

## POZIOME ZBIORNIKI WALCOWE OBCIĄŻONE MOMENTAMI

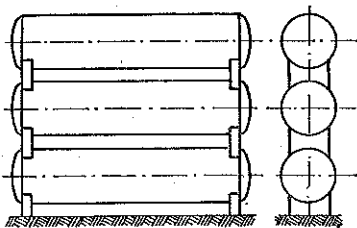
STANISŁAW DANIS i TADEUSZ KACPERSKI (WARSZAWA)

Przedmiotem badań jest nośność graniczna modeli zbiorników walcowych, obciążonych momentami w płaszczyznach prostopadłych do ich osi, a w drugim przypadku w płaszczyznach stycznych do płaszcza, w miejscach połączenia podpór ze zbiornikiem.

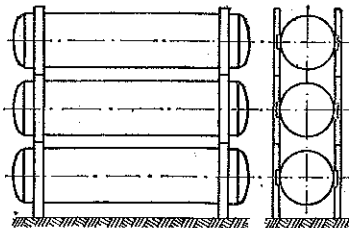
### 1. WSTĘP

Stosowane w kraju poziome zbiorniki na ciecze, ustawiane w układach piętro-  
wych, opiera się tradycyjnie na podporach siodłowych w sposób przedstawiony na  
rys. 1.

Korzystniejszy wariant podparcia zbiorników został przedstawiony na rys. 2.  
Zbiorniki współpracujące w ten sposób z konstrukcją wsporczą nie były dotychczas  
w kraju budowane. W artykule zostaną przedstawione wyniki badań doświadczal-  
nych wytrzymałości modeli tych zbiorników.



Rys. 1



Rys. 2

Zbiorniki podparte na siodłach występują masowo w browarach i w innych  
zakładach przemysłu spożywczego i są obecnie produkowane. Zwykle argumentem  
decydującym o wyborze takiego sposobu podparcia jest prosta konstrukcja oraz  
łatwość montażu i demontażu tych naczyń. Niezaprzeczną wadą tych konstrukcji  
jest to, że powłoka zbiornika jest ściskana poprzecznie siodłami oraz to, że obciążenia  
ściskające zbiorniki położone niżej są większe od obciążeń działających na  
zbiorniki umieszczone w wyższych piętrach.

Przy stosowanych w praktyce pojemnościach do 100 m<sup>3</sup> i proporcjach wymiaro-  
wych wyrażających się stosunkiem średnicy do długości zbiornika 1:1 do 1:5  
opiera się je na dwóch siodłach. O grubości blach użytych do budowy tak obciąż-

zonych zbiorników decydują naprężenia lokalne, występujące w obszarach oddziaływania siodła. Naprężenia te pochodzą głównie od efektów zginających występujących wzdłuż krawędzi siodła. Dla tej klasy zbiorników są one duże w porównaniu z naprężeniami błonowymi pochodzącymi od zginania zbiornika jako całości.

Zniszczenie wielu serii modeli o różnych parametrach geometrycznych i o różnym rozstawieniu siodła oraz pomiary naprężeń i przemieszczeń w prototypach zbiorników opartych na siodłach pozwoliły na uzyskanie dostatecznie dokładnego obrazu ich pracy.

