

ANALIZA WPLYWU KSZTAŁTU PRĄDU PIORUNA NA POZIOM PRZEPIĘĆ ATMOSFERYCZNYCH

Rafał TARKO, Mariusz BENESZ

Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel: (12) 617 36 53 fax: (12) 634 57 21
e-mail: rafal.tarko@agh.edu.pl; mariusz.benesz@agh.edu.pl

Streszczenie: Artykuł dotyczy analizy wpływu kształtu prądu pioruna na wielkość przepięć atmosferycznych w układach izolacyjnych napowietrznych linii o napięciu 110 kV. W analizie rozważano trzy kształty prądu wyladkowego do linii napowietrznej: prostokątny, trójkątny oraz z wklęsłym czołem, jak również dwa przypadki narażeń linii elektroenergetycznych (uderzenia bezpośredniego w przewód fazowy oraz tzw. przeskok odwrotny). Symulacje przeprowadzone zostały przy pomocy programu *The Electromagnetic Transients Program - Alternative Transients Program (EMTP-ATP)*.

Słowa kluczowe: kształt prądu pioruna, przepięcia atmosferyczne, *EMTP – ATP*.

1. WPROWADZENIE

Oszacowanie narażeń piorunowych układów izolacyjnych wysokich i najwyższych napięć jest związane z dwoma zagadnieniami, a mianowicie ze znajomością mechanizmu wyladowań piorunowych oraz wiarygodnością oszacowania parametrów opisujących wyladowanie piorunowe. Pierwsze zagadnienie jest stosunkowo dobrze rozpoznane i oparte na procesie rozwoju iskry długiej. Z kolei drugie zagadnienie podlega ciągłej weryfikacji i związane jest z rozwojem systemów automatycznej rejestracji wyladowań piorunowych – dotyczy to szczególnie takich parametrów prądu pioruna jak: kształt, wartość szczytowa i szybkości narastania impulsu prądowego.

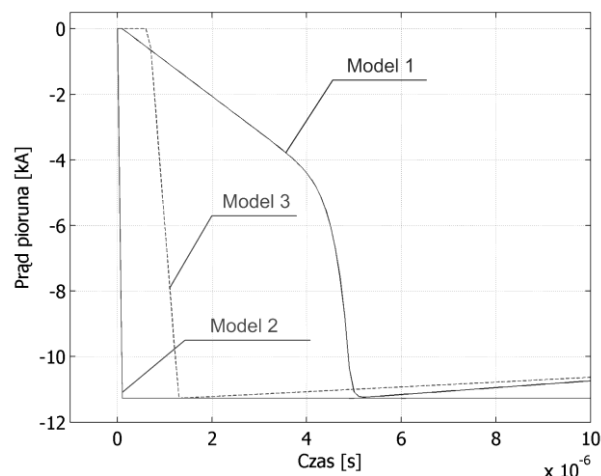
2. MODEL ANALIZOWANEGO UKŁADU

Dla analizy wpływu kształtu prądu pioruna na poziom przepięć atmosferycznych opracowano, przy użyciu programu *EMTP-ATP*, model systemu elektroenergetycznego złożonego z dwóch linii napowietrznych zasilających stację wysokiego napięcia. Przedstawiony model złożony jest z modeli cząstkowych, odzwierciedlających właściwości poszczególnych elementów konstrukcyjnych oraz istotne z punktu widzenia prowadzonej analizy zjawiska fizyczne zachodzące w układzie. Układ złożony jest z:

