

Badania sejsmiczne struktury wałów przeciwpowodziowych

Dr Leszek Józef Kaszubowski

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury

Badania sejsmiczne wałów przeciwpowodziowych na terenie Zakładów Chemicznych Police (rys. 1) były zlecone przez Przedsiębiorstwo Geologiczne „Geoprojekt Szczecin”, a wykonane przez Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi, Oddział Zachodniopomorski w Szczecinie [7]. Badania przeprowadzono jesienią 2010 roku wykorzystując aparaturę CS-5G-1, gdzie zastosowano metodę fal odbitych. W czasie badań użyto zakres pomiarowy 50 ms, co spowodowało, że penetracja fal sejsmicznych sięgała do głębokości 40 m poniżej poziomu terenu. Fale sejsmiczne rejestrowano przez 6 geofonów rozstawionych co 10 m. Podczas badań terenowych stosowano wzmocnienie sygnałów sejsmicznych (78 dB). Przy korzystaniu z zakresu pomiarowego $Z = 50$ ms uzyskiwano częstotliwość impulsów $ZP = 10$ kHz. Należy zaznaczyć, że badania sejsmiczne o wysokiej rozdzielczości z użyciem aparatury CS-5G-1 stosowano już wielokrotnie do badania utworów czwartorzędu i ich podłoża [1, 3, 4, 5, 6].

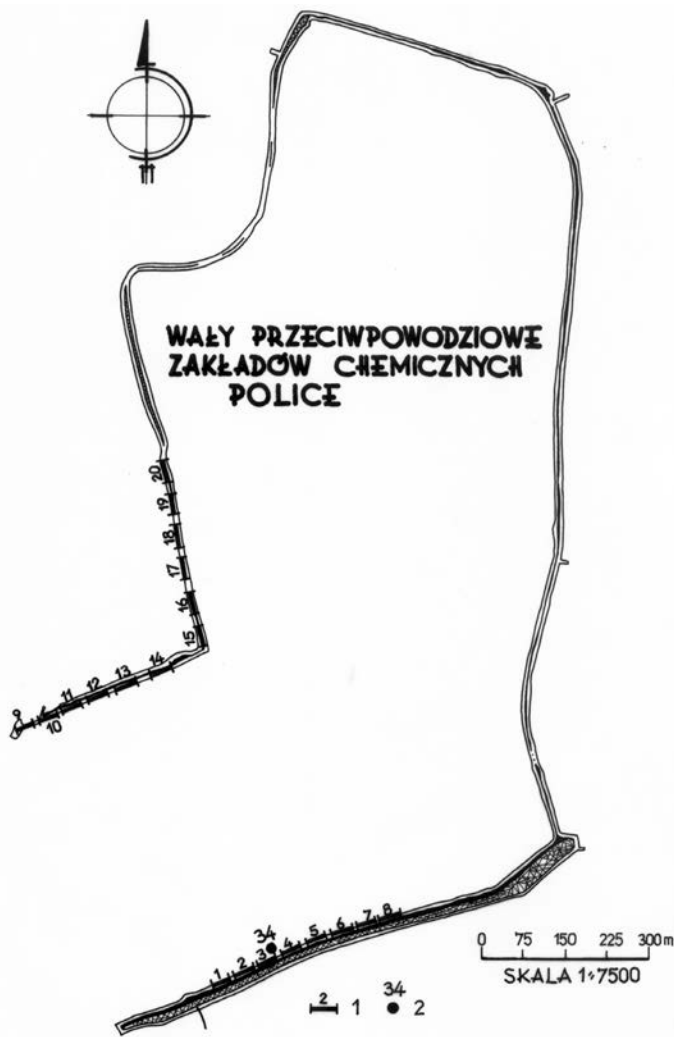
Głównym celem badań było prześledzenie struktury wałów przeciwpowodziowych i ich podłoża. Chodziło o wykrycie najsłabszych miejsc w strukturze wałów, gdzie występują grunty nasypowe o najsłabszych parametrach geotechnicznych. Te strefy wału przeciwpowodziowego nie spełniają wymogów, jakie stawia się budowlom ziemnym w czasie zagrożenia przeciwpowodziowego. Do tego rodzaju gruntów zaliczono namuły organiczne i torfy przynależne do gruntów słabych pochodzących bezpośrednio z podłoża wałów przeciwpowodziowych.

Głębsze podłoże obszaru badań związane z osadami czwartorzędu (jak wynika z analizy szczegółowej mapy geologicznej Polski, arkusza Police [8]) podłoże to występuje na głębokości około 130 m p.p.m. W niektórych rejonach podłoże czwartorzędu może występować na głębokości 70 m p.p.m. Przedstawiane podłoże [8] jest reprezentowane przez mulki, ły i iłowce oligocenu (warstwy czempińskie, poziom 2, rys. 2), a w niektórych rejonach przez wapienie i margle kredy górnej (poziom 1). Badania terenowe przeprowadzono wzdłuż korony wałów przeciwpowodziowych (rys. 1).

