

ZASTOSOWANIE ELASTOPTYKI DO KSZTAŁTOWANIA GŁOWICY ZAPORY FILAROWEJ*)

ROMAN S. DOROSZKIEWICZ, JERZY LIETZ, BOGDAN MICHAŁSKI
(WARSZAWA)

1. Zastosowanie metod elastoptycznych do kształtowania zapór wodnych

Przy projektowaniu zapór korzysta się od dawna i w bardzo szerokim zakresie z modelowych badań doświadczalnych, a w szczególności z badań elastoptycznych. Można nawet powiedzieć, że badania modelowe zapór stały się klasyczną domeną zastosowań elastoptyki. Rodzaj i charakter prowadzonych badań jest uzależniony od rangi i typu projektowanej zapory i może być bardzo różny: od wycinkowych płaskich badań stanu naprężenia w pewnych wybranych częściach konstrukcji do badań pełnego stanu naprężenia w całej sekcji zapory na modelach trójwymiarowych. Przykładem tych ostatnich mogą być badania zapory brackiej [1] i [2]. Przykłady badań pierwszego typu spotykamy w literaturze często [3]÷ [7]. Należą do nich także badania stanu naprężenia w przekroju poprzecznym głowicy zapory filarowej opisanej w niniejszej pracy.

Przyczyn tak szerokiego wykorzystania modelowych metod doświadczalnej analizy naprężeń przy projektowaniu zapór szukać należy w charakterze tych konstrukcji. Po pierwsze zapory grawitacyjne i filarowe stanowiące w istocie ciężkie masywy betonowe o dość złożonym kształcie z galeriami kontrolnymi, komorami i przewodami wewnętrznymi są z reguły trudne do obliczenia wytrzymałościowego metodami analitycznymi, nawet przybliżonymi.

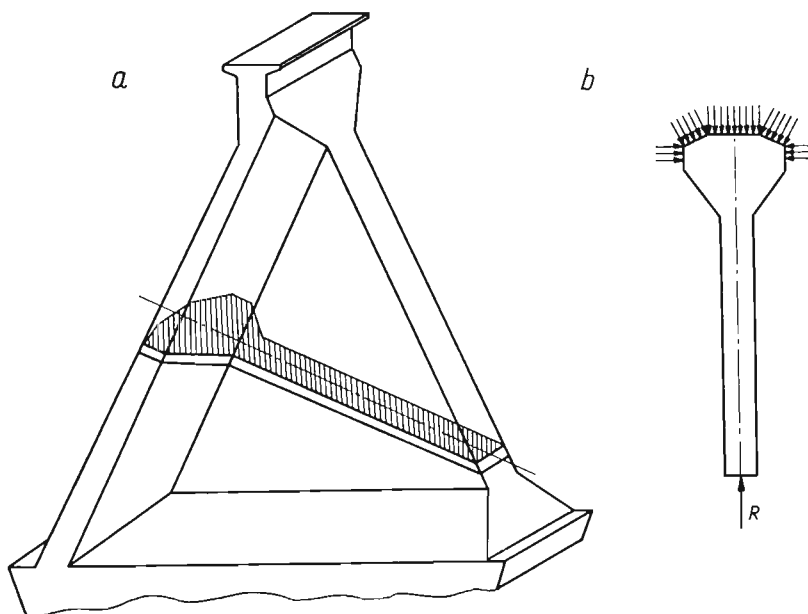
W tej sytuacji metody doświadczalnej analizy naprężeń pozostają głównym, a często nawet jedynym narzędziem wyznaczania stanu naprężenia w tych konstrukcjach. Po wtóre, budowle piętrzące należą do inwestycji bardzo kosztownych, są obiektami wymagającymi wielkich ilości materiałów budowlanych (betonu i stali) i często nawet zupełnie niewielka korekta kształtu zapory prowadzi do nader poważnych oszczędności. Po trzecie, w przypadku tak kosztownych inwestycji, jak zapory, koszt badań eksperymentalnych, choćby nawet o najszerszym programie, stanowi zawsze jedynie niewielki ułamek ogólnych kosztów projektowanej inwestycji, zaś korzyści wypływające z tych badań mogą okazać się bezsporne i wielokrotnie przewyższając poniesione wydatki. Wiadomo w końcu, jak poważnymi konsekwencjami grozi katastrofa zapory. Stąd też od budowli tych wymagamy szczególnie wysokiego współczynnika pewności i stąd też wypływa znaczenie możliwie dokładnego poznania naprężeń w tych konstrukcjach.

*) Praca została wyróżniona trzecią nagrodą w roku 1972 na konkursie PTMTS na prace doświadczalne organizowanym przez Oddział Częstochowski Towarzystwa.

2. Modelowe badanie głowicy zapory filarowej

2.1. Cel i zakres badań. Wymienione we wstępie przyczyny skłoniły do oparcia się na wynikach pomiarów elastoptycznych przy projektowaniu głowicy piętrzącej jednej z zapór filarowych w Polsce.

