

Janusz R. RAK

Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Politechnika Rzeszowska

BEZPIECZEŃSTWO I NIEZAWODNOŚĆ SYSTEMÓW ZBIOROWEGO ZAOPATRZENIA W WODĘ (SZZW)

SAFETY AND RELIABILITY OF COLLECTIVE WATER SUPPLY SYSTEMS

Safety refers to the biotechnical systems, because its beneficiary is always the man. The thesis briefly characterizes the world's fresh water resources. The growing trend of water-related disasters (floods, droughts, tsunamis) is highlighted. In the assessment of global water resources the issue of the so called virtual water from the point of view of consumption goods production and efficient water-saving technology was taken into account, and the attention was drawn to its strategic importance in water resources balance sheets in the future.

The definitions of technical threat and technical safety were given and these notions were differentiated. The research methodology of safety and reliability used international standards. The short-term safety (operational) and the long-term safety (tactical and strategic) were distinguished. Guidelines for creating databases of failures in collective water supply systems (CWSS) were presented. Systematics of unreliability indexes related to water production and formulas to determine risk were described. The point assessment of the CWSS safety was proposed.

The thesis provides an overview of publishing achievements of the conference "Water, water quality and protection" on the CWSS safety and reliability which reflects the state of scientific and technical knowledge in this field in Poland.

1. Wprowadzenie

Uważa się, że słowo bezpieczeństwo pochodzi od wyrażenia „bez pieczy” (łac. sine cura – securitas) i oznacza stan wolny od niepokoju – poczucie pewności. Bezpieczeństwo odnosi się do systemów z udziałem ludzi, ponieważ jego beneficjentem jest zawsze człowiek, któremu zapewnia ono swobodny rozwój, podejmowanie wszelkiej aktywności, a także przetrwanie. Człowiek z natury i w swoim interesie stara się oddalać wszelkie zagrożenia. Z kolei bezpieczeństwo ze swojej natury jest stanem pozytywnym ale należy go rozpatrywać w kontekście określonego podmiotu lub przedmiotu ochrony (człowieka, grupy ludzi, mienia czy środowiska). Uważa się, że

kategorią nadrzędną jest tzw. bezpieczeństwo powszechne jako stan, w którym nie ma zagrożenia zdrowia lub życia wielu osób, a także mienia w dużych rozmiarach. Poszczególne kategorie bezpieczeństwa wzajemnie się przenikają (np. naruszenie bezpieczeństwa powszechnego może oddziaływać na bezpieczeństwo państwa czy bezpieczeństwo publiczne).

Globalnie rzecz biorąc na Ziemi występuje obfitość słodkiej wody, bo średnio to ok. 7 000 m³ na mieszkańca. Zasoby wód powierzchniowych, podziemnych i zdeponowane w lodowcach tworzą swego rodzaju asymetrię w stosunku do terenów zamieszkałych przez ludzi. Kryzys wodny tak charakterystyczny dla XXI w. jest i będzie kryzysem zarządzania jej zasobami, a także wynika ze sposobów jej marnotrawienia. Wszystko to prowadzi do paradoksalnej sytuacji, że woda – źródło życia, staje się źródłem konfliktów.

Jako kryterium dostępu do czystej (bezpiecznej) wody uważa się wg Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) odległość do źródła poboru poniżej 200 m w mieście i poniżej 1 km od domu na wsi. W dziedzinie zaopatrzenia w wodę najgorsza sytuacja panuje w Afryce i Azji. Najbardziej ograniczony dostęp do bezpiecznej wody występuje w Afganistanie - 87% i Etiopii - 76%. W dużych miastach afrykańskich ok. 30% (190 mln) mieszkańców miast nie posiada dostępu do wody. Podobna jest sytuacja aglomeracji w Azji (700 mln). W Ameryce Południowej i na Karaibach do bezpiecznej wody w miastach nie ma dostępu ok. 15% (60 mln).

WHO szacuje dobowe zapotrzebowanie człowieka na wodę następująco:

- do spożycia 2-6 dm³/mk d,
- do przygotowania posiłków 20-25 dm³/mk d,
- do spłukiwania toalet i prania ok. 50 dm³/mk d.

Ogólnie uważa się, że 80 dm³/mk d gwarantuje zdrowy tryb życia.

Raport Światowego Forum Wody wskazuje, że wzrost niedoboru wody na świecie będzie wynikiem zmian klimatycznych. Wzrost zanieczyszczeń i temperatury wody spowoduje pogorszenie się jakości wody do spożycia. Ocenia się, że każdej doby prawie 6 000 ludzi (głównie dzieci) cierpi na choroby biegunkowe, a rocznie 2,2 miliona umiera na choroby powstałe w wyniku spożywania zanieczyszczonej wody i złych warunków sanitarnych. Raport podkreśla potrzebę redukcji ryzyka jako integralnej części gospodarowania zasobami wodnymi. O ile liczba katastrof geofizycznych (trzęsienia ziemi, usuwiska ziemi i lawiny błotne) utrzymuje się na stałym poziomie, ta liczba kataklizmów związanych z wodą (powodzie, tsunami, susze) podwoiło się od 1996 r. Wskutek tych kataklizmów w ostatniej dekadzie straciło życie 650 000 ludzi.

2. Rozwój wiedzy naukowo-technicznej

Według Głównego Urzędu Statystycznego z danych na koniec 2010 r. wynika, że w Polsce funkcjonowało 9025 wodociągów. Małych wodociągów produkujących poniżej 100 m³/d było 4289, średnich produkujących od 100 do 1000 m³/d było 4063, a dużych produkujących powyżej 1000 m³/d było 671 (w tym 6 produkujących ponad 100 000 m³/d wody).

Analizy i oceny awarii SZZW prowadzone są w wielu krajach od drugiej połowy ubiegłego wieku. Wnioski służą do doskonalenia programowania, projektowania, realizacji i eksploatacji SZZW. Inspirują do doskonalenia i nowelizacji przepisów technicznych, norm projektowania, wytycznych i instrukcji wykonywania i odbioru obiektów, a także do doskonalenia wiedzy technicznej oraz podnoszenia kwalifikacji zawodowych projektantów, wykonawców oraz eksploatorów. Formy działalności w zakresie zagrożeń i poważnych awarii realizowane są w rozwiniętych krajach.

Przykłady to m.in.:

- monitoring czystości wód,
- naukowo-techniczne konferencje oraz sympozja krajowe i międzynarodowe,
- prace krajowych i międzynarodowych komisji specjalistycznych,
- artykuły naukowo-techniczne w czasopismach różnych krajów,
- specjalistyczne wydawnictwa zwarte o zasięgu krajowym i międzynarodowym,
- periodyczne wydawnictwa na temat niezawodności i bezpieczeństwa.

W Polsce problematyka ta była i jest przedmiotem wielu publikacji.

Wydawnictwa zwarte ukazują się nakładem:

- Komitetu Inżynierii Środowiska PAN,
- Komitet Inżynierii Łądowej i Wodnej PAN,
- Komitet Gospodarki Wodnej PAN,
- Instytut Badań Systemowych PAN,
- Politechniki Rzeszowskiej,
- Politechniki Krakowskiej,
- Politechniki Wrocławskiej,
- Politechniki Warszawskiej,
- Politechniki Białostockiej,
- Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

Czasopisma krajowe, w których ukazują się artykuły:

- Gaz, Woda i Technika Sanitarna,
- Instal,
- Ochrona Środowiska,
- Wodociągi i Kanalizacja,
- Forum Eksploatatora,
- Environmental Protection Engineering,
- Czasopismo Techniczne.

Konferencje o znaczącym udziale problematyki bezpieczeństwa i niezawodności:

- Bezpieczeństwo i niezawodność działania systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych i centralnego ogrzewania.
- Zaopatrzenie w wodę jakość i ochrona wód.
- Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody.
- Postęp w inżynierii środowiska.
- Kongres inżynierii środowiska.
- Szkoły niezawodności.
- Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych.
- Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowo-kanalizacyjnych.
- Konferencje niezawodności i bezpieczeństwa – KONBIN.