OSADY PLEJSTOCENU

Przeprowadzona analiza szczegółowej mapy geologicznej Polski, arkusza Police [8] wykazała, że na obszarze doliny rzeczno-rozlewiskowej Odry występuje 5 poziomów glacialnych. Piotrowski [8] przy analizie budowy czwartorzędowej stosował starszy podział stratygraficzny. Według aktualnego podziału stratygraficznego czwartorzędu Polski prawdopodobnie występują tam różne warstwy geologiczne.

Najniżej położone są gliny zwałowe zlodowacenia Sanu I i Sanu II, w niektórych miejscach przewarstwiane przez piaski i mulki glacialimiczne (poziom 3, 4 i 5). Według Piotrowskiego [8] gliny zwałowe zlodowacenia najstarszego i zlodowacenia południowopolskiego – stadiału dolnego o miąższości od $15 \div 30$ m, zalegają tutaj bezpośrednio na podłożu czwartorzędu.



Rys. 1. Lokalizacja badań sejsmicznych w obrębie wałów przeciwpowodziowych Zakładów Chemicznych Police

W wyższych partiach występują gliny zwałowe zlodowacenia Odry – stadiału dolnego i stadiału górnego (poziom 6 i 7). Według Piotrowskiego [8] gliny zwałowe zlodowacenia środkowopolskiego – stadiału maksymalnego i stadiału mazowiecko-podlaskiego mają miąższość od 20 ÷ 50 m (rys. 2).

Na glinach lodowcowych zlodowacenia Odry występuje dość miąższa seria osadów zastoiskowych (poziom 8) w postaci piasków, mułków i ilów zlodowacenia Warty – stadiału dolnego o miąższości od 20 ÷ 30 m (według Piotrowskiego osady zastoiskowe zlodowacenia środkowopolskiego – stadiału północno-mazowieckiego). Na osadach zastoiskowych według badań sejsmicznych zalegają piaski i żwiry glacyfluwialne zlodowacenia Warty stadiału dolnego (poziom 9) o miąższości od 10 ÷ 30 m (według badań Piotrowskiego osady glacyfluwialne zlodowacenia północnopolskiego – stadiału głównego). W górnych partiach osadów czwartorzędowych, jak wykazały badania sejsmiczne, występują gliny morenowe zlodowacenia Warty stadiału dolnego (poziom 10) o miąższości od 10 ÷ 30 m (według Piotrowskiego gliny morenowe zlodowacenia północnopolskiego – fazy pomorskiej). W partiach stropowych plejstocenu występują piaski, miejscami rzeczne piaski ze żwirami zlodowacenia Wisły – fazy pomorskiej o miąższości od 5 ÷ 15 m (według

Piotrowskiego piaski, miejscami rzeczne piaski ze żwirami zlodowacenia północnopolskiego – fazy pomorskiej, rys. 2).

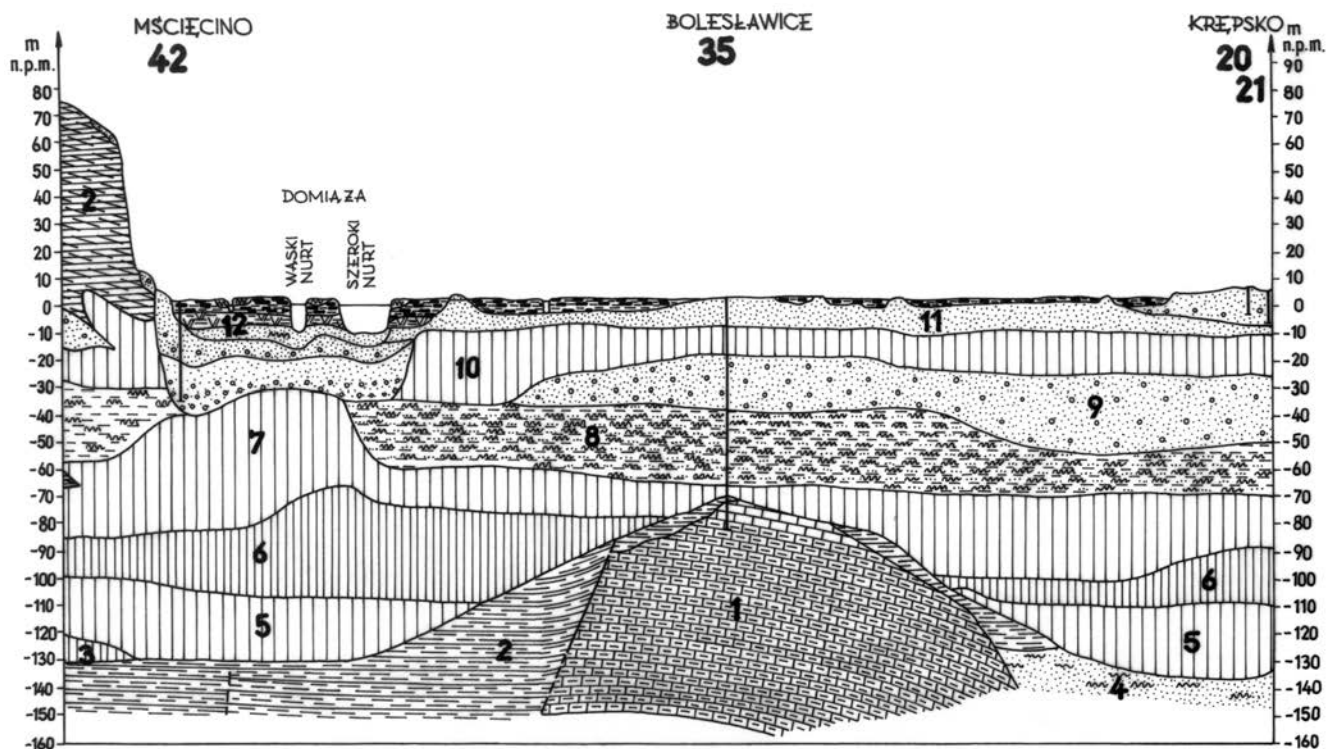
Przeprowadzone badania sejsmiczne w rejonie wałów przeciwpowodziowych Zakładów Chemicznych Police wykazały, że w dolnych partiach rejestracji sejsmicznych (rys. 3, 4, 5) występują typowe zapisy obrazu falowego charakterystycznego dla utworów mułkowo-ilastych, które należy wiązać z wcześniej wydzielonymi osadami zastoiskowymi (poziom sejsmiczny E). Zapis fali sejsmicznej w wielu przypadkach jest bezamplitudowy. Wyraźnie widać, że utwory zastoiskowe są przewarstwiane osadami piaszczystymi (zaznaczająca się większa amplituda fali sejsmicznej, rys. 3). Jak wynika z przeprowadzonych badań strop analizowanych utworów zalega na głębokości od 16 ÷ 20 m p.p.m. (rys. 3, 4, 5). Miąższość utworów zastoiskowych wynosi ponad 20 m.

