Seria: BUDOWNICTWO z. 31

Nr kel. 346

Andrzej Ajdukiewicz Alina Kliszczewicz

BADANIA MODELOWE RUSZTU BEZPŁYTOWEGO PODPARTEGO W NAROŻACH

> Streszczenie: W referacie przedstawiono badania modelowe pewnego typu rusztu kwadratowego, punktewo podpartego w narożach. Ruszt ten jest przewidywany jako żelbetowa konstrukcja przekrycia stropowego dla dużych,wielokondygnacyjnych obiektów budownictwa handlowego.

1. Wstep

W jednej z przedstawionych koncepcji żelbetowych przekryć stropowych dużej rozpiętości dla budownictwa handlowego głównym elementem jest podnoszony ruszt stropowy, oznaczony symbolem RA-12. Ruszt ten przewidziany jest jako konstrukcja nośna przekrycia stropu pod salami sprzedażowymi (o obciążeniach użytkowych do 600 kG/m² lub pod magazynami (700 kG/m²) dużych domów towarowych o rozstawie podpór słupowych 12 x 12 m.

Przyjęta koncepcja rusztu, złożonego z 9 żeber w każdym kierunku (rys. 1) zawiera dwojakicgo rodzaju brzegowe wzmocnienia, o istotnym wpływie na pracę rusztu, a mianowicie:

- żebra krawędziowe o zwiększonej sztywności;

- wypełnione pola przynarożne rusztu.

Ponadto, charakterystyczną cechą rusztu jest znaczna smukłość żeber, wyrażająca się stosunkiem szerokości do wysokości b/h rzędu 1/5.

Powyższa specyfika przyjętego rusztu typu RA skłoniła do poszukiwania rozwiązań statycznych ustroju na dwojakiej drodze - analitycznej i doświadczalnej. W niniejszym opracowaniu przedstawia się badania modelowe rusztu wykonane w Zespole Konstrukcji Betonowych Sprężonych Instytutu Konstrukcji Budowlanych.Równolegle podjęto próby optymalizacji kształtu rusztu przy wykorzystaniu drogi analitycznej – metody odkształceń i metody elementów skończonych – w oparciu o skatalogowane programy na EMC Odra 1204 i ZAK-41.



Rys. 1. Ruszt typu RA-12, wymiary wg projektu koncepcyjnego

2. Zakres badań

Badania dotyczyły fazy sprężystej pracy statycznej rusztu.Programowy i zrealizowany zakres badań obejmował:

- określenie powierzchni wpływowej momentów zginających w 24 przekrojach przywęzłowych;
- określenie powierzchni wpływowej ugięcia rusztu od obciążeń węzłowych;
- pomiar naprężeń głównych w części przypodporowej.

Podwójna symetria układu pozwoliła na objęcie pomiarem 1/8 części rzutu rusztu, dostarczając jednocześnie możliwości różnorodnej kontroli pomiarów.

W celu opracowania wyników pomiarów niezbędna była szczegółowa znajomość cech tworzywa modelowego, współczynnika sprężystości E i współczynnika Poissona µ .

3. Charakterystyka modelu

Model rusztu wykonano z zachowaniem skali geometrycznej rzutu 1:12, zachowując także tę proporcję w stosunku do najmniejszej proponowanej wysokości rusztu (70 cm).

Jako materiał modelu przyjęto gips modelowy dentystyczny użyty ze względów technologicznych z dodatkiem inhibitora (cytrynian sodu -0,005 wagi suchego gipsu).

Badanie cech materiału modelowego przeprowadzono w 5 próbkach, z których dwie przygotowane były równolegle z modelem, a trzy wycięto z modelu po badaniach.

Uzyskano następujące wartości średnie charakterystycznych wielkości wytrzymałościowych:

- współczynnik sprężystości przy zginaniu E = 73800 kG/cm
- współczynnik Poissona
- naprężenie graniczne przy zginaniu 6 = 41,3 kG/cm
- odkształcenie graniczne przy zginaniu S = 0,52 · 10⁻³.

Materiał modelowy cechował się w pełni liniową charakterystyką przy obciążeniach doraźnych, w pełnym zakresie naprężeń 0 ÷ 6 gr Realizacje modelu przeprowadzono wstępnie dwoma metodami:

- a) przez odlewanie z zastosowaniem wkładek formujących, nasyconych środkiem zapobiegawczym przyczepności;
- b) przez wycinanie modelu z pełnej płyty o wymiarach nieco większych niż przyjęte wymiary modelu.