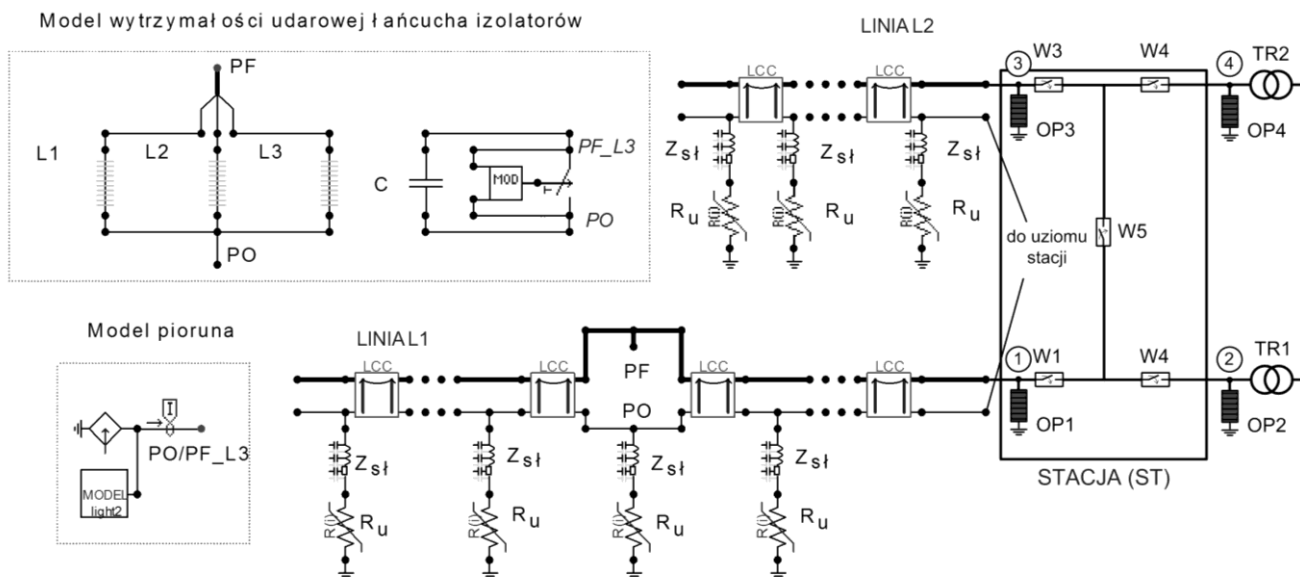
- modeli prześel linii napowietrznej uwzględniających efekty falowe powstające przy wyladowaniu atmosferycznym (*model Semlyena*) [1],

- modeli impedancji falowej konstrukcji wsporczych opracowanych na podstawie wytycznych *IEEE* poprzez podanie: impedancji falowej (Z_{si}), prędkości propagacji fali oraz wysokości konstrukcji wsporczych.
- modeli nieliniowej rezystancji uziomów,
- modeli wytrzymałości udarowej łańcucha izolatorów, które oparto na metodzie rozwoju lidera *LDM* [2],
- modelu stacji elektroenergetycznej opracowanego na podstawie następujących wytycznych:
 - przewody łączące (do 15m) odwzorowano jako indukcyjność o wartości 1mH/m,
 - pojemności doziemne zainstalowanych urządzeń odwzorowano jako pojemności o wartościach z zakresu 100 pF – 1 nF,
 - transformatory przedstawiono jako równoległe połączone pojemności i rezystancje,
 - ograniczniki przepięć odwzorowano w postaci modeli na podstawie wytycznych *IEEE*.
- modelu pioruna, który odwzorowano za pomocą udarowego źródła prądowego o zmiennej wartości maksymalnej i kształtach przedstawionych na rysunku 1.

Model analizowanego układu opracowany w preprocesorze graficznym *ATPDraw*, przedstawiono na rysunku 2.

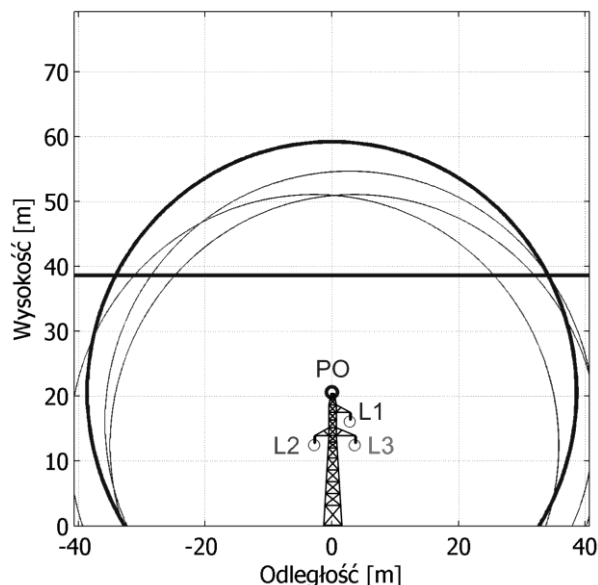


Rys. 1. Kształty prądu pioruna uwzględniane w symulacjach: model 1 – kształt prądu pioruna z wklęsłym czołem, model 2 – kształt prądu pioruna prostokątny, model 3 – kształt prądu pioruna trójkątny