Na utworach zastoiskowych występują płatowo gliny zwałowe zlodowacenia Warty stadiału dolnego (poziom sejsmiczny D) o charakterystycznym dwudzielnym zapisie sejsmicznym (rys. 3, 4). Strop tych utworów jest położony na głębokości od 5 ÷ 10 m p.p.m., a miąższość wynosi od 5 ÷ 11 m. Górne partie plejstocenu tworzą piaski i żwiry pochodzenia rzeczno-podlaskiego (poziom sejsmiczny C1) przynależne do zlodowacenia Wisły, co ma również potwierdzenie w badaniach geologicznych arkusza Police [8]. Zapis obrazu falowego jest bardzo urozmaicony i przedstawia wysoką amplitudę fali sejsmicznej (rys. 3, 4, 5). Powierzchnia stropowa tych osadów występuje na głębokości od 5 ÷ 7 m p.p.m., a miąższość waha się od 5 ÷ 15 m. Osady tego rodzaju stwierdzono w otworze wiertniczym nr 34, wykonanym przez Przedsiębiorstwo Geologiczne „Geoprojekt Szczecin”, gdzie potwierdzono występowanie piasków drobnych (rys. 4).

OSADY HOLOCENU

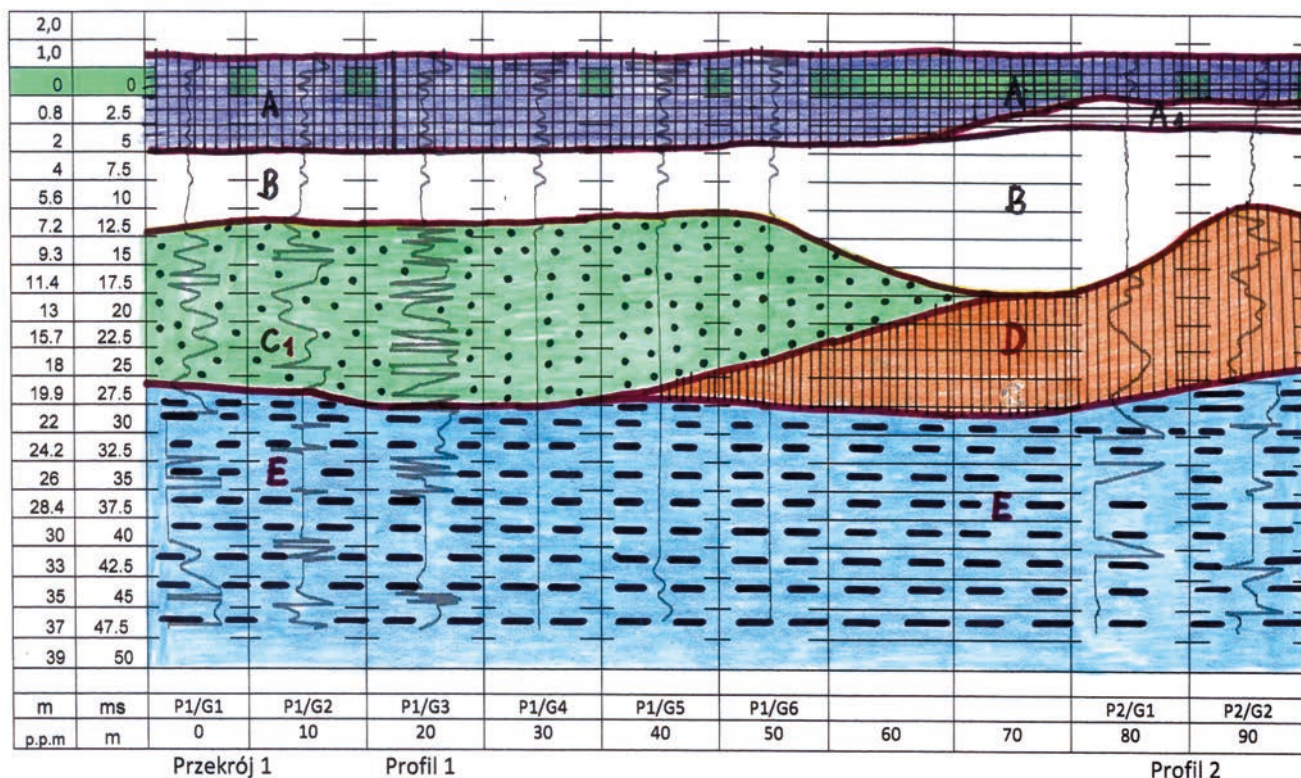
Analiza szczegółowej mapy geologicznej Polski, arkusza Police [8] wykazała, że osady holocenyjskie na obszarze badań są reprezentowane przez utwory organiczne. Piotrowski [8] wydziela na tym obszarze torfy niskie, miejscami torfy niskie położone na gytiach, a w niektórych rejonach torfy niskie położone na piaskach i żwirach równin rzeczno-rozlewiskowych.

