

KONCEPCJA SOCJOHYDROLOGII W ANALIZIE ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

Andrzej Wałęga

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Celem artykułu jest przedstawienie uwzględniającej socjohydrologiczne aspekty analizy zagrożenia powodziowego. Przedstawiono model pozwalający na dynamiczną symulację interakcji między zagrożeniem powodziowym a zachowaniem człowieka, uwzględniający dodatkowo sprzężenia zwrotne. Model ten zawiera cztery komponenty: ekonomiczny, polityczny, technologiczny i społeczny. Wydaje się, że koncepcja socjohydrologii wychodzi naprzeciw aktualnym potrzebom związanym z racjonalnym gospodarowaniem wodą w zlewniach. Socjohydrologia może być wykorzystana do wyjaśniania występujących zależności między człowiekiem a środowiskiem przyrodniczym, głównie wodnym.

Słowa kluczowe: dyrektywa powodziowa, ryzyko powodziowe, tereny zurbanizowane, społeczeństwo

WSTĘP

Ekstremalne zjawiska przyrodnicze, w tym powódzie i susze, powodujące szkody materialne i niematerialne są nieodłącznie związane z życiem człowieka od początku jego istnienia. Współczesne zainteresowanie problematyką ekstremalnych zjawisk wywołujących szkody nabiera szczególnego znaczenia z uwagi na obserwowany globalny wzrost intensywności ich występowania i niekorzystne skutki dla środowiska i człowieka [Klimat... 2009]. Najbardziej widocznymi i odczuwalnymi zagrożeniami w naszej strefie klimatycznej są powódzie. Wezbrania powinny być traktowane jako naturalne zjawiska przyrodnicze. Zjawiska te mogą być postrzegane jako zagrożenie tylko wtedy, gdy negatywnie oddziałują na ludzką działalność gospodarczą [Mioduszewski 2012]. Powódzie generują około 1/3 całkowitych kosztów związanych z naturalnymi kataklizmami i dotyczą około 2/3 ludzi na kuli ziemskiej. W Europie

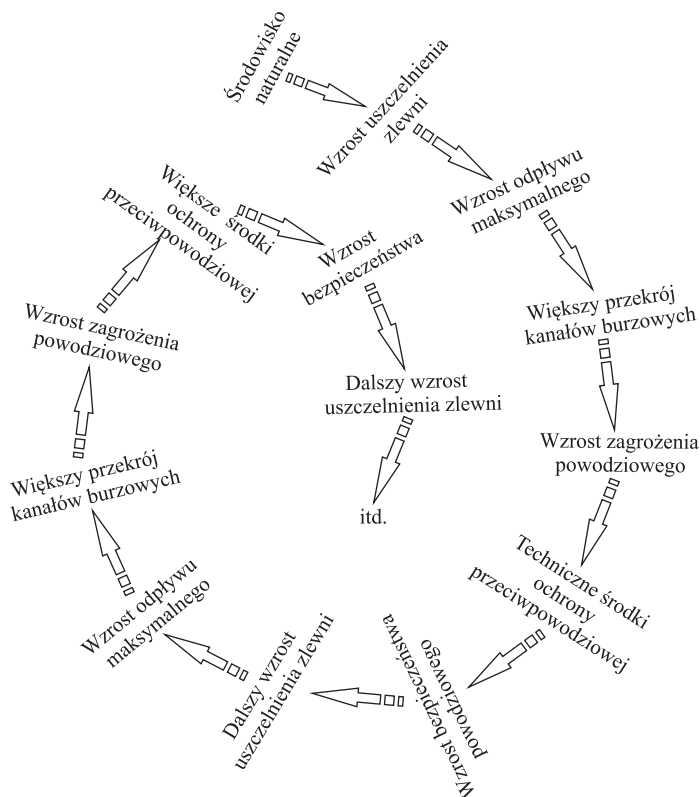
Adres do korespondencji – Corresponding author: dr hab. inż. Andrzej Wałęga, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: a.walega@ur.krakow.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2015

liczba zniszczeń wywołanych powodzią wzrasta. Od 1998 do 2003 roku ponad 100 znaczących powodzi było przyczyną zmiany miejsca zamieszkania około pół miliona ludzi, a straty ekonomiczne wyniosły prawie 25 mld euro [European Environment Agency 2003]. Majątek ludzki zlokalizowany na obszarach o dużym ryzyku zagrożenia powodziowego jest ogromny. Przykładowo, ponad 10 mln ludzi zamieszkuje obszar dużego ryzyka powodziowego wzdłuż Renu, gdzie potencjalne szkody wywołane ekstremalnymi powodziąmi na tym terenie wyniosłyby około 165 mld euro [Commission of the European Communities 2004]. Według Czabana [2012] w wieloletnim okresie 1985–2007 średnia powódź na świecie trwała 11 dni i pochłonęła 223 osoby, a średnie straty materialne wyniosły ponad 861 mln USD. Wraz z upływem czasu duże powodzie stały się coraz bardziej powszechne. Spowodowane jest to ingerencją człowieka w środowisko, przejawiającą się m.in. zagospodarowywaniem obszarów narażonych na możliwość wystąpienia powodzi, zarówno pod mieszkalnictwo, jak i przemysł oraz utratą zdolności retencyjnych zlewni i dolin rzecznych [Tucci 2008, Wałęga i Grzebinoga 2014]. Można się spodziewać, że także w najbliższych latach kraje europejskie mogą być niejednokrotnie dotknięte wystąpieniem zjawiska powodzi. Zmiany klimatyczne również mogą przyczynić się do zwiększania częstości zagrożenia powodziowego [Kundzewicz i in. 2014]. Jednak na ten temat panują sprzeczne opinie, bowiem problem ten jest bardzo zróżnicowany pod względem lokalnym oraz w analizie nie zawsze brano pod uwagę jednoczesny wpływ zmian klimatycznych oraz wzrost uszczelniania terenu na zagrożenie powodziowe. Przykładowo, Mudelsee i in. [2004] podają, że nie obserwuje się istotnych trendów zwiększania ryzyka powodziowego w miesiącach letnich w XX wieku, przy jednoczesnym widocznym malejącym trendzie w przypadku powodzi zimowych na obszarze Europy Środkowej. Podobne spostrzeżenia zawarte są w pracy Bartnika i Jokiela [2012].

