

Maria Tarnowska
/Gdańsk/

BADANIE FORM DENNYCH W MORSKIEJ STREFIE BRZEGOWEJ
NA PRZESTRZENNYCH MODELACH HYDRAULICZNYCH
W ŚWIETLE REJESTRACJI FOTOGRAFICZNEJ

Znaczną złożoność procesów hydrodynamicznych występujących w morskiej strefie brzegowej powoduje, że aktualnie dysponuje się jedynie bardzo ogólnymi prawidłowościami dotyczącymi oddziaływania falowania i prądów na ruch materiału dennego. Dla warunków ukośnego oddziaływania falowania na brzeg brak jest nadal, mimo szerokich badań prowadzonych w licznych ośrodkach badawczych, jednoznacznej charakterystyki załamania fali, sprawdzonych modeli teoretycznych układu prądowego strefy brzegowej, prawidłowości transformowania się profilów brzegu i granicznych warunków rozgraniczających określone typy profilów brzegowych.

Prowadzona w Polsce intensywne rozbudowa portów morskich stwarza konieczność prowadzenia prognostycznych badań morskiej strefy brzegowej. W Zakładzie Hydrauliki Morskiej Instytutu Budownictwa Wodnego podjęto w roku 1973 temat, mający na celu ustalenie podstaw hydraulicznego modelowania transportu osadów dennych w morskiej strefie brzegowej.

W pierwszym etapie badań [1] poddano analizie, procesy transformacji fali regularnej oraz generacji prądu wzdłużbrzegowego nad nachylonym dnem stałym w warunkach ukośnego oddziaływania fali na brzeg. W wyniku tych badań prowadzonych w układzie przestrzennym, ustalono związek pomiędzy wielkością prądu wzdłużbrzegowego a kierunkiem oddziaływania fali i uzyskano rozkłady prędkości prądu wzdłużbrzegowego w profilu poprzecznym.

W dalszym etapie badań, obecnie realizowanym, podjęto prace dotyczące określenia charakteru transportu materiału dennego i kształtowania się form dennych przy ukośnym oddziaływaniu falowania na brzeg. W Polsce nie prowadzono dotychczas badań tych zagadnień na hydraulicznych modelach przestrzennych, o ruchomym dnie. W związku z tym koniecznym stało się opracowanie nowych metod pomiaru i interpretacji uzyskiwanych wyników w zakresie:

- zjawiska załamania fali,
- charakterystyki prądowej w strefie brzegowej,
- charakterystyki zmian dennych - obejmujących zarówno proces formowania się profilów brzegu jak również szorstkości dna, uwarunkowanej wielkością i położeniem zmarszczek dennych.

Badania wymienionych zagadnień prowadzono na modelu przestrzennym, w basenie falowym o wymiarach 40 x 60 m /rysunek 1/*. Basen ten wyposażony jest w ruchomy generator fali o długości kłapy równej 40 m. Model brzegu stanowiła skarpa o nachyleniu wyjściowym $S_0 = 6\%$ zbudowana z drobnego piasku naturalnego $D_{50} = 0,22$ mm. Na skarpie założona została sieć reperów w układzie prostokątnym, a wszystkie pomiary i obserwacje wykonywano z wózka pomiarowego zdalnie kierowanego. Model brzegu poddawano oddziaływaniu falowania ze zmiennych kierunków: $\psi = 45^\circ, 30^\circ, 15^\circ$ i 0° .

W trakcie doświadczeń prowadzono pomiary:

- parametrów fali,
- zmian głębokości dna w profilach prostopadłych do brzegu,
- ilości transportowanego materiału wzdłuż brzegu

oraz wykonywano obserwacje układu prądowego w strefie przyboju a także określano parametry i ułożenie form dennych.

O ile trzy pierwsze wielkości można było pomierzyć przy użyciu dostępnych przyrządów laboratoryjnych - falowych sond oporowych, sondy batymetrycznej o rejestracji punktowej, mechanicznej łapaczki rumowiskowej /zainstalowanej pomiędzy VIII i IX profilem/, o tyle rozpoznanie układu prądowego w strefie przyboju, jak również określenie przestrzennego układu form dennych można było wykonać jedynie przy użyciu metody fotograficznej.