Jakkolwiek zaporą filarową (rys. 1a) jest konstrukcją typowo przestrzenną i rozkład naprężeń w sekcji zapory jest trójwymiarowy, to jednak stan naprężenia w pewnych jej częściach można badać z dobrym przybliżeniem na modelach płaskich. Dotyczy to w szczególności badania rozkładu głównych naprężeń poziomych na ścianie odwodnej, które decydują o kształcie głowicy piętrzącej zapory. Sporządzić można tutaj model płaski, będący odwzorowaniem części wydzielonej z korpusu zapory dwiema bliskimi płaszczyznami równoległymi, prostopadłymi od ściany odwodnej (rys. 1a). Obciążenie przyłożyć trzeba na brzegu odwodnym w sposób równomierny (rys. 1b), modelując parcie



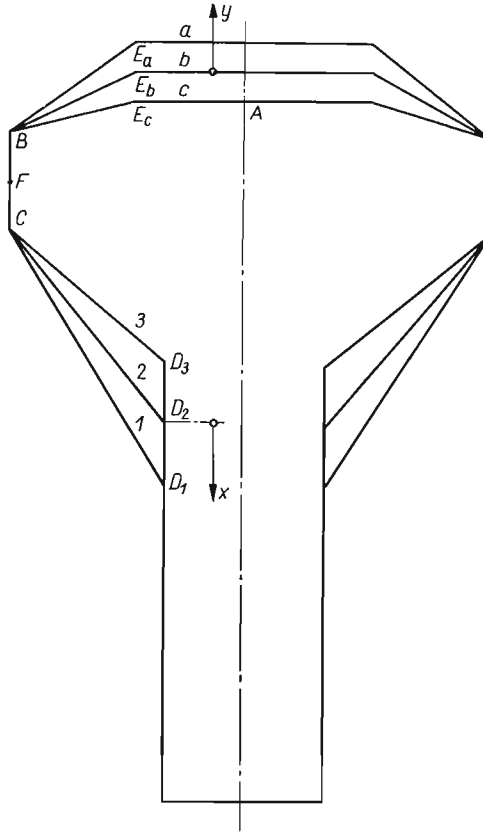
Rys. 1

hydrostatyczne wody. Wypadkową tego parcia równoważymy reakcją R przyłożoną możliwie z dala od głowicy, co oczywiście nie odpowiada rzeczywistemu schematowi statycznemu, gdyż w konstrukcji przestrzennej parcie hydrostatyczne równoważone jest naprężeniami stycznymi na powierzchniach tak wydzielonego obszaru płaskiego. Pozostaje to jednak bez większego znaczenia dopóki analizę naprężeń ograniczamy do strefy przy odwodnej ścianie głowicy.

Przy ustalaniu kształtu głowicy zapory piętrzącej stawia się warunek, żeby na brzegu odwodnym nie występowały naprężenia rozciągające wywołane parciem hydrostatycznym.

Prowadzone przez autorów badania nie ograniczały się do wyznaczenia stanu naprężenia na brzegu odwodnym głowicy dla zaprojektowanego kształtu, lecz miały szerszy

zakres. Zbadano mianowicie, jaki wpływ na stan naprężenia ma zmiana kształtu przekroju oraz jaki kształt można uznać za optymalny. W tym celu zbadano dziewięć różnych wariantów ukształtowania głowicy (patrz rys. 2), o których będzie mowa w rozdziale 4 poświęconym optymalizacji.



Rys. 2

2.2. Sposoby realizacji obciążenia równomiernie rozłożonego. W elastoptycznych badaniach modelowych realizacja równomiernego obciążenia brzegu modelu nastęrcza zazwyczaj pewne trudności.

Najprostszym jej sposobem jest zastąpienie obciążenia równomiernego układem sił skupionych. Ten sposób prosty w realizacji bywa stosowany wówczas, gdy przedmiotem analizy jest stan naprężenia w strefie dostatecznie oddalonej od obciążonego brzegu.

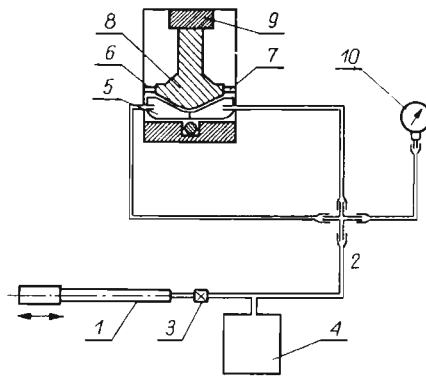
Lepsze wyniki uzyskać można przez zastosowanie mechanicznego układu dźwigniowego, który działa na brzeg modelu za pośrednictwem miękkich, elastycznych podkładek. Jednak i w tym przypadku nieuniknione są pewne lokalne nierównomierności obciążenia uniemożliwiające dokładną analizę naprężeń na obciążonym brzegu.

Najbardziej równomierny rozkład obciążenia uzyskać można przez zastosowanie specjalnych pneumatycznych lub hydraulicznych urządzeń obciążających. Ten sposób obciążenia bywa jednak rzadko stosowany w praktyce badań elastoptycznych, gdyż

wymaga on przeważnie budowy specjalnego urządzenia dla każdego kształtu modelu. Cennymi zaletami pneumatycznych i hydraulicznych urządzeń obciążających są: płynne przykładanie obciążeń, możliwość obciążenia załamanych i krzywoliniowych powierzchni modelu oraz stosunkowo niewielkie wymiary.

W literaturze technicznej znaleźć można opisy hydraulicznych urządzeń obciążających do równomiernego obciążania brzegów prostoliniowych oraz otworów okrągłych. Brak natomiast dotychczas hydraulicznych lub pneumatycznych urządzeń umożliwiających obciążanie brzegów o innym kształcie. Wobec tego autorzy zaprojektowali i wykonali hydrauliczne urządzenia do równomiernego obciążenia załamanych brzegów modelu o różnym ukształtowaniu, do obciążenia liniowo zmiennego i do obciążenia brzegów modelu o zarysie krzywoliniowym.