Rys. 2. Model analizowanego układu w programie EMTP-ATP

PF – przewód fazowy, PO – przewód odgromowy, Z_{st} – impedancja falowa konstrukcji wsporczej, R_u – rezystancja uziemienia konstrukcji wsporczej, W1÷W5 – wyłącznik, OP1÷OP4 – ogranicznik przepięć, LCC – model przęsła linii napowietrznej



Rys. 3. Wyznaczenie krytycznej wartości prądu pioruna na podstawie teorii elektrogeometrycznej – konstrukcja wsporcza typu B2P

3. WYNIKI SYMULACJI

Celem symulacji jest ocena wpływu kształtu prądu pioruna na poziom przepięć atmosferycznych w miejscu wprowadzenia linii napowietrznej na teren stacji (punkt 1 na rysunku 2) oraz na zaciskach transformatora TR1 (punkt 2 na rysunku 2) dla dwóch wariantów:

- wariant I: nieuwzględniający ograniczniki przepięć OP1÷OP4 w punktach 1÷4,
- wariant II: uwzględniający ograniczniki przepięć OP1÷OP4 w punktach 1÷4.

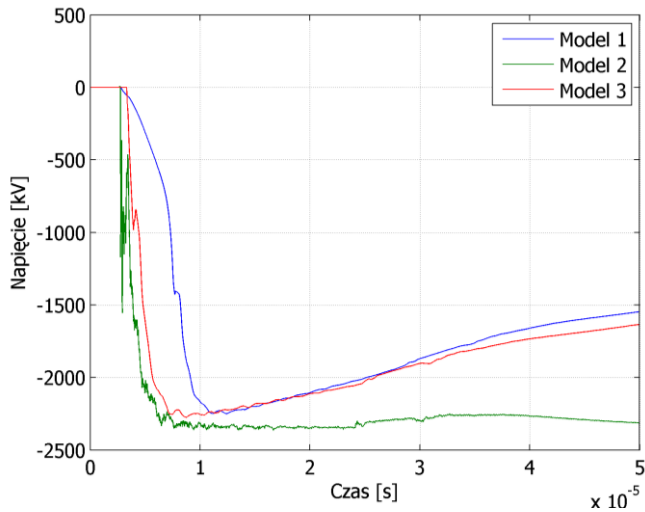
Obliczenia przeprowadzono przy następujących założeniach:

- nie uwzględniono napięcia fazowego ($U_f = 89,81$ kV) analizowanego układu,

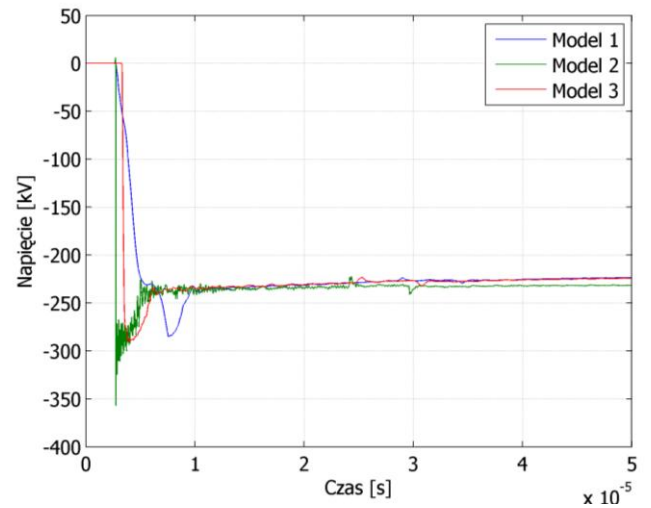
- uwzględniono trzy modele prądu pioruna o różnych kształtach przedstawionych na rysunku 1,
- uwzględniono dwa przypadki narażeń atmosferycznych linii wysokiego napięcia – uderzenie bezpośrednie pioruna w przewód fazowy oraz uderzenie w konstrukcję wsporczą i powstanie zjawiska przeskoku odwrotnego,
- przy analizie uderzenia bezpośredniego pioruna w przewód fazowy przyjęto za wartość szczytową impulsu prądowego krytyczną wartość prądu pioruna, powyżej której – w myśl teorii elektrogeometrycznej [3] – nie jest możliwe uderzenie pioruna w przewód fazowy linii, $I_{max} = 11,27$ kA (rys. 3),
- model wytrzymałości udarowej uwzględniano tylko na konstrukcji wsporczej, do której następowało wyładowanie atmosferyczne,
- obliczenia przeprowadzono dla wartości rezystywności gruntu $\rho = 200$ Ω m, rezystancji uziemienia konstrukcji wsporczych $R_{SL} = 10$ Ω i rezystancji uziemienia stacji $R_{ST} = 0,56$ Ω ,
- symulacje dotyczyły bezpośredniego uderzenia pioruna w punkt PO lub PF (rys. 2) w odległości 800 m od stacji, w chwili $t = 0$ s.

Wybrane wyniki przeprowadzonych symulacji wpływu kształtu prądu pioruna na poziom przepięć atmosferycznych przedstawiono na rysunkach 4 – 11, przy czym:

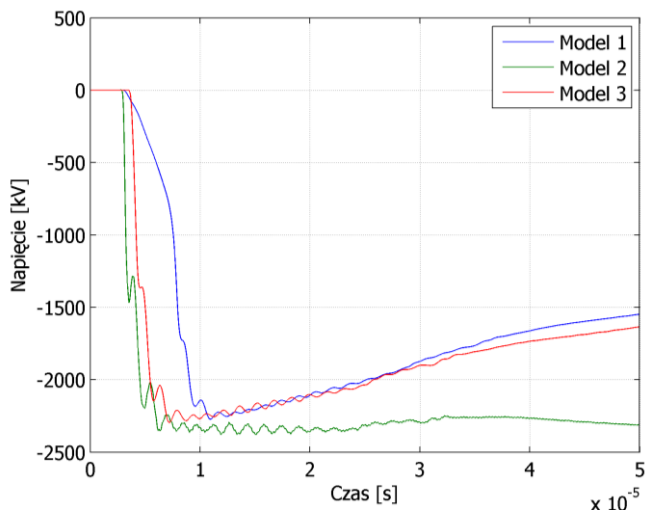
- rysunki 4 i 5 przedstawiają przebiegi napięcia fazy, do której wystąpiło uderzenie bezpośrednie wyładowania piorunowego, bez uwzględniania ograniczników przepięć,
- rysunki 7 i 8 przedstawiają przebiegi napięcia fazy, do której wystąpiło uderzenie bezpośrednie wyładowania piorunowego, z uwzględnieniem ograniczników przepięć,
- rysunki 6 i 10 przedstawiają przebiegi napięcia fazy, na której wystąpił przeskok odwrotny, bez uwzględniania ograniczników przepięć,
- rysunki 9 i 11 przedstawiają przebiegi napięcia fazy, na której wystąpił przeskok odwrotny, z uwzględnieniem ograniczników przepięć.



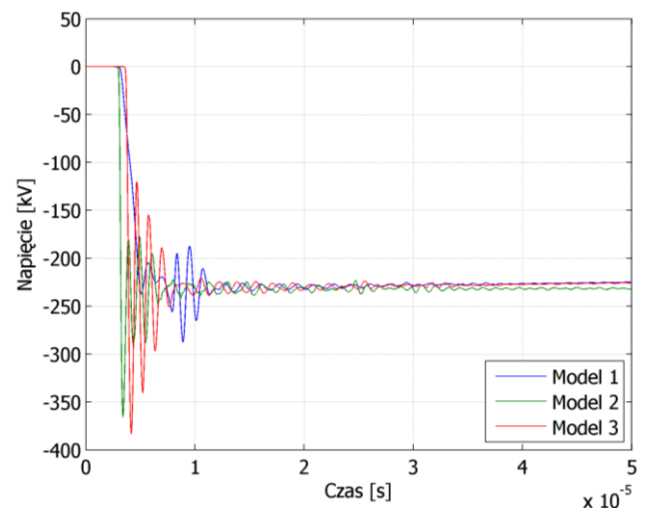
Rys. 4. Przebiegi napięć fazy L1 na podejściu do analizowanej stacji – w skutek uderzenia bezpośredniego (wariant 1 – bez uwzględniania ograniczników przepięć)



