

ZAPORY ŻELAZNE.

W s t ę p .

Kilka zapór żelaznych zbudowano w końcu zeszłego stulecia i na początku obecnego wieku. Argumenty, jakie zaważyły na wyborze żelaza do budowy zapór, były następujące:

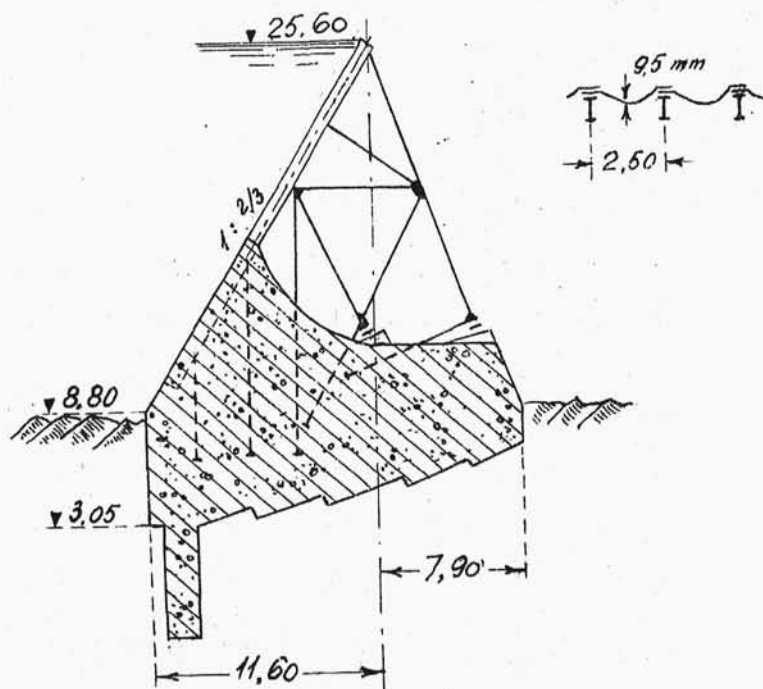
- 1/ łatwy transport i montaż w miejscach trudno dostępnych /wysoko w górach/ ; jeżeli w pobliżu były huty i walcownie żelaza, koszt dostawy żelaza stawał się jeszcze mniejszy,
- 2/ łatwe i wygodne odprowadzenie wód powodziowych w czasie budowy /jak w zaporach krytych płytami/,
- 3/ krótki czas budowy,
- 4/ lekkość konstrukcji,
- 5/ odporność zapory żelaznej na trzęsienia ziemi,
- 6/ niskie koszty wykonania zapory.

O p i s b u d o w y .

