

UWAGI O WPLYWIE CECH HYDROGEOLOGICZNYCH PODŁOŻA NA ROZWÓJ STREFY BRZEGOWEJ W REJONIE REWALA

UKD 551.435.314:556.3(438-16)

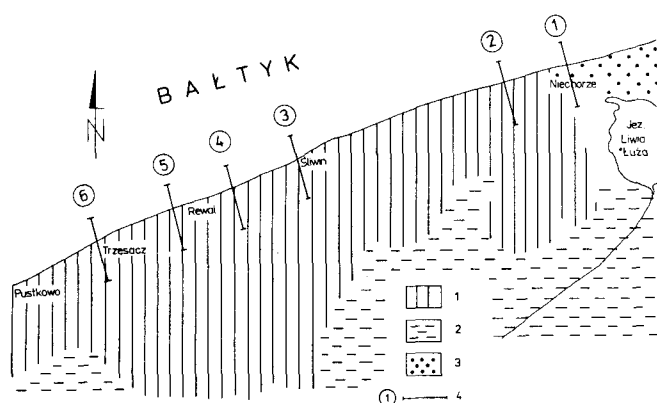
Plejstocenska wysoczyzna Rewala stanowi obszar ograniczony od północy brzegiem Bałtyku, od południa krawędzią doliny marginalnej, od wschodu mierzeją Liwiej Łuży. Wysoczyzna ta od zachodu przechodzi w wąski pas wyniesienia ciągnący się w stronę Pobierowa – Dziwnówka (ryc. 1). Omawiany obszar, a szczególnie jego klifowa krawędź była przedmiotem zainteresowania wielu badaczy (2, 3, 6, 7, 13). W Politechnice Szczecińskiej badania tego terenu koncentrują się na pracach związanych z litodynamiczną charakterystyką strefy brzegowej morza oraz rozpoznaniem geologiczno-inżynierskim i hydrogeologicznym wysoczyzny, dającym podstawę do modelowania i prognozowania rozwoju procesów geodynamicznych zachodzących na klifie (1, 5, 8, 11).

Przedstawione poniżej rozpoznanie wglębnej budowy wysoczyzny Rewala przeprowadzono na podstawie przeszło 40 archiwalnych profili wiertniczych oraz przeszło 50 sondazy elektrooporowych, wykonanych przez Zakład Geotechniki Politechniki Szczecińskiej. Sumaryczna liczba punktów badawczych wynosi ok. 6 na 1 km², z których większość dochodzi do mezozoicznego stropu podłoża osadów czwartorzędowych. Na podstawie tych badań przedstawiono właściwości hydrogeologiczne tego terenu (1, 12) oraz zaprezentowano interpretację paleogeograficznego rozwoju wysoczyzny Rewala (4). W niniejszym artykule ograniczono się do przedstawienia próby powiązania cech hydrogeologicznych podłoża z rozwojem strefy brzegowej tego terenu. W sensie wycinkowym problematyka ta została opisana wcześniej w wielu pracach (10, 13, 14), w których jednak w małym stopniu zwracano uwagę na cechy hydrogeologiczne podłoża zalegającego poniżej poziomu morza.

Na wysoczyźnie Rewala miąższość osadów czwartorzędowych jest zasadniczo większa od 30 m, dochodząc miejscami do 50 m. Rzędna spągu osadów czwartorzędowych na przeważającej części terenu jest położona na głębokości 20–30 m ppm. Ponad tę powierzchnię wznoszą się trzy „garby” w rejonie Śliwina na zachód od Niechorza oraz w rejonie tej miejscowości. Zaznaczają się też dolinne obniżenia: między Trzęsaczem a Rewalem, na wschód od Śliwina oraz na zachód i wschód od Niechorza. Ogólnie istnieje tendencja do obniżania powierzchni podczwartorzędowej w kierunku południowym, ku dolinie marginalnej. Szczegółowiej te zagadnienia zaprezentowano we wcześniejszych pracach (4, 12).

Na podstawie profili wiertniczych i sondazy elektrooporowych wykonano wiele map cięć, prezentujących charakter hydrogeologiczny utworów podłoża czwartorzędowego, który został wyrażony za pomocą współczynnika filtracji. Przedziały wielkości współczynnika filtracji przyjęto przez analogię do terenowych i laboratoryjnych badań tego parametru na Pomorzu Zachodnim.