Z badań geologiczno-inżynierskich [9] przeprowadzonych przez Przedsiębiorstwo Geologiczne „Geoprojekt Szczecin”, a także z badań sejsmicznych, wynika, że utwory holocenu są reprezentowane przez namuły organiczne i torfy. Na rejestracjach sejsmicznych (poziom sejsmiczny B) obraz falowy jest bardzo nisko amplitudowy, co jest charakterystyczne dla utworów biogenicznych (rys. 3, 4, 5). Wykonane badania geologiczno-inżynierskie [9] i badania sejsmiczne wskazują na to, że utwory biogeniczne nie są jednolite; mogą być często przewarstwione (rys. 4) piaskami drobnymi humusowymi, a wewnętrzne warstwy piasków drobnych – torfami. Świadczy to o zróżnicowanych warunkach akumulacji i sedymentacji w dolinie rzeczno-rozlewiskowej Odry. Przeprowadzone badania sejsmiczne w odróżnieniu od badań geologiczno-inżynierskich pozwoliły na większe uściślenie przebiegu granicy stropowej utworów biogenicznych holocenu, powyżej której występują utwory nasypane wałów przeciwpowodziowych (rys. 4). Opisane piaski drobne humusowe przewarstwione torfami i torfy przewarstwione piaskami drobnymi z otworu nr 34 należą do warstwy



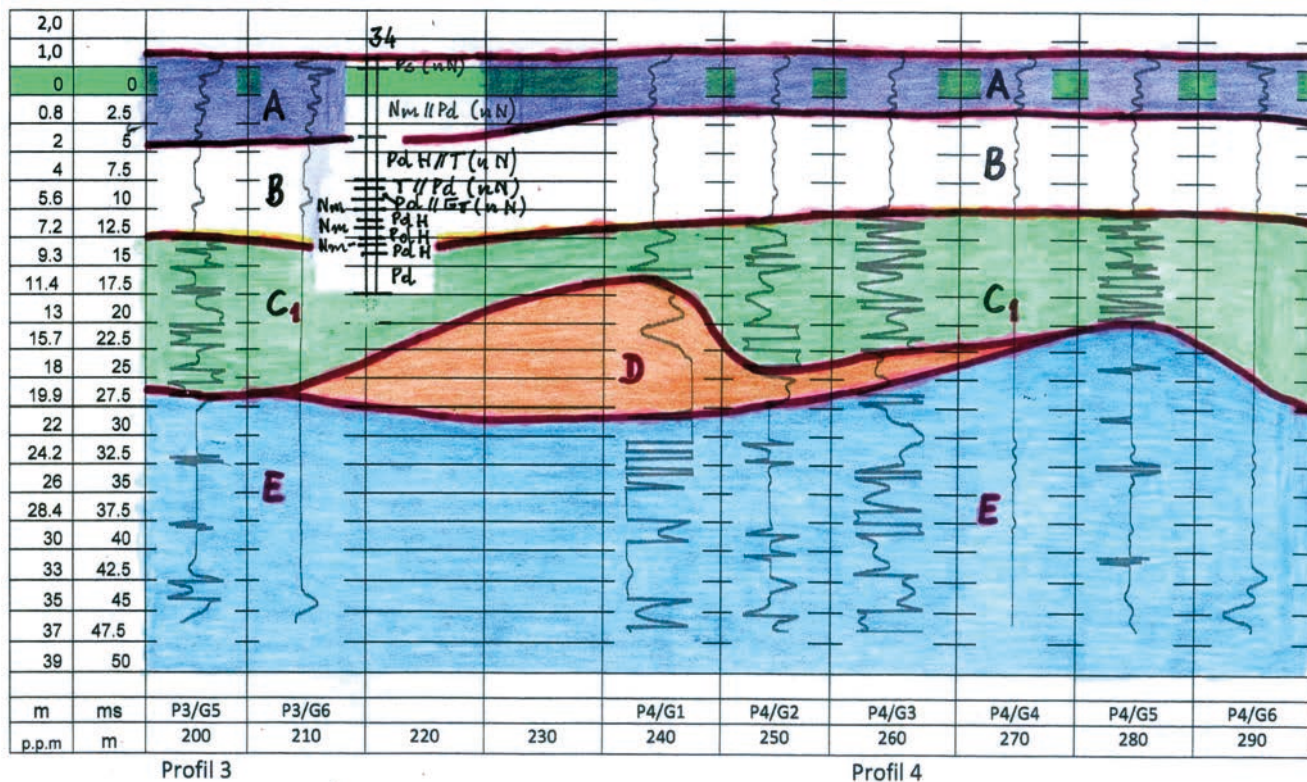
Rys. 2. Przekrój geologiczny przez dolinę rzeczno-rozlewiskową Odry w rejonie Polic [8], ze zmianami autora