Obydwie technologie przygotowania modelu, przy wymaganej dokładności wymiarów (rzędu 0,5 mm), są bardzo pracochłonne.

Próby wykazały, że metoda wycinania daje wyższą jakość modelu, a zarazem zawiera mniejsze ryzyko wystąpienia wad ukrytych i wstępnych naprężeń w materiale (np. od skurczu). Zespół korzystnych cech, określony mianem wyższej jakości modelu, wiąże się głównie z jednorodnością materiału, bez udziału tzw. warstw naskórk wych, wynikających z innych warunków dojrzewania gipsu na powierzchni.

Ostatecznie uzyskano model, którego wymiary zewnętrzne w rzucie miały tolerancję ± 1 mm, natomiast rozrzut grubości żeber rusztu w stosunku do teoretycznego wymiaru zawierał się w przedziale ± 0,3 mm.

4. Metody pomiarowe

Zgodnie z zakresem badań zastosowano dwie odrębne metody pomiarowe:

- przy badaniu rozkładu momentów zginających oraz naprężeń w wybranych częściach rusztu zastosowano metodę tensometrii elektrooporowej,mierząc bezpośrednio odkształcenia modelu na powierzchni;
- przy badaniu ugięć rusztu zastosowano bezpośredni pomiar mechaniczny za pomocą czujników zegarowych.

Jako dostatecznie gęstą siatkę punktów pomiarowych oraz punktów przyżożenia obciążenia przyjęto siatkę węzłów (77 punktów).

W badaniach tensometrycznych dotyczących rozkładu momentów zginających wykorzystano podwójny układ symetrii rusztu (rys. 2), a zatem wystarczyły pomiary na obszarze 1/8 całego rusztu; przy pomiarze odkształceń w dwu kierunkach dawało to liczbę 24 punktów pomiarowych. Pomiary te przeprowadzono zarówno na górnej jak i na dolnej powierzchni żeber

22

rusztu, stosując układ niezależny z kompensacją zewnętrzną. Uzyskano w ten sposób w pełni porównywalne dwa zbiory wyników oraz możliwość eliminacji wpływów lokalnych w przypadkach, gdy punkt przyłożenia obciążenia pokrywał się z punktem pomiarowym.



Rys. 2. Wymiary modelu rusztu RA-12 z numeracją punktów elektrooporowego pomiaru odkształceń oraz oznaczeniem osi żeber (identyfikacja punktów węzłowych)

W badaniach rozkładu naprężeń głównych w przypodporowej części rusztu zastosowano układ czujników przedstawiony (wraz z numeracją) na rys. 3. Dla 16 wybranych punktów pomiarowych umieszczono tu 38 czujników. Wszystkie czujniki tensometryczne, zarówno do pomiaru momentów zginających, jak też naprężeń głównych, były typu RL-10/120 i takie same czujniki stanowiły układ kompensacyjny.

Do badania ugięć modelu rusztu zastosowano ławę pomiarową 9 czujników zegarowych o działce 0,01 mm, ustawianą kolejno pod żebrami. Ugięcia pomierzono we wszystkich punktach węzłowych, uzyskując pełną kontrolę wyników, będącą zarazem kontrolą faktycznej symetrii modelu.

Stanowisko badawcze obejmowało stół stalowy z dwoma poziomani - poziom górny służył do umieszczenia modelu, poziom dolny pozwalał na ułożenie czujników kompensacyjnych oraz na manewrowanie ławą czujników zegarowych. Podpory modelu zapewniały rzeczywisty przegubowo - przesuwny charakter podparcia rusztu dzięki zastosowaniu odpowiednich łożysk.

5. Przebieg badań

5.1. Badania towarzyszące

Badania cech wytrzymałościowych materiału modelowego, oparte podobnie jak badania zasadnicze na elektrooporowym pomiarze odkształceń i na mechanicznym pomiarze przemieszczeń, przeprowadzono w prostym sohemacie czystego zginania, jak to przedstawia rys. 4. Sukcesywnie przykładane obciążenia pozwoliły na uzyskanie dokładnej charakterystyki 6-Ę, a ściślej na potwierdzenie oczekiwanej liniowej sprężystości materiału. Ze względów praktycznych istotne było również dokonanie na próbach oceny granicznej wytrzymałości materiału przy zginaniu i granicznego odkształcenia w celu zapewnienia bezpiecznego zakresu badania modelu.

