

Energy Supply Security Valuation in Industrial Plant

Authors

Maksymilian Mikołaj Przygodzki
 Krzysztof Siekierski

Keywords

energy supply security, interruption costs, energy carriers

Abstract

Energy supply security in industrial plant management – as regards the procurement method and reliability of supplies required for production processes – is one of many important issues. The plant size, available financial resources, process complexity, energy carriers types and parameters required by process equipment, requirements for ensuring the security of energy carriers supply – they all matter when choosing a methodology for determining the approach to ensuring energy carriers supplies. The paper presents a concept of an approach to security valuation, including assessment of costs of losses due to interruptions in energy supply. The authors present a proposal of using incurred losses' details for the evaluation of investment in the development of infrastructure and sources that increase industrial plants' operational security.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2018106

Received: 13.02.2017

Accepted: 28.06.2017

Available online: 31.08.2018

1. Introduction

One of many important matters in industrial plant management is energy security. Issues related to ensuring the security of energy carriers supplies that will cover the demand of the plant's machinery and process equipment, relate mainly to two aspects – the procurement method and the level of reliability of supplies required to maintain the plant's production continuity. In terms of energy carriers procurement, purchasing strategies are developed, hence the following approaches to this issue can be identified:

- a) procurement from external suppliers of selected carriers only, while the remaining carriers are generated in-house based on the plant's own energy conversion assets
- b) a similar principle to point a), but the in-house generated energy is also offered to other recipients (surplus output resale), which allows reducing the unit costs of the generated carriers
- c) maximum reliance on the purchases from external suppliers and the generation of those carriers only that are not available on the local market.

The choice of an energy carriers procurement strategy is strongly conditioned not only by the local market's development, but also by locally available and the plant's own carriers transmission and distribution infrastructure, including its quality and the plant's sensitivity to energy carriers supply discontinuity.

Energy supply reliability is the subject of many studies [1, 2, 4]. The issue is considered mainly in the economic aspect and it determines the rationality of decisions with regard to energy carriers supply solutions [3, 5]. The supply reliability results from the capital expenditures on supply networks' construction and/or upgrades, as well as the costs of personnel for and implementation of the scheduled prevention, which determines the efficient operation of the entire energy infrastructure responsible for the energy supply security. Rational expenditure increase affects the improvement of energy supply reliability. On the other hand, it should be emphasized that underinvested areas of the energy infrastructure pose a risk of energy costs arising from its non-delivery. Reduction of capital expenditures on energy infrastructure increases the risk of potential costs due to the operation of grid infrastructure with decreasing reliability.

2. Energy supply security analysis

Energy supply security resulting from the power system's reliability level is a concept combining organizational, technical and economic aspects related to ensuring the continuity of energy supplies to the recipient, in accordance with applicable standards and agreements. It translates mainly into the recipient's potential losses due to the failure to meet standards or an occurrence of sudden energy supply interruptions.

It should be noted when analysing the above that from the recipient loss point of view the time interval of energy supply interruptions is extremely important, which mainly affects the costs due to such interruptions. For this reason, three security areas may be identified, as illustrated in Fig. 1. The power outage intervals shown in the figure, highlighted for their effects on the industrial plant, may be classified as follows:

- area I: current security, referring to short breaks – time interval from $t = 0$ to t_1 is of the order of several or a dozen minutes,
- area II: medium-term security – time interval from $t = 0$ to t_2 is of the order of several dozen minutes to several hours,
- area III: long-term security – time interval from $t = 0$ to t_3 ranges from several hours to even several days.

The need and method of ensuring security in an area depends mainly on the type of enterprise, its size and type of production processes, which are the factors determining its sensitivity to energy supply interruptions.

The required energy supply security depends on the plant type. This can be understood as the plant's size (output), technologies and many other factors that can be assigned to two areas affecting the expected supply security level – the area of organizational factors and the area of cost components.

It is most important to take into account the following organizational factors:

- activities ensuring the energy carriers supply security
- ensuring operation safety of the machinery and production equipment that may be affected by energy supply interruption
- effect of production lines' and processes' disorganization, which may result from energy supply interruption
- supply of energy carriers ordered from external suppliers
- number of delivery locations
- supply assurance guarantees in energy delivery contracts
- availability of reserve supply sources
- crisis management in case of longer energy supply interruptions.

The following cost components should be considered:

- costs of energy supply from reserve sources
- costs related to damage to components used for the

processes that have not been completed due to energy supply interruptions

- costs related to damage to machinery, equipment and tools at the moment of interruption of energy supplies to the processes
- costs related to downtimes of downstream process lines to which a component from immobilized technologies has not been supplied as a result of power outage
- cost of purchase on the market, often from the competition, of the components not produced due to a machinery and/or equipment damage resulting from energy supply interruption
- costs of transport of such alternatively purchased components
- lost benefits due to non-production of products
- in the case of longer downtimes caused mainly by damage to machinery and process lines, costs of the lost market
- costs of launching replacement technologies for the duration of repair of damaged machinery and process lines
- during equipment repair the costs of products manufactured in competitive plants, ordered to deliver as contracted products to customers and thus to avoid contractual penalties and loss of customers.

When undertaking actions to ensure the security of energy supply to an enterprise, it is first necessary to consider what types of costs can be generated in each supply security assurance layer and how these phenomena may affect the costs of other areas. Such an analysis will allow the optimal decision from the point of view of potential costs and of the plant's operation continuity assurance alike.

3. Security valuation

When perceiving energy security through the prism of needs and conditions related to ongoing production processes, it is necessary to present the key processes from the point of view of the plant's strategy and associated energy supply conditions. Consequently, the concept of security measure can be introduced and considered in reference to the duration of interruption in the supply of any required energy carriers, in terms of the following criteria:

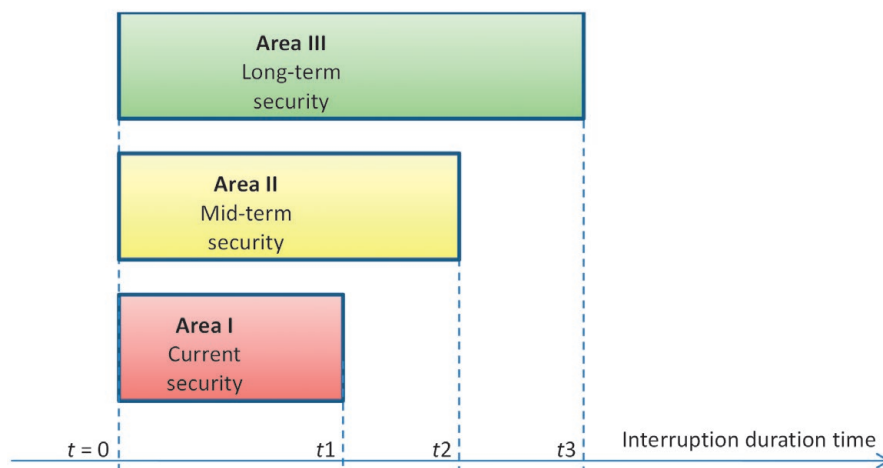


Fig. 1. Energy supply security areas

- insufficient coverage of the current demand for energy
- lack of coordination of simultaneous supplies of energy carriers required by processes, both in terms of delivery times and concurrent supplies
- interruptions in delivery of any or all required energy carriers
- time a process needs to restore its rated production parameters after a disturbance caused by the interruption or lack of one or more carriers supplies
- effects of disturbance in a process on other processes.