Najbardziej narażone na wystąpienie powodzi są południowe regiony Polski (górna Odra i Wisła), a także tereny depresyjne. Szczególnie narażony na występowanie szkód powodziowych jest obszar karpackiego dorzecza Wisły – jak podano w jednym z opracowań [Maciejewski (red.) 2000], poziom zagrożenia powodziowego w dorzeczu Górnej Wisły jest wyższy co najmniej o 15% od przeciętnego zagrożenia powodziowego w Polsce. Straty w wyniku powodzi w maju i czerwcu 2010 roku w dorzeczu Wisły wyniosły ponad 3 mld zł i stanowiły 0,4% PKB [Maciejewski i in. 2011].

Już najstarsze cywilizacje zasiedlały tereny zalewowe z uwagi na ich ogromne znaczenie dla rozwoju człowieka [Di Baldassarre i in. 2010]. Szacunki podają, że obecnie prawie miliard ludzi żyje na obszarach zalewowych. Od wielu lat prowadzone są analizy dotyczące wpływu zagrożenia powodziowego na rozwój osadnictwa oraz wpływu człowieka na wzrost częstości powodzi. Często jednak analizy takie skupiają się na jednej stronie takiego oddziaływania: oddziaływanie człowieka na strefy zalewowe z pominięciem dodatkowych interakcji między elementami systemu hydrologicznego. Stąd istnieje potrzeba zbadania, jaki jest wpływ człowieka na częstość występowania powodzi przy jednoczesnym uwzględnieniu faktu, że powodzie kształtują rozwój społeczeństwa. Dodatkowo należy rozpatrywać występujące sprzężenia zwrotne między elementami systemu hydrologicznego a społeczeństwem [Di Baldassarre i in. 2013]. Obecnie można zaobserwować błędne koło ochrony przeciwpowodziowej [Kowalczak 2007, Januchta-Szostak 2010, Twaróg 2014] (ryc. 1).



Ryc. 1. Spirala wzrostu potrzeb ochrony przed powodzią [zmodyfikowany za: Januchta-Szostak 2010]

Fig. 1. The spiral of increasing flood protection needs [modified after: Januchta-Szostak 2010]

Uszczelnienie zlewni zaburza równowagę w obiegu wody poprzez zmniejszanie infiltracji, a zwiększenie wielkości odpływu powierzchniowego [Wałęga i in. 2013, Wałęga i Grzebinoga 2014]. Zwiększona objętość splywu, dla zapewnienia odpowiedniego standardu życia społeczeństwa, musi być sprawnie odprowadzona poprzez system odwodnienia do cieków powierzchniowych. Aby jednak zabezpieczyć się przed wylewami wody z rzek, realizuje się szereg inwestycji, np. buduje się wały przeciwpowodziowe lub je modernizuje. Doprowadza to do złudnego wzrostu poczucia bezpieczeństwa społeczeństwa, co stymuluje dalszy rozwój gospodarczy w obrębie naturalnej doliny, z reguły prowadzony na pierwotnie występujących terenach zalewowych. Paradoksalnie działania te prowadzą do zwiększenia ryzyka powodziowego. Występujące z coraz większą intensywnością powodzie generują ogromne straty [Ludy i Kondolf 2012]. Reasumując, opisany proces prowadzi do przejścia od częstszych powodzi na obszarach nieurbanizowanych do względnie rzadziej występujących, ale potencjalnie katastrofalnych powodzi na obszarach zurbanizowanych i uprzemysłowionych. Należy także nadmienić, że brak właściwego planowania przestrzennego oraz nierespektowanie założeń miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego

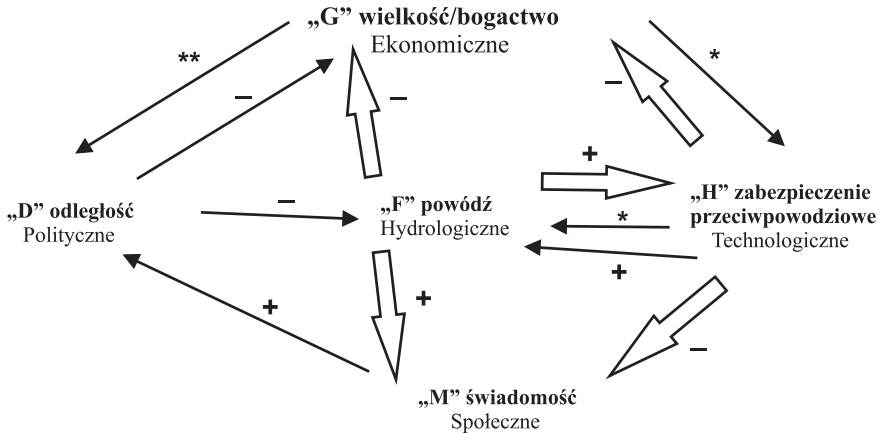
w odniesieniu do ochrony przeciwpowodziowej przyczyniają się do zwiększania ryzyka zagrożenia powodzią. Dokładną charakterystykę tego problemu przedstawia raport Najwyższej Izby Kontroli [NIK 2013] dotyczący oceny działalności organów samorządu terytorialnego w zakresie planowania sposobu zagospodarowania terenów zagrożonych powodzią i wyrażania zgody na realizację inwestycji na tych terenach, a także ustanawiania szczególnych warunków w zakresie możliwości lokalizowania inwestycji. Brak zrozumienia występujących interakcji między człowiekiem a środowiskiem przyrodniczym był przyczyną sformułowania przez Sivapalana i in. [2012] koncepcji nowej nauki zwanej socjohydrologią.

Celem pracy jest przedstawienie koncepcji towarzyszącej nowej nauce – socjohydrologii – w aspekcie analiz zagrożenia powodziowego.