1 – margle i wapień kredy górnej; 2 – mulki, ropy i ropy oligocenu; 3 – gliny zwałowe zlodowacenia najstarszego; 4 – piaski i mulki glacialimiczne zlodowacenia południowopolskiego stadiau dolnego; 5 – gliny zwałowe zlodowacenia południowopolskiego stadiau dolnego; 6 – gliny zwałowe zlodowacenia środkowopolskiego stadiau maksymalnego; 7 – gliny zwałowe zlodowacenia środkowopolskiego stadiau mazowiecko-podlaskiego; 8 – piaski, mulki i ropy zastoiskowe zlodowacenia środkowopolskiego stadiau północno-mazowieckiego; 9 – piaski i żwiry glacialne zlodowacenia północnopolskiego stadiau głównego; 10 – gliny zwałowe zlodowacenia północnopolskiego fazy pomorskiej; 11 – piaski i żwiry rzeczne zlodowacenia północnopolskiego fazy pomorskiej; 12 – piaski, namuły organiczne i torfy holocenu

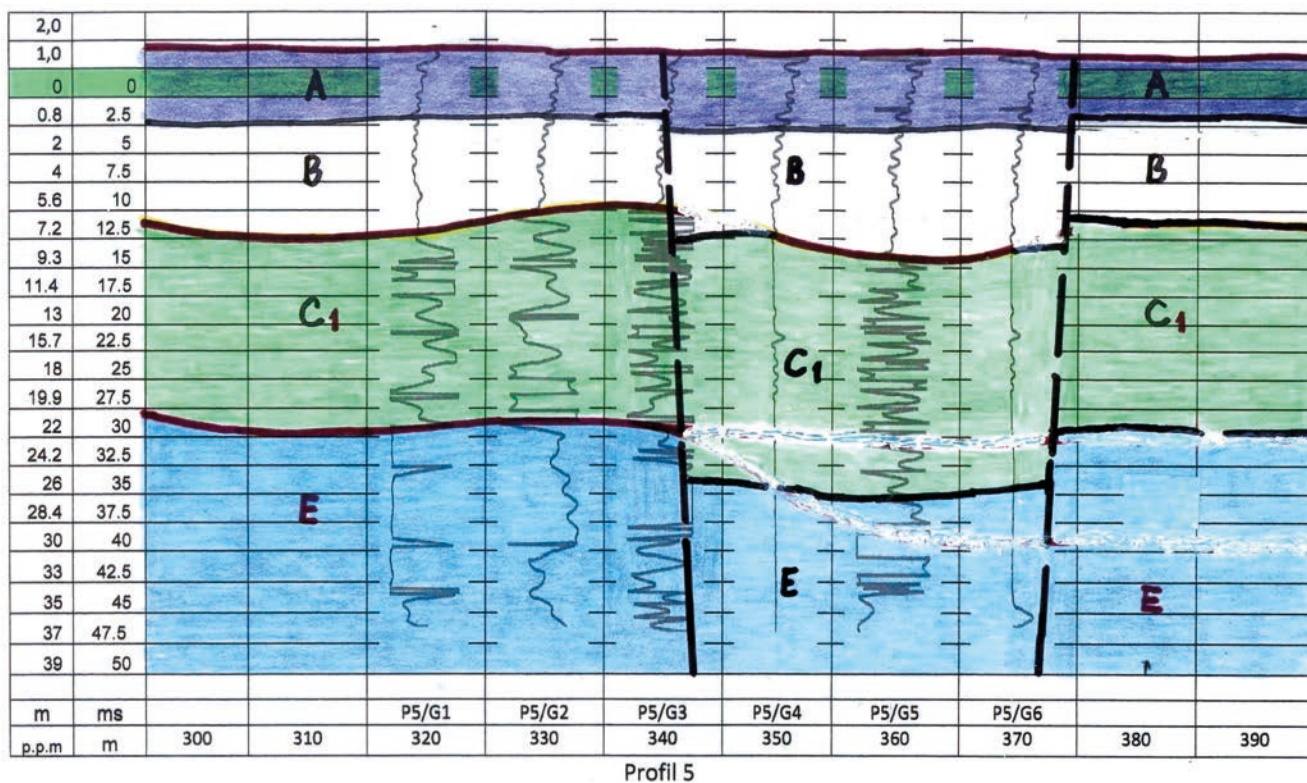


Rys.3. Przekrój sejsmiczno-geologiczny (profil 1 i 2) przez wały przeciwpowodziowe Zakładów Chemicznych Police