Energy management security in a plant, even with various organizational measures and process improvements implemented in the organization of energy carriers preparation, is an issue that requires the absolute discipline of all involved services in respect of adherence to adopted energy carriers delivery and receipt schedules, which conditions efficient day-to-day energy management in the plant. There are technical and organizational measures that are foreseen for the occurrence of crisis situations, involving additional specialist services and equipment to mitigate the effects of potential disruptions.

In view of the need to establish such energy carriers supply and receipt management, diagrams may be drawn of process lines' demand for energy carriers in a selected plant and then referred to their availability in supply networks. Depending on the plant size and the analysis reference scale, it may be a separate part of plant internal networks or, in the case of small units, the entire plant. The diagrams form the basis for analysis of the capacity to cover the demand considering the above-mentioned criteria.

From the point of view of enterprise size, location, company services' organization and financial capability, three groups of

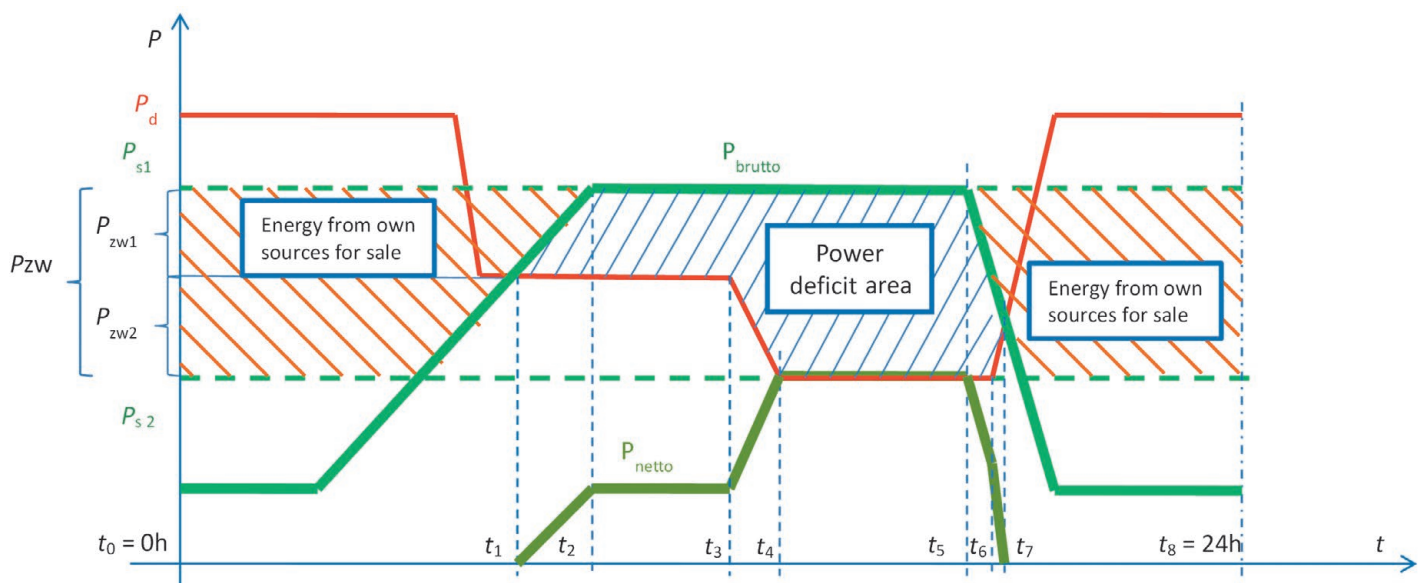
enterprises can be identified, where the coverage of demand for energy carriers can be analysed:

- group I** – small enterprises with one dominant process line
- group II** – enterprises with several processes and well-developed organization of company services
- group III** – large enterprises with extensive structure, divided into separate organizational units with their own services operating within units.

Fig. 2 presents an example of the relationship between a process line's demand for a necessary energy medium and its availability in an internal supply network. It may be any energy medium consumed in any process implemented in the enterprise.

Depending on the group to which the plant shown in Fig. 2 experiencing the problem of periodic deficit of its process line's power supply belongs, the problem solving, and optimisation options can be sought in the following areas:

- group I enterprise, where no supplies from nearby sources are available, must build its own capacity to cover the deficit plus a security provision
- group II enterprise with many process lines may spread the load over a day, which significantly reduces the aggregate demand for the medium below the sum of individual lines' power demands. This approach to aggregated power demand allows its optimisation. However, this requires the company services' strict adherence to agreed schedules of individual lines' demand for energy carriers and, in an emergency, coordination of activities resulting from adopted schedules of conduct in an emergency
- group III enterprise with the organisation made up of separate units in most cases cannot coordinate the schedules of process



P_d – power available in network
 P_{s1} – peak demand before own sources build
 P_{s2} – peak demand after own sources build
 P_{brutto} – current gross demand
 P_{netto} – current net demand
 P_{zw1}, P_{zw2} – powers of own sources

Fig. 2. Uncovered current gross demand for energy carrier

lines' demand for energy carriers in individual units. Then ordering energy supplies according to the economies of scale remains, which is demonstrated by long-term measurements, e.g. for several weeks or months, depending on the type of technologies in place, their pace, and cycles repeatability.

In a situation where, despite the organizational measures taken, it is not possible to determine the power demand for any medium supplied below the power available in the multi-carrier network supplying a group II or III enterprise, then the enterprise must build its own generating capacity to cover the deficits, or new lines for transport of energy from nearby sources [4].

Much greater involvement of the plant's services is required for coordination of process lines' operation in terms of the delivery schedule of several energy carriers factors demanded by equipment installed in these lines.

