

ekonomicznych. Diagnostyka on-line zapewnia wczesne rozpoznawanie uszkodzeń. Diagnozy wspomagają operatorów procesu (rys. 21.9), co umożliwia im podejmowanie odpowiednich działań zabezpieczających. Są także wykorzystywane przez układy sterowania tolerujące uszkodzenia (*Fault Tolerant Control Systems, FTC*) do realizacji automatycznych rekonfiguracji struktury układów w stanach z uszkodzeniami. Nie dochodzi w takich przypadkach do zadziałania SIS i odstawienia procesu, co oznacza redukcję strat ekonomicznych w stanach awaryjnych. System diagnostyczny tworzy nową warstwę zabezpieczeniowo-ochronną [38].

Innym celem zaawansowanej diagnostyki on-line jest prowadzenie nowoczesnej strategii utrzymania ruchu opartej na ocenie stanu technicznego instalacji technologicznej. Oprócz uszkodzeń nagłych w aparaturze procesów technologicznych zachodzą często wolnozmiennie zmiany destrukcyjne, zmieniające ich charakterystyki i pogarszające właściwości eksploatacyjne. Przyczyną tych zmian są procesy zużycia materiałów, osadzanie się różnych substancji na elementach urządzeń itp. Racjonalną drogą postępowania jest zastąpienie okresowych przeglądów i remontów przez strategię przeprowadzania remontów na podstawie bieżącej oceny stanu technicznego obiektu i szacowaniu czasu do wystąpienia stanu krytycznego. Ta strategia utrzymania ruchu jest określana jako predykcyjna (*Predictive Maintenance*).

Zaawansowana diagnostyka on-line jest skutecznym sposobem rozpoznawania nie tylko uszkodzeń, ale także cyberataków [55]. Pozwala rozpoznać cyberataki w sytuacji, gdy inne warstwy zabezpieczenia przed cyberzagrożeniami okażą się nieskuteczne.

Literatura do rozdziału 21

- [1] Bartyś M.: *Chosen issues of fault isolation, theory, practice and applications*, WN PWN, Warszawa 2014.
- [2] Basseville M., Nikiforov I.V.: *Detection of abrupt changes – theory and application*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.
- [3] Blanke M., Kinnaert M., Lunze J., Staroswiecki M.: *Diagnosis and Fault-Tolerant Control*, Springer, Berlin 2004.
- [4] Boem F., Ferrari R.M.G., Parisini T., Polycarpou M.M.: Distributed Fault Diagnosis for Nonlinear Systems, *Preprints of the 8th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, 2012, str. 1089–1094.
- [5] Bouamama B.O., Harabia R.E., Abdelkrim M., Gayed M.B.: Bond graphs for the diagnosis of chemical processes, *Computers & Chemical Engineering*, **36**: 301–324, 2012.
- [6] Buchanan B.G., Shortliffe E.H.: *Rule based expert systems: the mycin experiments of the stanford heuristic programming project*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA, 1984.
- [7] Calado J.M.F., Korbicz J., Patan K., Patton R.J., Sá da Costa J.M.G.: Soft computing approaches to fault diagnosis for dynamic systems, *European Journal of Control*, **7**(2–3): 248–286, 2001.
- [8] Chang C.C., Yu C.C.: On-line fault diagnosis using the signed directed graph, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **29**(7): 1290–1299, 1990.
- [9] Chen J., Patton R.: *Robust model-based fault diagnosis for dynamic systems*, Kluwer Academic Publishers, Boston 1999.
- [10] Cooper G.F.: The computational complexity of probabilistic inference using Bayesian belief networks (research note), *Artificial Intelligence*, **42**(2–3): 393–405, 1990.