Ponieważ w badanej strefie brzegowej występuje bardzo zróżnicowany mechanizm ruchu materiału dennego, w rozważaniach wyodrębniono trzy zasadnicze obszary strefy przybrzeżnej:

- obszar transformacji fali /do linii załamania fali/ w którym dominującą rolę grają ruchy oscylacyjne cząstek wody. W obszarze tym formują się zmarszczki denne, a transport materiału odbywa się przede wszystkim w formie wleczenia;
- obszar przyboju /od linii załamania fali do linii brzegu/ w którym zasadniczą rolę pełni proces załamania fali. Ruch osadów dennych odbywa się pod wpływem zróżnicowanych układów prądowych. Zmarszczki denne zwiększają swe parametry wraz ze wzrostem prędkości przydennej, a po

* Wszystkie rysunki patrz na końcu artykułu.

przekroczeniu pewnej granicznej prędkości zanikają. Po pierwszym załamaniu fala odbudowuje się, by ponownie się załamać po osiągnięciu swych krytycznych parametrów. Transport materiału dennego pomiędzy poszczególnymi strefami załamania, względnie między ostatnim załamaniem a linią brzegową, upodabnia się do transportu w przepływie.

- obszar nabiegania fali - w którym ruch materiału zależy od wzajemnego stosunku prędkości napływu i spływu fali oraz od granicznej prędkości ruchu ziaren. W zależności od tych parametrów materiał denny transportowany jest na brzeg, lub zmywany jest ze skarpy wału plażowego do basenu.

Pomiary batymetryczne wykonywane w strefie brzegowej /w przekrojach oddalonych od siebie o 5,0 m/ pozwoliły na otrzymanie profilów brzegu w kierunku prostopadłym do linii brzegowej. Były to profile jedno-, dwu-, trzy-, względnie czterorewowa w zależności od parametrów oddziaływującej fali.

Wykonane w oparciu o te pomiary plany batymetryczne badanego obszaru /rysunek 2/ nie dały jednak prawidłowego układu przestrzennych form dennych. Wynikało to z bardzo znacznych błędów popełnianych przy interpolacji rzędnych pomiędzy zbyt odległymi profilami pomiarowymi. Zagęszczenie profilów sondażowych do mniejszych - kilkunastocentymetrowych odstępów - było ze względu na czasochłonność pomiarów wykluczone.

W takiej sytuacji istotnego znaczenia nabiera pomiar metodą fotograficzną. Przedstawione zdjęcie /rysunek 3/ przestrzennego ukształtowania dna na całej długości badanej strefy brzegowej /mimo swej nie najlepszej jakości/ daje możliwość prawidłowej, jakościowej oceny procesu powstawania form dennych. Celem uchwycenia rozwoju form dennych w czasie falowania wykonywano w określonych odstępach czasu fotografie wybranego obszaru /pomiędzy profilami V oraz VI/. Na kolejnych zdjęciach /rysunek 4/ widać wyraźnie przebieg rozwoju strefy brzegowej. Po dwóch godzinach falowania uformowane wały rewowe mają charakter ciągły i przebiegają w zasadzie równoległe do wału plażowego. W miarę zwiększania czasu oddziaływania falowania następuje rozwój form dennych. Wały rewowe tracą swój prostoliniowy przebieg, następuje sfalowanie grzbietów najpierw na rewie głównej, później na rewach drugorzędnych. W dalszej fazie rozwoju rewy są przebudowywane, następuje przerwanie ich ciągłości oraz skośne położenie poszczególnych odcinków w stosunku do początkowego przebiegu linii brzegowej.

Następnym zadaniem modelu przestrzennego było określenie parametrów zmarszczek dennych oraz ustalenie położenia tych form w stosunku do kierunku brzegu. Dotychczas w obliczeniach ilości materiału przenoszonego

wzdłuż brzegu przyjmowano na ogół jednolitą szorstkość dna, wynikającą z braku znajomości w/w parametrów w poszczególnych strefach profilu. Nawiązując do przedstawionego szkicowo mechanizmu ruchu materiału dennego przeprowadzono obserwacje rzeźby dna w trakcie formowania się profilów brzegowych pod wpływem ukośnego oddziaływania falowania.