- Nowe materiały i urządzenia w wodociągach i kanalizacji.
- Konferencje naukowo-techniczne firmy AQUA Bielsko-Biała.
- Postęp techniczny w wodociągach.
- Eksploatacja infrastruktury w sytuacjach kryzysowych.
- Awarie, remonty, monitoring sieci wodociągowych i kanalizacyjnych.
- Ochrona jakości i zasobów wód.

Dorobek naukowy poznańskich konferencji „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi” oraz jej następczyni „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” obejmuje następujące grupy tematyczne:

- analizy i oceny niezawodności ujęć wód powierzchniowych [6, 8, 44, 45],
- badania struktur technicznych pompowni wodociągowych z uwzględnieniem niezawodności [2],
- metodyki wyznaczania pojemności zbiorników wody surowej na ujęciach wody w aspekcie ochrony przed zanieczyszczeniami awaryjnymi źródła wody [1, 3]
- modelowanie niezawodności i bezpieczeństwa systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę [9, 37, 55, 57, 63, 73, 74, 76, 87, 89],
- badania wpływu ciśnienia w sieci wodociągowej na straty wody i jej awaryjność [5, 10, 13, 20, 21, 61, 62],
- metody określania pojemności asekuracyjnej w zbiornikach sieciowych [15, 29, 30],
- badania awaryjności sieci wodociągowych [7, 12, 17, 18, 27, 42, 47, 81, 82],
- aspekty niezawodnościowe monitoringu ilości i jakości wody [16, 64, 80, 84, 86],
- wyznaczanie estymatorów wskaźników niezawodności [34, 56],
- projektowanie przesyłu wody z uwzględnieniem wymagań niezawodnościowych [22, 83],
- wyznaczanie wymaganych poziomów niezawodności i bezpieczeństwa [25, 52],
- alternatywne metody zaopatrzenia w wodę [28],
- określanie parametrów odnowy przewodów wodociągowych [19, 36, 39, 40, 43],
- metodyki optymalizacji niezawodności i bezpieczeństwa [11, 14, 31, 32, 46, 48],
- metody analizy i oceny ryzyka [23, 49, 50, 51, 58, 65, 67],
- strategie bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę [24, 26, 35, 53, 78],
- aspekty prawne ochrony wód [33],
- określanie niezawodności operatora w systemie biotechnicznym [68, 75],
- wytyczne projektowania stacji osłonowo-ostrzegawczych ujęć wody [60, 77],
- kierunki wdrożeń planów bezpieczeństwa wodnego [41, 66, 69, 85, 88],
- powodziowe i popowodziowe uszkodzenia SZZW [4],
- efektywność i niezawodność podsystemu uzdatniania wody [38, 54, 59, 70, 71, 72, 79].

Referaty generalne na konferencjach „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”:

- Wieczysty A.; Niezawodność systemów zaopatrzenia w wodę. Stan i ocena badań prowadzonych w Polsce.
- Wieczysty A., Lubowiecka T., Iwanejko R.; Niezawodność człowieka w biotechnicznym systemie zaopatrzenia w wodę.
- Wieczysty A., Lubowiecka T., Rak J.; Stan aktualny i kierunki rozwoju w zakresie teorii i metod oceny niezawodności systemów wodociągowych w Polsce.
- Rak J.; Stan obecny i perspektywy rozwoju nauki o ryzyku w zaopatrzeniu w wodę.
- Królikowski A., Królikowska J.; Analiza porównawcza wskaźników niezawodności wiejskich i komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę.

3. Zagrożenia techniczne, a bezpieczeństwo techniczne

Zagrożenie techniczne (ZT) jest funkcją rosnącą negatywnego oddziaływania (NO) obiektu technicznego (OT) na otoczenie:

$$ZT = f_{ZT}(NO) \quad (1)$$

Bezpieczeństwo techniczne (BT) jest funkcją malejącą szkód (Sz) powstałych wskutek negatywnego oddziaływania OT na otoczenie:

$$BT = f_{BT}(Sz) \quad (2)$$

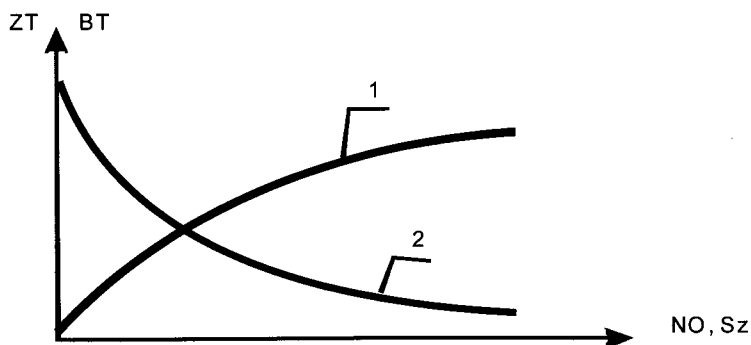
Z tak zdefiniowanych wielkości wynikają następujące współzależności:

- właściwości funkcji f_{ZT}
jeżeli $NO_i < NO_j$, to $ZT_i < ZT_j$.
jeżeli $NO_i = NO_j$, to $ZT_i = ZT_j$.
jeżeli $NO_i > NO_j$, to $ZT_i > ZT_j$.
- właściwości funkcji f_{BT}
jeżeli $Sz_i < Sz_j$, to $BT_i > BT_j$
jeżeli $Sz_i = Sz_j$, to $BT_i = BT_j$
jeżeli $Sz_i > Sz_j$, to $BT_i < BT_j$

Z teoretycznego punktu widzenia obowiązuje:

$$0 \leq NO < \infty \text{ i } 0 \leq Sz < \infty$$

Na rys. 1 pokazano przykładowe przebiegi funkcji zagrożenia technicznego „1” i bezpieczeństwa technicznego „2”.



Rys. 1. Przebiegi funkcji $ZT = f_{ZT}(NO)$ i $BT = f_{BT}(Sz)$

Fig. 1. Function graphs $ZT = f_{ZT}(NO)$ i $BT = f_{BT}(Sz)$

Z praktyki eksploatacyjnej i danych historycznych innych tożsamy OT górne granice obu prawostronnie otwartych przedziałów posiadają kresy górne, co można zapisać:

$$0 \leq NO \leq NO_{\max} \text{ i } 0 \leq Sz \leq Sz_{\max} \quad (3)$$

Wartość $NO = 0$ oznacza minimalną wartość zagrożenia technicznego $ZT = ZT_{\min}$ często identyfikowane z praktycznie zerowym zagrożeniem, a $NO = NO_{\max}$ oznacza maksymalne możliwe $ZT = ZT_{\max}$.

W wypadku $Sz = 0$ uzyskuje się maksymalną praktycznie możliwą wartość $BT = BT_{\max}$, często identyfikowanym z absolutnym bezpieczeństwem, a $Sz = Sz_{\max}$ oznacza minimalną wartość $BT = BT_{\min}$.

Przedstawione rozważania prowadzą do wniosku, że wielkość NO jest miarą zagrożenia technicznego, a wielkość Sz stanowi miarę bezpieczeństwa technicznego. Na drodze statystycznej można określić probabilistyczne miary zagrożenia technicznego (ZTp) i bezpieczeństwa technicznego (BTp). Miary te można identyfikować z ryzykiem powstania szkód i ryzykiem negatywnego oddziaływania.

4. Awarie w SZZW - informacje techniczne i wnioski

Dane o awariach dzieli się na grupy zagadnień:

- dane ogólne o obiektach (adresy, daty, itp.),
- dane techniczne o obiektach (rodzaj obiektu ze względów funkcjonalnych, konstrukcyjnych, technologicznych, itp.),
- dane o awarii (rodzaj zdarzenia, przyczyny, itp.),
- dane o skutkach i konsekwencjach awarii (rodzaj, zakres uszkodzeń, przyczyny, itp.),
- informacje dodatkowe.

