

Streszczenie

Praca doktorska pod tytułem „*Algorytmy wspomaganie decyzji w zakresie działań naprawczych na przykładzie systemu dystrybucji wody*” jest przykładem synergii trzech dyscyplin naukowych takich jak: automatyka, elektronika i elektrotechnika, informatyka techniczna i telekomunikacja oraz inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Celem niniejszej rozprawy jest weryfikacja tezy, iż dla zdefiniowanego problemu decyzyjnego możliwe jest określenie kryteriów wyboru oraz ograniczeń, które pozwolą zachować największą sprawność systemu wodociągowego w sytuacji wystąpienia wielu awarii. Na podstawie modelu hydraulicznego sieci wodociągowej, informacji o stanie urządzeń, materiałów eksploatacyjnych, danych związanych z liczbą dostępnych ekip naprawczych, informacji o alokacji zasuw oraz lokalizacji awarii opracowane rozwiązanie pozwoli ustalić kolejność ich naprawy, osiągając zamierzoną funkcję celu (minimalizacja czasu naprawy w celu jak najszybszego przywrócenia ciągłości procesu dystrybucji wody). Zaproponowane rozwiązanie stanowi solidny fundament dla Systemów Wspomaganie Decyzji oraz Systemów Ekspertowych, ponieważ opracowane jest w oparciu o otwarte oprogramowanie. Oznacza to, że na podstawie tzw. licencji wolnego oprogramowania każdy może analizować, zmieniać i rozpowszechniać zmodyfikowaną wersję.

Rozwiązanie zawiera 7 algorytmów, których połączenie umożliwi realizację ww. celu. Zadaniem pierwszego zaproponowanego algorytmu jest sklasyfikowanie poszczególnych elementów sieci wodociągowej. Ma to na celu sprawdzenie krytyczności i określenia współczynnika ważności elementu na tle całego zbiorowego systemu zaopatrzenia w wodę. Drugi algorytm na podstawie danych o topologii sieci oraz informacji o identyfikatorze analizowanego węzła wyznacza tzw. ślad wody. W oparciu o lokalizację infrastruktury krytycznej określana jest droga od źródła wody (stacji uzdatniania wody lub zbiornika) do węzła, który reprezentuje analizowanego odbiorcę. Kolejny algorytm na podstawie danych o lokalizacji zasuw odcinających odpowiada za wyznaczenie segmentów występujących na sieci wodociągowej oraz zbioru zasuw niezbędnych do jego izolacji. Algorytm czwarty odpowiada za klasyfikację zgłoszonych awarii. Na podstawie określonych współczynników awaria zostaje sklasyfikowana do jednej z czterech dostępnych klas. Algorytm piąty na podstawie wyników działania poprzednich algorytmów nadaje poszczególnym awariom (o ile to konieczne) priorytet,

który brany jest pod uwagę w sytuacji szeregowania zleceń naprawczych. Zadaniem szóstego algorytmu jest określenie możliwych połączeń awarii w jedno zlecenie naprawcze. Na podstawie wiedzy o lokalizacji awarii oraz ich typu istnieje możliwość agregacji awarii w celu minimalizacji sumarycznej liczby zasuw niezbędnych do zamknięcia. Ostatni algorytm odpowiada za szeregowanie zadań. W oparciu o listę awarii, funkcję celu i ograniczenia, określona zostaje marszruta dla każdej ekipy naprawczej oraz lista zawierająca propozycję kolejności napraw awarii.

Dysertacja składa się z dziewięciu rozdziałów, spisu treści, wykazu literatury, spisu rysunków, spisu tabel, wykazu akronimów i ważniejszych oznaczeń oraz załączników. Każdy rozdział rozpoczyna się krótkim wprowadzeniem przedstawiającym omawiane w nim zagadnienie.

W rozdziale pierwszym (wprowadzeniu) przedstawiona została motywacja podjętego tematu pracy. Następnie określony został przedmiot pracy (problem badawczy), cel pracy oraz zawartość rozprawy doktorskiej.

