

O potrzebie badań geologiczno-inżynierskich wałów przeciwpowodziowych na obszarze wschodniej części Niziu Środkowoeuropejskiego

Urszula Kołodziejczyk*



About a necessity of geological-engineering investigations on flood banks of the east Mid-European Lowland. *Prz. Geol.*, 53: 582–585.

S u m m a r y. Throughout history, many times did floods in the river valleys of the East Mid-European Lowland occur. They brought about material losses and frequently hazards to human health and life as well. For centuries now, human communities have been building up flood banks in order to protect themselves against the negative impact of floods. However, the old flood banks were never investigated. First time in Poland they were surveyed after the flood in 1997. The results of investigations into the flood banks along the Odra/Oder River, which were conducted during and after the great flood of the year 1997, point out to the necessity of their renovation. The outcome of the research work carried out in Poland may be useful for the renovation and reconstruction of old flood banks and for the construction of new ones in the whole area of the East Mid-European Lowland.

Key words: river valley, flooding, flood bank, preventing natural disasters

Człowiek zasiedlił doliny rzeczne i zbudował wały przeciwpowodziowe

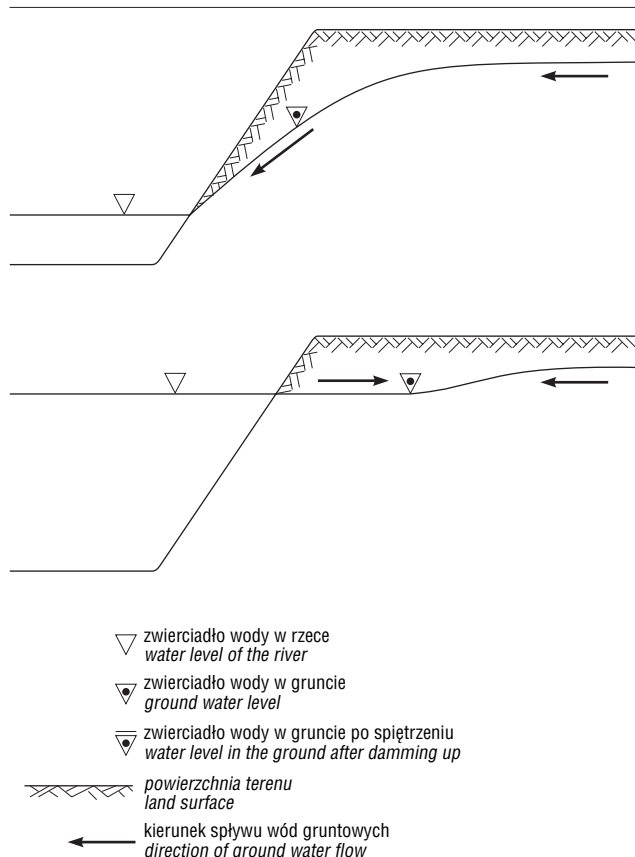
Chociaż był człowiekiem i gromad ludzkich podgatunku *Homo sapiens*, jak również ich przodków, związany był zawsze z możliwością dostępu do wody pitnej, to osiedlanie się na stałe poszczególnych ludzi i społeczności ludzkich w dolinach rzecznych Niziu Środkowoeuropejskiego rozpoczęło się dopiero z końcem paleolitu i na początku neolitu (około 4000 lat p.n.e.). Człowiek pierwotny, aby przetrwać musiał poznawać otaczające go środowisko i rozpoznawać to, co jest dla niego szkodliwe, a co pożyteczne i tym samym — wybierać bezpieczne miejsca na legowisko lub stałe siedlisko. Stanowiło to zaczątek myślenia, które dzisiaj rozwinęło się w myślenie inżyniersko-geologiczne, dotyczące np. lokalizacji obiektu inwestycyjnego (Rahn, 1986; Kowalski, 1994; Navon, 1996).