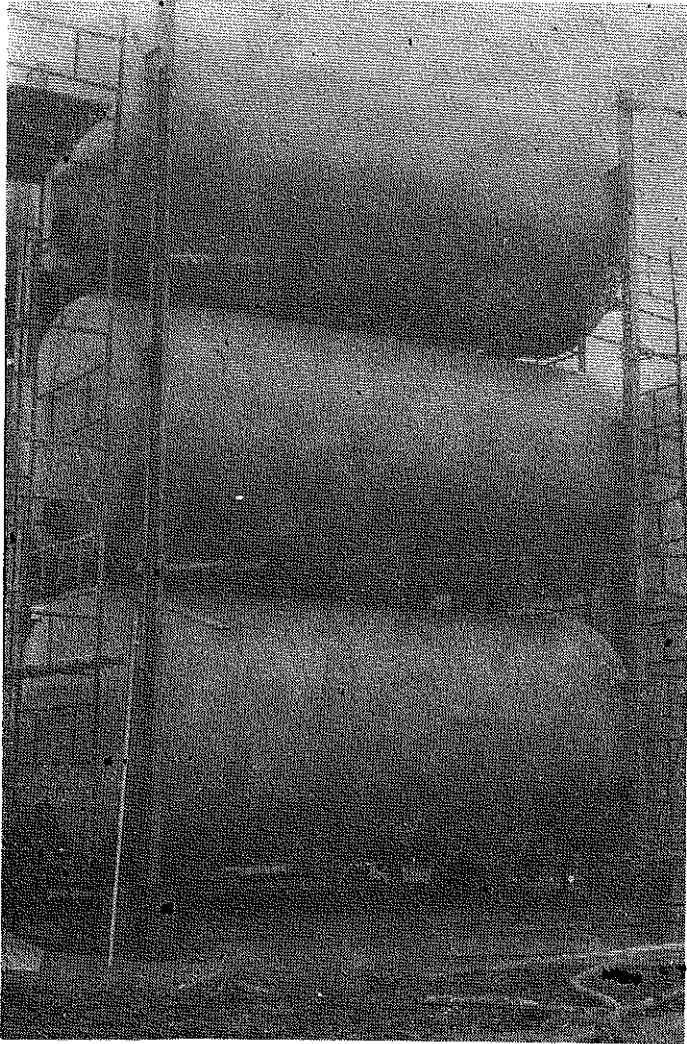
Została również opracowana techniczna teoria zniszczenia tych zbiorników, opisująca wyniki doświadczeń z dokładnością wystarczającą do praktycznego wykorzystania. Uzyskane wyniki z badań doświadczalnych i zbudowana teoria zostały przedstawione w pracach [1, 2 i 3]. Na podstawie tej uproszczonej teorii została zaprojektowana i wdrożona do produkcji znaczna liczba tych zbiorników. Są one eksploatowane w kilku nowych browarach.

Prowadzone są obecnie prace nad korzystniejszym sposobem podparcia zbiorników, polegającym na połączeniu ich walcowych ścian z pionowymi słupami (rys. 2). Obciążenie wszystkich zbiorników jest wtedy jednakowe. Reakcje od podpór wywołano ciężarem zbiornika i cieczy wprowadzone są stycznie w powłokę, a więc bardziej korzystnie w porównaniu z obciążeniem reakcjami siodła. Jednocześnie pionowe podpory spełniają rolę słupów nośnych budynku. Zbiorniki stanowią usztywnienia tych słupów. Obciążenia wiatrem lekkich ścian osłonowych budynku i zadaszenia przekazywane są na słupy i na zbiorniki. W efekcie tak pomyślanej współpracy zbiorników z elementami konstrukcyjnymi budynku, uzyskuje się znaczne oszczędności materiałowe. Obliczenia konstrukcji samego budynku wykazały, że wskaźnik zużycia stali zbrojeniowej na jeden metr sześcienny kubatury pomieszczeń jest wtedy bardzo korzystny. Wstępne analizy przeprowadzone przez inżynierów budowlanych wykazały, że zużycie stali zbrojeniowej można zmniejszyć, zależnie od rodzaju zabudowy od 1,5 do 4-krotnie w porównaniu do dotychczas stosowanych rozwiązań, gdzie zbiorniki nie współpracowały z elementami konstrukcji nośnej budynku.

Została zbudowana prototypowa konstrukcja tak ustawionych zbiorników przedstawiona na rys. 3. Przy tej budowie wykorzystano obecnie produkowane seryjnie zbiorniki według przyjętych od dawna norm branżowych. Jak wykazały wstępne, uproszczone analizy wytrzymałościowe, zbiorniki te mają za dużą grubość ścianek. Po ustawieniu ich w układzie piętrowym została przeprowadzona próba wytrzymałości konstrukcji wsporczej tych zbiorników. Konstrukcję tę obciążono siłami dwukrotnie wyższymi od tych, jakie mogą wystąpić w ekstremalnie niekorzystnych warunkach. Wynik tej próby również potwierdził dużą sztywność konstrukcji wsporczej współpracującej ze zbiornikami. Obecnie budowany jest duży oddział fabryczny, gdzie zbiorniki współpracują z elementami konstrukcyjnymi budynku.

