

*proces obsługi, systemy ekspertowe, modelowanie systemów,
sieci neuronowe, bazy wiedzy, informacja diagnostyczna*

Stanisław DUER¹
Konrad ZAJKOWSKI¹
Radosław DUER²
Jacek PAŚ³

OCENA WPŁYWU SPOSOBÓW PODEJMOWANIA DECYZJI EKSPERTOWYCH NA JAKOŚĆ SYSTEMU OBSŁUGIWANIA OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

W doskonaleniu procesu obsługi obiektu technicznego jednym z istotnych czynników (elementów) tego procesu jest poznanie i opis metod tworzenia obsługowej bazy wiedzy ekspertowej. Problem ten zdaniem autora należy do trudnych zagadnień związanych z opracowaniem metodyki i opisem sposobów pracy specjalistów. Problematyka ta w zakresie budowania reguł obsługowych oraz tworzenia baz wiedzy jest dość dobrze rozpoznana w literaturze. Ważnym także jest poznanie metod pracy ekspertów oraz sposobów wnioskowania ekspertowego. Problematyka dotycząca opisu, w tym w jaki sposób ekspert buduje wiedzę specjalistyczną nie jest rozpoznana. Brak jest opisu ogólnych zasad pracy specjalistów w procesie obsługi obiektów technicznych. W opisywanych problemach dotyczących wykorzystania informacji diagnostycznej w procesie opracowywania baz wiedzy specjalistycznej jest nowym kierunkiem badań rozwijanych przez autora.

IMPACT ASSESSMENT OF EXPERT DECISION-MAKING METHODS ON THE QUALITY OF TECHNICAL OBJECTS OPERATING SYSTEM

In an improvement of the maintenance process of a technical object, the knowledge and the description of the methods to create a maintenance base of expert knowledge constitute one of the important factors (elements) of this process. In the author's opinion, this problem concerns the difficult tasks related to the development of the methodology and the description of the method of specialists' work. The issues concerning the construction of maintenance rules and the creation of the data base has been fairly well studied in the literature. It is also important to study the methods of the experts' work and the manners of expert inference. The issues concerning the description including in what way an expert builds specialist knowledge has not been studied as yet. There is no description of the overall principles of specialists' work in the maintenance process of a technical object. Regarding the problems described concerning the use of diagnostic information in the development process of specialist knowledge bases, a new trend in the research is being developed by the author.

¹Koszalin University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, Poland, e-mail: stanislaw.duer@tu.koszalin.pl

²Koszalin University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, tel. 0943478426; konrad.zajkowski@tu.koszalin.pl;

²³OTICON Polska Production Sp. z o.o.; ul. Lubieszńska 59. Mierzyn, 72-006 Szczecin; e-mail: radoslaw.duer@wp.pl

³³Military University of Technology, Warsaw, Department of Electronic, Kaliskiego 2. 00-950 Warszawa tel. 022 6837534, e-mail: jpas@wat.edu.pl

1. WSTĘP

Opracowywanie programów wspomagających proces organizacji obsługiwań technicznych na bazie informacji diagnostycznej oraz wnioskowanie w diagnostyce technicznej jest znacznie utrudnione. Podstawą takiego stanu jest brak ogólnych metod formalnego zapisu wiedzy diagnostycznej, wiedzy specjalisty (eksperta) i innej oraz brakiem możliwości pełnej algorytmizacji procesu efektywnego wnioskowania i podejmowania decyzji. Ogólnymi metodami poszukiwania rozwiązań w takich złożonych warunkach zajmuje się *sztuczna inteligencja*. Jest to dziedzina informatyki i innych dotycząca metod i technik wnioskowania symbolicznego-podejmowania decyzji przez komputer oraz symbolicznej reprezentacji wiedzy stosowanej podczas takiego wnioskowania, gdzie *reprezentacja wiedzy* oznacza ogólny formalizm zapisywania, gromadzenia i jej przechowywania. Wśród stosowanych metod i technik sztucznej inteligencji występują w niej: sztuczne sieci neuronowe, systemy ekspertowe, algorytmy genetyczne i ewolucyjne itp. oraz możliwe kombinacje między nimi tworzące nowe jakościowe rozwiązania, które są nazwano hybrydowymi systemami lub układami inteligentnymi [2-10, 13, 15, 16, 18].