Najbardziej uniwersalny charakter spośród tych urządzeń ma pneumatyczne urządzenie obciążające, którego schemat działania jest przedstawiony na rys. 3. Urządzenie to



Rys. 3

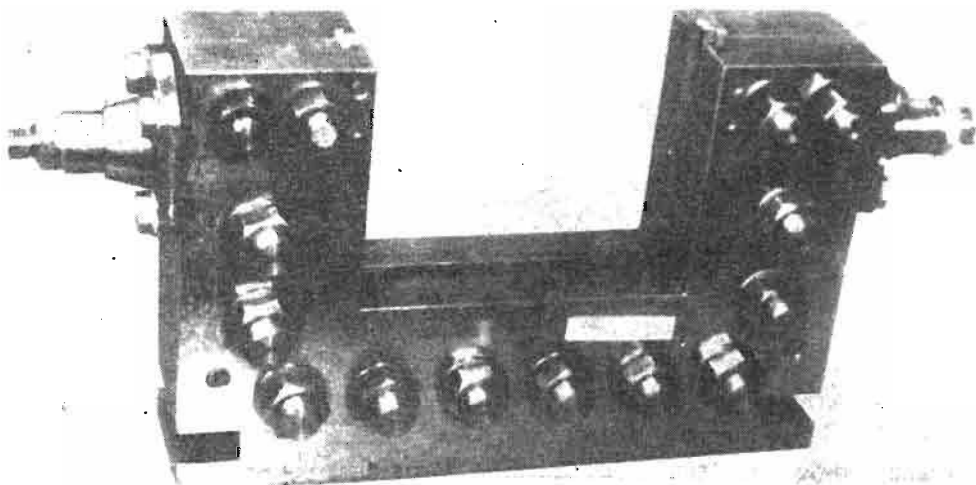
umożliwia równomierne obciążenie brzegu modelu wykonanego ze sprężystego materiału elastooptycznego o wysokiej czułości. Model (8) umieszczony jest pomiędzy dwiema płytkami ze szkła organicznego. Równomierne obciążenie brzegu modelu uzyskiwane jest za pomocą jednego lub dwóch baloników (6) z bardzo cienkiej gumy, poddanych ciśnieniu powietrza do $0,3 \text{ MN/m}^2$. Ograniczenie strefy działania obciążenia uzyskano za pośrednictwem dwóch zasuwek (7) przylegających do modelu. Górny brzeg modelu jest oparty na poziomej poprzeczce (9), której położenie można zmieniać. Ułatwia to kompensację przemieszczenia modelu skutkiem odkształceń. Powietrze tłoczone jest pompą tłokową (1), zaopatrzoną w zawór zwrotny (3) przewodami (2) do balonika (6), który pełni rolę elementu obciążającego. Zbiornik o pojemności około jednego litra (4) umieszczony bezpośrednio za pompą zapewnia ciągle narastanie ciśnienia, które mierzone jest manometrem (10). W układzie umieszczony jest również model skalujący (5), wykonany z tego samego materiału, co i badany model (8). Stanowi go tarcza kołowa ściskana wzdłuż średnicy.

Takie urządzenie pneumatyczne może być stosowane do obciążenia różnie ukształtowanych brzegów modelu, również krzywoliniowych. Jego ujemną stroną jest to, że nie pozwala na realizację dużych ciśnień. Poza tym stosować je można tylko do obciążenia modeli wykonanych z materiałów specjalnych o niskim module sprężystości i wysokiej

czułości optycznej. Modele te wykazują znaczne odkształcenia, co pogarsza dokładność wyników.

Większe obciążenia zrealizować można przy zastosowaniu hydraulicznych urządzeń obciążających.

W badaniach modelu głowicy zapory głównym przedmiotem zainteresowania nie był stan naprężenia w głębi modelu, lecz wartości naprężeń na obciążonym brzegu. Wobec wymagania znacznej dokładności wyników należało stosować modele z normalnych, sztywnych materiałów elastoptycznych. Zastosowano więc hydrauliczne urządzenie obciążające, przedstawione na rys. 4. Zasada jego działania widoczna jest na schemacie pokazanym na rys. 5. Urządzenie składa się z dwuczęściowego korpusu (1), w którym wyprofilowany jest odpowiedni kanał (2). Do kanału tego wprowadzona jest cienkościenna rurka gumowa (3) zamknięta odpowiednimi zaworami (4).

