POLITECHNIKA WARSZAWSKA

WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA

Rozprawa doktorska

mgr inż. Krzysztof Maj

Model hybrydowy wspomagania decyzji
dla elektrowni systemowej

Promotor

prof. dr hab. inż. Tadeusz Krupa

WARSZAWA 2019

Streszczenie

Obserwowany w ostatnich latach zarówno w Polsce, jak i na świecie trend, mający na celu podniesienie poziomu bezpieczeństwa energetycznego, nieodwracalnie zmienił specyfikę zarządzania w elektroenergetyce. Tradycyjne metody zarządzania w tym sektorze, zaczęły być niewystarczające w stosunku do szybko zmieniającej się dynamiki otoczenia. Zwiększony popyt na energię elektryczną coraz częściej powoduje występowanie niedoboru podaży tego dobra. Problem tkwi w niemożności jego zmagazynowania, ponieważ jest ono wytwarzane jako *„in statu nascendi"*.

Pojawiają się coraz częściej różnorodne w swojej naturze sytuacje kryzysowe, będące wynikiem niedostosowania możliwości wytwórczych przedsiębiorstw odpowiedzialnych za produkcję tego dobra do tempa wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną. Sytuacje te naruszają bezpieczeństwo energetyczne zarówno poszczególnych krajów, jak i w skali globalnej. Taki stan rzeczy powoduje problemy z racjonalnym gospodarowaniem energią, zarówno po stronie jej wytwarzania, jak i użytkowania.

Ponieważ cechą charakterystyczną energii elektrycznej wyprodukowanej przez elektrownie jest brak możliwości jej magazynowania, dlatego wytwarzające ją w tym samym czasie elektrownie, pracujące równolegle w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE), będącym częścią systemu europejskiego, muszą dostosowywać swoje obciążenie do zmian zapotrzebowania na moc występujących w tym systemie. Można stwierdzić, że z jednej strony istnieje ciągłe wymuszanie pracy elektrowni przez popyt na energię ze strony odbiorców przyłączonych do sieci elektroenergetycznej, z drugiej zaś konsumenci w danej chwili mogą pobierać tylko taką moc, jaka może być wytworzona przez elektrownie. Nawet chwilowe pozbawienie odbiorców energii może spowodować określone implikacje natury gospodarczej, dlatego wymagana jest wysoka niezawodność całego systemu elektroenergetycznego. W przypadku wystąpienia stanu zagrożenia tego systemu, spowodowanego różnymi sytuacjami kryzysowymi, dochodzi do jego destabilizacji.

Stabilne funkcjonowanie rynku energii elektrycznej, polegające na właściwym bilansowaniu popytu i podaży energii przy zachowaniu mechanizmów konkurencji, sprawnej wymianie informacji pomiędzy uczestnikami rynku, a w szczególności jego najważniejszym segmentem - Rynkiem Bilansującym, jest uwarunkowane niezawodnością infrastruktury technicznej. Oprócz hardwaru w jej skład wchodzą zaawansowane systemy informatyczne: rozliczeniowo-pomiarowe oraz telekomunikacyjne, służące wymianie danych o charakterze techniczno-handlowym (np. plany koordynacyjne, oferty kupna, sprzedaży

i akceptacje). Infrastruktura techniczna i systemy informatyczne odpowiedzialne za proces technologiczny wytwarzania prądu elektrycznego tworzą Infrastrukturę Krytyczną elektrowni.

Podstawowym zadaniem rozwiązań informatycznych na rzecz energetyki jest zapewnienie we właściwym czasie przepływu wiarygodnej informacji pomiędzy uczestnikami Krajowego Rynku Energii Elektrycznej. Jako priorytety przy projektowaniu i wdrażaniu tych systemów uznano: stabilność Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) w Polsce, integralność sieci przesyłowej oraz niezawodność i jakość dostaw energii elektrycznej. Ich konsekwentna realizacja zapewnia bezpieczeństwo energetyczne kraju.