Pierwsza schematyczna mapka (ryc. 2) prezentuje charakterystyczne wartości współczynnika filtracji utworów czwartorzędowych na głęb. 2 m ppt. Wynika z niej, że

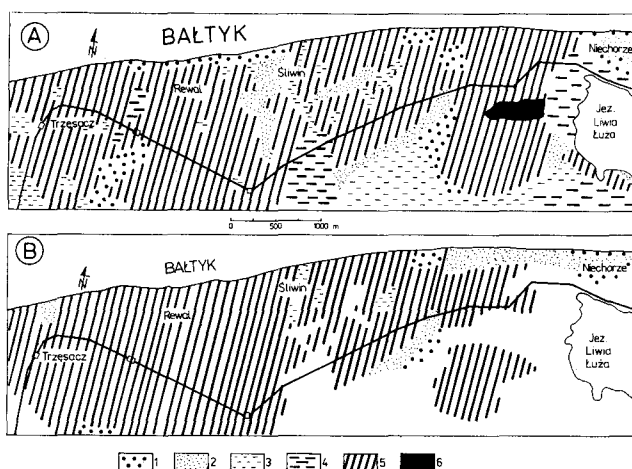


Ryc. 1. Szkic sytuacyjny terenu badań

- 1 – rejon wysoczyzny plejstocenskiej, 2 – rejon pradoliny, 3 – rejon mierzei, 4 – linie przekrojów geologicznych strefy brzegowej morza

Fig. 1. Locational sketch of studied area

- 1 – Pleistocene upland, 2 – paleovalley, 3 – spit, 4 – geological sections in shore zone



Ryc. 2. Schematyczna mapa przepuszczalności gruntów na głębokości 2 m ppt (A) oraz na rzędnej 5 m n.p.m. (B)

- 1 – grunty średnio przepuszczalne ($k_{10} > 10 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 2 – grunty umiarkowanie przepuszczalne ($k_{10} = 10 - 1 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 3 – grunty mało przepuszczalne ($k_{10} = 1 - 0,1 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 4 – grunty słabo przepuszczalne ($k_{10} = 0,1 - 0,01 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 5 – grunty bardzo słabo przepuszczalne ($k_{10} = 0,01 - 0,001 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 6 – grunty nieprzepuszczalne ($k_{10} < 0,001 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$)

Fig. 2. Schematic map of soil permeability at the depth 2 meters (A) and at the ordinate 5 m o.s.l. (B)

- 1 – medium permeable soils ($k_{10} > 10 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 2 – moderately permeable soils ($k_{10} = 10 - 1 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 3 – low permeable soils ($k_{10} = 1 - 0,1 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 4 – weakly permeable soils ($k_{10} = 0,1 - 0,01 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 5 – very weakly permeable soils ($k_{10} = 0,01 - 0,001 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), 6 – impermeable soils ($k_{10} < 0,001 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$)

na przeważającej części wysoczyzny osady są bardzo słabo przepuszczalne ($k_{10} = 0,01 - 0,001 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$). Tylko lokalnie w rejonie Trzemesz, Rewala, Śliwina występują utwory charakteryzujące się współczynnikiem filtracji powyżej $0,1 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$.

Orientacyjne informacje o współczynnikach filtracji osadów zalegających w głębszym podłożu gruntowym prezentuje wiele map cięć na arbitralnie przyjętych rzędnych w m npm.

Na rzędnej 5 m npm (ryc. 2b) w podłożu występują głównie grunty bardzo słabo przepuszczalne ($k_{10} = 0,01 - 0,001 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$). Zbliżony obraz jest również na rzędnej 2,5 m npm (ryc. 3a). Na rzędnej $-2,5 \text{ m npm}$ (ryc. 3b) w pasie przymorskim rejonu Trzemesz i Rewala w podłożu zaczynają się pojawiać osady umiarkowanie przepuszczalne ($k_{10} = 10 - 1 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$). Na rzędnej -5 m npm (ryc. 4a) warstwa utworów umiarkowanie przepuszczalnych ($k_{10} = 10 - 1 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$) występuje szeroką strefą między Trzemeszem a Rewalem oraz na wschód od Śliwina i na wschód od Niechorza. Na rzędnej -10 m npm (ryc. 4b) zaznacza się wyraźny pas osadów umiarkowanie przepuszczalnych między Trzemeszem – Rewalem – Śliwinem.