Dla zapewnienia zestawień statystycznych większość danych powinna być wprowadzana do bazy przez wybranie z listy opcji np. Funkcjonalny typ obiektu: ujęcie, pompownia, zakład uzdatniania wody, Sieć dystrybucyjna: magistralna, rozdzielcza, podłączenia do budynków, Zbiorniki: sieciowe, wody czystej na terenie ZUZW, wody surowej na ujęciu wody. Baza danych o awariach pozwoli na efektywne ich wykorzystanie do analiz i sporządzanie zestawień statystycznych z jednego konkretnego roku, bądź z dowolnego wielolecia. Należy prawnie usankcjonować obowiązek rejestracji danych o awariach wodociągowych.

Opracowane wyniki analiz statystycznych w formie zestawień powinny być dostępne w Internecie. W ten sposób można by było wygenerować różne zestawienia, które stanowiłyby podstawę do różnego rodzaju sprawozdań, wystąpień na konferencjach i w publikacjach. Poddanie danych pod powszechny ogląd stanowiłoby sprzężenie zwrotne w zakresie redukcji ryzyka występowania poszczególnych typów awarii oraz w zakresie doskonalenia bazy danych. Bazy danych wydają się być niezbędne i powinny dobrze służyć zarówno gospodarce i nauce oraz administracji państwowej i samorządowej.

Analizy awarii i katastrof od niedawna są obowiązkową formą nauczania studentów szkół technicznych i rolniczych, szkolenia inżynierów i rzeczoznawców oraz pracowników administracji państwowej i samorządowej. W standardach nauczania znalazł się przedmiot: „Niezawodność i bezpieczeństwo systemów inżynierskich”.

Głównym koordynatorem bazy danych o awariach powinna być Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”, która zrzesza znaczące grono przedsiębiorstw wodociągowych. System zbierania informacji oprócz przedsiębiorstw wodociągowych powinien obejmować:

- informacje od rzeczoznawców Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych oraz Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa,
- analizy specjalistycznych materiałów konferencyjnych i publikacji w czasopiśmie,
- informacje z wyższych uczelni technicznych.

Dostępne powinny być dane umożliwiające zestawienia statystyczne poprzez wybór:

- okresu czasowego, jakiego ma dotyczyć zestawienie,
- zakresu tematycznego zestawienia.

5. Metodologia badań bezpieczeństwa i niezawodności

Międzynarodowe standardy oraz obszary badań naukowych nad bezpieczeństwem i ryzykiem klasyfikują następująco:

- RAM (ang. Risk Assessment and Management),
- ESR (ang. Engineering, Safety and Reliability),
- EER (ang. Environmental and Ecological Risk),
- HR (ang. Health Risk),
- REL (ang. Risk in Everyday Life),
- TR (ang. Technological Risk),
- NH (ang. Natural Hazard),
- PR (ang. Political Risk).

Pierwotnym, podstawowym podmiotem, którego dotyczy pojęcie bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę jest odbiorca (konsument), a wtórnym podmiotem dostawca (przedsiębiorstwo wodociągowe).

- Bezpieczeństwo odbiorcy w zakresie zaopatrzenia w wodę jest to określony stopień gwarancji dostępu do wody w dowolnej chwili czasu, o wymaganej zdrowotnie jakości, w potrzebnej ilości i pod wymaganym ciśnieniem, przy dostępnej cenie 1m³ wody.

Zapewnienie bezpieczeństwa odbiorcom nakłada określone wymagania redukcji ryzyka w SZZW.

- Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę jest to gotowość danego SZZW do pokrycia, po akceptowalnych społecznie cenach:
 - pełnego, przewidywanego zapotrzebowania na wodę w normalnych warunkach eksploatacji, przy zachowaniu ciągłości dostawy i wymaganych parametrach jakościowych oraz ilościowych,

- zadowalającego (niepełnego) zapotrzebowania na wodę, w różnych możliwych sytuacjach awaryjnych i kryzysowych.

Należy rozróżnić bezpieczeństwo krótkookresowe (operacyjne) oraz bezpieczeństwo średnio- i długookresowe (taktyczne i strategiczne).

Ogólnie dotychczasowe doniesienia literaturowe pozwalają na stwierdzenie, że istnieje wiele przyczyn awarii w SZZW o charakterze zarówno bezpośrednim, jak i pośrednim, w tym technicznych, organizacyjnych, związanych z działaniem sił natury a nawet społecznych (kradzież stalowych elementów obiektów). Można stwierdzić, że zdecydowana większość awarii dotyczy zdarzeń o lokalnym znaczeniu i cechuje je stosunkowo mała wartość strat finansowych i użytkowych. Szacuje się, że ok. 20-30% ze zdarzeń niepożądanych dotyczy „prawdziwych” awarii wodociągowych wynikających z błędów projektowych, wykonawczych czy eksploatacyjnych. Znaczący udział mają awarie sieci wodociągowych (~ 80%), których główną przyczyną był wiek przewodów wodociągowych. Doniesienia literaturowe wskazują także na wpływ warunków atmosferycznych i innych czynników losowych jak np. drgania parasejsmiczne.

Generalnie „prawdziwe” awarie mają przyczynę w błędach:

- eksploatacyjnych od 40 do 60%,
- wykonawstwa od 20 do 40%,
- projektowania od 10 do 30%.

Wskazuje się, że błędy były różnej wagi, zależne od różnych czynników i powodowały bardzo zróżnicowane skutki (szkody).

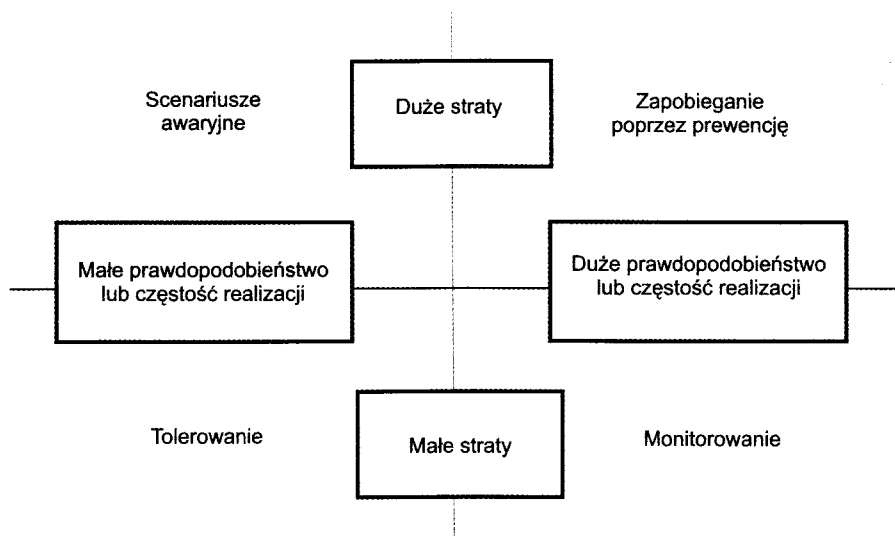
Ciekawym spostrzeżeniem jest oszacowanie liczebności występujących jednocześnie przyczyn awarii w jednym zdarzeniu, która wahała się od jednej do pięciu.

Metody analizy bezpieczeństwa i niezawodności systemów technicznych wykorzystują dwa rodzaje podejścia metodologicznego:

- metody indukcyjne - polegające na tym, że dla założonego uszkodzenia (awarii) elementu budującego system poszukuje się ciągu następujących po sobie zdarzeń niepożądanych i określa możliwe zdarzenie finalne w postaci awarii systemu,
- metody dedukcyjne - polegające na tym, że dla założonego zdarzenia finalnego (awarii systemu) poszukuje się cząstkowych zdarzeń niepożądanych, które mogą spowodować zdarzenia finalne w postaci awarii systemu.