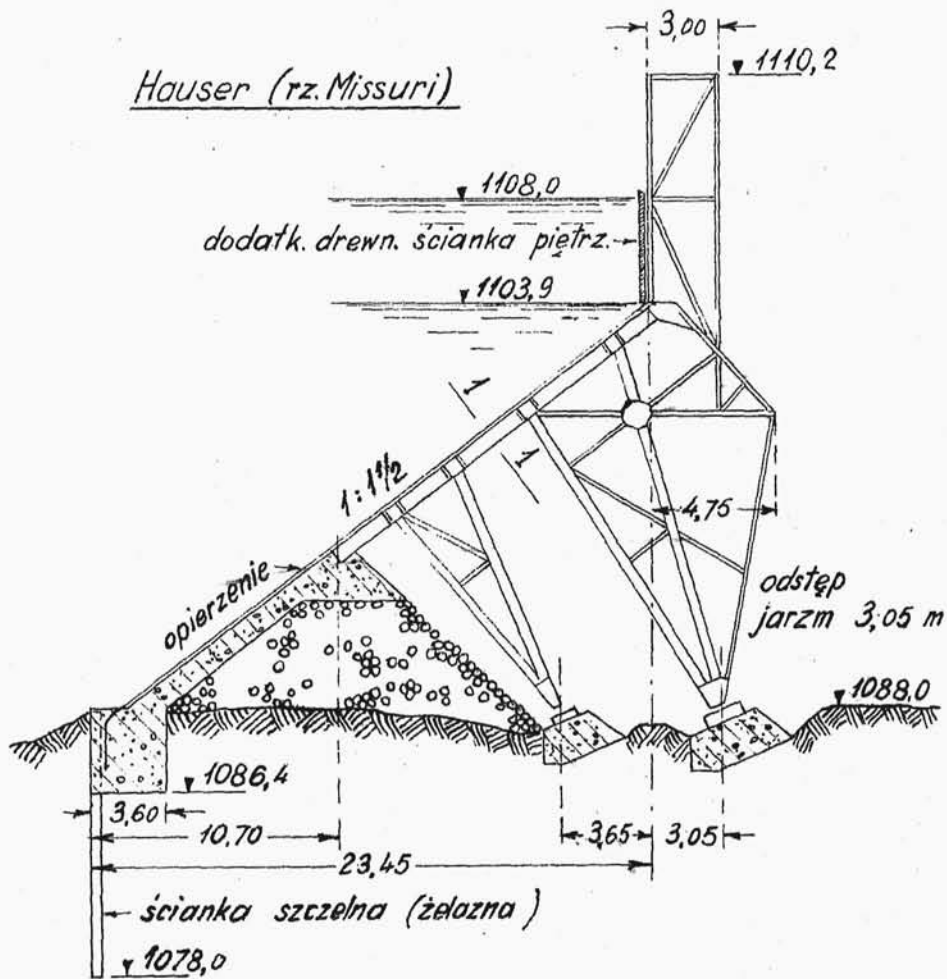
Konstrukcja zapory żelaznej /rys.152 i 153/ polega na spiętrzeniu wody przy pomocy blaszanej ścianki wspartej na jarzmach /filarach/ o konstrukcji kratowej, odpowiednio posadowionych i powiązanych ze sobą tężnikami.

Ściankę piętrzącą tworzy blacha wklęsła rozpięta między ukośnymi dźwigarami, które w górnych częściach podparte są zastrzałami, a dolnym swym

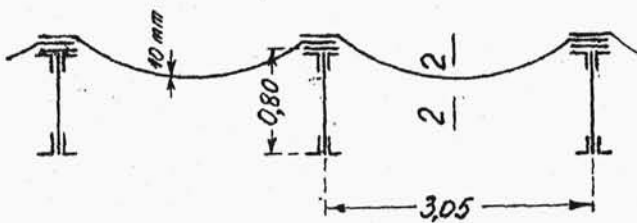
Redridge



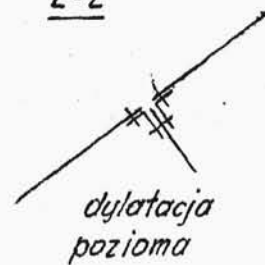
rys. 152.



Przekrój 1-1



2-2



rys. 153.

końcem opierają się na ławie betonowej /podmurowaniu/. Ława ta stanowić może jedną całość z fundamentami jarzm /jak na rys.152/.

Blacha opierająca posiada tylko poziome dylatacje /rys.153/ celem umożliwienia swobodnej zmiany długości w kierunku ukośnym: do góry i na dół. W kierunku poziomym /t.zn. wzdłuż osi zapory/ blacha może się swobodnie kurczyć i rozszerzać bez dylatacji, gdyż pozwala jej na to wygięty kształt.

Ścianka piętrząca jest gładka, ma nity o łbach wpuszczonych, a opierzenie ułożone w ten sposób, że górna blacha zachodzi na dolną. W ten sposób unika się osiadania namułu i zawieszin, które sprzyjają narastaniu rdzy.

Zapora koło jez. Hauser /na rz.Missuri/ przedstawiona na rys.153 postawiona była na gruncie żwirowym, otrzymała więc od strony wody żelazną ściankę szczelną, z którą połączono blachę opierającą. Zapora ta miała za słabe fundamenty /w szczególności za słaba była ława betonowa, na której wspierały się dźwigary ścianki piętrzącej/ i została podmyta: ława betonowa zapadła się, pociągając za

sobą najbliższe jarzma i nieznaczając w ten sposób całą konstrukcję.

