

Izabela ZIMOCH

Politechnika Śląska
Instytut Inżynierii Wody i Ścieków,
Gliwice

METODA ANALIZY EFEKTYWNOŚCI EKSPLOATACJI SZW W FUNKCJI JAKOŚCI TRANSPORTOWANEJ WODY

EFFICIENCY ANALYSIS METHOD OF WSS OPERATION IN THE
ASPECT OF WATER QUALITY DURING DISTRIBUTION

*The actual computer techniques development allows usage them in monitoring process of water supply system functionality and analysis of their critical elements, as quality of supply water. The actual computer techniques development allows usage them in monitoring process of water supply system functionality and analysis of their critical elements, as quality of supply water. This paper contains the preliminary reliability analysis of the water supply system (WSS) of Krakow city, regarding quality of water in distribution system. Considering, current water supply system operation parameters (2002-2007), the results of computer simulation of water distribution subsystem operation in the aspect of water quality are presented. The computer program **Water quality** was used in reliability research.*

1. Wprowadzenie

Proces eksploatacji współczesnych systemów zaopatrzenia w wodę (SZW) to zespół czynności podejmowanych w celu zapewnienia niezawodnego ich działania zgodnie ze standardami i zasadami określonymi w obowiązujących aktach prawnych (Dz. U. nr 123 poz. 858 z 2006r, Dz.U.61 poz. 417). Proces ten podlega stałej ocenie pod względem efektywności dostarczania wody do końcowego odbiorcy, począwszy od momentu ujęcia wody skończywszy na jej sprzedaży. Ocena powyższa dokonywana jest zarówno przez odbiorców usług wodociągowych jak i przez kadry kierownicze przedsiębiorstw.

Konsument wody ocenia ją głównie w oparciu o indywidualne odczucia odnoszące się najczęściej do jej parametrów organoleptycznych takich jak zapach, smak czy barwa, które nie zawsze są oczywistą podstawą uznania wody za złą. Niejednokrotnie powyższa ocena stanowi jedyne kryterium, roszczenia prawa do bonifikat, a w skrajnych przypadkach zwrotu kosztów opłat za dostawę wody. Oczywiście żądania powyższe nie zawsze są

w pełni uzasadnione, a w każdym przypadku pociągają konsekwencje finansowe jak i są przyczyną kreowania fałszywego wizerunku przedsiębiorstwa wodociągowego.

Ocena efektywności eksploatacji SZW dokonywana przez kadry kierownicze przedsiębiorstw wodociągowych, ma na celu ocenę rentowności działalności gospodarczej w sektorze usług publicznych. Aktualnie plany rozwoju branży wodociągowej muszą opierać się na założeniu stałej ceny zbytu wody, bowiem społeczeństwa lokalne, pomimo pełnej świadomości konieczności ponoszenia wysokich bieżących kosztów eksploatacyjnych jak i planowych modernizacji systemu, coraz trudniej akceptują wzrost opłat za dostawę wody. W konsekwencji przedsiębiorstwa stają przed problemem konieczności ograniczenia kosztów a jednocześnie podniesienia efektywności ich działania.

Współczesne uwarunkowania działalności przedsiębiorstw wodociągowych obarczane są niepewnością podejmowanych decyzji eksploatacyjnych począwszy od ujęcia a skończywszy na sprzedaży wody, co w konsekwencji zwiększa ryzyko ich funkcjonowania. Niezbędnym narzędziem w zarządzaniu SZW stają się więc wszelkie metody oceny, czy też szacowania ryzyka podejmowanych decyzji. Z matematycznego punktu odniesienia ryzyko wyrażane jest poniższą formułą [3]:

$$r = p \cdot C \quad (1),$$

gdzie: p - miara zawodności funkcjonowania systemu, odpowiadając kategorii częstości – prawdopodobieństwa,
 C - miara konsekwencji odpowiadająca kategorii skutków – szkód wyrażonych w jednostkach finansowych.

Zatem, prawidłowa procedura oceny ryzyka stanowi ogół działań pozwalających na określenie prawdopodobieństwa zidentyfikowanych losowych zdarzeń niebezpiecznych jak również wymiernego (finansowego) oszacowania wielkości potencjalnych szkód. Jak widać procedury analizy ryzyka wymagają interdyscyplinarnego podejścia do jednoznacznego rozwiązania problemu.