Wskaźniki niezawodności lub zawodności dotyczą czterech poziomów hierarchicznych SZZW: bilansu zasobów wód (L0), podsystemu produkcji wody (L1), podsystemu pompowania, przesyłu i gromadzenia wody (L2) oraz podsystemu dystrybucji wody (L3).

Na rys. 2 pokazano możliwe warianty realizacji zdarzeń niepożądanych.



Rys. 2. Model kompleksowego zarządzania ciągłością funkcjonowania w sytuacjach zagrożenia

Fig. 2. Model of comprehensive managing of the functioning continuity in threat situations

6. Globalne wskaźniki zawodności związane z produkcją wody

W obecnie obowiązującej systematyce własności systemów technicznych niezawodność identyfikowana jest z pewnością działania (ang. dependability). Określana jest przez bezpieczeństwo (ang. safety), którą opisują: nieszkodliwość (ang. harmlessnes), niezagrożalność (ang. hazardousness) i ochronialność (ang. security) oraz gotowość (ang. availability), którą opisują: nieuszkodzalność (ang. reliability), obsługiwalność (ang. maintainability), nadmiarowość (ang. redundancy), integralność (ang. integrity) i poufność (ang. condidentiality).

Prawdopodobieństwo niepokrycia zapotrzebowania na wodę – $R(t)$

Jest to najstarszy i klasyczny wskaźnik niezawodności wynikający z jej definicji. Zdefiniowany jest jako prawdopodobieństwo, że zapotrzebowanie na wodę wodociągową przekroczy zdolność produkcyjną systemu. Wadą tego wskaźnika zawodności związanej z produkcją wody jest fakt, że określa on jedynie wiarygodność pojawienia się deficytu, a nie pokazuje jego skali. Obecnie bywa stosowany jako argument na rzecz planowanej rozbudowy SZZW.

Oczekiwany sumaryczny czas trwania deficytów produkcji wody w rozpatrywanym okresie czasu – E (Tn)

Jest to wskaźnik powszechnie stosowany przy analizach związanych z rozbudową SZZW. Definiowany jest jako oczekiwana (średnia) liczba dób/godzin, w których produkcja nie pokrywa zapotrzebowania. Wskaźnik ten ma interpretację fizyczną, gdyż dotyczy deficytu produkcji wody w jednostce czasu np. [d/rok] lub [h/rok].

Wartość oczekiwana deficytu wody – E (ΔQ)

Jest to wartość oczekiwana ilości wody, która nie zostanie dostarczona odbiorcom w rozpatrywanym okresie czasu. Wskaźnik ten jest klasycznym odzwierciedleniem ryzyka, ponieważ wskazuje zarówno prawdopodobieństwo wystąpienia deficytów, jak i ich wielkość. Jako wielkość fizyczna podawany jest w [m³/rok] lub [m³/d]. Jest to wskaźnik coraz powszechniej stosowany do oceny efektywności funkcjonowania SZZW.

Wskaźnik częstości i czasu trwania deficytu dostawy wody – F i Tn

Jest uzupełnieniem wskaźnika E (ΔQ), określa bowiem oczekiwaną częstość występowania deficytów oraz oczekiwany czas trwania pojedynczego deficytu. Jeżeli E (ΔQ) przykładowo wynosi 20 h/rok, to:

- częstość może wynosić F = 10 1/rok przy średnim czasie trwania deficytu równym 2 h, lub
- częstość może wynosić F = 5 1/rok przy średnim czasie trwania deficytu równym 4 h.

Jak widać dwie dodatkowe charakterystyki fizyczne doprecyzowują E (ΔQ).

$$\text{Wskaźnik zapewnienia dostawy/deficytu wody} - \frac{E(Q)}{Q_{d\max}}, \frac{E(\Delta Q)}{Q_{d\max}}$$

Definiowany jest jako iloraz wartości oczekiwanej dostawy wody do zapotrzebowania na nią w danym okresie czasu. Alternatywą jest wskaźnik deficytu wody definiowany jako iloraz wartości oczekiwanej deficytu do zapotrzebowania na wodę w danym okresie czasu. Suma obu wskaźników daje jedność. Wskaźniki te jako wartości względne, pozwalają na porównanie niezawodności produkcji wody u małych i dużych SZZW oraz na śledzenie chronologii zmian w tym zakresie w rozwijającym się pojedynczym SZZW.

$$\text{Wskaźnik wartości oczekiwanej pojedynczego deficytu wody} - \frac{E(\Delta Q)}{R(t)}$$

Jest równy ilorazowi wartości oczekiwanej deficytów wody E (ΔQ) do prawdopodobieństwa wystąpienia deficytu R (t) w rozpatrywanym okresie czasu.

Przykładowo jeżeli: E (ΔQ) = 100 m³/d, a prawdopodobieństwo wystąpienia deficytów w ciągu roku wynosi R (t) = 0,01 to $\frac{E(\Delta Q)}{R(t)} = 100/0,01 = 10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$.

7. Ocena czynników ryzyka eksploatacji SZZW

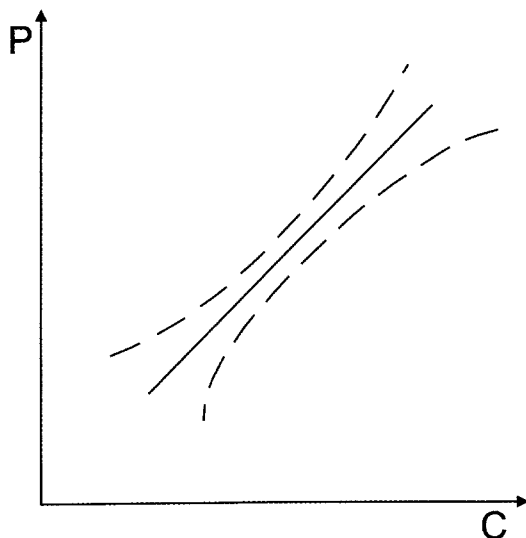
System zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) charakteryzuje duża rozległość przestrzenna. Stan elementów liniowych i urządzeń ma zasadniczy wpływ na funkcjonowanie całego systemu. Na stopień niezawodności mają wpływ:

- konstrukcja i technologia wykonania elementów liniowych i urządzeń,
- kwalifikacje obsługi,
- sposób eksploatacji.

W ciągu okresu eksploatacji sieci i urządzenia wodociągu poddawane są niekorzystnym działaniom różnych czynników, które powodują ich zużycie. W celu utrzymania parametrów eksploatacyjnych w dopuszczalnych granicach należy poddawać je tzw. czynnościom utrzymania – remontom, modernizacji lub wymianie. Głównym zadaniem czynności utrzymania jest zapewnienie dostawy wody do odbiorców. Współcześnie planowanie i wybór strategii utrzymania gotowości odbywa się wg:

- RCM (ang. Reliability Centered Maintenance) – utrzymanie ukierunkowane na niezawodność,
- CMB (ang. Condition Based Maintenance) – utrzymanie na podstawie stanu technicznego,
- RBM (ang. Risk Based Maintenance) – utrzymanie oparte na podstawie analizy i oceny ryzyka wystąpienia awarii.

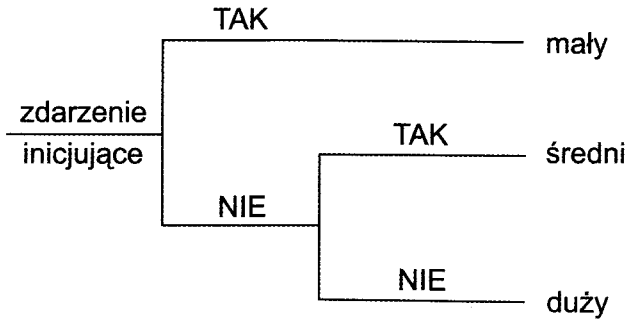
Na rys. 3, 4, 5 i 6 pokazano scenariusze związane z niepewnością w analizach i ocenach ryzyka.



Rys. 3. Znany jest trend zmian P i C – mała niepewność

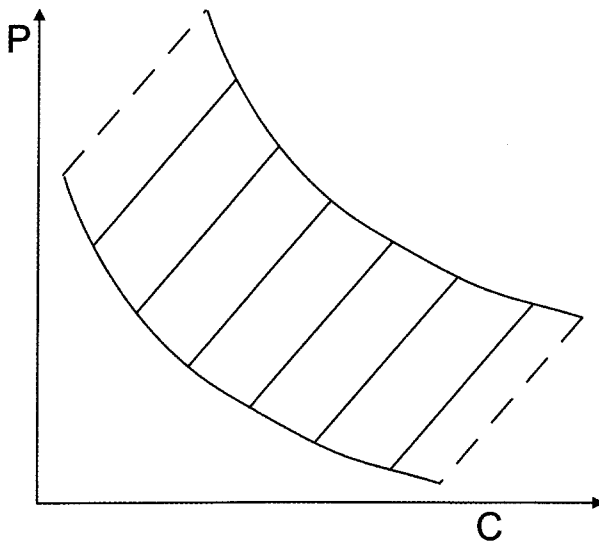
Fig. 3. A changes trend of P and C are known – small uncertainty

Bariery	1	2	Skutek
---------	---	---	--------



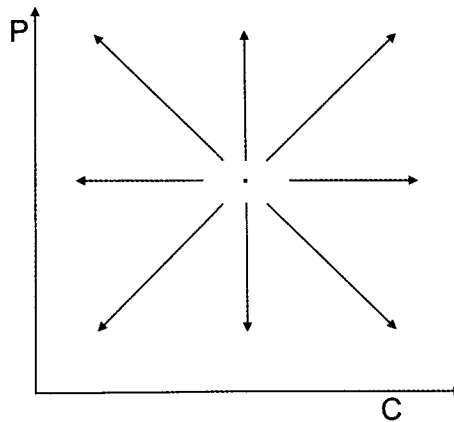
Rys. 4. Znane są scenariusze – średnia niepewność

Fig. 4. Scenarios are known – average uncertainty



Rys. 5. Znany pewien ograniczony obszar zmian ryzyka – duża niepewność

Fig. 5. Certain limited area of the risk changes is known – big uncertainty



Rys. 6. Całkowita niepewność

Fig. 6. Total uncertainty

Wzory do wyznaczania ryzyka

$$r = P \cdot C \quad (3)$$

$$r = \frac{P \cdot C}{O} \quad (4)$$

$$r = P \cdot C \cdot V \quad (5)$$

$$r = \frac{P \cdot C \cdot N \cdot E}{O} \quad (6)$$

$$r = \frac{S \cdot \lambda}{O} \quad (7)$$

$$r = \frac{P \cdot C \cdot N}{O} \quad (8)$$

gdzie:

O – ochrona

V – podatność

E – ekspozycja

S – rodzaj sieci wodociągowej

P – prawdopodobieństwo

C – koszty strat

λ – intensywność uszkodzeń

Rozpatrzono najważniejsze czynniki bezpieczeństwa SZZW oraz stany z nimi związane. Każdemu ze stanów przypisano wagę punktową odpowiadającą negatywnemu znaczeniu. Miarą bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę przez dany system jest suma punktów wagowych. Skutkuje to częściowo zobiektywizowaną, uproszczoną oceną bezpieczeństwa SZZW. Im wyższy stopień bezpieczeństwa to tym niższa suma wag punktowych albo odwrotnie im niższy stopień bezpieczeństwa tym wyższa suma wag punktowych. Poniższy system wieloczynnikowej, punktowej oceny bezpieczeństwa SZZW został opracowany w oparciu o wieloletnie analizy i oceny awaryjności.

Zestawienie czynników i wag punktowych bezpieczeństwa SZZW

- Stan techniczny: pkt.
 - system dysponuje potrzebną mocą produkcyjną, przesyłową i dystrybucyjną, pracuje niezawodnie, jest prawidłowo eksploatowany, 1
 - system jak wyżej o obniżonej niezawodności, efektywność eksploatacji budzi zastrzeżenia, 3
 - system jak wyżej, bez wymaganych rezerw nadmiarowych, występują przerwy w działaniu, 5
 - istnieje stały deficyt w produkcji wody, występują częste ograniczenia w dostawie wody do odbiorców. 8
- Dywersyfikacja źródeł ujęć wody: pkt.
 - co najmniej trzy źródła istotnie niezależne od siebie, 1
 - dwa źródła, częściowo zależne, 2
 - jedno źródło monopolisty w dostawie wody. 4
- Lokalizacja źródeł zaopatrzenia w wodę: pkt.
 - lokalne źródła zaopatrzenia w wodę, 1
 - po części lokalne źródła i tranzyt spoza regionu, 2
 - w całości woda przesyłana tranzytem ze źródeł spoza regionu. 4
- Spół sposób nadzoru: pkt.
 - wysokosprawny nadzór, skuteczne regulacje administracji samorządowej 1
 - ograniczony nadzór i częściowy wpływ na regulacje, 2
 - mało skuteczny nadzór, częściowe uwolnienie ceną 1 m³ wody, brak statusu, użyteczności publicznej, 4
 - brak nadzoru i regulacji. 6
- Warunki wewnętrznej stabilności: pkt.
 - pełna stabilność prawna, organizacyjna, ekonomiczno-finansowa i społeczna, 1
 - okres transformacji i reorganizacji, 2
 - niepokoje społeczno-polityczne, strajki, 4
- Możliwości gromadzenia wody uzdatnionej w zbiornikach sieciowych pkt.
 - istnieją wystarczające objętości awaryjne, 1
 - istnieją objętości niewystarczające, 2
 - brak możliwości gromadzenia wody uzdatnionej. 4

Sumaryczne oszacowanie ryzyka przedstawia się następująco:

- ryzyko tolerowane 6÷12 pkt,
- ryzyko kontrolowane 13÷17 pkt,
- ryzyko nieakceptowalne 18÷30 pkt.

8. Problematyka tzw. wirtualnej wody

Początki idei wirtualnej wody pojawiły się w pracach izraelskiego prof. Gideona Fishelsona w drugiej połowie lat 80 XX w., który stwierdził, że wraz z transportem żywności z jednego miejsca w drugie, odbywa się transfer równoważnej ilości wody niezbędnej do wyprodukowania tej żywności. Angielski naukowiec z King's College Uniwersytetu Londyńskiego i School of Oriental and African Studies John Anthony Allan, jest twórcą koncepcji określania ilości wody zużywanej do produkcji żywności, która przyjęła nazwę „wirtualnej wody”. Sztokholmski Międzynarodowy Instytut Wody w uzasadnieniu przyznania mu nagrody za działalność na rzecz ochrony i poprawy zasobów wodnych stwierdza, że: „...ludzie nie zużywają wody jedynie, kiedy ją piją lub biorą prysznic...za poranną filiżanką kawy stoi 140 litrów wody, wykorzystywanej do uprawy krzaków kawy, produkcji opakowania i transportu ziaren...” (tyle ile w ciągu doby zużywa fizycznie jeden mieszkaniec). Koncepcja wirtualnej wody opracowana w 1993 r., pokazuje w jaki sposób woda włączona jest w procesy produkcyjne, handel żywnością oraz dobrami konsumpcyjnymi i wskazuje kierunki rozwoju zrównoważonego sektora wodnego.

Przeciętny Amerykanin „konsumuje” 6 800 dm³, a Chińczyk 2 300 dm³ wirtualnej wody w ciągu doby.

Definicja wody wirtualnej może być określana z pozycji:

- konsumpcyjnej – jako ilość wody potrzebnej do wyprodukowania dobra konsumpcyjnego w miejscu jego użytkowania,
- produkcyjnej – jako ilość wody zużytej do produkcji towaru uzależnionej od technologii produkcji i efektywności użytkowania wody.

Pierwsze podejście pozwala na ocenę ilości wody, którą można potencjalnie zaoszczędzić poprzez import towaru zamiast produkcję w miejscu konsumpcji. Handel związany z wirtualną wodą jest środkiem do osiągnięcia bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę do spożycia. Łagodzić może deficyty wodne w skali narodowej, a nawet regionalnej.

Koncepcja prof. Allana przeddefiniowała pojęcia w polityce wodnej i zarządzaniu zasobami wodnymi, szczególnie w krajach o małych zasobach wody. Produkty o wysokim zużyciu wody powinny pochodzić z miejsc, w których z punktu widzenia ekonomii wody ich produkcja jest zasadna, a sprzedawane tam gdzie zasoby wody nie uprawniają do ich wytwarzania. W ten sposób wzrasta regionalne i globalne bezpieczeństwo związane z dostępem do wody i towarów konsumpcyjnych, a w szczególności żywności. W częściach świata, gdzie istnieje chroniczny brak wody, można by poprzez import wirtualnej wody (przede wszystkim żywność) zredukować presję na jej ograniczone zasoby. Koncepcja wirtualnej wody łączy problemy rolnictwa, klimatu, ekonomii i polityki w aspekcie zrównoważonego rozwoju.

Średnie zawartości wody wirtualnej związanej z wybranymi produktami przedstawiają się następująco:

- 1 dm³ mleka - 1 000 dm³
- 1 dm³ wina – 960 dm³
- 1 dm³ piwa – 300 dm³
- kromka chleba (30 g) – 40 dm³
- jabłko (100 g) – 70 dm³
- kartka papieru A4 – 10 dm³

1t pszenicy – 1 334 m³
 1t wołowiny – 15 497 m³
 1t wieprzowiny – 4 856 m³

Międzynarodowa wymiana towarowa w ramach importu lub eksportu żywności i produktów konsumpcyjnych wiąże się z przepływem dużych objętości wody wirtualnej. Przykładem w tym względzie jest Jordania, która importuje wraz z żywnością wirtualną wodę o objętości 5 razy większej od dostępnych zasobów wodnych tego kraju.

Kraje eksportujące wodę wirtualną (w wielkościach netto) to:

USA - 153 Gm³/rok
 Australia – 64 Gm³/rok
 Kanada – 60 Gm³/rok
 Brazylia – 45 Gm³/rok
 Indie – 36 Gm³/rok
 Nowa Zelandia – 19 Gm³/rok
 Ukraina – 17 Gm³/rok
 Polska – 11 Gm³/rok

Kraje importujące wodę wirtualną (w wielkościach netto) to:

Japonia – 92 Gm³/rok
 Włochy – 51 Gm³/rok
 Korea Południowa – 37 Gm³/rok
 Meksyk – 29 Gm³/rok
 Hiszpania – 17 Gm³/rok

Zużycie wody wirtualnej w przeliczeniu na jednego mieszkańca i rok (ang. water footprint) w wybranych krajach przedstawiono w tab.1.

Tab. 1. Roczne zużycie wody wirtualnej na jednego mieszkańca [m³/mk rok]

Tab. 1. Annual consumption of virtual water per one inhabitant [m³/mk year]

Kraj	Potrzeby komunalne	Żywność		Produkty przemysłowe		Suma
		A	B	A	B	
USA	217	1 192	267	609	197	2 483
Japonia	136	165	614	1 408	129	1 156
Meksyk	139	837	361	31	72	1 441
Holandia	28	31	586	161	417	1 223
Polska	48	559	269	178	48	1 103
Rosja	98	1 380	283	91	5	1 858
Szwajcari	63	136	780	148	555	1 682
a						

A - wody własne,

B - woda z importu towarów.

Oszacowania wskazują, że 85% wirtualnej wody zużywa się do produkcji żywności, 10% dla potrzeb przemysłu, a 5% to potrzeby komunalne. W Polsce objętość wody wirtualnej związanej z produkcją żywności to 830 m³/mk rok, co stanowi 50% całkowitych zasobów wód powierzchniowych (1 580 m³/mk rok).

Handel wirtualną wodą odbywa się poza decydentami politycznymi, ze względu na skomplikowany charakter oszacowań bilansu wodnego i wodochłonności towarów oraz usług z uwzględnieniem opłacalności. Nowe kierunki badań obejmują już lokalizację produkcji, a nawet jej czasokresy trwania. Jawi się możliwość tworzenia sztucznych zbiorników z wirtualną wodą, w postaci magazynów z zapasami żywności, jako alternatywy dla budowy rzeczywistych zaporowych zbiorników z rzeczywistą wodą na wypadek suszy.

Rolnictwo (produkty i usługi z nim związane) jest obecnie najbardziej rozpoznany sektorem efektywnego zarządzania wirtualną wodą i najbardziej obrazowym przekazem skierowanym do opinii społecznej. Wielkość zużycia wody niezbędnej do produkcji określonego dobra lub usługi jest bardzo dobrym wskaźnikiem oddziaływania na naturalne zasoby wody.

9. Podsumowanie

- We współczesnym świecie obok tradycyjnych zagrożeń naturalnych pojawiają się coraz to nowe zagrożenia o charakterze cywilizacyjnym będące znakiem czasów i postępu. Mają one związek z wdrażaniem nowoczesnych technologii, systemów informatycznych, komunikowania itp.
- Jednym z podstawowych warunków funkcjonowania aglomeracji miejskich jest zapewnienie bezpieczeństwa dostawy wody do spożycia przez wodociąg publiczny. W pierwszym rzędzie należy zapewnić pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na wodę w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony z poszanowaniem ochrony naturalnych zasobów wód. Spośród czynników technicznych decydujące znaczenie ma niezawodność SZZW. Bezpieczeństwo lapidarnie definiowane jest, jako zdolność systemu do ochrony wewnętrznych wartości przed zewnętrznymi zagrożeniami. Jest ono uznawane za współczesny miernik komfortu życia. Wymaga jednak w dalszym ciągu pogłębionych analiz teoretycznych, badań empirycznych i projekcji praktycznych w myśl maksymy, że „należy uczyć się na uniwersytetach, a nie na błędach”.
- Strategiczne podejście do bilansów z uwzględnieniem wirtualnej wody w skali krajowej, regionalnej, kontynentalnej a nawet globalnej może stanowić narzędzie minimalizujące systemowe skutki deficytów wody, a co za tym idzie zmniejszenie ryzyka wystąpienia konfliktów o wodę. Z kolei świadomość znaczenia wirtualnej wody może zrodzić geopolityczne implikacje w zakresie zależności między państwami. Zasoby wodne preferują Kanada i USA w zakresie produkcji towarów ze znaczącą ilością wirtualnej wody. W zależności od polityki eksportowej tych państw w niedalekiej przyszłości zależeć będzie bezpieczeństwo dostępu do wody w krajach ubogich w jej zasoby.
- Zarządzanie bezpieczeństwem i niezawodnością SZZW wymaga bazy danych o zdarzeniach niepożądanych ze szczególnym uwzględnieniem oszacowania częstości ich występowania i negatywnych skutków z nimi związanych.

Na podstawie propozycji zawartych w pracy, baza danych pozwoliłaby na rzetelne wyznaczanie estymatorów wskaźników niezawodności i bezpieczeństwa SZZW.

- Przedstawiona metoda oceny ryzyka związanego z eksploatacją SZZW ma charakter wieloczynnikowy na podstawie wag punktowych. Stosowana może być do analizy wstępnej związanej z przyjęciem koncepcji zarządzania i sterowania ryzykiem w aspekcie jego redukcji.
- W spisie literatury niniejszej pracy podano zestawienie prac będących dorobkiem konferencji „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” organizowanych przez ośrodek poznański. Referaty generalne zaś stanowią kompendium wiedzy z zakresu nauki o bezpieczeństwie i niezawodności z perspektywy osiągnięć badawczych prowadzonych w Polsce.

Praca naukowa finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu rozwojowego Nr N R14 0006 10 nt. „Opracowanie kompleksowej metody oceny niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do odbiorców” w latach 2010-2013.

Bibliografia

- [1] Bajer J., Głód K., Lubowiecka T.; Nowa metoda obliczania wielkości pojemności rezerwowej zbiorników – aplikacja dla zaopatrzenia w wodę miasta Skawina. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski. Poznań-Gdańsk 2002, s. 471-480.
- [2] Bajer J., Wieczysty A.; Badanie wpływu struktury technicznej i pompowni wodociągowych na ich niezawodność. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 601-612.
- [3] Bajer J., Wieczysty A.; Koncepcja określenia pojemności zbiornika wody surowej jako obiektu zabezpieczającego ujęcia wody do picia przed awaryjnymi zanieczyszczeniami. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 145-156.
- [4] Bicz W.; Popowodziowe uszkodzenia miejskich systemów wodociągowych na przykładzie ujęć wrocławskich. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1998, s. 257-265.
- [5] Bomersbach Z., Kuś K., Koral W.; Wpływ metod regulacji ciśnienia w sieciach wodociągowych osiedli mieszkaniowych na straty wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 387-401.
- [6] Budziło B., Filimowski J.; Model drenażowego ujęcia wody z uwzględnieniem czynników ekonomicznych i niezawodnościowych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 169-175.

- [7] Budziło B., Kubaty A.; Analiza produkcji, sprzedaży wody i awarii podsystemu dystrybucji wody wodociągu w Brzesku. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gnieszno 2008, s. 421-432.
- [8] Budziło B., Wieczysty A.; Niezawodność ujęć wody powierzchniowej. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 771-780.
- [9] Chudzik B., Aleksandrowicz W.; Modelowanie niezawodności systemów zaopatrzenia w wodę przy użyciu grafów przepływu sygnału. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1996, s. 561-568.
- [10] Dawidowicz J., Dzienis L.; Niezawodność wiejskich podsystemów dystrybucji wody w zależności od ich parametrów technicznych i ekonomicznych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1998, s. 313-320.
- [11] Dawidowicz J., Dzienis L.; Zastosowanie modelu czasoprzestrzennej symulacji do określania niezawodności systemu dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1994, s. 541-550.
- [12] Denczew S.; Badania uszkodzalności podsystemu podłączeń wodociągowych – analiza wyników oraz zastosowanie zasad inżynierii niezawodności w procesie eksploatacji. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1998, s. 425-443.
- [13] Dohnalik P., Zapór T.; Rzeczywiste straty wody w systemach wodociągowych regionu południowego Polski. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1996, s. 509-534.
- [14] Giełda J., Drżdżewska M.; Czynniki wpływające na wzrost poziomu technicznego dla wybranych urządzeń wchodzących w skład infrastruktury technicznej systemów wodociągowych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 499-507.
- [15] Głód K., Wieczysty A.; Badania niezawodności wodociągowych zbiorników zapasowo-wyrównawczych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 661-669.
- [16] Gromiec M. J.; Postęp w technologii monitoringu jakości wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 211-221.
- [17] Hotłoś H., Mielcarewicz W. E.; Analiza uszkodzeń przewodów sieci wodociągowej w Oleśnicy. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1994, s. 957-966.
- [18] Hotłoś H.; Badania i ocena poziomu niezawodności sieci wodociągowych w wybranych miastach Polski. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 797-808.

- [20] Hotłoś H.; Czas usuwania uszkodzeń przewodów sieci wodociągowej. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 521-534.
- [21] Hotłoś H.; Dynamika zmian wskaźników zużycia strat wody w sieciach wodociągowych miast Polski. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1998, s. 61-72.
- [22] Hotłoś H.; Zasoby wodne Polski, zużycie i straty wody w miejskich sieciach wodociągowych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 535-546.
- [23] Iwanejko R., Lubowiecka T., Wieczysty A.; Hydrauliczno-niezawodnościowa metoda badań i projektowania układów przesyłowych wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 671-692.
- [24] Iwanejko R., Lubowiecka T.; Analiza ryzyka jako narzędzie planistyczno-decyzyjne w wodociągach. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 547-558.
- [25] Iwanejko R., Rybicki S. M.; Praktyczne aspekty stosowania metody hierarchicznego wyboru AHP w zagadnieniach zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gnieszno 2008, s. 481-492.
- [26] Iwanejko R.; Określanie poziomu bezpieczeństwa systemu zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 799-810.
- [27] Iwanejko R.; Wybrane analityczne metody wspomaganie procesu podejmowania decyzji w wodociągach. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 471-482.
- [28] Jurczyk B., Kuś K., Piechurski F. G.; Wpływ rodzaju materiału sieci wodociągowej na jej awaryjność. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 683-692.
- [29] Kapcia J., Kabaciński M., Lubowiecka T.; Alternatywne źródła zaopatrzenia Zakopanego w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 75-82.
- [30] Knapik K., Płoskonka R.; Metoda oceny funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę przy uwzględnieniu dywersyfikacji zbiornikowych rezerw wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gnieszno 2008, s. 493-516.
- [31] Knapik K., Płoskonka R.; Wpływ rozmieszczenia zbiornikowych rezerw awaryjnych na niezawodność systemu dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 569-580.

- [32] Knapik K., Wieczysty A., Wierzbicki R.; Zastosowanie modelu czasoprzestrzennej symulacji do określania niezawodności systemu dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1994, s. 541-550.
- [33] Knapik K., Wieczysty A.; Zastosowanie wielowymiarowego rozkładu Poissona do wyznaczania niezawodności działania podsystemu dystrybucji wody”. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 693-704.
- [34] Królikowska J., Królikowski A.; Dwuparametryczna ocena niezawodności podsystemu sieci kanalizacyjnej za pomocą metody MP+F. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość, i ochrona wód” t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gniezno 2008, s. 327-336.
- [35] Królikowska J., Królikowski A.; Analiza porównawcza wskaźników niezawodności wiejskich i komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód – zagadnienia współczesne”, t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2010, s. 411-419.
- [36] Kulbik M.; Wpływ warunków hydraulicznych w sieci wodociągowej na wtórne zanieczyszczenie wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód – zagadnienia współczesne”, t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2010, s. 35-51.
- [37] Kuliczkowski A.; Zalety bezwykopowych technik budowy i odnowy przewodów wodociągowych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 83-87.
- [38] Kuś K., Witek E.; Badania granicznych wskaźników eksploatacji sieci wodociągowych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1998, s. 399-405.
- [39] Kwietniewski M., Malarski M., Rusak B., Sudoł M.; Wstępne wyniki badań niezgodności jakości wody z obowiązującymi standardami na przykładzie wybranej sieci wodociągowej. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 161-173.
- [40] Kwietniewski M., Miszta-Kruk K., Osiecka A., Parada J.; Technologie odnowy komunalnych sieci wodociągowych w Polsce w latach 2000-2005 w świetle danych z eksploatacji. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gniezno 2008, s. 177-186.
- [41] Kwietniewski M., Tłoczek M., Ferszt E., Sobierajski M.; Technologie odnowy komunalnych sieci wodociągowych w Polsce w latach 2005-2008 w świetle danych z eksploatacji. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód – zagadnienia współczesne”, t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2010, s. 53 - 65.
- [42] Kwietniewski M.; Ocena zawodności dostawy wody z punktu widzenia jej odbiorców na przykładzie badań w wybranym osiedlu mieszkaniowym. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 705-712.