W rozdziale drugim omówione zostały wybrane nowoczesne systemy sterowania i monitorowania. Przedstawiono ogólną i warstwową strukturę sterowania oraz opisano metody zarządzania systemami informatycznymi w procesie eksploatacji z wykorzystaniem systemów SCADA, Systemów Wspomagania Decyzji oraz Systemów Ekspertowych. Ponadto rozdział ten porusza tematykę integralności (interoperacyjności) złożonych systemów informatycznych.

Rozdział trzeci zawiera wstęp teoretyczny, wprowadzający w tematykę systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. W rozdziale tym zawarto podstawowe informacje o procesie uzdatniania wody, budowie i rodzajach sieci wodociągowych oraz pokrótce opisano problem analizy krytyczności elementów wchodzących w skład takich sieci.

Rozdział czwarty poświęcony został metodyce modelowania procesu dystrybucji wody z wykorzystaniem narzędzi takich jak EPANET czy WNTR. W rozdziale zaprezentowano przykład modelowania testowego modelu sieci wodociągowej, poruszono tematykę kalibracji modeli oraz przedstawiono dwa sposoby modelowania awarii.

Rozdział piąty poświęcony został przeglądowi literatury, na temat rozwiązań informatycznych, które w sposób szczególny mogą przyczyniać się do usprawnienia procesu typowania zasuw niezbędnych do odseparowania segmentu, w którym wystąpiła jedna lub kilka awarii. W rozdziale przedstawiono również wybraną metodę typowania zasuw do zamknięcia wraz z jej niewielką modyfikacją.

W rozdziale szóstym poruszono problematykę podejmowania decyzji o kolejności naprawiania awarii w systemach wodociągowych. Wskazano cechy awarii, które należy rozpatrzyć w procesie ich klasyfikacji oraz omówiono proces priorytetyzacji. Ponadto rozdział ten poświęcony został charakterystyce problematyki szeregowania zadań z punktu widzenia zarządzania ekipami naprawczymi. Przedstawiono metody rozwiązywania problemów szeregowania zadań oraz wykorzystanie algorytmów sztucznej inteligencji, które w sposób szczególny mogą przyczyniać się do usprawnienia procesu szeregowania zadań.

W rozdziale siódmym przedstawiono grupę algorytmów stanowiących fundament systemu wspomagania decyzji, których zadaniem jest poprawa efektywności procesu przywracania ciągłości wody w sytuacji po katastroficznej. Algorytmy zostały opracowane na podstawie analizy doświadczeń eksperta dziedzinowego z *Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej Wodociągów i Kanalizacji w Środzie Wielkopolskiej* oraz zbioru artykułów naukowych.

Rozdział ósmy zawiera wyniki badań symulacyjnych dotyczących zaproponowanej metodyki poprawy efektywności procesu przywracania ciągłości dystrybucji wody w sytuacji po katastroficznej. W pierwszej części rozdziału omówiono zrealizowane środowisko symulacyjne oraz przedstawiono przygotowane modele hydrauliczne. W dalszej części przedstawiono wygenerowane scenariusze testowe oraz przedstawiono przyjęte założenia. Rozdział zamyka wyniki analizy działania i poprawności zaproponowanego systemu.

W rozdziale dziewiątym zamieszczono podsumowanie oraz wnioski końcowe rozprawy.

Abstract

The doctoral thesis entitled "Decision support algorithms in the field of repair actions on the example of the water distribution system" is an example of the synergy of three scientific disciplines such as: automation, electronics and electrical engineering, technical information technology and telecommunications as well as environmental engineering, mining and energy. The aim of this dissertation is to verify the thesis that for a defined decision problem it is possible to define selection criteria and limitations that will allow the water system to maintain the greatest efficiency in the event of multiple failures. Based on the hydraulic model of the water supply network, information on the condition of equipment, consumables, data related to the number of available repair teams, information on the allocation of valves and the location of failures, the developed solution will allow to determine the order of their repair, achieving the intended goal function (minimizing the repair time in order to restoring the continuity of the water distribution process). The proposed solution is a solid foundation for Decision Support Systems and Expert Systems, because it is developed based on open software. This means that on the basis of the so-called Anyone can analyze, change, and distribute the modified version of a free software license.