KONCEPCJA SOCJOHYDROLOGII W ODNIESIENIU DO ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO

W oparciu o liczne doniesienia naukowe można stwierdzić, że obecnie decydenci zarządzający zasobami wodnymi i naukowcy zdają sobie sprawę, że związek między wodą a ludźmi jest bardziej delikatny niż kiedykolwiek wcześniej [Vogel 2011, Sivapalan i in. 2012]. Zostało to wyraźnie podkreślone w pracy Montanari i in. [2013] *Panta Rhei – Everything Flows: Change in hydrology and society – The IAHS Scientific Decade 2013–2022*. Jedno z zagadnień naukowych, jakie musi być podjęte, dotyczy właśnie problemu powiązań między procesami hydrologicznymi a społeczeństwem, z uwzględnieniem wzajemnych interakcji i sprzężeń zwrotnych. Związki między hydrologią a społeczeństwem ulegają zmianie, co generuje nowe połączenia, które wymagają rozpoznania, modelowania i przewidywania. Wymaga to jednak zastosowania podejścia interdyscyplinarnego. Należy mieć na uwadze, że ludzie są ważną częścią systemu: istnieje potrzeba zbadania powiązań dwukierunkowych pomiędzy ludźmi i środowiskiem przyrodniczym w znacznie szerszym zakresie niż dotychczas. Według Sivapalana i in. [2012] socjohydrologia opisuje holistyczne integracje socjoekonomicznych i środowiskowych aspektów hydrologii, skupiając się na badaniu interakcji między podstawowymi elementami środowiska przyrodniczego, sprzężeniami zwrotnymi między tymi elementami z uwzględnieniem oddziaływania człowieka na system hydrologiczny i systemu na człowieka. I dalej autorzy podają, że nie jest możliwe przewidywanie zmian cyklu hydrologicznego na przestrzeni dekad czy lat, bez uwzględnienia interakcji i sprzężeń zwrotnych pomiędzy środowiskiem przyrodniczym a działalnością człowieka. Coraz częściej socjohydrologia jako nauka ma zastosowanie w analizach tendencji i przyczyn zmian stanu zasobów wodnych w zlewniach, szczególnie tam, gdzie obecne są duże systemy irygacyjne oraz w zarządzaniu ryzykiem powodziowym [Wescoat Jr. 2013, Elshafei i in. 2014, Ertsen i in. 2014, Gober, Wheeler 2014, Lane 2014, O’Connell i O’Donnell 2014]. Nakreślona idea socjohydrologii doskonale nadaje się do analizy ryzyka powodziowego. Wynika to z faktu, że z powodzią mamy do czynienia w sytuacji, gdy wezbranie osiąga rozmiary powodujące straty materialne i ludzkie, a sam rozwój osadnictwa przyczynia się do wzrostu zagrożenia powodzią. W odniesieniu do analizy ryzyka powodziowego,

w dalszej części artykułu szczegółowo zostanie przedstawiony dynamiczny konceptualny model interakcji między człowiekiem a terenami zalewowymi opisany w pracy Di Baldassare i in. [2013]. Model ten uwzględnia pięć komponentów: hydrologiczny, ekonomiczny, polityczny, technologiczny i społeczny. Wymienione komponenty są ze sobą sprzężone, a ich wartości wymierne gwałtownie zmieniają się w czasie w momencie wystąpienia powodzi – ryc. 2.



Ryc. 2. Diagram wzajemnych powiązań poszczególnych elementów systemu w trakcie wystąpienia powodzi [zmodyfikowany za Di Baldassare i in. 2013]: pogrubione strzałki oznaczają powiązania pomiędzy poszczególnymi elementami i gradient oddziaływania, pogrubione szerokie strzałki określają powiązania między elementami i gradient oddziaływań w momencie nagle wystąpienia powodzi, cienkie strzałki oznaczają mechanizmy kontroli systemu (* opisane równaniami 1 i 2; ** zdolność do zmiany odległości zabudowy od rzeki w równaniu 5)

Fig. 2. The diagram of interrelationships between individual elements of the system during a flood event [modified after Di Baldassare et al. 2013]: bolded arrows indicate the relationships between individual elements and the gradient of the impact, bolded broad arrows indicate the link between the relationships between individual elements and the gradient of the impact at the time of the flood event, thin arrows indicate mechanisms of the system control (* described by the equations 1 and 2; ** possibility of changing the distance between buildings and the river in the equation 5)

W modelu tym przyjęto jako $W(t)$ serię czasową stanów wody powyżej tzw. wody brzegowej, która reprezentuje czynnik hydrologiczny. Intensywność powodzi jest reprezentowana przez zmienną $F(t)$, która przyjmuje wartości od 0 do 1 (0 oznacza brak zagrożenia, a 1 całkowite zniszczenie). Intensywność powodzi F może być wyrażona wzorem:

$$F = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\frac{W + \xi h H_-}{\alpha h D}\right) & \text{jeżeli } W + \xi h H_- > H_- \\ 0 & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

- W – maksymalny stan wody,
- H – wysokość wału przeciwpowodziowego,
- D – odległość środka ciężkości powierzchni obszaru zabudowanego od rzeki,
- ξh – przyrost stanów wody spowodowany wzrostem wysokości wałów,
- H_- – wysokość wałów przed wystąpieniem powodzi,
- ah – topograficzna charakterystyka terenu zalewowego.

Z przedstawionego wzoru wynika, że model ten dotyczy wyłącznie sytuacji, gdzie jako zabezpieczenie powodziowe stosuje się wały przeciwpowodziowe. Należy jednak pamiętać, że nie jest to jedyny sposób ochrony przeciwpowodziowej, model ten nie uwzględnia wpływu np. retencji zbiornikowej na kształtowanie się stanów wody w rzece. Przyczyna uwzględnienia w modelu wyłącznie wpływu obwałowań na kształtowanie się zagrożenia powodziowego wynika m.in. z badań przeprowadzonych przez Heine i Pintera [Heine i Pinter 2012, za: Di Baldassare i in. 2013]. Autorzy ci na podstawie badań przeprowadzonych w 203 przekrojach wodowskazowych w stanach Illinois i Iowa wykazali wzrost stanów wody po wykonaniu wałów przeciwpowodziowych. Stąd należy przypuszczać, że ten typ zabezpieczenia przeciwpowodziowego, jako najbardziej zawodny, został uwzględniony w modelu. Po wystąpieniu powodzi mogą być podejmowane następujące decyzje: 1. Podniesienie korony wałów przeciwpowodziowych powyżej rzędnej wielkiej wody odpowiadającej ostatniej powodzi. 2. Brak podejmowania działań. To, jaki wariant będzie wybrany, zależy od możliwości technicznych czy finansowych. Wartość przyrostu wysokości wałów $R(t)$ bezpośrednio po wystąpieniu powodzi i w czasie t obliczany jest z zależności:

$$R = \begin{cases} \varepsilon T(W + \xi h H_- - H_-) & \text{jeżeli } (F > 0) \\ i (FG_- > \gamma ER \sqrt{G}) & \\ i (G_- - FG_- > \gamma ER \sqrt{G}) & \\ 0 & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

- G_- – wielkość obszaru zurbanizowanego bezpośrednio przed wystąpieniem powodzi lub zasobność majątkowa społeczeństwa,
- εT – wskaźnik bezpieczeństwa po podwyższeniu wałów.