Wschodnia część Niziu Środkowoeuropejskiego podczas neolitu była pokryta pierwotną puszcza, która wówczas odgrywała rolę wielkiego zbiornika retencyjnego dla wód opadowych. Opady były na początku neolitu nawet bardziej obfite niż obecnie, ale retencja wód w pierwotnej puszczy była tak ogromna, że tylko niewielka część wód opadowych mogła spływać po pochyłościach i zboczach dolin. Gęsta darnina skutecznie utrudniała ablację cząstek i ziaren gruntu do koryt rzek. Sporadyczny materiał skalny zgromadzony w korytach rzecznych był wówczas na bieżąco unoszony energią wód płynących w korytach. Koryta rzek były więc albo stabilne, albo ich dno obniżało się w wyniku erozji dennej. Rzeki swobodnie meandrowały (Allen, 2000) i rzadko kiedy rozlewały się na najniższych tarasach zalewowych. Siedliska ludzkie, zlokalizowane wówczas powyżej tych tarasów, nie były więc zalewane, ani zagrożone wysokimi falami powodziowymi. Bliskość koryt rzecznych zapewniała mieszkańcom zaopatrzenie w wodę pitną, możliwość łatwego przemieszczania się i transportu, bez porównania wygodniejszego, niż przedzieranie się przez pierwotne puszcze, a w miarę dalszego rozwoju człowieka — także energię do obsługi młynów.

Z biegiem czasu w dolinach rzecznych zaobserwowano coraz wyższe i częstsze fale powodziowe. Zjawiska tego nie uzasadniały zmiany klimatyczno-meteorologiczne. Przyczyn należy szukać we wzroście liczebności i gęstości zaludnienia populacji ludzkich, zamieszkujących nie tylko doliny rzeczne, ale także i inne obszary Niziu Środkowoeuropejskiego. W tym czasie wzrosła również powierzchnia pól uprawnych i głębokość upraw. Stałe wypasanie coraz liczniejszych stad bydła na tych samych łąkach nieustannie niszczyło darń. Zjawiskom tym towarzyszyła coraz intensywniejsza trzebież lasów, które nie były w stanie samoistnie się odradzać, zwłaszcza w okresie prymitywnego górnictwa i hutnictwa rud żelaza, wymagającego znacznych ilości drewna. Wyraźnie zmniejszyła się retencja, więc wody opadowe zaczęły obficie spływać po pochyłościach terenu i zboczach dolin, niosąc ze sobą ku rzekom i ich dopływom coraz większe ilości materiału skalnego, zmytego z powierzchni pozbawionej stałej pokrywy roślinnej. Materiał ten osadzał się na zboczach dolin w postaci deluwii lub stożków napływowych, a niekiedy był donoszony do poszczególnych przekrojów koryta rzeki. Jeśli masa przytransportowanego materiału była zbyt duża, aby mógł on być przeniesiony dalej energią płynącej wody, to materiał ten osadzał się na dnie koryt rzecznych, powodując tym samym ich spływanie i podniesienie się poziomu wody płynącej w rzekach. Woda nie mieszcząca się w korytach przelewała się wówczas przez brzegi rzeki i zalewała niskie tarasy, zabagniając je, a jednocześnie — rozdzielając zwalonymi przez siebie odsypami zwarte koryta rzek i przekształcając je w koryta roztokowe (Falkowski, 1971; Szumański, 1972). Na skutek podnoszenia się dna koryt i tworzenia odsypów rzecznych wzrastała wysokość fal powodziowych, zagrażając bezpiecznym dotychczas stałym siedliskom ludzkim. Okazuje się, że częstotliwość i wysokość fal powodziowych w dolinach rzek wschodniej części Niziu Środkowoeuropejskiego spowodowana jest czynnikami antropogenicznymi w stopniu nie mniejszym niż czynnikami naturalnymi, tzn. klimatyczno-meteorologiczno-hydrologicznymi.

Wobec pojawiania się coraz częstszych i wyższych fal powodziowych, obronną reakcją ich mieszkańców było sypanie wałów przeciwpowodziowych. Prace takie były prowadzone niestety najczęściej już w czasie nadchodzącej powodzi i w wielkim pośpiechu, z wykorzystaniem mate-

Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Podgórna 50, 65-516 Zielona Góra; U.kolodziejczyk@iis.uz.zgora.pl



Ryc. 1. Schemat procesów zachodzących w naturalnej dolinie rzeki

Fig. 1. Diagram processes taking place in a natural river valley

riału znajdującego się w bezpośredniej bliskości. Zastrzeżenia budzi też sposób budowy wałów: z wysokością wału związana była nieodłącznie szerokość jego podstawy i pochyłość zbocza, która zawsze zbliżona była do kąta stoku naturalnego. Kąt ten zmieniał się pod powierzchnią wody, tzn. po przyjsciu fali powodziowej, o czym przekonano się niestety dopiero obserwując rozmywanie wałów w trakcie powodzi.