Poznanie metod tworzenia usługowej bazy wiedzy ekspertowej przy wykorzystaniu różnych sposobów podejmowania decyzji jest jednym z czynników doskonalenia procesu obsługiwań obiektów technicznych. Można przypuszczać, że wpływ sposobów podejmowania decyzji ekspertowych jest istotny i ważny w procesie tworzenia usługowej bazy wiedzy.

Metodę oceny wpływu wybranych metod wnioskowania ekspertowego na jakość wykonanej profilaktyki zaprezentowano w przykładzie dla systemu radiolokacyjnego. Podstawą tej metody jakościowej metody oceny jest komputerowy program diagnostyczny DIAG, w którym wykorzystano algorytm sztucznej sieci neuronowej [2-10,16]. Obiekt badany posiada złożoną strukturę wewnętrzną posiada też mieszaną strukturę funkcjonalną i informacyjną (analogowo-cyfrową). Dlatego jest dobrym obiektem badań, ze względu na różne podejście eksperta podczas wykonywania opracowania usługowego-tworzenia specjalistycznej bazy wiedzy.

Wykonanie eksperymentalnego procesu oceny profilaktyki obiektu technicznego, ze względu na sposoby pracy (podejmowania decyzji) eksperta wymagało przygotowania planu eksperymentu testującego. Podstawą w tym badaniu było zestawienie na podstawie tego samego algorytmu [3-5] zbioru informacji usługowej dla trzech badanych sposobów podejścia (wnioskowania) specjalisty. W ten sposób uzyskano trzy zbiory informacji usługowej: $\{M_E(e_{1,1})_I\}$, $\{M_E(e_{1,1})_{II}\}$, $\{M_E(e_{1,1})_{III}\}$ na podstawie, których przygotowano wektory wejściowej informacji usługowej będących podstawą do wykonania profilaktyki obiektu. Problematykę wyznaczania informacji usługowej zaprezentowano w następujących pracach [1, 5, 8, 9, 11, 12, 14].

| Model | Data | Metrics | Deviation | Variances | N-metrics | Distribution | Probabilities | ZG Probabilities | WG Weight | Classification |
|-------|------|---------|-----------|-----------|-----------|--------------|---------------|------------------|-----------|----------------|
| 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | 2 | 2 | | 1 | | | | | |

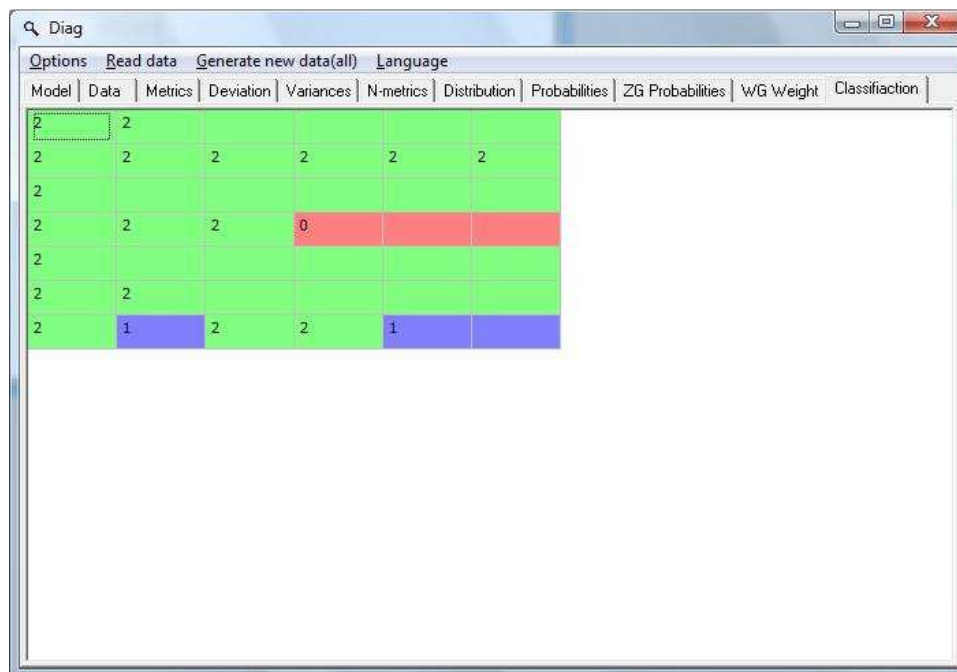
Rys.1. Postać kontrolna informacji diagnostycznej z wykorzystaniem programu DIAG po wykonanej profilaktyce (model I)