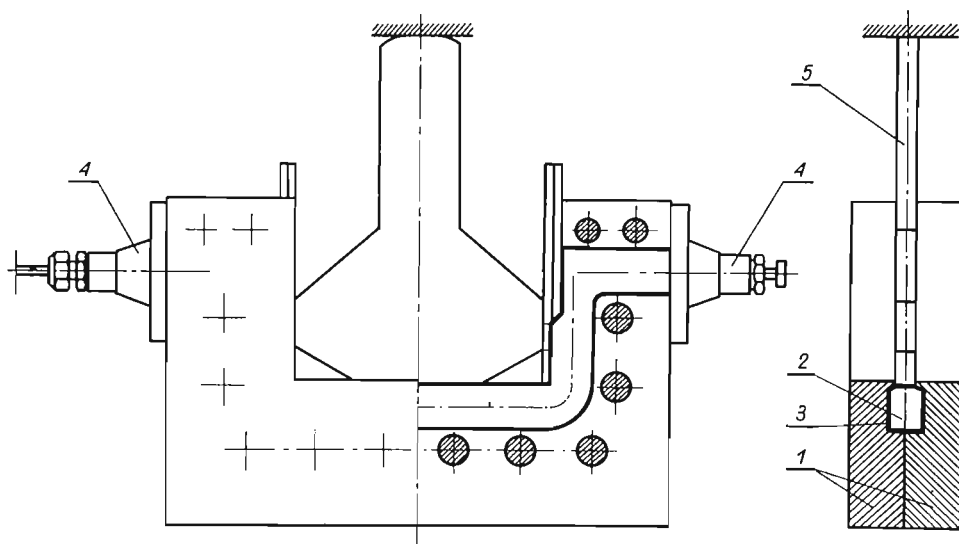


Rys. 4. Hydrauliczne urządzenie obciążające

Do rurki wprowadzony zostaje pod odpowiednim ciśnieniem olej, który poprzez szczelinę w korpusie wywiera równomierny nacisk na model (5). Powinien on wchodzić do szczeliny z luzem około 0,1 mm na ściśle określonej głębokości. Wysuwanie się dolnej krawędzi modelu w czasie obciążania, będące wynikiem jego odkształceń oraz luzów i odkształceń w całym układzie obciążającym, należy kompensować. Dokonywane jest to ręcznie drogą pokręcania widocznych na zdjęciu (rys. 6) śrub przesuwających górną podporę modelu. Można w ten sposób również poprawić symetrię obrazu elastoptycznego, a więc i obciążenia.

2.3. Pomiary elastoptyczne. Ze wstępnej analizy zagadnienia wynika, że niepożądane naprężenia rozciągające przy zmianie ukształtowania sekcji zapory zaczynają najpierw pojawiać

się pośrodku brzegu odwodnego. Wartość naprężeń ściskających w tym punkcie jest miarą pewności, że w konstrukcji nie występują rozciągania. Wartości naprężeń w środku brzegu odwodnego stanowią zatem punkt wyjścia przy wyborze kształtu przekroju poprzecznego głowicy najkorzystniejszego z punktu widzenia bezpieczeństwa i ekonomii. Z tego też względu w punkcie tym trzeba szczególnie dokładnie określać wartości naprężeń.



Rys. 5

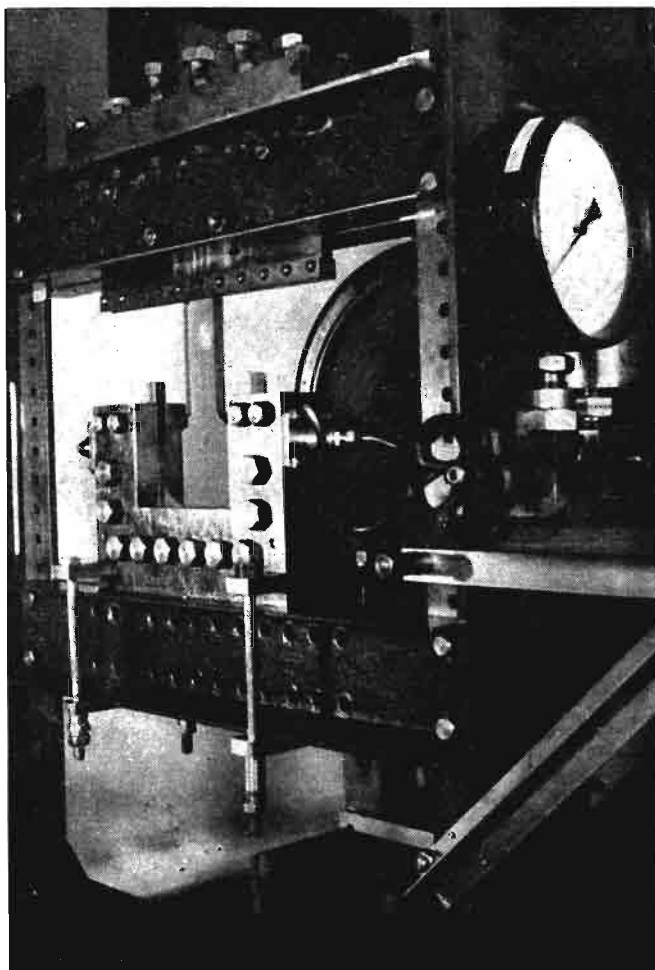
Metoda powierzchniowa opierająca się na analizie izochrom nie zapewnia wymaganej dokładności, zwłaszcza przy zaobserwowanej konfiguracji izochrom. W związku z tym zastosowano sposób określania rzędu izochromy metodą kompensacji goniometrycznej. Przyjęto najpraktyczniejszą w tym przypadku metodę kompensacji goniometrycznej Tardy'ego i dla każdego modelu przeprowadzono serię pomiarów kompensacyjnych w środku obciążonego brzegu.

Niezależnie ustalono kompensacyjnie średnią wartość rzędu izochromy w części prostokątnej modelu, w przekroju leżącym pomiędzy podporą a głowicą. Określono z tego wypadkową parcia hydrostatycznego dokładniej niż na podstawie wskazań manometru.

Stanowisko badawcze wraz z modelem widoczne jest na rys. 6. Hydrauliczne urządzenie obciążające przymocowane jest do belki ramy obciążającej i zasilane olejem tłoczonym pompą śrubową.

Ponieważ stosowane urządzenie hydrauliczne dawało obciążenie na konturze prostokątnym, a poszczególne modele miały różne skosy po stronie obciążonej, skosy te wypełniono klinami odpowiedniego kształtu.

Modele do badań wycięto z arkusza żywicy epoksydowej typu Epidian o module sprężystości podłużnej $E = 3300 \text{ MN/m}^2$ i stałej materiałowej $K = 1,1 \text{ MN/m}^2$ rz. izochr.