Parametry form dennych w profilach poprzecznych określano przy pomocy fotograficznych zdjęć pomiarowych i zastosowanej po raz pierwszy w tych badaniach metody fotogrametrycznej. Zdjęcia wykonywano dwoma prostymi aparatami typu "START" z wysokości 2,5 m w rozstawie 20 cm na błonach fotograficznych ORWO o czułości 20 DIN. Dla sprawdzenia tej metody, formowano na dnie przy pomocy szablonów zmarszczki o znanej wysokości i rozstawie a następnie fotografowano je pod wodą na głębokościach 40,0 cm 15,0 cm i 5,0 cm. Bezwzględny błąd odczytanych ze stereogramów wielkości wynosił 1,0 do 1,5 mm co przy zadanych wysokościach zmarszczek 3,0, 5,0 i 11,0 mm dawało znaczny błąd względny.

Zgodnie z przeprowadzonymi doświadczeniami metoda fotogrametrii w zastosowaniu do badań laboratoryjnych prowadzonych na modelach przestrzennych znajdujących się na otwartym powietrzu nie jest dostatecznie opracowana. Ograniczają jej stosowanie przede wszystkim warunki atmosferyczne /konieczność bezwietrznej pogody, dobrego oświetlenia, a ze względu na cień, odpowiednia pora dnia/. Ponadto metoda ta wiąże się z pracochłonną obróbką kameralną, co powoduje że w chwili obecnej, uznając ją jako przyszłościową dla tego typu badań, nadal stosuje się tradycyjną metodę fotografii płaskiej. Wydaje się jednak, że przy współpracy specjalistów z dziedziny fotogrametrii można będzie przełamać w/w trudności i stosować tę metodę w hydraulicznych badaniach laboratoryjnych, nie tylko w zagadnieniach morskich, lecz również śródlądowych. Ocena parametrów zmarszczek dennych przeprowadzono przy pomocy fotografii płaskiej oraz przy pomocy bezpośrednich pomiarów. Na profilu wyodrębniono następujące charakterystyczne obszary /rysunek 5/:

- 1 - Obszar graniczny początku tworzenia się zmarszczek.
- 2 - Obszar przejściowy znajdujący się po odmorskiej stronie rewy głównej.
- 3 - Obszar w bezpośrednim sąsiedztwie rewy głównej po stronie odmorskiej.
- 4 - Obszar między rewami.
- 5 - Obszar między I rewą a wałem plażowym.

W każdym z tych obszarów /co potwierdza fotografia reliefu dna wykonana w poprzecznym profilu pomiarowym/ parametry liniowe zmarszczek, oraz kierunki ich względem linii brzegowej są różne.

Na kolejnych zdjęciach pokazano /rysunek 6/ zbliżenia zmarszczek w poszczególnych obszarach profilu /obszar 1,2,3,4,5./. Wysokości zmarszczek pomierzone w rynnach, są jak widać, niemal dwukrotnie większe od wysokości zmarszczek mierzonych w pobliżu głębokości początku ich tworzenia. Długości zmarszczek zwiększają się dużo bardziej i w rynnach między rewami przewyższają czterokrotnie długości pomierzone na dużych głębokościach. Położenie zmarszczek w stosunku do wyrównanej linii brzegowej zbliżone są do kierunków grzbietów fali ulegającej refrakcji. W strefie za załamaniem fali, grzbiety zmarszczek układają się niemal prostopadle do kierunku rew. Charakter zmarszczek występujących między rewami jest zbliżony do charakteru zmarszczek w przepływie. Uwagi te dotyczą układów rewowych ciągłych o przebiegu równoległym do brzegu.

