

## **ROZPOZNAWANIE WPŁYWU ZMIENNYCH PARAMETRÓW PRZEPŁYWÓW W ROZMYWANYCH KORYTACH RZEK NA PROJEKTOWANIE BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH**

Stanisław Naprawa✉

Stowarzyszenie Inżynierów Doradców i Rzeczoznawców, Warszawa

### **STRESZCZENIE**

Podano ogólne uwagi o reżimie rzeczonym (przepływów) w ciekach, opisano procesy zachodzące w międzywalu rzeki w przeszłości oraz zwrócono uwagę na konieczność dokonywania ilościowej oceny skutków przemian morfologicznych rzeki, tj. ich wpływu na miarodajną wysokość zwierciadła wody w funkcji czasu w okresie eksploatacji. Opisano własną metodę badania niestabilności stanów wody oraz wielkości przepływów, wprowadzając nowe pojęcie wskaźników niestabilności stanów wody i przepływów. Nowe podejście do tych zagadnień wynika z hydrologii dynamicznej i przedstawia zmienność przepływów i stanów wody z upływem czasu w ujęciu historycznym i w przyszłości.

**Słowa kluczowe:** rzeki, reżim geomorfologiczny przepływów, erozja, sedimentacja, założenia projektowe

### **WSTĘP**

#### **Informacje ogólne o geomorfologicznym reżimie przepływów w korytach rozmywalnych rzek**

Każdy ciek wodny, nizinny lub górski, ma własną naturę, która charakteryzuje się swoistymi zależnościami między zmiennymi w czasie parametrami hydraulicznymi przepływającej wody (Naprawa, 1997, 2001, 2002, 2010; CIRIA Report C731, 2013). Opracowanie studium danej rzeki, obejmujące rozpoznanie zmienności stanów, przepływów, spadków zwierciadła wody, szerokości i głębokości koryta, pozwala na właściwe opisanie procesów korytowych występujących na analizowanym odcinku rzeki oraz umożliwia wyciągnięcie bardzo ważnych wniosków potrzebnych do projektowania budowli wodnych. Po wykonaniu studium można uznać, że poznaliśmy naturę rzeki, czyli jej reżim<sup>1</sup>.

Brak znajomości reżimu rzeki, szczególnie morfologicznego, w przeszłości prowadziło do niedoskonałych rozwiązań technicznych budowli hydrotechnicznych. Konieczne jest więc opracowanie metodycznych wskazówek rozpoznawania reżimu morfologicznego. Dane hydrologiczne wykorzystywane do projektowania powinny być miarodajne dla całego okresu użytkowania inwestycji hydrotechnicznej.

<sup>1</sup> Pod pojęciem reżimu morfologicznego rzeki należy rozumieć zespół różnego rodzaju zależności, warunków, ograniczeń, parametrów itp. charakteryzujących procesy korytowe, wpływające na kształt i położenie wysokościowe obwodu zwilżonego koryta cieku i jego zmiany w czasie, które z kolei powodują zmienność w czasie specyficznych stanów wody oraz specyficznych przepływów, przyjmowanych do projektowania zgodnie z przepisami jako miarodajne i kontrolne.

✉ stanislaw.naprawa@gmail.com

W rozmywalnych korytach rzek występują następujące procesy groźne w skutkach dla bezpieczeństwa projektowanych budowli:

1. Sedymentacja rumowiska przemieszczanego jako zawieszona, występująca najczęściej na wyżej położonych, okresowo zalewanych terenach międzywali, co prowadzi do podnoszenia się powierzchni tarasów zalewowych. Proces ten powoduje wzrost stanów wody.

2. Erozja dna koryta wody brzegowej, występująca po przekroczeniu wielkości oporu gruntu zalegającego na obwodzie zwilżonym, m.in. przez składową siłę ciężaru płynącej wody stycznej do powierzchni dna rzeki. Skutkiem erozji dna jest obniżanie się z upływem czasu zwierciadeł wód niskich. Powyższe procesy decydują o morfologii koryta rzeki oraz o typie i trendzie występowania niestabilności.