W poszczególnych odcinkach dolin rzek wschodniej części Nizy Środkowopolskiego od połowy holocenu pojawiały się coraz wyższe fale powodziowe. Istniejące wały okazywały się z czasem za niskie. Musiano więc podwyższać je, a także poszerzać ich podstawy. Nadal prace te prowadzono z reguły w warunkach bezpośredniego zagrożenia, pobierając materiał do sypania wałów z zawala, a nie z międzywala. W ten sposób zwiększano możliwość powstawania zabagnień i podtopień, co było spowodowane nie tylko przenikaniem wody z międzywala przez wał do zawala, ale także podpiętrzaniem wody gruntowej w zawalu. W pośpiechu nie zawsze stosowano też prawidłową technikę sypaniamateriału. W rezultacie okazywało się, że podwyższanie, poszerzanie i wydłużanie wałów przeciwpowodziowych nie może zapewnić bezpieczeństwa w poszczególnych odcinkach doliny. Gdy masa płynącej wody zniszczyła wały lub — nie mogąc pomieścić się w międzywale — przelewała się przez ich koronę powstawały kolejne powodzie.

Od początku budowy wałów przeciwpowodziowych społeczności chroniące się za nimi przed zniszczeniami fal powodziowych interesowały się wałami z reguły tylko przed nadjeściem fali i w czasie jej przepływu. W pośpie-

chu i w warunkach paniki dokonywano wówczas obserwacji, napraw i budów. Wraz z przejściem fali powodziowej kończyło się zainteresowanie wałami, a obiekty te uznawano wręcz za przeszkody w komunikacji między zawalem i międzywalem.

Posadawianie wałów w dolinach rzecznych wywoływało skutki inżyniersko-geologiczne. Pod wpływem usypanego wału naturalne dno doliny zostało bowiem obciążone, w wyniku czego odkształcało się, zagęszczało oraz zmieniało swoją porowatość i wodopruszczalność. Wody gruntowe na zawalu mogły być podpiętrzane, tworząc pomokłości i zabagnienia, których poprzednio nie było, a które nie zaistniałyby, gdyby wraz z sypaniem wałów przeciwpowodziowych uruchomiono sprawnie działający system melioracji zawala. Jeśli podłoże wałów było bagniste — co jest powszechne w przypadku posadawienia wałów na starorzeczach — to torfy i inne grunty organiczne mogły być wypierane spod wałów, powodując odkształcenie lub zniszczenie wału jeszcze przed przyjsciem fali powodziowej (ryc. 1, 2).

Historia budowy wałów przeciwpowodziowych na Środkowym Nadodrze

Pierwsze umocnienia w dolinie środkowej Odry pojawiły się w XIII w., ale największe prace obwałowujące rzekę wykonano w XVI–XVIII w., głównie w latach 1740–1790 (Kołodziejczyk, 2002). Zajęcie Śląska przez Prusy spowodowało, że niemal cała Odra znalazła się pod zarządem jednego państwa, co pozwoliło na prowadzenie jednolitej polityki w zakresie gospodarki wodnej. W tym czasie m.in. został ustalony w „Protokole bogumińskim” z 1819 r. model budowy wału. W 1846 r. ustanowiono „Królewskiego nadinspektora ds. budów wodnych i wałów na Dolnym i Górnym Śląsku” oraz powołano Związki Wałowe, które zrzeszały branżowe instytucje oraz właścicieli gruntów i nieruchomości chronionych wałami.