Następnie podobnie jak wcześniej opisano, wykonano obsługiwanie obiektu technicznego dla metody indukcyjnej wnioskowania ekspertowego. Wykonaną profilaktykę obiektu przeprowadzono przy wykorzystaniu wektora testowego informacji obsługowej wyznaczonej dla metody indukcyjnej wnioskowania ekspertowego (model II), który ma następującą postać analityczną:

$$\{M_E(e_{i,j})_{II}\} = [M_E(e_{1,1})_{II}, \dots, M_E(e_{i,j})_{II}, \dots, M_E(e_{1,J})_{II}] \quad (2)$$

gdzie: $M_E(e_{i,j})_{II}$ – obsługowa informacji obsługowe j-tego elementu w i-tym poziomie struktury obsługowej dla modelu II.

Po wykonanej profilaktyce obiekt techniczny jest poddawany podobnie jak wcześniej diagnozowaniu kontrolnemu z wykorzystaniem programu DIAG. Uzyskane wyniki diagnozowania obiektu dla (modelu II). Uzyskane wyniki badania diagnostycznego zaprezentowano w postaci (Tabela 4 i na rys. 2).



Rys. 2. Postać kontrolnej informacji diagnostycznej z wykorzystaniem programu DIAG po wykonanej profilaktyce (model II)

Tab. 2. tablica kontrolnej informacji obsługowej obiektu (model II)

| Stan obiektu | Stan zespołu w obiekcie | Wektor stanów elementów w obiekcie $\{\epsilon(e_{i,j})\}$ | | | | | |
|--------------|-------------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | | | | |
| 0 | 2 | 2 | 2 | \emptyset | \emptyset | \emptyset | \emptyset |
| | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 2 | 2 | \emptyset | \emptyset | \emptyset | \emptyset | \emptyset |
| | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | \emptyset | \emptyset |
| | 2 | 2 | \emptyset | \emptyset | \emptyset | \emptyset | \emptyset |
| | 2 | 2 | 2 | \emptyset | \emptyset | \emptyset | \emptyset |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | \emptyset |

W kolejnym przykładzie eksperymentu testowano wpływ metody probabilistycznej wnioskowania ekspertowego na jakość odnawiania obiektu w zorganizowanym systemie obsługiwania. Dla tej metody pracy eksperta wyznaczono w ten sam sposób zbiór informacji obsługowej, który zestawiono w postaci wektora testowego zbioru informacji obsługowej. Zbiór informacji obsługowej wyznaczonej dla metody probabilistycznej wnioskowania ekspertowego (model III) ma postać zależności (3):

$$\{M_E(e_{i,j})_{III}\} = [M_E(e_{1,1})_{III}, \dots, M_E(e_{i,j})_{III}, \dots, M_E(e_{I,J})_{III}] \quad (3)$$

gdzie: $M_E(e_{i,j})_{III}$ – obsługowa informacji obsługowe j-tego elementu w i-tym poziomie struktury obsługowej dla modelu III.

Po wykonanej profilaktyce obiekt techniczny jest poddawany diagnozowaniu (badaniu) kontrolnemu z wykorzystaniem sieci neuronowej w programie DIAG. Uzyskane wyniki diagnozowania obiektu dla (modelu III) zaprezentowano w postaci (Tabela 3 i na rys. 3).