Rys. 6. Stanowisko badawcze

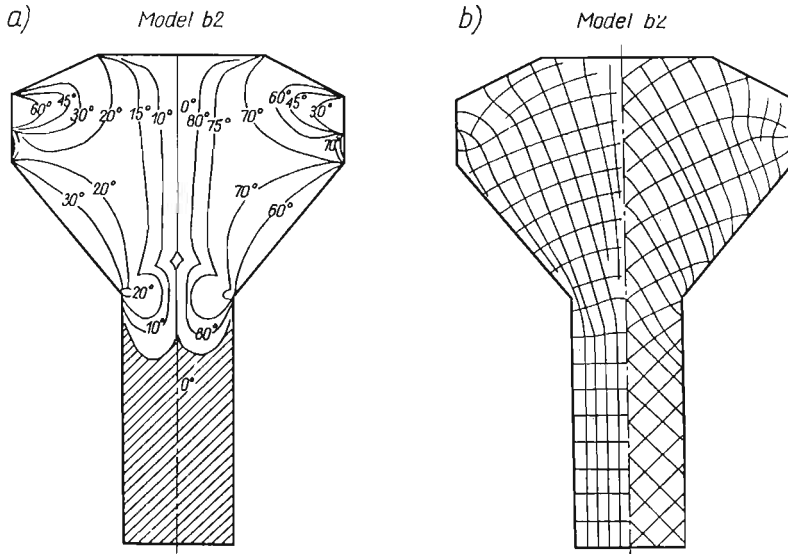
3. Wyniki pomiarów elastoptycznych

Na podstawie otrzymanych zdjęć izoklin sporządzono zestawieniowe wykresy izoklin (rys. 7a) oraz wykresy trajektorii naprężeń głównych i maksymalnych stycznych (rys. 7b).

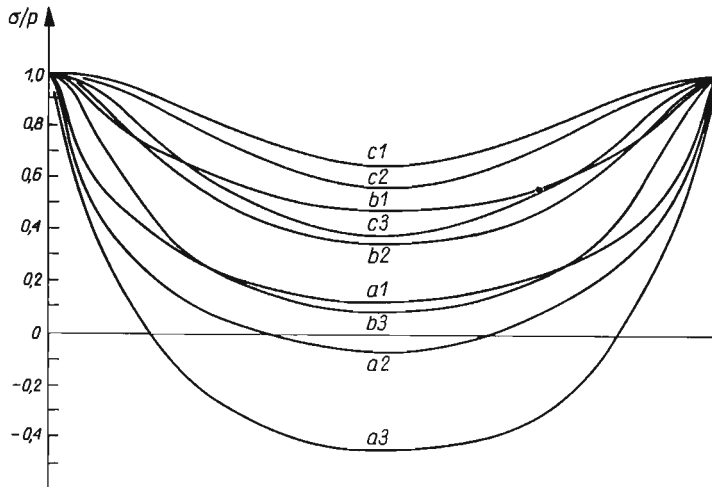
Zestawienie zdjęć izochrom dla wszystkich zbadanych modeli przedstawiono na rys. 9.

W oparciu o wykresy izochrom i wartości efektów optycznych, zmierzone metodą kompensacji, sporządzono zestawieniowe wykresy naprężeń brzegowych dla środkowej części brzegu odwodnego zapory (rys. 8). W dalszym ciągu rozpatrywać będziemy jedynie ekstremalną wartość naprężenia brzegowego po stronie odwodnej (punkt *A* rys. 2) oznaczając je przez σ . Posługiwac się będziemy bezwymiarową wartością naprężenia odnosząc ją do obciążającego ciśnienia hydrostatycznego p .

Analiza otrzymanych wykresów naprężeń brzegowych pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków jakościowych. Wielkość skosu *BE* po stronie odwodnej (rys. 2) ma znacznie większy wpływ na wartości naprężeń brzegowych aniżeli wielkość skosu *CD* po



