

## **Recenzja rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Mateusza Torbickiego pt.**

### **Safety of critical network infrastructure exposed to operation and weather condition changes**

(Bezpieczeństwo sieciowej infrastruktury krytycznej narażonej na zmiany eksploatacyjne i pogodowe)

Bibliografia rozprawy doktorskiej Pana magistra inżyniera Mateusza Torbickiego napisanej pod kierunkiem Pani profesor UM dr hab. Joanny Soszyńskiej-Budny zawiera 20 współautorskich prac naukowych o zasięgu międzynarodowym. Prace te powstały w zespole stworzonym i kierowanym przez profesora dra hab. Krzysztofa Kołowrockiego. Współautorami tych prac są osoby spośród członków zespołu: Krzysztof Kołowrocki, Joanna Soszyńska-Budny, Ewa Kuligowska, Mateusz Torbicki. W bibliografii można również znaleźć jedną samodzielną pracę autora.

Rozprawa doktorska magistra inżyniera Mateusza Torbickiego zawiera wyniki badań dotyczących infrastruktury krytycznej narażonej na zmiany eksploatacyjne i pogodowe.

Autor prowadzi definicję sieciowej infrastruktury krytycznej jako infrastruktury krytycznej złożonej z sieci komponentów lub zasobów, co oznacza że komponenty lub zasoby infrastruktury krytycznej są połączone ze sobą w sposób fizyczny lub współdziałają ze sobą, aby realizować cel jej funkcjonowania.

Na infrastrukturę krytyczną mogą wpływać procesy zewnętrzne mające negatywny wpływ na jej bezpieczeństwo. Te zewnętrzne procesy to proces eksploatacji infrastruktury krytycznej i proces zmian pogodowych w obszarze eksploatacji infrastruktury.

Proponowane przez autora teoretyczne metody analizy bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej wykorzystują metody modelowania i analizy niezawodności złożonych systemów wielostanowych rozwijane przez szerszy niż wyszczególniony w bibliografii zespół naukowy profesora Krzysztofa Kołowrockiego.

Celem rozprawy Mateusza Torbickiego było zbudowanie modeli bezpieczeństwa i odporności infrastruktury krytycznej, uwzględniającego łączny wpływ procesu eksploatacji i procesu zmian pogodowych zmieniających się w czasie oraz wskazanie praktycznego zastosowania tego modelu do oceny bezpieczeństwa i odporności rzeczywistej infrastruktury krytycznej.

Głównym i oryginalnym wynikiem pracy jest skonstruowanie łącznego modelu procesu eksploatacji i procesu zmian pogodowych w oparciu o procesy semi-Markowa oraz wielostanowe modelowanie bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej.

Stworzony model pozwala zdefiniować wskaźniki bezpieczeństwa i odporności infrastruktury krytycznej, praktycznie ważne dla jej użytkowników i operatorów.

Rozprawa doktorska zawiera rozszerzenia modeli bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej wolnej od jakichkolwiek wpływów procesów zewnętrznych oraz infrastruktury krytycznej, na którą wpływa jej proces eksploatacji poprzez uwzględnienie wpływu procesu zmian pogodowych w tych modelach. Wyniki zostały opublikowane w pracach współautorskich.

Rozprawa doktorska składa się ze wstępu, sześciu rozdziałów, podsumowania oraz bibliografii. Rozdziałem 1 jest wstęp.

W rozdziale 2 zostały przedstawione podstawowe pojęcia stosowane podczas analizy bezpieczeństwa wielostanowej i starzejącej się infrastruktury krytycznej. Autor również podał definicje funkcji bezpieczeństwa zasobów/komponentów infrastruktury krytycznej, funkcji bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, wartości średniej i odchylenia standardowego czasów przebywania wielostanowej infrastruktury krytycznej w poszczególnych podzbiorach stanów bezpieczeństwa, wartości średniej czasów przebywania infrastruktury krytycznej w poszczególnych stanach bezpieczeństwa, funkcji ryzyka infrastruktury krytycznej i momentu przekroczenia krytycznego stanu bezpieczeństwa przez wartości funkcji ryzyka.