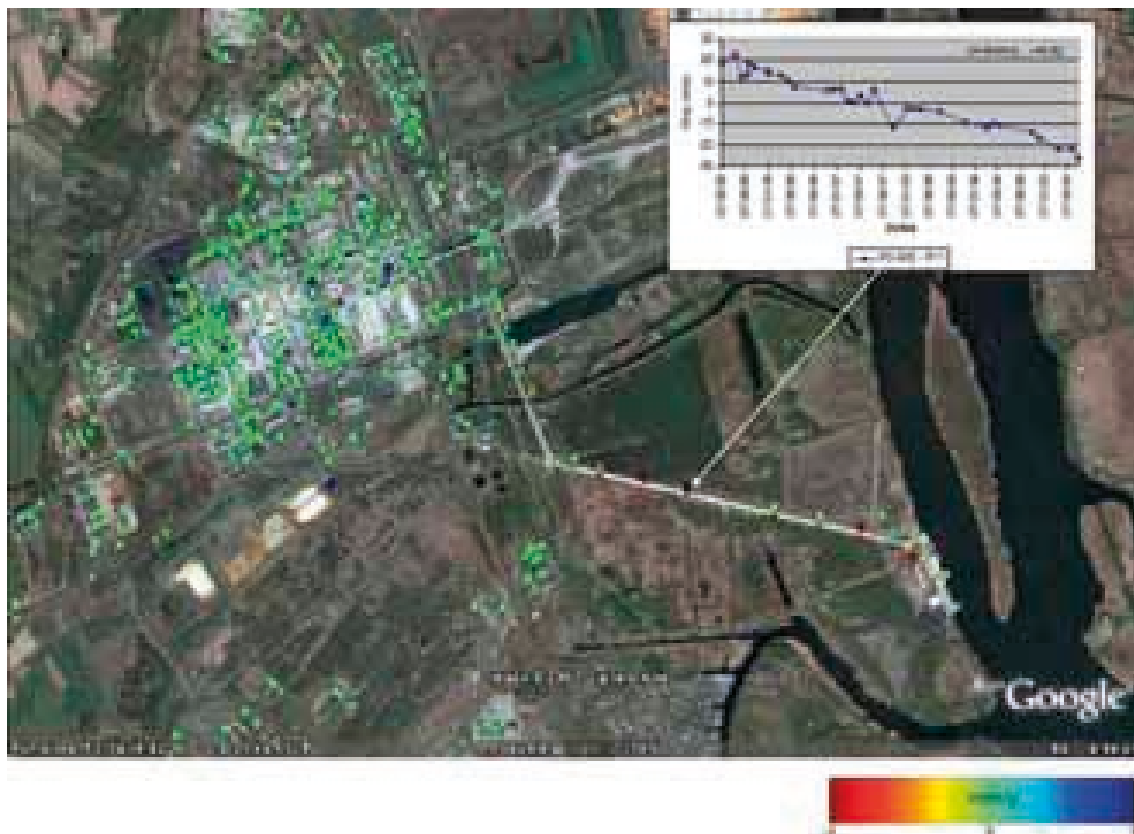
A – grunty nasypowe wału przeciwpowodziowego (piaski drobne, piaski drobne próchniczne, piaski średnie, gliny piaszczyste, gliny pylaste przewarstwione namulem - holocen); A1 – grunty nasypowe wału przeciwpowodziowego (torf, namuły organiczne – holocen); B – namuły organiczne, torf (holocen); C1 – piaski i żwiry rzeczne zlodowacenia Wisły (plejstocen); D – gliny zwałowe zlodowacenia Warty stadiau dolnego (plejstocen); E – mulki i ropy zastoiskowe przewarstwiane piaskami zlodowacenia Warty stadiau dolnego (plejstocen)



Rys. 4. Przekrój sejsmiczno-geologiczny (profil 3 i 4) przez wały przeciwpowodziowe Zakładów Chemicznych Police wraz z otworem wiertniczym nr 34
 A – grunty nasypowe wału przeciwpowodziowego (piaski drobne, piaski drobne próchniczne, piaski średnie, gliny piaszczyste, gliny pylaste przewarstwione namulem – holocen); B – namuły organiczne, torf (holocen); C1 – piaski i żwiry rzeczne zlodowacenia Wisły (plejstocen); D – gliny zwałowe zlodowacenia Warty stadiau dolnego (plejstocen); E – mulki i ily zastoiskowe przewarstwiane piaskami zlodowacenia Warty stadiau dolnego (plejstocen). Otwór wiertniczy nr 34 wykonany przez Przedsiębiorstwo Geologiczne „Geoprojekt Szczecin”