Jednym z celów wdrażania podstaw inżynierii bezpieczeństwa w proces zarządzania SZW jest określenie racjonalnych zasad eksploatacji infrastruktury wodociągowej, minimalizujących wszelkie zagrożenia związane z jej funkcjonowaniem. Nowymi kierunkami badań w tej dziedzinie są analizy ryzyka związane z lokalnym jak i globalnym zanieczyszczeniem wody w sieci wodociągowej.

2. Zasady kontroli jakości wody w sieci wodociągowej

Nie dopuszczenie do zmian jakości wody przeznaczonej do spożycia podczas transportu od zakładów uzdatniania aż do końcowego jej odbiorcy to podstawowe kryterium prawidłowej eksploatacji systemów wodociągowych. Zgodnie z ustawą o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzeniu ścieków, dostawca jest zobowiązany do zapewnienia konsumentom wody o jakości określonej w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia. W praktyce warunek powyższy nierzadko jest trudny do spełnienia, w efekcie licznych procesów wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej. Czynniki determinujące zmiany jakości wody w podsystemie jej dystrybucji najczęściej klasyfikuje się wg trzech kategorii: strukturalne, eksploatacyjne oraz jakościowe [1]. Różnicowana struktura wiekowa jak i materiałowa budowy wodociągowej infrastruktury podziemnej, jej rozległość ora różnorodność od względem wielkości średnic budujących sieć przewodów to elementy stanowiące grupę czynników strukturalnych. Nierozzerwalnie z czynnikami strukturalnymi powiązane są czynniki eksploatacyjne, kształtujące parametry hydrauliczne pracy sieci wodociągowej jak i czynniki jakościowe Małe prędkości

przepływu wody w przewymiarowanych układach dystrybucji skutkują wydłużonym czasem jej transportu, co w konsekwencji często powoduje całkowite zużycie środka dezynfekcyjnego (w skutek jego rozkładu) jak również wytrącanie się i odkładanie w przewodach osadów. Osady te na ogół stanowią dobre podłoże dla rozwoju mikroorganizmów, zwiększając w ten sposób ryzyko zagrożenia zdrowotnego konsumenta. Alternatywne stosowanie zwiększonych dawek środka dezynfekcyjnego w celu ochrony wody przed wtórnym jej bakteriologicznym skażeniem pociąga za sobą wzrost prawdopodobieństwa generowania w układzie transportu ubocznych produktów dezynfekcji wody (UPD), uznawanych za substancje kancerogenne i mutagenne. Podstawą wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej jest również brak stabilności chemicznej wody zasilającej podsystem dystrybucji wody. W przypadku wód agresywnych ma miejsce nasilenie intensywności procesu korozji sieci, natomiast dla wód o dodatniej wartości współczynnika Langeliera występuje zjawisko wytrącania w sieci osadów.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie wymagań dotyczących jakości wody do spożycia jednoznacznie definiuje zasady organizacji i zakresu monitoringu kontrolnego jak i monitoringu przeglądowego. Realizacja celów powyższych monitoringów służy prowadzeniu bieżącego nadzoru sanitarnego nad jakością wody, jak również pozwala na dokonywanie ocen porównawczych i długoterminowych prognoz jakości wody. Najczęściej ocena jakości wody uzyskana w ramach realizacji zakresu badań objętych zarówno monitoringiem kontrolnym lub przeglądowym sprowadza się do stwierdzenia faktu przekroczeń wartości NDS, co często jest podstawą nie zawsze w pełni uzasadnionego warunkowego dopuszczenia do eksploatacji SZW lub w skrajnych przypadkach wstrzymania dostawy wody.

Racjonalny i efektywny monitoring musi bazować na doborze strategicznych punktów kontroli, dla których interpretacja uzyskane danych pozwoli na dokonanie szerokiej oceny poziomu świadczonych przez przedsiębiorstwo usług, w zakresie dostawy wody zgodnej z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia. Realizacja monitoringu to proces generujący znaczne koszty eksploatacji SZW, dlatego opracowywane strategie kontroli jakości wody, wynikające z aktualnych, zmiennych warunków eksploatacyjne systemu wodociągowego muszą uwzględniać zarówno liczbę punktów kontrolnych jak i zakresu prowadzonych w nich badań. Jedynie takie podejście daje możliwość osiągnięcia kompromisu pomiędzy niezbędnymi kosztami a wysokim poziomem kontroli ryzyka zmian jakości wody w sieci wodociągowej.

