

ROZKŁAD NAPIĘCIA AC INDUKOWANEGO WSKUTEK
ODDZIAŁYWANIA NAPOWIETRZNYCH LINII WYSOKIEGO
NAPIĘCIA W NOWYM GAZOCIĄGU
PORÓWNANIE DANYCH OBLICZENIOWYCH
I POWYKONAWCZYCH
NA PODSTAWIE
RZECZYWISTEGO GAZOCIĄGU

JASTARNIA 2022

Roman Serwiński

ZAKRES REFERATU:

- Wstęp – metodyka wykonywania obliczeń rozkładów napięcia AC wzdłuż trasy gazociągu
- Porównanie rozkładów napięcia przemiennego, gęstości prądu AC w potencjalnym defekcie powłoki o powierzchni 1 cm^2 oraz rezystywności gruntu projektowych i powykonawczych na przykładzie ukończonego gazociągu wysokiego ciśnienia DN1000 MOP 8,4 MPa
- Wnioski

Metodyka pomiarów i obliczeń

Ryzyko korozji a.c. zależy przede wszystkim od gęstości prądu przemiennego przepływającego pomiędzy rurociągiem, a środowiskiem poprzez defekty w powłoce izolacyjnej.

Na podstawie normy PN EN12954 prawdopodobieństwa korozji powodowanej przez prąd przemienny można nie uwzględniać, jeżeli gęstość prądu przemiennego przepływającego pomiędzy odsłoniętą powierzchnią stalowej ścianki, a środowiskiem elektrolitycznym jest mniejsza niż 30A/m^2 , a potencjał konstrukcji spełnia kryteria ochrony katodowej.

Na podstawie aktualnego doświadczenia kryterium zagrożenia korozją AC zostało zaostrome, a bezpieczna gęstość prądu przemiennego została zmniejszona do wartości 20A/m^2 .

Gęstość prądu AC w defekcie zależy od napięcia gazociąg-ziemia w danym punkcie oraz rezystywności gruntu.

Dlatego znajomość rezystywności gruntu wzdłuż gazociągu ma tak istotne znaczenie na etapie projektowania.

Ponieważ przy obecnie stosowanych powłokach ochronnych, które umożliwiają ustalenie kryterium jednostkowej rezystancji przejścia gazociągu względem ziemi na bardzo wysokim poziomie, indukowane w gazociągach w skutek indukcyjnych oddziaływań linii wysokich napięć siły elektromotoryczne mogą wywoływać negatywne skutki w bardzo dużej odległości od miejsca ich powstawania.

W rozważanym przykładzie rejestracji sił elektromotorycznych dokonywano na rozciągniętym wzdłuż trasy projektowanego gazociągu kablu symulującym gazociąg. Jeden koniec kabla uziemiano poprzez stalową szpilkę, na drugim końcu podłączano rejestrator typu mRA, pomiar dokonywany był w stosunku do elektrody CSE, czas trwania każdej rejestracji – 30 minut.

Pomiary wykonywano na kablach różnej długości, od 100 do 500 metrów, w zależności od wzajemnego usytuowania LWN i gazociągu.

Obliczenia ekstrapolowano do wartości wynikających z maksymalnych możliwych obciążeń danej linii.

Mnożnik obliczano jako iloraz prądu maksymalnego obciążenia do wartości chwilowej zarejestrowanej podczas pomiarów, przy znanym w tym czasie obciążeniu linii.

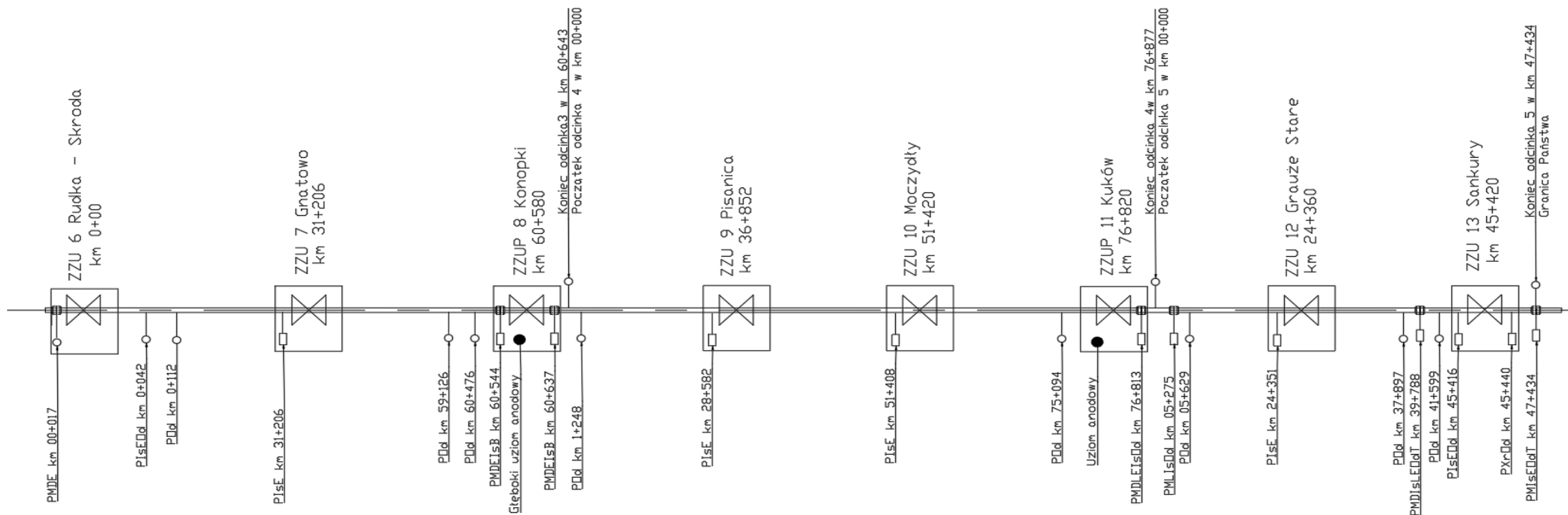
Gęstość prądu w defekcie wyliczano ze wzoru przybliżonego:

$$j = 226 \times \frac{U_{ACsr}}{\rho} \left[\frac{A}{m^2} \right]$$

Kryteria ochrony stalowych konstrukcji podziemnych przed oddziaływaniem prądu przemiennego wg ST-IGG 0602:2013 oraz PKN-CEN/TS 15280:2008

Czynnik uwzględniany przy ocenie prawdopodobieństwa korozji prądu przemiennopiękrowej	Limity
Napięcie a.c. pomiędzy konstrukcją a ziemią	Napięcie przemiennie pomiędzy rurociągiem a ziemią nie powinno przekraczać: - 10 V na całej długości rurociągu, - 4 V na odcinkach ułożonych w gruntach o rezystywności mniejszej niż 25 Ωm.
Gęstość prądu a.c.	Dla gęstości prądu przemiennego mierzonego na elektrodzie symulującej o powierzchni 1 cm ² prawdopodobieństwo korozji jest: $j_{ac} < 20 \text{ A/m}^2$ – brak lub niewielkie, $20 \text{ A/m}^2 < j_{ac} < 100 \text{ A/m}^2$ – średnie, $j_{ac} > 100 \text{ A/m}^2$ – bardzo duże.

Z uwagi na dużą długość gazociągu, jego podział na odcinki realizacyjne oraz duże SEM indukowane od LWN, do analizy przyjęto podział przedstawiony na rysunku poniżej:



Odcinek 3: ZZU Rudka-Skroda – ZZUP Konopki

Odcinek 4: ZZUP Konopki – ZZUP Kuków

Odcinek 5: ZZUP Kuków – granica Państwa

Każdy z odcinków analizowany będzie oddzielnie.

Na mapach przedstawiono wzajemne przebiegi gazociągu i LWN, rozmieszczenie monobloków, odgraniczników prądu stałego i zespołów technologicznych.

Legenda dla map:

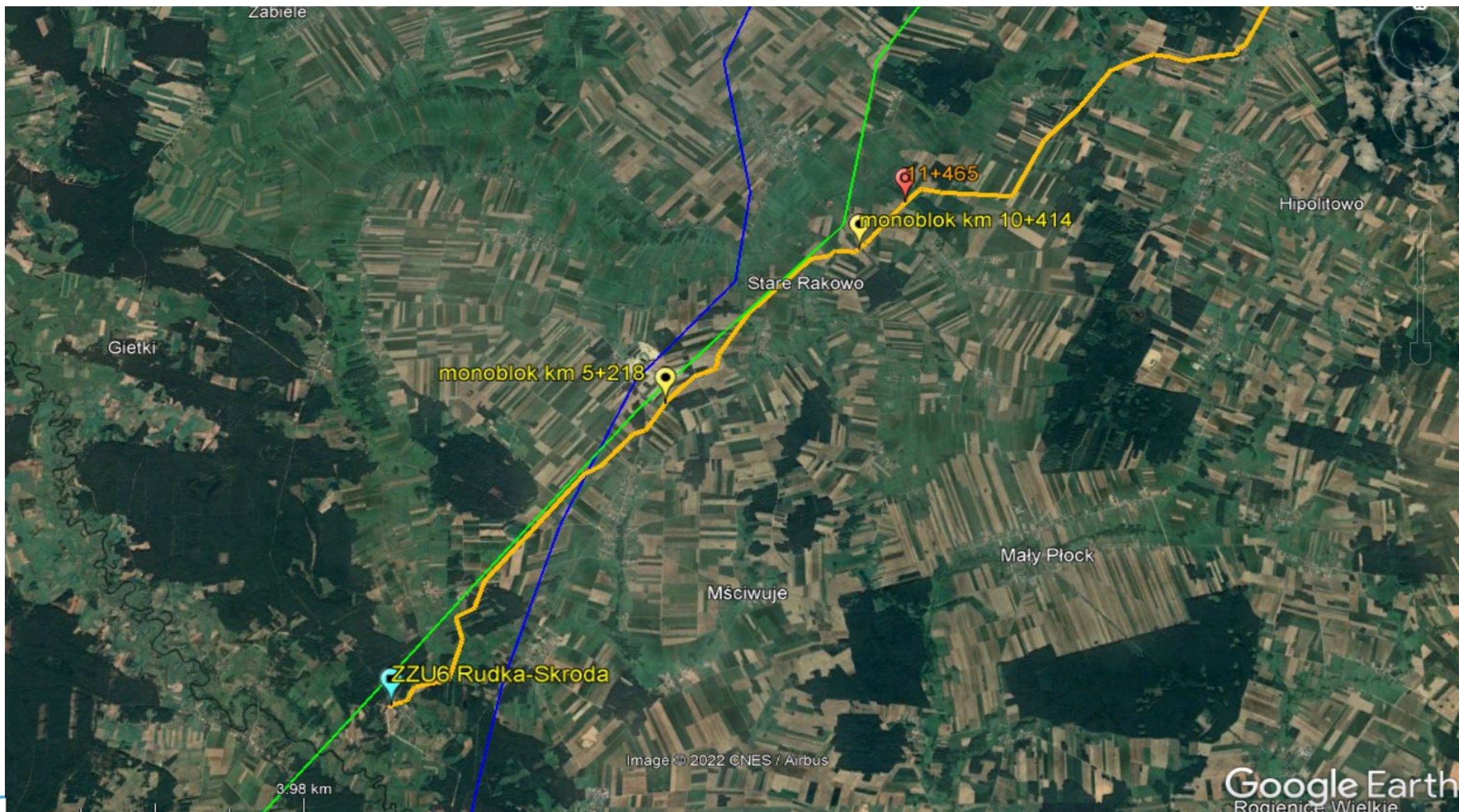
1. Trasa gazociągu – kolor żółty
2. LWN 400 kV – kolor czerwony
3. LWN 220 kV – zielony
4. LWN 110 kV – niebieski
5. Elementy gazociągu – żółty
6. Odgraniczniki prądu stałego - czerwony

