

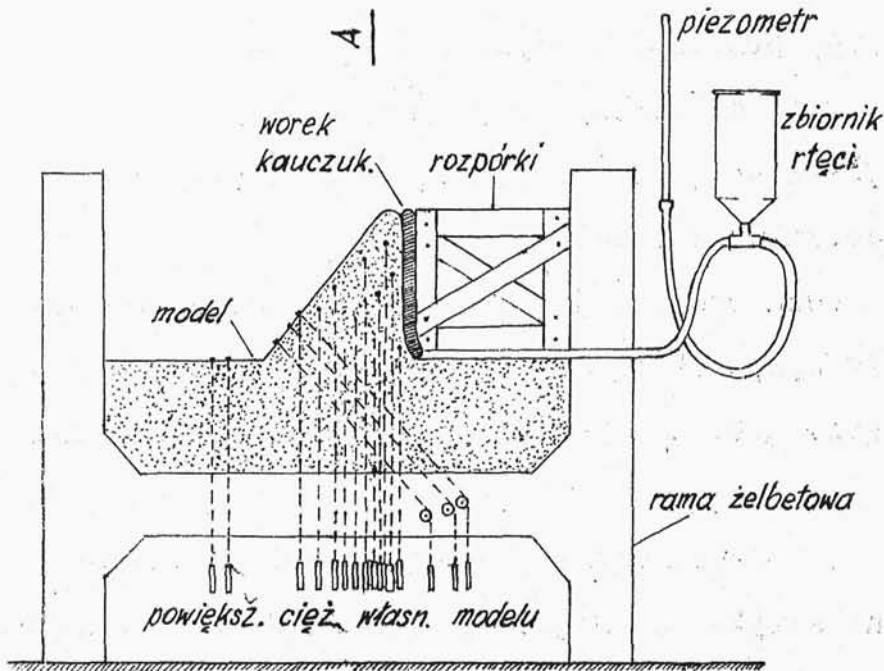
Rys.155 przedstawia wykres ugięć radialnych po -
wierzchni od strony wody, przy czym powierzchnia
ta pokazana jest w rozwinięciu celem lepszego
uwidocznienia ugięć.

Poza obserwacją odkształceń modelu zbadano
także wpływ obciążenia zapory na podłoże, t zn.
ugięcia gruntu u podstawy zapory oraz stoku doli-
ny.

O badaniu modelu zapory w Boulder zamiesz-
czono artykuł w Engineering News Record 7 kwiet-
nia 1932r.

Inne modele.

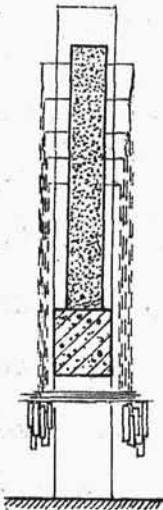
Laboratorium uniwersytetu Stanu Colorado ba-
da w Boulder City dla biura Reclamation Service
stateczność także innych zapór, prócz zapory Hoo-
vera /Boulder/, budowanych w Stanach Zjednoczonych.
Badania są robione na modelach wykonanych z tego
samego materiału co model zapory w Boulder, lecz
w przekrojach płaskich /dwuwymiarowych/- rys.156.
Ugięcia są mierzone z dokładnością odczytu 0,0025 mm,
odkształcenia z dokładnością 0,00005 mm. Model jest
obciążony parciem rtęci, a dla zachowania tego sa -



