

Stanisław ZAWADA

## PRZEKRYCIE HALI SZTUCZNEGO LODOWISKA "TOROPOL" W OPOLU

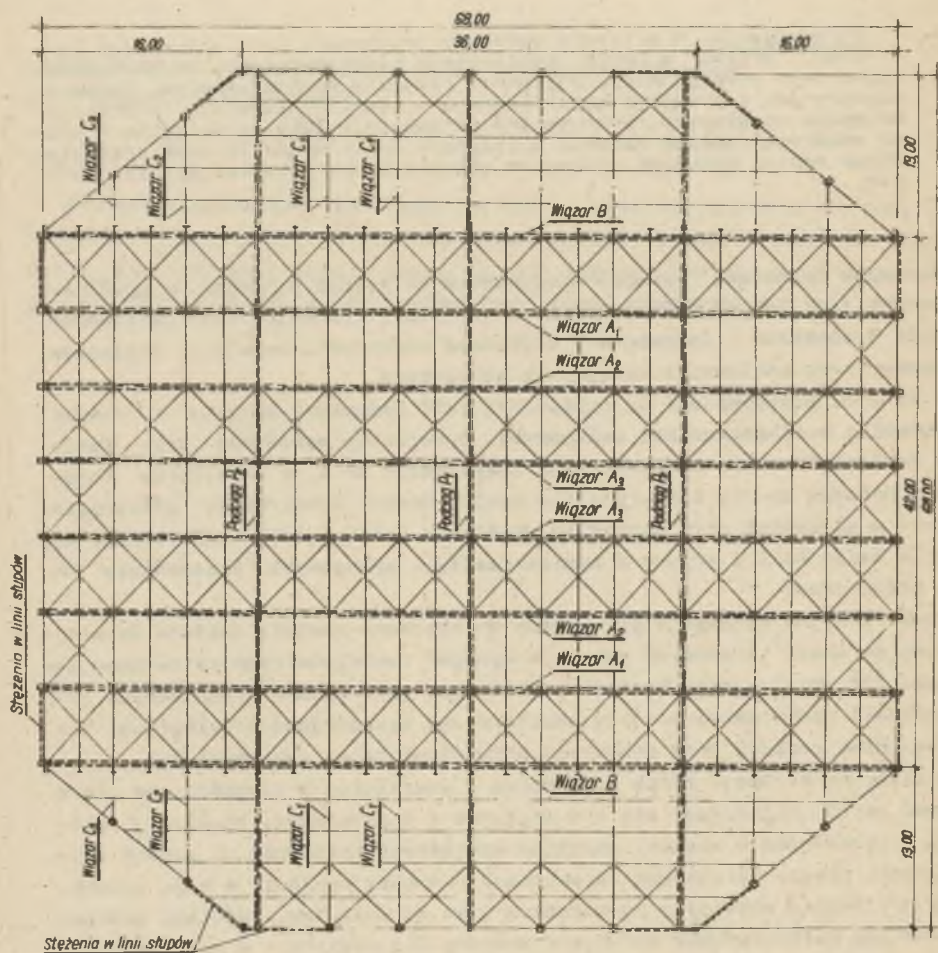
**Streszczenie.** W artykule omówiono przekrycie hali sztucznego lodowiska "Toropol" w Opolu. Konstrukcję nośną wykonano ze stalowych więzarów i podciągów pracujących w układzie dwukierunkowym. Zarówno więzary jak i podciągi ukształtowano w postaci płaskich kratownic wstępnie sprężonych, pracujących na zasadzie łuku ze ściąganiem. W pracy omówiono również badania poligonowe dwóch więzarów oraz przedstawiono montaż głównych elementów nośnych przekrycia bez użycia dźwignów.

Sztuczne lodowisko "Toropol" usytuowane na wyspie Ostrówek w Opolu użytkowane jest już od 1961 r. Stanowi ono zespół funkcjonalnie związanych ze sobą 3 obiektów - lodowiska z trybunami otwartymi, hotelu z zapleczem usługowym oraz kotłowni z maszynią chłodniczą.