Również interesujące wyniki uzyskano w zakresie obserwacji w strefie brzegowej nad dnem ruchomym. Dla uzyskania kierunku oraz rozkładu prędkości prądu wzdłużbrzegowego posłużono się barwnikiem - nadmanganianem potasu. Barwnik ten wprowadzony do strefy za załamaniem fali przemieszczał się zgodnie z kierunkiem wypadkowego przepływu reprezentując przede wszystkim ruchy na powierzchni cieczy. Prędkość prądu określano w oparciu o rejestrację fotograficzną przemieszczania się plamy barwnika w czasie.

Na trzech kolejnych zdjęciach pokazana jest przesuująca się w strefie przyboju plama po 5-ciu, 25-ciu oraz 35-ciu sekundach. Z obserwacji wynika, że kierunek prądu wzdłużbrzegowego jest ściśle związany z konfiguracją dna. W sytuacji /rysunek 7/ silnie rozwiniętego wału plażowego i nieciągłych rew, barwnik wlany do strefy za załamaniem fali /pomiędzy wałem plażowym a rewą/ przemieszczał się równolegle do brzegu wewnątrz strefy przyboju do momentu napotkania silnego spływu poprzecznego. Spływ ten miał miejsce w przekroju w którym występowało wysunięcie wału plażowego w kierunku morza i nieciągłości rew. Proces ten występował cyklicznie wzdłuż brzegu w odległościach uzależnionych od parametrów falowania.

Porównanie przedstawionych wyników z wynikami uzyskanymi na skarpie o jednolitym nachyleniu z dnem stałym pozwala stwierdzić, że wielkość oraz kierunek prądu wzdłużbrzegowego są ściśle związane z konfiguracją dna w strefie przybrzeżnej.

Uzyskane dla skarpy o jednolitym nachyleniu prawidłowości: występowanie maksimum prędkości w profilu poprzecznym wewnątrz strefy przyboju, zależność wartości prędkości od kąta oddziaływania fali oraz jej wzrost ze zwiększaniem się tego kąta, brak wymiany cieczy pomiędzy strefą przyboju a strefą większych głębokości poprzez strefę załamywania się fali,

są jedynie słuszne dla przypadku brzegu, na którym występują liniowe formy denne równoległe do brzegu. Natomiast w przypadku brzegu o rozwiniętych formach jak: "dojrzały" wał plażowy, nieciągłe rewy, położone ukośnie do wyrównanego przebiegu linii brzegowej, stwierdza się zróżnicowanie prędkości prądu wzdłuż brzegu jak również wymianę cieczy poprzez strefę załamania fali o obszarach nieciągłości rew /prądy poprzeczno-przecinające/.

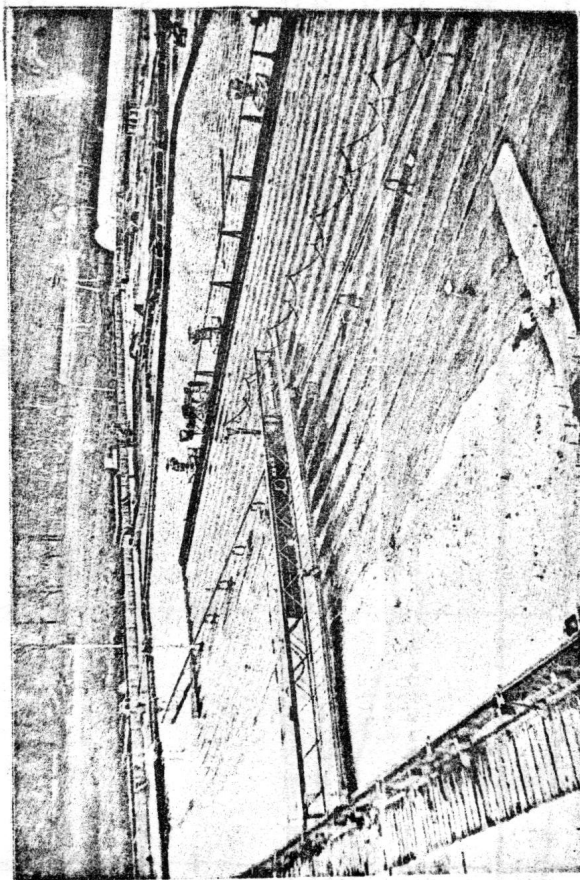
LITERATURA

1. J. Onoszko, Z. Pruszek, Charakterystyka prądu wzdłużbrzegowego w świetle badań modelowych, Opr.wew.IBW PAN, Gdańsk 1973.