W prowadzonych pracach chodzi o określenie wytrzymałości zbiorników, które w obliczeniach konstrukcji budynku traktowane są jako przewiązki pomiędzy słupami. Powłoki zbiorników oprócz obciążenia cieczą i pionowymi reakcjami od

podpór poddane są działaniu sił i momentów, pochodzących głównie od sił wiatru przekazywanych ze ścian osłonowych i zadaszzenia na słupy współpracujące ze zbiornikami.

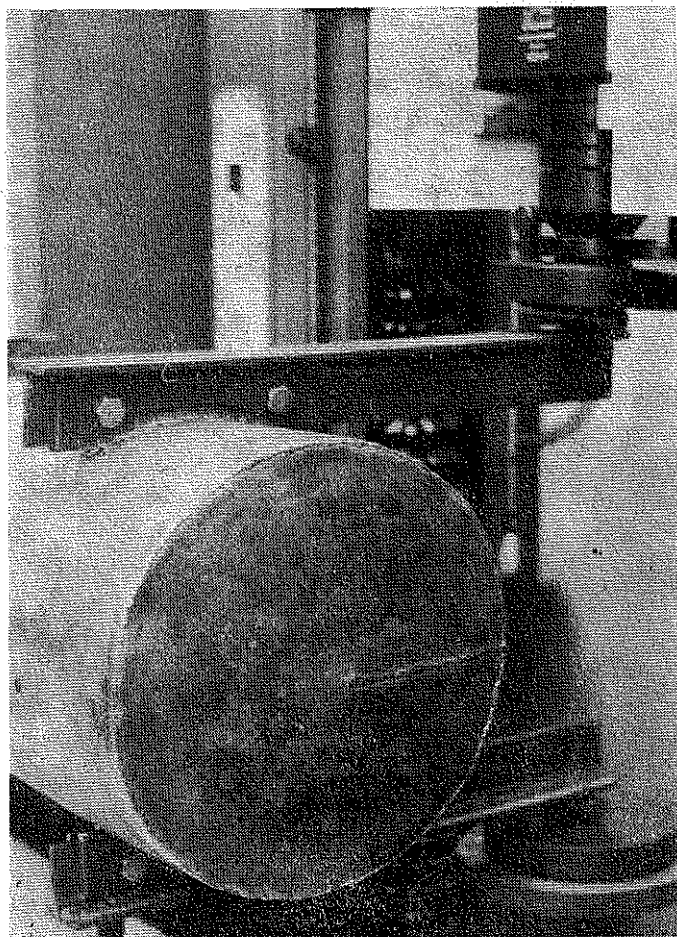


Rys. 3

Autorzy zajęli się określeniem nośności granicznej zbiorników dla dwóch przypadków obciążeń. Pierwszy, gdy zbiornik jest obciążony momentami w płaszczyźnie prostopadłej do jego osi jak na rys. 4 i 7. Drugi, gdy zbiornik jest obciążony momentami w płaszczyznach stycznych do powłoki walcowej jak na rys. 5 i 11.

Dotychczas nie znana jest odpowiedź na pytanie, jaka jest nośność zbiorników obciążonych momentami rozłożonymi na części obwodu powłoki walcowej zamkniętej na końcach dnami, jeżeli obciążenia te przyłożone są w pobliżu den. Nie znany

