi konstrukcji podczas imprez masowych. Zjawisko to nasilało się wówczas, gdy generowane były dodatkowe siły poziome wynikające z zachowania się widowni. Dodatkowym skutkiem pracy konstrukcji pod wpływem znacznych obciążeń poziomych były duże przemieszczenia demontowanych paneli ściennych obudowy zewnętrznej (rys. 9).



Rys. 8. Podporowe elementy jezdne umożliwiające rozkładanie i składanie trybuny



Rys. 9. Obudowa zewnętrzna trybun z demontowanych ręcznie paneli ściennych.
Widoczne przemieszczenia paneli ściennych



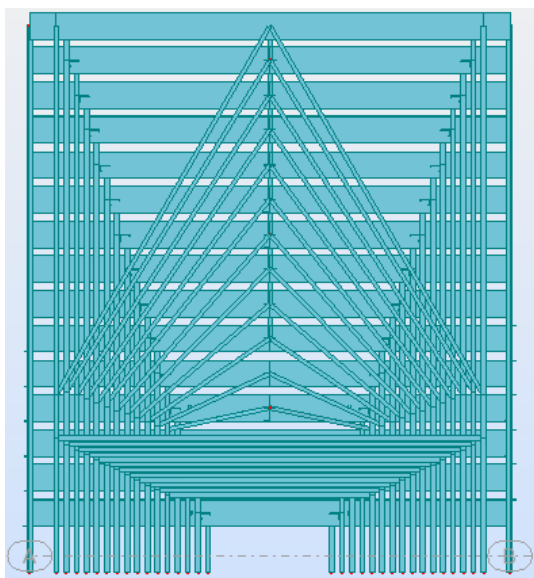
Rys. 10. Mocowanie skrajnego, nieruchomego (stałego) rzędu trybuny do stropu

3. Analiza obliczeniowa konstrukcji w stanie przedawaryjnym

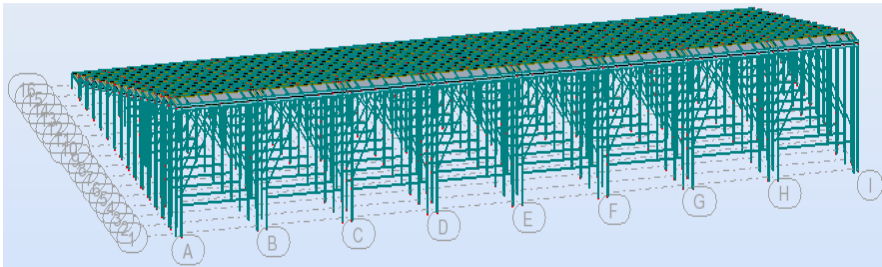
Obliczenia statyczne wykonano komputerowo przy wykorzystaniu programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional [4]. Parametry geometryczne konstrukcji oraz przekrojów przyjęto na podstawie dokumentacji projektowej zweryfikowanej wynikami własnych pomiarów inwentaryzacyjnych. W analizie obliczeniowej nie uwzględniono efektu skręcania nieswobodnego i związanego z nim problemu deplanacji przekroju w ryglach podestowych. Przyjęto, że rygle te zabezpieczone są konstrukcyjnie poprzez liniowe połączenie z drewnianą płytą podestową oraz z ryglami poprzecznymi podpierającymi płytę podestową (rys. 11). Przestrzenny model konstrukcji trybuny przedstawiono na rysunkach 12, 13 oraz 14. W celu uwzględnienia mimośrodowego charakteru połączeń elementów zastosowano jako narzędzie tzw. offsety.



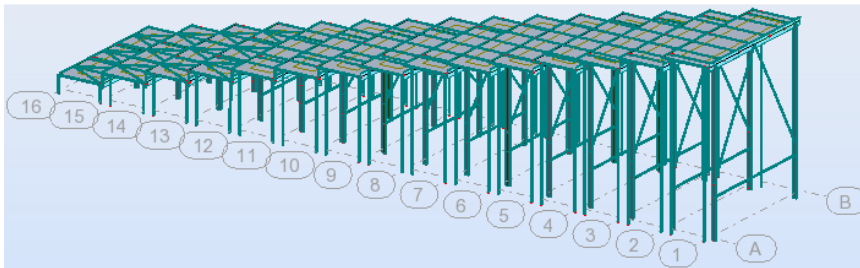
Rys. 11. Konstrukcyjne zabezpieczenie rygli podestowych



Rys. 12. Model obliczeniowy pojedynczego segmentu złożony ze zbieżnych ram portalowych



Rys. 13. Model obliczeniowy konstrukcji trybuny stalowej



Rys. 14. Model obliczeniowy pojedynczego segmentu konstrukcji trybuny

W przeprowadzonej analizie statyczno-wytrzymałościowej konstrukcji trybuny teleskopowej wyodrębniono i uwzględniono 3 podstawowe schematy obciążeń [5]:

- schemat 1 – ciężar własny konstrukcji wsporczej i podestów,
- schemat 2 – pionowe obciążenia użytkowe podestów trybuny ($4,00 \text{ kN/m}^2$),
- schemat 3 – obciążenia poziome w kierunku poprzecznym ($0,80 \text{ kN/m}^2$).