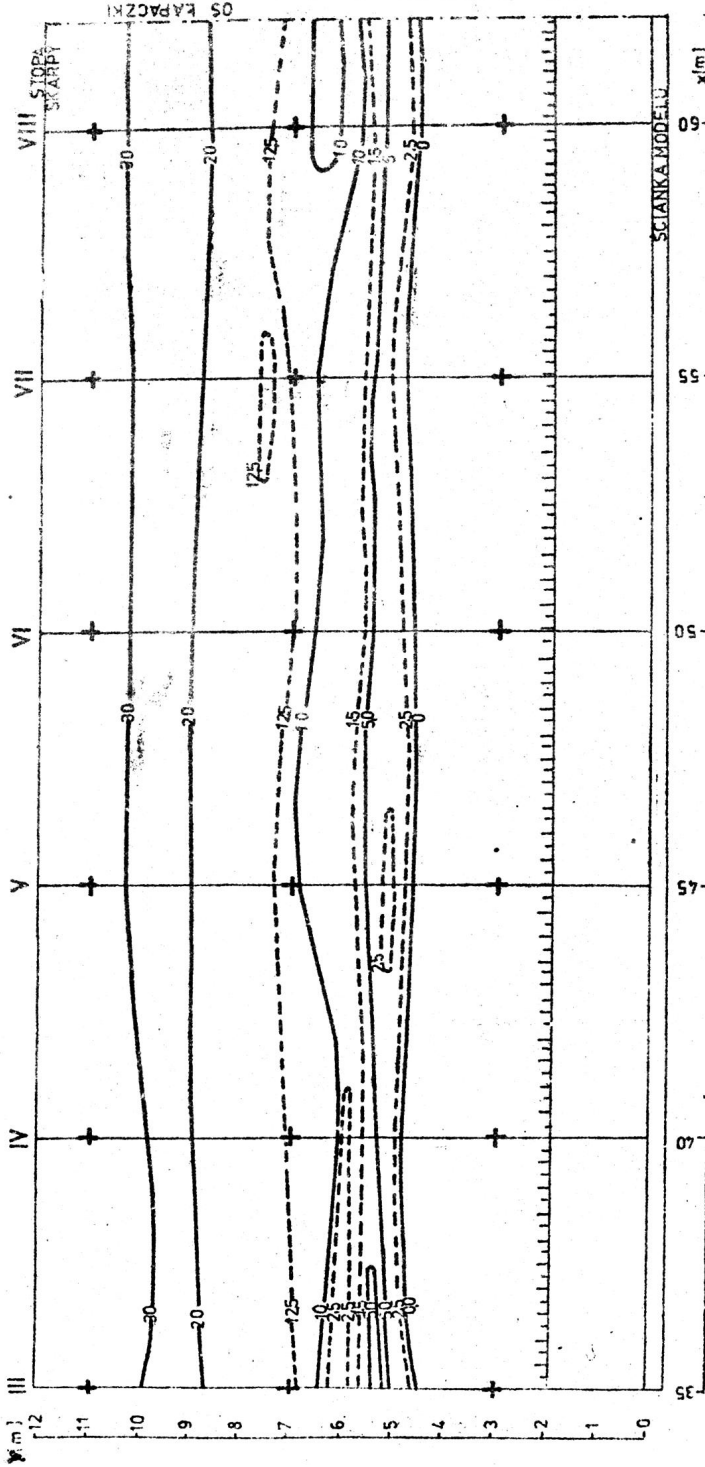
Maria Tarnowska

STUDIES OF SEA SHORE BOTTOM SEDIMENTS USING THREE-DIMENSIONAL HYDRAULIC MODELS IN THE LIGHT OF PHOTOGRAPHIC RECORDING

The author presents measurement methods used for a three-dimensional hydraulic model with a movable bottom. The investigation covered the following features: the wave-bending phenomenon, the coastal current characteristics, sea-floor change characteristics. The observation of the changes concerned both the formation of the shore profile and the roughness of the floor determined by the size and the position of the floor ripples. It has been found that the photographic method is the only method that provides a quantitatively correct assessment of the spatial situation of submerged bottom-forms. These results could not be obtained by using bathymetric measurements of profiles perpendicular to the shore.



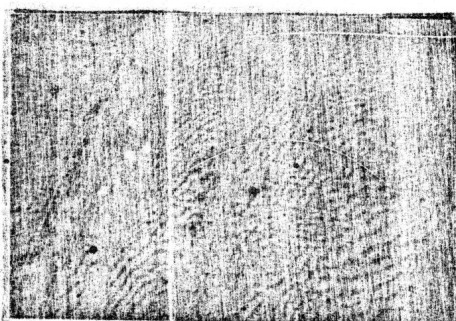
Rys. 1 Basen falowy



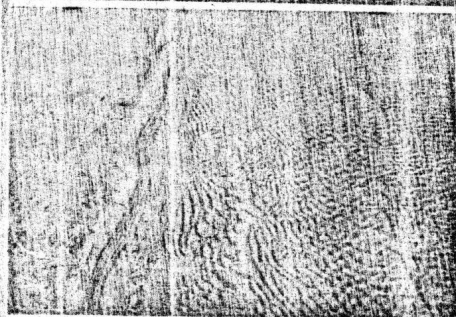
Rys. 2 Plan batymetryczny po 4,5 godz. falowania
 $T = 1,0$ sek., $h = 0,1$ m, $\psi = 30^\circ$



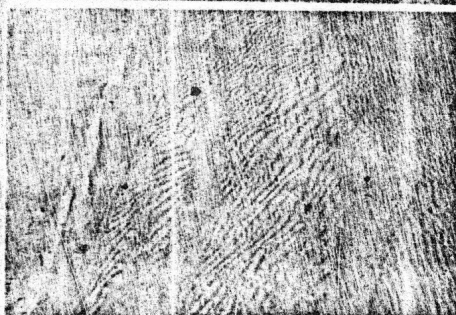
Rys. 3 Przestrzenna rzeźba dna



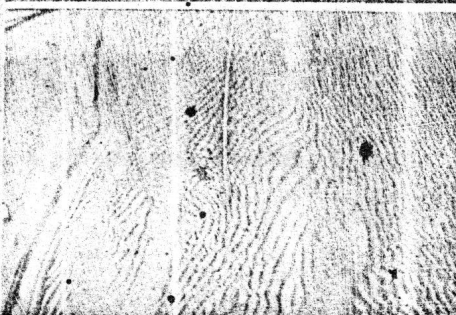
po 2 godz.



po 4 godz.