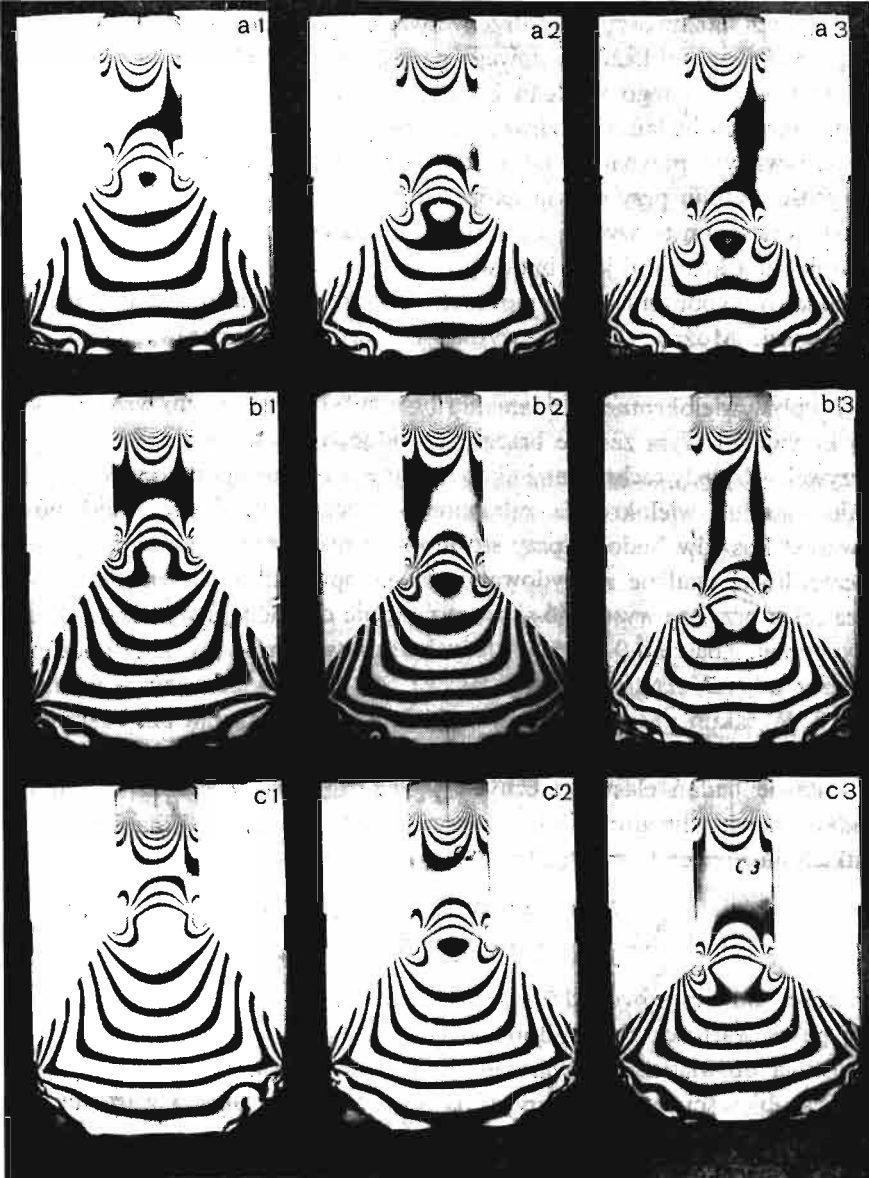
Rys. 7



Rys. 8

stronie odpowietrznej. W przypadku modeli o niewielkim skosie po stronie odwodnej (wariant *c*) konieczna jest stosunkowo znaczna wysokość skosu głowicy po stronie odpowietrznej, aby na brzegu odwodnym nie występowały naprężenia rozciągające. Wynika stąd, że przy projektowaniu głowicy zapory główny nacisk położyć trzeba na należyte ukształtowanie skosu ściany odwodnej.

Celem dokładnego zbadania wpływu zmiany wielkości obu skosów na wartości naprężeń brzegowych i wyznaczenia optymalnych parametrów głowicy zapory przeprowadzono analizę optymalizacyjną, opisaną w następnym rozdziale.



Rys. 9. Zestawienie zdjęć izochrom

4. Optymalizacja kształtu głowicy zapory¹⁾

Podstawowym problemem przy optymalizacji kształtu jakiejkolwiek konstrukcji jest wybór właściwego kryterium optymalizacji i zmiennych parametrów kształtu. W praktyce nie ma bowiem ani możliwości, ani potrzeby uwzględnienia zmiany zbyt wielu parametrów: wprowadzenie zmienności każdego nowego parametru pociąga za sobą kilkakrotne zwiększenie liczby badań i z tego względu konieczny jest zawsze pewien kompromis między pożądanym zakresem badań a możliwościami technicznymi.

W rozpatrywanym przypadku jako kryterium kształtowania przyjęto warunek minimalnej objętości betonu przy stałym naprężeniu poziomym w środku brzegu odwodnego $\sigma/p = \text{const}$. Kryterium to wydaje się słuszne ze względu na bezpośredni związek między kubaturą obiektu a kosztami jego budowy.

Jeśli chodzi o wybór zmiennych parametrów kształtu przekroju istnieje cała gama różnych możliwości. Można zmieniać wysokość i szerokość skosów, wysokość głowicy, to jest odcinka głowicy prostopadłego do brzegu odwodnego (odcinek BC na rys. 2), analizować wpływ wielokrotnego załamania brzegu odwodnego, lub wreszcie wprowadzić głowicę o krzywoliniowym zarysie brzegu odwodnego i pokusić się o wyznaczenie optymalnej krzywej. Względy techniczne i ekonomiczne przemawiają przeciwko wprowadzeniu krzywoliniowego lub wielokrotnie załamanego brzegu odwodnego, gdyż powoduje to znaczny wzrost kosztów budowy przy stosunkowo nieznacznej oszczędności betonu.

Po szczegółowej analizie zdecydowano się na optymalizację względem dwóch parametrów, za jakie przyjęto wysokość skosu po stronie odwodnej i wysokość skosu po stronie odpowietrznej. Zbadano 9 modeli, których kształty określa rys. 2. Oznaczono je odpowiednio przez $a1, a2, a3, b1, b2, b3, c1, c2, c3$. Obrazy izochrom w modelach przedstawia rys. 8. W takim układzie centralne miejsce zajmuje kształt $b2$. Przyrosty długości skosów względem $b2$ oznaczono przez x po stronie odpowietrznej i y po stronie odwodnej.

Na podstawie badań elastoptycznych wyznaczono wartości poziomego naprężenia σ/p w środku brzegu odwodnego sekcji zapory (punkt A na rys. 2) dla dziewięciu modeli, dla wszystkich możliwych kombinacji parametrów x i y równych:

$$\begin{array}{rcl} x = -2,0 \text{ m} & 0 & +2,0 \text{ m} \\ y = -0,95 \text{ m} & 0 & +1,0 \text{ m} \end{array}$$

przy szerokości głowicy równej 15 m.

Każdej parze wartości x i y odpowiada:

- określona doświadczalnie wartość naprężenia σ/p (tablica 1),
- różnica objętości elementu zapory ΔV spowodowana zmianą wartości x i y w stosunku do kształtu wyjściowego $b2$ ($x = 0, y = 0$), (tablica 2).

W celu znalezienia rozwiązania analitycznego sformułowanego zadania, aproksymowano funkcję naprężeń $\sigma/p = \varphi(xy)$ oraz funkcję zmian objętości $\Delta V = \psi(xy)$ powierzchniami drugiego stopnia stosując metodę najmniejszych kwadratów. Jak wynika z porównania rzędnych funkcji aproksymujących z danymi wyjściowymi wyznaczone powierzchnie leżą bardzo blisko danych punktów. Świadczy to korzystnie o dokładności pomiarów.

¹⁾ Obliczenia optymalizacyjne przeprowadzili W. Marks i J. Kasperkiewicz na komputerze Odra 1204.

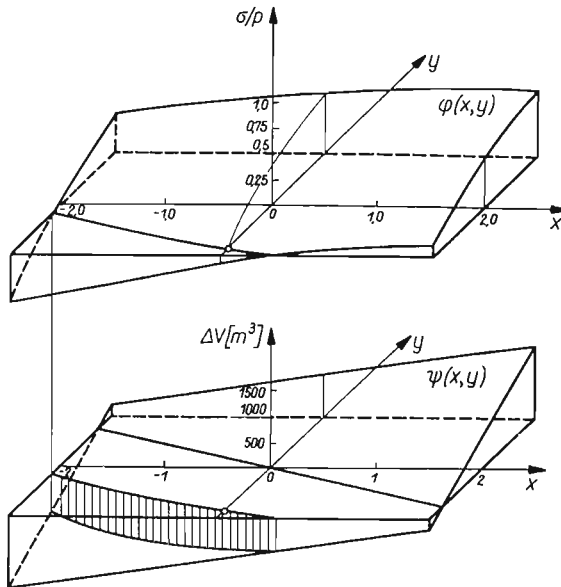
Tablica 1. Wartości σ/p w punkcie A modelu wyznaczone na podstawie badań elastoptycznych

$y \backslash x$	-2,0	0,0	2,0
+1,0	0,38	0,57	0,65
0,0	0,0	0,36	0,48
-0,95	-0,44	-0,07	0,13

Tablica 2. Różnica objętości elementu zapory $\Delta V = V(x, y) - V(x = 0, y = 0)$ w m^3

$y \backslash x$	-2,0	0,0	2,0
1,0	201	805	1409
0,0	-604	0	604
-0,95	-1309	-765	-161

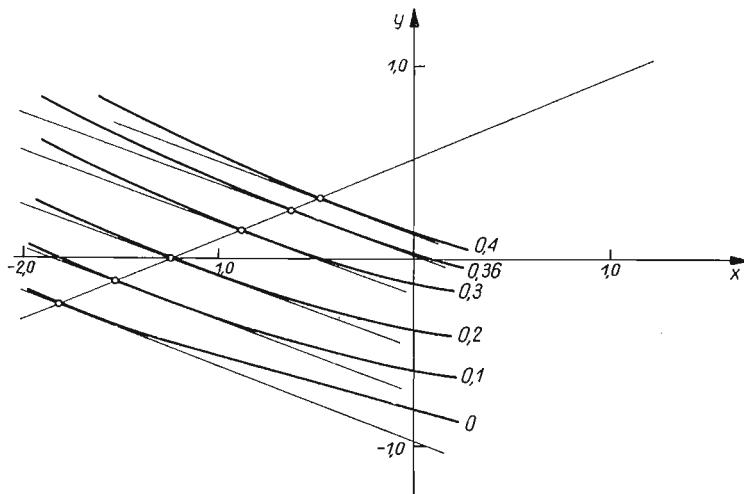
Powierzchnie $\varphi(x, y)$ i $\psi(x, y)$ przedstawione zostały w aksonometrii na rys. 10.



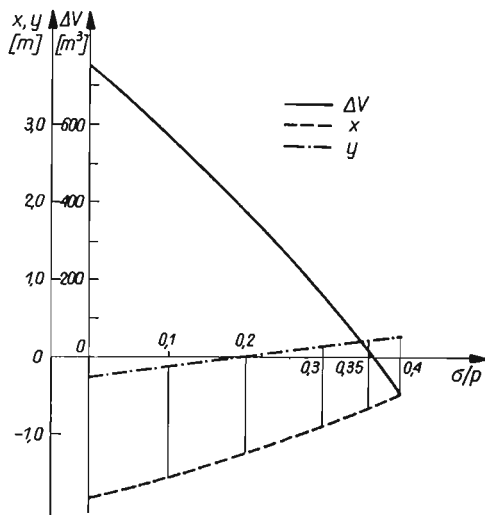
Rys. 10

Na rys. 11 przedstawiono rzuty krzywych przecięcia powierzchni $\varphi(x, y)$ płaszczyznami poziomymi $\sigma/p = \text{const}$ na płaszczyznę układu współrzędnych xy . Z krzywych tych widać, jak zmieniają się parametry x i y (wysokość skosów przy $\sigma/p = \text{const}$). Posługując się tym rysunkiem wyznaczyć można kombinacje wartości x i y (wielkości skosów) odpowiadające danej wartości naprężenia p_x/p_z lub, metodą interpolacji, wartość naprężenia p_x/p_z odpowiadającą przyjętej kombinacji parametrów x i y . Każdej kombinacji parametrów

x i y odpowiada inna objętość sekcji zapory. Optymalna kombinacja parametrów x i y przy założonej wartości σ/p odpowiada punktowi, w którym styczna do krzywej $\varphi(x, y) = \text{const}$ jest równoległa do krzywej $\psi(x, y) = \text{const}$, tj. do linii przecięcia powierzchni zmian objętości płaszczyzną poziomą. Łącząc te punkty styczności otrzymamy linię bezwzględnie optymalnych parametrów x i y . Jak widać z rys. 11 jest to linia prosta.