Wartości obciążenia poziomego przyjęto na poziomie 20% obciążenia użytkowego podestów, zakładając ponadto iż schemat 3 występuje tylko i wyłącznie w kombinacji razem ze schematem 2. Efekty dynamiczne związane z zachowaniem tłumu ludzi będących w ruchu uwzględniono poprzez współczynnik dynamiczny równy 1,2.

W analizie stanu granicznego nośności konstrukcji uwzględniono dodatkowo wpływ przechyłowych imperfekcji geometrycznych poprzez wprowadzenie odpowiedniego kąta pochylenia. Otrzymane wyniki wykonanej analizy numerycznej I i II rzędu z uwzględnieniem imperfekcji geometrycznych z podziałem na poszczególne etapy obliczeń dla różnych typów elementów przedstawiono w tab. 1. Zamieszczone w tablicy 1 wyniki ograniczono tylko do podania poziomu wykorzystania nośności dla najbardziej wytężonych elementów danego typu. Jako wartość graniczną przemieszczenia poziomego przyjęto 25 mm.

Tablica 1. Wyniki analizy obliczeniowej stalowej trybuny teleskopowej

Typ elementu konstrukcji wsporczej trybuny	Przekrój elementu [mm]	Poziom wyężenia elementu		
		Analiza I rędu		Analiza II rędu
		bez imperfekcji	z imperfekcjami	
Poziom wyężenia elementu				
Rygiel	Z 210/50/2	0,75	0,75	0,79
Słup	RK 120/40/3	0,97	1,00	1,84
Stężenie typu V	RK 30/30/2	2,69	2,73	*)
Stężenie poziome	RK 35/35/2	0,22	0,22	0,22
Przemieszczenie poziome		2,10	2,20	3,34

*) utrata stateczności na skutek przekroczenia wartości siły krytycznej

4. Analiza obliczeniowa konstrukcji po jej przekonstruowaniu

Z uwagi na znaczne przekroczenia stanów granicznych nośności i użytkowości w słupach oraz prętach stężenia, zaproponowano naprawę poprzez przekonstruowanie zamontowanej i użytkowanej trybuny. Modyfikacja istniejącej konstrukcji polegała na wymianie najbardziej wyciężonych smukłych elementów stężeń typu V z RK 30/30/2 mm na sztywniejsze elementy RK 50/50/2 mm oraz RK 40/40/2 mm w zależności od poziomu wyciężenia elementów danego rzędu trybuny (tablica 2). Na rysunku 15 przedstawiono usytuowanie węzłów prętów stężenia przed przekonstruowaniem. Zaprojektowano odpowiednie przesunięcie tych węzłów (rys. 16), pozwalające na spełnienie wymogów stanów granicznych.

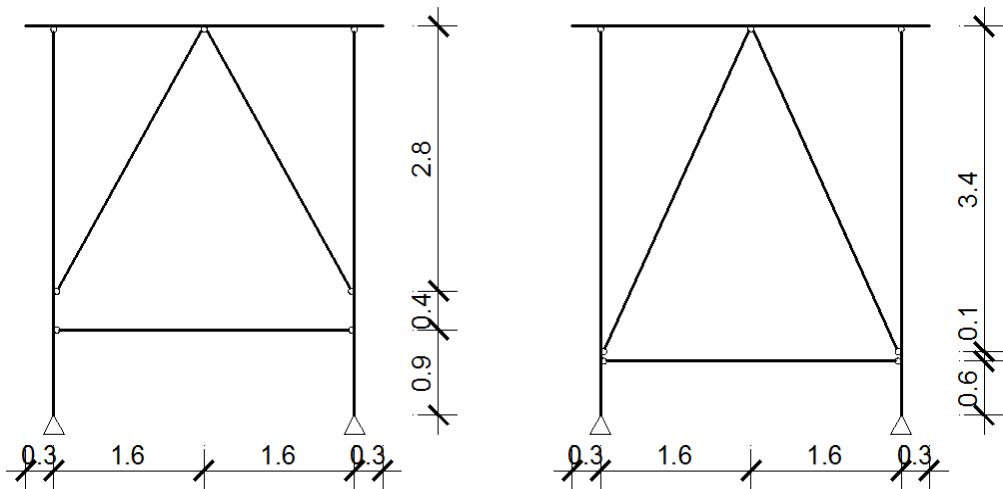
Analiza numeryczna przekonstruowanej trybuny teleskopowej z uwzględnieniem wpływów imperfekcji i efektów II rzędu wykazała, że dla przyjętych obciążeń użytkowych wszystkie elementy konstrukcji spełniają wymagania stanu granicznego nośności oraz użytkowości. Wyniki wykonanej analizy dla najbardziej wyciężonych elementów zestawiono w tabl. 3.

