

## NIEZAWODNOŚĆ, BEZPIECZEŃSTWO I RYZYKO SYSTEMÓW EKSPLOATACJI WODOCIĄGÓW W ASPEKTCIE INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ

### THE RELIABILITY, SAFETY AND RISKS OF WATER SUPPLY SYSTEM OPERATION VERSUS CRITICAL INFRASTRUCTURE

*W opracowaniu omówiono wybrane problemy teorii niezawodności, teorii bezpieczeństwa oraz teorii ryzyka, które spośród wielu dyscyplin naukowych stosowanych do rozwiązywania zagadnień eksploatacyjnych wodociągów lub inaczej systemów zaopatrzenia w wodę posiadają istotne znaczenie szczególnie w aspekcie funkcjonowania i ochrony infrastruktury krytycznej, do której są one między innymi zaliczane. Nowoczesne systemy eksploatacji wodociągów oparte na metodach naukowych są gwarantem ciągłego i bezpiecznego zaspokajania pierwszej potrzeby, jakim jest zaopatrzenie w wodę ludności w warunkach normalnych oraz w sytuacjach kryzysowych.*

**Słowa kluczowe:** zaopatrzenie w wodę, system eksploatacji, niezawodność, bezpieczeństwo, ryzyko, infrastruktura krytyczna

*This paper discusses the selected problems of reliability theory, safety theory and risk theory which – among numerous science branches applied to resolve water supply operation problems – have significant importance for operation and protection of critical infrastructure which includes also water supply systems. The modern water supply operation systems, based on scientific methods, guarantees continuous and safe provision of primary need – water supply to public in normal as well as critical situations.*

**Keywords:** water supply, operation system, reliability, safety, risk, critical infrastructure

#### 1. Wprowadzenie

Zagadnienia dotyczące niezawodności, bezpieczeństwa i ryzyka systemów eksploatacji wodociągów w ciągu ostatnich 20 lat podjęte zostały w Polsce w badaniach naukowych i stale są rozwijane [1-12].

Teoria niezawodności oparta jest na teorii prawdopodobieństwa, która zajmuje się badaniem i prognozowaniem zdarzeń losowych. W odniesieniu do systemów eksploatacji wodociągów określa prawdopodobieństwo występowania uszkodzeń poszczególnych elementów lub całego systemu zaopatrzenia w wodę. W odróżnieniu od teorii niezawodności, która bada wszystkie uszkodzenia występujące w procesie eksploatacji, teoria bezpieczeństwa zajmuje się badaniem uszkodzeń stwarzających stany zagrożenia bezpieczeństwa. Natomiast teoria ryzyka, która ma mocne powiązania z teorią niezawodności i teorią bezpieczeństwa, pozwala na określenie prawdopodobieństwa zaistnienia nieprzewidzianych zdarzeń losowych mogących powodować straty i niebezpieczeństwo [8,9].

Mała niezawodność elementów systemów zaopatrzenia w wodę charakteryzuje się dużą liczbą

#### 1. Introduction

Problems relating to reliability, safety and risk of water supply operation systems have been undertaken in Poland during the last 20 years in scientific research and they are still developed [1-12].

The reliability theory is based on probability theory which investigates and forecasts random events. As regards water supply operation systems – it determines probability of damages of individual elements or the whole water supply system. The safety theory – unlike reliability theory, which investigates all damages occurring in operation process – investigates defects which create dangers for safety. The risk theory – which is closely connected with reliability theory and safety theory – allows to determine probability of occurrence of unforeseen random events which may cause losses and danger [8,9].

The low reliability of water supply system components gives high number of defects and lower safety, as well as high risk of losses and danger conditions in water supply for public.

Even the superficial review of application of scientific branches in resolution of water supply operation

uszkodzeń i mniejszym bezpieczeństwem oraz dużym ryzykiem powstania strat i stanów zagrożenia w dostawie wody dla ludności.