Wyniki rozpoznania podłoża zaprezentowano na schematycznych przekrojach zorientowanych prostopadle do linii brzegowej. Układ warstw osadów na lądzie ekstrapolowano w pobrzeże na odległość 300 m od brzegu (ryc. 5).

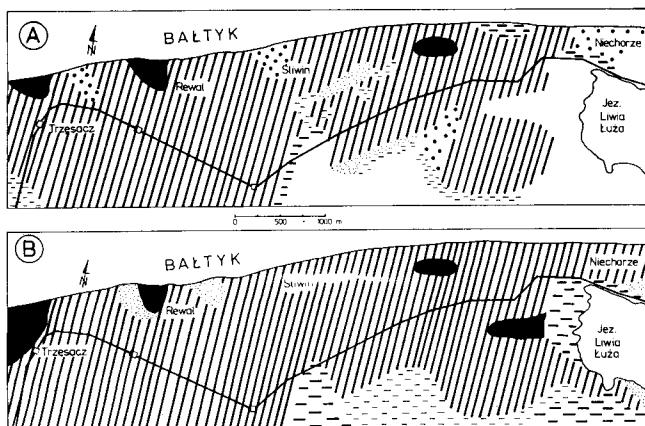
Przekrój 1 zlokalizowano na mierzei Liwiej Łuży (ok. km 367). Podbrzeże łagodnie opada tu w głąb morza. Nachylenie dna do odległości 100 m od brzegu ma spadek ok. 1,5%, w zakresie odległości 100–300 m – 0,5%. W podbrzeżu występuje platforma abrazyjna utworzona w warstwie osadów piaszczystych. Energia wód morskich działających w strefie przyboju koncentruje się głównie na procesach związanych z ruchem rumowiska w obrębie rew. Na brzegu (plaży) aktywnie rozwijają się procesy aerodynamiczne związane z okresową akumulacją i przewiewaniem materiału na brzegu i wydminie nadbrzeżnej. W okresach silnych sztormów osady te ponownie zasilają rumowisko podbrzeża.

Przekrój 2 zlokalizowany jest na wybrzeżu klifowym na zachód od latarni morskiej w Niechorzu (ok. km 368). W podbrzeżu pod cienką warstwą rumowiska i reziduiów

(reprezentowanych przez piaski różnej granulacji, pospółki, żwiry i kamienie) zalegają gliny zwałowe. Platforma abrazyjna jest wycięta w gruntach spoistych, charakteryzując się wyraźnie wklęsłym przekrojem poprzecznym podbrzeża. Nachylenie dna od brzegu do odległości 100 m jest rzędu 2%, w zakresie odległości 100–200 m – 0,8%, 200–300 m – 1,5%. Obserwuje się, że podbrzeże jest formowane pod wpływem abrazyji podmorskiej, która powoduje rozmywanie gliniastego podłoża. Wymyty z niego materiał pylasty i ilasty w formie zawiesiny jest wynoszony w stronę otwartego morza. Na rozwój procesów geodynamicznych, niszczących klif, oddziałują śródglinowe wody sączeniowe oraz wody wypływające na powierzchnię przez warstwę piaszczystą. Wody te inicjują rozwój powierzchniowych ruchów masowych typu zmywowego i osuwiskowego.