O b l i c z e n i e .

Blachę opierającą sprawdza się na rozrywanie parciem wody.

Ukośne dźwigary i zastrzały /słupy/ oblicza się odpowiednio do działania sił zewnętrznych, zastępuwszy wpierw obciążenie ciągłe /parcie wody i ciężar własny/ obciążeniem węzłowym. Pręty kraty sprawdza się także na wyboczenie.

Fundamenty zastrzałów otrzymać powinny takie wymiary, aby ciśnienie na grunt nie przekraczało dopuszczalnego. Najlepiej jest, jeśli fundamenty poszczególnych słupów tworzą jedną całość /jak na rys. 152/, gdyż konstrukcja taka daje większą pewność w wypadku przeciążenia jednego lub kilku jarzm, albo w wypadku większego osiadania gruntu w niektórych tylko miejscach.

U w a g i k r y t y c z n e .

We wstępie niniejszego rozdziału wskazano na cechy dodatnie zapór żelaznych. Należy obecnie

wskazać ich wady.

Największą wadą zapór żelaznych jest bardzo trudna i kosztowna konserwacja. Ochrona od rdzy żelaza stale zawilgacanego wymaga częstego malowania, co znów niemożliwe jest bez opróżnienia zbiornika, opróżnienie zaś zbiornika jest równoznaczne z przerwaniem jego eksploatacji na kilka tygodni. Podobnie reperacja zapory od strony wody połączona jest z opróżnieniem zbiornika. Co ważniejsze, mimo starannej konserwacji należy w obliczeniach finansowych przyjąć czas trwania /istnienia/ zapory żelaznej krótszy niż zapór betonowych lub żelbetowych. Pociąga to za sobą wzrost kosztów amortyzacji kapitału wyłożonego na budowę. W konsekwencji argumenty finansowe, przemawiające za budową zapór żelaznych mogą stać się nieistotne.

Poza tym zapory żelazne opłacają się tylko przy niewielkich piętrzeniach, są wrażliwe na zmiany temperatury i na uderzenia /przez płynące przedmioty/.

W obecnych czasach zastosowanie żelbetu, czy to w formie zapór żelbetowych, czy też w formie

uszczeknienie żelbetowego w groblach sypanych pozwala na korzystniejszą finansowo budowę zapór w tych samych warunkach technicznych, co zapory żelazne. Korzyści finansowe wynikają z tego, że zapory żelbetowe bądź groble z rdzeniem żelbetowym posiadają niemal wszystkie cechy dodatnie zapór żelaznych, a pozbawione są ich wad.

Z powyższych uwag nłatrudno wywnioskować, że obecnie żelazo zostało całkowicie wyeliminowane spośród materiałów nadających się do budowy zapór. Istniejące w Ameryce, a dawno wybudowane zapory żelazne utrzymują się jednak dotychczas w dobrym stanie.

-----0000000000-----

BADANIE ZAPÓR NA MODELACH.

C e l e i ś r o d k i .

Obliczenie zapór łukowych jako ustrojów statycznie niewyznaczalnych prowadzi do wyników, co do których nie ma pewności, czy znajdują one potwierdzenie w rzeczywistości. Jest to rezultatem zarówno braku ścisłej teorii wytrzymałości łukowych ustrojów hiperstatycznych, jak też uproszczeń, wprowadzanych z konieczności przez nas do teorii, którą się dotychczas posługujemy. W konsekwencji więc nie wiadomo, czy w wybudowanej zaporce łukowej siły wewnętrzne wystąpią zgodnie z założeniami, na których oparte zostało obliczenie naprężeń.

Chcąc wyeliminować możliwie w największym stopniu te niepewności i braki samej teorii, starano się po wykonaniu zapory łukowej zaobserwować jej zachowanie się pod wpływem sił zewnętrznych i w ten sposób mieć sprawdzian słuszności obliczenia.

Wszystkie nowe zapory łukowe /Ariel, Boulder i inne/ są "pod obserwacją", t.zn. bada się przy pomocy przyrządów pomiarowych ugięcie zapory / w układzie trójwymiarowym/ oraz rzeczywiste naprężenia.