Nawet ten pobieżny przegląd dotyczący wykorzystania dyscyplin naukowych w rozwiązywaniu problemów eksploatacji wodociągów uzmysławia ich wielkie znaczenie dla racjonalnego, efektywnego, sprawnego i bezpiecznego gospodarowania ogromnym majątkiem w postaci obiektów, urządzeń i instalacji wodociagowych. Biorąc pod uwagę również to, że działalność związana z zaopatrzeniem w wodę posiada charakter strategiczny, stosowanie metod naukowych staje się nieodzownym elementem w zarządzaniu systemem eksploatacji wodociągów.

Takie podejście do problematyki eksploatacyjnej wodociągów pozwala na zapewnienie wysokiej jakości usług dotyczących dostaw wody dla ludności w odpowiedniej ilości, o wystarczającym ciśnieniu i wymaganej jakości [1,4].

## 2. Podstawowe wskaźniki niezawodności, bezpieczeństwa i ryzyka

Niezawodność wodociągu jest to prawdopodobieństwo opisujące gotowości systemu zaopatrzenia w wodę do działania w sposób kompleksowy i opisywane jest za pomocą charakterystyk jakościowych (nieuszkodzalność, trwałość, naprawialność) oraz charakterystyk ilościowych opartych na teorii prawdopodobieństwa. Najważniejsze wskaźniki niezawodności to [6,11]:

- prawdopodobieństwo uszkodzenia -  $Q(t)$ ,
- prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy -  $P(t)$ ,
- średni czas bezawaryjnej pracy -  $T_{pb}$  [d],
- średni czas odnowy -  $T_0$  [h],
- intensywność uszkodzeń -  $\lambda$  [d<sup>-1</sup>],
- intensywność odnowy -  $\mu$  [h<sup>-1</sup>],
- wskaźnik gotowości -  $T$ .

Prawdopodobieństwo uszkodzenia  $Q(t)$  to prawdopodobieństwo, że w określonych warunkach eksploatacji w czasie  $t$  nastąpi chociaż jedno uszkodzenie, natomiast prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy  $P(t)$  to prawdopodobieństwo tego, że w czasie  $t$  w procesie eksploatacji nie nastąpi ani jedno uszkodzenie.  $P(t)$  jest funkcją malejącą (im większe jest  $t$ , tym prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy jest mniejsze). Może ona przyjmować dowolne wartości w przedziale od 0 do 1 ( $1 > P(t) > 0$ ). Uszkodzenie i bezawaryjność stanowią zupełny zbiór zdarzeń i opisywane są równaniem [6,11]:

$$P(t) = 1 - Q(t) \quad (1)$$

Średni czas bezawaryjnej pracy elementów wodociągu  $T_{pb}$  jest to wartość oczekiwana czasu ich pracy do uszkodzenia i określany jest wzorem [6,11]:

problems demonstrate their high importance for rational, effective, efficient and safe management of huge assets – water supply objects, facilities and systems. Taking into account also that activities related to water supply have strategic nature, application of scientific methods seems the indispensable element in water supply operation system management.

This approach to water supply operation problems allows to secure high quality of water supply to public services in proper level, sufficient pressure and required quality [1,4].

## 2. The main indicators of reliability, safety and risk

The water supply system reliability is the probability describing on a broad basis system readiness to supply water; it is described by quality specifications (fault resistance, service life, repairability) and quantity specifications, based on probability theory. The main reliability indicators include [6,11]:

- failure probability -  $Q(t)$ ,
- faultless operation probability -  $P(t)$ ,
- faultless operation average period -  $T_{pb}$  [d],
- renewal average period -  $T_0$  [h],
- defect intensity -  $\lambda$  [d<sup>-1</sup>],
- renewal intensity -  $\mu$  [h<sup>-1</sup>],
- readiness indicator -  $T$ .

The failure probability  $Q(t)$  is probability that at least single defect occurs in specified operation conditions in  $t$  period, and the faultless operation probability  $P(t)$  defines probability that there will be no failures in operation period  $t$ .  $P(t)$  is a decreasing function (the higher jest  $t$ , the less faultless operation probability). It can assume any values between 0 and 1 ( $1 > P(t) > 0$ ). The failure and faultless constitute the closed set of events and are described by the following formula [6,11]:

$$P(t) = 1 - Q(t) \quad (1)$$

The faultless average water supply elements operation period  $T_{pb}$  is a expected period of their operation till failure and it is described by the following formula [6,11]:

$$T_{pb} = \int_{-\infty}^{+\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} P(t)dt \quad (2)$$

gdzie:  $f(t)$  – gęstość rozkładu czasu bezawaryjnej pracy

Średni czas odnowy  $T_o$  elementów wodociągu jest wartością oczekiwaną zmiennej losowej opisującej czas odnowy i posiada postać [6,11]:

$$T_o = E(T_o') = \int_0^{\infty} tf_o(t)dt \quad (3)$$

gdzie:  $E(T_o')$  – wartość oczekiwana zmiennej losowej  $T_o'$ ,  $f_o(t)$  – gęstość zmiennej losowej  $T_o'$ .

Intensywność uszkodzeń  $\lambda$  to prawdopodobieństwo uszkodzenia elementów wodociągu w jednostce czasu  $t$ , jeśli do tego czasu uszkodzenie nie powstało, i określa się zależnością [6,11]:

$$\lambda = \frac{1}{t} [d^{-1}] \quad (4)$$

Zależność między intensywnością uszkodzeń i prawdopodobieństwem bezawaryjnej pracy wyraża się wzorem [6,11]:

$$\lambda(t) = -\frac{1}{P} \frac{dP}{dt} \quad (5)$$

Jeśli intensywność uszkodzeń  $\lambda = \text{const}$ , to prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy  $P(t)$  określana jest zależnością:

$$P(t) = \exp \left[ -\int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (6)$$

Intensywność odnowy  $\mu(t)$  określa liczbę uszkodzeń usuwanych w jednostce czasu i przedstawia stosunek prawdopodobieństwa odnowy wodociągu lub jego elementów w przedziale czasu  $(t, t + \Delta t)$  przy warunku, że w momencie  $t$  wodociąg lub jego elementy były jeszcze odnawiane, do długości przedziału czasu i wyrażana jest zależnością [6,11]:

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_o(\Delta t/t)}{\Delta t} \quad (7)$$

gdzie:  $P_o(\Delta t/t)$  – prawdopodobieństwo warunkowe odnowy wodociągu lub jego elementów w przedziale czasu  $(t, t + \Delta t)$  przy założeniu, że do momentu  $t$  odnowa została zakończona,  $\Delta t$  – przedział czasu, na jaki podzielono badane okresy odnowy.

Wskaźnik gotowości  $K_g$  jest to prawdopodobieństwo, że wodociąg lub jego elementy będą w stanie zdatności w dowolnym momencie czasu  $t$  od początku okresu eksploatacji. Stacjonarna postać tego wskaźnika wyrażona jest wzorem [6,11]:

$$K_g = \frac{T_{pb}}{T_{pb} + T_o} \quad (8)$$

gdzie:  $T_{pb}$  i  $T_o$  jak we wzorach 2 i 3.

$$T_{pb} = \int_{-\infty}^{+\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} P(t)dt \quad (2)$$

where:  $f(t)$  – faultless operation period frequency function.

The water supply elements renewal average period  $T_o$  is a expected value of random variable describing renewal period and is defined by the following formula [6,11]:

$$T_o = E(T_o') = \int_0^{\infty} tf_o(t)dt \quad (3)$$

where:  $E(T_o')$  – expected value of random variable  $T_o'$ ,  $f_o(t)$  – density of random variable  $T_o'$ .

The defect intensity  $\lambda$  is a probability of water supply system elements failures in time unit  $t$ , if failure did not occur sooner and it is defined by the following formula [6,11]:

$$\lambda = \frac{1}{t} [d^{-1}] \quad (4)$$

The following formula described relation between defect intensity and probability of faultless operation [6,11]:

$$\lambda(t) = -\frac{1}{P} \frac{dP}{dt} \quad (5)$$

If damage intensity  $\lambda = \text{const}$ , then probability of faultless operation  $P(t)$  is defined by the following relation:

$$P(t) = \exp \left[ -\int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (6)$$

The renewal intensity  $\mu(t)$  defines number of failures eliminated in time unit and it presents relation of probability of water supply system or its elements in time period  $(t, t + \Delta t)$  with condition that water supply system or its elements were in  $t$  moment still renewed till time period length and it is expressed by the following formula [6,11]:

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_o(\Delta t/t)}{\Delta t} \quad (7)$$

where:  $P_o(\Delta t/t)$  – conditional probability of water supply system or its elements renewal in  $(t, t + \Delta t)$  period assuming that renewal was finished till  $t$ ,  $\Delta t$  – periods into which the investigated renewal periods were divided.