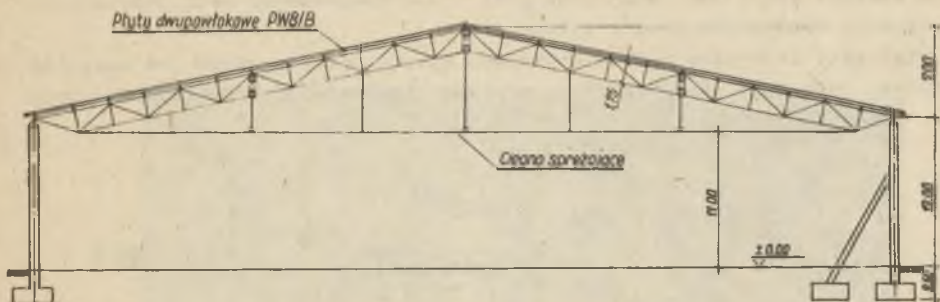
W 1974 r. przystąpiono do realizacji hali lodowiska łącznie z nowymi trybunami i pomieszczeniami usługowymi. Generalnym wykonawcą jest Opolskie Przedsiębiorstwo Budownictwa Przemysłowego Nr 1, a inwestorem Wojewódzki Ośrodek Sportu i Rekreacji w Opolu. Montaż konstrukcji przekrycia łącznie z ułożeniem płyt dachowych ukończono jesienią 1977 r. Natomiast wykonanie ścian hali i trybun z pomieszczeniami usługowymi przesunięto na lata późniejsze.

Konstrukcyjna koncepcja przekrycia dostosowana została zarówno do miejscowych warunków terenowych jak i do wymagań funkcjonalnych sztucznego lodowiska [2]. Wieloboczny kształt przekrycia, jak również zróżnicowana jego wysokość podyktowane zostały bezpośrednim sąsiedztwem przyległych budynków. Rzut poziomy oraz przekroje przedstawiono na rysunkach 1+3.

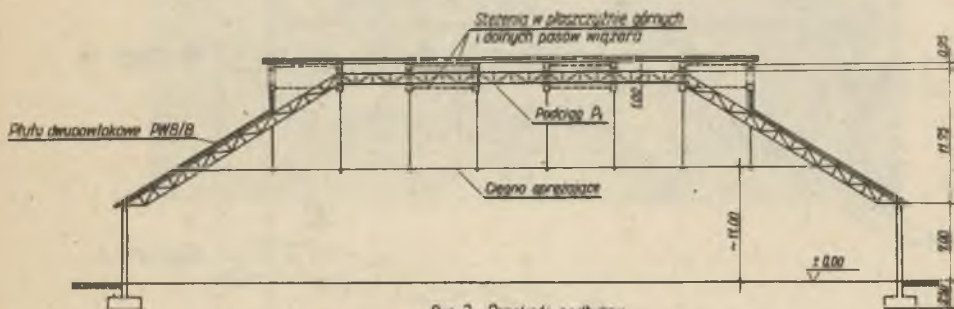
Stalową konstrukcję nośną przekrycia o szerokości i długości po 68 m stanowi ustrój składający się z 8 więzarów i 3 podciągów. Wiązary i podciągi wykształcono w postaci wstępnie sprężonych kratownic o pasach równoległych. Ciężna sprężająca umieszczono pomiędzy węzłami w taki sposób, ażeby kratownice pracowały na zasadzie łuku ze ściąganiem. Podciągi usytuowane wzdłuż hali stanowią sprężyste podpory dla więzarów, a ponadto spełniają zadanie tężników podłużnych. Wiązary w połączeniu z podciągami tworzą układ dwukierunkowy bardziej korzystny w porównaniu z układem jednokierunkowym. Dzięki podciągom znaczna część obciążenia z dachu przejęta zostaje przez słupy niższej części hali odciążając tym samym słupy główne. Zastosowanie zaś tężnika połączeniowego wzdłuż okapu pozwala na współpracę obydwóch części hali przy obciążeniu wiatrem.