Wysokości wałów będą podwyższane w sytuacji, gdy straty związane z powodzią będą przewyższały koszt tej inwestycji, a ponadto społeczeństwo będzie w stanie ponieść takie koszty.

Prezentowany model opisuje także komponent związany ze wstrząsem psychicznym ludności wywołanym wystąpieniem powodzi $S(t)$. Parametr ten zależy zarówno od wielkości F zdarzenia, jak i podjętych decyzji związanych z poprawą bezpieczeństwa powodziowego. Jest on opisany wzorem:

$$S = \begin{cases} \alpha s F & \text{jeżeli } R > 0 \\ F & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases} \quad (3)$$

gdzie:

as – współczynnik empiryczny określający, czy realizacja inwestycji może złagodzić wstrząs psychiczny po wystąpieniu powodzi.

Współczynnik S przyjmuje wartości od 0 do 1. W przypadku gdy $R = 0$, a więc po wystąpieniu powodzi, nie zrealizowano dodatkowych inwestycji zwiększających poziom ochrony, wielkość $S = F$, natomiast, gdy po wystąpieniu powodzi zwiększy się poziom ochrony wartość S będzie mniejsza od F , a poczucie bezpieczeństwa ludności wyniesie $1 - as$.

Dynamiczne zachowanie całego systemu hydrologicznego sprzężonego z zachowaniem społeczeństwa opisują następujące równania różniczkowe:

$$\frac{dG}{dt} = \rho e \left(1 - \frac{D}{\lambda e} \right) G + \Delta(\Upsilon(t)) \cdot (FG + \gamma e R \sqrt{G}) \quad \text{komponent ekonomiczny} \quad (4)$$

$$\frac{dD}{dt} = \left(M - \frac{D}{\lambda p} \right) \cdot \frac{\varphi p}{\sqrt{G}} \quad \text{komponent polityczny} \quad (5)$$

$$\frac{dH}{dt} = \Delta(\Upsilon(t)) \cdot R - \kappa t H \quad \text{komponent technologiczny} \quad (6)$$

$$\frac{dM}{dt} = \Delta(\Upsilon(t)) \cdot S - \mu s M \quad \text{komponent społeczny} \quad (7)$$

gdzie:

- ρe – wskaźnik maksymalnej szybkości wzrostu gospodarczego,
- D – odległość obszaru zabudowanego od rzeki,
- G – powierzchnia obszaru zurbanizowanego,
- γe – jednostkowy koszt wzrostu poziomu zabezpieczenia R ,
- M – wskaźnik świadomości zagrożenia powodziowego,
- λp – akceptowalna odległość zabudowy od rzeki, która wynika z doświadczeń ludności co do konsekwencji wcześniejszych powodzi,
- φp – wskaźnik szybkości rozwoju nowej zabudowy,
- κt – tempouszkodzenia wałów,
- μs – szybkość spadku świadomości o skutkach powodzi występujących w przeszłości.

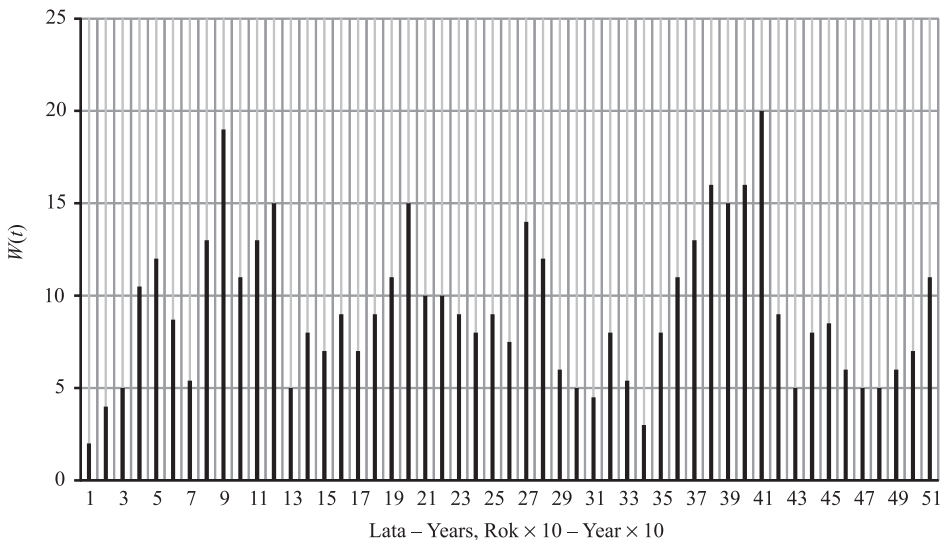
Pozostałe oznaczenia są identyczne jak we wzorach wcześniejszych.

Równanie (4) określa zmiany rozmiaru obszaru zurbanizowanego w czasie t i jest uzależnione od wielkością populacji, wielkości obszaru i stopnia zamożności. W sprzyjających okolicznościach (brak powodzi) występuje tendencja do rozwoju obszaru zabudowanego i zamożności społeczeństwa, natomiast po wystąpieniu powodzi ten wzrost jest gwałtownie zahamowany. Równanie (5) określa zmiany w czasie odległości między środkiem ciężkości obszaru zabudowanego a rzeką. Wzrost świadomości istnienia zagrożenia powodziowego M prowadzi do zwiększenia odległości obszaru zabudowanego od rzeki – obszar zurbanizowany rozwija się w znacznej odległości od rzeki. Równanie (6)

opisuje czynnik technologiczny związany z budową zabezpieczeń przeciwpowodziowych, w tym przypadku wałów przeciwpowodziowych. Pierwszy człon równania opisuje tendencję do zwiększania poziomu ochrony zaraz po wystąpieniu powodzi, natomiast drugi komponent określa tempo uszkodzania wałów i jest związany z zastosowaną technologią budowy, materiałami itp. Świadomość ryzyka powodziowego M (równanie 7) jest determinowana doświadczeniem społeczeństwa po wystąpieniu powodzi. Opisuje ono szybkość wzrostu świadomości ryzyka związanego z powodzią i jej skutkami zaraz po wystąpieniu powodzi, a następnie stopniowe zmniejszanie tej świadomości, w miarę jak wydłuża się okres w czasie od wystąpienia ostatniej powodzi.