The readiness indicator  $K_g$  expresses probability that water supply system or its elements will be fit for operation in any  $t$  period from commencement of their operation. The stationary form of this indicator is expressed by following formula [6,11]:

$$K_g = \frac{T_{pb}}{T_{pb} + T_o} \quad (8)$$

where:  $T_{pb}$  and  $T_o$  as in formulae 2 and 3.

Podstawowymi wskaźnikami bezpieczeństwa w odniesieniu do wodociągów są zawodność bezpieczeństwa  $Q_b(t)$  oraz intensywność zawodności bezpieczeństwa  $\lambda_b(t)$ . W systemach eksploatacji wodociągów bezpieczeństwo posiada potrójny aspekt – rozpatruje się bezpieczeństwo działania systemu, bezpieczeństwo personelu obsługującego system oraz bezpieczeństwo odbiorców usług wodociągowych.

Natomiast podstawowe wskaźniki ryzyka, to [8-10]:

- prawdopodobieństwo zaistnienia nieprzewidzianych zdarzeń i w konsekwencji powstania strat –  $P_i$ ,
- bezwzględna wartość strat –  $S_i$ ,
- wartość oczekiwana strat –  $E(S)$ .

Ryzyko w odniesieniu do wodociągów opisywane jest zależnością [8-10]:

$$R = E(S) = \sum_{i=0}^n P_i S_i \quad (9)$$

gdzie:  $P_i$  – prawdopodobieństwo zaistnienia i-tego zdarzenia nieprzewidzianego,  $S_i$  – wartość strat dotyczących i-tego zdarzenia nieprzewidzianego.

### 3. Wodociągi jako element infrastruktury krytycznej

Na podstawie klasyfikacji opracowanej w zakresie infrastruktury komunalnej, składającej się z technicznej, ogólnej i krytycznej, wodociągi zaliczane są do infrastruktury technicznej o charakterze inżynierskim (dostawa wody - usługi komunalne) oraz do infrastruktury krytycznej o charakterze strategicznym (zaopatrzenie w wodę - usługi pierwszej potrzeby) [1,2]. Świadczy to o podwójnym aspekcie oraz kluczowym znaczeniu, gdyż ich funkcjonowanie jak również ochrona zapewniają bezpieczeństwo państwa i jego obywateli szczególnie w sytuacjach kryzysowych.

Obecnie trwają prace nad projektem ustawy o zarządzaniu kryzysowym w nawiązaniu do aktów prawnych unijnych dotyczących infrastruktury krytycznej i jej ochrony [13,14]. We wspomnianej wyżej ustawie podano definicję infrastruktury krytycznej i jej skład (wymieniono w niej systemy zaopatrzenia w wodę) oraz omówiono kwestie dotyczące ochrony tejże infrastruktury.

W dobie nasilenia się różnorodnych zagrożeń cywilizacyjnych (ataki na infrastrukturę krytyczną, w tym także na systemy zaopatrzenia w wodę w postaci głównie kradzieży np. uzbrojenia wodociągowego - włączy żeliwne, skrzynki żeliwne do zasuw i hydrantów, groźba ataków terrorystycznych oraz zdarzeń losowych itp.) zarządzanie systemami eksploatacji wodociągów oparte na metodach naukowych nabiera szczególnego znaczenia. Dlatego też stosowanie teorii niezawodności, bezpieczeństwa i ryzyka, w szczególności badań eksploatacyjnych wodociągów i jego

The safety failure indicator  $Q_b(t)$  and safety failure intensity  $\lambda_b(t)$  are the main safety indicator for water supply systems. Safety in water supply system operation has three aspects – system operation safety, system operating personnel safety and water supply service customer safety.

The main risk indicators are as follows [8-10]:

- probability of occurrence of unforeseen events and losses in their consequence –  $P_i$ ,
- absolute loss value –  $S_i$ ,
- expected loss value –  $E(S)$ .

Risk in relation to water supply systems is described by the following formula [8-10]:

$$R = E(S) = \sum_{i=0}^n P_i S_i \quad (9)$$

where:  $P_i$  – probability of occurrence of i unforeseen event,  $S_i$  – value of losses concerning i unforeseen event.

### 3. The water supply systems as element of critical infrastructure

Under classification developed within municipal infrastructure, including technical, general and critical infrastructure, water supply systems are included to technical infrastructure with engineering nature (water supply – municipal services) and critical infrastructure with strategic nature (water supply – primary needs) [1,2]. It testifies dual aspect and key importance as operation and protection of water supply systems secures safety of the state and its citizens, in particular in critical situations.

There are works under way currently on critical management act in relation to EU legal acts on critical infrastructure and its protection [13,14]. This act provides definition of critical infrastructure and its composition (water supply systems are included) and it discusses issues concerning protection of such infrastructure.

Now, in the face of growing civilization dangers (attacks on critical infrastructure, including water supply systems, mainly by theft of e.g. water supply system equipment – cast iron manholes, cast iron boxes for dampers and hydrants, danger of terrorist attacks and random events), the water supply system operation management based on scientific methods acquire particular importance. Therefore, application of reliability, safety and risk theories, in particular water system operation and its elements operation, becomes the indispensable element in water supply system operation process. The operation strategies are developed on the base of studies conducted in

części składowych, stają się nieodzownym elementem w procesie eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. Na podstawie badań prowadzonych w warunkach eksploatacyjnych opracowywane są strategie eksploatacyjne mające na celu stałe podwyższenie niezawodności i bezpieczeństwa wodociągów oraz zmniejszenie ryzyka występowania zdarzeń nieprzewidzianych i w konsekwencji strat oraz stanów zagrożenia bezpieczeństwa.

#### 4. Przebieg badań niezawodności, bezpieczeństwa i ryzyka w wodociągach

W badaniach eksploatacyjnych wodociągów powinny być uwzględniane cechy specyficzne systemów zaopatrzenia w wodę, a mianowicie [7]:

- losowość zdarzeń występujących podczas ich pracy,
- różnorodność powstających uszkodzeń,
- wysoki stopień automatyzacji i komputeryzacji,
- złożoność (duża liczba elementów składowych),
- duża powierzchnia eksploatacyjna (od kilkudziesięciu do kilkuset km<sup>2</sup>),
- zmienne struktury niezawodnościowe,
- kategoryzacja odbiorców wody w aspekcie ważności (np. szpitale, ambasady, straż pożarna itp.),
- stała rozbudowa i systematyczna modernizacja,
- wielostanowość (stan zdatności, stan niezdatności, stan częściowej zdatności itp.).

Podstawowe elementy systemów zaopatrzenia w wodę, to:

- ujęcia (wód podziemnych lub powierzchniowych),
- stacje uzdatniania wody,
- pompownie wodociągowe (I<sup>0</sup>, II<sup>0</sup>),
- zbiorniki wodociągowe (terenowe, wieżowe, górne, dolne, początkowe, centralne, końcowe),
- układy dystrybucji wody,
- instalacje wewnętrzne wodociągowe.

Na podstawie przytoczonej charakterystyki można stwierdzić, iż badania eksploatacyjne należy prowadzić oddzielnie dla każdego z wyżej wspomnianych elementów, natomiast oceny niezawodności, bezpieczeństwa i ryzyka dla całego systemu zaopatrzenia w wodę dokonuje się w oparciu o analizy otrzymanych wyników z badań poszczególnych części składowych. Spośród wyżej wspomnianych elementów wodociągu najbardziej podatny na uszkodzenia jest układ dystrybucji wody (tzn. sieci wodociągowe), natomiast najmniej awaryjne są zbiorniki wodociągowe.

operation conditions, which are aimed for continuous improvement of reliability and safety of water supply systems, and for reduction of risk of unforeseen events and, in consequence, losses and safety threatening situations.

#### 4. The reliability, safety and risk studies in water supply systems

The water supply system operation studies shall take into account water supply system specific properties, such as [7]:

- randomness of events occurring during these systems operation,
- variety of failures,
- high automation and computerization level,
- complexity (high number of components),
- large operation area (from few dozens to few hundred square kilometers),
- variable reliability structures,
- classification of water consumers' importance (e.g. hospitals, embassies, fire brigade, etc.),
- continuous development and systematic modernization,
- service statuses (serviceable status, not serviceable status, partial serviceability status, etc.).

The main elements of water supply systems include:

- intakes (underground water or surface water),
- water treatment plants,
- water supply pumping stations (I<sup>0</sup>, II<sup>0</sup>),
- water supply tanks (field, tower, upper, lower, initial, central, final),
- water distribution systems,
- indoor water supply systems.

It may be said on the base of above specification, that operation studies shall be conducted independently for each of described above elements and reliability, safety and risk are assessed for the whole water supply system on the base of results from studies of individual components. The water distribution system (i.e. water supply network) are the most susceptible to failures, and water supply tanks – are the least susceptible.



Badania dotyczące niezawodności, bezpieczeństwa i ryzyka obejmują różnorodne obszary, spośród których najważniejsze to:

- badanie jakości wody ujmowanej (surowej) oraz badanie jakości wody uzdatnionej (dostarczanej odbiorcom) obejmujące analizy fizyko-chemiczne i bakteriologiczne wody (monitoring kontrolny i przeglądowy) [16],
- badanie stanów technicznych oraz badanie uszkodzalności obiektów, urządzeń i instalacji wodociągowych [16],
- badanie parametrów fizycznych, chemicznych i hydraulicznych wody wodociągowej (np. temperatura, żelazo, mangan, prędkość, natężenie przepływu, ciśnienie itp.),
- badanie bezpieczeństwa obiektów, urządzeń i instalacji wodociągowych,
- badanie ryzyka w zakresie pracy poszczególnych elementów wodociągu oraz w aspekcie jakości wody (ryzyko nieakceptowane, akceptowalne, kontrolowane itp.).

Zagadnienia ochrony systemów zaopatrzenia w wodę jako elementu infrastruktury krytycznej zostaną uregulowane prawnie w niedalekiej przyszłości [14]. Natomiast ujęcia wody i stacje uzdatniania wody obecnie chronione są przez specjalistyczne uzbrojone formacje ochronne [15]. Jeśli chodzi o ochronę układu dystrybucji wody, powinna ona być uwzględniona w organizacji eksploatacji (np. patrolowanie obszaru eksploatowanego przez ekipy pogotowia technicznego) [4].

### 5. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych rozważań można stwierdzić, iż systemy eksploatacji wodociągów należą do systemów technicznych złożonych (wysoki stopień skomplikowania, automatyzacji i informatyzacji, duża liczba elementów itp.). Są też elementem infrastruktury technicznej i krytycznej. W związku z tym w zakresie niezawodności powinny posiadać elementy rezerwowania (strukturalnego, funkcjonalnego i czasowego), natomiast w celu zapewnienia bezpieczeństwa działania i zmniejszenia ryzyka wystąpienia zdarzeń nieprzewidzianych powinny być chronione, monitorowane i nadzorowane w sposób nieprzerwany.

Na podstawie przytoczonego opisu omawianych zagadnień eksploatacyjnych można również sformułować następujące wnioski:

1. Podstawowym zadaniem systemów zaopatrzenia w wodę jest zaspakajanie potrzeb wodnych ludności i w związku z tym proces eksploatacji wymaga systematycznego usprawnienia metodami naukowymi.

The studies on reliability, safety and risk include various areas, and the following are the most important:

- intake (raw) water quality tests and treated (delivered to consumers) water quality tests, including physical, chemical and bacteriological water analysis (control and review monitoring) [16],
- inspection of technical conditions and investigation of water supply objects, facilities and systems failure indicators [16],
- investigation of physical, chemical and hydraulic parameters of water (e.g. temperature, iron, manganese, velocity, flow rate, pressure, etc.),
- inspection of technical safety of water supply objects, facilities and systems,
- investigation of risk regarding operation of individual water supply system components and regarding water quality (unacceptable, acceptable, controlled risk, etc.).