Odcinek ZZU Rudka – Skroda ZZUP Konopki, SEM indukowane

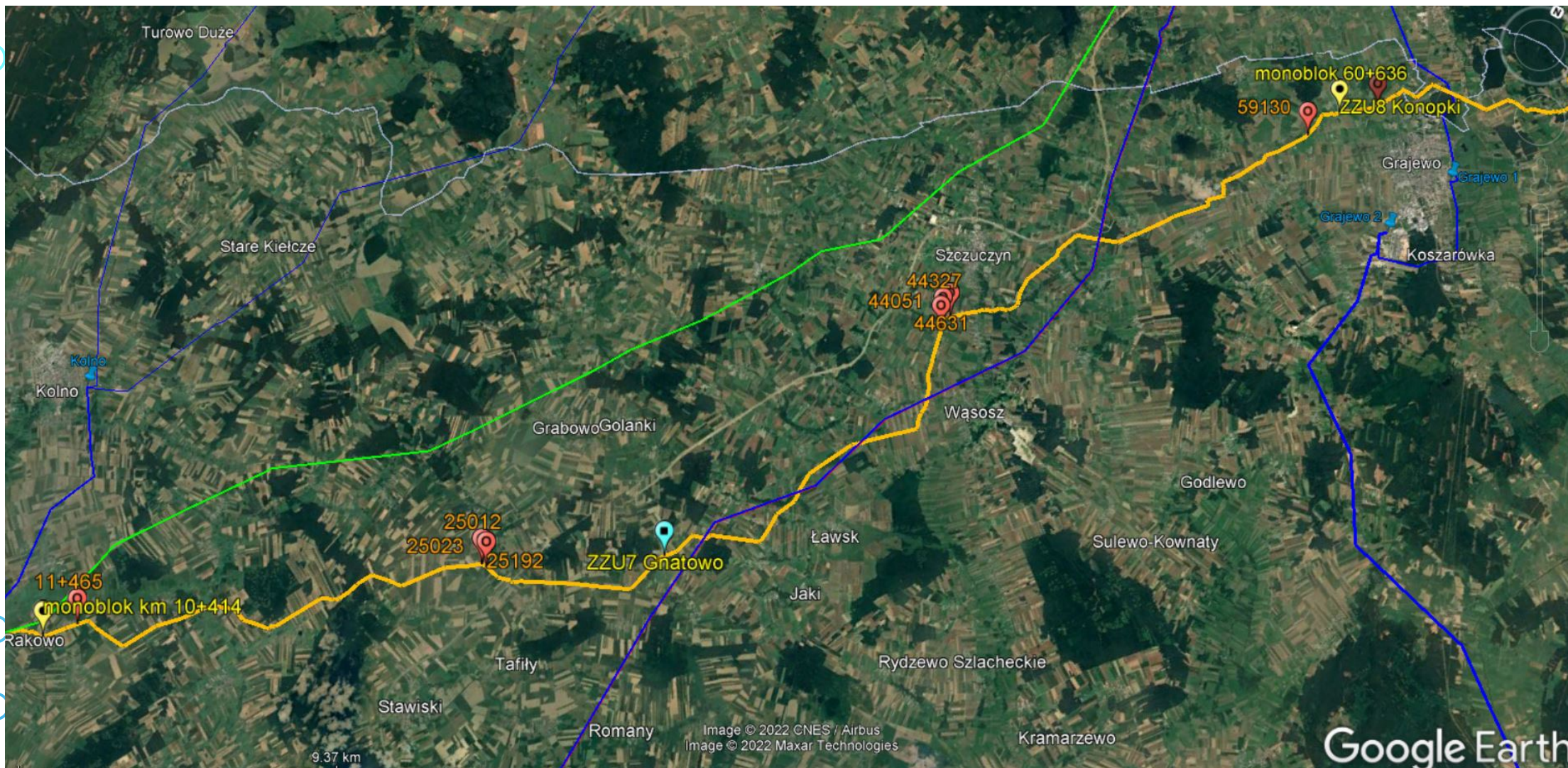
Wyniki rejestracji oddziaływań LWN na trasie projektowanego gazociągu Poska - Litwa. Odcinek Rudka-Skroda - Konopki

Lp	Obiekt	przebieg równoległy				skrzyżowanie		średnia SEM zmierzona [V]	kabel pomiarowy [m]	SEM aproxymowa [V]	Średni prąd/moc linii w czasie rejestracji [A]	maksymalne obciążenie linii [A]	Monożnik	SEM ekstrapolo- wana [V]
		od m	do m	długość zbliżenia [m]	średnia odległość od LWN [m]	km trasy	kąt [°]							
1	LWN 220 kV Ostrołęka - Elk	0	500	500	300			0,054	225	0,120	10,05	274	27,26	3,27
		1 200	1 550	350	400			0,027	285	0,033	10,05	274	27,26	0,90
		1 550	1 900	350	200			0,0362	225	0,056	20,05	274	13,67	0,77
		1 900	2 600	700	150			0,059	285	0,145	20,05	274	13,67	1,98
		2 600	4 550	1 950	46			0,268	285	1,834	18,90	274	14,50	26,58
2	LWN 110 kV Ostrołęka - Kolno			0		4 780	36	0,104	285	0,139	64,90	735	11,33	1,57
3	LWN 220 kV Ostrołęka - Elk	4 950	5 700	750	190			0,050	285	0,132	10,57	274	25,93	3,41
		5 700	8 300	2 600	200			0,054	225	0,624	10,17	274	26,95	16,82
		8 300	9 600	1 300	60			0,062	225	0,358	10,57	274	25,93	9,29
		9 600	10 300	700	200			0,054	225	0,168	10,17	274	26,95	4,53
Monoblok												SEM 1	69,13	
4	LWN 400 kV Polska - Litwa	31 600	32 200	600	400			0,055	285	0,116	229,23	1000	4,36	0,51
		32 200	32 607	407		32 607	70	0,0908	285	0,096	254,30	1000	3,93	0,38
		35 400	36 100	700	250			0,1502	225	0,467	247,87	1000	4,03	1,89
						36 360	40	0,0621	225	0,083	245,57	1000	4,07	0,34
		36 400	38 500	2 100	200			0,364	285	2,682	255,47	1000	3,91	10,50
				38 844	17	0,236	285	0,248	255,47	1000	3,91	0,97		
5	LWN 400 kV Polska - Litwa					41 735	60	0,140	285	0,147	252,77	1000	3,96	0,58
												SEM 2	15,16	
6	LWN 400 kV Polska - Litwa					50 702	86	0,127	225	0,169	242,77	1000	4,12	0,70
monoblok km 60+544												SEM 3	0,70	

Odcinek 3: ZZU Rudka - Skroda – monoblok km 10+414



Odcinek 3: monoblok km 10+414 – ZZUP Konopki



Jak przedstawiono na mapach, na odcinku występuje wiele skrzyżowań i zbliżeń z LWN.

Z uwagi na bardzo dużą SEM indukowaną na pododcinku od km 0 do 10+414, aby zapewnić ochronę przed korozją AC, odcinek ten został wyizolowany monoblokami i podzielony na dwie części, powłoka gazociągu spełnia kryterium bezdefektowości na poziomie $10^9 \Omega\text{m}^2$.

W tej sytuacji rozkład napięcia AC nie ma znaczenia, ryzyko korozji AC nie występuje.

Należy jedynie zachować warunek nie przekroczenia progu napięcia bezpiecznego, a ten jest zachowany.

Aby zobrazować relacje pomiędzy wartościami projektowymi a powykonawczymi, zmierzone podczas rozruchu napięcia AC w PPE wzdłuż trasy gazociągu aproksymowałem do wartości odpowiadających indukowanym podczas maksymalnego obciążenia sieci.

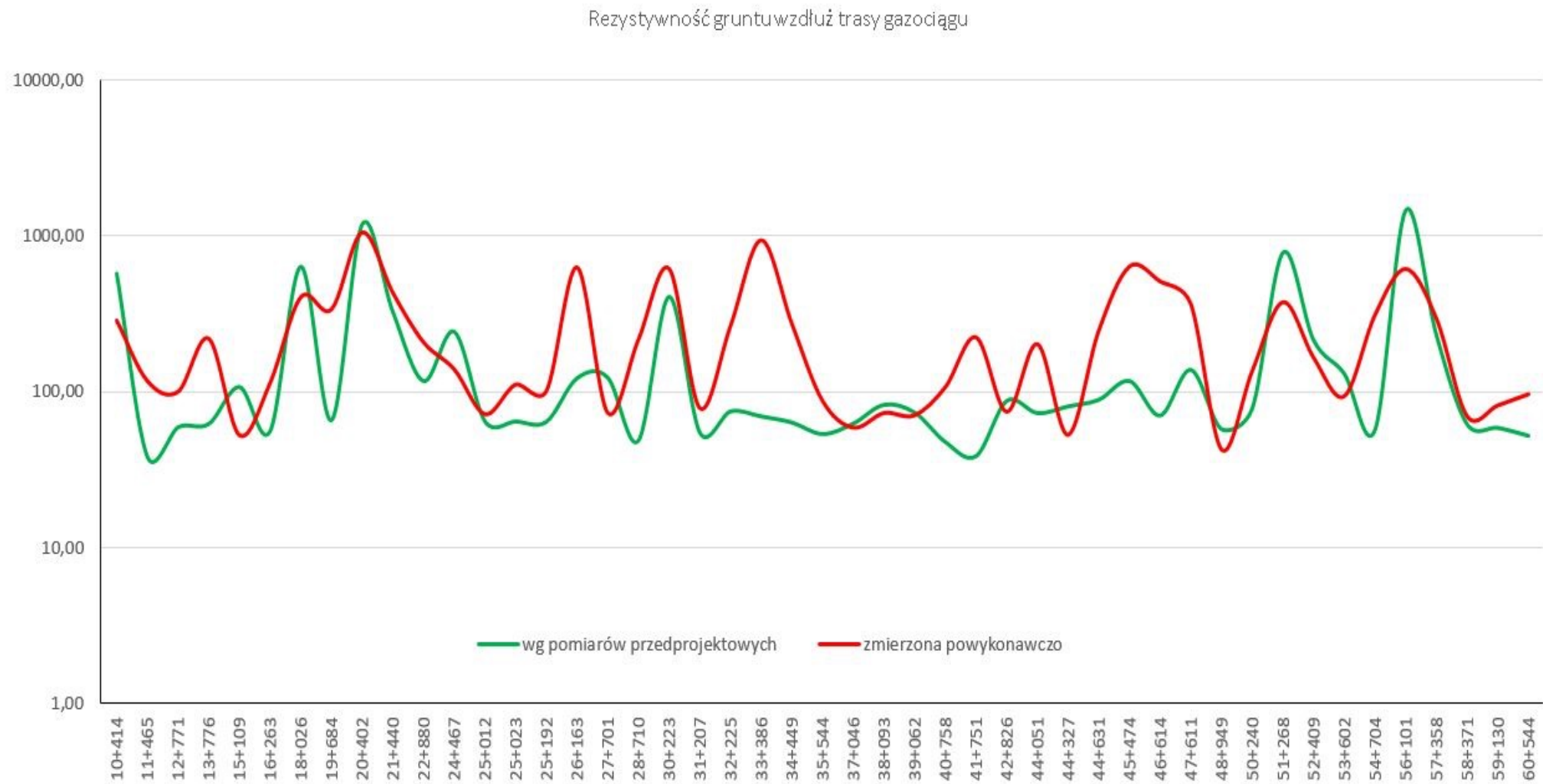
Z uwagi na brak danych o obciążeniach poszczególnych LWN podczas wykonywania pomiarów rozruchowych, zastosowałem w aproksymacji mnożnik obliczony jako średnia z relacji wyliczonych podczas obliczeń projektowych w odniesieniu do rzeczywistych.

Nie są to dane w 100% rzeczywiste, ale z dużym prawdopodobieństwem obrazują relacje.

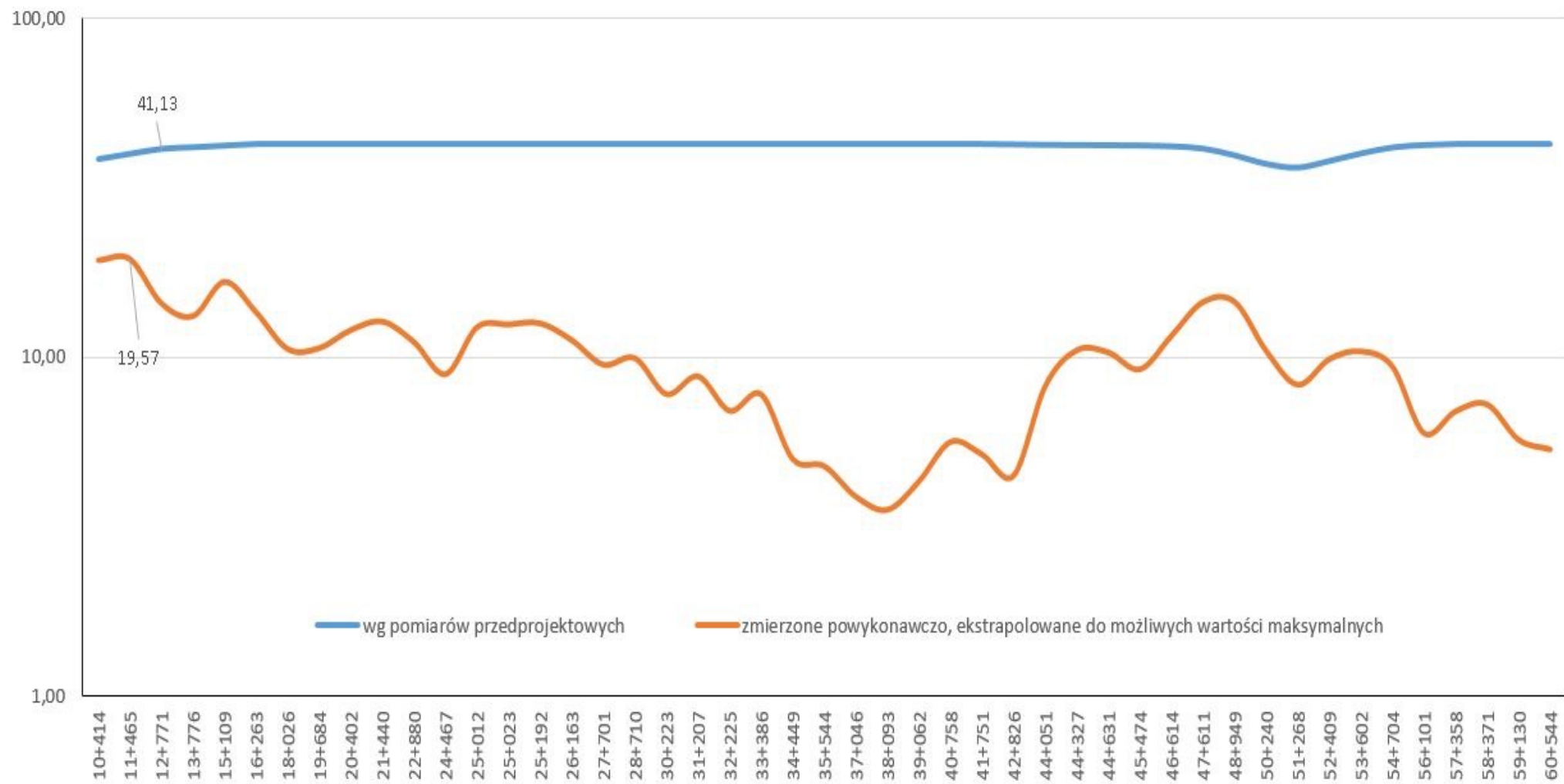
Przedstawiam na wykresach również rezystywności gruntu zmierzone przedprojektowo i powykonawczo.

Podczas robót wykopowych i zasypowych gazociągu grunt w dużym stopniu zostaje zmieszany, a często również wymieniony, co powoduje czasem duże różnice w rezystywności zmierzonej przedprojektowo i powykonawczo.

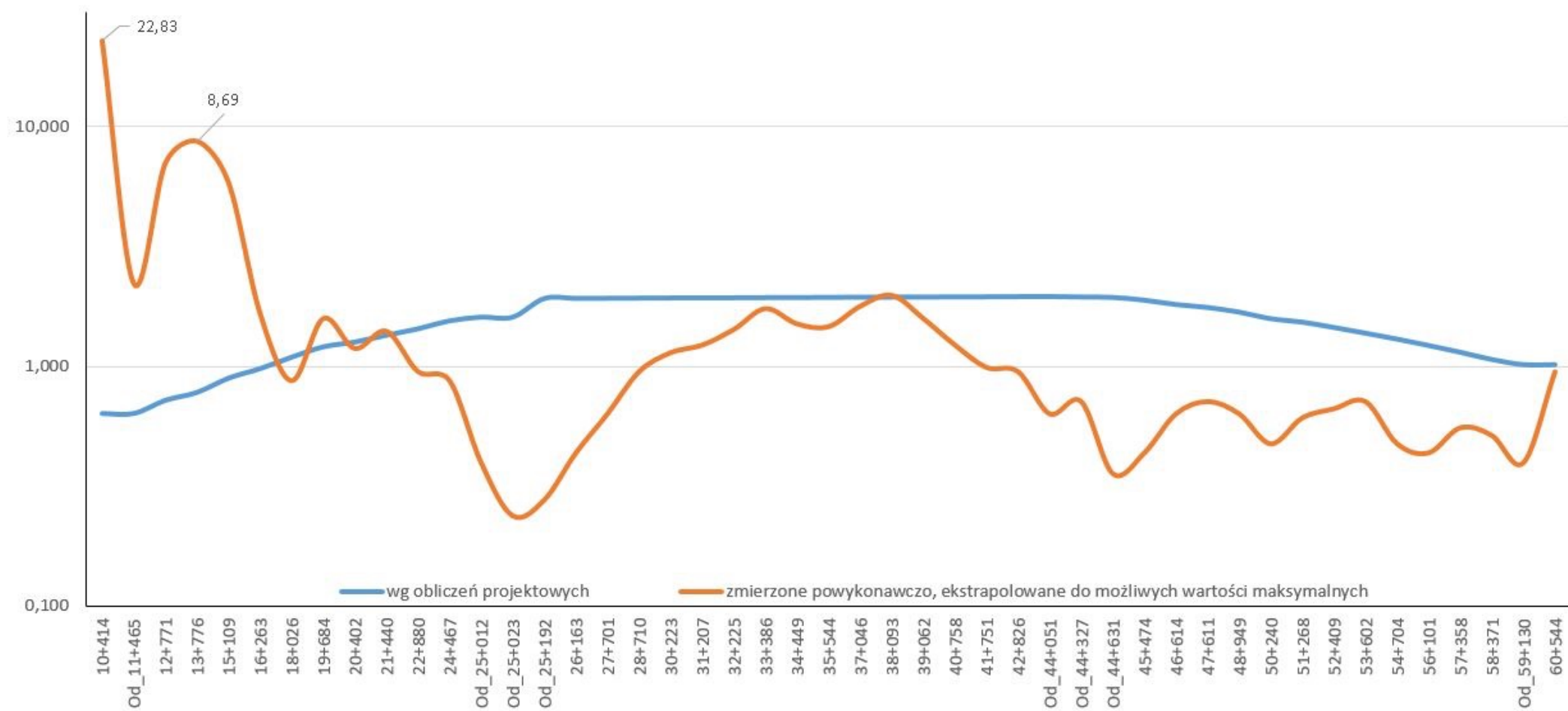
Rezystywność gruntu wzdłuż trasy gazociągu:



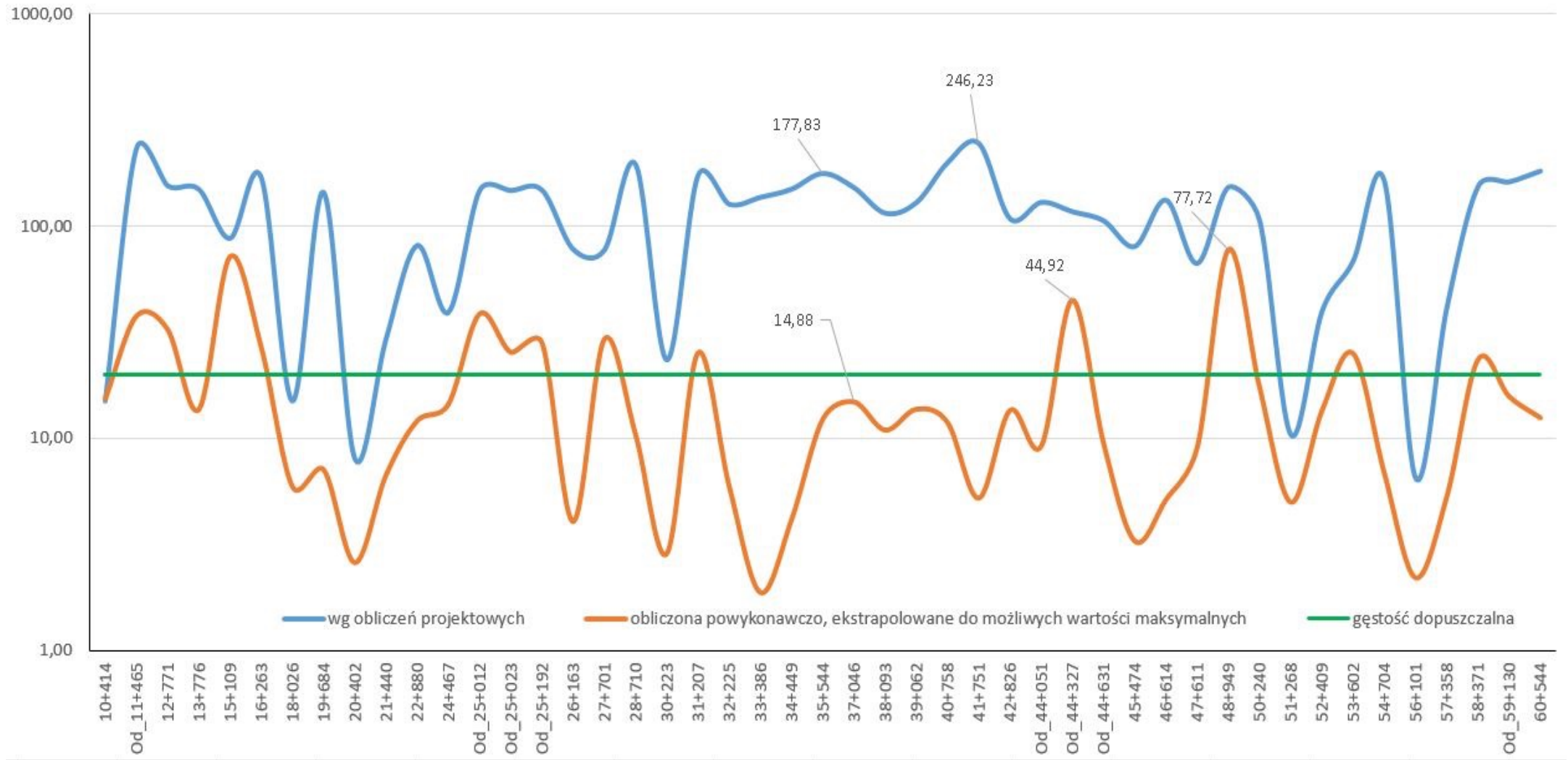
Napięcie AC wzdłuż trasy gazociągu przed załączeniem UZPP ekstrapolowane do wartości maksymalnej [V]



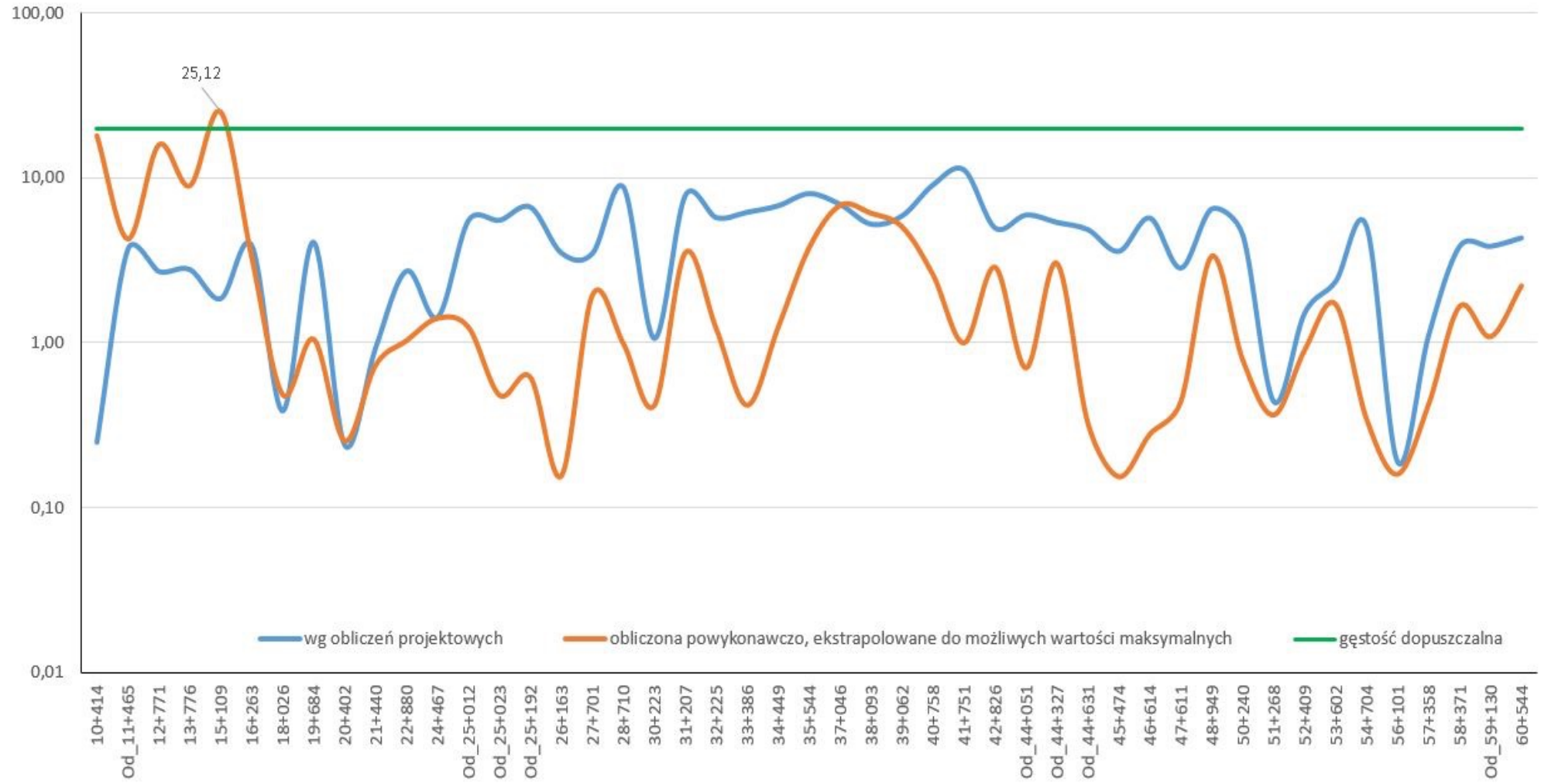
Napięcie AC wzdłuż trasy gazociągu po załączeniu UZPP ekstrapolowane do wartości maksymalnej [V]