Tablica 2. Zestawienie przekonstruowanych elementów

Numer rzędu	Element stężenia typu V	
	przed modernizacją	po modernizacji
13, 14, 15, 16	RK 30/30/2	RK 50/50/2
10, 11, 12	RK 30/30/2	RK 40/40/2
1–9	RK 30/30/2	RK 30/30/2



Rys. 15. Widok konstrukcji wsporczej trybuny po jej przekonstruowaniu



Rys. 16. Propozycja przekonstruowania trybuny

Tablica 3. Wyniki analizy obliczeniowej po przekonstruowaniu trybuny

Typ elementu konstrukcji wsporczej trybuny	Przekrój elementu [mm]	Poziom wyłączenia elementu		
		Analiza I rzędu		Analiza II rzędu
		bez imperfekcji	z imperfekcjami	
Poziom wyłączenia elementu				
Rygiel	Z 210/50/2	0,74	0,74	0,75
Słup	RK 120/40/3	0,52	0,54	0,61
Stężenie typu V	RK 50/50/2	0,78	0,79	0,84
Stężenie poziome	RK 35/35/2	0,22	0,22	0,22
Przemieszczenie poziome		0,75	0,79	1,00

5. Wnioski

Przedstawiona w pracy konstrukcja stalowych trybun teleskopowych została zaprojektowana na działanie normowych obciążeń pionowych o charakterze statycznym. W analizie obliczeniowej Projektant trybun nie uwzględnił możliwości wystąpienia poprzecznych obciążeń poziomych o dodatkowo zmiennym w czasie kierunku działania, które generować mogą się podczas imprez masowych. Po uwzględnieniu obciążeń poziomych pomnożonych dodatkowo przez współczynnik dynamiczny 1,2 okazało się, że konstrukcja stalowych trybun teleskopowych nie spełnia wymogów zarówno stanów granicznych nośności jak i użyteczności. Przyczyna tkwiła w zbyt małej sztywności poprzecznej przestrzennego układu konstrukcyjnego. Zrealizowane według projektu producenta trybun stężenia poziome były niepoprawnie wykonstruowane. Dodatkowo elementy ściskane stężeń nie spełniały podstawowego warunku smukłości. Analiza obliczeniowa potwierdziła wniosek, że konstrukcja trybun nie była zdolna do przeniesienia obciążeń poziomych wynikających z zachowania się widowni. Stosunkowo proste przekonstruowanie trybun, bez nadmiernych kosztów dodatkowych, pozwoliło uzyskać satysfakcjonujący użytkownika efekt końcowy. Przekonstruowanie polegało na zamianie niektórych smukłych elementów stężeń poziomych na bardziej sztywne elementy oraz dodatkowo na odpowiednim przesunięciu węzłów stężeń. Zaproponowane zmiany znacznie usztywniły konstrukcję. Po przekonstruowaniu i wymianie niektórych elementów stężeń trybuny spełniają wymogi zarówno stanów granicznych nośności jak i użyteczności.

Literatura

1. Ścigałło J., Demby M.: Ekspertyza naukowo-techniczna dotycząca oceny nośności konstrukcji wsporczej trybuny teleskopowej wraz z podaniem propozycji jej usztywnienia w Sali Ziemi na terenie MTP w Poznaniu ul. Głogowska 14, Poznań 2014.
2. PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
3. Rykaluk K.: Zagadnienia stateczności konstrukcji metalowych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2012.
4. Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014.
5. Rawska-Skotniczy A.: Obciążenia budynków i konstrukcji budowlanych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.

THE PRE-FAILURE STATE OF STEEL FOLDOUT TRIBUNE

Abstract: The example of the pre-failure state of a steel foldout tribune located in the Earth Hall at the Poznan International Fair was presented in the paper. The conclusion about the pre-failure state was drawn based on static analysis of the structure. The operation of Tribune was not safe because of large displacements of the structure. Diagnostic analysis confirmed concerns and pointed out the insufficient stiffness of the structure. The reconstruction of the Tribune was proposed, for which requirements of both limit states: ultimate and serviceability were met.

Keywords: Earth Hall, steel foldout tribune, repair