- [11] de Flaugergues V., Cocquempot V., Bayart M., Pengov M.: Structural analysis for FDI: a modified, invertibility-based canonical decomposition, [w:] *20th International Workshop on Principles of Diagnosis*, str. 59–66, 2009.
- [12] Dempster A.P.: Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping, *The Annals of Mathematical Statistics*, **38**(2): 325–339, 1967.
- [13] Düstegör D., Frisk E., Cocquempot V., Krysander M., Staroswiecki M.: Structural analysis of fault isolability in the damadics benchmark, *Control Engineering Practice*, **14**: 597–608, 2006.
- [14] Frank P.M.: Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy, *Automatica*, **26**: 459–474, 1990.
- [15] Frank P.M.: Fault diagnosis in dynamic systems via state estimations methods. A survey, [w:] *System Fault Diagnostics, Reliability and Related Knowledge Based Approaches*, G. Tzafestas i in. (red.), tom 2, D. Reidl Publishing Company, Dordrecht 1987.
- [16] Gertler J.: *Fault detection and diagnosis in engineering systems*, Marcel Dekker, Inc., New York–Basel–Hong Kong 1998.
- [17] Himmelblau D.: *Fault detection and diagnosis in chemical and petrochemical processes*, Elsevier, Amsterdam 1978.
- [18] Indra S., Travé-Massuyès L., Chanthery E.: Decentralized diagnosis with isolation on request for spacecraft, *Preprints of the 8th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, **8**(PART 1): 283–288, 2012.
- [19] Isermann R.: *Fault diagnosis systems. An introduction from fault detection to fault tolerance*, Springer-Verlag, Nowy Jork 2006.
- [20] Isermann R.: Model-based fault-detection and diagnosis – status and applications, *Annual Reviews in Control*, **29**(2005): 71–85, 2005.
- [21] Isermann R., Ballé P.: Trends in the application of model-based fault detection and diagnosis of technical process, *Control Eng. Practice*, **5**(5), 709–719, 1997.
- [22] Kernighan B.W., Lin S.: An efficient heuristic procedure for partitioning graphs, *Bell System Technical Journal*, **49**(2): 291–307, 1970.
- [23] Korbicz J.: Robust fault detection using analytical and soft computing methods, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, **54**(1), 75–88, 2006.
- [24] Korbicz J., Kościelny J.M. (red.): *Modelowanie, diagnostyka i sterowanie nadrzędne procesami. Implementacja w systemie DiaSter*, WNT, Warszawa 2009.
- [25] Korbicz J., Kościelny J.M. (red.): *Modeling, diagnostics and process control. Implementation in the diaster system*, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg 2010.
- [26] Korbicz J., Kościelny J.M. Kowalczyk Z., Cholewa W. (red.): *Fault Diagnosis: models, artificial intelligence methods, applications*, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg 2004.
- [27] Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W. (red.): *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*, WNT, Warszawa 2002.
- [28] Kościelny J.: Application of fuzzy logic fault isolation in a three-tank system, *IFAC Proceedings Volumes*, **32**(2): 7754–7759, 1999.
- [29] Kościelny J., Syfert M.: Current diagnostics of power boiler system with use of fuzzy logic, *IFAC Proceedings Volumes*, **33**(11): 669–674, 2000.
- [30] Kościelny J., Syfert M., Fajdek B., Kozak A.: The application of a graph of a process in HAZOP analysis in accident prevention system, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **50**(2017): 55–66, 2017.
- [31] Kościelny J., Syfert M., Wnuk P.: Advanced monitoring and diagnostic system ‘AMandD’, *IFAC Proceedings Volumes*, **39**(13): 635–640, 2006.
- [32] Kościelny J.M.: Diagnostics of processes in decentralized structures, *Archives of Control Sciences*, **7**(3/4): 181–202, 1998.