Rys. 5. Przekrój sejsmiczno-geologiczny (profil 5) przez wały przeciwpowodziowe Zakładów Chemicznych Police
 A – grunty nasypowe wału przeciwpowodziowego (piaski drobne, piaski drobne próchniczne, piaski średnie, gliny piaszczyste, gliny pylaste przewarstwione namulem – holocen); B – namuły organiczne, torf (holocen); C1 – piaski i żwiry rzeczne zlodowacenia Wisły (plejstocen); E – mulki i ily zastoiskowe przewarstwiane piaskami zlodowacenia Warty stadiau dolnego (plejstocen)



Rys. 6. Osiadanie zarejestrowane metodą satelitarnej interferometrii radarowej na obszarze Zakładów Chemicznych Police S.A. Widoczne osiadanie powierzchni terenu w różnych miejscach pod rurociągiem [2]

poziomu sejsmicznego B, i jak z tego wynika, są utworami rodzimymi, a nie nasypowymi (rys. 4). Strop utworów biogenicznych występuje na głębokości od $0,5 \div 2$ m p.p.m., a miąższość waha się od $4 \div 9$ m (rys. 3, 4, 5).

UTWORY NASYPOWE

Przeprowadzone badania geologiczno-inżynierskie [9], również poza obszarem badań, wykazały, że grunty nasypowe budujące wały przeciwpowodziowe są reprezentowane przez piaski drobne, piaski średnie, piaski drobne próchniczne, gliny piaszczyste, a także przez gliny pylaste przewarstwione namulem. Wykonane badania sejsmiczne dowiodły, że miąższość utworów nasypowych (poziom sejsmiczny A1 i A) waha się od $2 \div 3,5$ m (rys. 3, 4, 5). Bardzo ważnym wynikiem badań sejsmicznych było wydzielenie z obrazu falowego gruntów nasypowych, utworów organicznych (poziom sejsmiczny A1) reprezentowanych przez namuły organiczne i torfy (rys. 3). Miało to bardzo istotne znaczenie przy rozpoznaniu warunków geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych wałów przeciwpowodziowych, ponieważ są to te fragmenty struktury wałów, które są najsłabsze pod względem geotechnicznym i stanowią potencjalne zagrożenie na obszarach przyległych w czasie wezbrań powodziowych. Niewątpliwie miejsca te powinny być wzmocnione geotechnicznie. Z rejestracji sejsmicznych obszaru badań (poziom sejsmiczny A1) wynika, że miąższość tych bardzo słabych gruntów nasypowych wynosiła od $0,8 \div 1$ m (rys. 3).

Ponadto badania sejsmiczne pozwoliły na odkrycie określonych rejonów wałów przeciwpowodziowych, gdzie wystąpiły

przesunięcia warstw geologicznych względem siebie w wyniku występujących tam młodych ruchów tektonicznych (rys. 5), których geneza nie jest jeszcze dobrze poznana. Rejony te są bardzo niestabilne (niebezpieczne), gdzie szkielet gruntowy ulega stopniowemu rozgęszczeniu, co prowadzi do pogorszenia pierwotnie dobrych warunków geotechnicznych do bardzo słabych, a w konsekwencji do zapadnięcia się tych fragmentów struktury wałów przeciwpowodziowych. Grunty nasypowe w tym rejonie przemieściły się o 50 cm (rys. 5). Szerokość takiej struktury wynosiła od $30 \div 40$ m. Doskonałym potwierdzeniem tego rodzaju niebezpiecznych ruchów zapadliskowych powierzchni Ziemi odkrytymi na obszarze wałów przeciwpowodziowych za pomocą badań sejsmicznych są satelitarne pomiary interferometrii radarowej obszaru Zakładów Chemicznych Police (rys. 6), gdzie w wielu miejscach takie ruchy gruntów (kolor czerwony i ciemno-czerwony, a na obrazie czarno-białym – jasno-szary) są wyraźnie zarejestrowane. Niebezpieczne w tym przypadku są rejonry ruchów zapadliskowych pod systemem rurociągów tego obszaru (rys. 6), które w przyszłości mogą stać się miejscem bardzo poważnych awarii.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania sejsmiczne pozwoliły na dokładne zbadanie struktury wałów przeciwpowodziowych Zakładów Chemicznych Police oraz na zweryfikowanie aktualnego poglądu na głębszą budowę geologiczną doliny Odry, gdzie najprawdopodobniej brakuje glin zwałowych zlodowacenia Wisły. Badania te wykazały, że grunty plejstocenu występujące w dolnych partiach zapisów sejsmicznych reprezentują miększe osady zastoiskowe

zbudowane z mułków i ilów przewarstwianych osadami piaszczystymi (poziom E). Wiekowo utwory te prawdopodobnie należy odnieść do osadów zlodowacenia Warty stadiału dolnego. Nie jest wykluczone, że są to utwory interglacjału lubawskiego (rys. 3, 4, 5). W wyższych partiach występują płyty glin zwałowych (poziom D) związane z osadami zlodowacenia Warty stadiału dolnego (rys. 3, 4). Strop plejstocenu budują piaski i żwirzy rzeczne (poziom C1) należące do osadów zlodowacenia Wisły (rys. 3, 4, 5).

Przeprowadzone badania geologiczno-inżynierskie [9] i badania sejsmiczne wykazały, że utwory holocenu są reprezentowane przez namuły organiczne i torfy. Na rejestracjach sejsmicznych (poziom B) obraz falowy jest bardzo nisko amplitudowy, co jest charakterystyczne dla utworów biogenicznych (rys. 3, 4, 5). Zauważono, że utwory biogeniczne nie są jednolite i często mogą być przewarstwiane (rys. 4) piaskami drobnymi humusowymi. Wykonane badania sejsmiczne w odróżnieniu od badań geologiczno-inżynierskich pozwoliły na większe uściślenie przebiegu granicy stropowej utworów biogenicznych holocenu, powyżej której występują grunty nasypowe wałów przeciwpowodziowych (rys. 4). Warstwa stropowa utworów biogenicznych zalega na głębokości od 0,5 ÷ 2 m p.p.m., a miąższość waha się od 4 ÷ 9 m (rys. 3, 4, 5).

Jak wykazały przeprowadzone badania geologiczno-inżynierskie [9], grunty nasypowe tworzące wały przeciwpowodziowe są zbudowane z piasków drobnych, piasków średnich, piasków drobnych próchnicznych, glin piaszczystych, a także z glin pylastych przewarstwionych namulem. Przeprowadzone badania sejsmiczne wykazały, że miąższość utworów nasypowych (poziom A i A1) waha się od 2 ÷ 3,5 m. Istotnym wynikiem badań było wydzielenie z obrazu falowego gruntów nasypowych, utworów organicznych (poziom A1) reprezentowanych przez namuły organiczne i torfy (rys. 3). Miało to duże znaczenie przy rozpoznaniu warunków geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych wałów przeciwpowodziowych, ponieważ były to te fragmenty struktury wałów, które są najsłabsze pod względem geotechnicznym i stanowią potencjalne zagrożenie na obszarach przyległych w czasie wezbrań powodziowych. Oceniono, że miąższość tego poziomu wynosi od 0,8 ÷ 1 m (rys. 3).

Należy zaznaczyć, że wykonane badania sejsmiczne pozwoliły na odkrycie określonych rejonów wałów przeciwpowodziowych, gdzie wystąpiły przesunięcia warstw geologicznych względem siebie w wyniku występujących tam młodych pionowych ruchów zapadliskowych, których geneza nie jest jeszcze dobrze poznana. Obszary te są bardzo niestabilne (niebezpiecz-

ne), w obrębie których szkielet gruntowy ulega stopniowemu rozgęszczeniu, co prowadzi do zmiany z pierwotnie dobrych warunków geotechnicznych do bardzo słabych, a w ostateczności do zapadnięcia się tych fragmentów struktury wałów przeciwpowodziowych. Analizowane grunty nasypowe w tych obszarach przemieściły się o 50 cm (rys. 5). Zauważono, że szerokość takiej struktury wynosiła od 30 ÷ 40 m. Potwierdzeniem tego rodzaju niebezpiecznych ruchów zapadliskowych powierzchni Ziemi odkrytymi na obszarze wałów przeciwpowodziowych za pomocą badań sejsmicznych są satelitarne pomiary interferometrii radarowej obszaru Zakładów Chemicznych Police (rys. 6), gdzie w wielu miejscach takie ruchy gruntów (kolor czerwony i ciemno-czerwony, a na obrazie czarno-białym jasno-szary) były wyraźnie zarejestrowane. Oznacza to, że rejon ruchów zapadliskowych pod systemem rurociągów tego obszaru są niebezpieczne (rys. 6), a w przyszłości mogą się stać miejscem bardzo poważnych awarii.

LITERATURA

1. Dobracki R., Kaszubowski L. J.: Wyniki wierceń i badań mikrosejsmicznych na mierzejach jezior Jamno i Bukowo. *Kwartalnik Geologiczny*, Warszawa 2001.
2. Graniczny M., Uścińowicz Sz.: Przemieszczenia powierzchni Ziemi (W:) Bałtyk i Północne Bałtyku-kompleksowe badania, analizy, oceny, doradztwo. Źródło -www.pgi.gov.pl, Warszawa 2012.
3. Kaszubowski L.J.: Badania sejsmiczne z wykorzystaniem aparatury CS-5G-1. *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej*, 408, Szczecin 1989.
4. Kaszubowski L. J.: Application of microseismic investigations in engineering-geological research. *Proceedings of the International Seminar on Environmental Protection – Regional Problems*, Szczecin 1994.
5. Kaszubowski L. J.: Eksperymentalne badania sejsmiczne w rejonie Mierzei Dziwnowskiej. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 3, Gdańsk 1994.
6. Kaszubowski L. J.: Jednostki sejsmostratygraficzne Mierzei Dziwnowskiej. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 3, Gdańsk 2010.
7. Kaszubowski L. J.: Badania sejsmiczne wałów przeciwpowodziowych Zakładów Chemicznych Police. *Archiwum Przedsiębiorstwa Geologicznego „Geoprojekt Szczecin”*, Szczecin 2010.
8. Piotrowski A.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz Police. *Wyd.Geologiczne*, Warszawa 1981.
9. Profile otworów geologiczno-inżynierskich. *Archiwum Przedsiębiorstwa Geologicznego „Geoprojekt Szczecin”*, Szczecin 2010.