Tab. 3. Tablica kontrolnej informacji obsługowej obiektu (model III)

| Stan obiektu | Stan zespołu w obiekcie | Wektor stanów elementów w obiekcie $\{\epsilon(e_{i,j})\}$ | | | | | |
|--------------|-------------------------|--|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| 1 | 2 | 2 | 2 | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 2 | 2 | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | ∅ | ∅ |
| | 2 | 2 | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| | 2 | 2 | 2 | ∅ | ∅ | ∅ | ∅ |
| | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | ∅ |

| Model | Data | Metrics | Deviation | Variances | N-metrics | Distribution | Probabilities | ZG Probabilities | WG Weight | Classification |
|-------|------|---------|-----------|-----------|-----------|--------------|---------------|------------------|-----------|----------------|
| 2 | 1 | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | 2 | 2 | | 1 | | | | | |

Rys. 3. Postać kontrolnej informacji diagnostycznej z wykorzystaniem programu DIAG po wykonanej profilaktyce (model III)

Uzyskane rezultaty badań (eksperymentów) zestawiono w postaci „Kontrolnej tablicy stanów obiektu technicznego” (Tabele 1, 2 i 3). Wyniki tych badań mogą być bezpośrednio wykorzystane do oceny wykonanej profilaktyce obiektu. Z informacji zawartych w tych (Tabelach 1, 2 i 3) można na bieżąco oceniać, który z elementów obiektu jest właściwie (w pełni) odnowiony w systemie obsługiwanym (jaki on stan ($\varepsilon(e_{i,j})$) posiada). Na potrzeby jakościowej oceny procesu obsługiwanego obiektu opracowano funkcję jakościowej oceny tego procesu.

Definicja: Funkcja jakościowa kontrolnej jakościowej oceny procesu profilaktyki obiektu technicznego (F_r) w systemie obsługiwanym jest to wielkość, która określa zbiór w pełni odnowionych elementów funkcjonalnych obiektu technicznego w stosunku do zbioru wszystkich elementów obiektu, które poddano procesowi obsługiwanemu. Wielkość tą przedstawiono w postaci zależności:

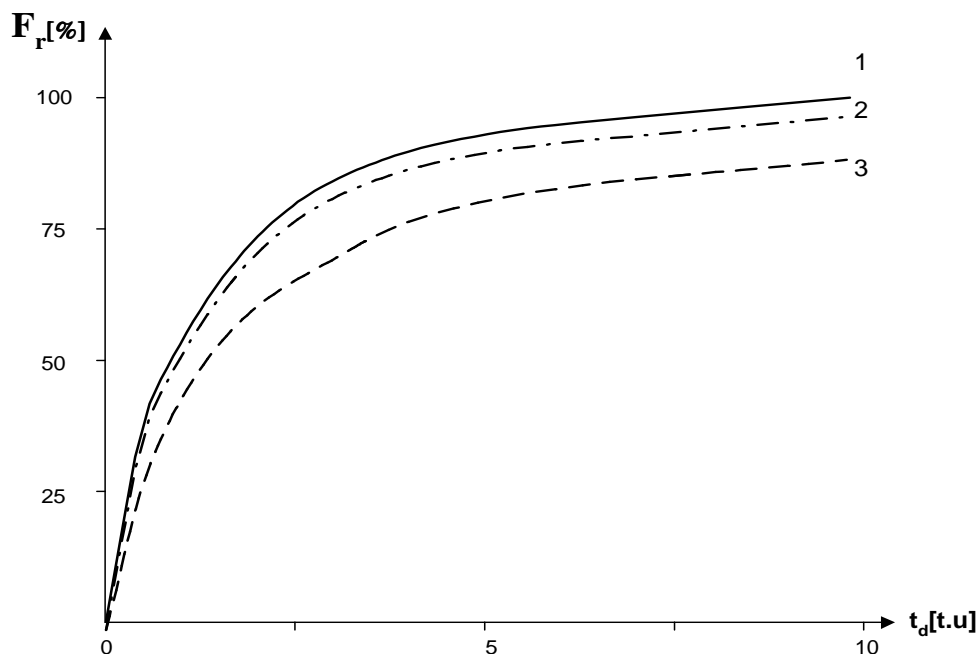
$$F_r = \frac{n-k}{n} \cdot 100\% \quad (4)$$

gdzie: n - zbiór wszystkich elementów obiektu poddanych procesowi obsługiwanemu - zbiór elementów wyznaczających strukturę obsługową obiektu $\{e_{i,j}\}$, k - zbiór w pełni odnowionych (przy rozpoznanych stanach zdadności) elementów podstawowych obiektu.