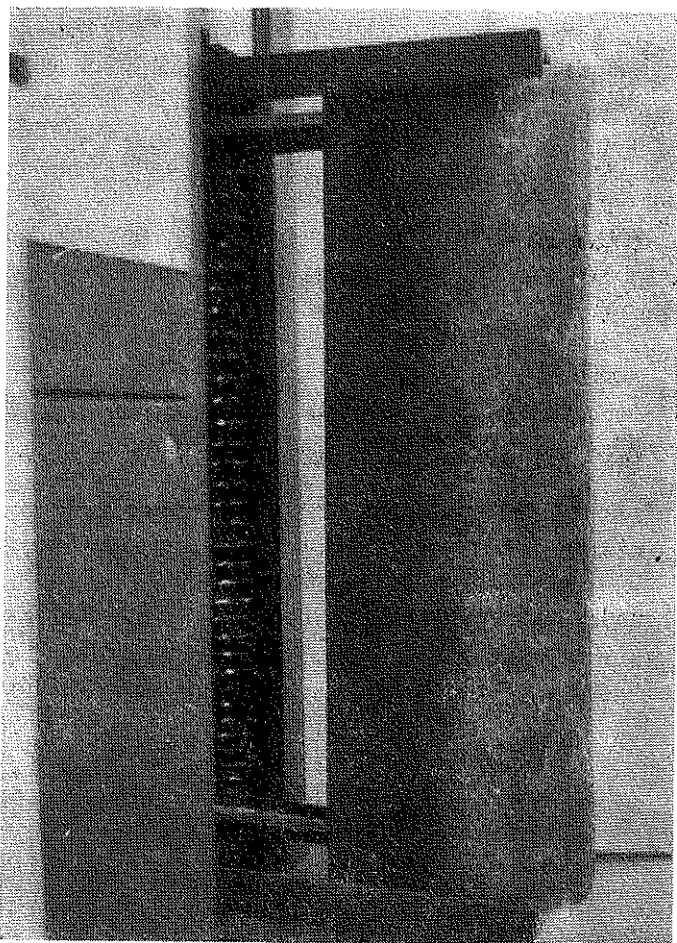
jest wpływ rozstawienia słupów na nośność współpracujących z nimi, tak obciążonych, cienkościennych naczyń. Jest oczywiste, że cienkościenna cylindryczna powłoka o przekroju kołowym obciążona momentami działającymi w płaszczyznach prostopadłych do jej osi ma największą nośność, jeżeli płaszczyzny te przechodzą przez jej końce zamknięte dnami. Nie wiadomo jaka jest ta nośność i jak zmieniać się ona będzie po odsunięciu słupów od końców zbiornika na pewną odległość.



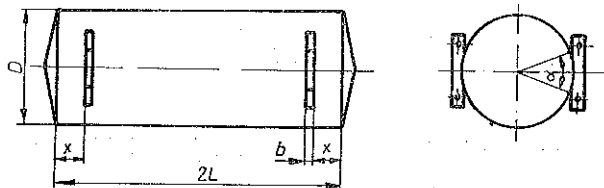
Rys. 4

Nie został również dotychczas zbadany wpływ rozstawienia słupów na nośność graniczną zbiornika, gdy jego walcowa powłoka obciążona jest momentami w dwóch stycznych do niej płaszczyznach, a obciążenia te wprowadzone są w okolicy den.

Zbadano modele o średnicy  $D=300$  mm, długości  $2L=900$  mm i grubości ścianki płaszcza i den  $h=0,5$  mm. Modele posiadały dna stożkowe o kącie wierzchołkowym  $160^\circ$ . Podpory zostały przyspawane do modelu zbiornika, a ich rozmieszczenie przedstawia rys. 6.



Rys. 5



Rys. 6

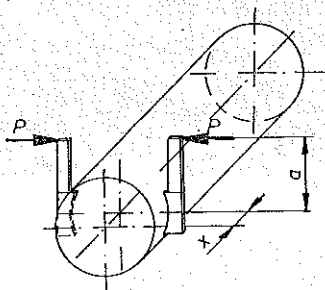
W obu przypadkach obciążeń niewątpliwie istnieje wpływ kształtu den na nośność graniczną zbiornika, gdy obciążenia te przyłożone są w ich okolicy. Przyjęty w badaniach kąt wierzchołkowy  $160^\circ$  den stożkowych jest optymalny ze względu na wytrzymałość zbiorników obciążonych poprzecznie podporami siodłowymi i został ustalony w innych badaniach nie objętych zakresem omawianych tu rozważań. Stąd niepotwierdzone jeszcze przypuszczenie, że przy obciążeniu zbiorników

momentami w płaszczyznach prostopadłych do ich osi, kąt ten będzie również optymalny. Natomiast gdy zbiornik jest obciążony momentami w płaszczyznach stycznych do powłoki walcowej, kąt ten będzie za duży. Ale, jak się okaże w badaniach modeli, zbiornik ma mniejszą nośność przy obciążeniu momentami w płaszczyznach prostopadłych do jego osi w porównaniu z obciążeniem momentami w płaszczyznach stycznych do walcowej powłoki. Z tego względu, gdy w obu przypadkach obciążenia momenty są jednakowe, kąt wierzchołkowy dna wynoszący  $160^\circ$  może się okazać optymalny dla wytrzymałości zbiornika. Należy jednak zbadać wpływ kąta wierzchołkowego stożkowego dna na nośność tak obciążonych zbiorników. W rzeczywistości w budowie zbiorników stosuje się znormalizowane dna tłoczne o małej wypukłości dla zbiorników magazynowych i dna elipsoidalne dla zbiorników ciśnieniowych. Wpływ tych dwóch kształtów den na nośność tak obciążonych zbiorników powinien być również zbadany.

## 2. WYNIKI BADAŃ MODELÍ OBCIĄŻONYCH W PŁASZCZYŹNIE PROSTOPADLEJ DO ICH OSI

Obciążenie modeli realizowano wg. schematu przedstawionego na rys. 7.

W czasie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych udało się wyodrębnić następujące mechanizmy zniszczenia odnoszące się do momentu (chwili) wyczerpania nośności modeli:

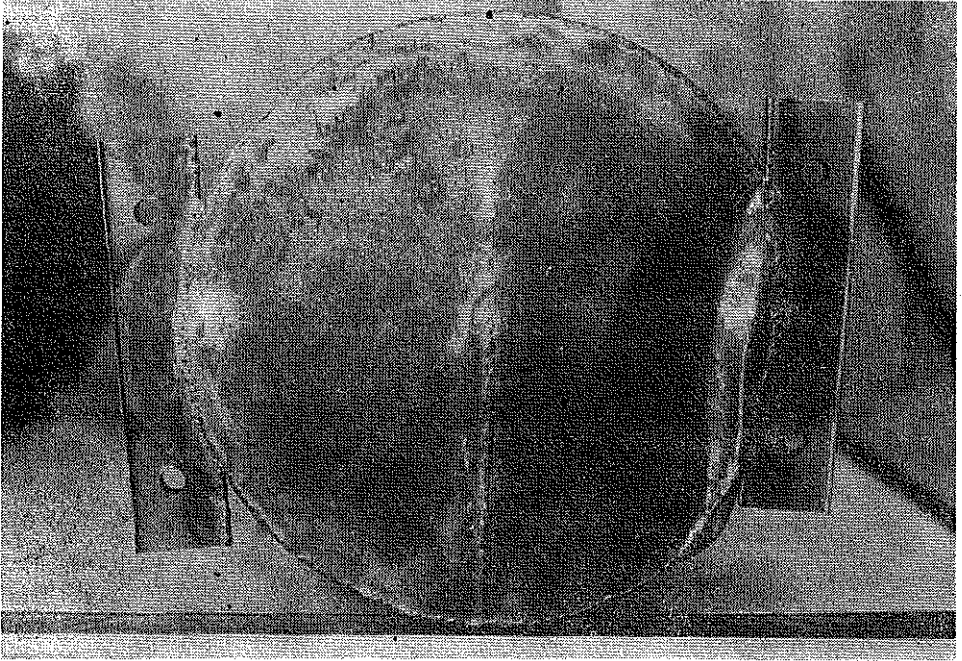


Rys. 7

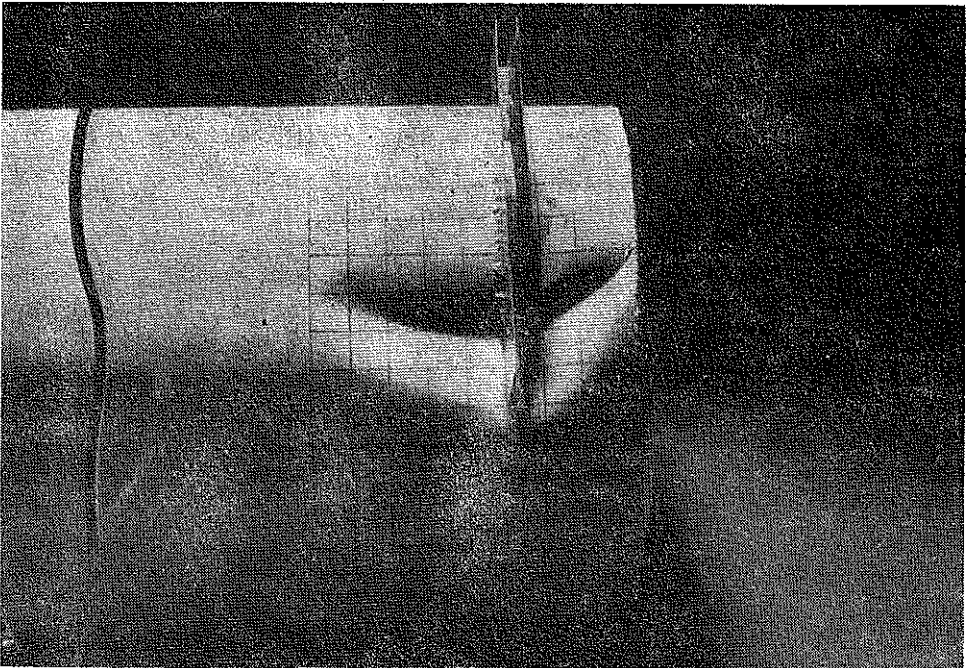
1. Gdy podpory przytwierdzone są do walcowej powłoki przy krawędzi modelu, mechanizm zniszczenia polega na utracie stateczności dna i płaszcza. Na modelu wyraźnie widać niesymetryczne załamanie dna i płaszcza w obszarze lokalnego oddziaływania podpory.

2. Gdy podpory znajdują się w pewnej odległości od den zawierającej się w granicach połowy średnicy modelu, następuje utrata stateczności płaszcza. Na modelu widać niesymetryczne wgniecenia płaszcza w okolicy podpory.

3. Gdy podpory położone są w odległości od den przekraczającej wielkość połowy średnicy modelu mechanizm zniszczenia polega na niewielkim niesymetrycznym załamaniu płaszcza w okolicy podpory, a następnie na ogólnej utracie stateczności płaszcza

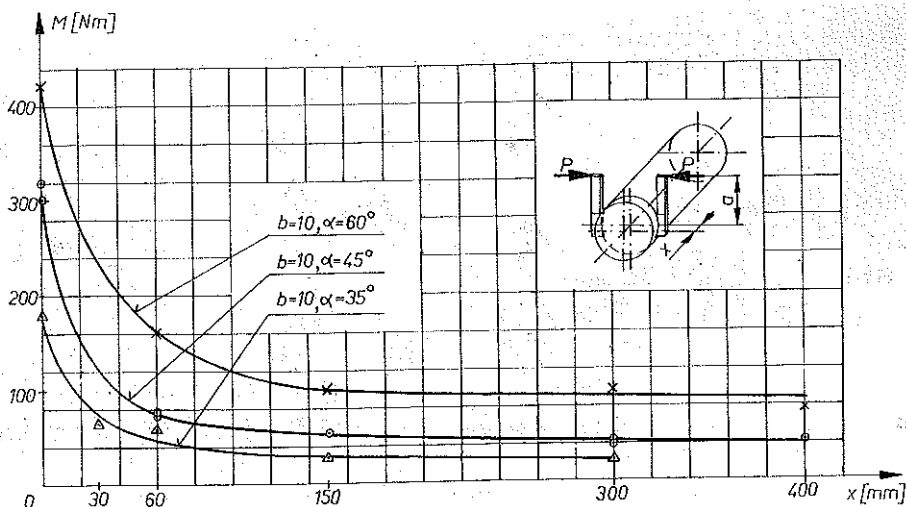


Rys. 8



Rys. 9

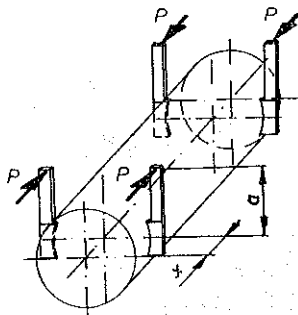
modelu. Przykłady zniszczonych modeli przedstawiają rys. 8 ( $x=0$ ) i rys. 9 ( $x=60$ ). Na rys. 10 przedstawione są wyniki pomiarów momentu powodującego utratę nośności stalowego modelu w zależności od położenia podpór na płaszczu z uwzględnieniem różnych kątów przylegania podpór.