On the path of building own in-house capacity to generate energy carriers unavailable from external suppliers, it is worth following the principle of decentralization. Sources will then be located as close as possible to the group of devices which demands the energy medium. It may take more capital expenditures than in the centralized model, but it allows for flexible management of the medium supply, especially where it is necessary to carry out repair, overhaul or at least inspection of devices used to convert energy carriers.

The use of modern information technology capabilities for monitoring parameters of available energy carriers, in nodes and in individual elements of a multi-carrier power grid, and for energy distribution management, enables the creation of an advanced grid management system that uses:

- grid configuration optimisation with a view to ensuring security of the energy supplies to where it is currently demanded, including:
 - grid management in a manner that does not lead to overloads that may result in a failure
 - assurance of energy supplies' required parameters
 - minimizing transmission losses
- energy conversion in individual grid nodes to increase the flexibility of energy supplies and to allow their pricing
- immediate response in emergencies and immediate launch of procedures to minimise impact area and severity, which significantly improves the overall availability of these grids, covering the existing demand and the security and reliability of energy supply.

4. Security measures

Taking into account the above considerations, specific measures of energy management security in industrial plant may be identified, and then a procedure for evaluating this security may be adopted, aimed at determining the optimal energy carriers use. Before the energy management security measure is identified, the losses should be determined that may arise due to:

- a) failure to start scheduled production because of current energy supply deficit – losses marked with the symbol $S(a)$
- b) failure to complete production because of lack of correlation of the concurrence and level of supplies required by the processes – losses marked with symbol $S(b)$

c) costs of damage to processed or produced material because of interruption of supply of any or all required energy carriers – losses marked with symbol $S(c)$

d) costs of damage to machinery and equipment because of interruption of supply of any or all required energy carriers – losses marked with symbol $S(d)$.

Losses P_{spe} due to the above reasons, which are in direct relation to the energy supplied, can be formulated as:

$$P_{spe} = S(a) + S(b) + S(c) + S(d) \quad (1)$$

Therefore, the measure of energy management security in an industrial plant will be the ratio of actual production output in a period, e.g. a month, to production output that could be accomplished if no production cycle was disturbed due to energy supply related reasons.

The concept of energy management security B_{ze} may be quantified by the flowing formula:

$$B_{ze} = \frac{P_r}{P_n} \quad (2)$$

where: P_r – actual production output in a period, P_n – production output that could be accomplished if no production cycle was disturbed due to energy supply related reasons.

The findings made so far show that:

$$P_{spe} = P_n - P_r \quad (3)$$

hence:

$$B_{ze} = \frac{P_n - P_{spe}}{P_n} = 1 - \frac{P_{spe}}{P_n} \quad (4)$$

The ratio of the losses due to energy supply disruption to the output that could be accomplished if no production cycle was disturbed due to energy supply related reasons recorded in the above formula was marked as W_{spe} . Coefficient W_{spe} is an estimated relative indicator of production losses incurred due to disruptions in energy supplies to the plant. Taking into account the above symbols, formula (4) can be expressed as:

$$B_{ze} = 1 - W_{spe} \quad (5)$$

It should be emphasized that the estimated relative production loss indicator illustrates the importance of energy management security issues on the scale of the production potential of the entire plant.

5. Summary

The considerations present general principles and methods of conduct with regard to energy management security to prevent or reduce losses, marked with symbols $S(a)$ and $S(b)$. Losses – marked with symbols $S(c)$ and $S(d)$ – relate to a sudden energy carriers supply interruption that cannot be covered from reserve sources. In a plant's stable operation and with proper delivery of energy carriers sufficient to cover the current demand in terms of quantity, timing, and delivery certainty of the carriers and their

correlation with deliveries of other carriers required in individual processes, it can be assumed that losses $S(a)$ and $S(b)$ are close to 0. Therefore, it can be assumed for a plant's stable operation that energy supply related losses may result only from a sudden interruption in the supply of any or most energy carriers that limit proper performance.

Because the supply of energy factors may be interrupted at any time of the plant's operation and in most cases without notice that could trigger actions to minimize losses that may arise due to this reason, there is a need for appropriate analyses. Such analyses should be based on guidelines - which energy security area the plant belongs to, how sensitive its technologies are to possible energy supply interruptions, and what costs of $S(c)$ i $S(d)$ losses should be expected.

In extreme cases it may turn out that:

- plant technologies are not sensitive to sudden interruptions in energy supply (they mainly belong to the third energy security area), therefore the $S(c)$ and $S(d)$ costs are practically irrelevant, which means that searching for a solution aimed at minimum costs of losses due to energy supply disruption in the plant should focus mainly on the $S(a)$ and $S(b)$ costs and on look for an alternative solution with acceptable costs on this basis
- plant technologies are very sensitive to sudden interruptions in energy supply (they belong mainly to the first energy security area), in which case the $S(c)$ and $S(d)$ cost may be critical for the plant's continuous smooth operation. Then the search for a solution aimed at the optimum electricity management security should focus mainly on costs $S(c)$ and $S(d)$ and look for a solution adequate to them.

Of course, in between the extreme cases there are instances of plants with some technologies in the first energy security area and some in the second and third areas.

Therefore, to obtain the optimum electricity management security solution an industrial plant must:

- carefully analyse its technologies in terms of:
 - coverage of current demand for energy carriers
 - assurance of demanded energy carriers' concurrent supplies
 - sensitivity to possible supply interruptions
- estimate possible costs: $S(a)$, $S(b)$, $S(c)$, $S(d)$.

The solutions should be sought according to information and results obtained from this analysis.

REFERENCES

1. Janosz A., Sołtysik M., "Customer in the capacity market in the context of qualitative regulation model" [in:] Capacity Market in Contemporary Economic Policy, ed. K. Zamasz, Difin, Warsaw 2015.
2. Paska J., "Wybrane aspekty optymalizacji niezawodności systemu elektroenergetycznego" [Selected aspects of power system reliability optimization], *Eksploatacja i Niezawodność*, t. 15, No. 2, 2013.
3. Paska J., "Ekonomiczny wymiar bezpieczeństwa elektroenergetycznego i niezawodności zasilania" [The economic dimension of energy security and reliability of supply], *Rynek Energii*, No. 2, 2013.
4. Przygodzki M., "Modelowanie rozwoju sieci elektroenergetycznej współpracującej ze źródłami rozproszonymi" [Modeling of development of power grid with connected dispersed sources], Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
5. Siekierski K., Przygodzki M., "Układ poligeneracyjny jako jeden z elementów rozwoju wielonośnikowych zakładowych sieci mediów" [Polygeneration system as an element of development of industrial multi-carrier energy networks], *Energetyka*, No. 2, 2015.