Przez niemal sto lat wały odrzańskie miały w koronie zaledwie od 1,0 do 2,5 m szerokości. Dopiero po powodzi w 1854 r. zostały wzmocnione ławką o szerokości 3,0–4,0 m, którą na ogół dobudowano od strony odwodnej na wysokości 1,5 m poniżej korony. Kolejne powodzie, jakie nastąpiły w 1897, 1902 i 1903 r., wymusiły nowe inwestycje w dorzeczu środkowej Odry. Zainicjowano wówczas nowe ustawy, w tym m.in. Ustawę Odrzańską (1905 r.), której celem było uregulowanie Odry i rozbudowa systemów ochrony przeciwpowodziowej. W wyniku przeprowadzonych prac większość wałów osiągnęła wysokość od 2 do 7 m (w przeważającej części od 2,5 do 4,0 m), szerokość korony 2,5–3,0 m, nachylenie skarpy odwodnej 1:3, a odpowietrznej od 1:1,5 do 1:2,0. W miejscach przecieków od strony odpowietrznej dobudowano przypory, które zwiększały stateczność wału i ograniczały ujemne zjawiska filtracyjne, a jednocześnie łagodziły nachylenie skarpy. Stan ten w zasadzie utrzymał się do dzisiaj. Obecnie większość wałów lubuskiego odcinka Odry o wysokości ponad 3,0 m posiada przypory z ławeczkami (o szerokości 3,0–4,2 m), które zostały dobudowane do wału od strony odpowietrznej lub odwodnej na wysokości 1,5–1,8 m poniżej korony. Inną, powszechnie stosowaną zasadą modernizacji wałów było przykrywanie skarpy odwodnej i korony warstwą utworów gliniastych o miąższości 0,5–1,0 m. Warstwa ta stanowiła uszczelnienie, a także dobre podłoże glebowe dla roślinności i rozwoju darni. Wykonane zabezpieczenia skutecznie ochroniły rejon

przed kolejną powodzią, jaka miała miejsce w 1930 r., mimo że nie była ona mniejsza od poprzednich.

W okresie powojennym modernizacja wałów przeciwpowodziowych przebiegała w niewielkim zakresie; na środkowym Nadodrzu przebudowano wówczas tylko około 5 km wałów. Pozostałe obiekty nadal w 35% nie spełniały wymogów normatywnych, zarówno pod względem wyniesienia korony ponad lustro wody 100-letniej jak i szerokości międzywala. Kolejne oszczędności minimalizowały gospodarowanie wałami przeciwpowodziowymi, a w 1991 r. zlikwidowano nawet strażników wałowych, co zdecydowanie zmniejszyło częstotliwość obserwacji uszkodzeń wałów i przeprowadzania ich konserwacji. Na skutki takich decyzji nie trzeba było długo czekać.

Powódź tysiąclecia, która nastąpiła w dorzeczu Odry w lipcu 1997 r. spowodowała znaczne zniszczenia obwałowań (Dubicki i in., 1999). Poprzez rozmiękczenie i wymywanie cząstek gruntu, przenikanie wody przez wał, wypieranie materiału nasyconego wodą, a także zwykłą erozję boczną, naruszona została stabilność i szczelność korpusu wałów oraz podłoża. Często przyczyną wyrw były drzewa rosnące na wałach lub w międzywale. Utrudniały one porost zadarnienia, co znacznie osłabiło korpus wału, a jednocześnie systemem korzeniowym niszczyły strukturę podłoża. Rozluźnienie i nawodnienie podłoża z płytkim systemem korzeniowym, w czasie powodzi często doprowadzało do wywracania się drzew, które dodatkowo podpiętrzały napierające wody powodziowe. Innymi przyczynami zniszczeń wałów było naruszenie ich struktury przez zwierzęta, m.in. krety, normice, wydry i bobry (Kołodziejczyk & Warchola, 2004). Podatnymi miejscami na rozmycie okazały się również przejazdy przez wał, które zazwyczaj są obniżone w stosunku do korony wału, a jednocześnie rozjeżdżone i zniszczone przez pojazdy. Oddzielne miejsce należy przypisać bunkrom i innym obiektom militarnym zlokalizowanym w korpusie wału

(Kołodziejczyk, 2004). Rozkopywanie ich przez poszukiwaczy złomu i pamiątek często ułatwiało przesiąki i rozmoczenie. Duże znaczenie należy także przypisać starorzeczom, gdzie podłoże wału jest na ogół zbudowane z materiałów przepuszczalnych, ale z licznymi wkładkami gruntów słabych (namulów i gruntów organicznych — Myślińska, 1984). Stwarzało to możliwość łatwych przebiegów hydraulicznych lub przesiąków.