Uzyskane wyniki z badań w eksperymencie poddano analizie i opracowaniu przy wykorzystaniu zależności (54). Jeżeli znamy czas diagnozowania (rozpoznania stanów) poszczególnych elementów obiektu, to wówczas funkcję jakościowej odnowy obiektu w systemie obsługiwanym ($F_r = f(t_d(e_{i,j}))$ lub $F_{nr} = f(t_d(e_{i,j}))$), gdzie: t_d - jest czasem identyfikowania stanu (diagnozowania) obiektu technicznego dla j -tego elementu w i -tym zespole obiektu ($e_{i,j}$). Wykreślone wielkości przedstawiono graficznie na (rys. 4).

Z analizy funkcji jakości odnawiania obiektu ($F_r = f(t_d(e_{i,j}))$) przedstawionej graficznie na (rys. 4) wynika, że dla przypadku (model I) = 98%, dla przypadku (model III) = 97% oraz dla przypadku (model II) = 94%. Jest to wielkość zadawalająca dla użytkownika pod warunkiem, że odnowione elementy obiektu będą nie gorzej niż do poziomu stan nie pełnej zdadności $\{1\}$. Na jakość wykonywanej profilaktyki wpływa wiele czynników do, których należą: wiarygodność opracowanych reguł obsługowych (wnioskujących), jakości pracy eksperta, wiarygodność przyjętych czynności profilaktycznych i ich przyporządkowanie poszczególnym elementom obsługowych obiektu, jakość pracy automatu pomiarowego, wielkości granic dopuszczalnych i granicznych dla sygnałów diagnostycznych, przygotowanie personelu obsługującego itp.

Z analizy jakości odnawiania obiektu w systemie obsługiwanym zorganizowanym na podstawie testowych informacji obsługowej dla (modeli I; II i III) (rys.4) wynika, że najbardziej wiarygodną ekspertową informację obsługową uzyskano dla (modelu I) = 98%, nie co gorsza jakościowo jest informacja obsługowa dla (modelu III) = 96%. Natomiast dość znacznie jakościowo odbiega od tych dwóch model informacja dla (modelu II) = 94%. Można zatem stwierdzić, że dla trzech badanych sposobów wnioskowania ekspertowego: dedukcyjnego, probabilistycznego i indukcyjnego największe znaczenie praktyczne może pierwszy z nich.



Rys. 4. Wykres funkcji jakościowej odnawiania elementów obiektu technicznego (F_r) przez system obsługowy, gdzie: 1 – wykres dla wektora obsługowej informacji testującej (model I); 2 – wykres dla wektora obsługowej informacji testującej (model III); 3 – wykres dla wektora obsługowej informacji testującej (model II); $t_p(e_{i,j})$ – jest czasem odnawiania j -tego elementu podstawowego w i -tym zespole funkcjonalnym obiektu

3. WNIOSKI

Poznanie oceny jakościowej odnowy własności funkcji użytkowania obiektu technicznego należy do trudnych przedsięwzięć organizacyjno-technicznych. Trudności tego typu jeszcze bardziej się komplikują, jeżeli użytkowany obiekt techniczny należy do grupy obiektów specjalnych o ciągłym ich użytkowaniu lub bycia w gotowości do ich użycia urządzenia medyczne, układy zasilania energią elektryczną, systemy radiolokacyjne itp. Wymienione urządzenia techniczne często są użytkowane też w warunkach ograniczonej czasem niemożliwej do wykonania ich profilaktyki np. warunki działań bojowych, czy też praca na lotniskach itp. Organizacja procesu odnawiania tej klasy obiektów jest wykonywana w ograniczonym czasie przy zmniejszeniu nakładów w danym systemie obsługiwanym. Optymalizacja czasu odtwarzania własności użytkowych tej grupy obiektów technicznych staje się ważkim aspektem badawczym.