Rys. 1. Rzut poziomy przekrycia



Rys. 2. Przekrój poprzeczny



Rys. 3. Przekrój podłużny

Rys. 3. Przekrój podłużny

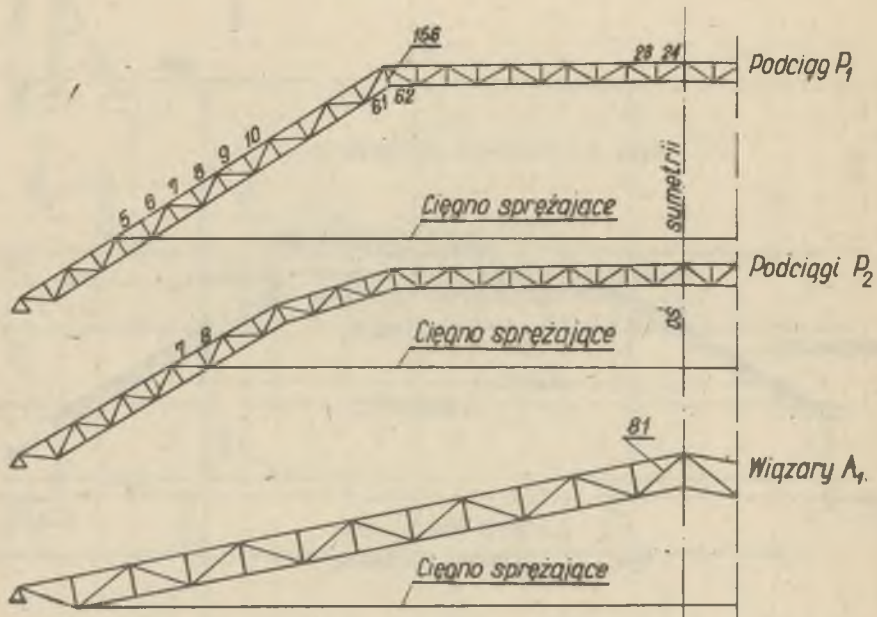
Pasy wiązarów i podciągów ukształtowano z ceowników, krzyżulce i słupki z kątowników ze stali St3SY, zaś ciężna sprężające z wiązek drutów  $\varnothing 5$  mm ze stali D90. Pokrycie dachowe stanowią płyty dwupowłokowe PW/B-B, ułożone na płaskich i nachylnych połaciach. W płaszczyźnie skrajnych wiązarów przewidziano wentylację naturalną w postaci otwieranych okien stalowych.

W związku z przesunięciem przez Inwestora wykonania ścian hali na lata późniejsze, przekrycie przez kilka lat pracować będzie w niekorzystnych warunkach wiatrowych odpowiadających wiecie, gdzie obciążenie wiatrem może wystąpić zarówno w postaci parcia jak i ssania.

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe dla hali przeprowadzono w zakresie sprężystym przyjmując wytrzymałość obliczeniową  $R = 2200 \text{ kg/cm}^2$ . Te same obliczenia, ale wykonane dla wiaty, wykazały w niektórych prętach znaczne przekroczenie wytrzymałości obliczeniowej. Ograniczając się w obliczeniach tylko do zakresu sprężystego z punktu widzenia formalnego konstrukcję przekrycia należałoby odpowiednio wzmocnić. Aby uniknąć kosztownego i bardzo uciążliwego wzmocnienia zabudowanych już kratownic, przeliczono konstrukcję przekrycia w zakresie sprężysto-plastycznym [1], z za-

stosowaniem częściowego plastycznego wyrównania naprężeń. Pozwoliły na to nie wykorzystane w pełni przekrojętych prętów, których przyjęcie podyktowane zostało względami konstrukcyjnymi i asortymentowymi oraz duży stopień statycznej niewyznaczalności układu.

Wielkości statyczne układu obliczono metodą przemieszczeń na maszynie cyfrowej Odra 1204, korzystając z programu "Kobra" opracowanego przez mgr inż. Tadeusza Paszkiewicza.



Rys. 4. Schematy kratownic

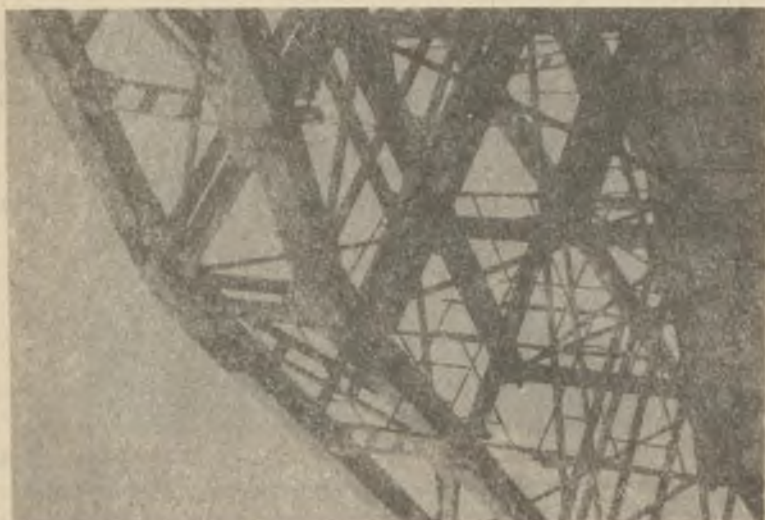
W obliczeniach przeprowadzonych dla wiaty w zakresie sprężystym przekroczenie wytrzymałości obliczeniowej wystąpiło w 20 prętach. Wartości naprężeń w tych prętach wynoszą:

Podciąg  $P_1$ :

Pręt nr	5 i 6	$\sigma = -3504 \text{ kg/cm}^2$
"	7 i 8	$\sigma = -2801 \text{ "}$
"	9 i 10	$\sigma = -2981 \text{ "}$
"	23 i 24	$\sigma = -2539 \text{ "}$
"	61	$\sigma = -2804 \text{ "}$
"	62	$\sigma = -2643 \text{ "}$

Podciąg  $P_2$ :

Pręt nr	7 i 8	$\sigma = -2338 \text{ kg/cm}^2$
---------	-------	----------------------------------



Rys. 6. Węzły środkowej części więzara



Rys. 5. Węzeł podporowy i węzeł zakotwienia ciągła

Wiązary  $A_3$ :

Pręt nr 81 -  $\sigma = +2370 \text{ kg/cm}^2$ .

Obliczenia w zakresie sprężysto-plastycznym wykonano dla trzech etapów obciążenia, a mianowicie:

- I etap - obciążenie stałe i śnieg ( $149 \text{ kg/m}^2$ ),
- II etap - obciążenie stałe, śnieg i połowa obciążenia wiatrem ( $198 \text{ kg/m}^2$ ),
- III etap - obciążenie stałe, śnieg i całe obciążenie wiatrem ( $247 \text{ kg/m}^2$ ).

W wyniku I etapu obciążenia w podciągu  $P_1$  pręty nr 5 i 6 osiągnęły  $\sigma = -2230 \text{ kg/cm}^2$  zostały wyłączone z dalszej pracy.

W wyniku II etapu obciążenia z dalszej pracy wyłączone zostały w podciągu  $P_1$  kolejne pręty, a mianowicie:

pręt nr 61 przy  $\sigma = -2226 \text{ kg/cm}^2$

" nr 62 "  $\sigma = -2209$  "

" nr 156 "  $\sigma = -2189$  "

a w podciągu  $P_2$  - pręty nr 7 i 8 przy  $\sigma = -2105 \text{ kg/cm}^2$ .

W wyniku III etapu obciążenia w wiązarach  $A_3$  pręty nr 81 osiągnęły wytrzymałość obliczeniową  $\sigma = +2203 \text{ kg/cm}^2$ . Po III etapie obciążenia w 16 prętach układu naprężenia zostały wyrównane przy równoczesnym podwyższeniu naprężeń w tych prętach, których przekroje nie były w pełni wykorzystane.

W rozważanym układzie potraktowano obciążenia śniegiem i wiatrem jako zmienne tylko w czasie, bez zmiany położenia. W związku z powyższym ocena przystosowania konstrukcji po pierwszym cyklu obciążenia wymaga jedynie nałożenia na pola sił odpowiadających częściowemu uplastycznieniu konstrukcji - pola sił dla sprężystego odciążenia.



Rys. 7. Prasa hydrauliczna



Rys. 9. Obciążenie węzła płytkami żelbetonowymi



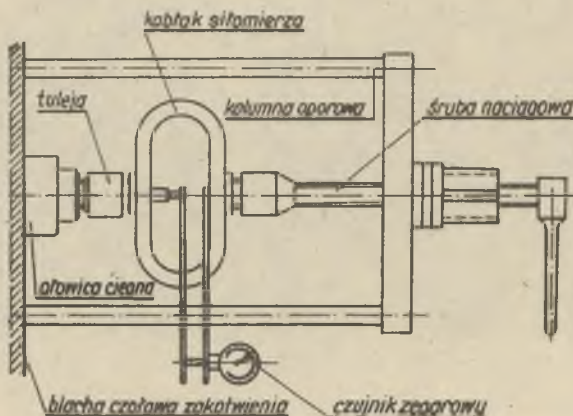
Rys. 8. Naciąg śrubowy

Największe ugięcie pionowe układu obliczone dla obciążeń charakterystycznych wyniosło 23,2 cm przy  $f_{dop} = 22,7$  cm.

Konstrukcja charakterystycznych węzłów kratownic przekrycia przedstawiona jest na rys. 5 i 6. Sprężanie kratownic przeprowadzone zostało przez Instytut Budownictwa Politechniki Krakowskiej. Sprężano je za pomocą prasy hydraulicznej pokazanej na rys. 7. Wiązary sprężane były poza obrębem lodowiska na poziomie terenu, natomiast podciągi na wysokości około 11 m po ich przednim zabudowaniu.