Ponadto autor przedstawił definicje podstawowych struktur bezpieczeństwa wielostanowych infrastruktur krytycznych ze starzejącymi się zasobami/komponentami oraz wyznaczył ich funkcje bezpieczeństwa w przypadku ogólnym i w przypadku, gdy zasoby/komponenty infrastruktur krytycznych mają wykładnicze współrzędne funkcji bezpieczeństwa. Autor rozpatruje struktury szeregowe, równoległe, progowe, szeregowo-równoległe, równoległo-szeregowe, szeregowo-progowe, progowo-szeregowe.

Rozdział 3 zawiera definicje wskaźników bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej wolnej od jakichkolwiek wpływów procesów zewnętrznych. Została zdefiniowana funkcja bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, funkcja ryzyka, krzywa wrażliwości (wykres funkcji ryzyka), wartość średnia i odchylenie standardowe czasu do przekroczenia przez infrastrukturę krytyczną stanu krytycznego, moment, w którym wartość funkcji ryzyka infrastruktury krytycznej przekracza dopuszczalny poziom bezpieczeństwa. Zostały również określone intensywności starzenia się infrastruktury krytycznej.

W rozdziale 4 został przedstawiony model bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, na którą wpływa jej proces eksploatacji. Zakładając, że proces eksploatacji jest semi-Markowski, jego podstawowe parametry: wektor prawdopodobieństw początkowych, macierz prawdopodobieństw przejść, macierze warunkowych dystrybuant i warunkowych gęstości czasów przebywania są przedstawione. Zostały również wprowadzone charakterystyki procesu eksploatacji, m.in. wartości graniczne prawdopodobieństw chwilowych przebywania procesu eksploatacji w jego poszczególnych stanach. Następnie autor przedstawił współczynniki wpływu procesu eksploatacji w poszczególnych stanach eksploatacyjnych na parametry bezpieczeństwa zasobów infrastruktury krytycznej i ich związek z funkcjami bezpieczeństwa zasobów w przypadku, gdy współrzędne funkcji bezpieczeństwa zasobów są wykładnicze. Ponadto zdefiniowana jest warunkowa funkcja bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej w określonych stanach procesu eksploatacji i pokazano jak można oszacować bezwarunkowe współrzędne funkcji bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej (pierwszy wskaźnik bezpieczeństwa). Rozdział ten kończy omówienie funkcji ryzyka infrastruktury krytycznej, krzywej wrażliwości (wykresu funkcji ryzyka), wartości średniej i odchylenie standardowe czasu do przekroczenia przez infrastrukturę krytyczną stanu krytycznego, momentu, w którym wartość funkcji ryzyka infrastruktury krytycznej przekracza dopuszczalny poziom bezpieczeństwa, intensywności starzenia się infrastruktury krytycznej, współczynników wpływu procesu eksploatacji na intensywności starzenia się infrastruktury krytycznej oraz wskaźników odporności infrastruktury krytycznej na wpływ jej procesu eksploatacji.

Rozdział 5 jest poświęcony modelowi bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, na którą wpływa łączny proces zmian pogodowych. Po pierwsze, pokazano jak można modelować semi-Markowski pojedynczy proces zmian pogodowych. Zostały przedstawione jego podstawowe parametry i charakterystyki. Istotnym i ciekawym elementem pracy jest rozszerzenie tego procesu na łączny proces semi-Markowski zmian pogodowych, który składa

się z kilku różnych i niezależnych procesów zmian pogodowych. Została również określona funkcja bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, na którą ma wpływ łączny proces zmian pogodowych. Zostały także wprowadzone wskaźniki bezpieczeństwa i odporności infrastruktury krytycznej w podobny sposób jak w rozdziale 4.