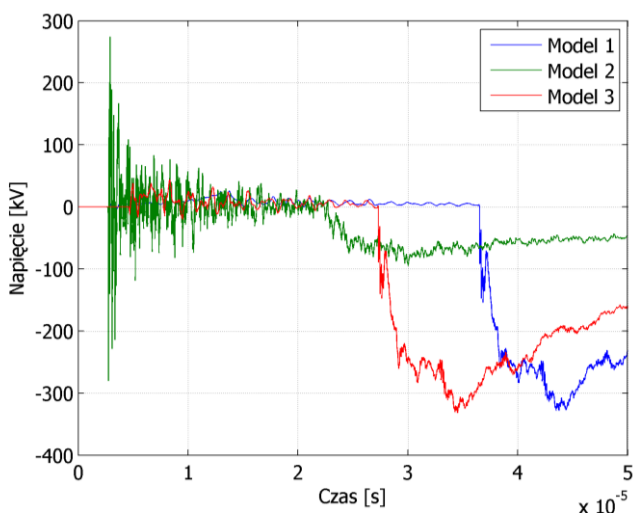
Rys. 7. Przebiegi napięć fazy L1 na podejściu do analizowanej stacji – w skutek uderzenia bezpośredniego (wariant 2 – z uwzględnieniem ograniczników przepięć)



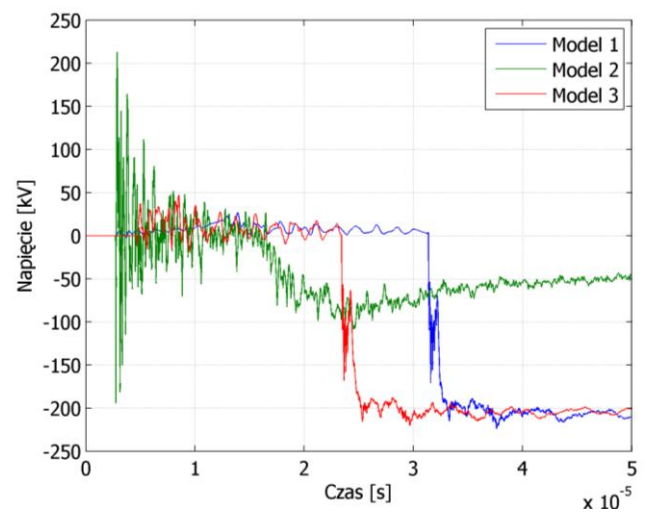
Rys. 5. Przebiegi napięć fazy L1 na zaciskach transformatorze TR1 – w skutek uderzenia bezpośredniego (wariant 1 – bez uwzględniania ograniczników przepięć)



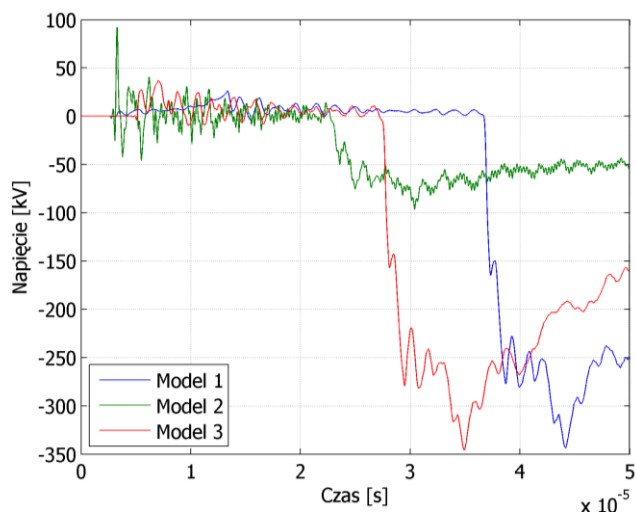
Rys. 8. Przebiegi napięć fazy L1 na zaciskach transformatorze TR1 – w skutek uderzenia bezpośredniego (wariant 2 – z uwzględnieniem ograniczników przepięć)



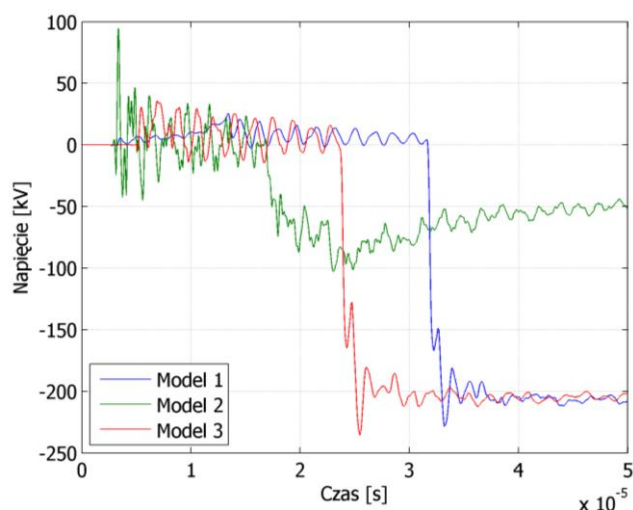
Rys. 6. Przebiegi napięć fazy L3 na podejściu do analizowanej stacji – w skutek przeskoku odwrotnego (wariant 1 – bez uwzględniania ograniczników przepięć)



