

Piotr PIECHOCKI\*  
Ryszard FRĄCKOWIAK\*\*

## **CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA WARTOŚCI CZASU TRWANIA ZWARCIA OKREŚLANE PODCZAS ANALIZY SIŁ DYNAMICZNYCH W ROZDZIELNI**

Artykuł dotyczy zagadnienia określania wartości czasu trwania zwarcia podczas obliczania skutków dynamicznych w rozdzielniach najwyższych napięć z przewodami giętkimi metodą statystyczno-probabilistyczną. Do realizacji zadania opracowano model symulacyjny, którego ważnym elementem jest model czasu trwania zwarcia. Wykorzystując opracowaną metodę określania wartości czasu trwania zwarcia dla potrzeb obliczeń dynamicznych sił w rozdzielniach elektroenergetycznych opartą na kryterium ryzyka, zbadano wpływ parametrów przęsła, konfiguracji EAZ oraz awaryjności wyłączników i zabezpieczeń na rezultaty prowadzonych badań.

**SŁOWA KLUCZOWE:** skutki dynamiczne, czas trwania zwarcia, rozdzielnie najwyższych napięć, symulacja

### **1. WPROWADZENIE**

Prezentowane zagadnienie dotyczy określania wartości czasu trwania zwarcia podczas obliczania dynamicznych skutków zwarciovych w rozdzielniach najwyższych napięć z szynami giętkimi przy wykorzystaniu metod probabilistycznych. Opracowywano model symulacyjny do analizy sił dynamicznych w przęsłach rozdzielni, podczas zakłóceń na różnych elementach sieci elektroenergetycznej: w samej rozdzielni (na szynach głównych i w polach rozdzielni), na liniach i na transformatorach. W modelu tym uwzględniono rozptył prądu zwarciovego oraz czas jego przepływu, związany z działaniem elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej EAZ i wyłączników w rozdzielniach najwyższych napięć podczas zakłóceń zwarciovych. Uwzględniono działanie zabezpieczeń różnicowo-prądowych szyn zbiorczych i transformatora, zabezpieczeń odległościowych, zabezpieczeń ziemnozwarciowych oraz odcinkowych, a także automatyki SPZ oraz układu LRW. Zaproponowano metodę określania wartości czasu trwania zwarcia opartą na kryterium ryzyka (spodziewanej rocznej częstości) przekroczenia wyznaczonej siły w czasie eksploatacji rozdzielni [1]. Prezentowane rezultaty stanowią kolejny etap pracy autorów,

\* Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. – Oddział w Poznaniu.

\*\* Politechnika Poznańska.

w którym, zbadano wpływ konfiguracji EAZ, parametrów przęsła, oraz awaryjności wyłączników i zabezpieczeń na rezultaty prowadzonych badań.

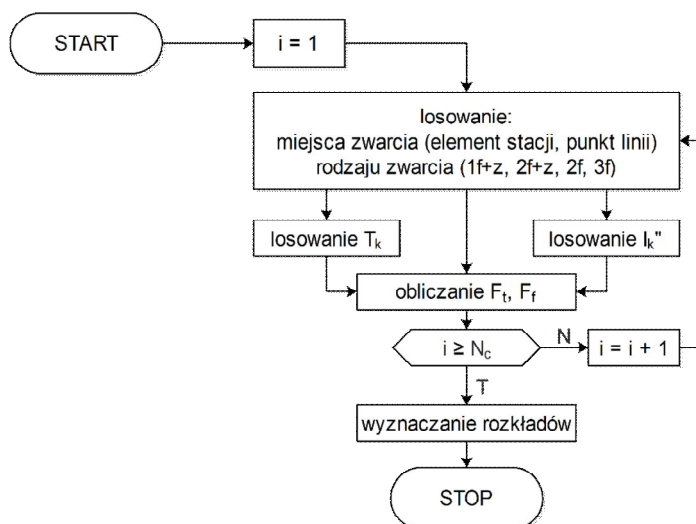
## 2. MODEL SYMULACYJNY DO ANALIZY SKUTKÓW DYNAMICZNYCH

### 2.1. Ogólny schemat obliczeń

Metoda zawarta w normie PN-EN 60865-1 [2] uwzględnia ona oprócz siły wynikającej z oddziaływania przewodów sąsiednich faz na siebie  $F_t$  i siły związanej z opadaniem przewodów po wyłączeniu zwarcia  $F_f$ , również siłę spowodowaną oddziaływaniem dynamicznym przewodów w obrębie wiązki przewodów  $F_{pi}$ . Obliczanie skutków dynamicznych wymaga znajomości geometrii przęsła, danych charakteryzujących przewód i konstrukcje wsporcze w przęsle oraz parametrów charakteryzujących zwarcie. Te ostatnie mają charakter losowy.