3. Podstawy analizy niezawodności oceny jakości wody w sieci wodociągowej

Przegląd źródeł literaturowych w zakresie metod oceny niezawodności eksploatacji SZW w funkcji jakości dystrybuowanej wody wykazała [2,3,4,6,7,8], iż w metodach tych jakość wody jest rozważana jako funkcja losowa, określająca zespół cech chemicznych, fizycznych i bakteriologicznych. Funkcja ta przedstawia zmienność wybranych wskaźników jakości w odniesieniu do ich wartości stężeń dopuszczalnych określonych w aktualnie obowiązującym Rozporządzeniu Ministra Zdrowia, dotyczącym jakości wody przeznaczonej do spożycia. Pełna oceny niezawodności dostawy wody o wymaganej jakości stanowi wyznaczenie podstawowych parametrów, wyrażonych poniższymi formułami:

- intensywność występowania nieodpowiedniej jakości wody

$$LNZ = \frac{LNZ}{t} \quad (2),$$

- intensywność występowania odpowiedniej jakości wody

$$LZ = \frac{LZ}{t} \quad (3),$$

- średni czas trwania nieodpowiedniej jakości wody

$$TNZ_{sr} = \frac{1}{LNZ} \sum_{i=1}^{LNZ} TNZ_i \quad (4),$$

- średni czas trwania odpowiedniej jakości wody

$$TZ_{sr} = \frac{1}{LZ} \sum_{i=1}^{LZ} TZ_i \quad (5),$$

- prawdopodobieństwo dystrybucji wody o wymaganej jakości

$$P_j(t) = e^{-(LNZ \cdot t)} \quad (6),$$

- wskaźnik gotowości dostawy wody o wymaganej jakości

$$K_j = \frac{TZ_{sr}}{TZ_{sr} + TNZ_{sr}} \quad (7).$$

Podstawą powyższych analiz jest przyjęcie założenia, że rozkład prawdopodobieństwa dyskretnej zmiennej losowej będącej liczbą stanów niezgodności jakości wody z obowiązującymi normatywnymi, jest rozkładem Poissona w postaci, określonym poniższą zależnością matematyczną:

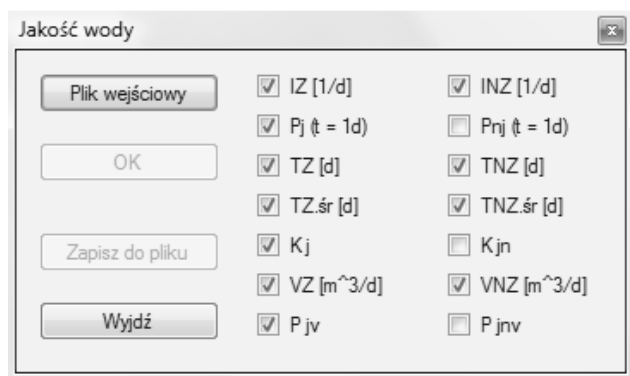
$$P(LNZ = k) = \frac{(LNZ \cdot t)^k}{k!} e^{-LNZ \cdot t} \quad \text{dla } k=0, 1, 2, 3 \dots \quad (8)$$

gdzie: LZN – liczba zaistniałych stanów niezgodności jakości wody z obowiązującymi standardami,
 LNZ – intensywność występowania nieodpowiedniej jakości wody w okresie prowadzenia monitoringu $(0,t)$,
 t – okres prowadzonej analizy,
 $P(LNZ=k)$ - prawdopodobieństwo wystąpienia dokładnie liczby k przekroczeń wartości NDS w czasie t .

W oparciu o przedstawione powyżej formuły matematyczne w ramach realizacji projektu badawczego PB nr 5T07E 044 25 [9] opracowano algorytm wraz programem komputerowym *Jakość wody*. Program *Jakość wody* stanowi cenne i szybkie narzędzie analityczne oceny niezawodności dystrybucji wody o wymaganej jakości. Procedury obliczeniowe programu *Jakość wody* odwołują się do danych pochodzących z jakościowego monitoringu w PsDyW, stanowiących bazę wyznaczenia liczby stanów zgodności LZ oraz niezgodności LNZ , dla poszczególnych parametrów jakości wody w każdym punkcie pomiarowym. Klasyfikacja stanów jakościowych w poszczególnych punktach monitoringu jest podstawą do wyznaczenia poszczególnych parametrów analizy. Efektem końcowym badań *Jakość wody* jest określenie podstawowych wskaźników niezawodności w odniesieniu do całego PsDyW i wszystkich monitorowanych parametrów łącznie jak i w odniesieniu do wyselekcjonowanych wskaźników jakości np.: mętność, stężenie żelaza, wielkość THM. Ponadto program umożliwi przeprowadzenie analizy dla wybranych punktów monitoringu zarówno w pełnym zakresie badanych parametrów jak i dla wybranych wskaźników jakości.