Jednakże obserwacja zapór już wykonanych jest sprawdzeniem rachunku niejako "po niewcza - sie", t.zn. wtedy, kiedy już nie można błędów poprawić. Stąd powstała koncepcja sprawdzenia wyników obliczenia przez badanie modelu zapory projektowanej wykonanego z jakiegoś materiału sprężystego. Niezależnie od tego w Ameryce, w Kalifornii na rz. Stevenson zbudowano specjalną łukową zaporę doświadczalną.

B a d a n i e m o d e l i .

Wstęp.

Metoda badania modeli polega na wykonaniu konstrukcji projektowanej w skali zmniejszonej z jakiegoś materiału sprężystego i na poddaniu modelu działaniu sił statycznych, odpowiednio dobranych i rozmieszczonych. Powstałe skutkiem działania tych sił odkształcenia modelu dają pojęcie

o przyszłych odkształceniach konstrukcji projektowanej i pozwalają na ustalenie naprężeń /w pewnym przybliżeniu/.

Metoda badania modeli okazała się bardzo skuteczna i celowa dla wstępnych obliczeń lub dla sprawdzenia analitycznych bądź wykreślnych obliczeń ustrojów hiperstatycznych.

Zasada obliczania.

Jeśli w modelu n razy mniejszym od konstrukcji projektowanej i wykonanym z tego samego materiału pragniemy otrzymać naprężenia równe tym, które wystąpią w gotowej zaporze, to model musi być poddany parciu cieczy o gęstości n razy większej od wody. Jediną cieczą o dużym ciężarze właściwym jest rtęć / $\gamma_{Hg} = 13,6 \text{ kg/l}$ / można ją więc stosować do doświadczeń z modelami zmniejszonymi w stosunku 1.13,6. Jeśli skala modelu $1:n$ nie będzie uzgodniona z gęstością cieczy o ciężarze właściwym α razy większym od ciężaru właściwego wody, wówczas otrzymamy następujący związek między naprężeniami w modelu σ_m a naprężeniami w projektowanej konstrukcji σ .

$$\sigma_m = \frac{\alpha}{n} \cdot \sigma ;$$

W ten sposób naprężenia w zaporze będą się różnić o

$$\left(\frac{n}{\alpha} - 1\right) \cdot 100 \quad \% ;$$

od naprężeń "zaobserwowanych" w modelu. Np. obciążając rtęcią $\alpha = 13,6$ model w skali $1:n = 1:10$, różnica wyniesie

$$\left(\frac{10}{13,6} - 1\right) \cdot 100 = -26,5 \quad \%$$

czyli naprężenia w konstrukcji projektowanej będą mniejsze o 26,5 % od naprężeń w modelu, a więc jeśli $\tilde{\sigma}_m = 50 \text{ kg/cm}^2$, to $\tilde{\sigma} = 36,8 \text{ kg/cm}^2$. Gdyby model wykonany był w skali $1:n = 1:20$, wówczas różnica byłaby dodatnia $+47 \%$ t.zn., że naprężenia w zaporze będą większe o 47 % od naprężeń w modelu, zatem gdy $\tilde{\sigma}_m = 25 \text{ kg/cm}^2$, to $\tilde{\sigma} = 36,8 \text{ kg/cm}^2$.

Modele wykonywane z tego samego materiału, co projektowana konstrukcja, są jednak zbyt sztywne i przy dużym zmniejszeniu wymiarów nie pozwalają na ścisły pomiar odkształceń, zaś wykonanie modelu w większej skali wymagałoby tak wielkiej ilości drogiej rtęci, że stałoby się to praktycznie niewykonalne. To też do wykonywania modeli stosuje się materiały posiadające mały współczyn-

nik sprężystości, a więc umożliwiające wywołanie dostrzegalnych odkształceń /bardziej dogodnych do pomiarów/ w modelach małych / w skali od 1:20 do 1:200/.