Praktycznie, czas trwania zwarcia nie ma wpływu na wartości siły  $F_{pi}$  [3]. Uwzględniając pomijalnie mały wpływ składowej nieokresowej na wartości sił wynikających z oddziaływania przewodów sąsiednich faz na siebie  $F_t$  i  $F_f$  [2], dla określonego przęsła, istotny wpływ na wartości tych sił posiada wartość składowej okresowej prądu zwarciovowego w przewodach oraz czas jego przepływu.

Ogólny schemat wyznaczania rozkładów sił dynamicznych  $F_t$  i  $F_f$  w określonym przęsle rozdzielni metodą symulacji Monte Carlo pokazano na rys. 1.

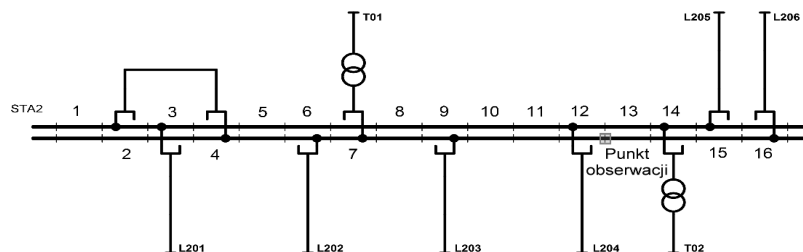


Rys. 1. Schemat wyznaczania rozkładów sił dynamicznych

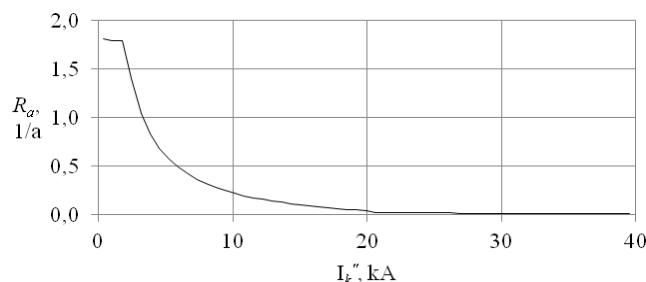
W obliczeniach uwzględnia się zwarcia występujące w samej rozdzielni oraz w jej otoczeniu. Podczas symulacji wyznacza się miejsce i rodzaj zwarcia i na tej podstawie oblicza się wartość prądu zwarciego w przewodach giętkie oraz czas jego przepływu. Następnie dla określonego przęsła rozdzielni oblicza się wartości sił dynamicznych i po wykonaniu założonej liczby symulacji, roczną częstość ich występowania. Program komputerowy pozwalający na realizację przedstawionych obliczeń został napisany w środowisku Delphi. Do jego budowy wykorzystano model symulacyjny do analizy prądów zwarciegich [3, 4], który został poszerzony o skorelowany z nim model czasu trwania zwarcia oraz moduł obliczeń skutków dynamicznych w rozdzielniach.

## 2.2. Schemat rozdzielni i rozkład prądu zwarciegiego

Na rysunku 2 przedstawiono schemat rozdzielni, z punktem obserwacji warunków zwarciegich na systemie nr II pomiędzy polami 12 i 13. Po jednej stronie punktu obserwacji znajduje się tylko linia (pole nr 16) o bardzo małym udziale w prądzie zwarciegim na szynach. Do wyznaczenia rozkładu prądów zwarciegich wykorzystano model sieci w programie Plans. Obliczenia symulacyjne wykonano dla układu, w którym przeskalowano wartości prądu zwarciegiego tak, aby maksymalny prąd na szynach rozdzielni wynosił 40 kA.