Montaż głównych elementów przekrycia poprzedzony został badaniami poligenowymi dwóch wiązarów przeprowadzonymi jesienią 1975 r. na terenie sztucznego lodowiska. Badania miały na celu sprawdzenie wiązarów w zakresie sprężystym przy przejmowaniu obciążeń eksploatacyjnych. Badaniami objęte zostały wiązary  $A_1$  i B (skrajny i pośredni) o różnej nośności połączone w jeden blok za pomocą tężników. Siły wewnętrzne oraz przemieszczenia wiązarów obliczono jak dla układów jednokierunkowych.

Badane wiązary obciążano w dwóch etapach, najpierw siłami sprężającymi, a następnie siłami zewnętrznymi. Siły zewnętrzne w wiązarze  $A_1$  wywołane zostały naciągami śrubowymi sprężonymi z siłomierzami (rys. 8). Natomiast wiązark B obciążono płytami żelbetowymi (rys. 9). Wiązark  $A_1$  sprężono siłą  $S_0 = 35$  T i obciążono siłami  $P = 5$  T w siedmiu węzłach (co trzeci węzeł), natomiast wiązark B sprężono siłą  $S_0 = 45$  T i obciążono siłami  $P = 5,7$  T w dwunastu węzłach (co drugi węzeł). W obydwu etapach dokonano pomiarów przemieszczeń pionowych ( $f$ ) węzła środkowego, przemieszczeń poziomych ( $\delta$ ) podpory ruchomej oraz odkształceń jednostkowych ( $\epsilon$ ) w charakterystycznych prętach badanych wiązarów. Przyrosty siły sprężającej ( $\Delta S$ ) wywołane obciążeniem zewnętrznym zmierzono siłomierzem kabłąkowym, przemieszczenia pionowe i poziome ugięciomierzem, a odkształcenia jednostkowe aparaturą tensometryczną. Na uwagę zasługuje pomiar przyrostu si-



Rys. 10. Schemat siłomierza kabłąkowego



ły sprężającej za pomocą siłomierza kabłąkowego, którego schemat pokazany jest na rys. 10. Siłomierz umieszczony wewnątrz kolumny eporowej połączony jest poprzez tuleję z głowicą ciągną sprężającego. Za pomocą ąruby naciągowej ciągną wydłuża się z równoczesnym odkształceniem kabłąka. Odsunięcie głowicy ciągną od blachy czołowej zakotwienia wskazuje na to, że wywołane odkształcenie kabłąka odpowiada sile w ciągnie sprężającym. Wartość tej siły odczytać można na odpowiednio wycechowanym czujniku zegarowym. Pomiar siły charakteryzuje się dużą prostotą, jest łatwy w realizacji i wykazuje stosunkowo dużą dokładność. Pomiar siły sprężającej przeprowadzony został przez Instytut Budownictwa Politechniki Krakowskiej.

Poniżej zestawiono wyniki otrzymane z obliczeń statycznych oraz wyniki otrzymane z badań.

## ETAP I

Przemieszczenia

Więzar A <sub>1</sub>		Więzar B	
f =	- 8,5 cm - obliczone	f =	- 5,6 cm - obliczone
	- 7,4 cm - zmierzone		- 4,8 cm - zmierzone
δ =	- 3,9 cm - obliczone	δ =	- 2,8 cm - obliczona
	- 3,4 cm - zmierzone		- 2,4 cm - zmierzone

Siły osiowe

Więzar A <sub>1</sub>		Więzar B	
pas górny nr 7	- 12,86 T - obl. - 11,90 T - zm.	pas górny nr 7	- 23,89 T - obl. - 21,50 T - zm.
pas dolny nr 35	- 59,60 T - obl. - 55,50 T - zm.	pas dolny nr 35	- 66,92 T - obl. - 60,40 T - zm.
krzyżulec nr 71	- 4,34 T - obl. - 3,90 T - zm.	krzyżulec nr 71	- 7,69 T - obl. - 6,50 T - zm.
krzyżulec nr 80	- 13,52 T - obl. - 11,90 T - zm.	krzyżulec nr 80	- 18,08 T - obl. - 14,80 T - zm.