Od materiału, z którego ma być wykonany model, wymaga się przede wszystkim małego współczynnika sprężystości / nie zmieniającego się przy różnych obciążeniach/, tej samej liczby Poissona co dla materiału zapory, wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie będących w jednakowym stosunku do takichże wytrzymałości materiału zapory i bardzo dużego /w stosunku do betonu/ współczynnika rozszerzalności. Poza tym materiał modelu powinien być jednorodny, wygodny do obróbki, nie kurczyć się ani pęcznieć po odlaniu w formie i łatwy do otrzymania w ilości potrzebnej. Mogą tu więc w grę wchodzić takie materiały jak: celuloid, guma, gips oraz rozmaite kombinacje różnych przetworów gumowych, smołowych, cementu, azbestu, gipsu, ziemi okrzemkowej, wapna, zmieszanych ze sobą w rozmaitych proporcjach.

Zależność zaobserwowanych odkształceń modelu i przewidywanych odkształceń zapory są następujące:

$$\text{ugięcie} \quad y = y_m \cdot \frac{E_m}{E} \cdot \frac{n^2}{\alpha};$$

$$\text{wydłużenie poziome} \quad \Delta l = \Delta l_m \cdot \frac{E_m}{E} \cdot \frac{n}{\alpha};$$

wydłużenie pionowe

$$\Delta h = \Delta h_m - \Delta l_{m, sr} \cdot \frac{E_m}{E} \cdot \frac{n}{\alpha} (m_m - m);$$

gdzie $\Delta l_{m, sr}$ jest wydłużeniem poziomym obserwowanym w środkowym przekroju modelu, a m_m i m są liczbami Poissona dla materiału modelu i zapory. Jeśli do wykonania modelu uda się wytworzyć materiał o liczbie Poissona odpowiadającej liczbie Poissona dla betonu, wówczas

$$\Delta h = \Delta h_m;$$

Naprężenia poziome oblicza się ze wzoru

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

Badanie modeli zapór może być zawsze bardzo pomocne, jednakże należy przestrzec przed uogólnianiem wyników. Przede wszystkim nie pozwala na to fakt, że w badaniach modeli nie uwzględnia się /przeważnie/ sprężystości skalnego podłoża. Poza tym nie należy zapominać, że w modelu trudno jest stworzyć te same warunki, które będą miały miejsce w gotowej zaporze. Wielkość przybliżenia się do

tych warunków jest więc miarą użyteczności rezultatów badania modelu.

Model zapory w Boulder.

Do wykonania modelu zapory w kanionie Boulder zastosowano materiał o następującym składzie:

1	część /wagowa/	wysokowartościowego gipsu,
0,5	" "	ziemi okrzemkowej
		/t.zw.celitu/,
1,875	" "	wody.

Skład powyższy ustalony został po bardzo licznych próbach z różnymi kombinacjami najrozmaitszych materiałów. Rezultatem żmudnych poszukiwań kompozycji materiału do budowy modelu było uzyskanie materiału zadośćczyniącego wszystkim warunkom wymienionym w poprzednim ustępie, co daje się łatwo zauważyć z danych zamieszczonych w zestawieniu na następnej stronie.

Model wykonany był w skali 1:240 i ustawiony w modelu wąwozu rz. Colorado wykonanym również z gipsu i ziemi okrzemkowej.

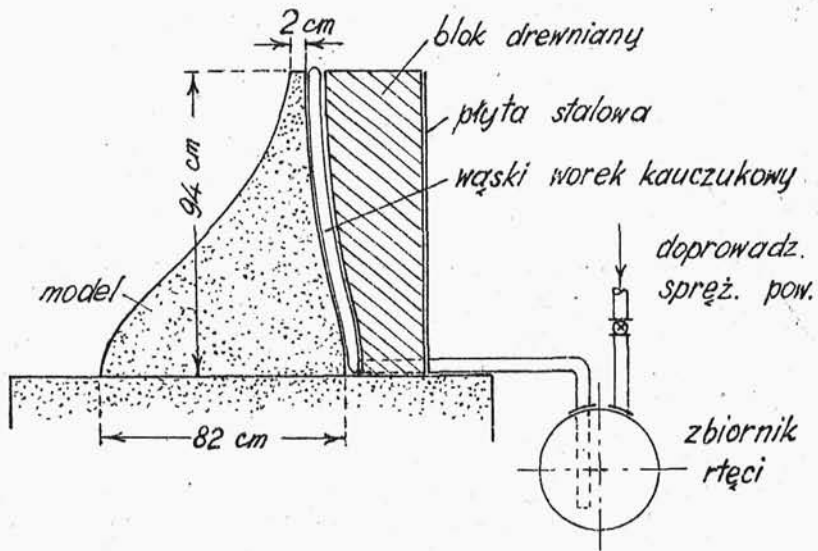
Aby zaoszczędzić na ilości rtęci potrzebnej do obciążenia modelu, wprowadzono ją tylko do