Rys. 2. Schemat badanej rozdzielni 220 kV – punkt obserwacji zaznaczono kwadratem na II systemie szyn pomiędzy polami nr 12 i 13



Rys. 3. Roczna częstość przekroczenia poszczególnych wartości prądu zwarciegiego dla wybranego punktu obserwacji

Na rysunku 3 przedstawiono wykres rocznej częstości przekroczenia poszczególnych wartości prądu zwarciovego w punkcie obserwacji podczas zwarć w rozpatrywanym fragmencie systemu. Ponieważ udział prądu zwarciovego linii przyłączonej w polu 16 jest pomijalnie mały, maksymalne wartości prądów są bliskie 40 kA.

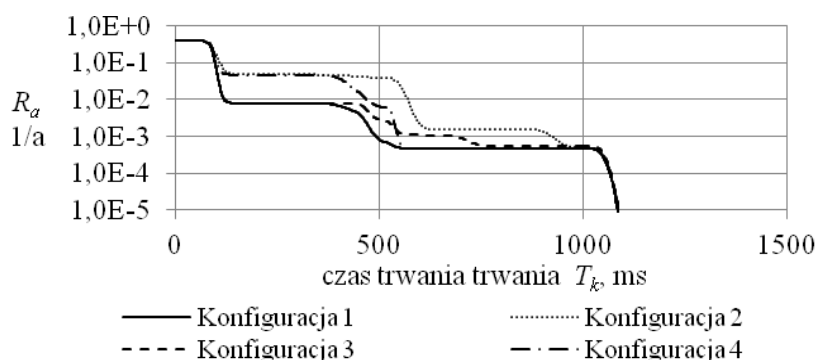
### 2.3. Model czasu trwania zwarcia

Podstawę do wyznaczania czasu trwania zwarcia podczas analizy skutków zwarciovych stanowi znajomość działania układu EAZ i wyłączników likwidujących przepływ prądu zwarciovego przez urządzenia. Uwzględniane zabezpieczenia, zasięgi stref i czasy działania zabezpieczeń oraz ogólną zasadę wyznaczania wartości  $T_k$  na drodze symulacji Monte Carlo bliżej omówiono w pracach [5 i 6].

Krzywe przedstawiające roczną częstość przekroczenia poszczególnych wartości czasu trwania zwarcia wyznaczone dla czterech wybranych konfiguracji EAZ (tabela 1) dla punktu obserwacji przedstawiono na rys. 4. W obliczeniach uwzględniono zwarcia na fragmencie systemu szyn zbiorczych nr II, w polu liniowym nr 16 i na linii przyłączonej do tego pola (którym towarzyszy przepływ prądu o dużych wartościach).

Tabela 1. Opis wyposażenia w układy EAZ badanej rozdzielni dla założonych konfiguracji

Wyposażenie	Konf. nr 1	Konf. nr 2	Konf. nr 3	Konf. nr 4
Automatyka SPZ i współbieżnianie zabezpieczeń	jest	brak	jest	jest
Układ LRW	jest	jest	jest	jest
Zabezpieczenie rozcinające w polu łącznika szyn	jest	jest	brak	jest
Zabezpieczenie szyn zbiorczych	jest	jest	jest	brak



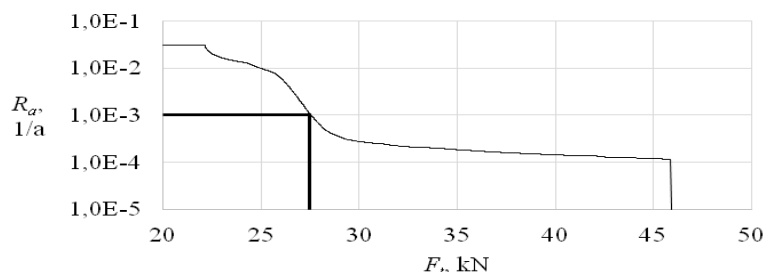
Rys. 4. Roczna częstość przekroczenia poszczególnych wartości czasu trwania zwarcia wyznaczona dla przyjętego punktu obserwacji

### 3. WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA WYZNACZANE WARTOŚCI CZASÓW ZWARCIA

#### 3.1. Metoda określania wartości czasu trwania zwarcia

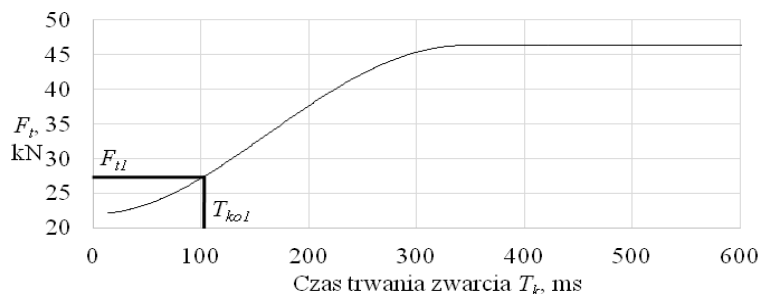
Analizę sił dynamicznych przeprowadzono dla wybranego przęsła rozdzielni 220 kV o długości 56 m.