## ETAP II

Przemieszczenia i przyrosty siły sprężającej

Więzar A <sub>1</sub>		Więzar B	
f =	+ 23,6 cm - obl.	f =	+ 23,2 cm - obl.
	+ 20,5 cm - zm.		+ 20,2 cm - zm.

$$\delta_m = \begin{aligned} &+ 6,9 \text{ cm} - \text{obl.} \\ &+ 6,0 \text{ cm} - \text{zm.} \end{aligned}$$

$$\Delta S = \begin{aligned} &38,94 \text{ T} - \text{obl.} \\ &33,70 \text{ T} - \text{zm.} \end{aligned}$$

$$\delta_m = \begin{aligned} &+ 6,5 \text{ cm} - \text{obl.} \\ &+ 5,6 \text{ cm} - \text{zm.} \end{aligned}$$

$$\Delta S = \begin{aligned} &74,09 \text{ T} - \text{obl.} \\ &64,80 \text{ T} - \text{zm.} \end{aligned}$$

### Siły osiowe

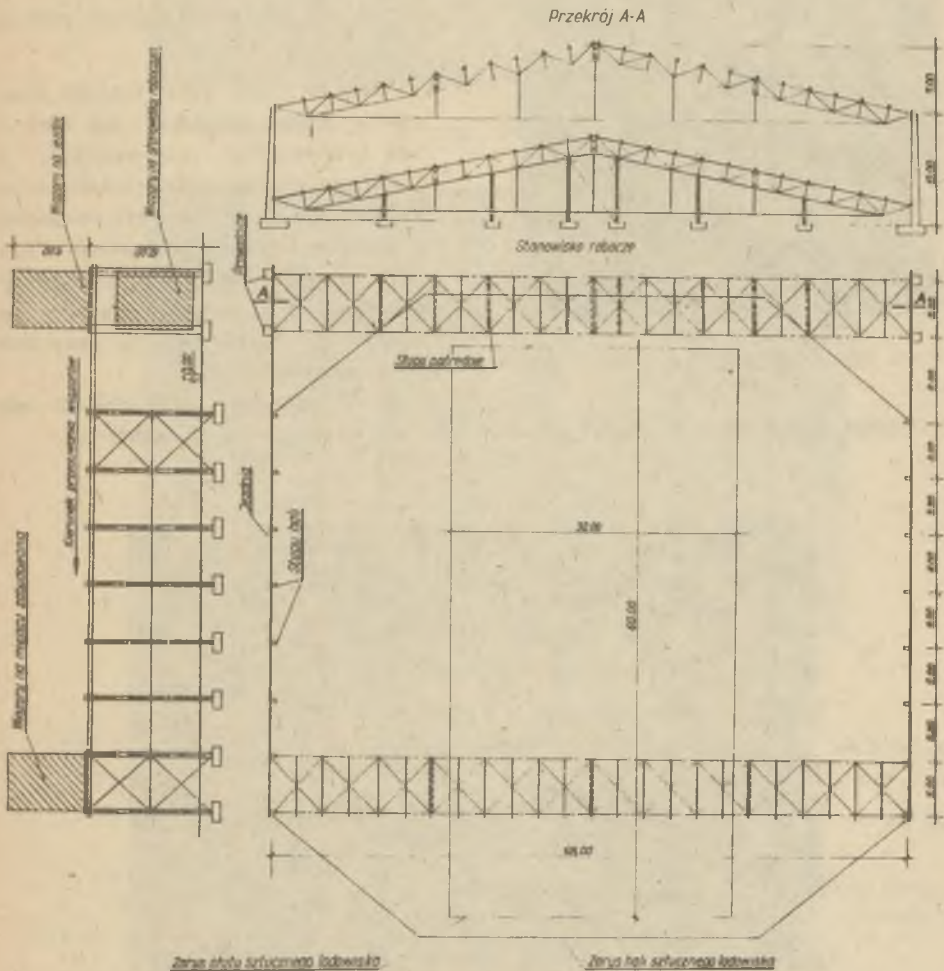
	Więzar A <sub>1</sub>		Więzar B
pas górny nr 7	- 82,72 T - obl.	pas górny nr 7	- 132,89 T - obl.
	- 76,50 T - zm.		- 120,50 T - zm.
pas dolny nr 35	+ 17,50 T - obl.	pas dolny nr 35	+ 6,40 T - obl.
	+ 15,50 T - zm.		+ 5,90 T - zm.
krzyżulec nr 71	- 19,28 T - obl.	krzyżulec nr 71	- 28,53 T - obl.
	- 15,60 T - zm.		- 23,40 T - zm.
krzyżulec nr 80	- 11,85 T - obl.	krzyżulec nr 80	- 23,51 T - obl.
	- 9,30 T - zm.		- 21,50 T - zm.