The solution contains 7 algorithms, the combination of which will enable the implementation of the above-mentioned purpose. The task of the first proposed algorithm is to classify individual elements of the water supply network. This is to check the criticality and determine the importance factor of the element against the background of the entire collective water supply system. The second algorithm determines the so-called trace of water. Based on the location of the critical infrastructure, the path from the water source (water treatment plant or reservoir) to the node that represents the analyzed recipient is determined. The next algorithm, based on the data on the location of the shut-off valves, is responsible for determining the segments on the water supply network and the set of valves necessary for its insulation. The fourth algorithm is responsible for the classification of reported failures. Based on the specified factors, the failure is classified into one of the four available classes. The fifth algorithm, based on the results of the previous algorithms, gives particular failures (if necessary) a priority which is taken into account when scheduling repair orders. The task of the sixth algorithm is to identify

possible combinations of failures into one repair order. Based on the knowledge about the location of failures and their type, it is possible to aggregate failures in order to minimize the total number of valves necessary to close. The last algorithm is responsible for scheduling tasks. Based on the failure list, target function, and constraint function, a route is determined for each repair team and a list with a proposed sequence for repairing the failures.

The dissertation consists of nine chapters, a table of contents, a list of references, a list of figures, a list of tables, a list of acronyms and more important notations, and appendices. Each chapter begins with a short introduction to what is discussed in it the issue.

The first chapter (introduction) presents the motivation for the topic of the work. Then, the subject of the work (research problem), the purpose of the work and the content of the doctoral dissertation were defined.

The second chapter discusses selected modern control systems and monitoring. The general and layered control structure was presented and the methods of IT systems management in the operation process with the use of SCADA systems, Decision Support Systems and Expert Systems were described. In addition, this chapter deals with the integrity (interoperability) of complex IT systems.

The third chapter contains a theoretical introduction to the subject of collective water supply systems. This chapter provides basic information about the water treatment process, construction and types of water supply networks, and briefly describes the problem of criticality analysis of the elements included in such networks.

The fourth chapter is devoted to the methodology of modeling the water distribution process with the use of tools such as EPANET or WNTR. The chapter presents an example of a test modeling of a water network model, the topic of model calibration and two methods of modeling failures.

The fifth chapter is devoted to a review of the literature on IT solutions that may contribute to the improvement of the process of selecting the gate valves necessary to

separate the segment in which one or more failures occurred. The chapter also presents a selected method of selecting the valves to be closed with a slight modification.

The sixth chapter deals with the issues of making decisions about the order of repairing failures in water supply systems. The characteristics of failures that should be considered in the process of their classification were indicated and the prioritization process was discussed. In addition, this chapter is devoted to the characteristics of the problem of scheduling tasks

from the point of view of managing repair teams. The methods for solving task scheduling problems and the use of artificial intelligence algorithms, which can contribute to the improvement of the task scheduling process, are presented.

Chapter seven presents a group of algorithms that constitute the foundation of the decision support system, whose task is to improve the efficiency of the process of restoring water continuity in a post-catastrophic situation. The algorithms were developed on the basis of an analysis of the experience of a field expert from Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Wodociągów i Kanalizacji in Środa Wielkopolska and a collection of scientific articles.

The eighth chapter contains the results of simulation studies on the proposed methodology for improving the efficiency of the process of restoring the continuity of water distribution in a post-catastrophic situation. In the first part of the chapter, the realized simulation environment was discussed and the prepared hydraulic models were presented.

In the next part, the generated test scenarios and the adopted assumptions are presented. The chapter ends with the results of the analysis of the operation and correctness of the proposed system.

The ninth chapter contains a summary and the final conclusions of the dissertation.