Na rysunku 5 przedstawiono spodziewaną roczną częstość przekroczenia wartości siły  $F_t$ , wyznaczoną dla pełnej konfiguracji EAZ (konf. nr 1) w rozdzielni.



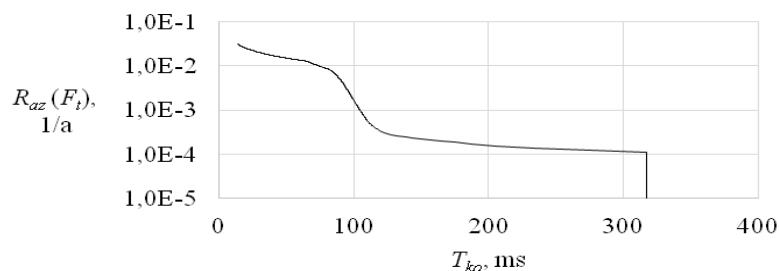
Rys. 5. Roczna częstość przekroczenia siły  $F_t$  dla punktu obserwacji i konfiguracji nr 1

Korzystając z wyznaczonej krzywej oraz z zależności wartości siły  $F_t$  od czasu trwania zwarcia wyznaczonej dla prądu 40 kA (rys. 6) można oszacować wartości czasu trwania zwarcia  $T_{ko}$ , jakie należy przyjmować podczas obliczania siły  $F_t$  w rozdzielni, przy założonej wartości ryzyka  $R_{az}$  (spodziewanej częstości przekroczenia wyznaczonej siły). Przykładowo częstości przekroczeń  $10^{-3}$  1/a odpowiada siła  $F_{tl}$  i wartości około 27,6 kN (rys. 5). Na podstawie krzywej zamieszczonej na rys. 6 można zauważyć, że wartości tej odpowiada czas  $T_{kol} = 104,7$  ms. W ten sposób można powiązać wartości czasu trwania zwarcia przyjmowane do obliczania skutków dynamicznych w rozdzielani o maksymalnym prądzie zwarcia 40 kA, ze spodziewanym ryzykiem przekroczenia wyznaczonej wartości siły podczas zwarcia.



Rys. 6. Zależność wartości siły  $F_t$  od czasu trwania zwarcia dla  $I_k'' = 40$  kA

Wykorzystując omówioną metodę wyznaczono krzywą ryzyka przekroczenia wyznaczonej siły  $F_t$  od wartości czasu  $T_{ko}$ , przyjmowanego do obliczania wartości tej siły – rys. 7.



Rys. 7. Zależność ryzyka przekroczenia siły  $F_t$  od czasu  $T_{ko}$  dla warunków zwarciovych w punkcie obserwacji, dla konfiguracji nr 1

Jeżeli zależność siły  $F_t$  od czasu trwania zwarcia w przedziale  $(t_{k1}, t_{k2})$  jest funkcją określoną i monotoniczną –  $g(t_k)$  i znana jest funkcja gęstości prawdopodobieństwa siły  $F_t$  –  $f_F(F_t)$ , to gęstość prawdopodobieństwa czasu  $t_{ko}$  –  $f_t(t_{ko})$ , w rozważanym przedziale czasu, można wyznaczyć analitycznie korzystając ze wzoru na gęstość funkcji zmiennych losowych [7] z zależności:

$$f_t(t_{ko}) = f_F(F_t) \cdot \left| \frac{dg(t_k)}{dt_k} \right| \quad (1)$$

### 3.2. Wpływ konfiguracji EAZ

Zestawienie wartości siły  $F_t$  oraz odpowiadających im wartości czasu  $T_{ko}$  dla wszystkich czterech uwzględnianych konfiguracji EAZ, dla wybranych poziomów ryzyka zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości siły  $F_t$  oraz czasu  $T_{ko}$  dla wybranych poziomów ryzyka i różnych konfiguracji EAZ