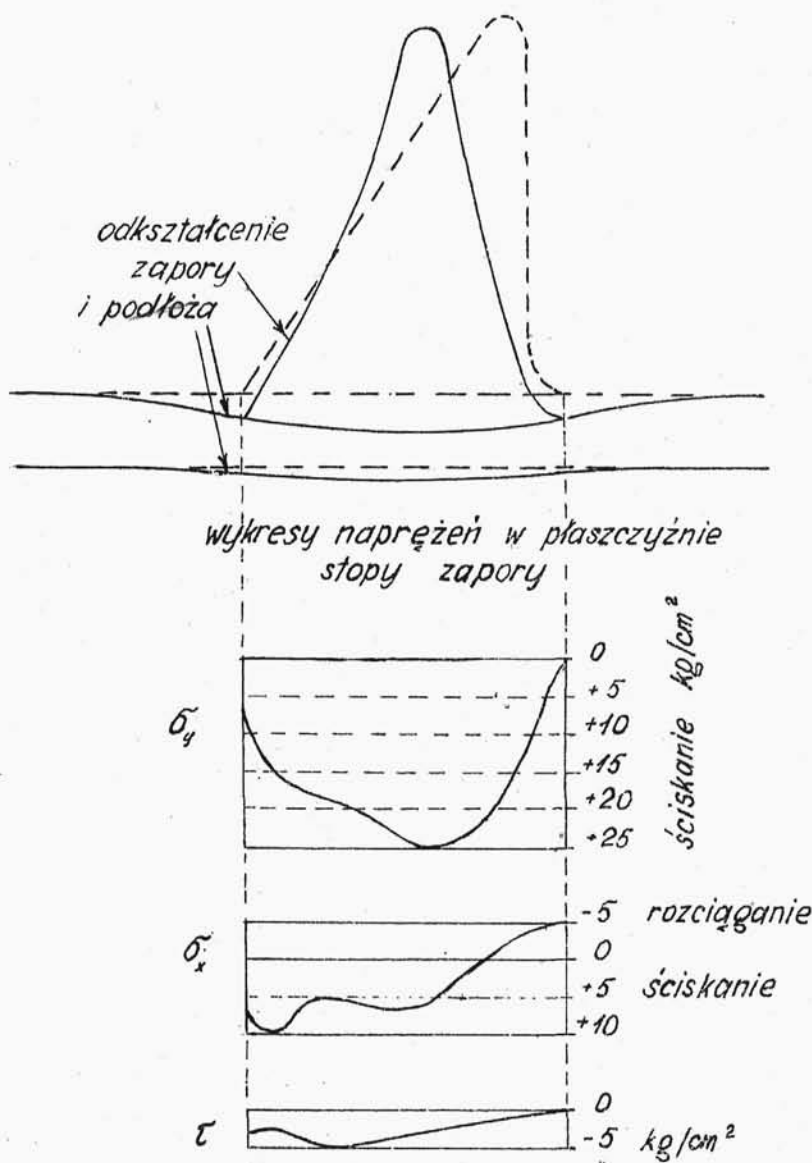
Przekrój AA



rys. 156.



meo stosunku między ciężarem gatunkowym płynu a muru, obciążano model ciężarami ołowianymi, tak aby stosunek między ciężarami gatunkowymi płynu i modelu był taki, jaki jest w budowie rzeczywistej. Znalezione naprężenia główne odbiegają w niższych przekrojach od naprę-



rys.157.

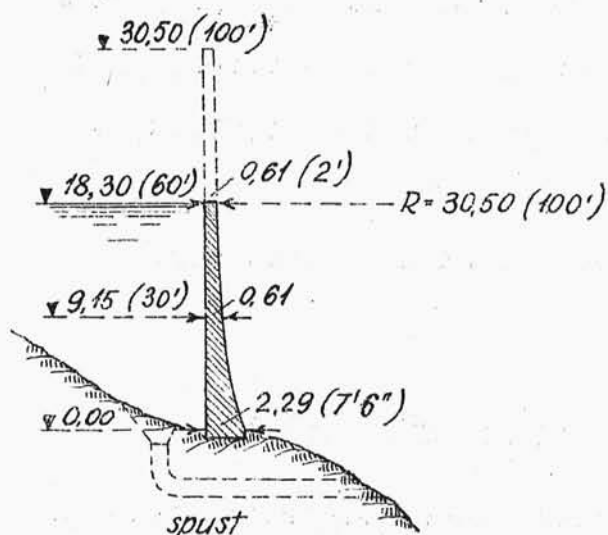
żeń obliczanych na podstawie przyjęcia liniowego ich rozkładu /rys.157/. Zaznacza się tu zatem wybitnie wpływ ugięcia fundamentu. Natomiast w wyższych przekrojach różnice między obliczeniem a mierzonymi naprężeniami są małe. U podstawy zapory, wewnątrz jej korpusu zmierzone naprężenia są około 25 % mniejsze od obliczonych, natomiast naprężenia krawędziowe są około 30 % wyższe i w tych punktach dawało się zauważyć zjawisko płynności /flow/ materiału. Obliczenia podane są w Engineering News Record z dn.6 grudnia 1934r.

Z a p o r a d o ś w i a d c z a l n a
n a r z . S t e v e n s o n .

Opis zapory.