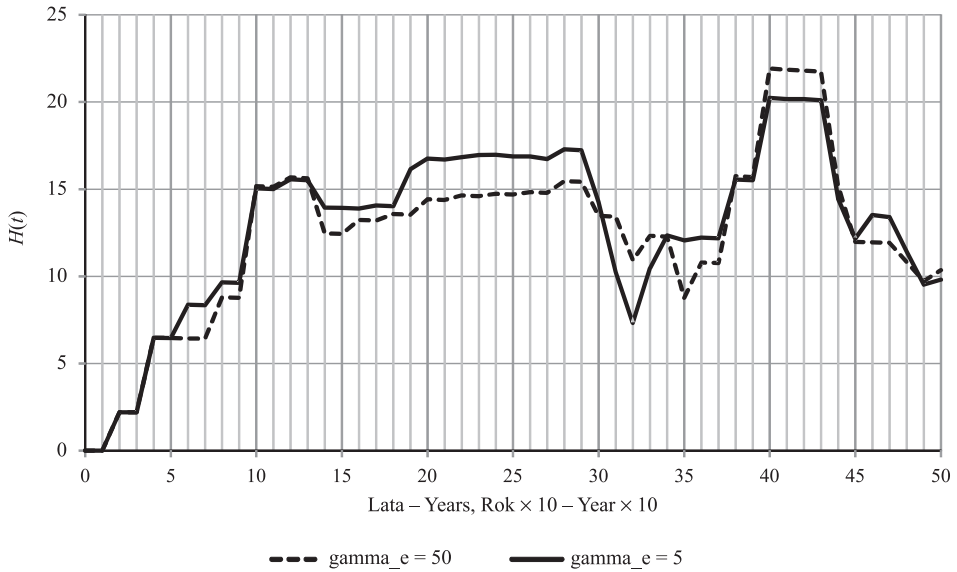
DYNAMIKA INTERAKCJI CZŁOWIEK–POWÓDŹ

Aby przedstawić przykładową dynamikę zmian zachodzących w społeczeństwie pod wpływem występujących powodzi, przeprowadzono szereg symulacji z wykorzystaniem opisanego powyżej podejścia. W analizie przyjęto hipotetyczne społeczeństwo zlokalizowane w sąsiedztwie rzeki. Badano interakcje między powodzią a zachowaniem społeczeństwa w okresie 500 lat. Serię czasową maksymalnych stanów wody w rzece $W(t)$ wygenerowano w oparciu o metodę Monte Carlo. Na wstępie przyjęto następujące warunki początkowe: $M(t=0) = 0$, $R(t=0) = 0$, $H(t=0) = 0$, $F(t=0) = 0$, $D(t=0) = 2000$ m, $S(t=0) = 0$ i $G(t=0) = 100$ m². Wartości stałych przyjęto na poziomie: $\xi h = 0,5$, $ah = 0,01$, $\varepsilon T = 1,10$, $as = 0,5$, $\rho e = 0,02$ rok⁻¹, $\lambda e = 5000$ m, $\lambda p = 12000$ m, $\varphi p = 100^2$ m² · rok⁻¹, $\kappa t = 0,001$ rok⁻¹, $\mu s = 0,05$ rok⁻¹. Obliczenia prowadzono dla dwóch wariantów związanych ze wskaźnikiem kosztów jednostkowych budowy wałów: wariantu 1 (niższe koszty $\gamma e = 5 \cdot 10^{-1}$) i wariantu 2 (wyższe koszty $\gamma e = 5 \cdot 10^{-1}$). Wyniki obliczeń przedstawiają ryc. 3–8.

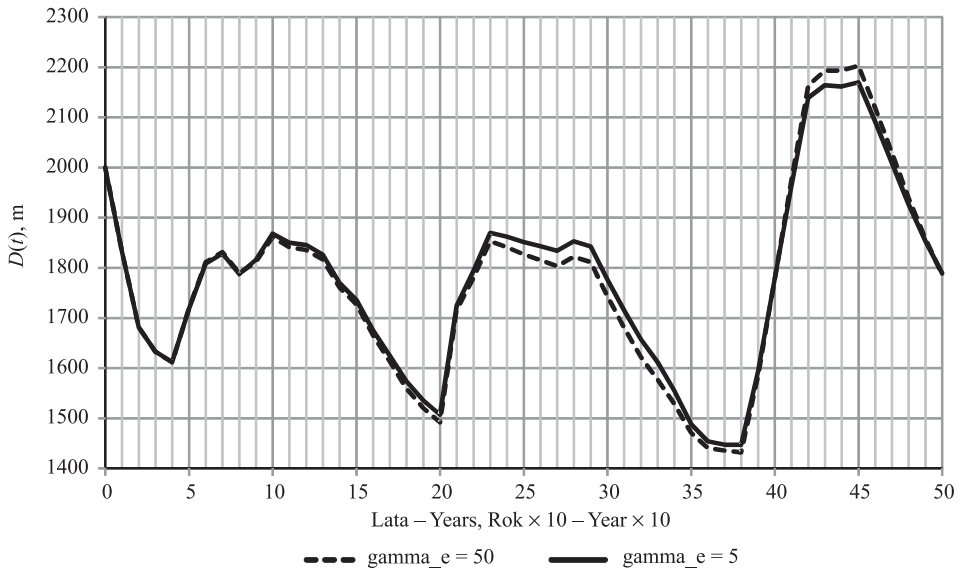


Ryc. 3. Seria czasowa maksymalnych stanów wody

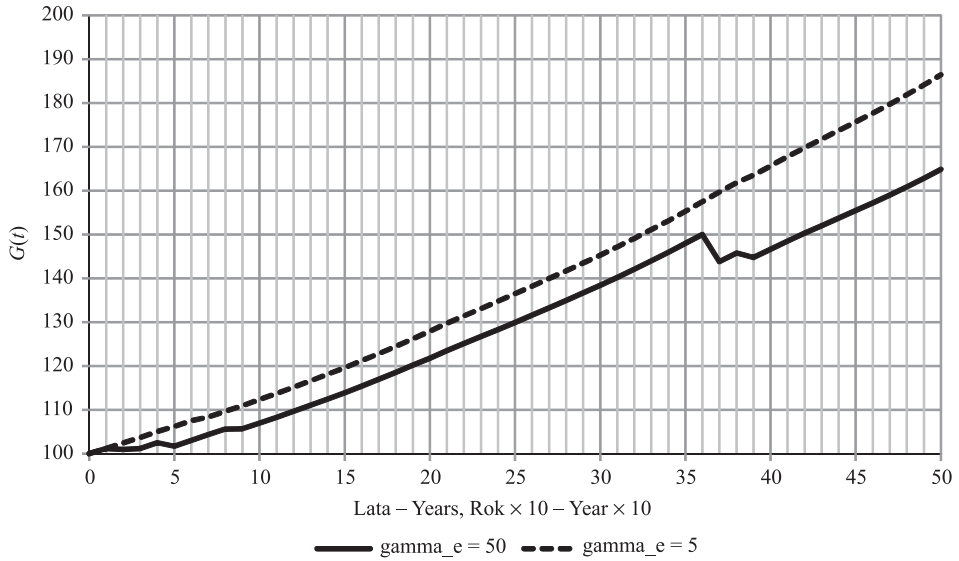
Fig. 3. Time series of maximum waterlevels



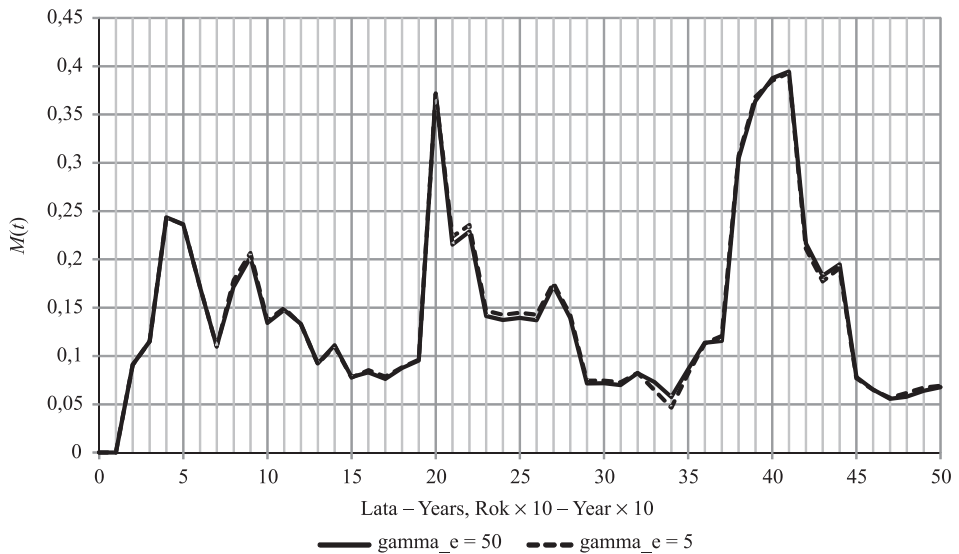
Ryc. 4. Poziom ochrony przeciwpowodziowej – wysokość wałów przeciwpowodziowych
 Fig. 4. The level of flood protection – the height of flood embankments



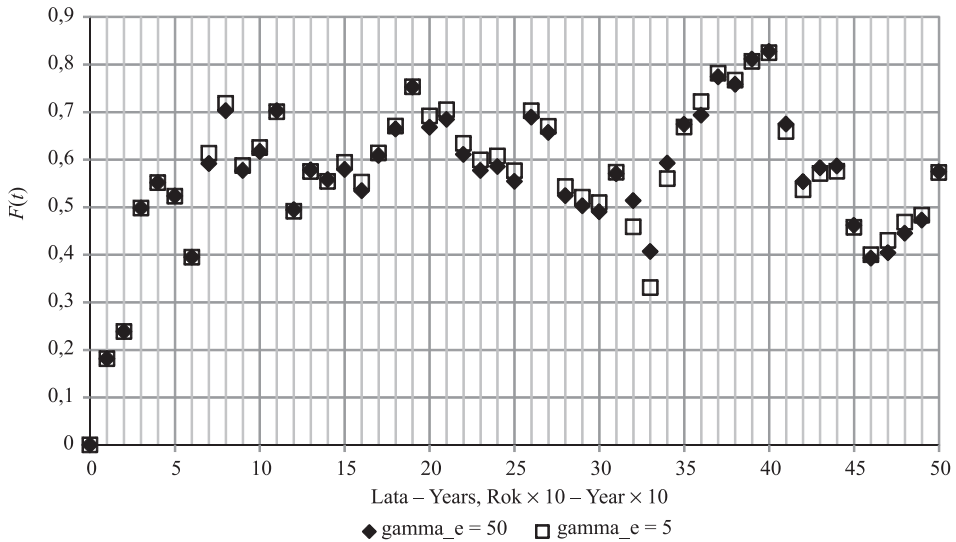
Ryc. 5. Zmiana odległości zabudowy od rzeki
 Fig. 5. Change in the distance between the buildings and the river



Ryc. 6. Zmiana wielkości obszaru zabudowanego w czasie
 Fig. 6. Change in the built-up area in time



Ryc. 7. Zmiana świadomości ryzyka powodziowego
 Fig. 7. Change in the floodriskawareness



Ryc. 8. Zmiana intensywności powodzi w czasie

Fig. 8. Change in the intensity of floods in time

W oparciu o przeprowadzone symulacje można stwierdzić, że występują złożone interakcje między zachowaniem społeczeństwa a występującymi powodzią. Występowanie powodzi prowadzi do wzrostu świadomości istnienia zagrożenia – ryc. 7, jednak ten wzrost występuje zaraz po stratach związanych z tym kataklizmem. Po kilku latach, a często i wcześniej, od wystąpienia powodzi, maleje wstrząs psychiczny, jakiego doświadczają ludzie, co niestety przyczynia się do lekceważenia wciąż przecież realnego i potencjalnie niebezpiecznego zagrożenia. Jest to szczególnie niebezpieczne, gdy zmniejszanie świadomości dotyczy dycydentów, bo prowadzić może do błędnej polityki w zakresie zarządzania powodzią [Chudy 2013]. Kolejne katastrofy uświadamiają skalę zagrożenia i stają się bodźcem do uruchamiania działań naprawczych. Przedstawia to ryc. 4 z którego można wnioskować, że poziom zabezpieczenia powodziowego wzrasta (wzrost wysokości obwałowań) po wystąpieniu kataklizmu. Brak powodzi prowadzi jednak do złudnego poczucia bezpieczeństwa, a zatem zmniejszenia świadomości społeczeństwa. Poziom rozwoju gospodarczego, tutaj przedstawiony przez zwiększenie się rozmiarów osiedla (ryc. 6), wzrasta, czemu towarzyszy wzrost poziomu infrastruktury, gęstości zabudowy, itp., a więc wzrost wrażliwości na powódź, marginalizowanie problemu zwiększania poziomu bezpieczeństwa. Dopiero wystąpienie kolejnej, często znacznie potężniejszej powodzi w stosunku do historycznych, przyczynia się do wzrostu poziomu bezpieczeństwa. Równie niebezpieczną tendencją jest zbliżanie się zabudowy do rzeki, występujące głównie w okresach braku lub względnie małych czy średnich powodzi (ryc. 5). Jest to rezultatem niewłaściwego planowania przestrzennego, przejawiającego się m.in. realizowaniem inwestycji na obszarach zalewowych [Zevenbergen i in. 2011]. Ta zmiana w lokalizacji obszarów zurbanizowanych jest silnie powiązana ze zmianą świadomości społeczeństwa w kwestii występującego zagrożenia powodziowego. W okresach, gdy świadomość zagrożeń jest duża, spowodowana często katastrofalnymi