$R_a, 1/a$	Konf. nr 1		Konf. nr 2		Konf. nr 3		Konf. nr 4	
	$F_t, \text{kN}$	$T_{ko}, \text{ms}$	$F_t, \text{kN}$	$T_{ko}, \text{ms}$	$F_t, \text{kN}$	$T_{ko}, \text{ms}$	$F_t, \text{kN}$	$T_{ko}, \text{ms}$
$10^{-1}$	–	–	–	–	–	–	–	–
$10^{-2}$	25,0	74,2	25,6	82,0	25,0	74,2	25,8	84,8
$10^{-3}$	27,6	104,7	32,9	156,0	27,6	104,7	45,9	317,1
$10^{-4}$	45,9	317,1	45,9	317,1	45,9	317,1	45,9	317,1

Wyznaczone wartości czasu  $T_{ko}$  dla ryzyka równego  $10^{-3}$  1/a wynoszą około 100 ms (konfiguracja nr 1 i nr 3). Brak zabezpieczenia szyn zbiorczych powoduje znaczący wzrost wyznaczonej wartości czasu (około 3 razy). Dla rozważanego

poziomu ryzyka zaznacza się także wpływ braku automatyki SPZ i uwspółbieżnienia zabezpieczeń ( $T_{ko}$  wynosi około 160 ms).

Podobną analizę przeprowadzono dla siły  $F_f$ . Zestawienie wartości sił  $F_f$  oraz odpowiadających im czasów  $T_{ko}$  pokazano w tabeli 3.

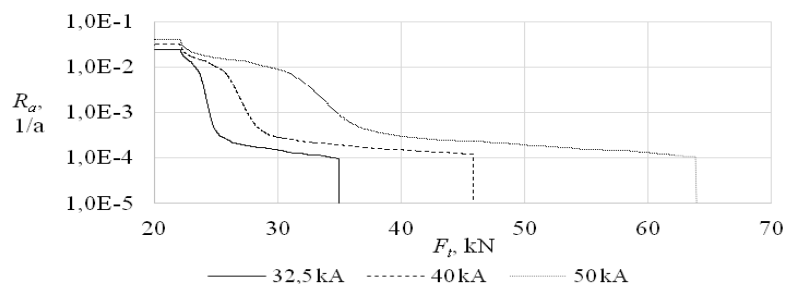
Tabela 3. Wartości sił  $F_f$  oraz czasów  $T_{ko}$  dla określonych poziomów ryzyka i różnych konfiguracji EAZ

$R_a, 1/a$	Konf. nr 1		Konf. nr 2		Konf. nr 3		Konf. nr 4	
	$F_f, \text{kN}$	$T_{ko}, \text{ms}$	$F_f, \text{kN}$	$T_{ko}, \text{ms}$	$F_f, \text{kN}$	$T_{ko}, \text{ms}$	$F_f, \text{kN}$	$T_{ko}, \text{ms}$
$10^{-2}$	–	–	–	–	–	–	–	–
$10^{-3}$	–	–	53,8	280,3	–	–	63,2	433,1
$10^{-4}$	61,5	399,7	64,8	469,4	63,7	444,6	66,4	517,2
$10^{-5}$	65,4	486,8	66,8	531,9	66,7	528,3	66,7	529,9

Z zamieszczonych rezultatów wynika, że podczas analizy skutków dynamicznych w rozdzielni przy założeniu ryzyka  $10^{-3}$  1/a, dla konfiguracji EAZ nr 1 i nr 3 siły  $F_f$  nie trzeba uwzględniać w ogóle. Dla konfiguracji nr 2 należałoby do obliczeń przyjąć czas trwania zwarcia wynoszący około 280 ms, a dla konfiguracji nr 4 około 430 ms.

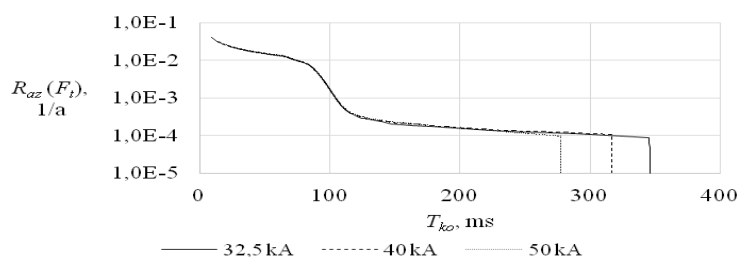
### 3.3. Wpływ maksymalnej wartości prądu zwarciego

Na rys. 8 przedstawiono roczną częstość przekroczenia wartości siły  $F_t$  dla trzech wartości prądu podczas trójfazowego zwarcia na szynach a na rys. 9 krzywe ryzyka przekroczenia wyznaczonej siły od wartości czasu  $T_{ko}$ , przyjmowanego do jej obliczania, dla tych samych wartości prądu. Założono konfigurację EAZ nr 1.



Rys. 8. Zależność ryzyka przekroczenia siły  $F_t$  dla trzech wartości prądu zwarciego

Wartość prądu zwarciego ma duży wpływ na maksymalną wartość siły  $F_t$ , natomiast nie ma wpływu na wyznaczaną wartość czasu  $T_{ko}$  dla ryzyka  $10^{-2}$  1/a i  $10^{-3}$  1/a. Jednak dla mniejszego ryzyka ( $10^{-4}$  1/a) wyznaczone wartości czasu  $T_{ko}$  różnią się znacząco od ok. 280 ms dla 32,5 kA do ok. 330 ms dla prądu 50 kA.



Rys. 9. Zależność ryzyka przekroczenia siły  $F_t$  od czasu trwania zwarcia  $T_{ko}$  dla trzech wartości prądu podczas zwarcia na szynach

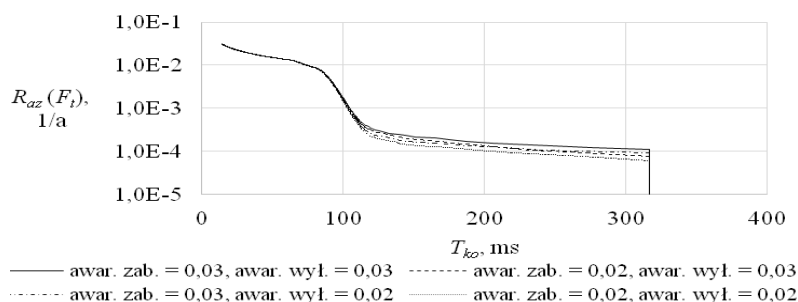
Siła  $F_f$  występuje przy stosunkowo dużych czasach trwania zwarcia, jednak spodziewana częstość jej występowania jest mniejsza niż  $10^{-3}$  1/a. Wartości czasu  $T_{ko}$ , jakie należałoby przyjmować do obliczania siły  $F_f$  dla różnych poziomów ryzyka przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wartości sił  $F_f$  oraz czasów  $T_{ko}$  dla różnych poziomów ryzyka i różnych wartości prądu zwarcowego

Poziom ryzyka	$T_{ko}$ , ms		
	32,5 kA	40 kA	50 kA
$10^{-4}$	429,0	399,7	391,0
$10^{-5}$	497,6	487,1	403,9
$10^{-6}$	551,8	548,8	403,9
$10^{-7}$	741,3	590,2	403,9

### 3.4. Wpływ awaryjności zabezpieczeń i wyłączników

Na rysunku 10 przedstawiono krzywe ryzyka przekroczenia wyznaczonej siły  $F_t$  od wartości czasu  $T_{ko}$ , przyjmowanego do jej obliczania, dla kombinacji dwóch różnych awaryjności zabezpieczeń i wyłączników.



Rys. 10. Zależność ryzyka przekroczenia siły  $F_t$  od czasu trwania zwarcia  $T_{ko}$  dla prądu zwarcowego 40 kA dla czterech różnych kombinacji awaryjności zabezpieczeń i wyłączników



Dla ryzyka  $10^{-3}$  1/a i większego uwzględniane zmiany awaryjności zabezpieczeń i wyłączników nie mają znaczącego wpływu na wyznaczone wartości czasu  $T_{ko}$ . Znaczące różnice występują dopiero dla poziomu ryzyka  $10^{-4}$  1/a. Zmniejszenie awaryjności o 1/3 wpływa na zmniejszenie wyznaczanych wartości czasu z 317 ms do 200 ms.

Spodziewana roczna częstość występowania siły  $F_f$  jest mniejsza niż  $10^{-3}$  1/a. Wyniki badań wskazują, że mniejsza awaryjność zabezpieczeń i wyłączników wpływa nieznacznie na zmniejszenie wyznaczanych wartości czasu  $T_{ko}$ , dla ryzyka mniejszego od  $10^{-3}$  1/a.

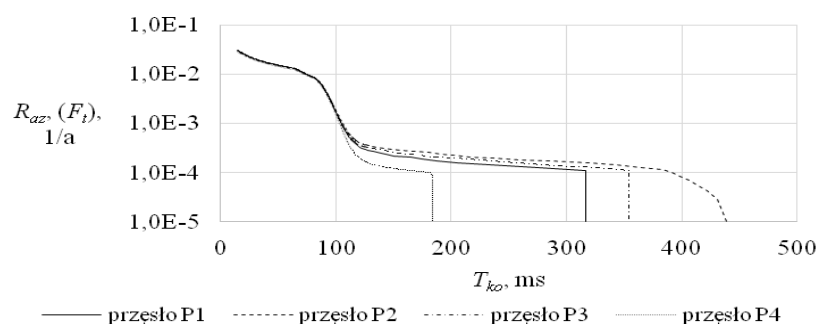
### 3.5. Wpływ parametrów przęsła

Obliczenia wykonano dla czterech przęseł, o parametrach podanych w tabeli 5.

Tabela 5. Parametry badanych przęseł dla warunków zwarciovych w punkcie obserwacji

Przęsło	Długość $l$ , m	Naciąg statyczny $F_{st}$ , kN/fazę	Masa dodatkowa $m_d$ , kg
P1	56	20	40
P2	56	10	40
P3	56	20	80
P4	28	20	40

Na rys. 11 przedstawiono krzywe ryzyka przekroczenia siły  $F_t$  od wartości czasu  $T_{ko}$ , przyjmowanego do jej obliczania, dla czterech uwzględnianych przęseł.



Rys. 11. Zależność ryzyka przekroczenia siły  $F_t$  od czasu trwania zwarcia  $T_{ko}$  dla prądu zwarciovego 40 kA dla czterech różnych przęseł

Dla poziomów ryzyka  $10^{-3}$  1/a i wyższych można uznać, że czas  $T_{ko}$  ma takie same wartości, niezależnie od uwzględnianych parametrów przęsła. Jednak dla mniejszych wartości ryzyka przekroczenia wartości badanego czasu zależą od

parametrów przęsła i są wyraźnie mniejsze dla przęsła krótszego – P4. Największe wartości czasu występują dla przęsła o długości 56 m, ale o mniejszej wartości naciągu statycznego – P2. Dla przęseł P4 i P2 maksymalne wartości siły  $F_t$  wynoszą ok. 30 kN a dla pozostałych są zdecydowanie większe (ok. 45 kN).

Z danych zamieszczonych w tabeli 6 wynika, że największy wpływ na wartości czasu  $T_{ko}$  dla wyznaczania siła  $F_f$ , dla ryzyka mniejszego niż  $10^{-3}$  1/a posiada długość przęsła, następnie naciąg statyczny i masa dodatkowa.

Tabela 6. Zależność ryzyka przekroczenia siły  $F_f$  od czasu trwania zwarcia  $T_{ko}$  dla prądu zwarciovego 40 kA dla czterech różnych przęseł

Poziom ryzyka	Czas $T_{ko}$ , ms			
	Przęsło P1	Przęsło P2	Przęsło P3	Przęsło P4
$10^{-4}$	399,7	410,3	411,3	243,6
$10^{-5}$	487,1	492,6	495,2	243,6
$10^{-6}$	548,8	492,8	613,3	243,6
$10^{-7}$	590,2	492,8	640,7	243,6

#### 4. PODSUMOWANIE

Określanie wartości czasu trwania zwarcia podczas obliczania sił dynamicznych w rozdzielniach najwyższych napięć można oprzeć na poziomach zakładanego ryzyka, tzn. spodziewanej rocznej częstości przekroczenia wyznaczanej siły w czasie eksploatacji rozdzielni. Przeprowadzone badania pozwoliły, dla określonych warunków zwarciovych w rozdzielni 220 kV, zbadać wpływ konfiguracji EAZ, maksymalnej wartości prądu zwarciovego na szynach, awaryjności zabezpieczeń i wyłączników oraz parametrów przęsła, na badane wartości czasu  $T_{ko}$ . Autorzy prac, w których podejmowano problem ryzyka dopuszczalnego podczas doboru urządzeń do warunków zwarciovych, wskazują na wartość  $10^{-2}$  1/a,  $10^{-3}$  1/a [6].