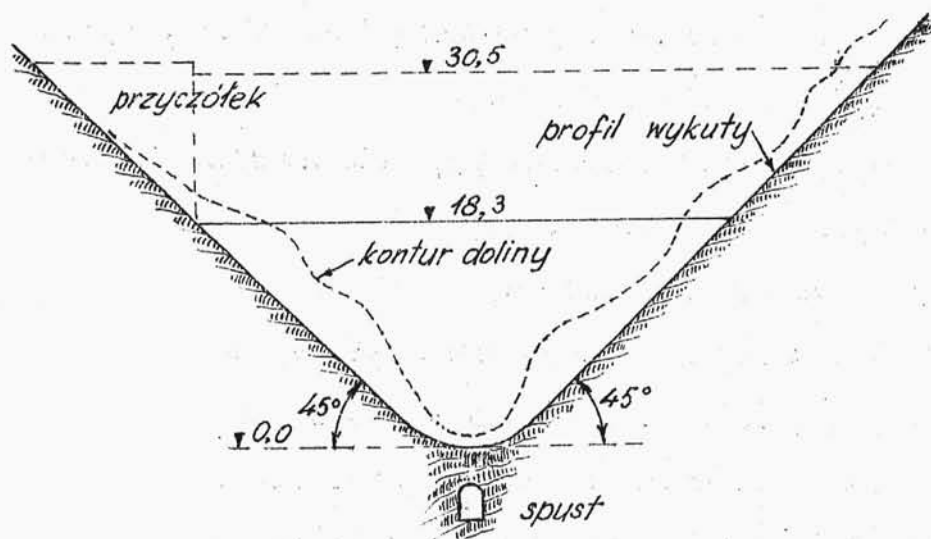
Zapora doświadczalna w wąwozie potoku Stevenson wybudowana została w tym celu, aby stwierdzić na niej słuszność stosowanej ostatnio ścisłej metody obliczania zapór łukowych.

Zapora doświadczalna jest zaporą łukową o stałym promieniu krzywizny $R = 30,5 \text{ m } /100' /$, o



rys. 158.

bardzo nieznacznej grubości, wykonaną starannie z betonu bez wkładek stalowych /rys.158/. Fundament zapory otrzymał regularny kształt litery V o ramionach pochyłych pod kątem 45° do poziomu /rys. 159/.



rys. 159.

Po przeprowadzeniu wszelkich możliwych pomiarów zapora miała być stopniowo /po 3,05 m = 10'/ podwyższana aż do zawalenia się, przy czym część podwyższona miała się z jednej strony opierać o przyczółek w kształcie zapory ciężkiej, a z drugiej o stok doliny.

Budowa zapory doświadczalnej kosztowała 120 000 dolarów.

Zakres doświadczeń i ich przebieg.

Program badań obejmował rozstrzygnięcie najrozszybszych kwestii, z których wyszczególnione poniżej zbadane były na samej zaporze:

- 1/ zgodność naprężeń i przesunięć pomierzonych z naprężeniami i przesunięciami obliczonymi dla łuku elastycznego,
- 2/ wpływ wahań temperatury, jednakowych lub różnych z obu stron łuku,
- 3/ wpływ skurczu betonu,
- 4/ wpływ pęcznienia betonu nasiąkającego wodą,
- 5/ plastyczne odkształcenie betonu pod długotrwałym działaniem wielkiego obciążenia,
- 6/ odkształcenia wynikające z występowania naprę-

żeń tnących,

- 7/ różne naprężenia drugorzędne,
- 8/ wpływ szczelin skurczowych albo pęknięć pionowych /zdolnych przekształcić całość na łuk trój- lub wieloprzegubowy/ na odkształcenia niezupełnie swobodne,
- 9/ wpływ spoin poziomych na rozkład pionowy naprężeń /we wspornikach/; przez spoiny poziome należy rozumieć powierzchnie przerw roboczych, powierzchnie stykania się dwóch warstw betonu układanych w innym czasie,
- 10/ naprężenia wywołane wyporem, występującym w pęknięciach lub spoinach poziomych,
- 11/ osiadanie fundamentu i poddawanie się wezłowi łuków; podłoża, nawet skalnego, nie można traktować jako sztywnego, jednorodnego ani izotropowego,
- 12/ wpływ zmiennego stanu wody w zbiorniku na zmianę odkształceń i naprężeń oraz na przepuszczalność zapory.