3. Niezakłócony porost roślin, krzaków i drzew na terenach międzywali powoduje wzrost oporów ruchu wody, spowolnienie prędkości przepływu wody i w konsekwencji – zmniejszenie przepustowości. Spowodowany tym faktem wzrost stanu wody znacznie przekracza wówczas poziom korony wałów przeciwpowodziowych – następuje awaria, powstają wyrwy w nasypach wałów i zalanie terenów zawali. Powyższa sytuacja jest wynikiem biologicznych uwarunkowań przepływu wody. Przyczyną wysokich stanów wody w takich sytuacjach nie jest sytuacja hydrologiczna w zlewni, czyli związek opad – odpływ, lecz jest to wynik włączenia międzywali naszych rzek do programu Natura 2000.

### **Klasyfikacja istotnych procesów występujących w korytach rzek**

Bezpieczne użytkowanie budowli hydrotechnicznych wymaga uwzględnienia następujących czynników charakteryzujących rzekę (Naprawa, 2012): reżimu przepływów (hydrologia), morfologii koryta i doliny, procesów hydrodynamicznych, uwarunkowań biologicznych (ekologia), warunków przepływu w okresach występowania zjawisk lodowych oraz chemizmu i termiki wód.

Procesy korytowe występujące w naturze ulegają najczęściej zmianie w wyniku wykonania projektowanych robót hydrotechnicznych. Problemy związane z projektowaniem wymagają znacznego nakładu czasu na rozpoznanie wszystkich istotnych zagadnień mających wpływ na przyjmowane rozwiązania techniczne.

**Reżim rzeczny (hydrologiczny)** cieków uzależniony jest od warunków hydrometeorologicznych oraz zróżnicowanych parametrów charakteryzujących zlewnię (w zależności od położenia geograficznego) oraz od kształtowania się w zlewni zależności opad – odpływ.

**Hydrodynamika** cieków zależy nie tylko od reżimu hydrologicznego, lecz również od powierzchni przekroju poprzecznego koryta, spadku zwierciadła płynącej wody, szorstkości powierzchni kontaktu wody z podłożem gruntowym wzdłuż obwodu zwilżonego oraz promienia hydraulicznego przekroju. Parametry te decydują o charakterze ruchu wody (ruch podkrytyczny, ruch nadkrytyczny, prędkość wody, wielkość napełnienia, opory ruchu wody), czyli o przepustowości koryta rzeki. Zmiana jednego z wymienionych parametrów powoduje zmianę pozostałych parametrów zależnych, co wywołuje niekorzystne skutki.

**Morfologia koryta i doliny** kształtowana jest przez oddziaływania dynamiczne wody płynącej w cieku w postaci składowej siły masowej (naprężenia styczne), występującej wzdłuż obwodu zwilżonego (Raudkivi, 1976; CIRIA Report C 731, 2013; Zhang, Peng, Chang i Xu, 2016). O przebiegu zmian morfologicznych decydują parametry fizykochemiczne gruntu usytuowanego wzdłuż obwodu zwilżonego. Większa odporność zalegającego materiału zmniejsza prawdopodobieństwo rozmycia dna oraz skarp, czyli rozmiar zmian powierzchni przekroju koryta jest uzależniony od mechanicznych właściwości podłoża. Występowanie na obwodzie zwilżonym zarówno gruntów rozmywalnych, jak i nierozmywalnych wpływa na rzeźbę (morfologię) koryta w ten sposób, że nad gruntami nierozmywalnymi poziomy zwierciadła wody dla specyficznych przepływów w poszczególnych latach są takie same, natomiast nad gruntami rozmywalnymi podlegają zmianom, przez co uwidacznia się współzależność czynników hydrologicznych, hydraulicznych i geologicznych w kształtowaniu koryt i dolin rzecznych.