Porównanie wyników obliczonych i doświadczalnych wskazuje na to, że rzeczywista nośność badanych więzarów jest większa od nośności otrzymanej z obliczeń statycznych. Obliczone przyrosty sił sprężających oraz przemieszczenia pionowe i poziome są mniejsze około 15%, a siły osiowe 8÷28%. Różnice te spowodowane zostały przede wszystkim współpracą tężników z więzarami, czego nie uwzględniono w obliczeniach statycznych. Niekorzystne dla badań tensometrycznych warunki poligonowe uwidoczniły się w niektórych prętach w dość dużej rozbieżności pomiędzy siłami obliczonymi i doświadczalnymi. Więzary liczone jako ustroje płaskie, a w rzeczywistości stanowiły one łącznie z tężnikami blok przestrzenny. Nie uwzględniono również w obliczeniach zwiększonej sztywności kratownicy spowodowanej blachami węzłowymi.

Duża rozpiętość więzarów głównych oraz istniejąca płyta sztucznego lodowiska nie pozwoliły na przeprowadzenie montażu sposobem tradycyjnym za pomocą dźwigu pracującego w obrębie wznoszonej hali. Zastosowanie natomiast dwóch dźwigów pracujących poza obrębem płyty sztucznego lodowiska i oddalonych od siebie przeszło 70 m nie zapewniało bezpiecznego montażu. Montaż głównych więzarów trzeba więc było zrealizować w sposób specjalny [3], przystosowany do miejscowych warunków terenowych (rys. 11). W tym celu poza obrębem płyty sztucznego lodowiska wykonano stanowisko robocze, na którym z elementów wysyłkowych zamontowano blok składający się z jednej pary więzarów połączonych płatwiami, tężnikami i fragmentami podciągów.

Stanowisko robocze przedstawione na rys. 11 i 12 składa się z 4 prowadnic oraz pośrednich podpór. Całość wykonana została w konstrukcji stalowej.

Po wstępnym sprzężeniu pierwsza para wiązarów została próbnie obciążona i zbadana. Następnie za pomocą 4 podnośników blok podniesiony został na wysokość jezdni zamocowanej do prowadnic i szupów hali. W kolejnej fazie montażu zblokowaną parę wiązarów przesunięto ręcznymi wciągarkami na miejsce zabudowania. W ten sam sposób montowano pozostałe pary wiązarów. Ciężar skrajnych bloków wynosi około 35 T, zaś pośrednich około 25 T. Do podnoszenia wiązarów wykorzystano podnośniki hydrauliczne o udźwigu 25 T i



Rys. 11. Montaż głównych wiązarów przekrycia



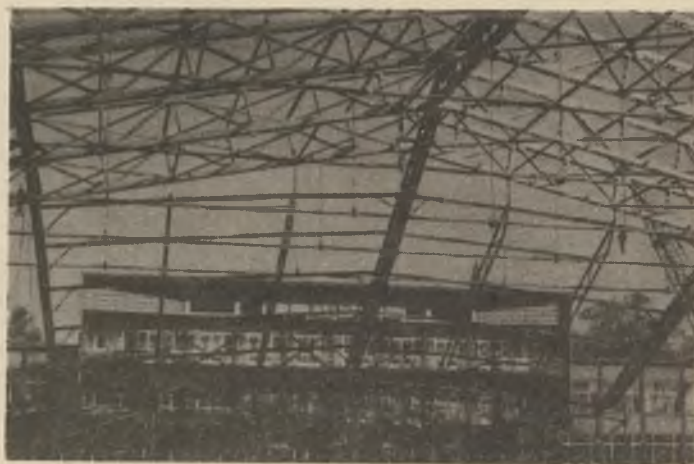
Rys. 12. Fragment stanowiska roboczego

skoku 15 cm. Po przesunięciu na miejsce zabudowania 4 bloków przystąpiono do montażu pozostałych elementów konstrukcji, a mianowicie:

- 1) fragmentów podciągów, płatwi i stężeń w przedziałach międzyblokowych,
- 2) fragmentów podciągów, więzarów, płatwi i stężeń niższej części hali,
- 3) cięgien sprężających podciągów.

Montaż wyżej wymienionych elementów przeprowadzono już sposobem tradycyjnym, korzystając z lekkiego dźwigu oraz wielokrządków zamocowanych do głównych więzarów. Z lekkiego dźwigu korzystano również przy montowaniu z elementów wysiękowych głównych więzarów na stanowisku roboczym oraz przy montażu słupów hali.