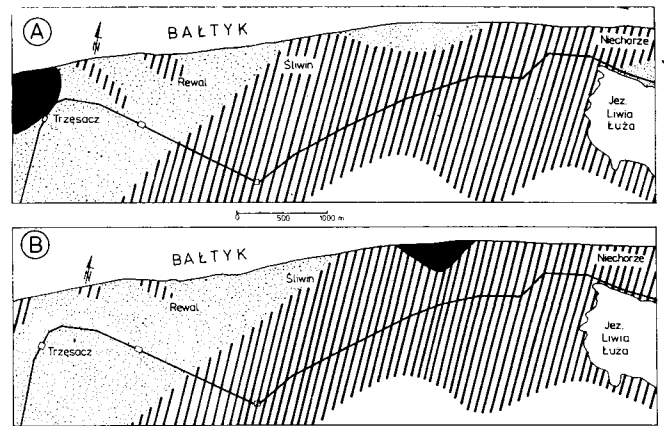
Przekrój 3 usytuowany został w rejonie Śliwina (ok. km 370), w strefie aktywnych osuwisk na klifie. W ścianie klifu występuje mezozoiczny porwak ilasty. Odbicie silnego niszczenia nadbrzeża znajduje się również w podbrzeżu, w którym platforma abrazyjna ma nachylenie około 1,5–2%. Abradowane podbrzeże jest formowane w porwaku ilastym lub glinach zwałowych, na których zalega tylko okresowo bardzo cienka pokrywa piaszczystego rumowiska. Miejscami pojawiają się wychodnie żwirowo-kamienistych utworów rezidualnych. Niszczenie nadbrzeża jest efektem bezpośredniej abrazyji morskiej oraz klasycznych procesów osuwiskowych spotęgowanych przez podziemny spływ wód sączeniowych przez „spękane” utwory ilasto-gliniaste.

Przekrój 4 znajduje się na wybrzeżu klifowym w Rewalu (ok. km 371,5). Platforma abrazyjna podbrzeża jest formowana w glinie zwałowej. Podbrzeże jest tu poddane silnemu podwodnemu rozmywaniu, o czym świadczyć może wyraźnie wklęsły kształt przekroju poprzecznego podbrzeża. Nachylenie dna jest tu rzędu 1,5–2,0%. Na abrazyjnej powierzchni zalega cienka warstwa rumowiska złożonego z piasków drobnych i średnich. Lokalnie znajdują się rezidualne utwory żwirowe. Klif niszczone jest głównie w wyniku spływów oraz zsuwów. Znajdujący się na plaży materiał koluwalny jest wynoszony przez wody potoków przybojów sztormowych. Sądzić można, że w strefie brzegowej został ukształtowany „mobilny” dla aktualnych warunków hydrodynamicznych profil równowagi.



Ryc. 3. Schematyczna mapa przepuszczalności gruntów na rzędnej 2,5 m npm (A) oraz na rzędnej $-2,5 \text{ m npm}$ (B); objaśnienia sygnatur na ryc. 2

Fig. 3. Schematic map of soil permeability at the ordinates: 2.5 m o.s.l. (A) and 2.5 m u.s.l. (B); explanations as on fig. 2



Ryc. 4. Schematyczna mapa przepuszczalności gruntów na rzędnej -5 m npm (A) oraz na rzędnej -10 m npm (B); objaśnienia sygnatur na ryc. 2

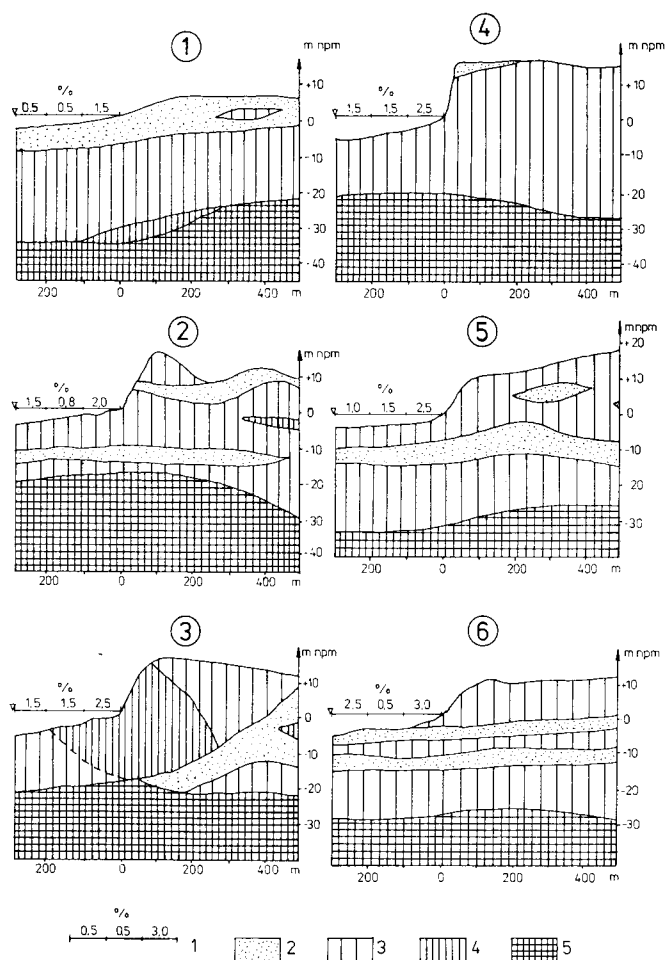
Fig. 4. Schematic map of soil permeability at the ordinates: 5 m u.s.l. (A) and 10 m u.s.l. (B); explanations as on fig. 2