Rozdział 6 zawiera model bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, na który wpływa łączny proces eksploatacji i proces zmian pogodowych. Podobnie jak w rozdziałach 4 i 5, najpierw przedstawiono parametry i charakterystyki łącznego procesu eksploatacji i zmian pogodowych, a następnie jego wpływ na parametry bezpieczeństwa zasobów infrastruktury krytycznej i wreszcie wskaźniki bezpieczeństwa i odporności infrastruktury krytycznej, na którą oddziałuje ten łączny proces.

Rozdział 7 ma charakter aplikacyjny. Zawiera on zastosowanie rozważanych modeli bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej do sieciowej infrastruktury krytycznej transportu ropy. Analizowana portowa sieciowa infrastruktura krytyczna jest częścią sieci infrastruktur krytycznych (Baltic Oil Pipeline Critical Infrastructure Network), składającej się z kilku infrastruktur krytycznych transportu ropy łączących terminale naftowe w regionie Morza Bałtyckiego. Najpierw w paragrafie 7.1 została opisana portowa infrastruktura krytyczna transportu ropy i podano parametry bezpieczeństwa jej zasobów/komponentów. Następnie w paragrafie 7.2 został przedstawiony proces eksploatacji analizowanej infrastruktury krytycznej, jego parametry i jego charakterystyki. W paragrafie 7.3 procesy zmian pogodowych powiązane z obszarem eksploatacji rozważanej infrastruktury krytycznej zostały przedstawione w podobny sposób jak proces eksploatacji. Paragraf 7.4 zawiera współczynniki wpływu procesu eksploatacji i procesów zmian pogodowych na parametry bezpieczeństwa zasobów portowej infrastruktury krytycznej transportu ropy. Wreszcie w paragrafach 7.5-7.8 wskaźniki bezpieczeństwa i odporności portowej infrastruktury krytycznej transportu ropy zostały oszacowane w przypadkach, gdy portowa infrastruktura krytyczna transportu ropy jest wolna od jakichkolwiek wpływów procesów zewnętrznych (paragraf 7.5), wpływa na nią jej proces eksploatacji (paragraf 7.6), wpływa na nią również łączny proces zmian pogodowych (paragraf 7.7) oraz wpływa na nią łączny proces eksploatacji związany ze zmianami pogodowymi (paragraf 7.8). Porównanie wyników uzyskanych w paragrafie 7.5-7.8 przedstawiono w paragrafie 7.9.

Rozdział 8 jest podsumowaniem pracy doktorskiej.

Bibliografia liczy 41 pozycji z czego olbrzymia większość pochodzi z XXI wieku.

### Uwagi krytyczne

W rozdziale 2 na stronie 10 zostało przyjęte założenie, że

$T_i(u), i=1, 2, \dots, n, u=0, 1, 2, \dots, z$ , are independent random variables ...

Taki zapis może sugerować, że te zmienne losowe są wzajemnie niezależne co budzi moją wątpliwość, gdyż dla ustalonego elementu  $i$  zmienne losowe  $T_i(u), u=0, 1, 2, \dots, z$  są określone na zbiorach zdarzeń, które nie są rozłączne. Żeby udowodnić niezależność tych zmiennych losowych, a należy wykazać, że dla danego  $i$

$$P(T_i(t_0)=0, T_i(1)>t_1, T_i(2)>t_2, \dots, T_i(z)>t_z) = S_i(t_0) \cdot S_i(t_1) \cdot S_i(t_2) \cdot \dots \cdot S_i(t_z) *$$

Trzeba natomiast dodać, że możliwe i naturalne jest założenie, że dla różnych  $i=1, 2, \dots, n$  przy ustalonych stanach  $u$  (takich samych lub różnych), zmienne losowe  $T_i(u)$  są niezależne.

Zdanie, które budzi moją wątpliwość należy zmienić w następujący sposób:

$T_i(u), i=1, 2, \dots, n$  for given  $u$  are independent random variables ....

Moje wątpliwości budzą również definicje różnego rodzaju wielostanowych infrastruktur takich jak struktury szeregowe, równoległe, równoległo szeregowe i.t.d. , które są określane przez zmienne losowe  $T_i(u), i=1, 2, \dots, n, u=0, 1, \dots, z_i$  oraz zmienne losowe  $T_{ij}(u), i=1, 2, \dots, n, u=0, 1, \dots, z$  . Założenie, że dla różnych  $i=1, 2, \dots, n$  przy ustalonych stanach  $u$  (takich samych lub różnych), zmienne losowe  $T_i(u)$  są niezależne jest poprawne i uzasadnione. Te definicje w sensie formalnym są poprawne, lecz konsekwencją takich definicji jest fakt, że czasy trwania stanów mają na ogół rozkłady będące wypukłą kombinacją rozkładów dyskretnych i ciągłych. Z inżynierskiego punktu widzenia ten fakt jest nieco zaskakujący.

Przy ewentualnym zamiarze opublikowania rozprawy, praca zyska na przejrzystości i poprawności , gdy zamiast modelu wielostanowego zostanie wprowadzony model dwustanowy uwzględniający wpływ procesu zmian pogodowych i procesu eksploatacji, których modelami są wielostanowe procesy semi-Markowa. Należy podkreślić, że konstrukcja tych modeli polegająca na podziale iloczynu kartezyjskiego zbioru możliwych wartości jest udana i poprawna. Modele wielostanowe można również rozpatrywać, dokonując najpierw dekompozycji na modele dwustanowe. W takim przypadku nie ma kłopotu z niezależnością elementów.

### Ogólna ocena rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska Pana magistra inżyniera Mateusza Torbickiego napisana pod kierunkiem Pani profesor UM dr hab. Joanny Soszyńskiej-Budny zawiera wiele nowych w skali światowej wyników dotyczących bezpieczeństwa i odporności infrastruktur krytycznych.

Autor przedstawił model bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej bez uwzględniania oddziaływań zewnętrznych, model uwzględniający losowe warunki eksploatacyjne, model uwzględniający losowe warunki pogodowe oraz model uwzględniający losowe warunki eksploatacyjne i pogodowe. Matematycznym opisem zmieniających się losowo warunków eksploatacyjnych i pogodowych są ergodyczne procesy semi-markowskie o skończonych zbiorach stanów i „ciągłym czasie”. Dla tego rodzaju procesów stosunkowo łatwo można znaleźć rozkład graniczny rozwiązując odpowiedni układ równań liniowych. Skonstruowane modele pozwoliły zdefiniować wskaźniki bezpieczeństwa i odporności infrastruktur krytycznych. Cenną, wymagającą olbrzymiej pracy częścią pracy jest rozdział 7 o charakterze aplikacyjnym. W tej części pracy wszystkie wcześniej rozważane modele zostały zastosowane do wyznaczenia wskaźników i odporności portowej sieciowej infrastruktury krytycznej transportu paliwa. Wskaźniki te umożliwiły porównanie i analizę bezpieczeństwa i odporności tej infrastruktury krytycznej. Należy podkreślić, że praca napisana jest precyzyjnym i klarownym językiem naukowym, świadczącym o dużej wiedzy i umiejętnościach matematycznych oraz kompetencjach naukowych autora.

### Konkluzja

Uważam, że rozprawa doktorska Pana magistra inżyniera Mateusza Torbickiego zatytułowana **Safety of critical network infrastructure exposed to operation and weather condition changes**, której promotorem jest Pani profesor UM dr hab. Joanna Soszyńska-Budny spełnia całkowicie warunki ustawy o stopniach naukowych oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki dotyczące prac doktorskich w dziedzinie nauk technicznych, gdyż jest „oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego”. Przedstawiam zatem wniosek o przyjęcie rozprawy jako podstawy do nadania stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk

technicznych w dyscyplinie naukowej automatyka i robotyka oraz dopuszczenie Pana magistra inżyniera Mateusza Torbickiego do publicznej obrony.

*Franciszek Grubeli*