Analiza literatury przedmiotu oraz dostępnych informacji obnaża zarówno rażący brak badań w zakresie problemu bezpieczeństwa energetycznego w odniesieniu do Infrastruktury Krytycznej elektrowni systemowych, jak i niedostatek stosownych publikacji. Z jednej strony dostępna literatura poruszająca problem sytuacji kryzysowych w przedsiębiorstwach (rzadko elektroenergetycznych) dotyczy wyłącznie ich aspektu ekonomicznego (kryzysów finansowych). Z drugiej natomiast - w przeprowadzonych badaniach oraz dostępnych opracowaniach koncentrowano się głównie na modelach prognozujących ryzyko wystąpienia sytuacji kryzysowej przedsiębiorstw, bez dokonania analizy przyczyn występowania tego zjawiska. Badania te dotyczyły w większości sytuacji kryzysowych, których źródłem były perturbacje ekonomiczno-gospodarcze, zła koniunktura etc. Nie można więc mówić o szczególnej przydatności tych opracowań przy podejmowaniu racjonalnych działań w sytuacjach kryzysowych. Przyjęte rozwiązania są zbyt ogólne i nie sprawdzają się w praktyce, np. nie zapobiegają awariom systemowym, które skutkują wyłączeniem bloków energetycznych w elektrowniach.

W oparciu o powyższe przesłanki można mówić o ograniczonej przydatności tych opracowań do zarządzania infrastrukturą energetyczną w warunkach kryzysu. Odczuwa się również istotny brak metod i modeli zarządzania pozwalających (w chwili zagrożenia systemu elektroenergetycznego) utrzymać gotowość technologiczną maszyn i urządzeń odpowiedzialnych za wytwarzanie i przesył energii elektrycznej, co w konsekwencji zapewniałoby ciągłość pracy elektrowni systemowych.

Poważnym utrudnieniem przy podejmowaniu decyzji w warunkach sytuacji kryzysowej jest brak wymiaru aplikacyjnego badań. Niezmiernie ważny jest także realny, groźny symptom XXI wieku określany mianem cyberterroryzmu.

Przestępstwa komputerowe występujące do niedawna jako pojedyncze incydenty, stały się obecnie niemal powszechnym zjawiskiem. Uderzają one w największe korporacje,

a w niektórych przypadkach są wręcz narzędziem walki politycznej, jakie wykorzystuje wiele państw czy organizacji terrorystycznych.

W rozprawie przedstawiono koncepcję Modelu Hybrydowego Systemu Wspomagania Decyzji, który w sposób ciągły monitoruje relacje, jakie zachodzą na płaszczyźnie - elektrownia i jej otoczenie. Metoda oparta na modelu hybrydowym zapobiega sytuacji kryzysowej w elektrowni systemowej spowodowanej takimi zagrożeniami, jak: przeciążenia bloku z następstwem jego awaryjnego wyłączenia, braku transmisji danych techniczno-ekonomicznych oraz modyfikacji danych biznesowych.

Słowa kluczowe

Zarządzanie kryzysowe, bezpieczeństwo energetyczne, infrastruktura krytyczna, elektrownia systemowa, model hybrydowy, wspomaganie decyzji, problem decyzyjny, sieci neuronowe, sztuczna inteligencja, algorytm genetyczny, Rynek Energii Elektrycznej, sytuacja kryzysowa, ciągłość działania, poziomy gotowości technologicznej, proces decyzyjny, ryzyko.

Summary

The trend observed in the past few years, aiming at raising the level of energy safety both in Poland and in the world, has changed irreversibly the management specificity in the electrical energy industry. Traditional methods of management in this sector began to be insufficient in relation to the present quickly changing dynamics of the environment.