- [43] Kwietniewski M.; Problemy i zadania wynikające z badań niezawodności sieci wodociągowych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1998, s. 301-311.
- [44] Kwietniewski M.; Technologie odnowy komunalnych sieci wodociągowych w Polsce w latach 2005-2008 w świetle danych z eksploatacji. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 29-38.
- [45] Lubowiecka T., Wieczysty A., Zimoch I.; Zastosowanie modelu ANPE - analiza niezawodnościowa procesu eutrofizacji - do oceny funkcjonowania krakowskiego systemu zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 225-236.
- [46] Lubowiecka T.; Niezawodność brzegowego ujęcia wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1996, s. 65-79.
- [47] Lubowiecka T.; Podnoszenie niezawodności zaopatrzenia w wodę blisko położonych miast posiadających odrębne wodociągi. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 893-901.
- [48] Piechurski F. G., Kuś K.; Znaczenie wskaźników awaryjności i strat wody w ocenie pracy sieci wodociągowych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 602-617.
- [49] Rak J., Hałupka K.; Optymalizacja niezawodności strukturalnej podsystemu uzdatniania wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 739-746.
- [50] Rak J., Kucharski B.; Metoda analizy przyczyn i skutków szacowania ryzyka. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 585-593.
- [51] Rak J., Kucharski B.; Pojęcie gwarancji w systemie zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 643-654.
- [52] Rak J., Studziński A.; Wybrane czynniki interpretacji ryzyka. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód – zagadnienia współczesne”, t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2010. s. 411-419.
- [53] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., Wieczysty A., Lubowiecka T.; Metoda wyznaczania liczby brygad remontowych w systemie zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gdańsk 2002, s. 441-447.
- [54] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.; O strategii bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 575-593.

- [55] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.; Zasady postępowania w wypadku skażenia wody wodociągowej. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 565-583.
- [56] Rak J., Wieczysty A., Tchórzewska-Cieślak B., Kucharski B.; Analiza niezawodności systemu zaopatrzenia w wodę miasta Krosna. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gdańsk 2002, s. 457-469.
- [57] Rak J., Wieczysty A.; Próba wprowadzenia wskaźników niezawodności dla wody do picia i na potrzeby gospodarcze w aspekcie jej jakości. Materiały konferencyjne „Zagadnienia zaopatrzenia w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1988, s. 11-21.
- [58] Rak J., Wieczysty A.; Zastosowanie metody Bayesa w ocenie niezawodności podsystemu dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 631-641.
- [59] Rak J.; Stan obecny i perspektywy rozwoju nauki o ryzyku w zaopatrzeniu w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” t. I Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2008, s. 59-78.
- [60] Rak J.; Wybrane problemy eksploatacji rzeszowskiego systemu zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 619-629.
- [61] Rybicki S.; Stacje osłonowe ujęć wody powierzchniowej. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1994, s. 285-290.
- [62] Speruda S., Radecki R., Wolińska G.; Metodyka wdrażania ekonomicznej redukcji strat wody w przedsiębiorstwach wodociągowych na przykładzie aktywnej kontroli wycieków. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 671-682.
- [63] Speruda S.; Szybkość napraw – najefektywniejszy sposób walki ze stratami wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 607-617.
- [64] Sroczan E. M., Urbaniak A.; Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji w monitorowaniu, sterowaniu i eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę i ochrony wód. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 695-704.
- [65] Suchański W.; CLAROFOS®- technologia zapewnienia jakości wody w trakcie przesyłu ze stacji uzdatniania do klienta. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 705-716.
- [66] Sullivan D.; Ocena i analiza ryzyka w zaopatrzeniu w wodę; Standardy. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1994, s. 285-290.
- [67] Tchórzewska-Cieślak B., Kucharski B.; Komputerowe systemy nadzoru i sterowania wybranych elementów systemu zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 195-202.

- [68] Tchórzewska-Cieślak B.; Niepewność w analizie ryzyka związanego z funkcjonowaniem podsystemu dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gniezno 2008, s. 119-129.
- [69] Tchórzewska-Cieślak B.; Wykorzystanie techniki obsługi ukierunkowanej na nieuszkodzalność w zarządzaniu ryzykiem związanym z funkcjonowaniem systemu zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 631-637.
- [70] Thier A.; Kształtowanie się międzynarodowego prawa chroniącego zasoby wodne. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gniezno 2008, s. 541-556.
- [71] Toczyłowska B.; Ocena skuteczności filtracji przez filtry pospieszne ze względu na zagrożenie zdrowia ludzi oocytami *Cryptosporidium*. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód – zagadnienia współczesne”, t. I. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2010, s. 557-569.
- [72] Wieczysty A., Iwanejko R., Lubowiecka T., Rak J.; Bezpieczeństwo podsystemu uzdatniania wody powierzchniowej z monitoringiem jej jakości. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1994, s. 561-578.
- [73] Wieczysty A., Iwanejko R., Rak J.; Nowa metoda określania technologicznej niezawodności stacji uzdatniania wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS O/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 973-980.
- [74] Wieczysty A., Jarecka U.; Matematyczny model niezawodności wewnętrznych instalacji wodociągowych z zastosowaniem uogólnionego wskaźnika niezawodności. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 981-990.
- [75] Wieczysty A., Kapcia J.; Ocena niezawodności systemów zaopatrzenia w wodę przy wykorzystaniu metody drzewa uszkodzeń. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 991-1001.
- [76] Wieczysty A., Lubowiecka T., Iwanejko R.; Niezawodność człowieka w biotechnicznym systemie zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1998, s. 9-21.
- [77] Wieczysty A., Lubowiecka T., Rak J.; Stan aktualny i kierunki rozwoju w zakresie teorii i metod oceny niezawodności systemów wodociągowych w Polsce. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gdańsk 2002, s. 143-172.
- [78] Wieczysty A., Rak J., Lubowiecka T.; Teoretyczne podstawy badania i projektowania stacji osłonowych ujęć wód powierzchniowych płynących. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1996, s. 81-94.

- [79] Wieczysty A., Rak J.; Analiza bezpieczeństwa systemu zaopatrzenia w wodę miasta Rzeszowa. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1998, s. 23-30.
- [80] Wieczysty A., Rak J.; Podnoszenie niezawodności jakości wody w przypadku nadzwyczajnych zagrożeń za pomocą alternatywnych technologii uzdatniania wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 961-971.
- [81] Wieczysty A.; Niezawodność systemów zaopatrzenia w wodę. Stan i ocena badań prowadzonych w Polsce. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. Wydawca PZiTS o/Poznań, Poznań 1996, s. 3-21.
- [82] Wierzbicki R.; Metoda oceny niezawodności podsystemu dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2000, s. 1003-1014.
- [83] Zakrzewska A., Kuś K.; Czynniki determinujące niezawodność przewodów rozdzielczych – metoda określania. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 661-668.
- [84] Zimoch I., Kłos M.; Wpływ awarii podsystemu produkcji wody na niezawodność działania systemu zaopatrzenia w wodę miasta Krakowa. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 729-741.
- [85] Zimoch I., Koba B., Trybulec K.; Działania GPW - monitorowanie zmian jakości wody od ujęcia do odbiorcy. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 743-749.
- [86] Zimoch I., Sołtysik A.; Wpływ modernizacji podsystemu dystrybucji wody na jakość świadczonych usług wodociągowych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Gniezno 2008, s. 159-168.
- [87] Zimoch I., Trybulec K.; Zapobieganie zmianom jakości wody w podsystemie dystrybucji na przykładzie działalności GPW. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 217-230.
- [88] Zimoch I., Żaba T.; Metody oceny niezawodności funkcjonowania systemu dystrybucji wody. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 763-775.
- [89] Zimoch I.; Zasady i uwarunkowania wdrażania planów bezpieczeństwa wodnego w systemach zaopatrzenia w wodę. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód – zagadnienia współczesne”, t. II. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2010, s. 421-432.
- [90] Zimoch I.; Zastosowanie technik komputerowych w analizie niezawodnościowej funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę w sytuacjach awaryjnych. Materiały konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawca PZiTS o/Wielkopolski, Poznań-Zakopane 2006, s. 679-691.