W celu wywołania procedury obliczeniowej programu *Jakość wody*, należy wybrać funkcję *Plik wejściowy*, pozwalającą na import danych pochodzących z monitoringu jakości wody. Po wczytaniu bazy danych i dokonaniu obliczeń, użytkownik programu

może dokonać wyboru wskaźników niezawodności (rysunek 1) edytowanych do pliku wynikowego, który może być edytowany w postaci tablicy do arkusza programu EXCEL lub WORD.



Rys. 1. Okno programu Jakość wody [8]

Fig. 1. Images of Water Quality program [8]

Końcową procedurę modelu analizy niezawodność dystrybucji wody o wymaganej jakości stanowi odniesienie uzyskanych wskaźników do wartości kryterialnych, gwarantujących bezpieczeństwo eksploatacji SZW. Sformułowanie kryteriów niezawodności dostawy wody o odpowiedniej jakości wymaga uwzględnienia zarówno interesów społeczeństwa i bezpieczeństwa zdrowotnego indywidualnych odbiorców wody. W literaturze przedmiotu brak jest jednoznacznych wartości kryterialnych. Za podstawę oceny niezawodnościowej w pracy [2] przyjęto dwa parametry: wskaźnik gotowości K_j oraz wskaźnik efektywności P_{jv} dostawy wody o wymaganej jakości, w postaci funkcyjnej odniesionej do obciążenia hydraulicznego danego punktu pomiarowego Q_{srdm} :

$$K_{j-Kr} = 0.003 \cdot \ln(Q_{srdm}) + 0.95 \quad (9),$$

$$P_{jv-Kr} = 0.003 \cdot \ln(Q_{srdm}) + 0.95 \quad (10).$$

4. Jakość wody w sieci wodociągowej Krakowa

Systematyczną kontrolę jakości wody dostarczanej odbiorcy w krakowskim SZW prowadzi Centralne Laboratorium Kontroli Jakości Wody. Służby laboratoryjne kontrolują codziennie jakość wody surowej jak i uzdatnionej dostarczanej mieszkańcom Krakowa z 4 zakładów uzdatniania wody (ZUW Raba, ZUW Dłubnia, ZUW Rudawa, ZUW Bielany), pracujących w oparciu o zasoby wód powierzchniowych. Ponadto regularnie wykonywane są również badania jakości wody w PsDyW. Przeprowadzona niezawodnościowa analiza zmian jakości wody transportowanej do odbiorcy oparta została o wyniki monitoringu, znajdującego się w gestii zarządzania MPWiK S.A.

Kraków. Oceną objęto zmienność składu wody w charakterystycznych punktach na sieci (łącznie 277 punktów pomiarowych), będących reprezentatywnymi punktami badań laboratoryjnych. W przyjętym obszarze analizy występują zarówno rejony o stabilnych parametrach zasilania w wodę, znajdujące się w strefie zasilania jednego z 4 ZUW-ów jak i tzw. rejony krytyczne, w których źródło i kierunek zasilania uzależniony jest od parametrów hydraulicznych pracy podsystemu dystrybucji. Ocenę stopnia efektów zmian jakości wody w sieci przeprowadzono dla okresu 5 lat eksploatacji (01.01.2002 - 30.04.2007). Analizę odniesiono do 37 parametrów stanowiących zakres analityczny monitoringu kontrolnego i przeglądowego: wskaźniki mikrobiologiczne (6 parametrów), wskaźniki fizyczne (5 parametrów) oraz wskaźniki chemiczne (26 parametrów). Dane powyższe obejmowały identyfikację prób poboru wody na sieci tj. zestawienie parametrów jakościowych oraz identyfikację miejsca poboru i czasu, w którym dokonano badania. Uporządkowane i zweryfikowane bazy stanowiły zbiór wejściowych danych do pełnego zakresu analizy niezawodnościowej, przeprowadzonej programem *Jakość wody* (tabela 1).