Rys. 11



Rys. 12

Na rys. 12 uwidoczniono krzywą zmian objętości w funkcji zmian naprężenia σ/p oraz odpowiadające krzywe x i y . Na podstawie krzywych przedstawionych na tym rysunku wyznaczyć można optymalne parametry geometryczne głowicy piętrzącej zapory odpowiadające przyjętej wartości naprężenia σ/p i możliwą do uzyskania oszczędność objętości zapory w stosunku do objętości sekcji zapory przy kształcie wyjściowym (wariant b2).

Optymalne wartości x i y oraz różnice objętości w zależności od założonych dopuszczalnych wartości σ/p zestawione zostały w tablicy 3.

Tablica 3

$\frac{\sigma}{p}$	x [m]	y [m]	ΔV [m ³]
0	-1,82	-0,25	-750
0,1	-1,54	-0,13	-572
0,2	-1,23	+0,01	-379
0,3	-0,89	+0,13	-162
0,36	-0,65	+0,23	-16
0,4	-0,49	+0,30	+92

Zamieszczone wykresy dają właściwie projektantowi pełne informacje na temat wzajemnych zależności pomiędzy parametrami kształtu zapory i naprężeniami na ścianie odwodnej. Pozwalają one na optymalne z wytrzymałościowego punktu widzenia kształtowanie głowicy zapory. Potwierdzają one poprzedni wniosek, że wysokość skosu po stronie odpowietrznej ma mniejszy wpływ na wartości naprężeń na brzegu odwodnym niż wysokość skosu na brzegu odwodnym.

5. Uwagi końcowe

W większości badań o charakterze praktycznym eksperymentatorzy ograniczają się do rozpatrzenia jednego tylko przypadku (kształtu), dla którego określają stan naprężenia.

Przykład opisany w niniejszej pracy wskazuje, jak na podstawie wyników badań elastooptycznych można pójść dalej i dokonać optymalizacji kształtu badanej konstrukcji. Wymaga to zbadania większej liczby modeli. Jednak nakład pracy nie jest bynajmniej proporcjonalny do liczby zbadanych modeli, a uzyskane wyniki są o wiele pełniejsze.

Literatura cytowana w tekście

1. Ф. Ф. Губин, Н. И. Пригоровский, Г. Л. Хесин, *Исследование встроенного варианта гидроэлектростанции с высокой массивной плотной*, Гидротехническое Строительство, 1 (1958), 29–36.
2. Г. Л. Хесин, *Применение фотоупругости и электротензометрирования при исследовании напряжений в гидротехнических сооружениях сложной формы*, Изв. высших учебных заведений Мин. Высшего Образования СССР, Стронт. и Архитектура, 3 (1968), 132.
3. L. FÖRPL, E. MÖNCH, *Praktische Spannungsoptik*, Heidelberg 1957.
4. Н. С. Розанов, *Исследование напряженного состояния гидротехнических сооружений*, Вестник Ленинградского Государственного Университета, 1958, 1960.
5. R. L. SANKS, *Photoelastic analysis of stress in a dam containing a large gallery*, Proceedings of American Society of Civil Engineers, vol. 81, separate No. 693.
6. А. В. Дмоховский, *Концентрация напряжений вокруг одиночных отверстий прямоугольной формы с полукруглым сводом*, Моделирование динамики, термоупругости и статике поляризационно-оптическим методом, Москва 1970.
7. R. S. DOROSKIEWICZ, J. LIETZ, B. MICHALSKI, *Fotoelasticimetrické vyšetřovanie modelu gravitačnej priehrady s prihliadnutim na vplyv podložia*, Stavebnicky Casopis, SAV, Bratislava, 7, 19 (1971), 547–558.

8. R. DOROSZKIEWICZ, *Fotosprężystościowe badania przekroju poprzecznego zapory filarowej*, Mech. Teoret. i Stos., 2, 3 (1964), 3-14.
9. R. S. DOROSZKIEWICZ, *Przegląd możliwości zastosowania elastoptyki do badania zapór*, Arch. Hydrotechniki, 3, 1, (1969), 337-354.

Р е з ю м е

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОУПРУГОСТИ К ОПТИМАЛЬНОМУ ФОРМИРОВАНИЮ
МАССИВНОГО КОНСОЛЬНОГО ОГОЛОВКА ПЛОТИНЫ

В работе описан пример применения фотоупругости к оптимальному формированию массивного консольного оголовка. Описана техника исследования, причем особое внимание обращено на разработку методов реализации равномерного распределения нагрузки по краю. Предложена программа исследований, дающая возможность определения оптимальной формы поперечного сечения массивного консольного оголовка.

Получена оптимальная форма оголовка плотины, основанная на результатах фотоупругих исследований. В качестве критерия принято условие минимальной кубатуры оголовка, для заданной величины напряжений со стороны верхнего бьефа. Оптимальные параметры разреза, вычисленные при использовании ЭЦВМ ODRA 1204, представлены в виде таблиц и диаграмм.

S u m m a r y

APPLICATION OF PHOTOELASTICITY TO DAM BUTTRESS OPTIMUM DESIGN

The paper contains an example of application of the photoelastic method to designing of a dam buttress. Testing procedures are described, special attention being paid to the method of realization of a uniform loading along the boundary of the model. Program of investigations is suggested rendering it possible to determine an optimum cross-section of the dam buttress.

In the paper is described the optimization procedure of the shape of the dam buttress based on the results of photoelastic investigations. As the optimization criterion is assumed the condition of minimum volume of the buttress at a determined stress value on the upstream side. Optimum section parameters calculated on the ODRA 1204 computer are presented in the form of tables and diagrams.

INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN

Praca została złożona w Redakcji dnia 15 lutego 1973 r.