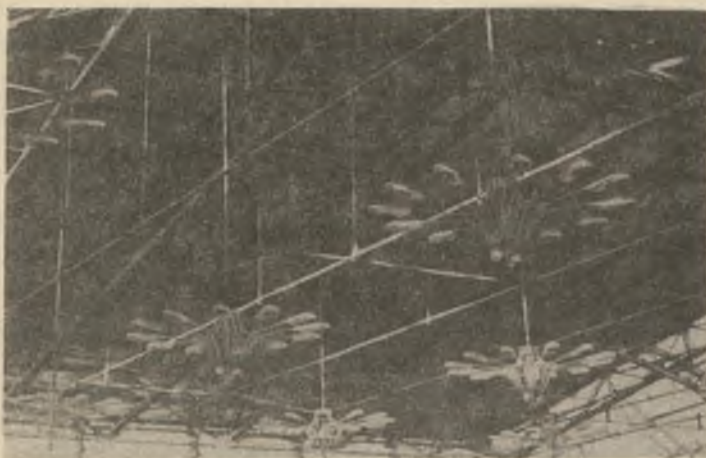
Na rysunkach 13-15 pokazano konstrukcję przekrycia w czasie montażu oraz po ułożeniu płyt dachowych.



Rys. 13. Fragment konstrukcji przekrycia w czasie montażu



Rys. 14. Fragment dachu z płytami dwupowłokowymi na niższej części hali



Rys. 15. Fragment przekrycia wyższej części hali

Zaprojektowanie przekrycia sztucznego lodowiska w układzie dwukierunkowym z kratownicami wstępnie sprężonymi przyniosło następujące korzyści:

1. Otrzymano konstrukcję lekką zużywając 52 kg stali na 1 m<sup>2</sup> rzutu hali.
2. Obciążenie z dachu rozłożono równomiernie na wszystkie słupy hali.
3. Podwyższono stopień statycznej niewyznaczalności układu, co pozwoliło na skorzystanie z plastycznego wyrównania naprężeń.

Przy zmienionych warunkach obciążeniowych (wiata) i ograniczeniu się w obliczeniach do zakresu sprężystego, konstrukcję należałoby odpowiednio wzmocnić, co byłoby związane z dodatkowymi kosztami zarówno materia-

łowymi jak i wykonawczymi. tym bardziej, że konstrukcja przekrycia była już zabudowana. Dzięki przeliczeniu konstrukcji w zakresie sprężysto-plastycznym wzmocnienie okazało się zbyteczne przy zachowaniu wymaganego współczynnika pewności.

Jak widać z powyższego, plastyczne wyrównanie naprężeń daje również pewne oszczędności w stali w ustrojach kratowych statycznie niewyznaczalnych, ponieważ prawie w każdej konstrukcji kratowej, poprawnie zaprojektowanej, będą pręty o nie wykorzystanym przekroju podyktowane względami konstrukcyjnymi i asortymentowymi.

Przeprowadzone badania poligonowe wykazały, że zaprojektowane więzary spełniają wymagane warunki wytrzymałości, statyczności oraz sztywności i pozwoliły na zabudowanie ich przy realizacji przekrycia sztucznego lodowiska "Toropol" w Opolu.

#### LITERATURA

- [1] Bogucki W.: Budownictwo Stalowe, część 1, Arkady, Warszawa 1976.
- [2] Zawada S.: Hala sztucznego lodowiska "TOROPOL" w Opolu, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Z. 41, Gliwice 1976.
- [3] Zawada S.: Montaż stalowej konstrukcji przekrycia hali sztucznego lodowiska "TOROPOL" w Opolu, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Z. 41, Gliwice 1976.

#### ПЕРЕКРЫТИЕ ЗАЛА ИСКУССТВЕННОГО ЗАКРЫТОГО КАТКА "ТОРОПОЛ" В ГОРОДЕ ОПОЛЕ

##### Р е з ю м е

В статье рассматривается перекрытие зала искусственного закрытого катка "Торопол" в городе Опеле. Несущие конструкции изготовлены из стальных стропил и балок, работающих в двунаправленной системе. Так стропила, как и балки выполнены в виде плоских ферм предварительно сжатых работающих по принципу арки с тягой. Приводятся тоже полигонные исследования двух стропил, а также приводится способ монтажа основных элементов несущих без применения балок.

#### A SKATING RINK COVER FOR THE "TOROPOL" IN OPOLE

##### S u m m a r y

The cover of the "Toropol" skating rink in Opole has been discussed. The supporting frame has been made of steel trusses and joists two-directionally loaded. Both the trusses and joists are in the shape of flat latticework and prestressed working on the principle of an arch with a stay. Field tests have also been discussed of two trusses and assembling without cranes of the bearing elements presented.