W ocenie niezawodności dostawy wody o wymaganej jakości przyjęto wartość krytyczną wskaźnika $K_{j-Kr}=0.6894491$, dla minimalnego akceptowalnego przez konsumentów poziomu ryzyka ($\alpha=0.01$) wyrażoną w funkcji ilości monitorowanych parametrów jakości wody.

Ocenę niezawodnościową zmienność składu wody w sieci wodociągowej przeprowadzono ostatecznie dla dwóch serii analizy. Pierwsza obejmował ocenę w funkcji 37 parametrów jakości wody w całym PsDyW Krakowa. Powyższa analiza wykazała, że w odniesieniu do wartości kryterialnej, w systemie wodociągowym incydentalnie pojawiają się przekroczenia wielkości NDS określonych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 2002r. Wyznaczony wskaźnik gotowości dostawy wody o wymaganej jakości stanowi blisko 90% wartości kryterialnej. Istotne obniżenie wskaźnika gotowości dostawy wody wywołane było w głównie przekroczeniami wartości NDS odniesionymi do stężenia chloru w transportowanej wodzie. Tak więc w kolejnej serii analizy niezawodności przeprowadzono symulacje komputerowe programem *Jakość wody* dla 3 scenariuszy obliczeniowych:

scenariusz 1: obejmuje ocenę niezawodności dostawy wody o wymaganej jakości dla przypadku, w którym przyjęto dolną granicę stężenia chloru w transportowanej wodzie na poziomie 0 mg/dm^3 ,

scenariusz 2: uwzględniający w analizie wszystkie rozpatrywane parametry jakości z wykluczeniem chloru wolnego w wodzie,

scenariusz 3: stanowi ocenę niezawodności dostawy wody o wymaganej jakości jedynie w funkcji parametrów mikrobiologicznych.

Wybór powyższych scenariuszy do analizy w pełni uzasadnia fakt braku bakteriologicznego zagrożenia zdrowotnego konsumentów wody, bowiem wskaźniki gotowości dla poszczególnych parametrów bakteriologicznych wynosi odpowiednio:

- ogólna liczba bakterii w 37°C po 24h $K_j=0,976638546$,
- ogólna liczba bakterii w 22°C po 72h $K_j=0,915639195$,
- bakterie grupy coli $K_j=0,980600751$,
- *Escherichia coli* $K_j=0,972689076$,
- *Clostridia* $K_j=0,955882353$,
- *Enterokoki* $K_j=0,989361702$.

Ponadto zakresu analizy w 3 przedstawionych scenariuszach uzasadnia obowiązujące aktualnie Rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2007r, które dopuszcza zerowy poziom

stężenia chloru w transportowanej wodzie, pod warunkiem że nie ma zagrożenia bakteriologicznego skażenia wody w sieci wodociągowej. Wyniki badań wykazały (tabela 1), iż uwzględnianie w analizie dolnej granicy stężenia chloru na poziomie 0 mg/dm³ przy jednoczesnym utrzymaniu standardów mikrobiologicznych, przyniosło wzrost niezawodności dostawy wody o wymaganej jakości aż o 23%, co tym samym pozwoliło na zapewnienie wymaganego poziomu niezawodności:

$$K_j = 0.7476636 > K_{j-Kr} = 0.6894491.$$

Równocześnie średni czas transportu wody w SZW Krakowa zgodnej z obowiązującymi standardami wzrósł o 27% do poziomu 11,42d.

Tab. 1. Wybrane wskaźniki niezawodności dostawy wody o wymaganej jakości

Tab. 1. Selected reliability parameters of proper quality water in distribution system

Scenariusze obliczeniowe	Wskaźnik niezawodności							
	$P_j(t=1d)$	TZ	TNZ	TZ_{sr}	TNZ_{sr}	VZ	VNZ	K(JT)
	-	d	d	d	d	m ³	m ³	-
SZW	0,865952	991	614	9,00	5,55	378767536	255272164	0,617445
Scenariusz 1	0,898937	1200	405	11,42	3,84	535134096	98905604	0,747664
Scenariusz 2	0,905683	1217	388	11,92	3,80	542522708	91516992	0,758255
Scenariusz 3	0,950193	1455	150	22,72	2,34	626392424	7647276	0,906542

Uzyskane wyniki dla 1 i 2 scenariusza obliczeniowego wskazują, że relacje wielkości stężenia chloru w transportowanej wodzie do odbiorcy w porównaniu z rozpatrywanymi wielkościami NDS odnosiły się w zdecydowanej większości przypadków do minimalnego poziomu stężenia chloru wymaganego Rozporządzeniem z 2002.