4. BIBLIGRAFIA

- [1] Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji cz. 2. Wyd. WAT, Warszawa 2006, str. 187.
- [2] Duer S.: System ekspertowy wykorzystujący trójwartościową informację diagnostyczną wspomagający obsługiwanie złożonego obiektu technicznego. ZEM, Z. 4(152) VOL. 42, 2007, str. 195-208.
- [3] Duer S.: An algorithm for the diagnosis of repairable technical objects utilizing artificial neural Network. ZEM, Vol. 43, No. 1(53) 2008, pp. 101-113.
- [4] Duer S.: Determination of a diagnostic information of a repairable technical object on the basis of a functional and diagnostic analysis on example of a car engine. ZEM, Vol. 43, No. 4(156) 2008, pp. 85-94.
- [5] Duer S.: Artificial Neural Network-based technique for operation process control of a technical object. Defence Science Journal, DESIDOC, Vol. 59, No. 3, May 2009, pp. 305-313.
- [6] Duer S.: System ekspertowy, ze sztuczną siecią neuronową obsługujący zestaw stacji radiolokacyjnej. VII Krajowa Konferencja Inżynierii Wiedzy i Systemów Ekspertowych, Politechnika Wrocławska, Instytut Informatyki, 23–25 czerwiec, Wrocław, 2009, str. 377-388.
- [7] Duer S.: Artificial neural network in the control process of object's states basis for organization of a servicing system of a technical objects. Neural Computing & Applications. 2011. DOI: 10.1007/s00521-011-0606-6.
- [8] Duer S.: Investigation of the operation process of a repairable technical object in an expert servicing system with an artificial neural network. Neural Computing & Applications, 2010, Vol. 19, No. 5, pp. 767-774.
- [9] Duer S.: Qualitative evaluation of the regeneration process of a technical object in a maintenance system with an artificial neural network. Neural Computing & Applications. 2011, Vol. 20, No. 5, pp. 741-752.
<http://www.springer.com/home?SGWID=0-0-1003-0-0&aqId=1320967&checkval=ad10dea9b0005e4b1523cfd0443fbf7d>
- [10] Duer S.: Expert knowledge base to support the maintenance of a radar system. Defence Science Journal, 2010, Vol. 60, No. 5, pp. 531-540.
<http://publications.drdo.gov.in/ojs/index.php/dsj>
- [11] Duer S.: Modelling of the operation process of repairable technical objects with the use information from an artificial neural network. Expert Systems With Applications. 38 (2011), pp. 5867-5878. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.036>.
- [12] Duer S.: Artificial neural network in the control process of object's states basis for rganization of a servicing system of a technical objects. Neural Computing & Applications. 2011. DOI: 10.1007/s00521-011-0606-6
- [13] Duer S.: Assessment of the quality of decisions worked out by an artificial neural network which diagnoses a technical object. Neural Computing & Applications. 2011, DOI: 10.1007/s00521-011-0725-0.
<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s00521-011-0725-0>
- [14] Duer S.: Examination of the reliability of a technical object after its regeneration in a maintenance system with an artificial neural network. Neural Computing &

Applications. 2011, DOI 10.1007/s00521-011-0723-2

<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s00521-011-0723-2>

- [15] Dhillon B.S.: Applied Reliability and Quality, Fundamentals, Methods and Procedures. Springer – Verlag London Limited 2006, p. 186.
- [16] Madan M. Gupta, Liang Jin and Noriyasu H.: Static and Dynamic Neural Networks, From Fundamentals to Advanced Theory. John Wiley & Sons, Inc 2003, p. 718.
- [17] Nakagawa T.: Maintenance Theory of Reliability. Springer – Verlag London Limited 2005, p. 264.
- [18] Palkova Z., Rodny T.: Modeling of object-related database structures in the development of artificial irrigation system. Požiadavky na systém: Windows 95 a vyššie; CD-ROM mechanika. - Spôsob prístupu: <http://www.slpk.sk/eldo/2011/zborniky/04-11/palkova-rodny.pdf>. In Technika v technológiách agrosektora 2010 [elektronický zdroj] : zborník vedeckých prác, Nitra, november 2010. - Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre,