

Aneta Celoch¹

WYBRANE ASPEKTY PRZECIWDZIAŁANIA AWARIOM PRZEMYSŁOWYM NA PRZYKŁADZIE ELEKTROWNI WĘGLOWEJ

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono problematykę przeciwdziałania awariom przemysłowym. Skoncentrowano się na branży energetycznej. Przybliżono strukturę wytwarzania energii w Polsce. Zaprezentowano proces wytwarzania energii elektrycznej w konwencjonalnej elektrowni węglowej. Na podstawie analizy literaturowej i studium przypadków zidentyfikowano jedną z najczęstszych przyczyn awarii w elektrowniach węglowych – wybuch pyłu węglowego – i w tym aspekcie zaproponowano zastosowanie analizy drzewa błędów FTA. Rozwiązanie to ma na celu przedstawienie błędów w prawidłowym funkcjonowaniu instalacji elektrowni, co pozwala zidentyfikować zdarzenia podstawowe i pomaga dobrać prawidłowo zabezpieczenia, które mogą w rozpatrywanej sytuacji przeciwdziałać wskazanemu zdarzeniu.

Słowa kluczowe: awarie przemysłowe, elektrownia węglowa, metoda FTA.

1. Wprowadzenie

W obecnych czasach życie milionów ludzi jest uzależnione od dostępu do energii elektrycznej, bez której trudno jest funkcjonować w życiu codziennym i zawodowym. Brak tej energii znacznie utrudnia wykonywanie jakichkolwiek czynności. W przypadku chwilowego braku zasilania dotyczącego niewielkiej grupy osób, nie jest to duży problem, jednak kiedy obszar odcięty od energii jest rozległy, a jej brak przeciąga się w czasie, powstaje zjawisko takie jak Blackout. Jego efektem jest wielowymiarowy paraliż – zarówno w sferze ekonomicznej, technicznej jak i społecznej.

Przeciwdziałanie negatywnym skutkom wynikającym z braku dostępu do energii elektrycznej ściśle wiąże się z bezpieczeństwem energetycznym, które ma w ostatnich latach priorytetowe znaczenie w gospodarce każdego kraju [1]. Zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego składa się z trzech podstawowych elementów, takich jak:

- bezpieczeństwo dostaw, czyli zdolność do stałości dostaw oraz ich jakości, dostosowana do zapotrzebowania gospodarczego i społecznego,
- bezpieczeństwo ekologiczne, czyli uwzględnienie ochrony środowiska w procesie produkcji energii przez ograniczanie zanieczyszczeń oraz niedopuszczenie

¹ Inż., Politechnika Częstochowska, aneta.celoch@onet.eu

nieodwracalnych zmian w środowisku, a także do całkowitego wykorzystania zasobów,

- bezpieczeństwo ekonomiczne, czyli rozsądne kształtowanie ceny energii, tak aby nie powstawały utrudnienia wobec rozwoju gospodarczego [2].

Realizacja tych procesów jest przeprowadzana z wykorzystaniem wielu czynników. Jednym z nich jest diagnostyka techniczna i sprawność urządzeń oraz instalacji wykorzystywanych w procesie produkcji energii. W tym kontekście ważne jest zapewnienie odpowiednich warunków bezpieczeństwa funkcjonowania elektrowni i minimalizacja poważnych awarii przemysłowych.

Celem niniejszego opracowania jest przybliżenie problematyki awarii przemysłowych elektrowni węglowych i możliwości przeciwdziałania zaistnienia jednego z powodów awarii – wybuchu pyłu węglowego.

2. Struktura wytwarzania energii w Polsce

Przemysł energetyczny to jeden z najbardziej szkodliwych sektorów polskiej gospodarki, który wpływa szkodliwie na zdrowie ludzkie i środowisko. Składa się on z dwóch zasadniczych części:

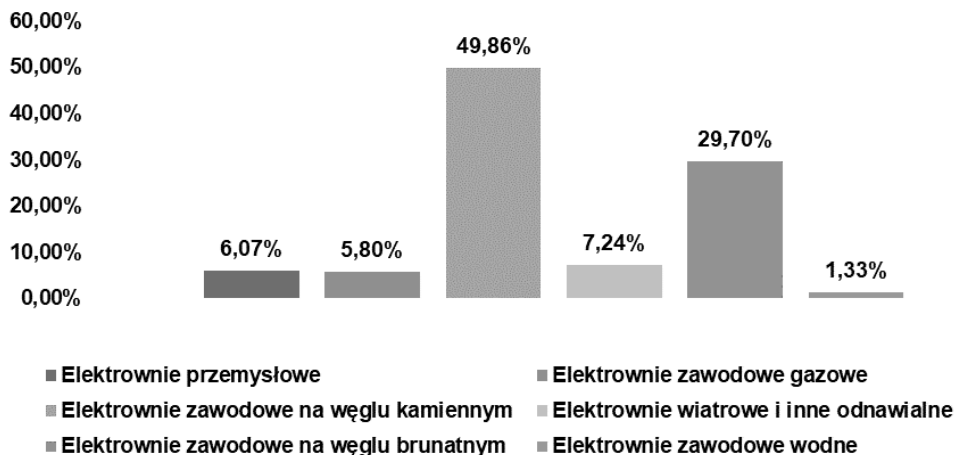
- elektrowni, elektrociepłowni, ciepłowni (zmiana energii pierwotnej na postać użyteczną),
- energetycznych sieci przepływowych (urządzenia przesyłające energię do odliczania).

Podstawowym problemem polskiej elektroenergetyki jest zasilanie w 80% paliwami konwencjonalnymi w postaci węgla brunatnego i kamiennego (w ciepłownictwie udział tych paliw jest jeszcze większy). Warto nadmienić, że obecnie krajowe zasoby węgla zbliżają się do końca, a ich wydobycie jest coraz bardziej kosztowne [3]. Elektrownia zajmuje się wytwarzaniem energii elektrycznej przy wykorzystaniu różnych surowców i zasobów (energii pierwotnej). Podział elektrowni ze względu na metody wytwarzania energii kształtuje się następująco [4]:

- ciepłne klasyczne,
- ciepłne jądrowe,
- wodne,
- słoneczne,
- geotermiczne,
- wiatrowe.

Przedstawiona powyżej klasyfikacja pokazuje, że uzyskiwanie energii jest możliwe z wielu źródeł. W zależności od kraju i jego zasobów naturalnych czy środków finansowych powstają różne elektrownie. Jak wspomniano wcześniej,

w Polsce najwięcej elektrowni opartych jest na węglu kamiennym i brunatnym - pozostałe źródła uzyskiwania energii zostały mocne wypchnięte z rynku [5]. Na rysunku 1 zaprezentowano udział procentowy wytwarzania energii w zależności od różnych źródeł surowca.



Rys. 1. Podział procentowy w wytwarzaniu energii elektrycznej, odnoszący się do paliw elektrowni w 2018 roku.

Źródło: Raport 2018 KSE [6]

Elektrownie węglowe, ze względu na zlokalizowane na terenie Polski złoża tego surowca, zdominowały rynek krajowy, mimo to że są najbardziej szkodliwym dla środowiska sposobem wywarzania energii, są drogie w utrzymaniu, a źródło energii powoli ulega wyczerpaniu. Niestety elektrownie mniej inwazyjne, wykorzystujące odnawialne źródła energii, są w minimalnym stopniu wykorzystywane na obecną chwilę, choć nie ingerują negatywnie w środowisko. Wynika to z wielu uwarunkowań, ale przede wszystkim problem elektrowni wiatrowych, wodnych, słonecznych polega na uzyskiwanej mocy, która jest znacznie mniejsza niż ma to miejsce w elektrowniach konwencjonalnych.

3. Proces wytwarzania energii w elektrowni węglowej

Elektrownie są skomplikowanymi i bardzo obszernymi instalacjami, a proces produkcyjny potrafi doprowadzić do niebezpiecznych sytuacji, czyli awarii przemysłowych. Do zrozumienia przyczyn i samego zagrożenia konieczna jest wiedza na temat przebiegu procesu wytwarzania energii. Wywarzanie energii rozpoczyna się

od przygotowania paliwa - jest to przeważnie węgiel brunatny, kamienny i domieszki biomasy. Węgiel jest transportowany przy użyciu linii taśmowych do magazynu (składowiska), gdzie w następnym etapie ma miejsce przygotowanie go do spalania. Przygotowanie to polega na odmierzaniu, suszeniu i zmieleniu go do postaci pyłu węglowego.

Kolejny etap odbywa się w kotle, gdzie dochodzi do samego procesu spalania przy wykorzystaniu mieszanki powietrza i paliwa. Kocioł służy do wytwarzania pary wodnej, która musi posiadać odpowiednią temperaturę oraz odpowiedni stopień suchości. Dochodzi wtedy do przemiany energii chemicznej na ciepłą. Dokładniej opisując, kocioł posiada wysokie palenisko obłożone rurami wypełnionymi wodą, do którego trafia miał oraz powietrze i następuje proces spalania. Wytworzone ciepło sprawia wrzenie wody, a w efekcie parowanie. Zebrana para w większej ilości zostaje ponownie skierowana do najbardziej gorących miejsc paleniska i w tym etapie uzyskiwana jest przegrzana para. Spaliny, które powstały w tym etapie (spalenie paliwa), przepływają przez komorę paleniskową i w ten sposób oddają energię ciepłą. W wyniku spalania paliwa tworzy się w kotle żużel oraz lotny popiół.

W następnym etapie zostaje wykorzystana turbina akcyjna z międzystopniowym przegrzewem, czyli jednowałowa turbina trójkadłubowa. Sprężenie pary wodnej można podzielić na trzy części: niskoprężną, średnioprężną oraz wysokoprężną. Przegrzana para przemieszcza się do trzech turbin zespojonych ze sobą - pierwsza jest turbina wysokoprężna, a po wyjściu z niej para wraca do kotła i zostaje z powrotem ogrzana. Kolejno przemieszcza się przez pozostałe turbiny, gdzie sukcesywnie traci swą energię. Następny etap odbywa się w tzw. skraplaczu, gdzie zachodzi proces przemiany już wykorzystanej pary ponownie na gorącą wodę i trafia do kotła. Tym sposobem została przemieniona energia ciepła na kinetyczną [7].

W kolejnym etapie zostaje zamieniona energia kinetyczna na energię elektryczną przy wykorzystaniu generatorów posiadających chłodzenie wodno-wodorowe. Wirująca turbina kręci generatorem (generator stanowią dwa kręgi drutów, gdzie pierwszy - wirnik obracany jest przez turbinę, drugi - twornik lub stojan owinięty jest na żelaznym rdzeniu i przytwierdzony do podłoża). Rdzeń jest mało namagnesowany, aby przez wirnik przepływał mały prąd, gdy generator zacznie pracę. Część prądu elektrycznego dociera do przytwierdzonego uzwojenia, przez co zamienia go w silny elektromagnes. Prąd elektryczny sukcesywnie się zwiększa do momentu uzyskania pełnej mocy generatora. Można powiedzieć, że wyprowadzenie do sieci energii zaczyna się od generatora, następnie wykorzystywany jest transformator blokowy, kolejno używany jest transformator odczepowy i ostatnia jest linia blokowa. Przewody przekazują energię o wyjątkowo wysokim napięciu. Transformator znajduje

się na końcu takiej linii przesyłowej i służy do przemienienia napięcia dopływającego prądu przemiennego [8].

Warto zaznaczyć, że ponad 60% światowej energii elektrycznej jest otrzymywane z elektrowni ciepłych. Największa na świecie elektrownia ciepła znajduje się w Rosji (Bezerowska Elektrownia Ciepła) i dysponuje mocą 6,5 GW, natomiast w Polsce największą elektrownią tego typu jest to elektrownia w Bełchatowie o mocy 5,4 G. Na terenie Polski znajduje się osiemnaście elektrowni węglowych, które oprócz zagrożeń dla środowiska, generują również zagrożenia dla pracowników jak i społeczeństwa lokalnego. Elektrownie węglowe ze względu na proces produkcyjny jaki wykonują, stwarzają możliwość powstania awarii przemysłowej czy nawet poważnej awarii przemysłowej, dlatego większość z nich należy do zakładów zwiększonego ryzyka.

4. Analiza awarii przemysłowej w elektrowni węglowej na przykładzie wybuchu pyłu węglowego z wykorzystaniem metody FTA

Awarię przemysłową można definiować jako incydent (biorąc pod uwagę szczególnie wybuch, pożar czy emisję), do którego doszło podczas niekontrolowanego przebiegu wydarzeń w czasie transportu, magazynowania czy wykorzystywania procesu produkcyjnego w jednostkach organizacyjnych użytkujących jedną lub wiele substancji niebezpiecznych. Incydent ten prowadzi do natychmiastowego bądź z opóźnieniem zagrożenia życia lub zdrowia ludzi, czy środowiska .

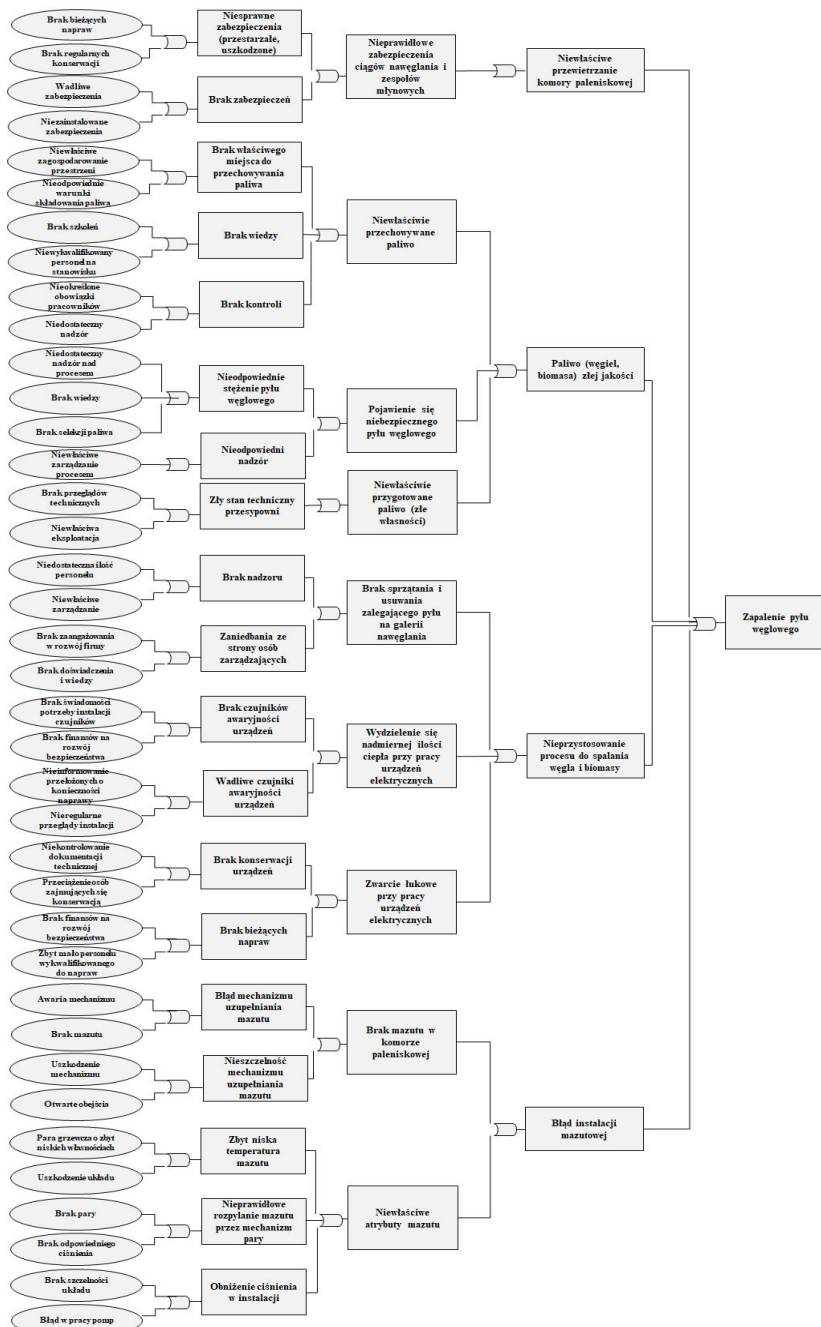
Raporty opisujące awarie w zakładach przemysłowych niestety nie są dostępne dla wszystkich zainteresowanych, a do informacji publicznej docierają jedynie nieliczne wiadomości o zaistniałej sytuacji oraz ogólnikowy powód. Przenalizowanie takiego zdarzenia jest kluczem do ulepszenia obecnych zabezpieczeń, stworzenia dodatkowych elementów, które poprawią dotychczasową ochronę warunków pracy przedsiębiorstwa. Niedopuszczenie do zaistnienia podobnej sytuacji zależy od znalezienia źródła powstania awarii i zastosowania w tym miejscu dodatkowych zabezpieczeń.

Jedną z metod, które pomagają odnaleźć zdarzenia inicjujące całą sytuację związaną z awarią przemysłową, jest analiza drzewa błędów FTA (ang. Fault Tree Analysis). Budowanie drzewa błędów polega na przedstawieniu w graficzny sposób, zaczynając od głównego wydarzenia, możliwych zdarzeń, które doprowadziły do nieprawidłowości przy użyciu „gałęzi drzewa” oraz bramek logicznych, łączących ze sobą zdarzenia. Poprawna budowa takiego schematu pozwala na rozpatrzenie wszelkich możliwych powodów, rozumianych jako zdarzenie inicjujące powstanie odchylenia w czasie normalnego funkcjonowania procesu, maszyn, urządzeń czy

systemu . Do zalet tej metody zalicza się również możliwość uwzględnienia czynnika ludzkiego w trakcie konserwacji, serwisu operatorskiego, środowiska pracy czy też interakcji między człowiekiem czy maszyną [9].

Wspomniana metoda w niniejszym opracowaniu zostanie wykorzystana do przedstawienia błędów w prawidłowym funkcjonowaniu instalacji elektrowni, co pozwoli zidentyfikować zdarzenia podstawowe i pomoże dobrać prawidłowo zabezpieczenia, które mogłyby w rozpatrywanej sytuacji przeciwdziałać wskazanemu wydarzeniu. Analiza FTA zostanie przeprowadzona pod wybuchu pyłu węglowego w elektrowni węglowej. W tym miejscu należy zaznaczyć, że wybór przyczyny awarii przemysłowej w elektrowni nie jest przypadkowy i wynika z analizy literaturowej i stadium przypadków tego typu przedsiębiorstw. Od 2013 roku nie można uzyskać danych o zdarzeniach o charakterze awarii przemysłowej z GIOS-u, a jedyne informacje na ten temat można uzyskać tylko z wiadomości podawanych publicznie. Za przykłady takich awarii można podać zdarzenia, do których doszło np. w Elektrowni Dolna Odra (2010 - zniszczenie dwóch budynków, śmierć jednej osoby, dwie osoby ranne), czy w Elektrowni Turów (2012 - zniszczenie dachu jednego bloku oraz uszczerbek na zdrowiu czterech osób). Do zapalenia pyłu węglowego doszło również w Elektrowni Ostrołęka (2012 – wyłączenie dwóch bloków i uszczerbek na zdrowiu dwóch osób) oraz w Elektrowni Pątnów (2016 - poparzenie ciała trzech pracowników).

Budowa drzewa ma na celu ochronę zdrowia i życia pracowników, środowiska jak i społeczeństwa przed kolejnym zaistnieniem podobnej, sytuacji. Drzewo FTA uwidoczni słabe elementy procesu produkcji energii, który w momencie nawęglania stanowi bardzo słaby czynnik wspomnianego procesu. Przeważnie do takiej awarii dochodzi w momencie, gdy w powietrzu jest zbyt dużo pyłu węglowego, galeria nawęglania nie jest oczyszczana, bądź znajduje się zbyt dużo węgla w młynie. Możliwości jest kilka i zostały one uwidocznione na rysunku 2, gdzie w efekcie końcowym wykazano zdarzenia podstawowe, które zainicjowały zdarzenie o charakterze awarii przemysłowej lub poważnej awarii przemysłowej.



Rys. 2. Drzewo błędów – wybuch pyłu węglowego.

Źródło: opracowanie własne

5. Wnioski

Po przeanalizowaniu awarii przemysłowej skutkującej wybuchem pyłu węglowego pojawiły się niezgodności w wielu obszarach, które często dotyczyły czynnika ludzkiego. W toku analizy stwierdzono, że należy zwiększyć ilość szkoleń, poszerzać wiedzę na temat procesu wśród pracowników, a także zwiększyć ilość pracowników, ponieważ mogą być oni przeciążeni obowiązkami. Pracowników elektrowni należy uświadomić jak odpowiedzialną pracę wykonują i jak bardzo należy zwracać uwagę na najmniejsze odchylenia. Niewykonywanie napraw może być związane z niedostatecznym budżetem przeznaczonym na ten cel, bądź oszczędzaniem na innowacjach, co w przypadku zakładu ZZR może być katastroficzne w skutkach.

Każde przedsiębiorstwo do odpowiedniego funkcjonowania sprawnego zarządzania. Pracownicy muszą znać zakres swoich obowiązków, muszą wiedzieć, jaki cel przyświeca zakładowi, a do tego potrzebne są odpowiednie procedury, odpowiednio rozłożone obowiązki. W praktyce zatem istotne znaczenia ma usprawnianie Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem w ZZR. Należy zaznaczyć, że kontrolowanie procesu produkcji energii elektrycznej jest jak najbardziej możliwe i w niektórych elementach można wykazać, że dojdzie do awarii (np. młyn węglowy - zmiany w parametrach powietrza, obrotach silnika i natężeniu prądu). Jeżeli chodzi o sam system transportu węgla, to może dojść do zawilgocenia tego surowca, który ulegnie samozapłonowi. Ponadto również nieodpowiednio wykonywane prace konserwacyjne mogą doprowadzić do awarii. W takich sytuacjach warto inwestować we wszelkiego rodzaju instalacje zraszaczowe, mgły wodne, liniowe czujniki temperatury czy detekcji gazu.

W zależności od sytuacji, należy wykorzystywać najbardziej efektywne rozwiązania. Warto podkreślić, że nie ma konieczności stosowania wszystkich, jednak im więcej - tym bezpieczniej. Awaria w takim zakładzie zwiększonego ryzyka, jakim jest elektrownia, nie stanowi tylko zagrożenia dla środowiska i ludzi, ale są to również milionowe straty niejednokrotnie wyłączenie energii na danym obszarze, co w nieodpowiednich warunkach może doprowadzić do blackoutu.

Literatura

- [1] Pascual C., Elkind J.: *Energy Security: Economics, Politics, Strategies, and Implications*, Washington, Brookings Institution Press, 2009.
- [2] Wilczyński M.: *Zmierzch węgla kamiennego w Polsce*. Warszawa, Fundacja Instytut na Rzecz Ekorozwoju, 2013.

- [3] *Bezpieczeństwo energetyczne – z jakimi wyzwaniem musi się zmierzyć Polska?* <https://www.kierunekenergetyka.pl/artukul,57234,bezpieczenstwo-energetyczne-z-jakimi-wyzwaniami-musi-sie-zmierzyc-polska.html>, odczyt.: 10.04.2019.
- [4] Kacperczyk G.: *Zasady metodyczne sprawozdawczości statystycznej z zakresu gospodarki paliwami i energią oraz definicje stosowanych pojęć*. Warszawa, Wyd. GUS, 2006, s. 14-28.
- [5] *BP Statistical World Energy Review*, czerwiec 2017.
- [6] Raport KSE 2018.
- [7] Paska J.: *Wytwarzanie energii elektrycznej*, Warszawa, Oficyna Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 2005.
- [8] Pawlik M., F. Strzelczyk F.: *Elektrownie*, Warszawa, Wydawnictwo WNT, 2009, s. 19-33.
- [9] Starzyńska B., Hamrol A., Grabowska M.: *Poradnik menedżera jakości. Kompendium wiedzy o narzędziach jakości*, Poznań, Wyd. Politechniki Poznańskiej, 2010.

SELECTED ASPECTS OF COUNTERACTING INDUSTRIAL FAILURES ON THE EXAMPLE OF COAL-FIRED POWER PLANT

Abstract: The paper presents the problem of preventing industrial failures. The study focuses on energy industry. The structure of energy production in Poland has been reviewed and the process of production of electricity in the conventional coal-fired power plant has been presented. Based on the literature analysis and case study, coal dust explosions have been identified as one of the most common reasons of failure in coal-fired power plants – and in this aspect the proposal to use FTA fault tree analysis has been offered. The aim for this solution is to present errors in the correct functioning of power plant installations which allows to identify basic events and helps to correctly select security measures that may counteract the indicated event in the considered situation.

Key words: industrial failures, coal-fired power plant, FTA method

Data przesłania publikacji do Redakcji: 17.04.2019

Data akceptacji publikacji przez Redakcję: 11.06.2019

DOI: 10.30657/qpi.2019.10.07