- [33] Kościelny J.M.: *Diagnostyka ciągłych zautomatyzowanych procesów przemysłowych metodą dynamicznych tablic stanu*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Elektronika, z. 95, Warszawa 1991.
- [34] Kościelny J.M.: Diagnostyka on-line aparatury technologicznej i układów automatyki metodą DTS – dynamicznych tablic stanu, *Archiwum Automatyki i Telemekhaniki*, 4/1988, str. 593–606, 1988.
- [35] Kościelny J.M.: *Diagnostyka zautomatyzowanych procesów przemysłowych*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.
- [36] Kościelny J.M.: Fault isolation in industrial processes by dynamic table of states method, *Automatica*, **31**(5): 747–753, 1995.
- [37] Kościelny J.M.: Recognition of fault in the diagnosing process, *Applied Mathematics and Computer Science*, **3**(3): 559–572, 1993.
- [38] Kościelny J.M., Bartyś M.: The requirements for a new layer in the industrial safety systems, *9th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, Safeprocess 2015, At: Arts de Métiers ParisTech, Paryż, tom 1333–1338, 2015.
- [39] Kościelny J.M., Bartyś M., Rzepiejewski P., Sá da Costa J.: Actuator fault distinguishability study, *Control Engineering Practice*, **14**: 645–652, 2006.
- [40] Kościelny J.M., Bartyś M., Syfert M.: Diagnostics of industrial processes in decentralised structures with application of fuzzy logic, 17th World Congress of IFAC, *IFAC Proceedings Volumes*, **41**(2): 6944–6949, 2008.
- [41] Kościelny J.M., Bartyś M., Syfert M.: Method of multiple fault isolation in large scale systems, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, **20**(5): 1302–1310, 2012.
- [42] Kościelny J.M., Leszczyński M., Gąsecki A., Syfert M.: Monitoring of the degree of coking in H-Oil Plant, *IFAC Proceedings Volumes*, **42**(8): 1258–1263, 2009.
- [43] Kościelny J.M., Łabęda-Grudziak Z.: Double fault distinguishability in linear systems, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, **23**(2): 395–406, 2013.
- [44] Kościelny J.M., Ostasz A.: Application of causal graph GP for description of diagnosed process, *IFAC Proceedings Volumes*, **36**(5): 801–806, 2003.
- [45] Kościelny J.M., Pieniążek A.: Algorithm of fault detection and isolation applied for evaporation unit in sugar factory, *Control Engineering Practice*, **2**(4): 649–657, 1994.
- [46] Kościelny J.M., Rostek K., Syfert M., Szyber A.: Fault isolability with different forms of faults-symptoms relation, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, **26**(4): 815–826, 2016.
- [47] Kościelny J.M., Sikora A.I.: Dekompozycja złożonych obiektów diagnozowania, *Archiwum Automatyki i Telemekhaniki*, **1/1991**: 115–131, 1991.
- [48] Kościelny J.M., Syfert M.: Application properties of methods for fault detection and isolation in the diagnosis of complex large-scale processes. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, **62**(3): 571–582, 2014.
- [49] Kościelny J.M., Syfert M.: Fuzzy diagnostic reasoning that takes in to account the uncertainty of the faults-symptoms relation, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, **16**(1): 27–35, 2006.
- [50] Kościelny J.M., Syfert M.: Fuzzy logic application to diagnostic of industrial processes, *IFAC Proceedings Volumes*, **36**(5): 711–716, 2003.
- [51] Kościelny J.M., Syfert M.: Robust diagnostics of complex chemical processes: main problems and possible solutions, *Chemical and Process Engineering*, **39**(2): 1–19, 2018.
- [52] Kościelny J.M., Syfert M., Leszczyński M., Gąsecki A.: Pilot tests of the advanced system of process diagnostics in PKN ORLEN, *Pomiary Automatyka Kontrola*, **55**(3/2009): 136–140, 2009.
- [53] Kościelny J.M., Syfert M., Szyber A.: *Rozróżnialność uszkodzeń w diagnostyce złożonych obiektów dynamicznych*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2019.