Przekrój 5 jest usytuowany na zachód od Rewala (ok. km 372). Platforma abrazyjna podbrzeża jest wycięta w glinach zwałowych. Przekrój poprzeczny strefy brzegowej wskazuje na występowanie tu „labilnej” równowagi morfodynamicznej. Do odległości ok. 100 m od brzegu nachylenie dna jest rzędu 2–4%, a w interwale odległości 100–300 m – 1,0–1,5%. Na abrazyjnej powierzchni podbrzeża występuje cienka warstwa rumowiska złożonego z piasku drobnego. Fragmentarycznie w podbrzeżu występują rezidualne utwory żwirowo-kamieniste. Rozważając tendencje rozwojowe podbrzeża, należy sądzić, że może być ono w sposób gwałtowny rozmywane, gdy zmniejszy się grubość zalegającej w dnie warstwy gliniastej, pod którą występują plejstocenyjskie utwory piaszczyste z wodami podziemnymi o zwierciadle napiętym. Liczyć się wtedy należy z możliwością wystąpienia efektu naturalnego przebicia hydraulicznego gliniastego nadkładu i wdarcia się „upłynnionego” masy piasku (kurzawki) w przypowierzchniowe partie podbrzeża. Oczywiście przedstawiona prognoza może być słuszna, jeżeli ekstrapolacja przebiegu warstw geologicznych w podbrzeżu jest prawidłowa, a ciśnienie wody podziemnej będzie

przewyższało ciśnienie gliniastego nadkładu oraz ciśnienie wody morskiej. Obecnie klifowe nadbrzeże jest niszczone w efekcie ablacji deszczowej, spływów powierzchniowych oraz płaskich zsuwów. Okresowo intensyfikacja osuwisk jest związana z oddziaływaniem przepływu śródglinowych wód sączeniowych. Materiał deluwialny i koluwalny, znajdujący się na brzegu, wynoszony jest w głąb morza w czasie napływu i spływu wód przyboju sztormowego.