**Wpływ czynników biologicznych** ustala się w międzywalu rzeki jako wynik występowania porostu drzew, krzewów i traw. Skutkiem towarzyszącym porostowi jest znaczny wzrost współczynnika szorstkości na zaniedba-

nych odcinkach rzek oraz odpowiednio duży spadek przepustowości koryta. Sytuacja taka jest powodem występowania stanów wody przekraczających rzędne przyjmowane w projektach, jak również bardzo często okazuje się, że istniejące niwelety korony wałów są za niskie. W wyniku zaniedbań w zakresie obowiązku utrzymywania międzywali w należyтым porządku ukształtowała się w Polsce sytuacja niezgodna z obowiązującymi przepisami.

**Warunki lodowe** związane są z oddziaływaniem dynamicznym wody i lodu, płynących w cieku w okresach występowania ujemnej temperatury powietrza. Oddziaływanie to występuje, podobnie jak w warunkach bez zjawisk lodowych, w postaci składowej siły masowej płynącej wody (naprężenia styczne), występującej wzdłuż obwodu zwilżonego (w przypadku ciągłej pokrywy lodowej do obwodu zwilżonego dołącza również styk tej pokrywy ze strumieniem wody). Przebieg zmian morfologicznych obwodu zwilżonego zależy również od parametrów fizykochemicznych gruntu usytuowanego wzdłuż obwodu zwilżonego oraz od wielkości spiętrzenia zatorowego (czynniki hydrauliczne). Spiętrzenia zatorowe spowodowane są zmniejszaniem się powierzchni przekroju koryta w wyniku blokady przez dopływający śryż lub krę lodową.

**Termika wód** ustala się w płynącej wodzie jako wpływ zmian temperatury powietrza i gruntu zalegającego wzdłuż obwodu zwilżonego.

### Rodzaje przemian morfologicznych

Należy wyróżnić dwa podstawowe rodzaje przemian morfodynamicznych w korytach rzek spowodowanych ruchem rumowiska w rzekach:

- zmiany zachodzące w naturalnych warunkach na rzece niezabudowanej (warunki naturalne),
- zmiany korytowe odnoszące się do rzeki zabudowanej stopniami wodnymi i zaporami oraz do uregulowanych odcinków koryta (warunki wymuszone oddziaływaniami antropogenicznymi).

O typie zmian decydują relacje między parametrami hydraulicznymi, takimi jak: spadek zwierciadła wody, prędkość przepływu, wielkość przepływu, głębokość wody, długość obwodu zwilżonego, szorstkość wzdłuż obwodu zwilżonego i geometria przekroju rzeki.

W przypadku rzek stabilnych zależności między tymi parametrami w dłuższym okresie są stałe, praktycznie niezmiennie. Należy stwierdzić, iż w rzekach o korytach aluwialnych stan taki występuje bardzo rzadko. W przypadku rzeki płynącej w stanie równowagi zmiennej, gdy obserwuje się długie okresy erozji koryta (bilans rumowiska ujemny), zmiany ukształtowania obwodu zwilżonego wyrażają się obniżeniem niwelety zwierciadła wody w strefach różnych wielkości przepływów. W tych przypadkach przepustowość koryta rzeki wzrasta. Natomiast gdy obserwuje się długie okresy akumulacji dopływającego rumowiska (bilans rumowiska dodatni), zmiany ukształtowania obwodu zwilżonego koryta i terenów zalewowych międzywała, przy przepływach większych od wody brzegowej, są przyczyną podnoszenia się niwelety zwierciadła wody. W takim przypadku przepustowość koryta rzeki ulega zmniejszeniu.

## METODY

### Kryteria oceny zmienności przemian morfodynamicznych

Analizując przebieg procesów zachodzących w korytach cieków znajdujących się w reżimie naturalnym względnie antropogenicznym, można wyróżnić następujące kryteria oceny zmienności (Naprawa, 2012):

**Reżim stabilny** (stały, trwały – ang. stable regime), charakteryzujący się niezmiennością analizowanych parametrów (hydraulicznych, morfologicznych, meteorologicznych, zjawisk lodowych, jakości wody itp.). W praktyce warunki te mogą występować na ciekach sztucznych (kanały) lub podlegających silnej regulacji przepływów.

**Reżim pozornie niestabilny** (ang. apparently unstable regime), w którym występuje zmienność analizowanych parametrów, np. hydraulicznych, w przekroju, w krótkich przedziałach czasu, lecz bez wyraźnych skutków wyrażających się zmiennością stanów i przepływów w dłuższym przedziale czasowym.

**Reżim niestabilny** (zmienny – ang. unstable regime), który charakteryzuje się występowaniem analizowanych parametrów, np. erozji lub sedymentacji względnie obu procesów jednocześnie, w poszczególnych okresach. Procesy te powodują opadanie (jako skutek oddziaływania erozji) lub wzrost stanów wody z upływem czasu (skutek sedymentacji).

### **Wpływ czasu na kształtowanie się morfodynamiki i uwarunkowań biologicznych**

Cechy rzeki zależą od rodzaju materiału gruntowego tworzącego koryto rzeki, od geometrii koryta oraz warunków lokalnych (klimatycznych, topograficznych, biologicznych, termicznych itp.). Rozpoznanie właściwości rzek, które miały miejsce w przeszłości, oraz ustalenie scenariuszy ich kształtowania się w okresie użytkowania obiektu zlokalizowanego w korycie lub dolinie ma pierwszorzędne znaczenie, bowiem trendy zmienności oraz szybkość przebiegu zmian decydują o bezpieczeństwie użytkowania obiektu.

Na rzekach zaniedbanych występuje krytyczna sytuacja w kształtowaniu się zależności przepływ – stan wody, czyli trend wzrostowy poziomów wód powodziowych ponad granice dopuszczalne.

W przypadku gdy obserwuje się zbyt długie okresy erozji koryta, zmiany morfologii na obwodzie zwilżonym rzeki wyrażają się obniżaniem niwelety zwierciadeł wód w strefach różnych wielkości przepływów. Wzrasta w tym przypadku przepustowość koryta rzeki. Natomiast gdy obserwuje się zbyt długie okresy akumulacji dopływającego rumowiska (bilans rumowiska dodatni), zmiany morfologii międzywala i koryta wody brzegowej są przyczyną podnoszenia się zwierciadeł wód. W tym przypadku maleje przepustowość rzeki. Zmniejszają się wówczas wraz z upływem czasu przyjęte w projekcie zapasy bezpiecznego wzniesienia niwelet korony wałów zarówno nad wodą miarodajną, jak i kontrolną.

### **Skutki zmienności morfologii cieków**

Przewaga procesów erozji w korycie rzeki i związane z tym obniżanie się niwelety zwierciadła wody niskiej w dłuższym okresie może być powodem wyłączenia z eksploatacji istniejących ujęć wód powierzchniowych z powodu braku grawitacyjnego napływu wody. Istniejące komory ujęć wód powierzchniowych ulegają zamuleni. Natomiast przewaga procesów sedymentacji w przekroju rzeki prowadzi nie tylko do podnoszenia się z upływem czasu niwelety zwierciadła wody miarodajnej (oraz kontrolnej) w cieku w okresie powodzi, lecz również następuje podnoszenie się dna rzeki. Istniejące wały tracą w tym przypadku przyjęte w projekcie zapasy wzniesienia poziomu korony obwałowań, który po pewnym czasie zostaje zredukowany do zera. Najczęściej dochodzi wtedy podczas wezbrań powodziowych do przelania się wody przez koronę wału, powstania wyrw w nasypie wału i zalania terenów dotychczas chronionych.

Z powyższych względów procesy zachodzące w międzywale i korycie cieków powinny być stale obserwowane, analizowane i oceniane z punktu widzenia bezpiecznego użytkowania obiektów hydrotechnicznych (Naprawa, 1986, 1993, 1997, 2001, 2002, 2004, 2010, 2011, 2012; Raudkivi, 1976; CIRIA Report C 731, 2013; Zhang i in., 2016).

### **Proponowane metody rozpoznawania i oceny intensywności przemian morfologicznych koryt rzecznych**

Przebieg zależności między przepływami i stanami wody w określonym przedziale czasu można ująć w formie zależności (Naprawa, 1986, 2012; CIRIA Report C 731, 2013):

$$H = f(T, Q = \text{const}) \quad (1)$$

gdzie:  $H$  – stan wody,  
 $Q$  – przepływ,

oraz

$$Q' = f(T, H' = \text{const}) \quad (2)$$

gdzie:  $H'$  – napętnienie,  
 $Q'$  – przepustowość.

Na podstawie analizy tych zależności można sporządzić: krzywe niestabilności stanów (napętnień) wody, krzywe niestabilności wartości przepływu wody – przepustowości koryta ( $S_Q$ ) oraz krzywe niestabilności wskaźnika stanów wody ( $S_H$ ). Miarą intensywności zmian stanów (napętnień) wody jest wskaźnik niestabilności, określający wielkość tych zmian w cm w jednostce czasu (rok lub dłuższe przedziały czasowe), który oznacza się symbolem  $S_H$  [ $\text{cm} \cdot \text{rok}^{-1}$ ]. Miarą intensywności zmian przepływów wody (przepustowości) jest wskaźnik niestabilności określający wielkość tych zmian w  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , w jednostce czasu, który oznacza się symbolem  $S_Q$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ].

Wskaźniki niestabilności stanów wody ( $S_H$ ) oblicza się dla wybranych okresów ( $\Delta T$ ) według wzoru:

$$S_H = \frac{H_2 - H_1}{\Delta T} = \frac{\Delta H}{\Delta T} \quad [\text{cm} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (3)$$

gdzie:  $\Delta H$  – różnica stanów wody dla tej samej wartości przepływu w przedziale czasu  $\Delta T = \Delta T_2 - \Delta T_1$ ,  
 $H_2$  – stan wody na końcu okresu  $\Delta H$ ,  
 $H_1$  – stan wody na początku okresu  $\Delta H$ .

Jeżeli  $S_H > 0$  (znak „+”), to występuje wzrost stanów wody, jeżeli  $S_H < 0$  (znak „-”), to występuje obniżenie się stanów wody, jeżeli  $S_H = 0$ , to przekrój koryta rzeki jest stabilny.

Prognozę zmiany stanu wody po  $T_u$  latach należy przeprowadzać przy użyciu prostej formuły:

$$H_T = H \pm S_H \cdot T_u \quad [\text{cm}] \quad (4)$$

gdzie:  $H_T$  – poziom po  $T$  latach dla określonego, specyficznego stałego przepływu [cm] (Naprawa, 1986, 2001, 2011; CIRIA Report C 731, 2013, s. 498, wykres 7.18),  
 $H$  – poziom analizowanego przepływu odczytany z aktualnej w chwili stawiania prognozy krzywej natężenia przepływu w badanym profilu,  
 $S_H$  – wskaźnik niestabilności stanu wody („+” oznacza sedymentację, „-” – erozję koryta), ustalony na okres użytkowania obiektu, przyjęty na podstawie analizy wskaźników w okresie ubiegłym [ $\text{cm} \cdot \text{rok}^{-1}$ ],  
 $T_u$  – okres użytkowania budowli przy zachowaniu wymaganych przepisami zapasów bezpiecznego położenia korony wału nad poziomem zwierciadła wody miarodajnej i kontrolnej [lata].

Prognozę przebiegu zmian morfodynamicznych koryta wybranej rzeki w dowolnym jej przekroju, skutkujących zmianami przepustowości koryta rzeki, proponuje się obliczać na podstawie wskaźników niestabilności przepływów ( $S_Q$ ) dla badanego odcinka rzeki, według zależności:

$$S_Q = \frac{Q_2 - Q_1}{\Delta T} = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (5)$$

gdzie:  $\Delta Q$  – różnica przepływów wody (przepustowości) dla tej samej wartości stanu wody (napelnienia) w przedziale czasu  $\Delta T = \Delta T_2 - \Delta T_1$ ,  
„+” – erozja, czyli wzrost przepustowości,  
„-” – sedymentacja, czyli utrata przepustowości.

Prognozę zmiany przepływu wody po  $T$  latach należy przeprowadzać przy użyciu wzoru:

$$Q_T = Q + S_Q \cdot T_u \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6)$$

gdzie:  $Q_T$  – przepływ po  $T$  latach dla określonego, stałego stanu [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] (Naprawa 1986, 2001, 2004, 2011, s. 27),  
 $Q$  – przepływ analizowanego stanu odczytany z aktualnej w chwili stawiania prognozy krzywej natężenia przepływu w badanym profilu,  
 $S_Q$  – wskaźnik niestabilności przepływu wody („+” oznacza erozję koryta, natomiast „-” – sedymentację koryta), ustalony na okres użytkowania obiektu, przyjęty na podstawie analizy wskaźników w okresie ubiegłym [ $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ ],  
 $T_u$  – okres użytkowania budowli przy zachowaniu wymaganych przepisami zapasów bezpiecznego wzniesienia korony wałów [lata].

## WNIOSKI

1. Jeżeli koryto jest ukształtowane w gruntach rozmywanych, to przy stałym reżimie hydrologicznym może wystąpić stały (stabilny) reżim hydrauliczny, gdy ciek płynie z prędkością bliską granicznej (krytycznej) ze względu na rozmywanie.

2. Jeżeli prędkość wody jest mniejsza od granicznej wartości (co ma miejsce zwykle na obszarach wyżej położonych międzywali), to następuje sedymentacja, teren zalewowy podnosi się, a zatem podnosi się stan wody ( $H$ ).

3. Jeżeli trend zmian morfologicznych wywołuje podnoszenie się stanu wody przy jednakowych specyficznych wartościach przepływu, to konieczny jest dodatkowy zapas wysokości wałów, aby nie wystąpiło przelanie się wody nad ich koronę.

4. Jeżeli prędkość wody jest większa od granicznej wartości (co ma miejsce zwykle w korytach wody brzegowej rzek o dnie niżej usytuowanym), to następuje erozja, dno koryta obniża się, a stan wody ( $H$ ) podnosi się zazwyczaj (choć logicznie myśląc, powinien się obniżyć), ponieważ międzywała wraz ze wzrostem oporów ruchu wody traci przepustowość, a przepływ przewidywany dla międzywali kierowany jest dodatkowo (rok po roku proporcjonalnie do szybkości przyrostu porostu) w koryto główne, w rezultacie tego następuje poważny wzrost stanu wody z jednoczesnym „wypchnięciem” masy wody na zawała. Wyjaśnia to powód coraz częstszych zalewów zawali spowodowanych przelewaniem się wody nad koronę wałów.

5. Nasze rzeki zamieniono przez ostatnie 3 dziesięciolecia w rezerваты przyrody, co spowodowało dramatyczny wzrost współczynnika oporów ruchu wody i zmniejszenie przepustowości.

6. Wykonane dotychczas prace studialne (Naprawa, 1986, 1993, 1997, 2001, 2002, 2010, 2011, 2012) wykazały konieczność stałego rozpoznawania trendów zmian niestabilności stanów powodziowych w ciekach o morfologii współkształtowanej przez szatę roślinną (czynniki biologiczne) w celu monitorowania aktualnego stanu bezpieczeństwa wałów przeciwpowodziowych.

7. Podstawowym warunkiem zmniejszenia częstotliwości występowania katastrofalnych zalewów zawali naszych rzek jest wyeliminowanie nadmiernych wpływów czynników biologicznych przez wycinkę drzew, krzewów i roślin z tarasów zalewowych.

## PIŚMIENNICTWO

- CIRIA Report C 731 (2013). *The International Levee Handbook*. London.
- Naprawa, S. (1986). Erosion and sedimentation aspects of the Tigris River Channel and other branches located within the Mesopotamian Plain. *Journal of Water Resources*, 5( 1). (Program: poz.63). Referat wygłoszony na międzynarodowym sympozjum dotyczącym erozji i sedymentacji w krajach arabskich w Bagdadzie, 15–19 luty.
- Naprawa, S. (1993). *Prognozowanie przebiegu erozji koryt rzecznych poniżej budowli piętrzących*. Materiały I Krajowej Konferencji Naukowej „Bezpieczeństwo i trwałość budowli wodnych”, Wrocław – Rydzyna, 93–100.
- Naprawa, S. (1997). *Skutki powodzi 1997 na odcinku Górnej Wisły*. Materiały Forum Naukowo-Technicznego POWÓDŹ 1997 w Ustroniu k. Wisły, 10–12 września, 2, 265–278.
- Naprawa, S. (2001). Procesy erozji i sedymentacji w korycie rzeki Tygrys i w innych ciekach wodnych na obszarze Niziny Mezopotamskiej. *Gospodarka Wodna*, 9, 388–391.
- Naprawa, S. (2002). *Ocena naturalnego reżimu przepływów w rzece Odrze i wpływ zbiornika Racibórz na morfologię koryta poniżej zapory*. Hydroprojekt, Warszawa.
- Naprawa, S. (2004). *Evaluation of geomorphological processes in the Vistula River channel along Włocławek – Tczew reach and prognosis of sedimentation and erosion downstream proposed Nieszawa Barrage with prognosis of flood flow conditions during winter*. Expertise completed for Hydroprojekt Ltd., Warsaw.
- Naprawa, S. (2010). *Niektóre problemy związane z powodzią w 2010 roku na odcinku dolnym górnej Wisły (km 138-2870)*. Materiały Forum Naukowo-Technicznego POWÓDŹ 2010, Warszawa, 28–29 czerwca, 146–156.
- Naprawa, S. (2011). *Wybrane ważne problemy związane z bezpiecznym projektowaniem i użytkowaniem budowli piętrzących wodę w warunkach zimowych na ciekach z okresowym ruchem rumowiska*. Referat na II Warsztaty Lodowe „Problemy rzek”, Dobiegniewo, 3–4 luty, 25–28.
- Naprawa, S. (2012). Wybrane ważne problemy związane z bezpiecznym projektowaniem i użytkowaniem budowli piętrzących wodę. *Gospodarka Wodna* 1, 29–38.
- Raudkivi, A. J. (1976). *Loose boundary hydraulics*. (Chapter 8, 235–261, Chapter 10, 282–306). II wydanie. Pergamon Press.
- Zhang, L., Peng, M., Chang, D. i Xu, Y. (2016). *Dam Failure Mechanisms and Risk Assessment*. (Chapter 7, 144–146). Singapore: John Wiley and Sons.

## MODELING DETERIORATION AND DEGRADATION OF WATER HEADWORKS INFRASTRUCTURE ASSETS

### SUMMARY

General remarks on river regime flows are presented, the processes observed in the river channels (within the area of river flood embankments) are described. The engineer’s attention is diverted for necessity of elaboration the definite evaluation of geomorphological transformations of river channels in the past and their influence on the water levels elevations for Design Floods as the function of time during exploitation period. The author’s method for evaluation of water levels (and discharges) instability as the function of time is described. New definition for “instability factor” has been introduced for water levels and discharges. The dynamic hydrology concept approach has been applied e.g. the channel water levels ( $H$ ) and discharges ( $Q$ ) are presented and discussed in historical perspective.

**Key words:** rivers, regime, erosion, sedimentation, channel characteristics, channel parameter stability, design criteria for hydraulic structures