Równolegle z pomiarami wybudowanej zapory przeprowadzono doświadczenia na modelu w skali 1:40 wykonanym z celuloиду i obciążonym rtęcią.

W laboratorium zbadano:

- 13/ współczynnik sprężystości, liczbę Poissona i wytrzymałość betonu w zależności od jego składu, ilości dodanej wody, czasu twardnienia itd.,
- 14/ odkształcenia objętościowe pod wpływem zmiany temperatury,
- 15/ współczynnik rozszerzalności w zależności od temperatury, wilgotności, składu betonu itd. ,
- 16/ wpływ czasu i ciśnienia na odkształcenia plastyczne i na porowatość betonu.

Wszystkie pomiary dokonywane były z możliwie największą dokładnością, która w wypadku określania odkształceń dochodziła do 0,013 mm.

Do mierzenia naprężeń i mikroskopijnych zmian długości posługiwano się elektrycznymi mikromierzami oporowymi. Przyrządy te w liczbie 140 sztuk, zabetonowane w korpusie zapory i ustawione odpowiednio do kierunku badanych naprężeń, składają się z ułożonych na sobie i luźno stykających się płytek węglowych, przez które przepływa prąd elektryczny. Występujące w zaporze siły wewnętrzne powodują słabsze lub silniejsze ściskanie płytek, wskutek czego zmienia się opór elektryczny a tym

samym natężenie przepływającego przez nie prądu. Zmiany natężeń można było odczytać na tablicy przyrządów rejestrujących, które były zgromadzone w jednej kabinie obserwacyjnej.

Znając odkształcenia, obliczano naprężenia według wzoru

$$\sigma_x = \frac{E}{1-m^2} \cdot (y + m \cdot \Delta h);$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-m^2} \cdot (\Delta h + m \cdot y);$$

Strzałkę ugięcia mierzono metodą triangulacyjną przy użyciu precyzyjnych instrumentów pomiarowych. Ugięcie w rozmaitych punktach mierzono jeszcze przy pomocy pionowego wahadła /pionu ze wskaźnikiem odchylenia/ oraz klinometrów. Otrzymana na tej podstawie linia ugięcia stanowiła kontrolę naprężeń obliczonych na podstawie odkształceń według wyżej podanych wzorów. Bowiem naprężenia można określić w zależności od momentu gnącego, a znów związek tego momentu z linią ugięcia jest następujący

$$M_x = -\frac{EJ}{1-m^2} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2};$$

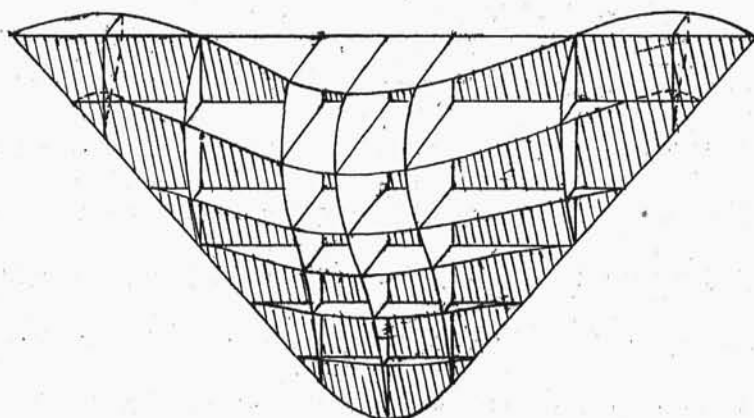
Trzecie z kolei zróżniczkowanie równania linii ugięcia daje wielkości naprężeń tnących, a czwarte

różniczkowanie - rozdział parcia wody:

$$p_x = \frac{EJ}{1-m^2} \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} ;$$

Wyniki doświadczeń.

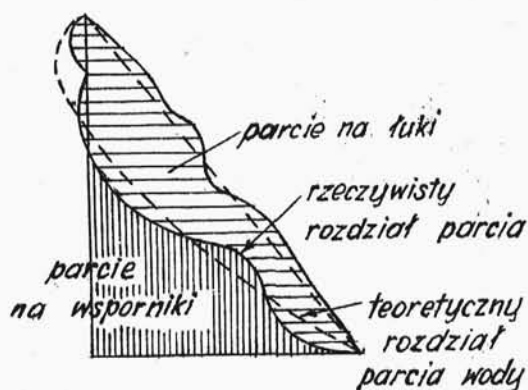
Na rys.160 podany jest wykres ugięć, przypominający zresztą wykres na rys.155.