5.2. Badania rozkładu momentów zginających

Korzystając z liniowej sprężystości materiału modelu i obowiązującej w pełni w tym przypadku zasady superpozycji ograniczono schematy badania rozkładu momentów do jednego typu obciążenia - siły skupionej w węźle. Pełne badanie obejmowało więc 77 punktów przyłożenia siły sku-





pionej i prowadziło do uzyskania powierzchni wpływowej momentów zginających w każdym z 24 punktów pomiarowych.



Rys. 4. Schemat stanowiska do pomiaru cech tworzywa modelowego

Zależnie od położenia węzła przykładano różne obciążenia skupione (od 8 do 20 kG), w dążeniu do nieprzekroczenia dopuszczalnych naprężeń bądź odkształceń, a jednocześnie do uzyskania stosunkowo znacznych wartości odczytów.

Pomiar tensometryczny odkształceń, prowadzony niezależnie na górnej i dolnej powierzchni rusztu, powtarzano 4 do 5 krotnie, dokonując każdorazowo odczytów bez obciążenia i z obciążeniem. Rozrzut wyników bezpośrednich kontrolowano w czasie pomiarów i nie przekroczył on przedziału ± 2%; końcowa ocena dokładności badania momentów dokonana w różnorodnych sprawdzianach pozwala oszacować sumaryczne błędy na ± 4%.

5.3. Badania rozkładu ugięć

Pomiary ugięć prowadzono jednocześnie wzdłuż całego jednego żebra w punktach węzłowych (9 lub 7 punktów), obciążając kolejno wszystkie węzły. Ze względu na możliwość kontroli odczytów w punktach symetrycznych ograniczono wielokrotność pomiarów do trzech dla każdego punktu. Rozrzut wyników w punktach symetrycznych dawał podstawę do oceny faktycznej symetrii wykonanego modelu; rozrzut ten nie przekraczał przedziału + 3%.

6. Wyniki

Ogólnym dążeniem przy opracowaniu wyników, jak zresztą całych badań było doprowadzenie do postaci praktycznej, ogólnej, pozwalającej na bezpośrednie wykorzystanie w projektowaniu. Niezależnie więc od normalnego trybu opracowania, polegającego na: ustaleniu średnich wartości odczytów, wyrównaniu wyników wynikającym z symetrii układu i przemnożeniu przez odpowiednie współczynniki dla uzyskania wartości momentów lub ugięć – doprowadzono na drodze analitycznej do sprowadzenia wyników do postaci dla rusztu o jednostkowych wymiarach, sztywności i obciążeniu. Uzyskano więc najbardziej ogólną formę wyniku badań doświadczalnych, gdyż momenty i ugięcia stanowią wówczas odpowiednik bezwymiarowych współczynników, które przemnożone przez rzeczywiste wartości geometryczne i obciążenia dają w efekcie wielkości podstawowe dla projektowania.

Pod względem liczbowym wyniki opracowano najpierw z pełną odczytaną dokładnością (w pomiarze elektrooporowym odkształceń 2 x 10⁻⁶,w pomiarze ugięć 0,01 mm), a dopiero po ustaleniu wartości średnich i przeliczeniu dokonano zaokrągleń ostatnich miejsc znaczących, niemiarodajnych wg oceny ogólnej dokładności wyników.

Zestawienie wyników w postaci współczynników & do obliczania momentów z wyrażenia

 $M_k = \alpha_{ik} \cdot P_i \cdot l$

oraz współczynników w do obliczania ugięć ze wzoru

$$W_k = \omega_{ik} \cdot \frac{P_i}{I_k} \cdot \frac{1^3}{E}$$

zawarto w dwu bardzo obszernych tablicach, które nie mogły być zamieszczone w niniejszym oprącowaniu. Oznaczono tutaj:

- α_{ik}, ω_{ik} współczynniki odpowiadające punktowi "i" przyłożenia obciążenia P_i oraz przekrojowi "k", w którym obliczany jest moment zginający lub ugięcie;
- 1 wymiar zewnętrzny rusztu,
- Ik moment bezwładności żebra, na którym znajduje się punkt "k" (dlą punktów na skraju - I dla żebra skrajnego).

Dla zobrazowania prący charakterystycznych przekrojów rusztu podano na rys. 5 i 6 wykresy aksonometryczne powierzchni wpływowych momentów zginających dla wybranych dwu przekrojów - środek rusztu i środek żebra skrajnego (punkty E-4 i E-0).



Kys. 5. Powierzchnia wpływowa momentu zginającego w punkcie środkowym rusztu

Badania modelowe rusztu bezpłytowego ...