A higher demand for electrical energy causes more and more frequently a situation of deficiency in supply of the goods. The problem lies in the impossibility of its storage because this commodity is produced as "in *statu nascendi*". More and more crisis situations, which are various in their nature, occur as a result of inadequacy of the rate of demand growth and production possibilities of the plants responsible for the production of this good. These situations violate the energy safety both on the scale of a particular country and of the world. This condition causes problems with a rational energy management related to both its production and usage. As a characteristic feature of electrical energy produced by power plants is the lack of possibility of its storage, therefore power plants producing it at the same time, working simultaneously in The National Power Grid [Krajowy System Elektroenergetyczny (KSE)], which is a part of the European grid, have to adjust their load to the changes of the demand for power in this grid. Thus, it may be said that on one hand, there is a constant forcing of a power plant to work through the demand for energy by its customers connected to power grids and on the other hand, consumers may only draw such amounts of power as may be produced by power plants at the given time. Even an instantaneous cut-off of energy for its customers may cause particular economic loss and therefore a high reliability of the whole grid is required. When there is a threat to the system, caused by various crisis situations, it becomes destabilized.

Stable functioning of the whole market of electrical energy, consisting in an appropriate balancing of the demand and supply of energy at the maintenance of competition mechanisms, an efficient Exchange of information between the market participants and especially its most important segment – the Balancing Market, is conditioned by the reliability of technical infrastructure, which consist of, apart from hardware, advanced information technology systems: calculation-measuring and telecommunications, being used to exchange data of technical-trading type (e.g. coordination plans, purchase and sales offers and acceptances). Technical infrastructure and information systems responsible for the technological process of generating electricity constitute Critical Infrastructure of the given power plant.

The basic task of information technology solutions for the electrical energy industry is to provide correct and reliable information at the proper time between the participants of The National Market of Electrical Energy. It has been declared that the priority for the projecting and implementing of these information technology systems is the stability of The National Market of Electrical Energy in Poland, as well as integrity of the transmission grid and the reliability of the quality of electrical energy supply, which finally secures energy safety of the whole country.

Literature and factographic analysis reveal a substantial shortage of publications and research in the area of the issue under discussion about energy security in relation to Critical Infrastructure of system power plants. On one hand, available subject literature raising the issue of crises situations in utilities (seldom in electrical energy ones) concerns exclusively their economic sphere (financial crisis), on the other hand, available studies and conducted research were mainly focused on models predicting a risk of a crisis situation occurring in utilities without an analysis of the causes of this phenomenon. The research mainly concerned crisis situations, the sources of which were economic perturbations, bad economic situation etc. Therefore, one cannot talk about the usefulness of these studies to rational actions in crisis situations. The solutions adopted are too general and are not applicable in practice, as evidenced by system failures due to shutdowns of power units in power plants.

On the basis of the above premises, one can speak about the limited usefulness of above-mentioned studies for management under crisis conditions. There is also a serious lack of methods and management models allowing (at the time of the power system threat) to maintain the technological readiness of machines and devices responsible for the generation and transmission of electricity, which in turn would ensure continuity of system power plants functioning. A serious impediment in making decisions in the conditions of a crisis situation is a shortage of applicative dimensions of research. Such a condition causes that even well elaborated models are not adequate tools in supporting a management decision in the phases of predicting crisis situations in electrical energy utilities.

A serious difficulty in making decisions in a crisis situation is the lack of an application dimension of research. The complement is the real, dangerous symptom of the 21st century, known as cyber terrorism.

Computer crimes, until recently occurring as isolated incidents, have now become a large-scale practice and hit the largest corporations, and in some cases are even tools of political struggle that many states or terrorist organizations use.

The dissertation presents the concept of the Hybrid Decision Support System Model, which continuously monitors the relationships that occur between the power plant and its surroundings. The method based on the hybrid model prevents a crisis in the system power plant caused by the following risks: overloading of the block due to its emergency shutdown, lack of technical and economic data transmission and modification of business data.

Key words

Crisis management, energy security, critical infrastructure, system power plant, hybrid model, decision support, decision problem, neural networks, artificial intelligence, genetic algorithm, Electricity Market, crisis situation, business continuity, technological readiness levels, decision-making process, risk.