powodziami, zwiększa się odległość zabudowy od rzeki. Można także zaobserwować, że gdy poziom zabezpieczeń powodziowych jest wystarczający, a intensywność powodzi niewielka (ryc. 8), występuje tendencja do zbliżania się zabudowy do rzeki. Należy także pamiętać, że wzrost zabezpieczenia powodziowego, zwłaszcza w okresie początkowym rozwoju społeczeństwa, nie następuje natychmiast po kataklizmie, lecz po pewnym czasie (ryc. 4). Jest to związane z tym, że społeczeństwo musi być wystarczająco zamożne i mieć na tyle rozwiniętą technologię, aby było w stanie ponieść koszty związane z realizacją inwestycji zmniejszających ryzyko powodziowe. Mniejsze koszty związane z realizacją inwestycji przeciwpowodziowych mogą prowadzić do nieznacznego przewymiarowania zabezpieczeń, głównie w okresie występowania powodzi małych czy średnich (ryc. 4). Z kolei w trakcie wystąpienia powodzi katastrofalnych, mimo wyższych kosztów, poziom zabezpieczenia jest wyższy. Przy wyższych kosztach realizacji inwestycji, występuje tendencja do bardziej oszczędnego realizowania zabezpieczeń, co przejawia się tym, że występujące powodzie, zwłaszcza katastrofalne, prowadzą do czasowego zmniejszenia wzrostu gospodarczego (na ryc. 6 widoczne wahania w wartościach $D(t)$). Niższe koszty realizacji inwestycji przeciwpowodziowych z biegiem czasu mogą prowadzić do niebezpiecznych tendencji związanych ze zbliżaniem się zabudowy do rzeki, nawet w przypadku katastrofalnych powodzi (ryc. 5).

PODSUMOWANIE

Od zarania dziejów człowiek modyfikuje środowisko przyrodnicze. Prowadzi to do występowania nieuchronnych interakcji między człowiekiem a otoczeniem. Problemy powstają w sytuacji, gdy naturalne zagrożenie, takie jak powódź czy susza zagraża człowiekowi. W celu rozpoznania problemu należy rozpatrywać zarówno aspekt hydrologiczny, jak i społeczny czy środowiskowy. Wydaje się, że koncepcja socjohydrologii wychodzi naprzeciw aktualnym potrzebom związanym z racjonalnym gospodarowaniem wodą w zlewniach. Socjohydrologia może być wykorzystana do wyjaśniania zależności między człowiekiem a środowiskiem przyrodniczym, głównie związanym z obiegiem wody. Przyczynić się to może do skuteczniejszych i bardziej świadomych działań na rzecz poprawy gospodarowania wodą i ochrony przed skutkami katastrofalnych zjawisk przyrodniczych. Przedstawiony model jest w stanie opisywać interakcje między występującymi powodziami a zachowaniem społeczeństwa, ma on jednak kilka ograniczeń. Jednym z nich jest konieczność dysponowania wiarygodnym ciągiem danych stanów wody i to z okresu co najmniej kilkuset lat. Dla krótszych okresów trudno jest bowiem uchwycić możliwe lokalne interakcje. Problemem jest jednak pozyskanie takich danych. Oczywiście obecnie są do dyspozycji bardzo zaawansowane i wiarygodne modele, które mogą określać charakterystyki hydrologiczne w rzekach, jednak trudno sobie wyobrazić ich stosowanie do rekonstrukcji historycznych ciągów, sprzed np. kilkuset lat. Można wprawdzie wykorzystać wiedzę z paleohydrologii, jednak będą to tylko bardziej lub mniej dokładne oszacowania charakterystyk hydrologicznych. Podobnie wygląda sytuacja z prognozą przyszłych zmian charakterystyk hydrologicznych. Trudno określić, jakie będą przyszłe stany wody w rzece, gdyż zależą one od wielu czynników, które także są trudne do prognozowania. Drugim ograniczeniem prezentowanego modelu jest,

jak wcześniej wspomniano, uwzględnienie zabezpieczenia przeciwpowodziowego tylko w postaci wałów przeciwpowodziowych. Wydaje się, że konieczna jest modyfikacja prezentowanego modelu uwzględniająca np. zabezpieczenia w postaci zbiorników retencyjnych lub polderów. Omawiany model jest obciążony nadmiernym „empiryzmem”, bowiem w celu przeprowadzenia obliczeń należy wprowadzić 11 współczynników. Bardzo często są one trudne do jednoznacznego ustalenia, a odgrywają kluczową rolę w obliczeniach. Innym aspektem jest wątpliwe przyjmowanie stałych wartości współczynników w całym okresie symulacji. Przykładowo, w czasie istnienia społeczeństwa mogą zmieniać się koszty jednostkowe związane z realizacją zabezpieczeń, czy szybkość wzrostu gospodarczego. Przyjęcie stałych wartości współczynników może wprowadzać pewną stacjonarność w rozwoju społeczeństwa, co może być akceptowalne, ale tylko przy rozpatrywaniu krótszych okresów.

Wskutek podanych wyżej ograniczeń trudno sobie obecnie wyobrazić, by można stosować w praktyce socjohydrologię przy realizacji planów czy koncepcji związanych z np. ochroną przeciwpowodziową, ale może być ona pomocna w zrozumieniu pewnych prawideł, a przede wszystkim wpływać na świadomość podejmowanych w przyszłości decyzji z dziedziny gospodarki wodnej. Jednak systematyczne prowadzenie monitoringu hydrometeorologicznego z równoczesną analizą zmian urbanistycznych może stworzyć bazę do analiz interakcji między człowiekiem a środowiskiem.

PIŚMIENNICTWO

- Bartnik, A., Jokiel, P. (2012). *Geografia wzebrań i powodzi rzecznych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Chudy, Ł. (2013). Dlaczego zapominamy o powodziach? *Gospodarka Wodna*, 1, 9–12.
- Commission of the European Communities (2004). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Region. Flood Risk Management – Flood prevention, protection and mitigation, Brussels, <http://europa.eu.int/comm/environment/water/pdf> (dostęp: 12.07.2004).
- Czaban, S. (2012). Powódzie na świecie w latach 1985–2008. *Gospodarka Wodna*, 12, 493–497.
- Di Baldassarre, G., Montanari, A., Lins, H., Koutsoyiannis, D., Brandimarte, L., Blöschl, G. (2010). Flood fatalities in Africa: from diagnosis to mitigation. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L22402.
- Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Salinas, J. L., Blöschl, G. (2013). Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 3295–3303.
- Elshafei, Y., Sivapalan, M., Tonts, M., Hipsey, M.R. (2014). A prototype framework for models of socio-hydrology: identification of key feedback loops and parameterisation approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2141–2166.
- Ertsen, M.W., Murphy, J.T., Purdue, L.E., Zhu, T. (2014). A journey of a thousand miles begins with one small step – human agency, hydrological processes and time in socio-hydrology. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 1369–1382.
- European Environment Agency (2003). Environmental Issue Report no. 35. Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe, http://reports.eea.eu.int/environmental_issue_report_2004_35/en/accidents_032004.pdf [dostęp: 2010].
- Gober, P., Wheeler, H.S. (2014). Socio-hydrology and the science–policy interface: a case study of the Saskatchewan River basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 1413–1422.
- Heine, R., Pinter, N. (2012). Levee effects upon flood levels: an empirical assessment. *Hydrol. Process.*, 26, 3225–3240.

- Januchta-Szostak, A. (2010). Miasto w symbiozie z wodą. *Czas. Techn., Architektura*, 14(107), 95–102.
- Klimat (2009). Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo. IMGW PIB Warszawa.
- Kowalczak, P. (2007). Konflikty o wodę. Wydawnictwo Kurpisz, Poznań.
- Kundzewicz, Z.W., Kanae, S., Seneviratne, S.I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bouwer, L.M., Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, R., Brakenridge, G.R., Kron, W., Benito, G., Honda, Y., Takahashi, K., Sherstyukov, B. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrolog. Sci. J.*, 59(1), 1–28.
- Lane, S.N. (2014). Acting, predicting and intervening in a socio-hydrological world. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 927–952.
- Ludy, J., Kondolf G. (2012). Flood risk perception in lands “protected” by 100-year levees. *Nat. Hazards*, 61, 829–842.
- Maciejewski, M., Ostojski, M.S., Walczykiewicz, T. (2011). Dorzecze Wisły. Monografia powodzi maj–czerwiec 2010. IMGW PIB, Warszawa.
- Mioduszewski, W. (2012). Zjawiska ekstremalne w przyrodzie – susze i powodzie. [W:] Współczesne problemy kształtowania i ochrony środowiska. Red. A. Łachacz. Monografie 3p, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn, 57–74.
- Maciejewski, M. (red.) (2000). Model kompleksowej ochrony przed powodzią w obszarze dorzecza górnej Wisły na przykładzie woj. małopolskiego. IMGW w Krakowie.
- Montanari, A., Young, G., Savenije, H.H.G., Hughes, D., Wagener, T., Ren, L.L., Koutsoyiannis, D., Cudennec, C., Toth, E., Grimaldi, S., Blöschl, G., Sivapalan, M., Beven, K., Gupta, H., Hipsey, M., Schaeffli, B., Arheimer, B., Boegh, E., Schymanski, S.J., Di Baldassarre, G., Yu, B., Hubert, P., Huang, Y., Schumann, A., Post, D.A., Srinivasan, V., Harman, C., Thompson, S., Rogger, M., Viglione, A., Mcmillan, H., Characklis, G., Pang, Z., Belyaev, V. (2013). Panta Rhei — Everything Flows: Change in hydrology and society — The IAHS Scientific Decade 2013–2022. *Hydrolog. Sci. J.*, 58(6), 1256–1275.
- Mudelsee, M., Börngen, M., Tetzlaff, G., Grünewald, U. (2004). Extreme floods in central Europe over the past 500 years: Role of cyclone pathway “ZugstrasseVb”. *J. Geophys. Res.*, 109.
- NIK (2013). Planowanie i realizacja inwestycji na terenach zagrożonych powodzią. Warszawa.
- O’Connell, P.E., O’Donnell, G. (2014). Towards modelling flood protection investment as a coupled human and natural system. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 155–171.
- Sivapalan, M., Savenije, H.H.G., Blöschl, G. (2012). Sociohydrology: A new science of people and water. *Hydrol. Process.*, 26, 1270–1276.
- Tucci, C.E.M. (2008). Urban Flood Management. WMO/TD – No. 1372.
- Twaróg, B. (2014). Ochrona przeciwpowodziowa versus optymalna ochrona przeciwpowodziowa, czyli subiektywizm działań optymalnych. *Gospodarka Wodna*, 5, 172–179.
- Wałęga, A., Radecki-Pawlik, A., Kaczor, G. (2013). Naturalne sposoby zagospodarowania wód opadowych. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego, Kraków.
- Wałęga, A., Grzebinoga, M. (2014). Ocena zagrożenia powodziowego w aglomeracji krakowskiej jako element zarządzania ryzykiem powodziowym. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiecetus*, 13(4), 259–273.
- Wescoat, Jr J.L. (2013). Reconstructing the duty of water: a study of emergent norms in socio-hydrology. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 4759–4768.
- Vogel, R. (2011). Hydromorphology. *J. Water Resour. Planning Manag.*, 137(2), 147–149.
- Zevenbergen, C., Cashman, A., Evelpidou, N., Pasche, E., Garvin, S., Ashley, R. (2011). Urban flood management. CRC Press. Taylor&Francis Group, London.

THE CONCEPT OF SOCIO-HYDROLOGY IN THE FLOOD RISK ANALYSIS

Abstract. This paper aims to present the flood risk analysis, taking into account socio-hydrological aspects. The paper presents a model allowing for a dynamic simulation of interactions between the flood risk and human behavior, also having regard to feedbacks. This model consists of four components: economic, political, technological and social. It seems that the concept of socio-hydrology meets the current needs of the rational water management in catchments. Socio-hydrology can be used to explain the relationships between humans and natural environment, with particular emphasis on water environment.

Key words: flood directive, flood risk, urbanized areas, community.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 8.09.2015

Do cytowań – For citation: Wałęga, A. (2015). Koncepcja socjohydrologii w analizie zagrożenia powodziowego. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 14(3), 175–189.