Maksymilian Mikołaj Przygodzki

PSE Innowacje sp. z o.o. Silesian University of Technology

e-mail: maksymilian.przygodzki@pse.pl

Assistant professor at the Institute of Power Engineering and Control Systems of the Silesian University of Technology in Gliwice, expert at PSE Innovations sp. z o.o. Addresses issues related to power grid performance, particularly in the long-term horizon, and issues related to distributed energy.

Krzysztof Siekierski

Grupa KĘTY SA

e-mail: ksiekierski@grupakety.com

Specialist electrician in Grupa KĘTY SA. Doctoral student at the Institute of Electrical Power and Systems Control of Silesian University of Technology in Gliwice. His professional interests focus on plant's production and its continuity, repair and maintenance management, as well as operations on external market in implementation of capex projects, provision of maintenance services, metalworking, electrical work, automatic process controls' design and execution.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 56–60. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Wartościowanie bezpieczeństwa energetycznego w zakładzie przemysłowym

Autorzy

Maksymilian Mikołaj Przygodzki
Krzysztof Siekierski

Słowa kluczowe

bezpieczeństwo energetyczne, koszty strat, czynniki energetyczne

Streszczenie

Bezpieczeństwo energetyczne w obszarze zarządzania zakładem przemysłowym – dotyczące sposobu zaopatrywania oraz poziomu wymaganej niezawodności dostaw koniecznych do realizowania procesów produkcyjnych – jest jednym z wielu istotnych zagadnień. Wielkość zakładu, środki finansowe, którymi dysponuje, stopień skomplikowania realizowanych w zakładzie technologii, rodzaj zapotrzebowanych przez urządzenia technologiczne czynników energetycznych i ich parametrów, wymagania dotyczące zapewnienia bezpieczeństwa dostaw czynników energetycznych – wszystkie one mają znaczenie, gdy wybiera się metodykę określenia sposobów podejścia do zapewnienia dostaw czynników energetycznych. W artykule przedstawiono koncepcję podejścia do wartościowania bezpieczeństwa, w tym oceny kosztów strat z tytułu powstania przerwy w dostawie energii. Autorzy przedstawili propozycję wykorzystania informacji o poziomie ponoszonych strat do oceny poziomu inwestowania w rozwój infrastruktury i źródeł zwiększających bezpieczeństwo funkcjonowania zakładów przemysłowych.

Data wpływu do redakcji: 13.02.2017

Data akceptacji artykułu: 28.06.2017

Data publikacji online: 31.08.2018

1. Wstęp

Jednym z wielu istotnych zagadnień w obszarze zarządzania zakładem przemysłowym jest bezpieczeństwo energetyczne. Kwestie związane z zapewnieniem bezpieczeństwa dostaw czynników energetycznych, które pokrywają zapotrzebowanie przez maszyny i urządzenia technologiczne zakładu przemysłowego, dotyczą zasadniczo dwóch aspektów – sposobu zaopatrywania oraz poziomu wymaganej niezawodności dostaw do realizowanych procesów produkcyjnych.

W aspekcie zaopatrzenia w czynniki energetyczne budowane są strategie zakupowe zakładu, stąd można wyróżnić następujące sposoby podejścia do tej problematyki:

- zakup tylko wybranych rodzajów czynników od dostawców zewnętrznych, pozostałe czynniki wytwarzane są wewnątrz (autoprodukcja) na bazie posiadanej infrastruktury, służącej konwersji rodzajów energii
- zasada podobna jak w punkcie a), z tym że wytwarzane wewnątrz czynniki są oferowane również innym odbiorcom (odsprzedaż założonych nadwyżek produkcji), co umożliwia zmniejszenie kosztów jednostkowych wytwarzanych czynników
- oparcie się w maksymalnym stopniu na zakupie od dostawców zewnętrznych i wytwarzaniu tylko tych czynników, których brak na lokalnym rynku.

Wybór strategii zakupu czynników energetycznych jest silnie uwarunkowany nie tylko stopniem rozwoju lokalnego rynku, ale również dostępną lokalnie i posiadaną przez zakład infrastrukturą przesyłu i dystrybucji mediów, w tym jej jakością oraz wrażliwością zakładu na ciągłość dostaw czynników energetycznych.

Niezawodność dostaw energii jest przedmiotem wielu opracowań [1, 2, 4]. Zagadnienie rozpatrywane jest głównie w aspekcie ekonomicznym, wyznacza racjonalność podejmowania decyzji w zakresie rozwiązań dotyczących dostaw czynników energetycznych [3, 5]. Pewność zasilania wynika zarówno z nakładów inwestycyjnych związanych z budową lub modernizacją sieci zasilających, jak również kosztów związanych z zatrudnieniem personelu oraz realizacją planowej profilaktyki, warunkującej sprawne funkcjonowanie całej infrastruktury energetycznej, odpowiedzialnej za bezpieczeństwo dostaw energii. Racjonalne zwiększanie nakładów wpływa na podnoszenie poziomu niezawodności dostaw czynników energetycznych. Z drugiej strony należy podkreślić, że niedoinwestowane obszary struktury energetycznej stwarzają niebezpieczeństwo powstawania kosztów u odbiorców energii z tytułu jej niedostarczenia. Wraz ze zmniejszaniem nakładów na infrastrukturę energetyczną wzrasta niebezpieczeństwo potencjalnych kosztów, spowodowanych funkcjonowaniem infrastruktury sieciowej o malejącej niezawodności.

2. Analiza bezpieczeństwa energetycznego

Bezpieczeństwo dostaw energii, wynikające z poziomu niezawodności systemu zasilania, jest pojęciem wiążącym w sobie zarówno aspekty organizacyjne, techniczne, jak i ekonomiczne, związane z zapewnieniem ciągłości dostaw energii do odbiorcy, zgodnie z obowiązującymi standardami i umowami. Przekłada się ono przede wszystkim na poziom mogących powstać strat u odbiorcy z tytułu niedotrzymania standardów lub pojawienia się nagłych przerw w dostawach czynników energetycznych.

Analizując powyższe, należy zauważyć, że z punktu widzenia poziomu strat powstających u odbiorcy niezmiernie ważny jest interwał czasu dotyczący zaistniałej przerwy w dostawach energii, który w głównej mierze rzutuje na poziom kosztów powstałych w wyniku zaprzestania jej dostaw. Z tego też powodu można wyróżnić trzy warstwy bezpieczeństwa, co obrazuje rys. 1.

Zaprezentowane na rysunku interwały czasu trwania przerwy w dostawie energii, wyróżnione z uwagi na skutki dla zakładu przemysłowego, można sklasyfikować odpowiednio:

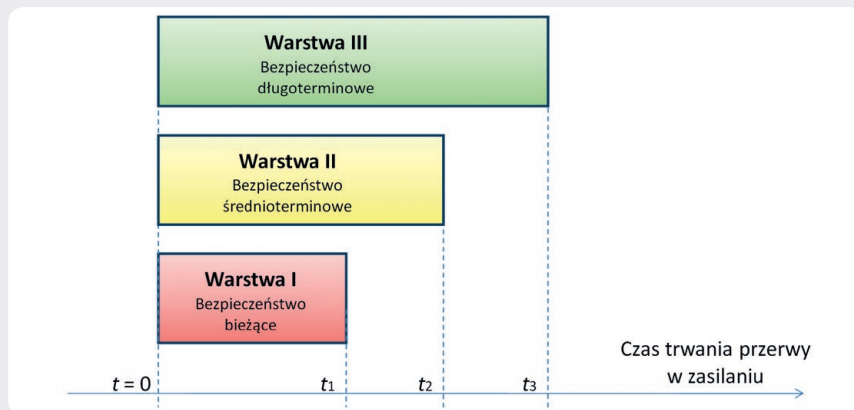
- warstwa I: bezpieczeństwo bieżące, odnoszące się do krótkich przerw – interwał czasu od $t = 0$ do t_1 jest rzędu kilku – kilkunastu minut
- warstwa II: bezpieczeństwo średnioterminowe – interwał czasu od $t = 0$ do t_2 jest rzędu od kilkudziesięciu minut do kilku godzin
- warstwa III: bezpieczeństwo długoterminowe – interwał czasu od $t = 0$ do t_3 wynosi od kilku godzin do nawet kilku dni.

Potrzeba i sposób zapewnienia bezpieczeństwa w danej warstwie zależy głównie od typu przedsiębiorstwa, jego wielkości i od rodzaju realizowanych procesów produkcyjnych, będących czynnikami decydującymi o stopniu wrażliwości na przerwy w dostawach energii.

Wymagany poziom bezpieczeństwa dostaw energii zależy od rodzaju zakładu. Można przez to rozumieć wielkość (produkcję) zakładu, stosowane technologie i wiele innych czynników, które można przyporządkować do dwóch obszarów, wpływających na oczekiwany poziom bezpieczeństwa dostaw – obszar czynników organizacyjnych i obszar składników kosztowych.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 56–60. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 1. Warstwy zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii do zakładu

Wśród czynników organizacyjnych najważniejszymi do uwzględnienia są:

- działania zapewniające bezpieczeństwo dostaw czynników energetycznych
- zapewnienie bezpieczeństwa obsługi maszyn i urządzeń produkcyjnych, których dotyczy może zdarzenie zaprzestania dostaw czynników energetycznych
- efekt dezorganizacji ciągów produkcyjnych i realizowanych technologii, co może być wynikiem przerw w dostawach energii
- poziom dostaw czynników energetycznych zamówionych od dostawców zewnętrznych
- liczba miejsc dostawy
- gwarancje pewności dostaw ujęte w umowach na dostawę czynników energetycznych
- możliwość rezerwowych kierunków dostaw
- zarządzanie kryzysowe w przypadku dłuższych przerw w dostawach energii.

W obszarze składników kosztowych wymienić należy następujące elementy:

- poziom kosztów dostaw czynników ze źródeł rezerwowych
- koszty związane ze zniszczeniem komponentów użytych do procesów, które nie zostały zakończone ze względu na przerwę w dostawach czynników energetycznych
- koszty związane z uszkodzeniem maszyn, urządzeń i narzędzi z chwilą przerwania dostaw energii do realizowanych procesów
- koszty związane z postojami na kolejnych ciągach technologicznych, do których nie został dostarczony komponent z technologii unieruchomionych w wyniku przerwy w dostawach energii
- koszt zakupu z rynku, często od konkurencji, komponentów niewyprodukowanych z powodu uszkodzenia maszyn i urządzeń, będącego następstwem przerwania dostaw energii
- koszty transportu zakupionych zamiennie komponentów
- utracone korzyści z powodu niewyprodukowania wyrobów
- w przypadku dłuższych przestojów, spowodowanych głównie uszkodzeniami maszyn i ciągów technologicznych, koszty utraconego rynku

- koszty uruchomienia technologii zastępczych na czas remontu uszkodzonych maszyn i ciągów technologicznych
- w okresie naprawy uszkodzonych urządzeń, koszty zlecenia wytwarzania wyrobów w zakładach konkurencyjnych, w celu wywiązania się wobec klientów z dostaw zakontraktowanych w umowach produktów i uniknięcia w ten sposób kar umownych oraz utracenia klientów.

Podejmując się przedsięwzięć mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii do konkretnego przedsiębiorstwa, należy przede wszystkim rozważyć, jakie rodzaje kosztów mogą zostać wygenerowane w poszczególnych warstwach bezpieczeństwa dostaw i w jaki sposób zachodzące przy tym zjawiska mogą oddziaływać na powstawanie kosztów charakterystycznych dla innych warstw. Przeprowadzenie takiej analizy pozwoli na podjęcie optymalnej decyzji zarówno z punktu widzenia mogących powstać kosztów, jak i z punktu zapewnienia funkcjonowania zakładu.

3. Wartościowanie bezpieczeństwa

Postrzegając bezpieczeństwo energetyczne poprzez pryzmat potrzeb i uwarunkowań związanych z realizowanymi procesami produkcyjnymi, należy przedstawić kluczowe z punktu widzenia strategii zakładu procesy technologiczne oraz towarzyszące im uwarunkowania dotyczące dostaw czynników energetycznych. W efekcie można wprowadzić pojęcie miary bezpieczeństwa oraz ujęcie tej miary, a także jej odniesienie do czasu trwania przerwy w dostawach któregośkolwiek z wymaganych czynników energetycznych, w aspekcie następujących kryteriów:

- niewystarczającego, z punktu widzenia potrzeb, poziomu pokrycia aktualnego zapotrzebowania na czynniki energetyczne
- braku skoordynowania w jednoczesności dostaw czynników zapotrzebowanych przez procesy, zarówno w kwestii terminu dostawy, jak i poziomu dostaw w tym samym czasie
- przerwy w dostawie któregośkolwiek z czynników bądź wszystkich zapotrzebowanych czynników
- czasu niezbędnego do uzyskania przez dany proces technologiczny

znamionowych parametrów produkcyjnych po ustaniu zakłócenia spowodowanego brakiem dostaw jednego lub większej liczby czynników

- oddziaływania zakłócenia, które zaszło w danym procesie technologicznym na inne procesy.
- Bezpieczeństwo zarządzania energią w zakładzie, nawet po wprowadzeniu w nim różnorodnych działań organizacyjnych oraz usprawnień technologicznych w zakresie organizacji przygotowania i dostaw mediów energetycznych, jest zagadnieniem wymagającym od wszystkich zaangażowanych służb bezwzględnej dyscypliny w zakresie dotrzymywania przyjętych harmonogramów dostaw i odbioru poszczególnych czynników, warunkujących sprawne bieżące zarządzanie energią w zakładzie. Dochodzą do tego przedsięwzięcia techniczne i organizacyjne, przewidziane na okoliczność wystąpienia sytuacji kryzysowych, angażujące dodatkowo do ich realizacji służby specjalistyczne oraz sprzęt służący do łagodzenia skutków potencjalnych zakłóceń.

Mając na względzie konieczność wprowadzenia takiego zagospodarowania dostaw czynników energetycznych i ich odbiorów, można dla wybranego przedsiębiorstwa sporządzić diagramy zapotrzebowań poszczególnych ciągów technologicznych na dostawy niezbędnych czynników energetycznych i odnieść je do poziomów ich dostępności w sieciach zasilających. W zależności od wielkości zakładu i od skali odniesienia sporządzanej analizy może to być wydzielona część wewnętrznych sieci zakładowych bądź w przypadku małych jednostek – cały zakład. Sporządzone diagramy stanowią podstawę do przeprowadzenia analizy możliwości pokrycia występujących zapotrzebowań w aspekcie przytoczonych powyżej kryteriów.

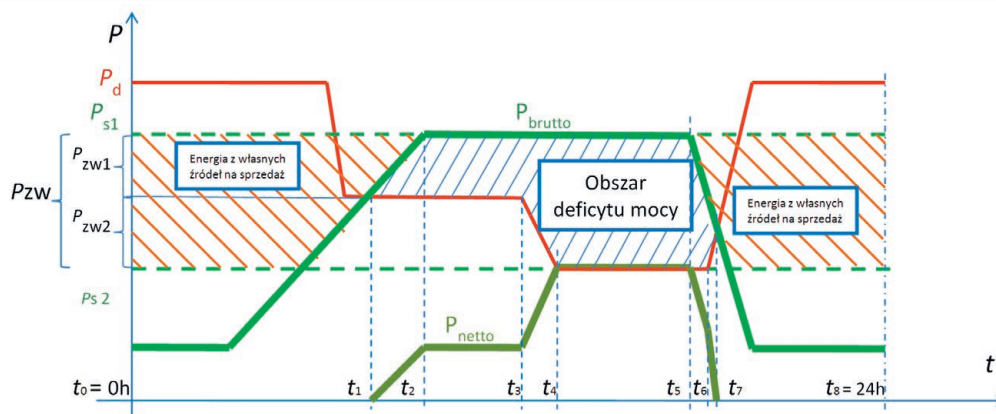
Z punktu widzenia wielkości przedsiębiorstwa, jego lokalizacji, poziomu organizacji służb zakładowych oraz możliwości finansowych można wyróżnić trzy grupy przedsiębiorstw, w których możliwe jest przeprowadzenie analizy pokrycia zapotrzebowań na poszczególne czynniki energetyczne:

- **grupa I** – niewielkie przedsiębiorstwa z jednym, dominującym ciągiem technologicznym
- **grupa II** – przedsiębiorstwa realizujące zadania, które wymagają prowadzenia wielu procesów technologicznych, posiadające rozwiniętą organizację służb zakładowych
- **grupa III** – duże przedsiębiorstwa o rozbudowanej strukturze, podzielonej na odrębne jednostki organizacyjne, posiadające własne służby realizujące zadania wewnątrz własnych jednostek organizacyjnych.

Na rys. 2 przedstawiono przykładowy wykres odnoszący poziom zapotrzebowania mocy przez ciąg technologiczny, jednego z niezbędnych czynników energetycznych, do poziomu możliwości dostarczenia tego czynnika przez wewnętrzną sieć zasilającą. Może to być dowolny czynnik energetyczny zużywany w procesach technologicznych realizowanych w przedsiębiorstwie.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 56–60. When referring to the article please refer to the original text.

PL



P_d – moc dostępna w sieci
 P_{s1} – zapotrzebowanie szczytowe przed zabudową własnych źródeł
 P_{s2} – zapotrzebowanie szczytowe po zabudowie własnych źródeł
 P_{brutto} – zapotrzebowanie bieżące brutto
 P – moc własnych źródeł
 P_{netto} – zapotrzebowanie bieżące netto
 P_{zw1}, P_{zw2} – moce poszczególnych zabudowanych własnych źródeł

Rys. 2. Przykład braku pokrycia bieżącego zapotrzebowania brutto na czynnik energetyczny

W zależności od tego, do jakiej wyróżnionej grupy należy przyporządkować zakład, w którym zaistniał przedstawiony na rys. 2 problem okresowego deficytu mocy dostarczanej do linii technologicznej, możliwości rozwiązania i optymalizacji tego problemu można poszukiwać odpowiednio w następujących obszarach:

- w przypadku przedsiębiorstw zakwalifikowanych do grupy I, przy braku możliwości zapewnienia dostaw z okolicznych źródeł, konieczne staje się zabudowanie własnego źródła o mocy likwidującej deficyt, z uwzględnieniem bezpiecznego zapasu
- w przypadku przedsiębiorstw należących do grupy II, posiadających dużą liczbę ciągów technologicznych, istnieje możliwość rozłożenia obciążenia na różne godziny doby, przez co sumaryczna moc zamówiona danego czynnika jest znacznie mniejsza od sumy mocy zapotrzebowanej przez poszczególne ciągi. Takie podejście do kształtowania sumarycznej mocy umownej pozwala na jej optymalizację. Wymaga to jednak od służb zakładowych zdyscyplinowania w zakresie dotrzymywania ustalonych harmonogramów pracy poszczególnych linii poboru danego czynnika, a w sytuacjach awaryjnych skoordynowania działań wynikających z przyjętych harmonogramów postępowania w przypadku zaistnienia sytuacji awaryjnych
- w przypadku dużych przedsiębiorstw lokowanych w grupie III, których struktura składa się z odrębnych jednostek organizacyjnych, wprowadzenie koordynowania harmonogramów poboru poszczególnych czynników przez ciągi technologiczne eksploatowane w tych jednostkach w większości przypadków jest niemożliwe. Pozostaje wówczas zamawianie mocy wynikającej z efektu skali, co wykazują pomiary prowadzone przez dłuższy okres, np. przez kilka tygodni lub miesięcy, w zależności od rodzaju

realizowanych technologii, ich rytmiki i powtarzalności cykli.

W sytuacji, gdy mimo przedsięwziętych działań organizacyjnych nie uda się ustalić zapotrzebowania mocy na któryś z czynników dostarczanych poniżej mocy dysponowanej w wielonośnikowej sieci zasilającej dane przedsiębiorstwo, znajdujące się w II lub III grupie wg powyższej klasyfikacji, pozostają przedsięwzięcia budowy własnych źródeł brakujących czynników lub budowy nowych linii umożliwiających transport energii ze źródeł znajdujących się w najbliższym otoczeniu[4].

Znacznie większego zaangażowania służb zakładu wymaga skoordynowanie pracy ciągów technologicznych w aspekcie harmonogramu dostaw kilku czynników energetycznych, na które jest zapotrzebowanie dla urządzeń zainstalowanych w tych ciągach. Podążając za rozwiązaniem wskazującym na generowanie wewnątrz przedsiębiorstwa czynników energetycznych, których nie można pozyskać od dostawców zewnętrznych, warto kierować się zasadą decentralizacji. Źródła będą wówczas ulokowane możliwie najbliżej grupy urządzeń, w których występuje zapotrzebowanie na dany czynnik energetyczny. Może to być powiązane z wyższymi kosztami inwestycyjnymi niż przy modelu scentralizowanym, niemniej jednak pozwala to na elastyczne zarządzanie dostawą czynnika, zwłaszcza w sytuacjach konieczności przeprowadzenia naprawy, remontu lub choćby przeglądu urządzeń służących do konwersji energii w mediach.

Wykorzystanie możliwości współczesnej techniki informacyjnej, pozwalającej na monitorowanie parametrów dysponowanych czynników energetycznych, zarówno w węzłach, jak i w poszczególnych elementach wielonośnikowej sieci energetycznej oraz zarządzanie rozdziałem energii, umożliwia utworzenie zaawansowanego systemu zarządzania siecią, wykorzystującego:

- optymalizację konfiguracji sieci, ze względu na zapewnienie

bezpieczeństwa dostaw czynników energetycznych do miejsca ich aktualnego zapotrzebowania z uwzględnieniem:

- zarządzania siecią w sposób niedoprowadzający do wystąpienia przeciążeń mogących skutkować wystąpieniem awarii
- zapewnienia dostaw czynników energetycznych o wymaganych parametrach
- minimalizowania poziomu strat przesyłowych
- konwersję energii w poszczególnych węzłach sieci, zwiększającą elastyczność dostaw czynników energetycznych oraz pozwalającą na kształtowanie poziomu ceny tych czynników
- bezzwłoczne reagowanie w stanach awaryjnych i natychmiastowe prowadzenie procedur minimalizujących m.in. obszar ich oddziaływania i uciążliwość, co w istotny sposób poprawia ogólną dyspozycyjność tych sieci, pokrycie występującego zapotrzebowania oraz bezpieczeństwo i niezawodność dostaw energii.

4. Miary bezpieczeństwa

Biorąc pod uwagę przytoczone dotychczas rozważania, można wprowadzić określone miary bezpieczeństwa zarządzania energią w wybranym zakładzie przemysłowym, a następnie przyjąć procedurę wartościowania tego bezpieczeństwa, mającą na celu wyznaczenie optymalnego poziomu wykorzystania mediów energetycznych.

Nim zostanie określona miara bezpieczeństwa zarządzania energią, trzeba określić poziom strat mogących zaistnieć z powodu:

- nierozpoczęcia planowanej produkcji, spowodowanego brakiem pokrycia aktualnego zapotrzebowania na czynniki energetyczne – straty oznaczone symbolem $S(a)$
- niedokończenia realizowanej produkcji, spowodowanego brakiem korelacji

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 56–60. When referring to the article please refer to the original text.

PL

w jednoczesności i poziomie dostaw czynników zapotrzebowanych przez procesy – straty oznaczone symbolem $S(b)$

- c) kosztów uszkodzeń obrabianego lub wytwarzanego materiału, wynikłych z przerwy w dostawie któregośkolwiek z czynników bądź wszystkich zapotrzebowanych czynników – straty oznaczone symbolem $S(c)$
- d) kosztów wynikających z uszkodzeń maszyn i urządzeń w następstwie przerwy w dostawie czynników limitujących ich bezawaryjną pracę – straty oznaczone symbolem $S(d)$.

Poziom strat oznaczony P_{spe} , spowodowanych powyższymi przyczynami, będącymi w bezpośrednim związku z dostarczaną energią, można zapisać jako:

$$P_{spe} = S(a) + S(b) + S(c) + S(d) \quad (1)$$

Miarą bezpieczeństwa zarządzania energią w zakładzie przemysłowym będzie zatem stosunek wartości produkcji w danym okresie, np. miesiąca, do wartości produkcji, która mogłaby być wyprodukowana przez urządzenie wytwórcze w sytuacji, gdyby żaden cykl produkcyjny nie został zakłócony z przyczyn związanych z dostawami czynników energetycznych.

Kwantyfikując pojęcie bezpieczeństwa zarządzania energią, oznaczone B_{ze} , można zapisać zależność:

$$B_{ze} = \frac{P_r}{P_n} \quad (2)$$

gdzie: P_r – oznacza rzeczywistą wartość produkcji w danym okresie, P_n – oznacza poziom wartości produkcji możliwy do osiągnięcia, gdyby w badanym okresie nie zaistniało żadne z zakłóceń w dostawach czynników energetycznych.

Z wprowadzonych dotychczas ustaleń wynika zatem, że:

$$P_{spe} = P_n - P_r \quad (3)$$

stąd:

$$B_{ze} = \frac{P_n - P_{spe}}{P_n} = 1 - \frac{P_{spe}}{P_n} \quad (4)$$

Zapisany w powyższym wyrażeniu stosunek poziomu strat, spowodowanych zakłóceniami w dostawie czynników energetycznych, odniesiony do wartości produkcji możliwej do osiągnięcia, gdyby żadnych zakłóceń nie było, oznaczono W_{spe} . Współczynnik W_{spe} jest szacunkowym względnym wskaźnikiem strat produkcji ponoszonych z powodu zakłóceń w dostawach czynników energetycznych w danym zakładzie. Uwzględniając powyższe oznaczenia, wzór (4) można zapisać w postaci:

$$B_{ze} = 1 - W_{spe} \quad (5)$$

Należy podkreślić, że szacunkowy względny współczynnik strat produkcji obrazuje wagę zagadnienia bezpieczeństwa zarządzania energią w skali potencjału produkcyjnego całego zakładu.

5. Podsumowanie

W zaprezentowanych rozważaniach zostały przedstawione ogólne zasady i metody postępowania w zakresie bezpieczeństwa zarządzania energią, dotyczące zapobieżenia bądź ograniczenia strat, oznaczonych symbolami $S(a)$ i $S(b)$. Straty – oznaczone symbolami $S(c)$ i $S(d)$ – dotyczą sytuacji nagłego przerwania dostaw czynników energetycznych przy jednoczesnym braku możliwości ich dostaw ze źródeł rezerwowych.

W warunkach stabilnej pracy zakładu, przy właściwej realizacji dostaw czynników energetycznych pozwalających na pokrycie bieżącego zapotrzebowania zakładu w zakresie ilości, terminu, jak i pewności dostawy danego czynnika oraz jego skorelowania z dostawami innych czynników wymaganych w poszczególnych procesach, można przyjąć, że poziom strat $S(a)$ i $S(b)$ jest bliski wartości 0. Zatem w warunkach stabilnej pracy zakładu można przyjąć założenie, że powstanie strat związanych z zagadnieniem dostaw energii może wyniknąć jedynie z zaistnienia nagłej przerwy w dostawie któregośkolwiek lub większości czynników energetycznych limitujących prawidłowe funkcjonowanie.

Ponieważ przerwa w dostawie czynników energetycznych może nastąpić w dowolnej chwili funkcjonowania zakładu i w przeważającej liczbie przypadków bez zapowiedzi umożliwiającej podjęcie działań minimalizujących straty mogące powstać z tego powodu, stąd potrzeba prowadzenia odpowiednich analiz. Analizy takie należy wykonać, opierając się na wytycznych – do której warstwy bezpieczeństwa energetycznego należy badany zakład, jak wrażliwe są realizowane w nim technologie na mogące powstać przerwy w dostawie energii oraz z jakimi poziomami kosztów strat $S(c)$ i $S(d)$ należy się liczyć.

W skrajnych przypadkach może się okazać, że:

- technologie realizowane w danym zakładzie nie są wrażliwe na nagłe przerwy w dostawach energii (należą głównie do III warstwy bezpieczeństwa energetycznego), a wówczas poziom kosztów $S(c)$ i $S(d)$ jest praktycznie bez znaczenia, co oznacza, że przy szukaniu w takim zakładzie rozwiązania zmierzającego do minimalizacji kosztów strat wynikających z tytułu zakłóceń w dostawach czynników energetycznych należy się skupić głównie nad poziomami kosztów $S(a)$ i $S(b)$ i na ich podstawie szukać rozwiązania alternatywnego, o akceptowalnych kosztach

- technologie realizowane w danym zakładzie są bardzo wrażliwe na nagłe przerwy w dostawach energii (należą głównie do I warstwy bezpieczeństwa energetycznego) i w takim przypadku poziom kosztów $S(c)$ i $S(d)$ może decydować o dalszym sprawnym funkcjonowaniu zakładu. Wówczas przy szukaniu rozwiązania zmierzającego do optymalizacji bezpieczeństwa zarządzania energią elektryczną należy się skupić głównie nad poziomami kosztów $S(c)$ i $S(d)$ i w odniesieniu do nich szukać adekwatnego rozwiązania.

Pomiędzy przedstawionymi skrajnymi przypadkami znajdują się oczywiście przykłady zakładów, w których realizowane są technologie w części zaliczane do I warstwy bezpieczeństwa energetycznego, w części do II warstwy, a w części do III warstwy.

Mając zatem na uwadze uzyskanie rozwiązania dotyczącego optymalizacji bezpieczeństwa zarządzania energią elektryczną w konkretnym zakładzie przemysłowym, należy:

- wnikliwie przeprowadzić analizę realizowanych w nim technologii, pod kątem:
 - poziomu pokrycia aktualnego zapotrzebowania na czynniki energetyczne
 - zapewnienia jednoczesności dostaw zapotrzebowanych czynników
 - wrażliwości na mogące zaistnieć przerwy w dostawie zapotrzebowanych czynników
- oszacować poziomy mogących powstać kosztów: $S(a)$, $S(b)$, $S(c)$, $S(d)$.

Rozwiązania należy szukać stosownie do uzyskanych w trakcie tej analizy informacji i wyników.

Bibliografia

1. Janosz A., Sołtysik M., Customer in the capacity market in the context of qualitative regulation model [w:] Capacity Market in Contemporary Economic Policy, red. K. Zamasz, Difin, Warszawa 2015.
2. Paska J., Wybrane aspekty optymalizacji niezawodności systemu elektroenergetycznego, *Eksploatacja i Niezawodność* 2013, t. 15, nr 2.
3. Paska J., Ekonomiczny wymiar bezpieczeństwa elektroenergetycznego i niezawodności zasilania, *Rynek Energii* 2013, nr 2.
4. Przygodzki M., Modelowanie rozwoju sieci elektroenergetycznej współpracującej ze źródłami rozproszonymi, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
5. Siekierski K., Przygodzki M., Układ poligeneracyjny jako jeden z elementów rozwoju wielonośnikowych zakładowych sieci mediów, *Energetyka* 2015, nr 2.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 56–60. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Maksymilian Mikołaj Przygodzki

dr hab.

PSE Innowacje sp. z o.o. / Politechnika Śląska

e-mail: maksymilian.przygodzki@pse.pl

Adiunkt w Instytucie Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej, ekspert w firmie PSE Innowacje sp. z o.o. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z funkcjonowaniem sieci elektroenergetycznej, w szczególności w horyzoncie długoterminowym, oraz zagadnieniami związanymi z energetyką rozproszoną.

Krzysztof Siekierski

mgr

Grupa KĘTY SA

e-mail: ksiekierski@grupakety.com

Specjalista elektryk w przedsiębiorstwie Grupa KĘTY SA. Doktorant w Instytucie Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej. Obszar jego zainteresowań zawodowych dotyczy produkcji oraz utrzymania ruchu, jak również gospodarki remontowo-konserwacyjnej zakładu, a także działalności na rynku zewnętrznym w obszarze realizacji zadań inwestycyjnych, usług serwisowych, obróbki metali, prac elektromontażowych, projektowania i wykonawstwa automatyzacji procesów technologicznych.