- [54] Kościelny J.M., Syfert M., Tabor Ł.: Application of Knowledge about Residuals Dynamics for Fault Isolation and Identification, *Conference on Control and Fault-Tolerant Systems. SysTol'13, Nice, IEEE Xplore Digital Library*, str. 275–280, 2013.
- [55] Kościelny J.M., Syfert M., Wnuk P.: The Idea of On-line Diagnostics as a Method of Cyberattack, [w:] *Advanced Solutions in Diagnostics and Fault Tolerant Control*, str. 449–457, Springer, 2017.
- [56] Kościelny J.M., Szyber A.: Metoda wnioskowania diagnostycznego uwzględniająca niepewności symptomów na drodze fuzji teorii Bayes'a i logiki rozmytej, [w:] Kowalczyk Z., Domżański M.: *Advanced Systems for Automation and Diagnostics*, str. 117–128, Pomorskie Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2015.
- [57] Kościelny J.M., Szyber A.: Decomposition of complex diagnostic systems, *Preprints of the 10th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, str. 755–762, 2018.
- [58] Kościelny J.M., Szyber A., Syfert M.: *Graph description of the process and its applications*, *Trends in Advanced Intelligent Control, Optimization and Automation*, str. 550–559, Springer 2017.
- [59] Kościelny J.M., Zakroczyński K.: Fault isolation algorithm that takes dynamics of symptoms appearances in to account, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, **49**(2): 323–336, 2001.
- [60] Kościelny J., Sędziak D., Zakroczyński K.: Fuzzy logic fault isolation in large scale systems, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, **9**(3): 637–652, 1999.
- [61] Kramer B.L., Palowitch M. A.: A rule-based approach to fault diagnosis using the signed directed graph, *AIChE Journal*, **33**(7): 1067–1078, 1987.
- [62] Leonhardt S., Ayoubi M.: Methods of fault diagnosis, *Control Eng. Practice*, **5**(5): 683–692, 1997.
- [63] Ligęza A., Kościelny J.M.: A new approach to multiple fault diagnosis. Combination of diagnostic matrices, graphs, algebraic and rule-based models. The case of two-layer models, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, **18**(4): 465–476, 2008.
- [64] Łabęda-Grudziak Z.: *Zastosowanie addytywnego modelu regresji do generacji residuów dla potrzeb detekcji uszkodzeń*, Rozprawa doktorska, PW, Wydział Mechatroniki, Warszawa 2011.
- [65] Patton R., Frank P., Clark R. (red.): *Issues of fault diagnosis for dynamic systems*, Springer-Verlag, Londyn 2000.
- [66] Pawlak M., Kościelny J.M. Wasiewicz P.: Method of increasing the reliability and safety of the processes through the use of fault tolerant control systems, *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, **17**(3) 398–407, 2015.
- [67] Pawlak Z.: *Rough Sets. Theoretical aspects of reasoning about data*, Springer Netherlands, 1991.
- [68] Pawlak Z.: *Systemy informacyjne. Podstawy teoretyczne*, WNT, Warszawa 1983.
- [69] Pearl J.: *Probabilistic reasoning in intelligent systems. Networks of plausible inference*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, 1988.
- [70] Piegat A.: *Fuzzy Modelling and Control*, Springer, Berlin 2001.
- [71] Pulido B., Zamarre J.M.: Using structural decomposition methods to design gray-box models for fault diagnosis of complex industrial systems: a beet sugar factory case study, *First European Conference of the Prognostics and Health Management Society*, 2012.
- [72] Samantaray A., Medjaher K., Bouamama B.O., Staroswiecki M., Dauphin-Tanguy G.: Diagnostic bond graphs for online fault detection and isolation, *Simulation Modelling Practice and Theory*, **14**(3): 237–262, 2006.
- [73] Sędziak D.: *Metoda lokalizacji uszkodzeń w procesach przemysłowych*, Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Warszawa 2001.
- [74] Shafer G.: *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, 1976.
- [75] Shiozaki J, Matsuyama H., Tano K., O'Shima E.: Fault Diagnosis of Chemical Processes by the Use of Signed Directed Graphs: Extension to Five-Range Patterns of Abnormality, *International Chemical Engineering*, **37**(4): 651–659, 1985.

- [76] Shortliffe E.H., Buchanan B.G.: *A Model of Inexact Reasoning in Medicine, Readings in uncertain reasoning*, str. 259–275, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, 1990.
- [77] Siljak D.: *Large-Scale Dynamic Systems: Stability and Structure*, North Holland, Nowy Jork 1978.
- [78] Syfert M.: *Diagnostyka obiektów złożonych z wykorzystaniem modeli cząstkowych i logiki rozmyte*, Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Warszawa 2003.
- [79] Syfert M., Bartyś M., Kościelny J.M.: Refinement of Fuzzy Diagnosis in Decentralized Two-Level Diagnostic Structure, *Preprints of the 10th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, str. 160–167, 2018.
- [80] Syfert M., Kościelny J.M.: Diagnostic Reasoning Based on Symptom Forming Sequence, *IFAC Proceedings Volumes*, **42**(8): 89–94, 2009.
- [81] Syfert M., Kościelny J.M., Bartyś M.: A Fuzzy Inference Approach to Fault Diagnosis Refinement in Decentralized Diagnostics, [w:] *Advanced Solutions in Diagnostics and Fault Tolerant Control*, str. 143–154, Springer, 2017.
- [82] Syfert M., Rzepiejewski P., Wnuk P., Kościelny J.M.: Current diagnostics of the evaporation station, *IFAC Proceedings Volumes*, **38**(1): 365–370, 2005.
- [83] Syfert M., Wnuk P., Kościelny J.M.: DiaSter – Intelligent system for diagnostics and automatic control support of industrial processes, *JAMRIS – Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, **5**(4): 41–46, 2011.
- [84] Szyber A.: *Metoda doboru zbioru sensorów dla diagnostyki procesów przemysłowych na podstawie grafu przyczynowo-skutkowego*, Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Warszawa 2015.
- [85] Szyber A., Kościelny J.M.: Diagnostic reasoning framework combining fuzzy logic and dempster-shafer theory, *IEEE Xplore Digital Library, IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM)*, Ottawa, Ontario, 2016.
- [86] Szyber A., Ostasz A., Kościelny J.M.: Graph of a Process – a new tool for finding model's structures in model based diagnosis, *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics: Systems*, **45**(7): 1004–1017, 2015.
- [87] Venkatasubramanian V., Rengaswamy R., Kavuri S.N.: A review of process fault detection and diagnosis, Part II: Qualitative model and search strategies, *Computers and Chemical Engineering*, **27**: 313–326, 2003.
- [88] Venkatasubramanian V., Rengaswamy R., Kavuri S.N., Yin K.: A review of process fault detection and diagnosis, Part III: Process history based methods, *Computers and Chemical Engineering*, **27**: 327–346, 2003.
- [89] Venkatasubramanian V., Rengaswamy R., Yin K., Kavuri S.N.: A review of process fault detection and diagnosis, Part I: Quantitative model-based methods, *Computers and Chemical Engineering*, **27**: 293–311, 2003.
- [90] Witczak M.: *Modelling and estimation strategies for fault diagnosis of non-linear systems. From analytical to soft computing approaches*, Springer-Verlag, Berlin 2007.
- [91] Wnuk P., Kościelny J.M.: Diagnostic system decomposition with genetic optimization, *Pomiary Automatyka Kontrola*, Nr 6/2011, 641–647, 2011.
- [92] Yager R.R., Filev D.P.: *Essentials of Fuzzy Modelling and Control*, Wiley & Sons, Inc., 1994.
- [93] Zadeh L.: Fuzzy sets, *Information and Control*, **8**(3): 338–353, 1965.