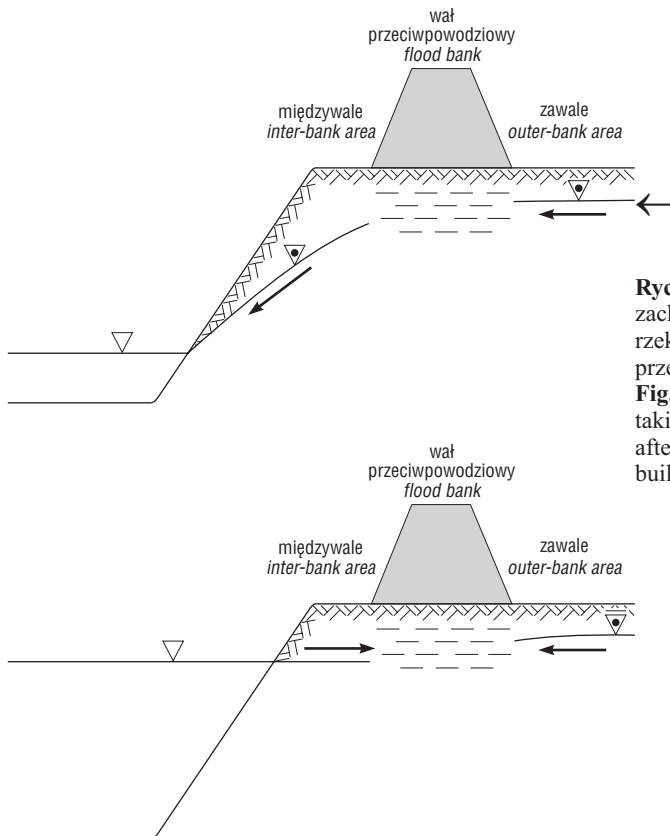
W uszkodzonych wałach powszechnie obserwowano spękania w koronie wału, a głównie na krawędzi skarpy odwodnej. Stanowiły one zaczątek przemieszczeń pionowych gruntu i powierzchni osuwiskowych. Łącznie w 1997 r. na terenie województwa lubuskiego zostało zniszczone łącznie 3,57 km wałów, a drugie tyle obiektów zostało silnie zdeformowanych.

Monitoring stanu wałów przeciwpowodziowych

Bolesny bilans skutków powodzi w 1997 r. wywołał szereg inicjatyw krajowych i międzynarodowych, służących poprawie ochrony przeciwpowodziowej w całym dorzeczu Odry. Przykładem tych prac były kompleksowe badania stanu wałów przeciwpowodziowych województwa lubuskiego, zlokalizowanych wzdłuż 409,0–614,2 km biegu rzeki. Ich celem była analiza parametrów oraz zjawisk geologiczno-inżynierskich, zachodzących w korpusie i podłożu wałów przeciwpowodziowych, a następnie ocena stanu technicznego wałów oraz wyznaczenie sposobu jego poprawy (Kołodziejczyk, 2000; 2002). W wyniku tych prac sporządzono rejestr zniszczeń wałów, spowodowanych przez wysoką falę powodziową. Opracowano również dokumentację budowy wewnętrznej wałów i ich podłoża gruntowego, które musiało z wałami współpracować, i z którego pobierany był materiał do ich usypania. Badania były prowadzone w obrębie wałów o łącznej długości 240 km i obejmowały:

kartowanie inżyniersko-geologiczne, bioindykację, profilowanie elektrooporowe, wierceńka ręczne, sondowanie sondą lekką SL oraz badania laboratoryjne.

Kompleksowa analiza wyników inżyniersko-geologicznych badań wałów przeciwpowodziowych w lubuskim odcinku Odry wykazała, że korpusy wałów są zbudowane z bardzo różnorodnych i słabo zagęszczonych gruntów, często zawierających domieszki materii organicznej. Stwierdzono również, że stan wałów przeciwpowodziowych jest w znacznym stopniu zdeterminowany rodzajem i stanem gruntów w podłożu wałów. Wreszcie zauważono, że aktualny stan wałów zależy nie tylko od sposobów ich sypania, późniejszego wzmocnienia i oddziaływań wód powodziowych, lecz również od wielu innych procesów, wśród których należy wymienić szereg zjawisk zachodzących we wnętrzu wałów, takich jak: gnicie resztek roślinnych, drażnienie korytarzy przez



Ryc. 2. Schemat procesów zachodzących w dolinie rzeki po usypaniu wału przeciwpowodziowego

Fig.1. Diagram processes taking place in a river valley after a flood banks has been built

bobry, krety i nornice, sufozja i częściowo kolmatacja gruntu, filtracja, a także — procesów zewnętrznych, do których można zaliczyć wykorzystanie koron wałów jako dróg dojazdowych, wypasanie bydła na skarpach wałów itd.

Rezultatem przeprowadzonych badań geologiczno-inżynierskich, a także syntetycznej oceny stanu poszczególnych fragmentów wałów, analizy klas wałów jako obiektów hydrotechnicznych i ich roli w strategii przeciwpowodziowej było wskazanie sposobów poprawy stanu technicznego wałów (modernizacja, remont lub konserwacja). Na efekty przeprowadzonego monitoringu nie trzeba było długo czekać. W latach 1998–2004 pracami modernizacyjnymi objęto blisko 100 km lubuskich wałów, a obecnie są realizowane kolejne zadania, w tym budowa nowego wału na odcinku Wężyska–Chlebowo. Nadal jednak tylko 41% wałów środkowego Nadodrza znajduje się w dobrym stanie technicznym, natomiast 37,8% — w stanie średnim, a 21,2% — w stanie złym. Biorąc pod uwagę łączną długość wałów przeciwpowodziowych zlokalizowanych wzdłuż lubuskiego odcinka Odry (240 km), a także ilość wałów zagrożonych, tzn. znajdujących się w stanie średnim i złym łącznie (59%), należy mieć świadomość, że co najmniej 142 km wałów ciągle oczekuje remontu lub modernizacji.

Trzeba zaznaczyć, że przeprowadzone badania wykazały, iż o skuteczności wałów decyduje przede wszystkim ich lokalizacja oraz przepuszczalność podłoża, zatem czynniki niemożliwe do usunięcia wskutek modernizacji wałów. Skoro jednak zasiedliliśmy i obwałowaliśmy doliny rzeczne, to dzisiaj musimy je chronić przed zalaniem poprzez właściwe utrzymanie wałów przeciwpowodziowych. Zgodnie z wymogami obowiązujących ustaw: Prawo Budowlane (Dz. U. 1994 nr 89, poz. 414), Prawo Wodne (Dz. U. 2001 nr 115 poz. 1229) oraz Rozporz. MOSZNiL z dn. 20 grudnia 1996 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej (Dz. U. 97.21.111), wały przeciwpowodziowe podlegają okresowym przeglądom, w tym:

□ corocznej kontroli polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego budowli,

□ okresowej kontroli, dokonywanej co najmniej raz na 5 lat, a polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego i przydatności do użytkowania obiektu budowlanego, estetyki obiektu oraz jego otoczenia,

□ każdorazowej kontroli, prowadzonej po ulewnych deszczach, nagłych wezbraniach wody czy innych nieprzewidywalnych zdarzeniach.

Takie działania są prowadzone obecnie na wałach odrzańskich i miejmy nadzieję, że staną się one pomocne w ochronie przeciwpowodziowej.

Podsumowanie

Skutecznych rozwiązań w ochronie przeciwpowodziowej należy oczekiwać przede wszystkim w rozsądnej gospodarce wodnej w górnym biegu rzeki, bo tam tworzy się fala powodziowa. W środkowym odcinku możemy szukać jedynie sposobów wspomagających, którymi są: poldery, rozszerzenie międzywała, wysiedlenie miejscowości, a tak naprawdę–renaturyzacja doliny rzecznej.

Trzeba mieć świadomość, że wszelkie próby walki z żywiołem powodzi będą zawsze tylko szukaniem rozwiązań zastępczych, rzeka musi bowiem mieć swoją przestrzeń. Skoro człowiek zasiedlił doliny rzeczne, a tym

bardziej tereny zalewowe, musi nauczyć się żyć w tym środowisku i walczyć z żywiołem powodzi, także poprzez budowę i utrzymanie wałów przeciwpowodziowych.

Konserwacja, nadbudowywanie, poszerzanie i wydłużanie wałów przeciwpowodziowych oraz innych obiektów hydrotechnicznych powinna być planowana, przygotowywana i realizowana w sposób ciągły, a nie dorywczo i tylko wówczas, gdy nadchodzi lub już nadeszła wysoka fala powodziowa.

Kontrolne badania inżyniersko-geologiczne stanu wałów przeciwpowodziowych powinno przeprowadzać się systematycznie, co najmniej raz na pięć lat, a dodatkowo — zawsze w czasie przechodzenia wielkiej fali powodziowej oraz bezpośrednio po jej przejściu. Prace te powinny być przeprowadzone w wyznaczonych właściwie przekrojach poprzecznych, z wykorzystaniem znanych, prostych metod badań polowych i laboratoryjnych. Pozwalają one ocenić stan wałów i podjąć odpowiednie kroki w celu poprawy ochrony przeciwpowodziowej.

Porównanie kosztów przygotowywania się do przyjęcia fali powodziowej z wartościami strat ponoszonych wskutek zaniechania odpowiednich przedsięwzięć ochronnych w obliczu kilku, a nawet jednej katastrofalnej powodzi, wskazuje jednoznacznie na opłacalność realizacji takich przedsięwzięć w całym okresie międzypowodziowym.

Doświadczenia z geologiczno-inżynierskich badań stanu wałów przeciwpowodziowych, zdobyte na lubuskim odcinku środkowej Odry, mogą być przydatne w projektowaniu takich badań także w dolinach innych rzek, zlokalizowanych we wschodniej części Niżu Środkowoeuropejskiego.

Literatura

- ALLEN P.A. 2000 — Procesy kształtujące powierzchnię Ziemi. Wyd. Nauk. PAN, Warszawa.
- DUBICKI A., SŁOTA H. & ZIELIŃSKI J. 1999 — Dorzecze Odry—monografia powodzi lipiec 1997. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- FALKOWSKI E. 1971 — Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski. Biul. Geol., Wydz. Geol. UW, t. 12.
- KOŁODZIEJCZYK U. 2000 — Geologic-engineering investigations as a method of Odra — river flood—embankment condition estimation. [W:] — Geologie ist Grenzenlos. 9 Jahrestagung Frankfurt/O 20–25.09.2000. Gesellschaft für Geowissenschaften.
- KOŁODZIEJCZYK U. 2002 — Geologiczno-inżynierskie badania wałów przeciwpowodziowych jako prognoza zagrożeń powodziowych na lubuskim odcinku Odry. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra.
- KOŁODZIEJCZYK U. 2004 — Wykorzystanie wałów przeciwpowodziowych w niemieckiej strategii obronnej. [W:] Geologiczne i środowiskowe problemy gospodarowania i ochrony doliny górnej i środkowej Odry. Państw. Inst. Geol., Wrocław: 207–216.
- KOŁODZIEJCZYK U. & WARCHOLAK P. 2004 — Bobry a bezpieczeństwo przeciwpowodziowe w województwie lubuskim. Gospodarka Wodna, 4: 149–153.
- KOWALSKI W.C. 1994 — Origin and development of engineering — geological thinking. Proc. 7-th IAEG Congress Lisbona. Balkoma, VI. Rotterdam.
- MYŚLIŃSKA E. 1984 — Kryteria oceny inżyniersko-geologicznych właściwości mad. Kwart. Geol., 28: 143–162.
- NAVON L. (Proc. Coord.) 1996 — Third International Symposium and Exhibition in Environmental Contamination in Central and Eastern Europe. Symp.Proc., Florida State University, I–XLV, 1–1019.
- RAHN P. H. 1986 — Engineering Geology. An environmental approach. Elsevier, New York, Amsterdam, Oxford.
- SZUMAŃSKI A. 1977 — Zmiany układu koryta dolnego Sanu w XIX i XX wieku oraz ich wpływ na morfogenezę tarasu łęgowego. Stud. Geomorph. Carp.- Balt., V.XI.