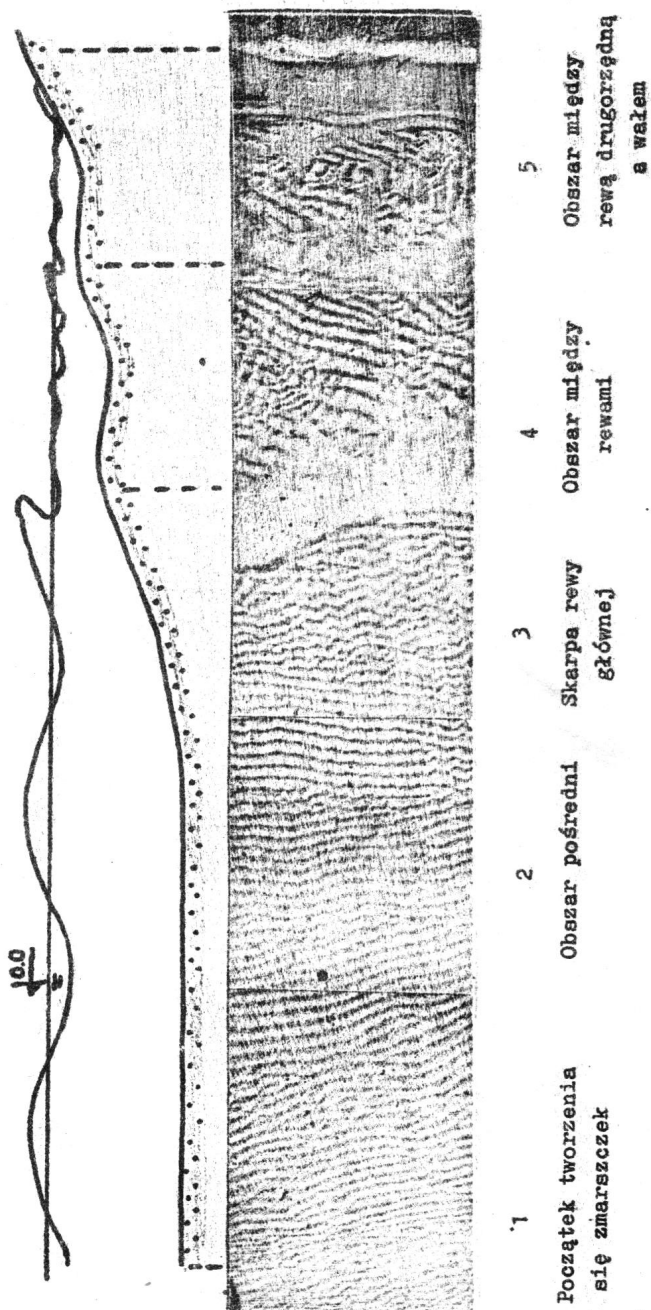


po 8 godz.

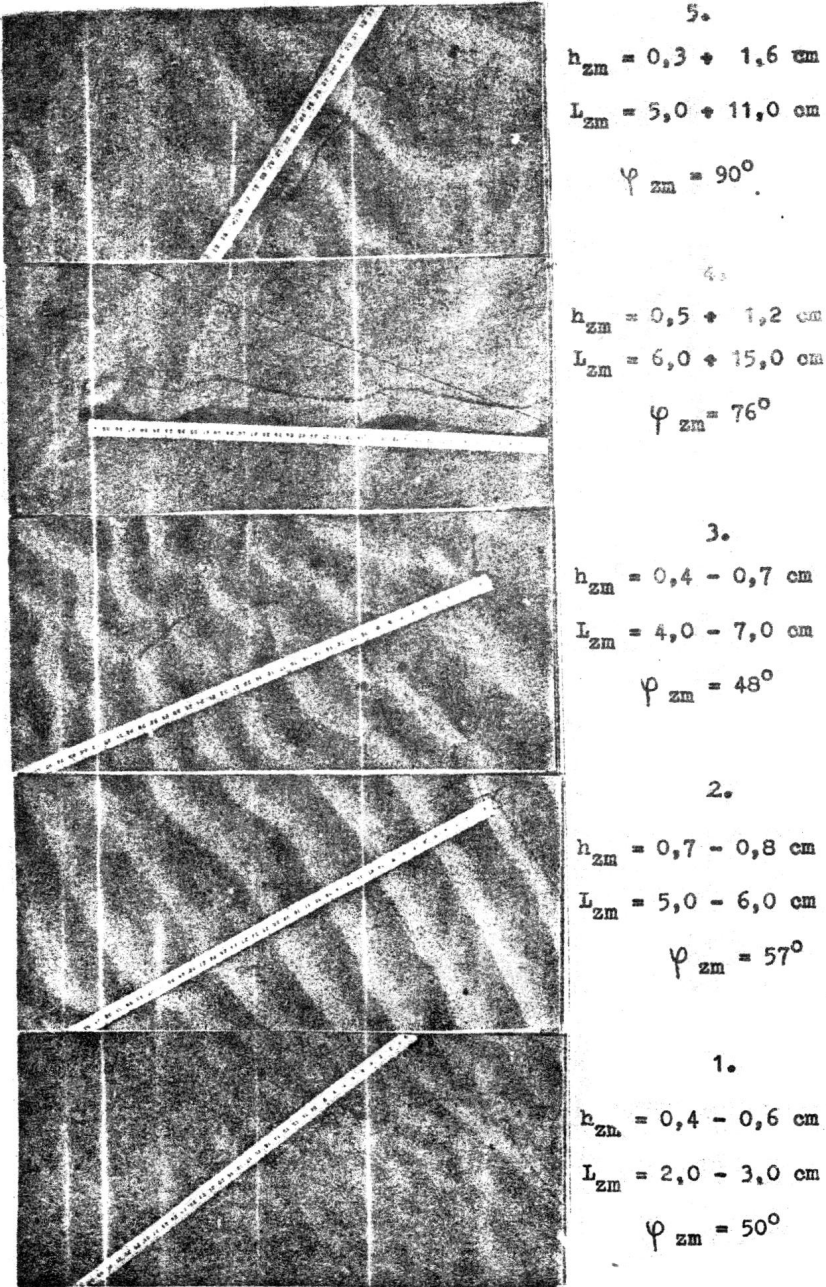


po 12 godz.

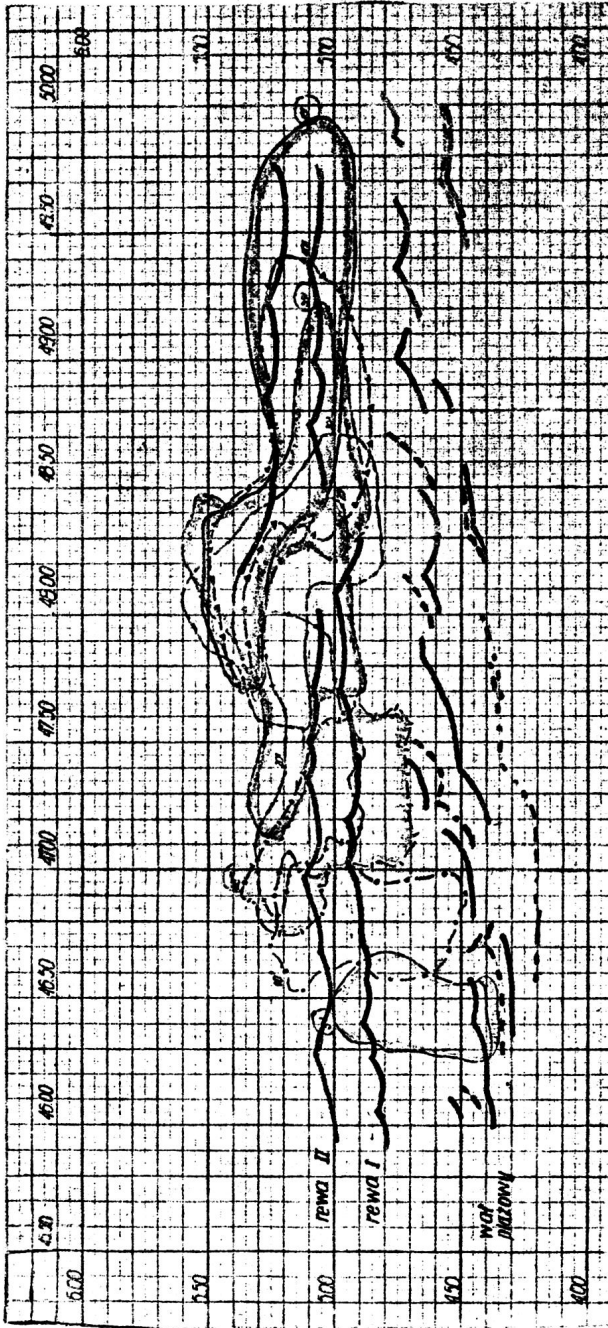
Rys. 4 Rozwój wałów rewowych w czasie doświadczenia



Rys. 5 Rzeźba dna w profilu pomiarowym



Rys. 6 Parametry zmarszczek dennych



Rys. 7 Przemieszczenie się plam barwnika w czasie