Rys. 10

### 3. WYNIKI BADAŃ MODELI OBCIĄŻONYCH W PŁASZCZYZNACH STYCZNYCH DO PŁASZCZA

Model został obciążony wg. schematu przedstawionego na rys. 11. Dla tego przypadku obciążenia modeli rodzaje mechanizmów zniszczenia przedstawiały się następująco:

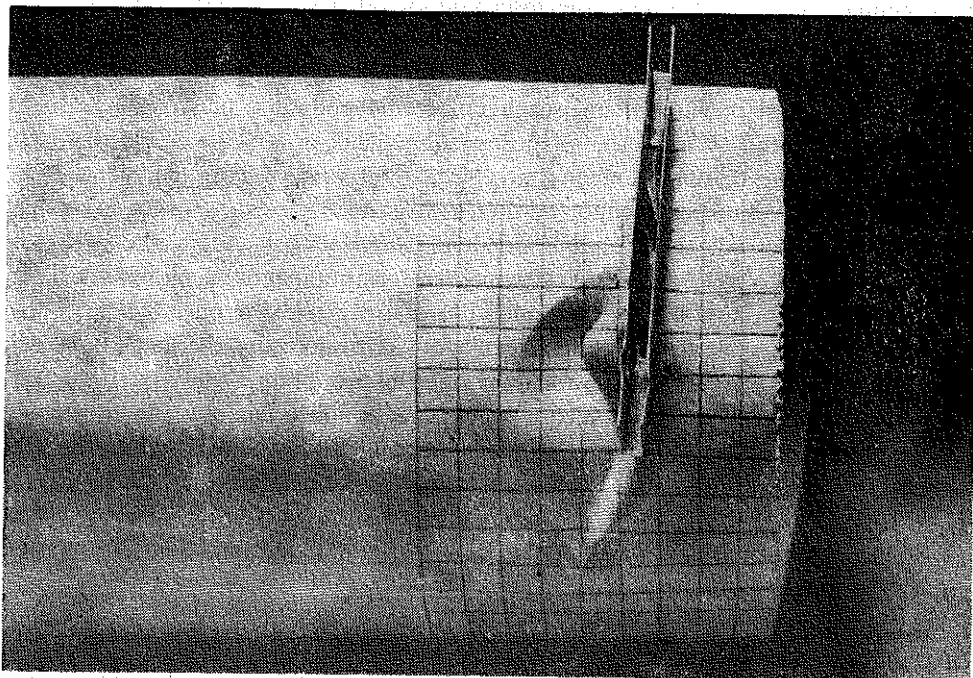


Rys. 11

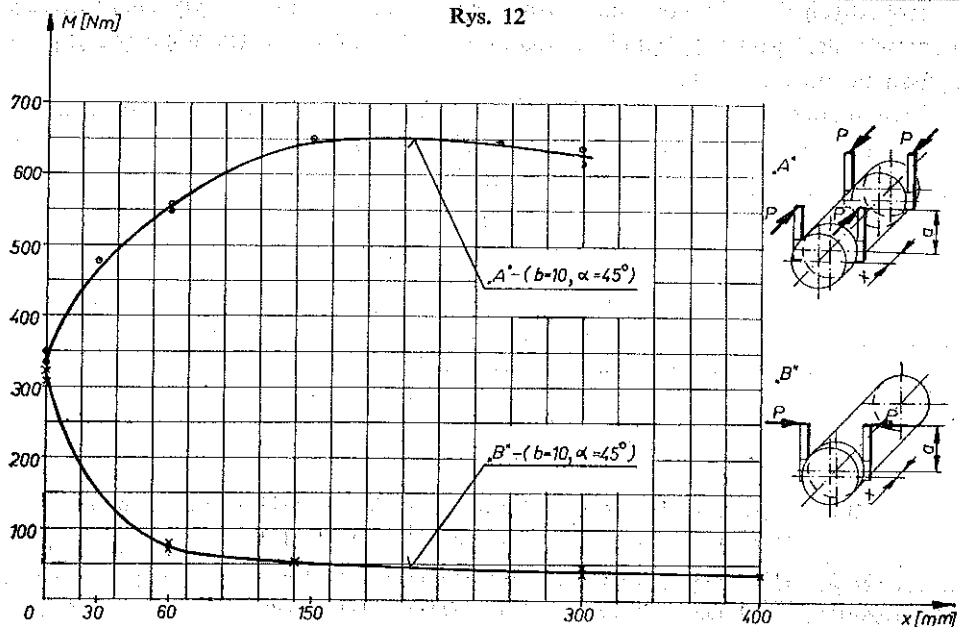
1. Gdy podpory przymocowane są przy krawędzi płaszczu, występuje lokalna utrata stateczności dna i płaszczu modelu w okolicy podpory.
2. Gdy podpory znajdują się w pewnej odległości od dół zawierającej się w granicach połowy średnicy modelu następuje utrata stateczności płaszczu w okolicy podpory.



3. Gdy podpory przytwierdzone są w odległości od den przekraczającej wielkość promienia modelu występuje nieznaczne załamanie płaszcza, a następnie ogólna utrata jego stateczności. Przykład modelu po zniszczeniu przedstawia rys. 12 ( $x=60$ ). Wyniki pomiarów momentu powodującego utratę nośności modelu stalowego, w zależności od położenia podpór na płaszczu, przedstawia rys. 13 (krzywa A).



Rys. 12



Rys. 13

## 4. WNIOSKI

Badania doświadczalne wykazały, że w przypadku obciążenia modeli momentami w płaszczyznach prostopadłych do ich osi wartość momentu powodująca wyczerpanie nośności, przy niewielkim odsunięciu podpór od den, zmniejsza się gwałtownie, a następnie wraz ze wzrostem odległości podpór od den, zmniejsza się łagodniej.

Dla odległości  $x \geq D/2$  zmiany krytycznej wartości momentu są nieznaczące.

Natomiast w przypadku obciążenia modelu momentami w płaszczyznach stycznych do walcowej powłoki w miejscach połączenia podpór z płaszczem, wartość momentu powodująca wyczerpanie nośności modelu, przy różnych położeniach podpór na płaszczu, ma odmienny przebieg. Krytyczna wartość momentu, już przy niewielkim odsunięciu podpór od den, zwiększa się zdecydowanie, a następnie wraz ze wzrostem odległości podpór od den, zwiększa się łagodniej. Po przekroczeniu odległości  $x \geq D/2$  zmiany krytycznej wartości momentu są nieznaczące.

Porównując nośność graniczną modeli dla obu przypadków obciążeń, przy zachowaniu tych samych warunków podparcia, stwierdzono, że wyczerpanie nośności modeli zbiornika dla wszystkich wartości odległości  $x$  podpór od den, następuje przy wyższych wartościach momentu w przypadku obciążenia w płaszczyznach stycznych do walcowej powłoki modelu. Gdy  $x=0$ , różnice w nośności modelu dla obu przypadków są nieznaczące, natomiast gdy  $x=D/2$  nośności te różnią się około 10-krotnie.

Charakterystyka porównawcza zmian nośności granicznej modeli została przedstawiona na rys. 13.

Stwierdzono również wyraźny wpływ kąta przylegania podpór do płaszcza na nośność graniczną modeli w przypadku obciążenia ich momentami w płaszczyznach prostopadłych do osi zbiornika. Porównując wyniki pomiarów krytycznej wartości momentu dla kątów przylegania  $\alpha=60^\circ$ ,  $45^\circ$  i  $35^\circ$  stwierdzono, że większy kąt podwyższa nośność modelu.

Prowadzone są dalsze badania doświadczalne. Posłużą one do opracowania technicznej teorii zniszczenia, która opisałaby badane zjawisko z dokładnością wystarczającą do praktycznego zastosowania.

## LITERATURA CYTOWANA W TEKŚCIE

1. T. KACPERSKI, *Badanie nośności zbiorników opartych na siódlach*, Rozpr. Inż., 19, 4, 637-645, 1971.
2. T. KACPERSKI, *Techniczna teoria zniszczenia okrągłych cylindrycznych zbiorników ścisłanych poprzecznie siódlami*, Rozpr. Inż., 24, 1, 135-148, 1976.
3. T. KACPERSKI, *Nośność graniczna zbiorników piętrowych*, Przegl. Mech., 13, 437-440, 1976.

## Резюме

## ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕЗЕРВУАРЫ НАГРУЖЕННЫЕ МОМЕНТАМИ

Предметом исследований является предельная несущая способность моделей цилиндрических резервуаров, нагруженных моментами в плоскостях перпендикулярных к их осям, а во втором случае в плоскостях касательных к оболочке в местах соединения опор с резервуаром.

## SUMMARY

## CYLINDRICAL TANKS LOADED BY MOMENTS

Load carrying capacity of cylindrical tank models is considered. The tanks are loaded by bending moments in the planes perpendicular to their axes in the first case, and in the planes tangent to the wall at the points of intersection with the supports in the second case.

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

*Praca została złożona w Redakcji dnia 1 czerwca 1983 r.*

---