Rys. 6. Powierzchnia wpływowa momentu zginającego w środku rozpiętości żebra skrajnego

Zestawienie wyników uzupełniono ważnymi w praktyce współczynnikami ω_{kq} i ω_{kq} dla równomiernego obciążenia q cąłego rusztu, z których korzysta się (bez konieczności sumowania wielu wartości ω_{ki}, ω_{ki}) stosując wyrażenia:

$$M_{k(q)} = \alpha_{kq} \cdot P \cdot 1 = \alpha_{kq} \cdot \frac{q \cdot 1^{3}}{64}$$
$$W_{k(q)} = \omega_{kq} \cdot \frac{P \cdot 1^{3}}{E \cdot 1} = \omega_{kq} \cdot \frac{q \cdot 1^{3}}{64 \cdot EJ}$$

Wyniki badania trzeciej grupy wartości - naprężeń głównych przy podporach rusztu - obarczone były dużymi błędami pomiarowymi, ze względu na bardzo małe wartości odczytów. Dla większości przypadków potwierdziły się spodziewane wartości naprężeń głównych w osi żeber odpowiadające wartościom sił poprzecznych proporcjonalnych do pola przekroju 4 żeber dochodzących do wzmocnienia nad podporą. Pełniejsza ocena ilościowa tych wyników jest niemożliwa wobec wspomnianych małych wartości odczytów

7. Wnioski

Ruszt typu RA-12 posiada proporcje wymiarów dostosowane do wymagań funkcjonalno-architektonicznych przekrycia kasetonowego, a zastosowane wzmocnienia żeber skrajnych i otoczenia podpór wprowadzono na podstawie bardzo przybliżonych obliczeń projektu koncepcyjnego.Bardzo ważna dla pracy rusztu, zwłaszcza w zakresie rozkładu momentów zginających, proporcja sztywności żeber została przyjęta w koncepcji w analogii do płyty punktowo podpartej, przy założeniu zbierania przez żebra momentów z fikcyjnych pasów płyty. Przybliżony charakter takiego założenia był oczywisty, jednak badania wykazały jak dalece zgrubne jest to przybliżenie.

Dla porównania pracy płyty i rusztu typu RA przedstawiono na rys. 7 a wartości momentów (współczynników \mathcal{OC}_{kq}) od obciążenia równomiernego całej powierzchni, a na rys. 7b porównanie rozkładu momentów w przekroju środkowym rusztu (linia ciągła) i płyty (linia przerywana).

Z porównań a także z analizy pełniejszej wyników badania rusztów wynikają dwa przeciwstawne wnioski:

- ze względu na bardziej korzystny rozkład momentów zginających należąłoby unikać wzmocnień krawędziowych, a nawet zredukować sztywność żeber skrajnych w stosunku do żeber środkowych;
- ze względu na ugięcia rusztu zasadnicze znaczenie ma sztywność żeber skrajnych i dla rusztu RA wzmocnienie krawędziowe uważa się za zbyt skabe.

Jaka wobec takiej sytuacji powinna być droga rozwiązania kompromisowego w przypadku stosowania rusztów typu RA jako przekryć stropowych? a)



Rys. 7. Porównanie rozkładu momentów od obciążenia równomiernego w przekroju środkowym płyty i rusztu typu RA

Frzeliczenia przykładowe dla rzeczywistych danych wykazują bardzo istotny wpływ ograniczenia dopuszczalnego ugięcia na dobór wysokości rusztu, a jednocześnie konstrukcyjne trudności w przeniesieniu momentów zginających przez żebra skrajne. Wydaje się, że w tej sytuacji należy doprowadzić do radykalnego wzmocnienia krawędziowego, przez dalcze poszerzenie żebra skrajnego, a także poszerzenie żeber przedskrajnych. Prowadzi to do nowej wersji rusztu, która będzie w przyszłości także badana na modelu, jednak po uzyskaniu wyników obliczeń analitycznych z wykorzystaniem EMC.

MOLEJEHHE NCCJELOBAHAH BECHJUTOBON PENETRA HOLIËPTON B YTJEK

Резрые

В работе представлены модельные исследования некоторого типа квадратной решётки подпёртой в углих. Эта решётка предвидённа к применении в железобетонных перекрытиях многоэтежных торговых зданий.

MODEL TESTS OF THE GRILLE WITHOUT SLAB SUPPORTED AT CORNERS

Summary

The paper reports model tests of certain kind of a square grill supported at corners. That kind of the grill has been proposed as a reinforced concrete floor structure for large multi-story trade buildings.