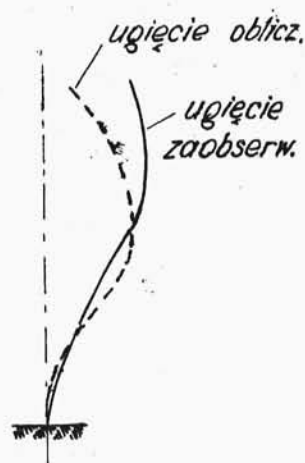
rys.160.

Rys.161 przedstawia rozdział parcia hydrostatycznego ustalony doświadczalnie i przyjęty w obliczeniach, a na rys.162 pokazana jest linia ugięcia w przekroju osiowym /pionowym/.

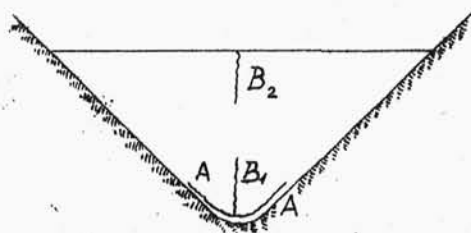
Przechodząc do omówienia wyników, należy zaznaczyć, że w zaporze w czasie pomiarów zauważono pęknięcia /rys.163/: jedno poziome u podstawy za-



rys.161.



rys.162.



rys.163

pory / A /, dwa pionowe w osi zapory, u spodu B_1 i w koronie B_2 . Pęknięcia te zmieniły - rzecz prosta - warunki pracy zapory.

Z chwilą zniszczenia

utwierdzenia wsporników pracowały one jak belki podparte u spodu, dlatego też linia rzeczywistego ugięcia na rys.162 tak znacznie odbiega od obliczonej analitycznie i w dodatku w punkcie zamocowania nie jest styczna do pionu. Pęknięcia pionowe przyczyniły się jeszcze więcej do wypuklenia rozbieżności między danymi z obliczeń, a wielkościami zaobserwowanymi. Pęknięcia pionowe

we stanowiły dla elementów łukowych niejako przegób, przyczyniając się do większych odkształceń, szczególnie w środkowej części zapory.

Linia ograniczająca parcie wody nie jest linią prostą, gdyż dane uzyskane z obserwacji uwzględniały wpływ temperatury, którego wyeliminowanie jest niemożliwe. Wykres zaś trójkątny parcia wody nie uwzględnia zmian temperatury.

Przepuszczalność stwierdzono tylko w miejscach przerw w betonowaniu i to przy pełnym zbiorniku ; poza tym stwierdzono przesłanie w miejscach za - betonowanych prętów i bolców, które służyły do ustawienia szalowania.

W rezultacie można wyniki badań uznać za potwierdzenie słuszności najnowszej metody obliczania zapór łukowych, uwzględniającej jednocześnie pracę wsporników i łuków.

Niezależnie od tego obserwacja odkształceń zapory w jarze Stevenson doprowadziła do stwierdzenia konieczności stosowania wkładek stalowych w cienkim korpusie zapory łukowej: należy przez ułożenie poziomych prętów żelaznych nie dopuścić do pęknięć pionowych korpusu zapory, szczególnie

w jej części wyższej, oraz trzeba podstawę zapory odpowiednio złączyć ze skałą, najlepiej przy pomocy kotew, jak to uczyniono w zaporze kopulastej im. Coolidge'a /porów. odpowiedni ustęp na str. 368 i n./, aby uniemożliwić ścięcie w płaszczyźnie stopy fundamentu.

Literatura przedmiotu.

Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Foundation Committee on Arch Dam Investigation tom I z listopada 1927r., Engineering News Record 14 lipca i 21 sierpnia 1927r., Génie Civil 2 stycznia 1926r. i 15 października 1927r., Zentralblatt der Bauverwaltung Nr 8 z 1929r. W polskiej literaturze zamieszczono wzmiankę w Przeglądzie Technicznym 12 czerwca 1929r.

-----0000000000-----

THESE THÈSES
ONT ÉTÉ
JURY
PRÉSIDÉES
PAR
M. LE DOCTEUR
J. B. L. L. L.
LE 15 MARS 1914
AUX
FACULTÉS
DE
MÉDECINE
ET
DE
SCIENCE
NATURELLE
DE
LA
VILLE
DE
PARIS