Rys. 9. Przebiegi napięć fazy L3 na podejściu do analizowanej stacji – w skutek przeskoku odwrotnego (wariant 2 – z uwzględnieniem ograniczników przepięć)



Rys. 10. Przebiegi napięć fazy L3 na zaciskach transformatora TR1 – w skutek przeskoku odwrotnego (wariant 1 – bez uwzględnienia ograniczników przepięć)



Rys. 11. Przebiegi napięć fazy L3 na zaciskach transformatora TR1 – w skutek przeskoku odwrotnego (wariant 2 – z uwzględnieniem ograniczników przepięć)

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że bezpośrednie wyładowania atmosferyczne w przewód fazowy linii napowietrznej mogą stanowić źródło przepięć o znacznych wartościach szczytowych, niezależnie od założonego kształtu prądu pioruna. Szczególnie groźnym przypadkiem jest sytuacja, w której nie zastosowano

ograniczników przepięć (rys. 4 i 5). Zastosowanie ograniczników przepięć ogranicza poziom spodziewanych przepięć, ale dla dużych odległości ogranicznika od chronionego urządzenia uwidaczniają się efekty falowe mogące powodować wzrost przepięć do poziomu zagrażającego urządzeniom (rys. 7 i 8) – szczególnie dla przypadku prądu pioruna o kształcie prostokąta. Dla dwóch pozostałych kształtów prądu otrzymano przebiegi napięć w narażonej fazie bardzo podobne do siebie. Różnice polegają na przesunięciu w czasie momentu wystąpienia większych wartości przepięć i wynikają z różnych czasów osiągnięcia wartości szczytowych prądu pioruna w danym modelu.

Z kolei na podstawie wyników analizy powstania zjawiska przeskoku odwrotnego (rys. 6,9÷11) zauważyć można, że minimalna wartość prądu powodującego zjawisko przeskoku odwrotnego ($I_{P_{Omin}}$), nie stanowi źródła dużych przepięć, zagrażających urządzeniom zainstalowanym w stacjach, nawet w przypadku braku ograniczników przepięć (rysunki 6 i 10). Dla rozpatrywanej konstrukcji wspanoczej typu B2P (rys. 3) wartość $I_{P_{Omin}}$ waha się od 19,6 kA (prąd o kształcie prostokąta) przez 110 kA (prąd o kształcie trójkąta) do 143 kA (prąd z wklęsłym czołem). Tutaj również uwidacznia się duże podobieństwo przebiegów przepięciowych dla prądu pioruna o kształcie trójkąta i kształcie z wklęsłym czołem.

Podsumowując, przeprowadzono analiza wykazała, że w pewnych sytuacjach konieczne jest uwzględnienie wklęsłego czoła w narażeniu piorunowym. Szczególnie w przypadku analizy przepięć występujących w stacjach elektroenergetycznych, gdzie uwidaczniają się wielokrotne odbicia w punktach nieciągłości. Zastosowanie modelu prądu pioruna o kształcie prostokątnym wydaje się zbyt dużym uproszczeniem pociągającym za sobą wzrost spodziewanych narażeń napięciowych.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Alternative Transients Program. *Theory Book*. Canadian/American EMTP User Group, 1987-92.
2. Nowak W.: Identyfikacja narażeń przepięciowych układów elektroenergetycznych wysokich napięć przy wyładowaniach atmosferycznych, Kraków 2005, ISSN 0867-6631.
3. CIGRÉ Working Group 33-01 of Study Committee 33 Overvoltages and Insulation Coordination, Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines, CIGRÉ Publication No. 63, 1991.

ANALYSIS OF INFLUENCE OF LIGHTNING CURRENT SHAPES ON THE LEVEL OF ATMOSPHERIC DISCHARGES

Key-words: shape of lightning current, atmospheric discharges, EMTP – ATP.

In article analysis of influence of lightning current shapes on overvoltages in high voltage overhead lines are presented. Simulations involved three shapes of lightning current (rectangular shape, triangular shape and current with concave face) and two cases of atmospheric discharges (direct impact and so-called back flashover). All simulation cases are made in simulation software *The Electromagnetic Transients Program - Alternative Transients Program (EMTP-ATP)*.