Pod względem bakteriologicznym w badanym okresie analizy, niezawodność dystrybucji wody o wymaganej jakości w procesie eksploatacji krakowskiego PsDyW była wysoka. Prawdopodobieństwo nieprzekroczenia parametrów bakteriologicznych w ciągu doby wynosi $P_j(t=1d) = 0,950193$. Ponadto aż 98,8% całkowitej objętości wody (626 392 424 m³) wtłoczonej do sieci wodociągowej w ciągu 5 lat jej eksploatacji (01.01.2002 - 30.04.2007) charakteryzowało się bardzo wysoka jakością bakteriologiczną spełniająca wymogi Rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2007r, która nie uległa zmianie w czasie jej transportu do konsumenta. Średni czas transportu wody spełniającej kryteria bakteriologiczne wynosi 22,72 doby.

5. Podsumowanie

1. Zaprezentowany program komputerowy *Jakość wody* stanowi cenne narzędzie analityczne ryzyka procesu monitoringu sieci wodociągowej. Model ten pozwala w szybki sposób wyznaczyć parametry niezawodności dostawy wody o wymaganej jakości, dla dowolnego punktu pomiarowego jak i dla całego PsDyW czy też wyse-

- lekcjonowanego obszaru eksploatacji sieci wodociągowej, w funkcji wybranego jak i wszystkich monitorowanych wskaźników jakości.
2. Wielofunkcyjność modelu *Jakości wody* pozwala nie tylko dokonać oceny parametrów niezawodnościowych dla całego PsDyW, ale daje również możliwość wytypowania obszarów krytycznych wpływających na pogorszenie jakości wody. Wieloaspektowości modelu daje możliwość przeprowadzenia analizy różnorodnych scenariuszy obliczeniowych, na podstawie których można wskazać i opracować niezbędne działania mające na celu poprawę jakości wody transportowanej do konsumenta.
 3. Przeprowadzona ocena niezawodności dostawy wody o wymaganej jakości wykazała, iż krakowski SZW zapewnia wymagany poziom niezawodności, a pojawiające się w systemie przekroczenia wartości NDS mają jedynie charakter incydentalny.

Bibliografia

- [1] Besner M. et al. Understanding distribution system water quality, *JAWWA*, 2001, 7, 101-104
- [2] Laine M.J., et al. Risk assessment for drinking water production assessing the potential risk due to the presence of *Cryptosporidium* oocysts in water, *IWA 2nd World Water Congress*, Berlin 2002
- [3] Sudoł M. Monitoring sieci wodociągowej dla potrzeb oceny niezawodności dostawy wody o wymaganej jakości. Rozprawa Doktorska, Warszawa 2005
- [4] Wieczysty A. Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych – Teoria niezawodności i jej zastosowania. *Wyd. Politechnika Krakowska*, Kraków 1990
- [5] Wieczysty A., Iwanejko R., Rak J. Nowa metoda określania technologicznej niezawodności stacji uzdatniania wody. *Wyd. Międzynarodowej Konf. Naukowo-Technicznej „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*, Kraków 2000, 973-980
- [6] Zimoch I. Analiza zmian jakości wody jako element zarządzania procesem monitoringu. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2006, 11, 78-81
- [7] Zimoch I. Ocena niezawodności technologicznej funkcjonowania zakładu uzdatniania wody w Dobczycach. *Mat. Międzynarodowej Konf. Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, Gdańsk 2002, 545-556
- [8] Zimoch I., Wieczysty A. Analiza porównawcza metod określania niezawodności, stacji uzdatniania wody na przykładzie Dobczyc. Monografie PAN vol. 2, Kraków 2001, 259-282
- [9] Zimoch I. Opracowanie modelu niezawodności funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) w aspekcie wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej. – *Sprawozdanie końcowe z realizacji projektu badawczego*: PB nr 5 T07E 044 25 - materiały niepublikowane, Gliwice 2007