Badania wykazały, że dla podanych wartości ryzyka, uwzględniane czynniki, nie mają istotnego wpływu na wartość czasu trwania zwarcia wyznaczaną do obliczania siły  $F_t$ . Istotny wpływ posiada tylko konfiguracja EAZ. Wartości czasu  $T_{ko}$ , wyznaczone przy założeniu ryzyka  $10^{-3}$  1/a, odpowiednio wynoszą: 100 ms – przy pełnej konfiguracji EAZ w rozdzielni, 160 ms – przy braku działania automatyki SPZ i uwspółbieżniania zabezpieczeń oraz 320 ms – w wypadku braku zabezpieczenia szyn. Brak zabezpieczenia rozcinającego w polu łącznika szyn nie wpływa na obliczaną wartość. Wyniki obliczeń wykonanych dla poziomów ryzyka mniejszych niż  $10^{-3}$  1/a, ukazują wpływ wszystkich czynników na wartości  $T_{ko}$ .

W rozdzielniach najwyższych napięć siła  $F_f$  posiada z reguły większe wartości niż siła  $F_t$ , ale prawdopodobieństwo jej wystąpienia jest małe, mniejsze niż  $10^{-3}$  1/a przy pełnej konfiguracji EAZ w rozdzielni. Wartości czasu  $T_{ko}$  wyznaczone dla

obliczania siły  $F_f$  przy małym ryzyku są większe niż wartości tego czasu dla wyznaczenia siły  $F_t$ . W sytuacjach wątpliwych, zasadność uwzględnienia siły  $F_f$ , podczas wyboru wariantu rozdzielni, należy umotywić analizą ekonomiczną.

Przyjęte założenia, szczególnie nie uwzględnienie rozplywu prądu zwarciovego w ramach jednego przęsla, oraz przyjęcie stałej temperatury przewodów przed zwarcie mogą znacznie zawyżać spodziewaną wartość ryzyka (wprowadzając pewien współczynnik bezpieczeństwa).

### LITERATURA

- [1] Frąckowiak R., Piechocki P. Values of short-circuit duration and dynamic forces during short-circuits in the EHV substations: simulation-based investigations, Monograph "Computer Applications in Electrical Engineering", Poznan University of Technology, Poznan 2014, vol. 12, p. 171–184.
- [2] PN-EN 60865-1. Obliczanie skutków zwarciovych – Część I: Definicje i metody obliczania (IEC 865-1. Short-circuit currents – Calculation of effects. Geneva 1993).
- [3] Frąckowiak R. Zagadnienia elektroenergetyki w ujęciu statystycznych i probabilistycznych badań. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2013.
- [4] Frąckowiak R., Piechocki P., Symulacyjna ocena prądów zwarciovych w rozdzielniach 110, 220 i 400 kV, Przegląd Elektrotechniczny 2010; 86(4); 237–240.
- [5] Frąckowiak R., Piechocki P. Wartości czasu trwania zwarcia szacowane dla rozdzielni najwyższych napięć na podstawie badań symulacyjnych, Przegląd Naukowo-Metodyczny, Edukacja dla Bezpieczeństwa 2016; 1: 1338–1352.
- [6] Frąckowiak R., Piechocki P. Rzeczywisty czas działania zabezpieczeń w sieci elektroenergetycznej 110, 220 i 400 kV, Automatyka Elektroenergetyczna 2009; 2: 12–16.
- [7] Anders C. J. Probability Concepts in Electric Systems. J. Toronto: Wiley&Sons, 1990.

### FACTORS AFFECTING SHORT-CIRCUIT DURATION VALUES BEING DETERMINED DURING ANALYSIS OF DYNAMIC FORCES IN DISTRIBUTION SUBSTATION

The paper refers to the finding of the short-circuit duration values when computing the dynamic effects in the EHV distribution substations with flexible conductors using statistical-probabilistic method. A dedicated simulation model comprising an important element i.e. a short-circuit duration model has been developed. Using the elaborated risk criterion-based method of determination of the short-circuit duration values when computing the dynamic forces in the distribution substations, the influence of the span parameters, EAZ configuration and failure rate of the circuit-breakers and protections on the results of the conducted investigations has been discussed.

*(Received: 30. 01. 2017, revised: 15. 02. 2017)*