Dane dotyczące modelu zapory w Boulder.

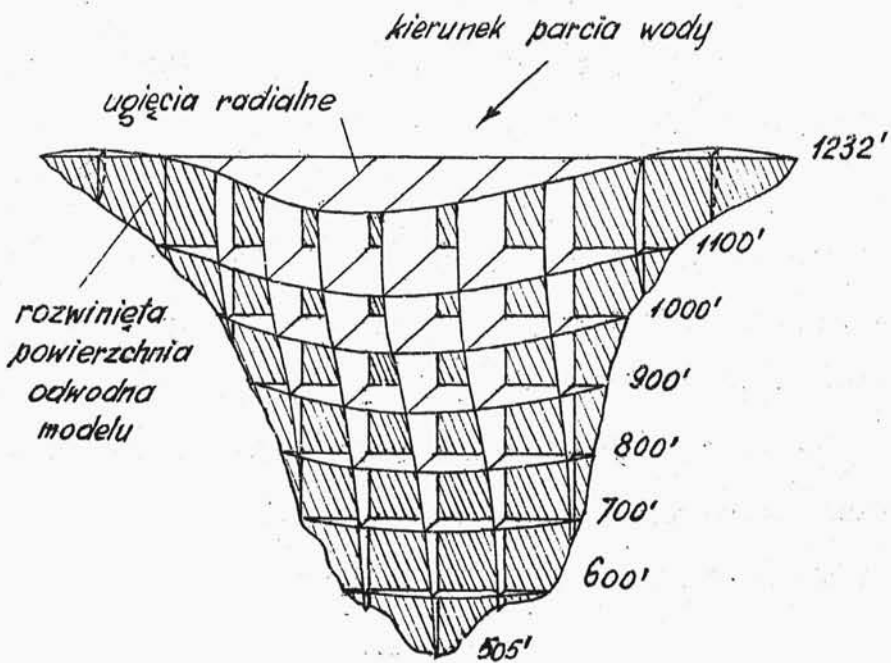
Wyszczególnienie	Wymiar	Zapora	Model	Stosunek
Współczynnik sprężystości				
przy ściskaniu	kg/cm ²	387000	6330	61,1
przy rozciąg.	kg/cm ²	387000	7030	55,0
przy ścinaniu	kg/cm ²	58500	3160	18,5
Liczba Poissona	-	0,2	0,2	1
Wytrzymałość na ściskanie	kg/cm ²	175	14,0	12,2
na rozciąg.	kg/cm ²	21	1,75	12,0
Dopuszczalne naprężenie ściskające	kg/cm ²	29,5	5,6	5,25
rozciąg.	kg/cm ²	4,2	1,05	4,0
Ciężar właściwy	kg/m ³	2400	670	3,6
Współczynnik rozszerzalności	na 1°C	0,0000031	0,0000061	0,5

wąskiego worka kauczukowego /rys.154/ umieszczonego pomiędzy "odwodną" powierzchnią modelu zapory a drewnianym blokiem. Worek kauczukowy połączony był z metalowym zbiornikiem rtęci, do którego wprowadzane było sprężone powietrze celem wypchnięcia rtęci do worka kauczukowego i wywołania efektu parcia wody.

Odkształcenia modelu mierzono przy pomocy przyrządów optycznych z dokładnością do 0,0001"±0,0025 mm.



rys. 154.



rys. 155.

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 -