The water supply system protection problems as element of critical infrastructure will be settled legally in the near future [14]. The water intake and water treatment plants are currently protected by professional, armed security units [15]. The water distribution system protection shall be included in operation structure (e.g. patrols within area operated by technical emergency units) [4].

### 5. Summary and conclusions

It can be stated on the base of these considerations that water supply operation systems belong to the complex technical systems (high level of complexity, automation and IT technology, high number of components). They also belong to technical and critical infrastructure. Therefore, as regards reliability, they shall redundant elements (structural, functional and time), and – in order to secure operation security and to reduce risk of unforeseen events – they shall be protected, monitored and supervised on continuous basis.

The following conclusions may be also expressed on the base of discussed description of operation problems:

1. The basic purpose of water supply systems is meeting population water needs and therefore operation process needs continuous improvement by scientific methods.

2. Ochrona i bezpieczeństwo systemów zaopatrzenia w wodę jako elementu infrastruktury krytycznej w świetle współczesnych zagrożeń cywilizacyjnych stają się ważnymi zagadnieniami w procesie zarządzania systemem eksploatacji wodociągów i wymagają szczególnego traktowania i stałego ulepszania.

2. The protection and safety of water supply systems as element of critical infrastructure become – in the light of modern civilization threats – important problems in water supply operation system management and they require special attention and continuous improvement.

### 6. References

- [1] Denczew S.: *Podstawy modelowania systemów eksploatacji wodociągów i kanalizacji*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 37. Lublin 2006.
- [2] Denczew S.: *Organizacja i zarządzanie infrastrukturą komunalną w ujęciu systemowym*. Wydawca: Szkoła Główna Służby Pożarniczej. Warszawa 2006.
- [3] Denczew S.: *O bezpieczeństwie systemów zaopatrzenia w wodę w świetle ostatnich wydarzeń na świecie*. Gospodarka Wodna nr 3/2002. Warszawa 2002.
- [4] Denczew S., Królikowski A.: *Podstawy nowoczesnej eksploatacji układów wodociagowych i kanalizacyjnych*. Arkady. Warszawa 2002.
- [5] Dzienis L.: *Niezawodność wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę*. Rozprawy naukowe nr 4. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej. Białystok 1991.
- [6] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss - Trębaczewicz H.: *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*. Arkady. Warszawa 1993.
- [7] Lubowiecka T., Wiczysty A., Bednarczyk T.: *O potrzebie wprowadzenia robabilistycznych metod badania i projektowania systemów zaopatrzenia w wodę*. Konferencja Naukowo-Techniczna Pt. „Aktualne problemy badawcze, projektowe i eksploatacyjne wodociągów i kanalizacji”. Wydawca: Przedsiębiorstwo Instalcompact Sp. z o.o. Kraków 1995.
- [8] Rak J.: *Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2004.
- [9] Rak J.: *Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę*. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 28. Lublin 2005.
- [10] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: *Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2005.
- [11] Wiczysty A.: *Niezawodność systemów wodociagowych i kanalizacyjnych*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Część I i II. Kraków 1990.
- [12] Wiczysty A., Lubowiecka T., Rak J.: *Stan aktualny i kierunki rozwoju w zakresie teorii i metod oceny niezawodności systemów wodociagowych w Polsce*. XVII Krajowa Konferencja , V Międzynarodowa Konferencja .Wydawnictwo PZiTS Oddział w Poznaniu. Poznań 2002.
- [13] Komisja Wspólnot Europejskich – opracowanie pt. „Zielona księga w sprawie Europejskiego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej”. COM (2005) 576 końcowy. Bruksela 2005.
- [14] Projekt Ustawy o zarządzaniu kryzysowym -2006.
- [15] Ustawa z dnia 22 sierpnia 1997 r. o ochronie osób i mienia- Dz. U. Nr 14 z 1997 r., poz. 740 z późn. zm.
- [16] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 listopada 2002 r. – Dz. U. 02.203.1718.
- [17] PN-IEC-812:1994. Techniki analizy uszkodzalności systemów. Procedura analizy rodzajów i skutków urządzeń.

---

**Dr hab.inż. Sławczo DENCZEW**

Politechnika Białostocka  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
15 -351 Białystok, Ul. Wiejska 45 E  
e-mail: slawczo@wp.pl

---