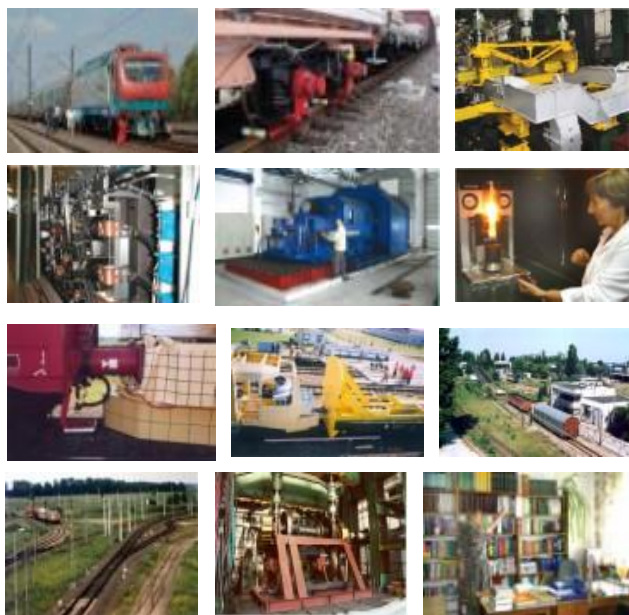




**Zastosowanie programu MATHCAD do symulacji
napięcia na pantografie, przepływu prądów
obciążeniowych i zwarciovych w sieci trakcyjnej**

Włodzimierz Kruczek



Zawartość

Układ zasilania w systemie trakcji 3 kV DC

Wielkości wyjściowe do obliczeń trakcyjnych układów zasilania

Normalne i anormalne warunki eksploatacji

Wymogi dla układów zasilania dla linii nieinteroperacyjnych

Metodologia badań

Wymogi dla układów zasilania dla linii interoperacyjnych

Wskaźniki jakości zasilania

Napięcie średnie użyteczne

Warunki dopuszczenia

Napięcie chwilowe na pantografie

Zawartość

Założenia do programu symulacyjnego

Mathcad – ogólna charakterystyka

Charakterystyka programu symulacyjnego

Wyniki przykładowych symulacji

Układ zasilania w systemie trakcji 3 kV DC

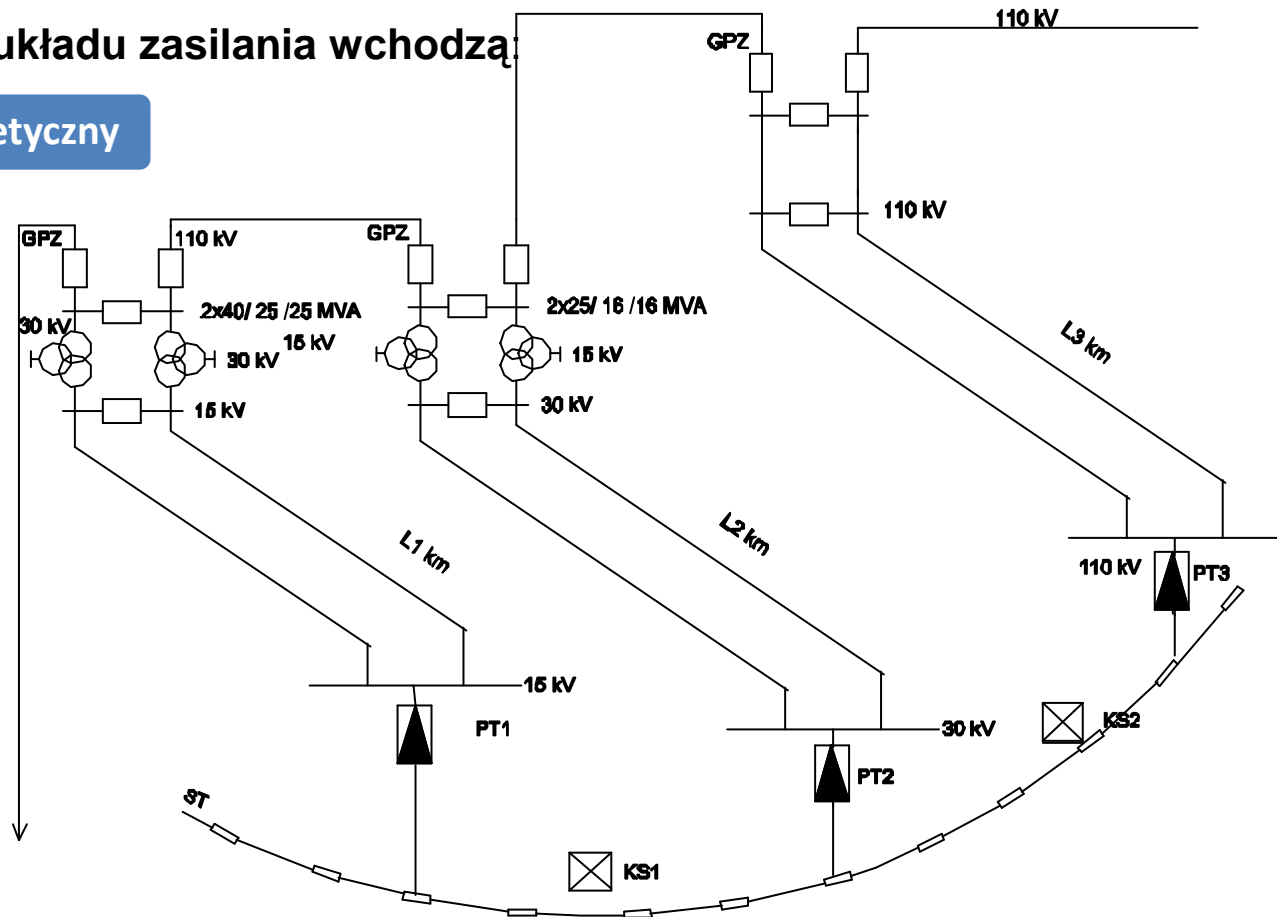
Układ zasilania – jest to obwód elektryczny o określonej strukturze służący do zasilania taboru trakcyjnego. **W skład układu zasilania wchodzi:**

zasilający system elektroenergetyczny

podstacje trakcyjne

sieć trakcyjna

kabiny sekcyjne



Wielkości wyjściowe do obliczeń trakcyjnych układu zasilania

Wielkością wyjściową do obliczeń trakcyjnych układu zasilania są zwykle potrzeby przewozowe. Wynikają one z aktualnych lub planowanych wielkości przewozowych.

Dla znanych tras przewozowych, i znanego zapotrzebowania przewozowego określa się rozkład jazdy. Warunek realizacji zadanego rozkładu jazdy, więc przejazdu zadanej drogi przez zaplanowaną liczbę pociągów, w określonym czasie i z określoną prędkością stawia wymogi dla układu zasilania. Na podstawie wymogów określa się wytyczne do projektowania układu zasilania.

Układ zasilania powinien być tak zwymiarowany żeby zapewnić wymaganą wydajność i efektywność pod względem energetycznym, w celu prowadzenia ruchu kolejowego na danej linii zgodnie z rozkładem jazdy w normalnych warunkach eksploatacji.

Normalne / anormalne warunki eksploatacji

normalne warunki eksploatacji – ruch zgodny z zaplanowanym rozkładem jazdy oraz składy pociągów eksploatowane odpowiednio do parametrów technicznych stacjonarnych instalacji zasilania. Urządzenia zasilania działają zgodnie z ustalonymi zasadami

anormalne warunki eksploatacji - *większe natężenie ruchu lub przestój urządzenia zasilania poza ustalonymi zasadami*

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC

Wraz z **wprowadzeniem Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności** dla podsystemu „Energia” dokument ten stał się podstawowym dokumentem w którym zostały określone wymagania dotyczące układu zasilania. Ma zastosowanie do całości nowej, modernizowanej, lub odnawianej infrastruktury.

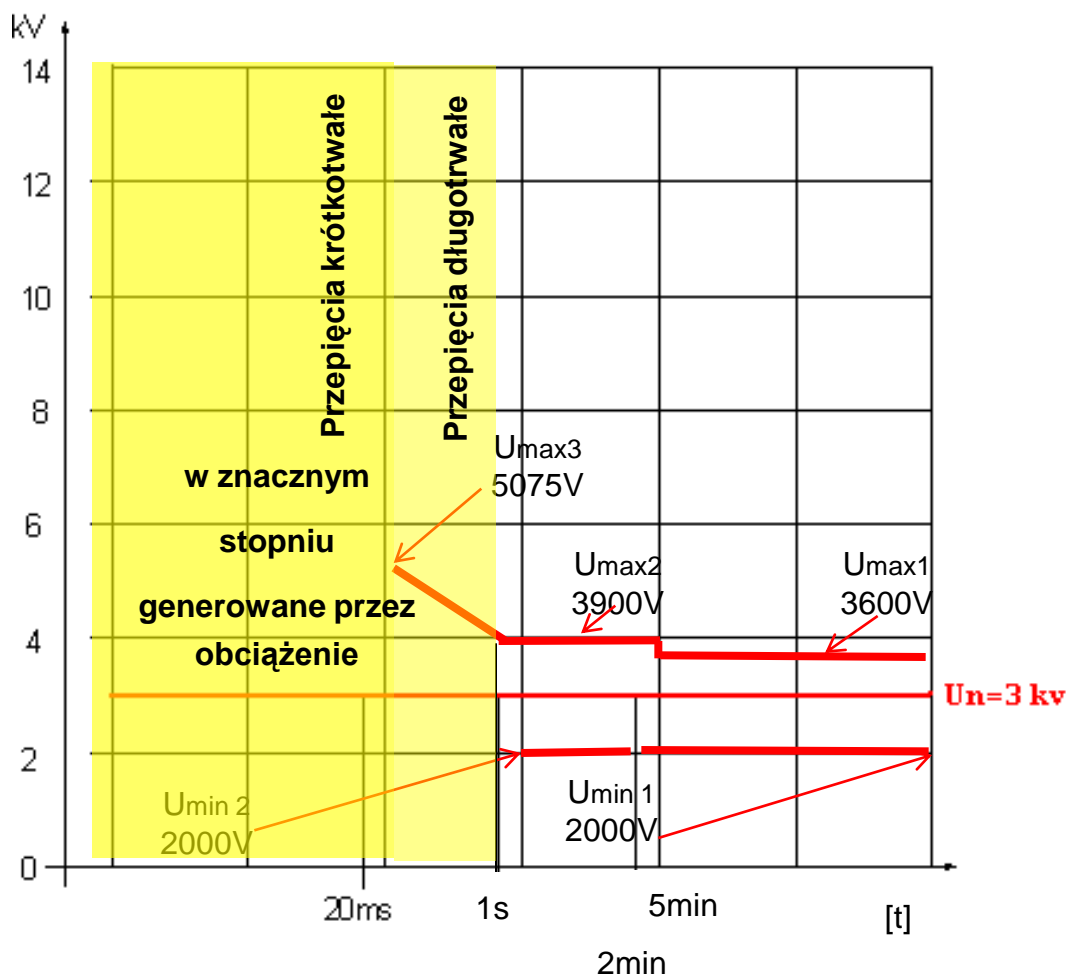
- Wymagania normatywne układu zasilania trakcyjnego dla linii nieinteroperacyjnych.
- Wymagania normatywne układu zasilania trakcyjnego dla linii interoperacyjnych.

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC

Dla linii nieinteroperacyjnych	Dla linii interoperacyjnych
<ul style="list-style-type: none"> ➤ PN EN 50163 Zastosowania kolejowe Napięcia zasilania systemów trakcyjnych 	<p>DECYZJA KOMISJI z dnia 26 kwietnia 2011 r. dotycząca technicznej specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Energia” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych</p>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ PN-EN 50124-2 Zastosowania kolejowe -- Koordynacja izolacji -- Część 2: Przepięcia i ochrona przeciwprzepięciowa 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ PN EN 50388 Zastosowania kolejowe - System zasilania i tabor - - Warunki techniczne koordynacji pomiędzy systemem zasilania (podstacja) i taborem w celu osiągnięcia interoperacyjności
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998r. w sprawie warunków technicznych , jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowania 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ PN EN 50163 Zastosowania kolejowe Napięcia zasilania systemów trakcyjnych
<ul style="list-style-type: none"> ➤ UIC 600 Elektric traction with aerial contact line 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ PN-EN 50124-2 Zastosowania kolejowe -- Koordynacja izolacji -- Część 2: Przepięcia i ochrona przeciwprzepięciowa
<ul style="list-style-type: none"> ➤ UIC 795 Minimum installed power Line catagories 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998r. w sprawie warunków technicznych , jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowania
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ UIC 600 Elektric traction with aerial contact line
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ UIC 795 Minimum installed power Line catagories

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC

Dla linii nieinteroperacyjnych



Wartości napięć granicznych w odniesieniu do wartości i czasu trwania systemu takcji 3 kV DC według PN EN 50163

Wartości maksymalne mierzone bez obciążenia na szynach zbiorczych podstacji trakcyjnej

Wartości minimalne mierzone przy pełnym obciążeniu w normalnych warunkach eksploatacji na pantografie pojazdu trakcyjnego

Najniższe napięcie nietrwałe	Najniższe napięcie trwałe	Najwyższe napięcie trwałe	Najwyższe napięcie nietrwałe	Najwyższe napięcie nietrwałe
U_{min2} [V]	U_{min2} [V]	U_{max1} [V]	U_{max2} (5 min max) [V]	U_{max3} (20ms max) [V]
2000	2000	3600	3900	5075

Dla czasu $0,02 \text{ s} \geq t \leq 1 \text{ s}$

$$U(t) = U_{max2} \times t^{-k} \quad k = 0,0673$$

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC

- 1) napięcie minimalne dopuszczalne nie może być mniejsze od 2000V bez ograniczeń czasu;
- 2) czas trwania dla napięć między 3600V i 3900V nie może przekroczyć 5 min;
- 3) w normalnych warunkach eksploatacji, napięcie ma być w przedziale $2000V \leq U \leq 3900V$;
- 4) napięcie na szynie zbiorczej na podstacjach w warunkach braku obciążenia ma być mniejsze lub równe 3600V. Jest dopuszczalne, aby napięcie to bez obciążenia - było mniejsze lub równe 3900V (dla czasu ponad 5 min), przy założeniu, że w przypadku pojawienia się pociągu, napięcie na jego pantografie obniży się do 3600V;

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC

6) jeśli są osiągane napięcia pomiędzy 3600V i 3900V, to mają one być zakończone poziomem niższym lub równym 3600V przez nieokreślony okres czasu. Napięcia pomiędzy 3600V i 3900V mogą być osiągane w warunkach nietrwałych takie jak hamowanie odzyskowe, zmiana stanu systemów regulacji napięcia

7) najniższe napięcie eksploatacji: w anormalnych warunkach eksploatacji 2000V jest najniższym ograniczeniem dla napięcia sieci jezdnej, w którym tabor szynowy może działać.

Zalecana wartość ustawień dla podnapięciowego wyzwolenia: przekaźników podnapięciowych w instalacjach stacjonarnych lub pokładowych taboru szynowego powinna wynosić od 85% do 95% $U_{\min 2} \cdot (1700 \div 1900) \text{ V}$

Metodologia badań – pomiar napięć

Gdzie	kiedy	Jak	Warunki odbioru
Podstacja Szyna zbiorcza, otwarte wyłączniki zasilaczy, normalne warunki eksploatacji.	Uruchomienie przed rozpoczęciem eksploatacji	➤ Rejestrator napięcia dla podstawowej częstotliwości ➤ Rejestrator danych cyfrowych z zakresem częstotliwości równym 2 kHz lub większym, uśredniający co 1 s. ➤ Okres pomiaru 1 min	napięcie na szynie zbiorczej na podstacjach w warunkach braku obciążenia ma być mniejsze lub równe U_{max1} Dla podstacji prądu stałego jest dopuszczalne, aby napięcie to bez obciążenia - było mniejsze lub równe 3900V, przy założeniu, że w przypadku pojawienia się pociągu, napięcie na jego pantografie obniży się do 3600
Jeśli którekolwiek z urządzeń poprawiających warunki napięciowe jest zainstalowane wzdłuż linii Pomiar po obu stronach urządzenia bez obciążenia i w normalnych warunkach eksploatacji	Uruchomienie przed rozpoczęciem eksploatacji i w trakcie eksploatacji	Bez obciążenia → patrz podstacja W eksploatacji → patrz pomiar doraźny	Bez obciążenia → patrz podstacja W eksploatacji → patrz pomiar doraźny
Pomiar doraźny w miejscu zlokalizowania problemu	W odpowiedzi na problem	➤ Rejestrator napięcia dla podstawowej częstotliwości ➤ Rejestrator danych cyfrowych z zakresem częstotliwości równym 2 kHz lub większym, uśredniający co 1 s. ➤ Okres pomiaru min 1 h maksimum 1 tydzień	➤ Wszystkie wartości napięcia są równe 2000 V lub większe ➤ Średnia wartość napięcia zawiera się między 2000V i 3600V ➤ Wszystkie czasy trwania napięć powyżej 3600 V są równe czasom podanym w 4.1.b) lub mniejsze ➤ Wszystkie wartości napięcia są równe 3900 V lub mniejsze

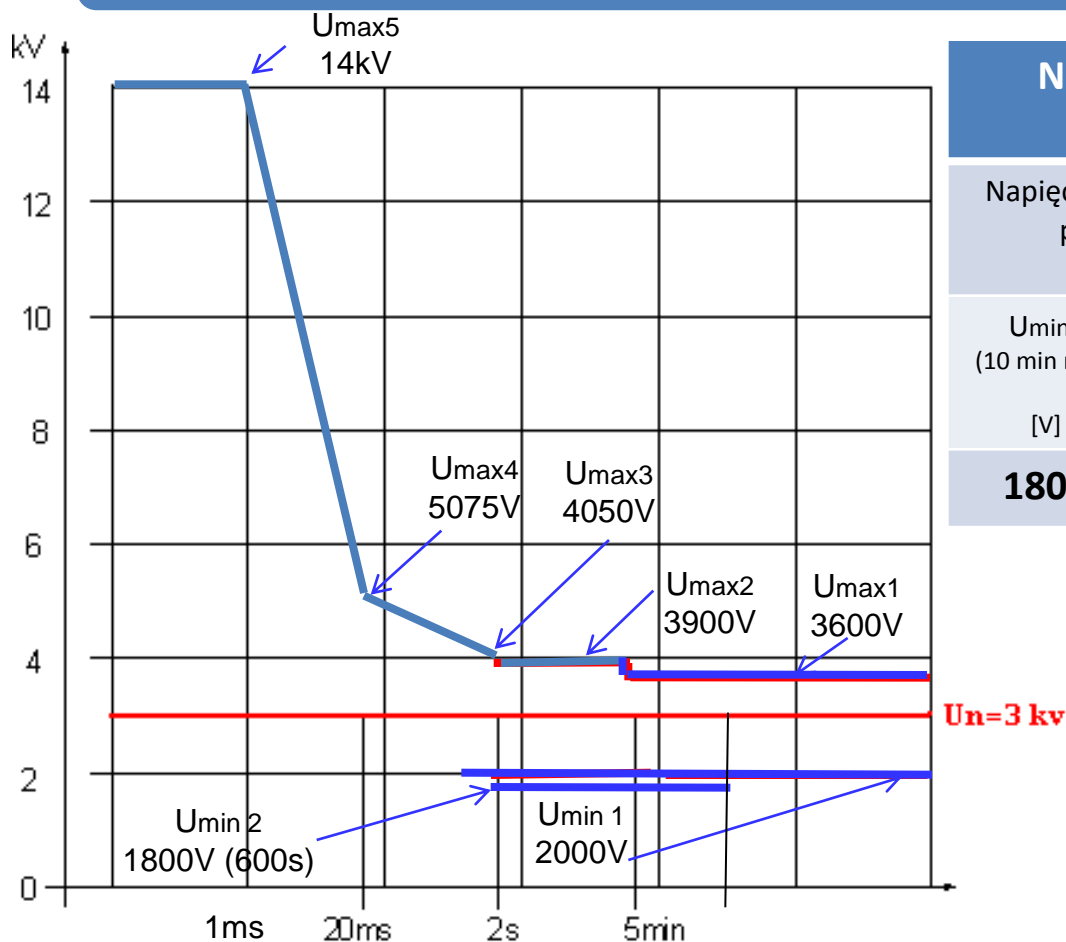
Zastosowanie programu MATHCAD do symulacji napięcia na pantografie, przepływu prądów obciążeniowych i zwarciovych w sieci trakcyjnej

Wymogi karty UIC 795

Kategoria Linii		Prędkość max na linii [km/h]	Minimalne następstwo pociągów [min]	Moc szczytowa na pantografie pociągu [MW]	Wymagania co do mocy na km szlaku [MVA/km]
I	a	350	3	20-25	3
	b		3	15-20	2.5-3
	c		3	10-15	2.5
II	a	300	2	20	Reserved
	b		3	15-20	1.5-2.5
	c		3	10-15	1.2-2
	d		4	15-20	1-1.4
	e		4	10-15	0.8-1.2
	f		5	15-20	0.8-1.2
	g		5	10-15	0.8-1

Kategoria Linii		Prędkość max na linii [km/h]	Minimalne następstwo pociągów [min]	Moc szczytowa na pantografie pociągu [MW]	Wymagania co do mocy zainst. na km szlaku [MVA/km]
III	a	250	2	15	Reserved
	b		3	10-15	0.8-1.3
	c		4	10-15	0.6-1.1
IV	a	200	2	6-10	1
	b		2	10-15	1.8-2
	c		2	15-25	3.6-5.5
	d		3	6-10	0.5-0.75
	e		3	10-15	1-1.5
	f		4	6-10	0.5-0.6
	g		4	10-15	1-1.2
	h		5	6-10	0.5
	i		5	10-15	0.8-1

Wartości napięć przy których urządzenia przyłączone do szyny zbiorczej pociągu muszą pracować normalnie, według UIC 550, PN-K 23011



Napięcia dla urządzeń przyłączonych do szyny zbiorczej pociągu

Napięcie szyny zbiorczej pociągu <Un		Napięcie szyny zbiorczej pociągu >Un		Najwyższe napięcie rozłączenia
Umin2 (10 min max)	Umin1 Możliwe stałe	Umax1 Możliwe stałe	Umax2 5 min max	Umax3 2s max
[V]	[V]	[V]	[V]	[V]
1800	2000	3600	3900	4050

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC dla linii interoperacyjnych

Wskaźniki jakości zasilania

Interoperacyjność:

Zgodnie z dyrektywą 2008/57WE interoperacyjność oznacza zdolność systemu kolei do zapewnienia bezpiecznego i nieprzerwanego przejazdu pociągów spełniających wymagany stopień wydajności tych linii. Zdolność ta zależy od warunków prawnych, technicznych oraz operacyjnych, które muszą być spełnione celem spełnienia zasadniczych wymagań

System zasilania powinien sprostać najcięższemu warunkom w normalnej eksploatacji, czyli dla ruchu zgodnego z zaplanowanym rozkładem jazdy.

System zasilania dla linii interoperacyjnych powinien spełniać wszystkie wymagania jak dla linii nieinteroperacyjnych i wymagania dodatkowe wynikające z interoperacyjności.

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC dla linii interoperacyjnych

Napięcie średnie użyteczne

Celem analizy prawidłowości wymiarowania instalacji norma PN EN 50388 wprowadza tzw. **wskaźnik jakości zasilania**

Wskaźnik jakości U średnie użyteczne - jest obliczany podczas symulacji komputerowej i weryfikowany podczas pomiarów.

U średnie użyteczne (strefa) - jest to średnia ze wszystkich wartości napięć analizowanych w danej symulacji. Uwzględnia się wszystkie pociągi w analizowanym obszarze. Parametr wskazuje na jakość zasilania w całym analizowanym obszarze, niezależnie od tego czy pociągi pracują w fazie rozruchu, hamowania z odzyskiem energii, jazdy z rozpędu. W symulacji należy uwzględnić ch-ki trakcyjne pojazdów, opory ruchu, profil linii.

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC dla linii interoperacyjnych

Napięcie średnie użyteczne

U średnie użyteczne (**pociąg**) - jest to średnia ze wszystkich napięć tej samej symulacji, ale analizowane jest napięcie konkretnego pociągu w każdym kroku, w którym pociąg pobiera prąd trakcyjny (pomijane są kroki, w których pociąg ma postój, hamuje z odzyskiem energii lub jedzie z rozpędu)

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC dla linii interoperacyjnych

Warunki dopuszczenia

Układ zasilania dla linii interoperacyjnych powinien być zaprojektowany w taki sposób aby symulacje komputerowe U średnie użyteczne (na pantografie) w normalnych warunkach eksploatacji nigdy nie generowały wartości chwilowych napięć na pantografie pociągu niższych niż graniczne U_{min1} ; dla systemu 3 kV DC jest to wartość 2000 V. Przy maksymalnym prądzie pociągu.

U średnie użyteczne (na pantografie) nie może być mniejsze od podanych w tabeli

System zasilania	Linie HS	Linie konwencjonalne
	Strefa i pociąg	Strefa i pociąg
AC 25 000 50 Hz	22 500	22 000
AC 15 000 V 16,7 Hz	14 200	13 500
DC 3000 V	2 800	2 700
DC 1500 V	1 300	1 300
DC 750 V	n.d	675

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC dla linii interoperacyjnych

Warunki dopuszczenia

Maksymalny prąd pociągu

Maksymalny prąd pociągu zawierający również prąd pobierany na cele nietrakcyjne, nie może powodować wartości chwilowych napięć na pantografie pociągu niższych niż graniczne U_{min1} ; dla systemu 3 kV DC jest to wartość **2000 V**.

U średnie użyteczne (na pantografie) nie może być mniejsze **od 2700 V i 2800** dla HS

Wymogi dla układów zasilania w systemie trakcji 3 kV DC dla linii interoperacyjnych

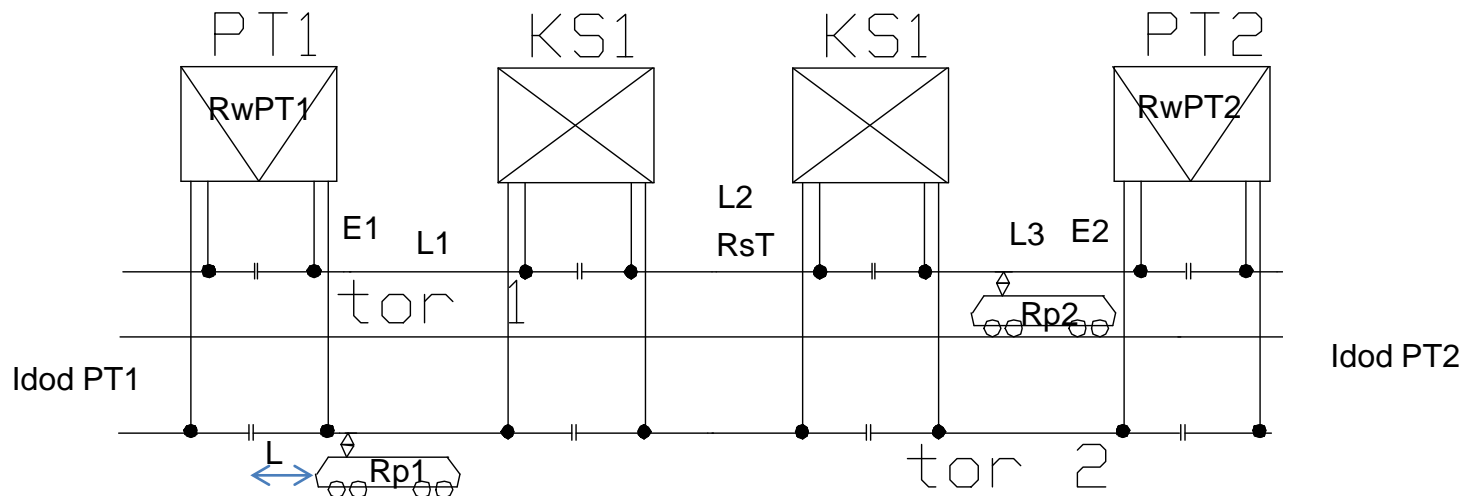
Warunki dopuszczenia Maksymalny prąd pociągu

	Maximum allowable train current, A																											
Power supply system	Category of HS TSI lines			Category IV, V, VI, VII CR TSI lines and Classical lines																								
	I	II	III	Max.	AT CH DE	BE	CZ	DK	ES	FI	FR	GB	GR	HU	IE	IS	IT	LU	MT	NL	NO	PL	PT	SE	SI	SK		
a.c. 25 000 V 50 Hz	1 500	600	500	800	/	500	800	500	?	500	500	300	/	?	/		/	?		500	/	/	?	500	/	300		
a.c. 15 000 V ^a 16,7 Hz	1 500	900	900	900	900	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/		/	/		/	900	/	/	900	/	/		
d.c. 3 000 V ^a	4 000	4 000	4 000	4 000	/	2 500	3 000	/	2 500 (3 200 for HS TSI upgraded lines)	/	/	/	/	/	/		4 000	?		/	/	2 500 (3 200 for HS TSI upgraded lines; 2 500 for HS TSI connecting lines)	/	/	2 500	1 000 for single track line 2 000 for double track line		

Maksymalny prąd pociągu zawierający również prąd pobierany na cele nietrakcyjne, nie może powodować wartości chwilowych napięć na pantografie pociągu niższych niż graniczne U_{min1} ;

Napięcie chwilowe na pantografie

Do wyznaczenia napięcia średniego użytecznego na pantografie konieczna jest znajomość napięć chwilowych w analizowanym odcinku drogi



przykładowy odcinek zasilania z dwoma kabinami sekcyjnymi

$$u = f(L, R_{zPT1}, R_{zPT2}, U_1, U_2, E_1, E_2, L_1, L_2, L_3, R_{p1}, R_{p2}, R_{sT}, IdodPT1, IdodPT2)$$

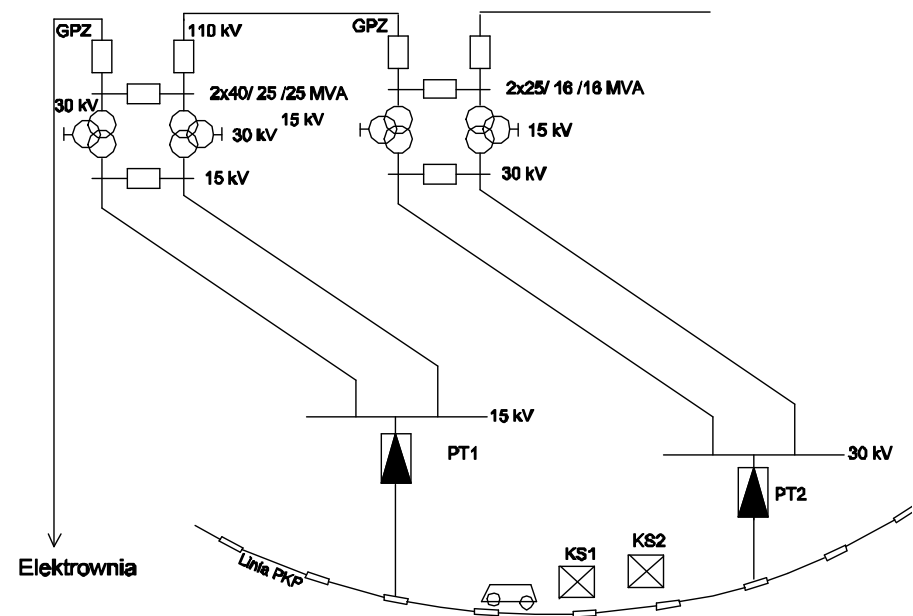
$$U_{\text{śr. użyt}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

Napięcie chwilowe na pantografie

Wszystkie zmienne które są niezbędne do wyznaczenia wartości chwilowej na pantografie reprezentują parametry układu zasilania, czyli naszego obwodu elektrycznego

$$u = f(L, R_{zPT1}, R_{zPT2}, U1, U2, E1, E2, L1, L2, L3, R_{p1}, R_{p2}, R_{sT}, IdodPT1, IdodPT2)$$

- zasilający system elektr. → $U1, U2, P_{zPT1}, P_{zPT2}$;
- podstacje trakcyjne → $R_{zPT1}, R_{zPT2}, E1, E2$;
- sieć trakcyjna → $R_{sT}, (L1+L2+L3)$;
- kabiny sekcyjne → $L1, L2, L3$;
- pojazd trakcyjny → $R_{p1}, R_{p2}...$
- sąsiednie odcinki zasilania → $IdodPT1, IdodPT2$



wyznaczenie napięcia chwilowego na pantografie
wymaga jednoczesnej analizy wszystkich parametrów
układu zasilania

Założenia do programu symulacyjnego

Program symulacyjny powinien umożliwić wyznaczanie następujących wielkości:

napięcia chwilowego na pantografie

napięcia średniego użytecznego na pantografie

prądu obciążenia poszczególnych PT

prądu zwarcia

Są to parametry układu zasilania potwierdzające wydajność i efektywność pod względem energetycznym, w celu prowadzenia ruchu kolejowego na danej linii zgodnie z rozkładem jazdy, oraz pozwalają sprawdzić warunki interoperacyjności.

Założenia do programu symulacyjnego

Program symulacyjny powinien mieć możliwość:

- wyznaczenia przedstawionych wielkości dla dowolnego prądu pobieranego przez pojazd;
- wyznaczenia przedstawionych wielkości dla dowolnie długiego odcinka zasilania;
- wyznaczenia przedstawionych wielkości dla różnej konfiguracji odcinka zasilania:
 - zasilania dwustronnego bez kabiny sekcyjnej;
 - zasilania dwustronnego z jedną kabiną sekcyjną umieszczoną w dowolnym miejscu odcinka zasilania;
 - zasilania dwustronnego z dwoma kabinami sekcyjnymi umieszczonymi w dowolnym miejscu odcinka zasilania;
 - zasilania jednostronnego; ;

Założenia do programu symulacyjnego

Program symulacyjny powinien mieć możliwość:

- wyznaczenia przedstawionych wielkości dla dowolnie wybranych parametrów systemu elektroenergetycznego;
 - dowolnego napięcia zasilania podstacji trakcyjnej;
 - dowolnej mocy zwarciovej podstacji trakcyjnej;
- wyznaczenia przedstawionych wielkości dla dowolnie wybranych parametrów podstacji trakcyjnej;
 - dowolnej rezystancji zastępczej PT;
 - dowolnej wartości napięcia na szynach nie obciążonej PT;

Założenia do programu symulacyjnego

Program symulacyjny powinien mieć możliwość:

- wyznaczenia przedstawionych wielkości dla dowolnie wybranych parametrów sieci trakcyjnej;
- dowolnej rezystancji sieci trakcyjnej;
- dowolnej konfiguracji sieci trakcyjnej tzn. dla sieci trakcyjnej jednorodnej na całym odcinku i sieci trakcyjnej składającej się z odcinków o różnej rezystancji;(różnych typów sieci trakcyjnej)

Pozostałe wymogi dla opracowywanego programu

- powinien mieć możliwość łatwej rozbudowy o nowe funkcje;
- powinien być napisany w uniwersalnym narzędziu inżynierskim;
- powinien mieć wbudowany interfejs, umożliwiający korzystanie użytkownikom nie zapoznanym z regułami programu narzędziowego w którym został napisany
- powinien mieć cechy programu użytkowego.
- cena wykorzystanego narzędzie programistyczne powinna być przystępna.

MathCAD ogólna charakterystyka programu

MathCAD należy do grupy programów określanych mianem systemów algebry komputerowej, programy te są wynikiem pracy nad sztuczną inteligencją. (*Computer Algebra System, CAS*). Służą one do komputerowego wspomagania obliczeń symbolicznych w matematyce i dyscyplinach technicznych, oraz przede wszystkim do przeprowadzenia obliczeń numerycznych tzn. takich których wynikami są liczby lub wartości wielkości fizycznych.

MathCAD ma również wbudowany własny język programowania, dzięki temu można w procesie rozwiązywania problemów matematycznych i inżynierskich wykorzystywać własne algorytmy.

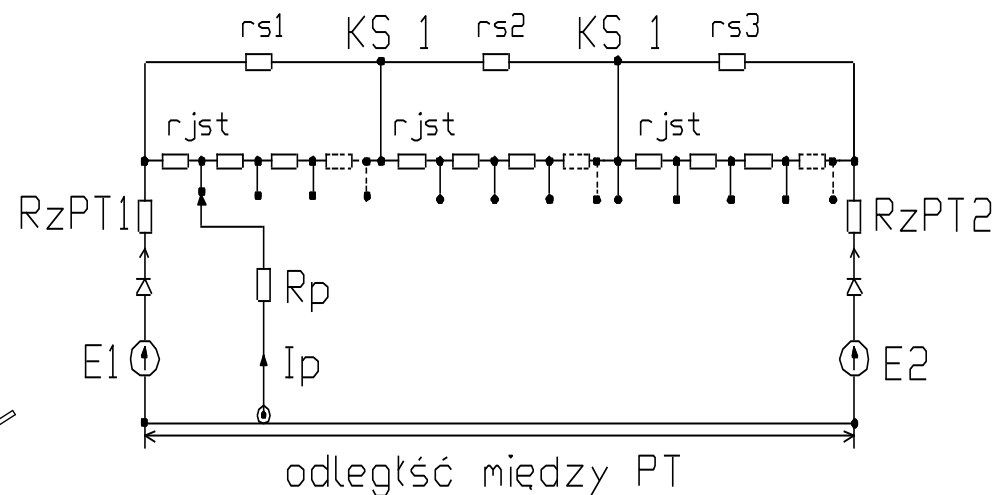
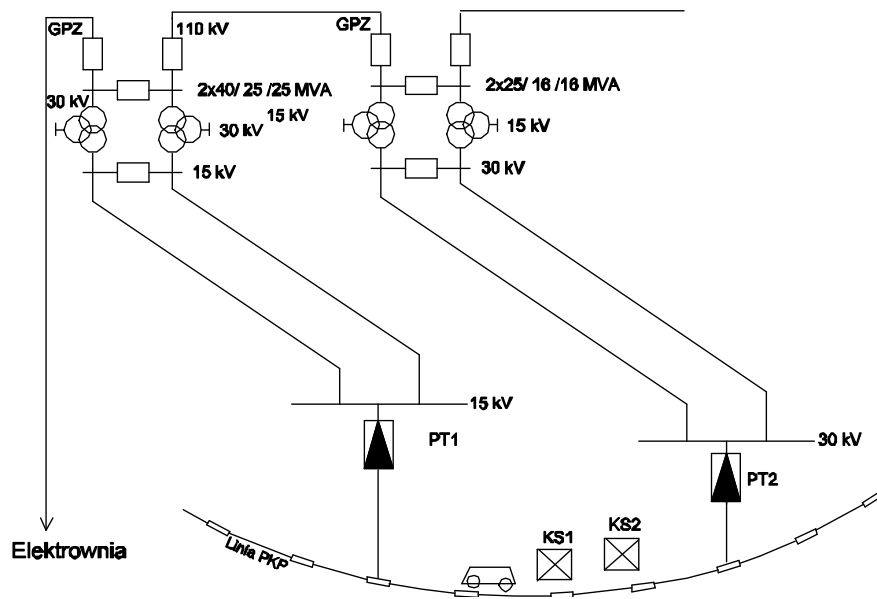
Dzięki tej właściwości MathCAD może być wykorzystywany jako zintegrowane środowisko programistyczne, czyli aplikacja służąca do tworzenia, modyfikowania, testowania i konserwacji oprogramowania użytkowego.

Właściwość ta umożliwia pisanie własnych programów realizujących zarówno klasyczne algorytmy obliczeniowe jak i rozwiązujących problemy z zakresu analizy matematycznej.

Cecha ta została wykorzystana w programie symulującym napięcie i prądy w sieci trakcyjnej.

charakterystyka programu symulacyjnego

Symulacja - przybliżone odtwarzanie zjawiska lub zachowania danego obiektu za pomocą jego modelu. Szczególnym rodzajem modelu jest model matematyczny. W programie rozwiązywane są równania obwodów elektrycznych poszczególnych układów zasilania.



charakterystyka programu symulacyjnego

Interfejs programu

Interfejs jest w ten sposób zaprojektowany, że obliczenia może wykonywać użytkownik nieznający zaawansowanych reguł obliczeń i programowania w Mathcadzie. Wszystkie konieczne dane wprowadza się w przygotowane tabele i okienka. Część obliczeniowa wykonywana jest w blokach ukrytych programu. Wyniki przedstawiane są po przewinięciu paska przewijania na koniec strony, mogą być też eksportowane do innych programów, na przykład arkusza kalkulacyjnego.

charakterystyka programu symulacyjnego

Program do symulacji napięć i prądów w sieci trakcyjnej

+

"PT2 Nazwa"	"L1 [km]"	"KS1 Nazwa"	"L2 [km]"	"KS 2 Nazwa"	"L3 [km]"	"PT2 Nazwa"
"PT Rokita"	7.28	"KS Wysoka K"	5.27	"KS Parłówko"	7.97	"PT Reclaw"

Parametry sieci trakcyjnej

Sieć trakcyjna jednego rodzaju o stałej rezystancji na całej trasie => ohm/km
Sieć trakcyjna składająca się z odcinków o różnej rezystancji => Tabela

0.0503

0.25 Rezystancja podstacji trakcyjnej PT 1 [Ω]

0.2093 Rezystancja podstacji trakcyjnej PT 2 [Ω]

3600 Napięcie nie obciążonej podstacji trakcyjnej PT1 [V]

3600 Napięcie nie obciążonej podstacji trakcyjnej PT2 [V]

15 Napięcie zasilania podstacji trakcyjnej PT1 [kV]

15 Napięcie zasilania podstacji trakcyjnej PT2 [kV]

149 Moc zwarciova podstacji trakcyjnej PT1 [MW]

232 Moc zwarciova podstacji trakcyjnej PT2 [MW]

0 Prąd dodatkowy +/- podstacji trakcyjnej PT1 [A]

0 Prąd dodatkowy +/- podstacji trakcyjnej PT2 [A]

Tabela rezystancji odcinków sieci trakcyjnej

długość odcinka sieci
trakcyjnej w km

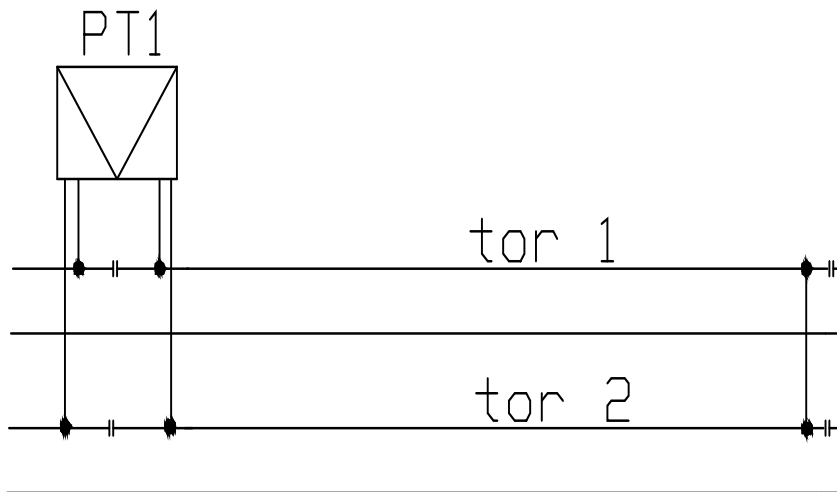
rezystancja 1 km sieci
trakcyjnej w ohmach

srednia rezystancja

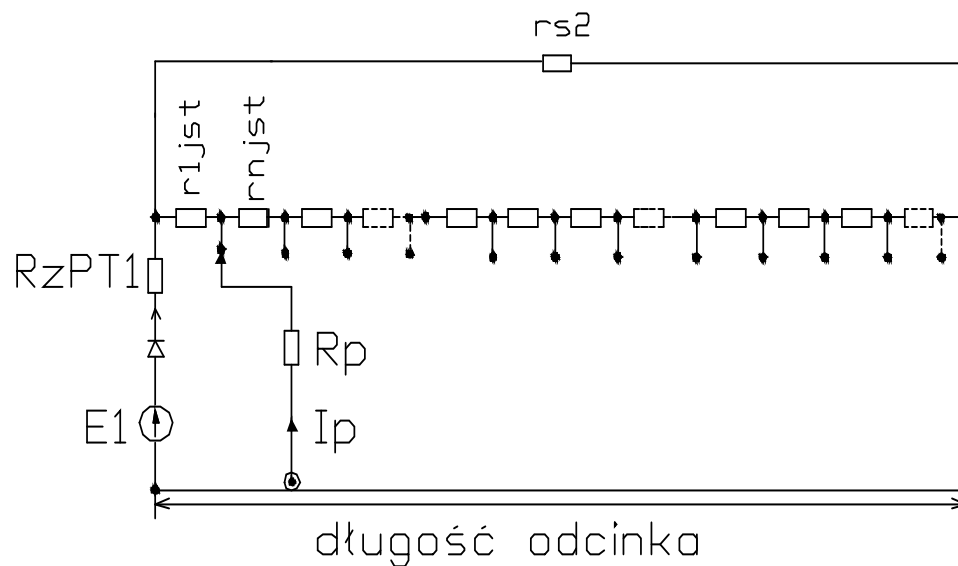
15	0.077	1
15	0.08	1
15	0.05	1
"koniec"	"."	"koniec"
0	"."	1
0	"."	78
0	"."	23
0	"."	1
0	"."	1
0	"."	34
0	"."	0

Wyniki przykładowych symulacji

Dwutorowy jednostronny układ zasilania bez kabiny sekcyjnej



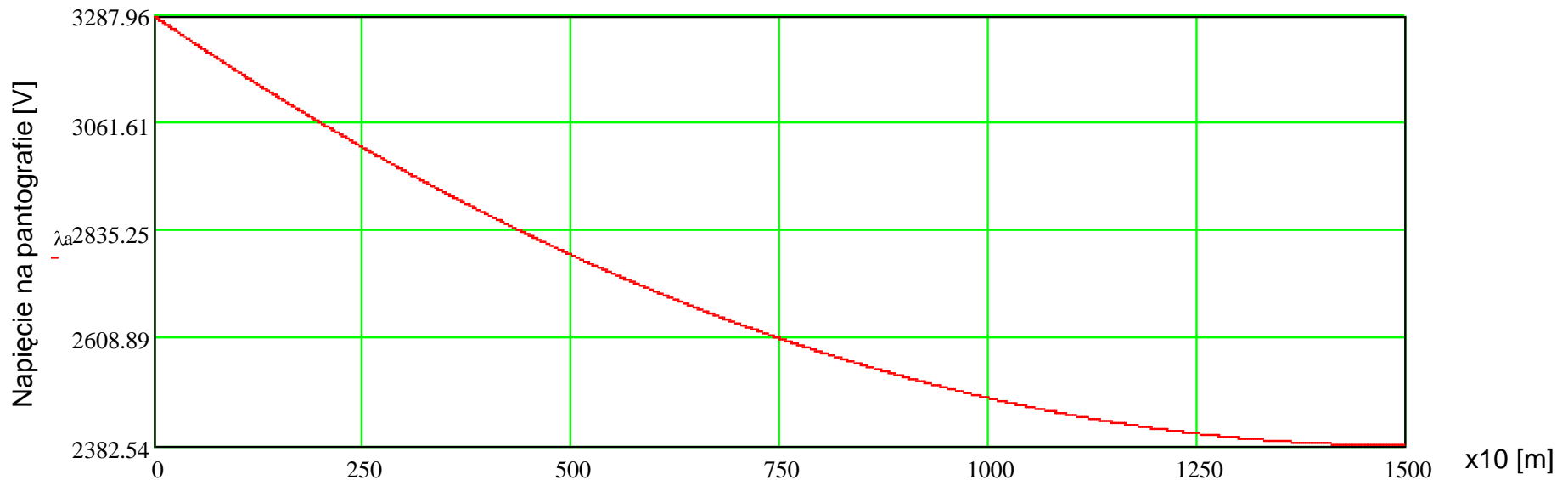
Schemat układu zasilania



Schemat zastępczy rozwiązywanego
w programie obwodu elektrycznego

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $R_{st} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$

**Wynik symulacji napięcia na pantografie dla
dwutorowego jednostronnego układu zasilania**

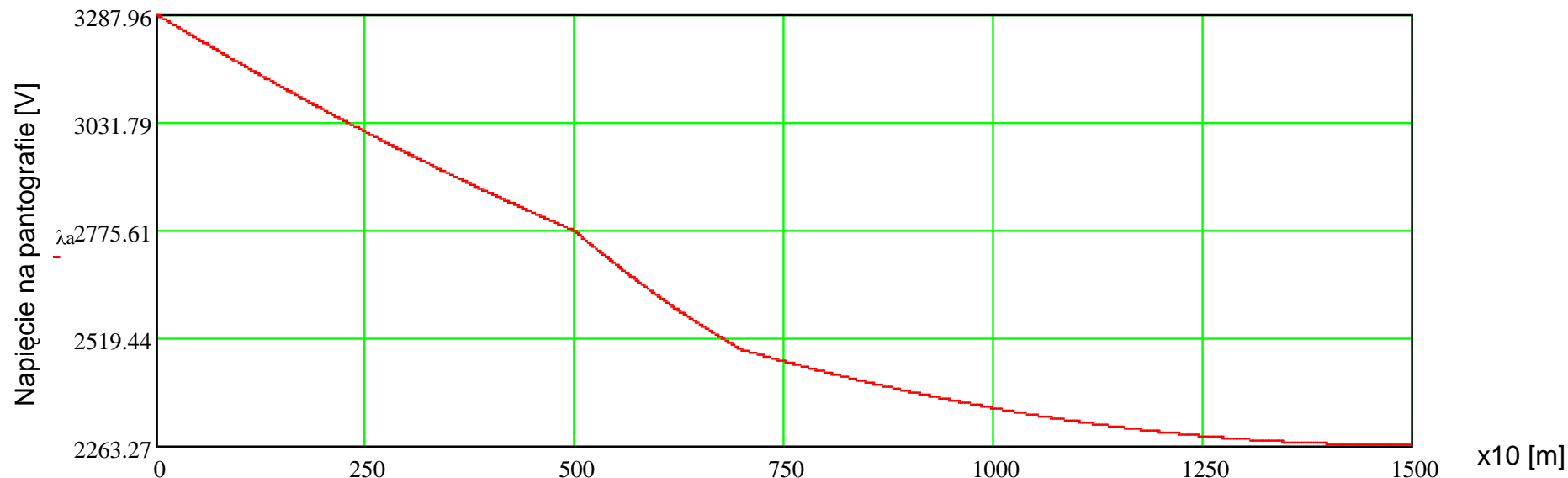


$U_{sr_uz} = 2684.84594 \text{ V}$ napięcie średnie użyteczne na pantografie

$U_{min} = 2382.53952 \text{ V}$ napięcie minimalne na pantografie

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $R_{st1} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km), $R_{st2} = 0.1 \text{ } \Omega/\text{km}$ (2km), $R_{st3} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$ (8km),
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$

**Wynik symulacji napięcia na pantografie dla
dwutorowego jednostronnego układu zasilania (sieć
trakcyjna niejednorodna)**

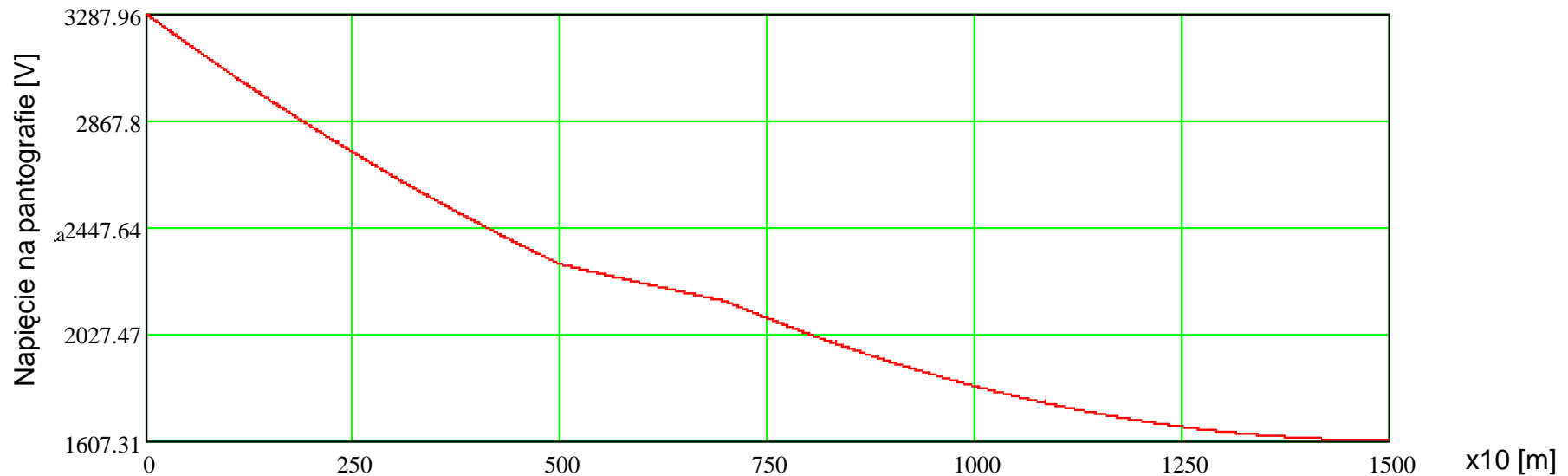


$U_{sr_uz} = 2603.0184 \text{ V}$ napięcie średnie użyteczne na pantografie

$U_{min} = 2263.2668 \text{ V}$ napięcie minimalne na pantografie

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $R_{st1} = 0.1 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km), $R_{st2} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$ (2km), $R_{st3} = 0.1 \text{ } \Omega/\text{km}$ (8km),
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$

**Wynik symulacji napięcia na pantografie dla
dwutorowego jednostronnego układu zasilania (sieć
trakcyjna niejednorodna)**

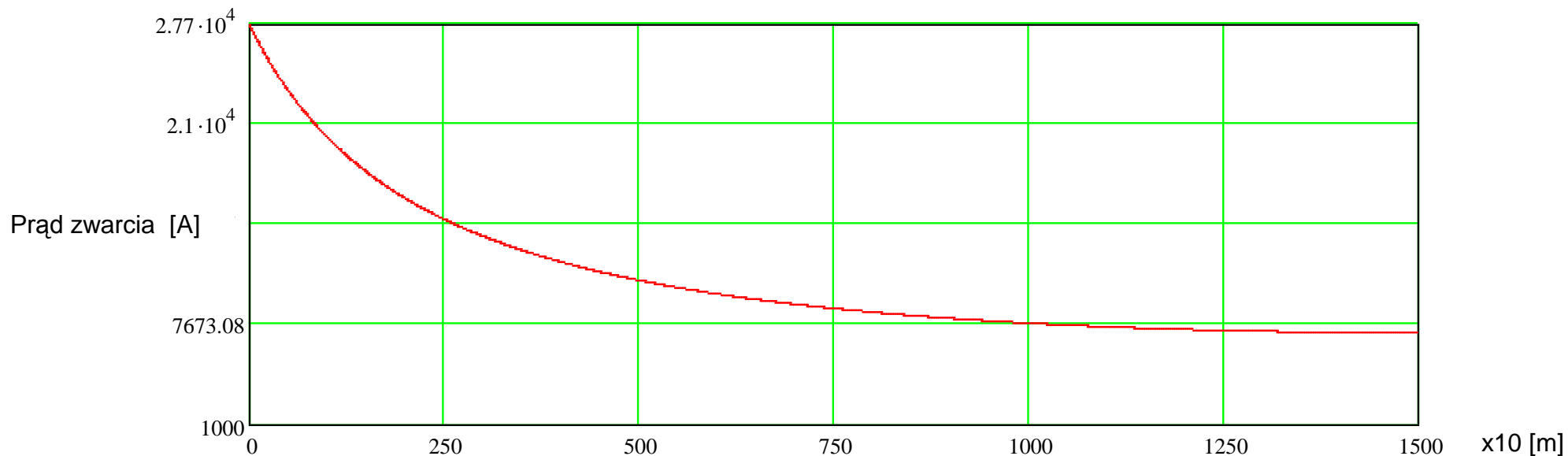


$U_{sr_uz} = 2172.41452 \text{ V}$ napięcie srednie uzyteczne na pantografie

$U_{min} = 1607.30974 \text{ V}$ napięcie minimalne na pantografie

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$ ➤ $R_{st1} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$ (15km)
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$ ➤ $L_{odc.} = 15 \text{ km}$

Wynik symulacji ustalonego prądu zwarcia dla dwutorowego jednostronnego układu zasilania



$I_{sr} = 10727.094234$

prąd sredni

$I_{min} = 7097.092164$

minimalny ustalony prąd zwarcia

$I_{max} = 27692.307692$

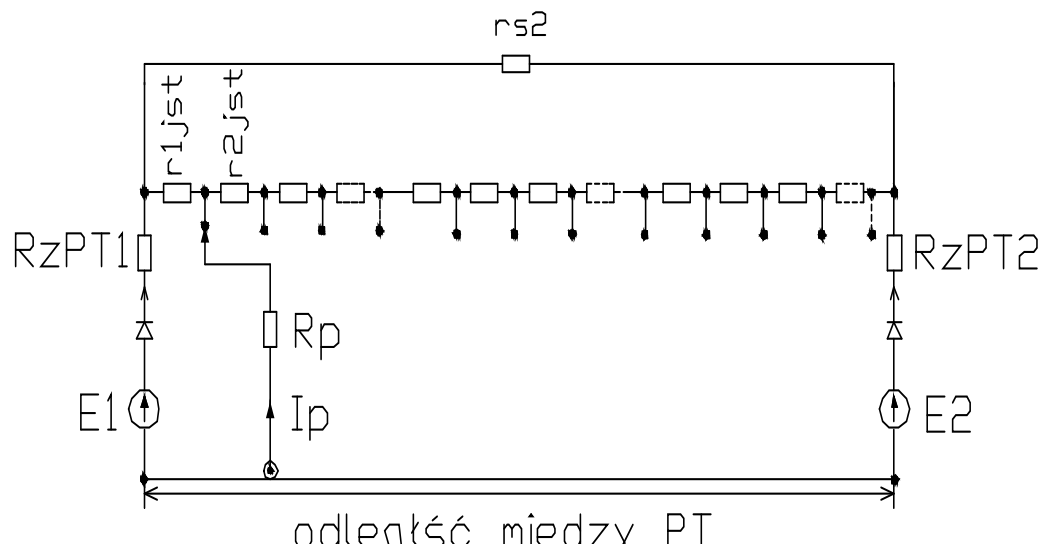
prąd maksymalny

Wyniki przykładowych symulacji

Dwutorowy dwustronny układ zasilania bez kabiny sekcyjnej



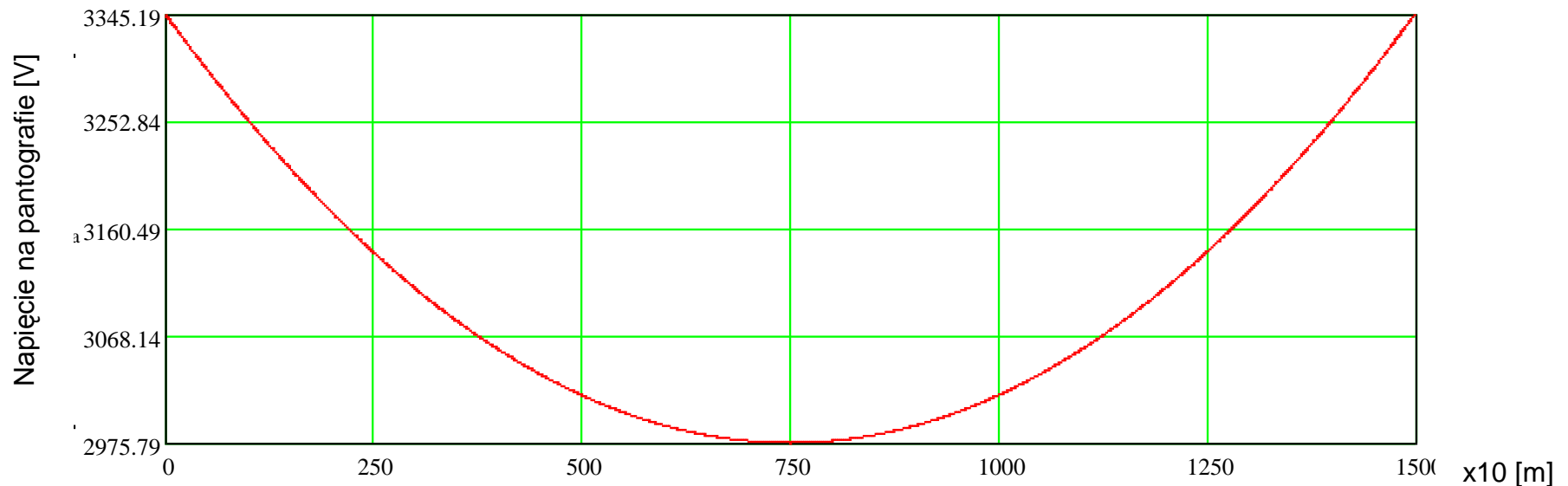
Schemat układu zasilania



Schemat zastępczy rozwiązywanego
w programie obwodu elektrycznego

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $R_{st} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $L_{\text{odc.}} = 15 \text{ km}$
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$

Wynik symulacji napięcia na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej

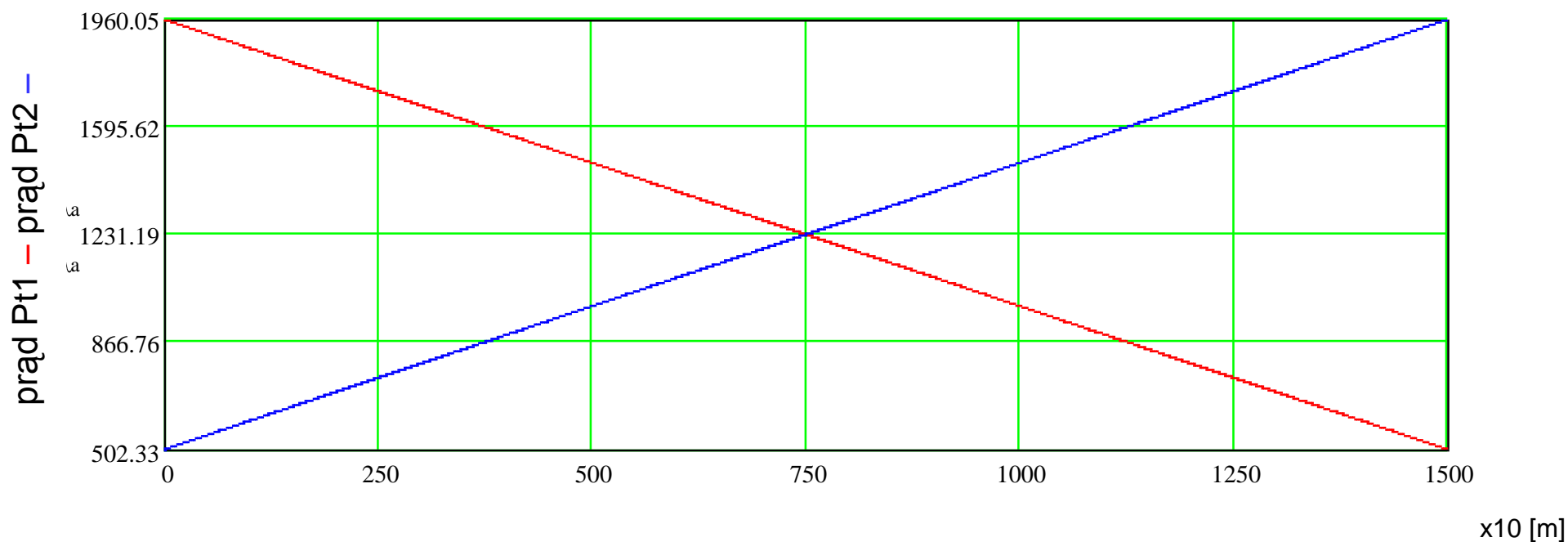


$U_{sr_uz} = 3099.2936 \text{ V}$ napięcie srednie uzyteczne na pantografie

$U_{min} = 2975.78868 \text{ V}$ napięcie minimalne na pantografie

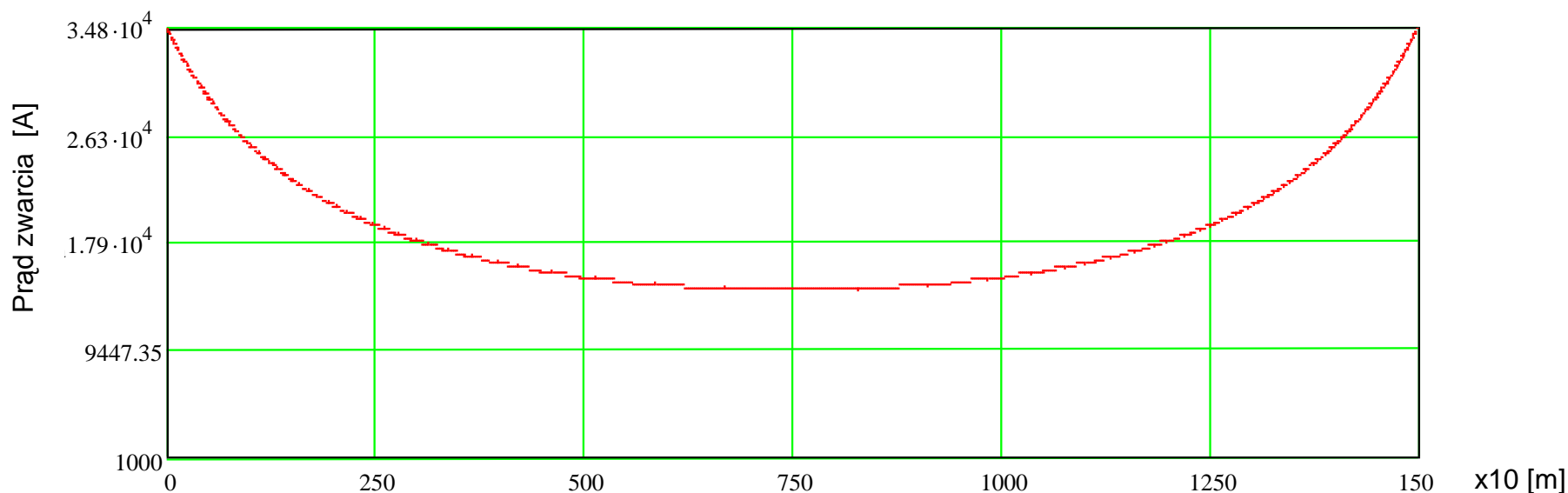
- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $R_{st} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$

**Wynik symulacji prądu obciążenia zasilaczy PT
dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania,
bez kabiny sekcyjnej**



- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$ ➤ $R_{st} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$ ➤ $L_{\text{odc.}} = 15 \text{ km}$
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \text{ } \Omega$

Wynik symulacji ustalonego prądu zwarcia dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej



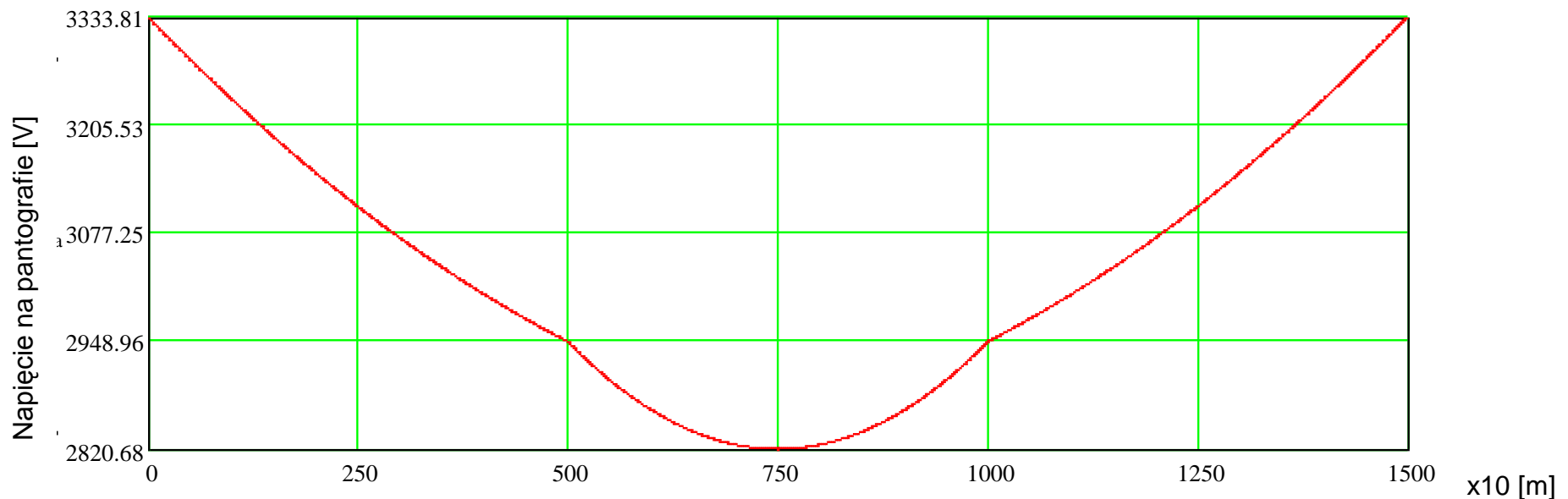
$I_{sr} = 18827.116114$ prąd sredni

$I_{min} = 14201.231008$ minimalny ustalony prąd zwarcia

$I_{max} = 34789.39985$ prąd maksymalny

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $R_{st1} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km), $R_{st2} = 0.1 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km), $R_{st3} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km),
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$

**Wynik symulacji napięcia na pantografie dla
dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez
kabiny sekcyjnej (dla niejednorodnej sieci trakcyjnej)**

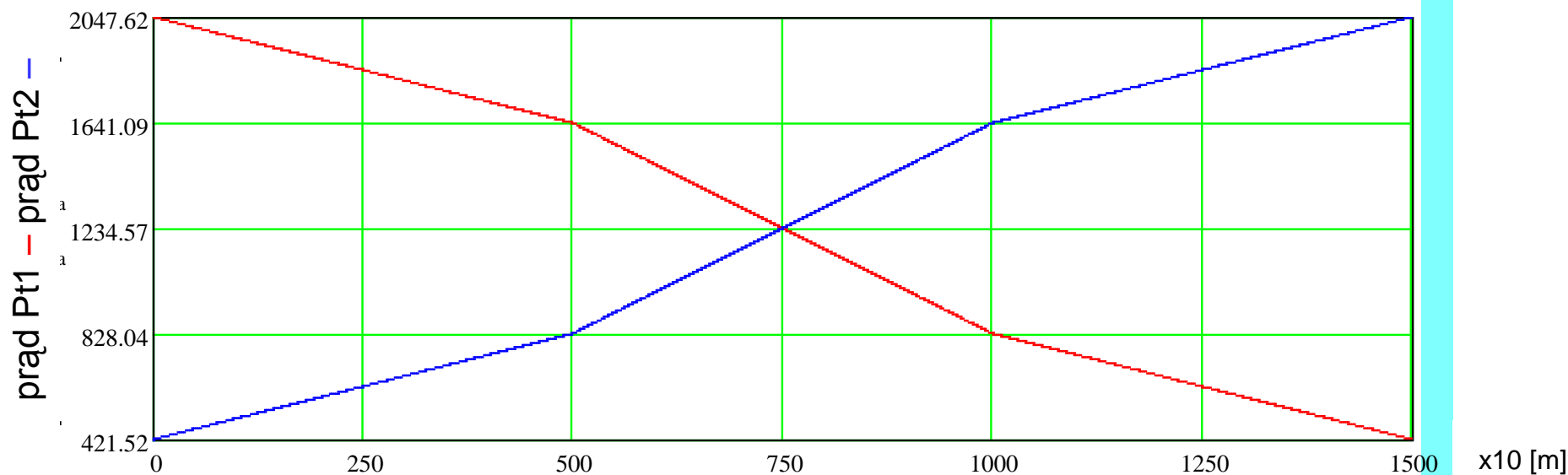


$U_{sr_uz} = 3034.51625 \text{ V}$ napięcie średnie użyteczne na pantografie

$U_{min} = 2820.68117 \text{ V}$ napięcie minimalne na pantografie

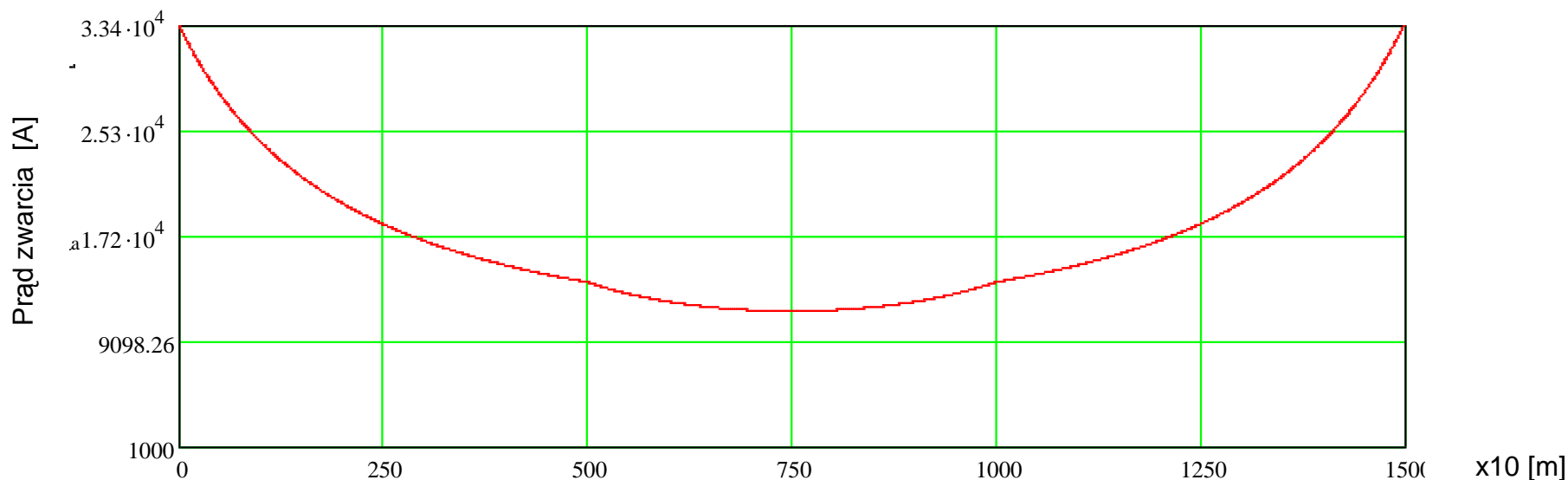
- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$
- $R_{st1} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km), $R_{st2} = 0.1 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km), $R_{st3} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km)
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$

Wynik symulacji prądu obciążenia zasilaczy PT dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej (dla niejednorodnej sieci trakcyjnej)



- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $R_{st1} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km), $R_{st2} = 0.1 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km), $R_{st3} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$ (5km)
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$

Wynik symulacji ustalonego prądu zwarcia dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej (dla niejednorodnej sieci trakcyjnej)



$I_{sr} = 17178.38811 \text{ A}$

prąd sredni

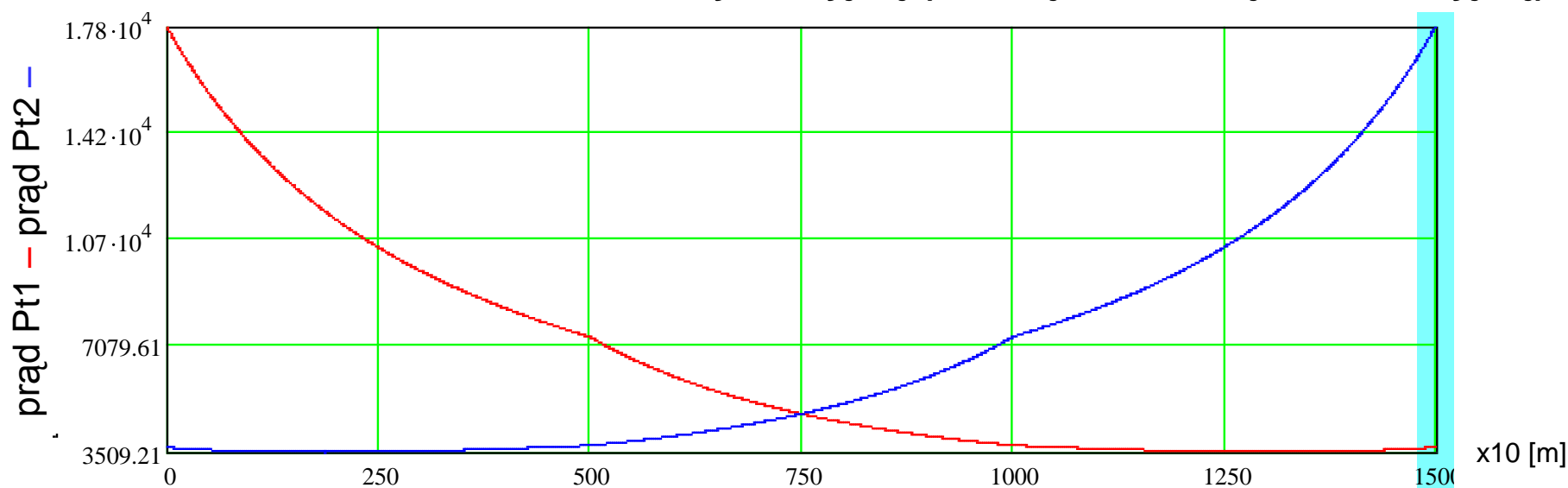
$I_{min} = 11405.97226 \text{ A}$

minimalny ustalony prąd zwarcia

$I_{max} = 33393.02028 \text{ A}$

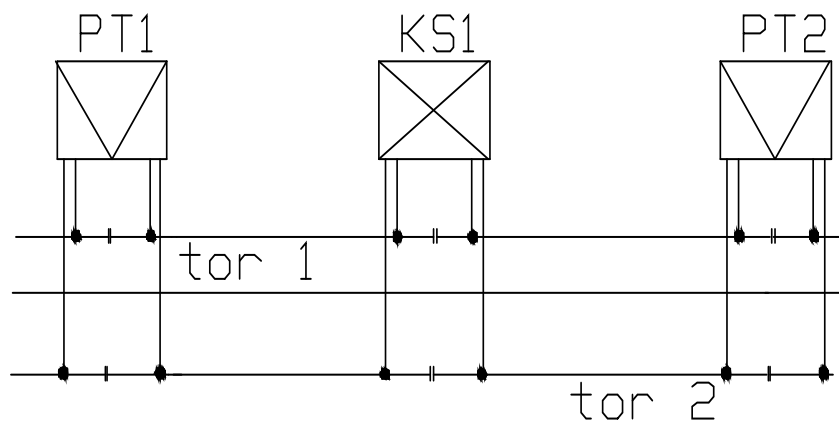
prąd maksymalny

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
 - $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
 - $R_{pt1} = 0.13 \Omega$
 - $R_{pt2} = 0.13 \Omega$
 - $R_{st1} = 0.0503 \Omega/\text{km}$ (5km), $R_{st2} = 0.1 \Omega/\text{km}$ (5km), $R_{st3} = 0.0503 \Omega/\text{km}$ (5km)
 - $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- Wynik symulacji ustalonego prądu zwarcia zasilaczy PT dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, bez kabiny sekcyjnej (dla niejednorodnej sieci trakcyjnej)**

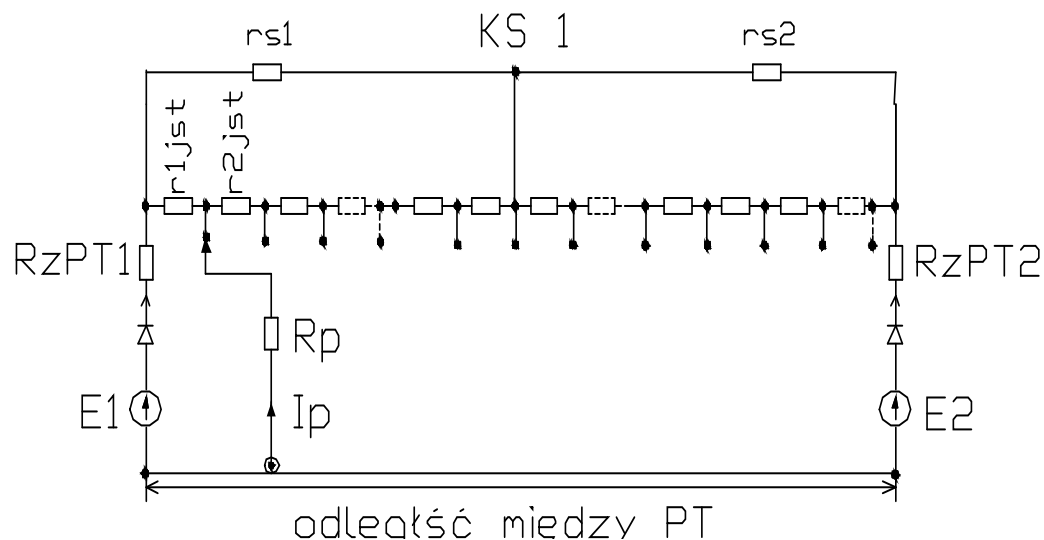


Wyniki przykładowych symulacji

Dwutorowy dwustronny układ zasilania z kabiną sekcyjną w dowolnym miejscu odcinka zasilania



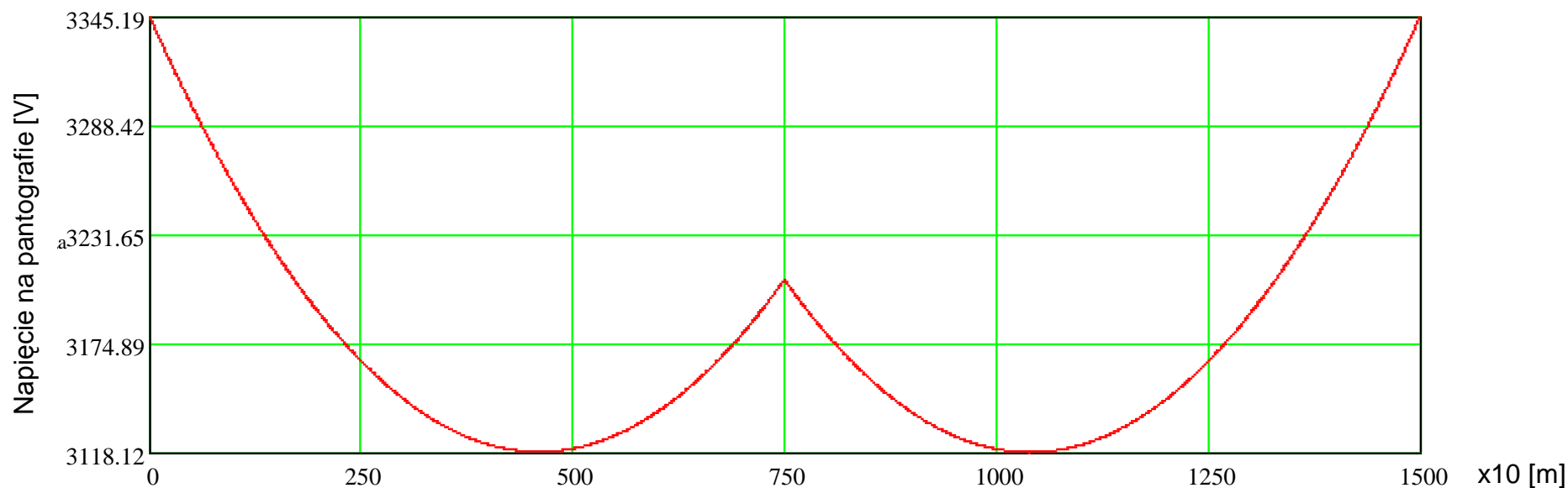
Schemat układu zasilania



Schemat zastępczy rozwiązywanego
w programie obwodu elektrycznego

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $R_{pt1} = 0.13 \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$
- $R_{st} = 0.0503 \Omega/\text{km}$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$

Wynik symulacji napięcia na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, z kabiną sekcyjną umieszczoną pośrodku odcinka zasilania

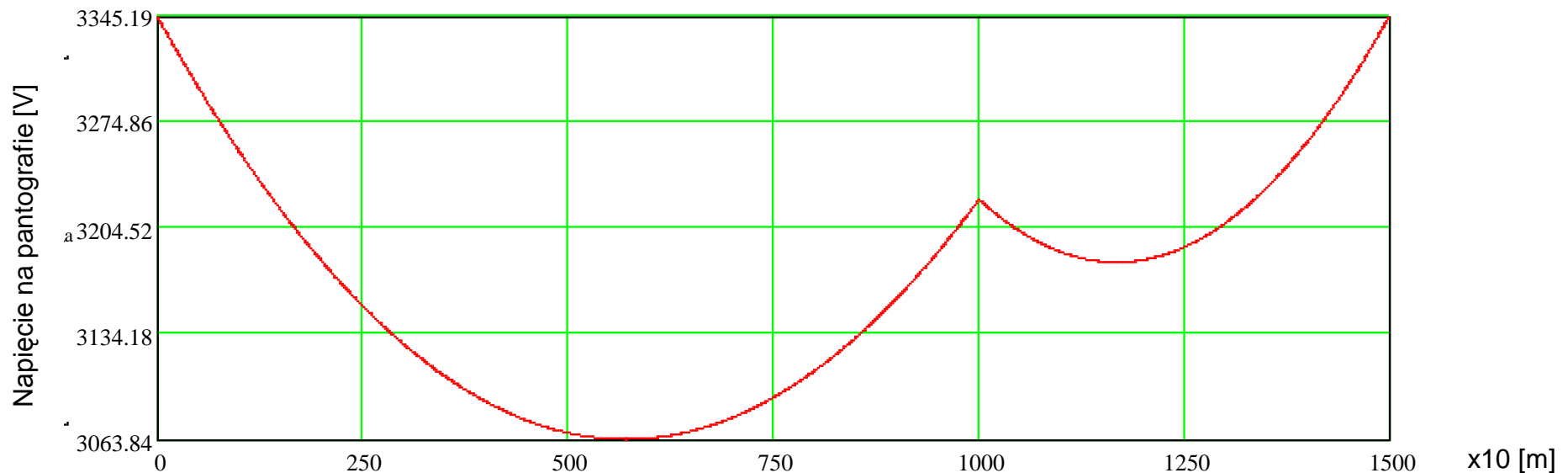


$U_{sr_uz} = 3176.343968 \text{ V}$ napięcie srednie uzyteczne na pantografie

$U_{min} = 3118.115904 \text{ V}$ napięcie minimalne na pantografie

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $R_{pt1} = 0.13 \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$
- $R_{st} = 0.0503 \Omega/\text{km}$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$

Wynik symulacji napięcia na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, z kabiną sekcyjną umieszczoną 10 km od PT1

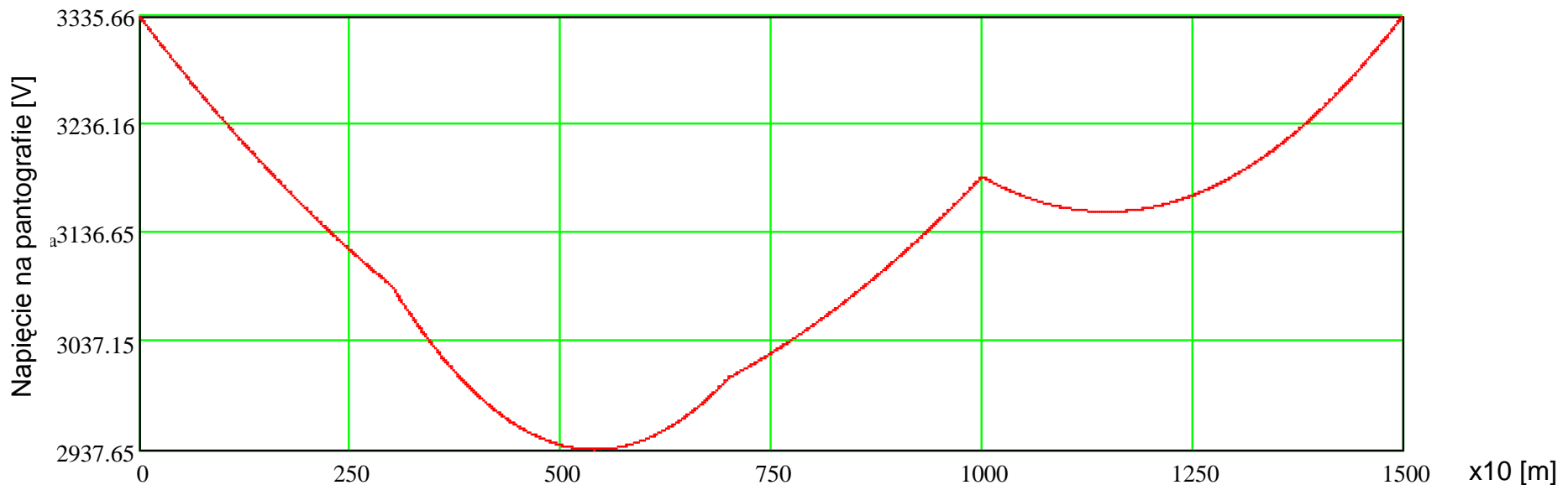


$U_{sr_uz} = 3167.71408 \text{ V}$ napięcie srednie uzyteczne na pantografie

$U_{min} = 3063.84289 \text{ V}$ napięcie minimalne na pantografie

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$ ➤ $R_{st1} = 0.053 \text{ } \Omega/\text{km}$ (3km), $R_{st2} = 0.1 \text{ } \Omega/\text{km}$ (4km), $R_{st3} = 0.053 \text{ } \Omega/\text{km}$ (8km),
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$ ➤ $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$

Wynik symulacji napięcia na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, z kabiną sekcyjną umieszczoną 10 km od PT1 (sieć trakcyjna nie jednorodna)

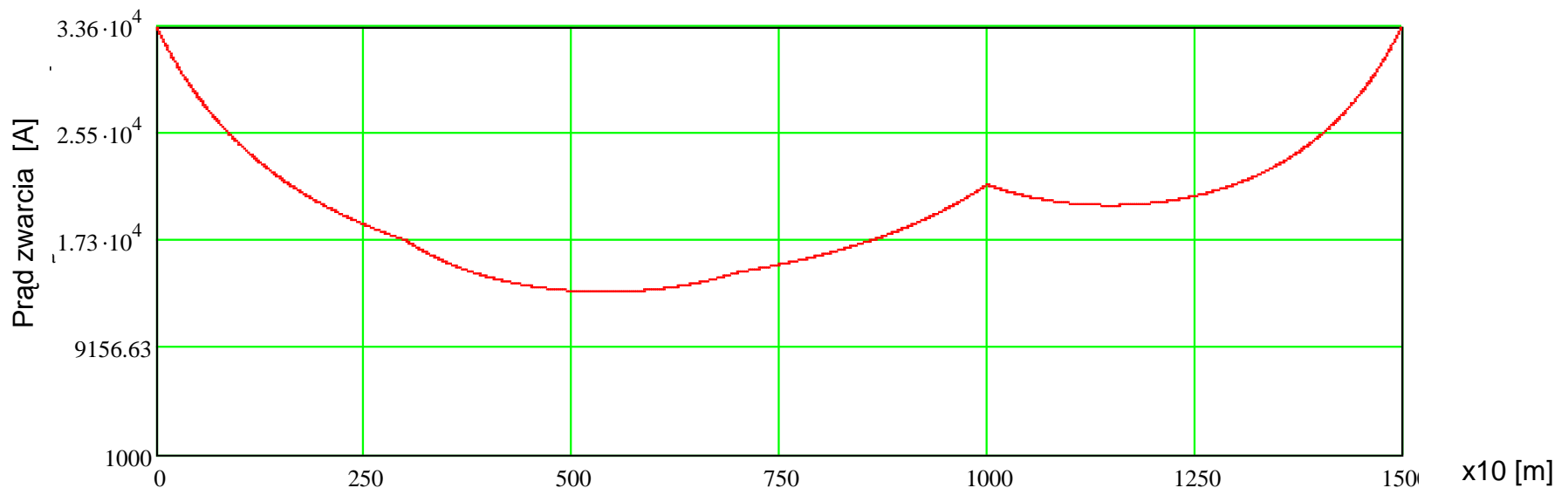


$U_{sr_uz} = 3118.56299 \text{ V}$ napięcie średnie użyteczne na pantografie

$U_{min} = 2937.64866 \text{ V}$ napięcie minimalne na pantografie

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$ ➤ $R_{st1} = 0.053 \text{ } \Omega/\text{km}$ (3km), $R_{st2} = 0.1 \text{ } \Omega/\text{km}$ (4km), $R_{st3} = 0.053 \text{ } \Omega/\text{km}$ (8km),
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$ ➤ $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$

**Wynik symulacji prądu zwarcia dla
dwutorowego dwustronnego układu
zasilania, z kabiną sekcyjną umieszczoną 10
km od PT1 (sieć trakcyjna niejednorodna)**



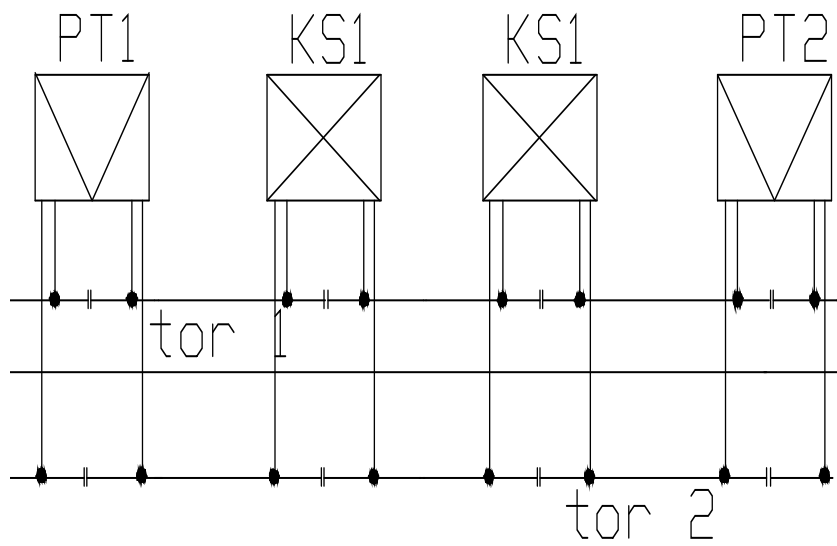
$I_{sr} = 19525.454333$ prąd sredni

$I_{min} = 13420.202354$ minimalny ustalony prąd zwarcia

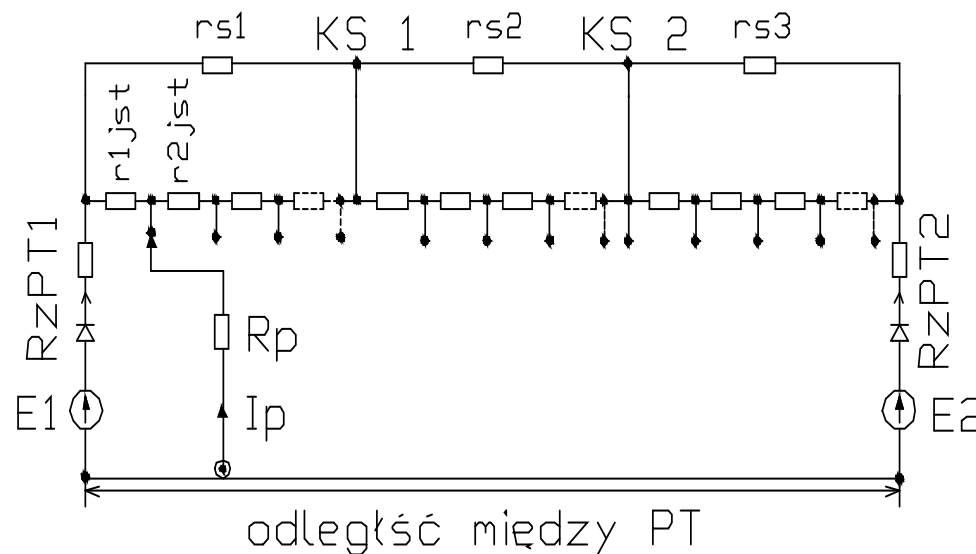
$I_{max} = 33626.536655$ prąd maksymalny

Wyniki przykładowych symulacji

Dwutorowy dwustronny układ zasilania z dwiema kabinami sekcyjnymi umieszczonymi w dowolnym miejscu odcinka zasilania



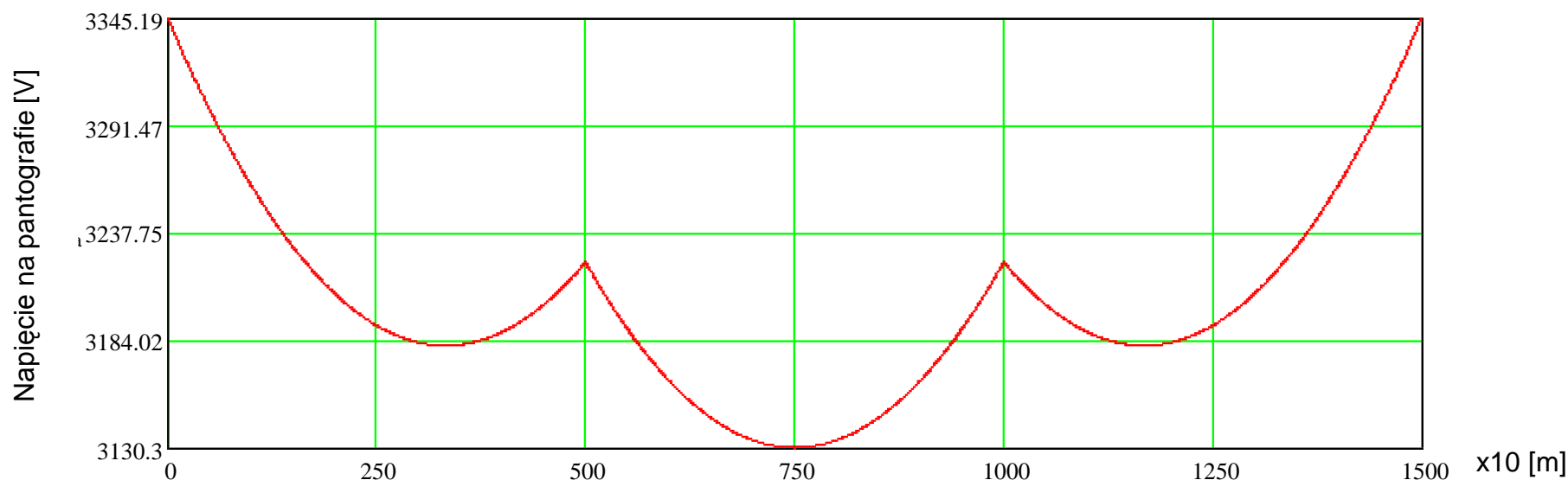
Schemat układu zasilania



Schemat zastępczy rozwiązywanego
w programie obwodu elektrycznego

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $R_{pt1} = 0.13 \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$
- $R_{st} = 0.0503 \Omega/\text{km}$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $L_1 = 5 \text{ km} ; L_2 = 5 \text{ km}; L_2 = 5 \text{ km}$

**Wynik symulacji napięcia na pantografie
dla dwutorowego dwustronnego układu
zasilania, z dwiema kabinami sekcyjnymi**

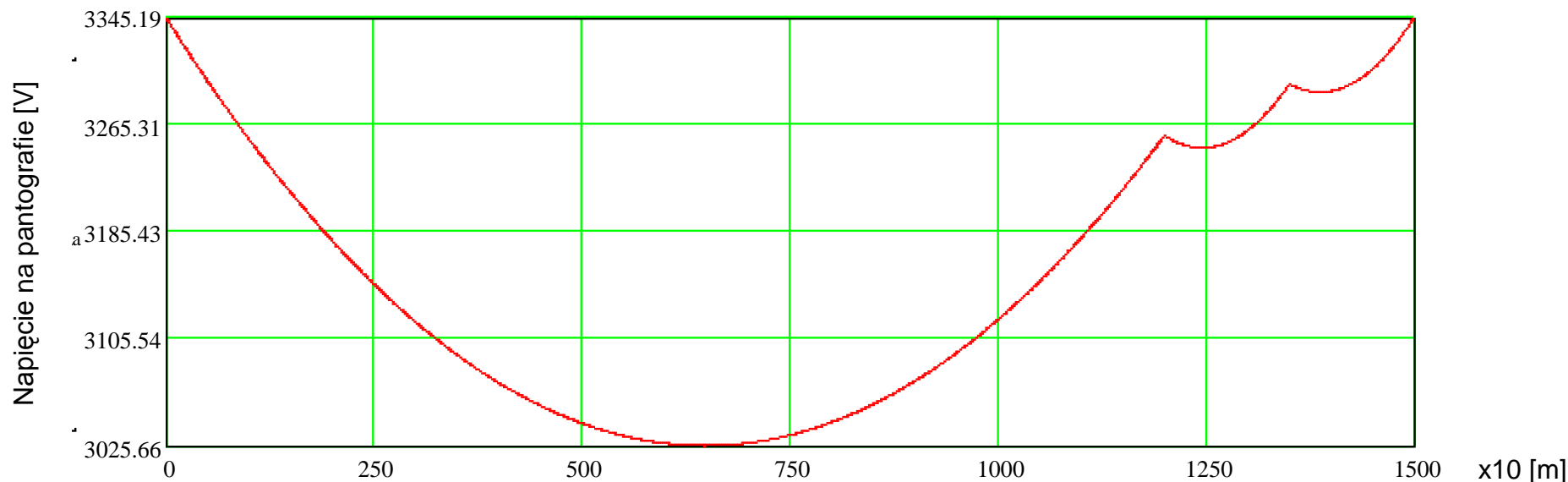


$U_{sr_uz} = 3202.02745 \text{ V}$ napięcie średnie użyteczne na pantografie

$U_{min} = 3130.30095 \text{ V}$ napięcie minimalne na pantografie

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $R_{pt1} = 0.13 \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$
- $R_{st} = 0.0503 \Omega/\text{km}$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $L_1 = 12 \text{ km}$; $L_2 = 1.5 \text{ km}$; $L_2 = 1.5 \text{ km}$

Wynik symulacji napięcia na pantografie dla dwutorowego dwustronnego układu zasilania, z dwiema kabinami sekcijnymi

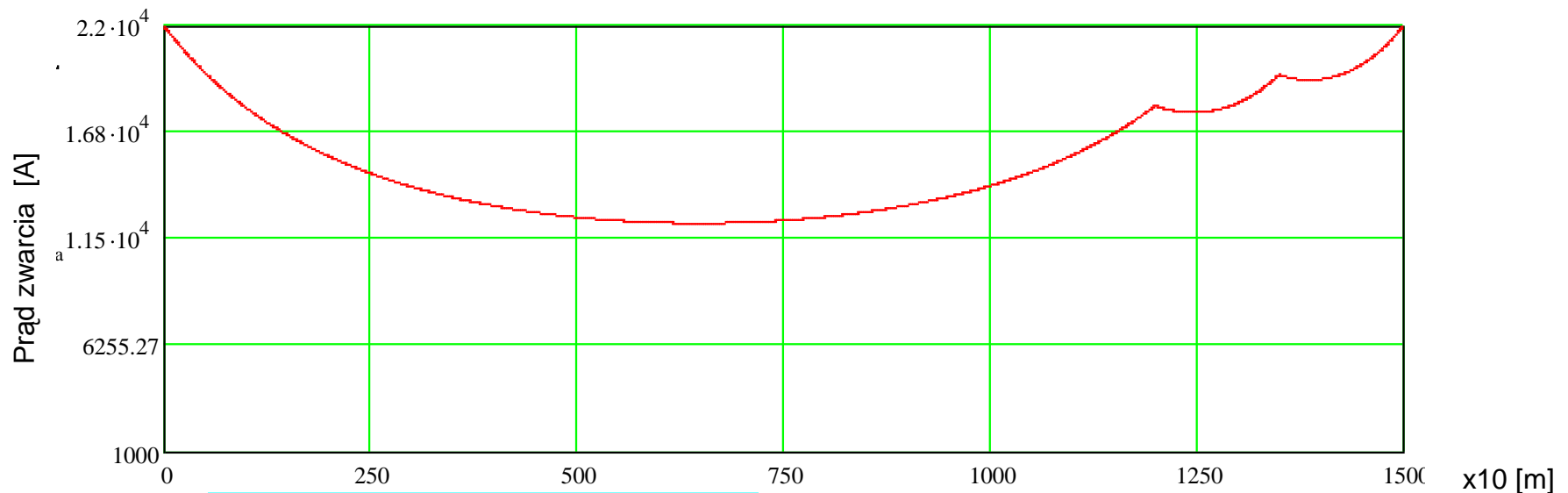


$U_{sr_uz} = 3151.48591 \text{ V}$ napięcie srednie uzyteczne na pantografie

$U_{min} = 3025.65733 \text{ V}$ napięcie minimalne na pantografie

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $R_{pt1} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \text{ } \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$
- $R_{st} = 0.0503 \text{ } \Omega/\text{km}$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $L_1 = 12 \text{ km}$; $L_2 = 1.5 \text{ km}$; $L_2 = 1.5 \text{ km}$

**Wynik symulacji prądu zwarcia dla
dwutorowego dwustronnego układu
zasilania, z dwiema kabinami sekcyjnymi**



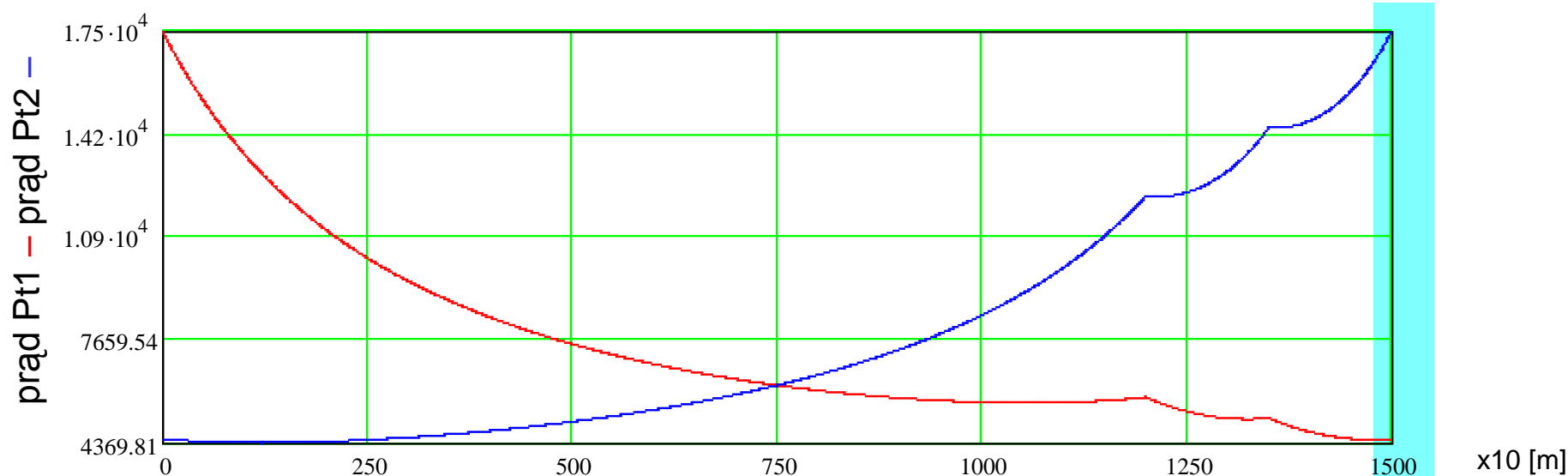
$I_{sr} = 15341.0715 \text{ A}$ prąd sredni

$I_{min} = 12276.34300 \text{ A}$ minimalny ustalony prąd zwarcia

$I_{max} = 22021.06980 \text{ A}$ prąd maksymalny

- $U_{pt1} = 3600 \text{ V}$
- $U_{pt2} = 3600 \text{ V}$
- $R_{pt1} = 0.13 \Omega$
- $R_{pt2} = 0.13 \Omega$
- $I_{poc.} = 2500 \text{ A}$
- $R_{st} = 0.0503 \Omega/\text{km}$
- $L_{odc.} = 15 \text{ km}$
- $L_1 = 12 \text{ km}$; $L_2 = 1.5 \text{ km}$; $L_2 = 1.5 \text{ km}$

**Wynik symulacji prądu zwarcia zasilaczy
PT dla dwutorowego dwustronnego układu
zasilania, z dwiema kabinami sekcyjnymi**



Wnioski

- Przedstawiony program może być wykorzystywany w obliczeniach dla każdego układu zasilania sieci trakcyjnej.
- Program umożliwia wygodną i szybką analizę parametrów istniejącej sieci trakcyjnej, według autora może być wykorzystywany również na etapie projektowania oraz weryfikacji projektu.
- Program umożliwia symulację parametrów układu zasilania, decydujących o spełnianiu przez system zasilania sieci trakcyjnej warunków interoperacyjności.
- Łatwy interfejs umożliwia użytkownikom bez znajomości zaawansowanych reguł obsługi Mathcada.

Dziękuję za uwagę



Mathcad 13.Ink