Przekrój 6 jest zlokalizowany w Trzęsaczu (ok. km 373–373,5). W podbrzeżu zaznacza się zmienny przebieg nachylenia dna. Do odległości ok. 25 m od brzegu nachylenie jest rzędu 5%, w przedziale 25–50 m – 0,3%, 50–100 m – 1,5%, 100–200 m – 0,5%, 200–300 m – 3%. Tego rodzaju „schodkowe” zróżnicowanie załamania spadku przekroju poprzecznego podbrzeża znajduje odbicie w odmiennym litologicznie materiale budującym platformę abrazyjną. Przy brzegu znajdują się tu gliny, a dalej zalegają piaski. Działanie dynamiki wód morskich koncentruje się na kształtowaniu podbrzeża rewowego oraz dyferencjiacji piaszczystego materiału, jaki dostaje się do podbrzeża z lądu oraz ze stropowej części warstwy plejstocenyjskiego piasku zalegającego tu *in situ* w dnie morza. Jeżeli założyć, że z plejstocenyjskiej warstwy piaszczystej następuje podmorski wypływ wody słodkiej (wody pod ciśnieniem spływające od strony lądu), to proces uruchamiania ziarn w stropie warstwy piaszczystej ma znaczący charakter dla procesów litodynamicznych rozwijających się w podbrzeżu. Wydaje się, że budowa geologiczna podbrzeża oraz zachodzące tam procesy geodynamiczne rzutują na relatywne osłabienie obecnego tempa cofania się klifu w Trzęsaczu. Klif ten w ostatnich dwudziestu latach niszczone jest przez słabe, płaskie zsuwy oraz spływy zboczowe. Należy mieć jednak na uwadze fakt, że jeżeli, przyjęta ekstrapolacja układu warstw w podbrzeżu jest słuszna, to rejon Trzęsacza jest narażony na rozwijający się obecnie proces formowania głębokiego osuwiska związanego z wypływaniem na zewnątrz (do podbrzeża) „upłynnionego” materiału piaszczystego. Towarzyszyć temu musi znaczny ubytek objętości warstwy piaszczystej podścielającej gliniasty materiał obecnego klifu i początek tworzenia się tzw. „osuwiska z wypływania”. Jeżeli przedstawiona prognoza byłaby słuszna, to należy liczyć się, że po pewnym (bliżej nie określonym) czasie uformować się może nisza osuwiskowa, której krawędzie znajdować się mogą nawet kilkaset metrów od dzisiejszej krawędzi klifu. Rozwinąć się wtedy może proces osuwiskowy o charakterze katastrofalnym. Chcąc sprawdzić prawidłowość przedstawionych powyżej przypuszczeń, konieczne jest prowadzenie specjalnych obserwacji hydrogeologicznych i geodezyjno-geomorfologicznych w strefie o szerokości kilkuset metrów od krawędzi klifu, a nie wyłącznie w bezpośrednim sąsiedztwie dzisiejszych ruin kościoła w Trzęsaczu.

Z przeprowadzonych badań wysoczyzny Rewala wynika, że efektywne zahamowanie niszczenia klifów nie może być prowadzone wyłącznie za pomocą typowej hydrotechnicznej ochrony brzegu i podbrzeża. Przede wszystkim należy wykonywać optymalne zabiegi geotechniczne gwarantujące stateczność zboczy klifu, łącznie z abrazyjnym podbrzeżem. W świetle przeprowadzonych badań inżynierskich (1, 5, 9, 10, 13, 14) uważa się, że szczególnie skuteczną ochronę klifów przed niszczeniem powinno prowadzić się za pomocą odwodnienia kilkusetmetrowej szerokości lądu przylegającego do klifu. Bardzo istotne jest też rygorystyczne przestrzeganie specyfiki zagospodarowania przestrzennego przyklifowej części



Ryc. 5. Schematyczne przekroje geologiczne przez strefę brzegową Bałtyku w okolicy Rewala. Lokalizacja przekrojów podana na ryc. 1

1 — nachylenie dna podbrzeża na odcinkach 100 m w procentach, 2 — piaski, 3 — gliny, 4 — iły, 5 — utwory podłoża mezozoicznego

Fig. 5. Schematic cross-sections of the Baltic shore zone in Rewal region. Sections location on fig. 1

1 — nearshore bottom inclinations in percents along 100 m steps, 2 — sands, 3 — clays, 4 — muds, 5 — Mesozoic basement deposits

ładu, ze szczególnym zwróceniem uwagi na prawidłowość wykonania i eksploatacji układów kanalizacyjno-ściekowych.

L I T E R A T U R A

1. Badania modelowe systemów odwadniających brzegi klifowe na przykładzie Śliwina. Praca zbiorowa. Inst. Inż. Wod. Polit. Szcz., 1979 (maszynopis).
2. Dobracka E., Dobracki R., Matkowska Z. — Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski. Arkusz Dziwnów. Arkusz Kamień Pomorski. Inst. Geol., Warszawa, 1977.
3. Dobracka E., Ruszała M. — Charakterystyka geologiczna i geomorfologiczna strefy przy-morskiej na odcinku Międzyzdroje — Trzęsacz — Niechorze. Pr. Nauk. Polit. Szcz., 1988 nr 378.
4. Dobracki R., Racinowski R. — Czwartorzędowe powierzchnie morfogenetyczne wysoczyzny rejonu Rewala. PAN KBM, Studia i Mater. Oceanolog., 1989 nr 56.
5. Haurylikiewicz J., Lupa H. — Wpływ odwodnienia klifu na jego stateczność. Inż. Mors., 1984 nr 3.
6. Kopczyńska-Lamparska K. — Typy litologiczne i deformacyjne glin zwałowych klifu okolic Rewala w aspekcie stratygraficznym. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW, 1975 t. 18 s. 237–255.
7. Kopczyńska-Lamparska K. — Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski. Arkusz Niechorze. Inst. Geol., Warszawa, 1979.
8. Lupa H., Puchała S. — Symulacja oddziaływania odwodnienia urządzeń odwadniających na warunki hydrogeologiczne klifu na quasi-prze-strzennym dyskretnym modelu elektroanalogowym. Inż. Mors., 1983 nr 2.
9. Mielczarski A. — Wpływ gospodarki wodno-ściekowej w osiedlach nadmorskich na proces erozji dna przybrzeżnego. Ogólnopolska Konferencja Aktualne problemy ochrony środowiska w regionie nadmorskim. Gdańsk — Sobieszewo, 1989 (maszynopis).
10. Onoszek J., Subotowicz W. — Procesy brzegowe w rejonie klifu w Trzęsaczu. Tech. i Gos. Mors., 1979 nr 3.
11. Racinowski R. — Próba interpretacji dynamicznej badań litologicznych osadów podbrzeża między Niechorzem a Trzęsaczem. Bad. Fizjograf. nad Polską Zach., 1988 s. A nr 39.
12. Racinowski R., Włoch W. — Próba uproszczonej schematyzacji własności hydrogeologicznych podłoża gruntowego w rejonie Rewala. Inż. Mors., 1982 nr 1.
13. Subotowicz W. — Litodynamika brzegów klifowych wybrzeża Polski. GTN, Ossolineum, 1982.
14. Subotowicz W., Sobolewski J. — Prz. Geol., 1980 nr 2 s. 102–109.

S U M M A R Y

The Rewal area (Western Pomerania) is very interesting from geomorphological and geological point of view. It is Pleistocene upland, from south framed with deep marginal valley, from east it contacts with the Liwia Łuża spit but from north its margin forms an active cliff (Fig. 1). Result of basement investigations were presented as several maps (Figs. 2–4), where deposit features were marked with their filtration coefficients. Some connections between hydrogeologic attributes of basement and morphology of sea border were discussed (Fig. 5). Some opinions were confirmed that exists direct influence of periodically effluenting from cliff underground waters on slump processes and resulting withdrawal of backshore margin. Independently of it shaping of shore zone cross-section is modified by hydrogeological character of deposits, consisting the bottom basement of nearshore zone. It is visible in western part of studied area where sandy bed with tense water level was placed under thin layer of impermeable soils or it occurs just at bottom surface. Activity of shore protection in the Rewal region concentrates on elaboration of an idea of dewatering of broad backshore belt, framing cliff and proper spatial management of Pleistocene upland.

Р Е З Ю М Е

Район Ревал (западное Поморье) является интересной территорией с геологической точки зрения. Он является плейстоценовой возвышенностью ограниченной с юга глубокой маргинальной долиной, с востока контактируется с косой Ливей Лужи, а с севера ее край составляет живой клиф (рис. 1). Результаты исследований фундамента представлены в форме многочисленных карт разрезов (рис. 2–4), на которых свойства отложений изображены в форме их коэффициентов фильтрации. Описана попытка определения связи между гидрогеологическими свойствами фундамента и морфодинамическим характером береговой зоны моря (рис. 5). Подтвердились принимаемые до сих пор мнения о присутствии непосредственного влияния подземных вод вытекающих периодически со стен клифа на развитие оползневых процессов, что вызывает отступление края побережья. Независимо от этого фактора, на процесс формирования поперечного разреза береговой зоны оказывает влияние гидрогеологический характер слоев фундамента распространенных в дне побережья. Это хорошо видно в западной части исследованной территории, где в побережье — под относительно тонким слоем непроницаемых грунтов (или непосредственно в дне) — находится слой с водами с напряженным зеркалом. Охрана берега в районе Ревал состоит главным образом в разработке концепции осушения широкой полосы побережья прилегающей к клифу и правильного пространственного освоения плейстоценовой возвышенности.