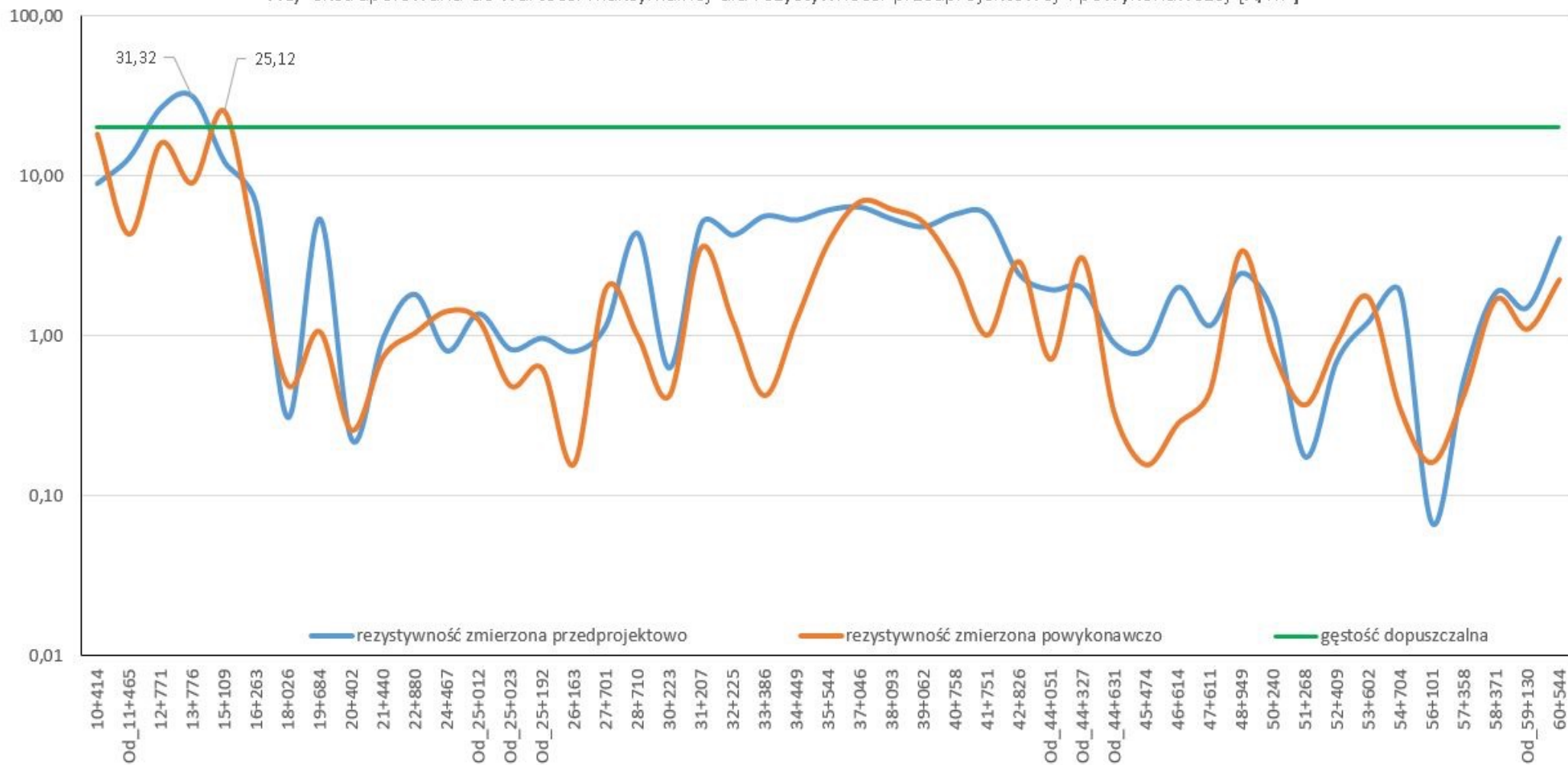
Rozkład gęstości prądu AC wzdłuż trasy gazociągu przed załączeniem UZPP ekstrapolowana do wartości maksymalnej A/m^2



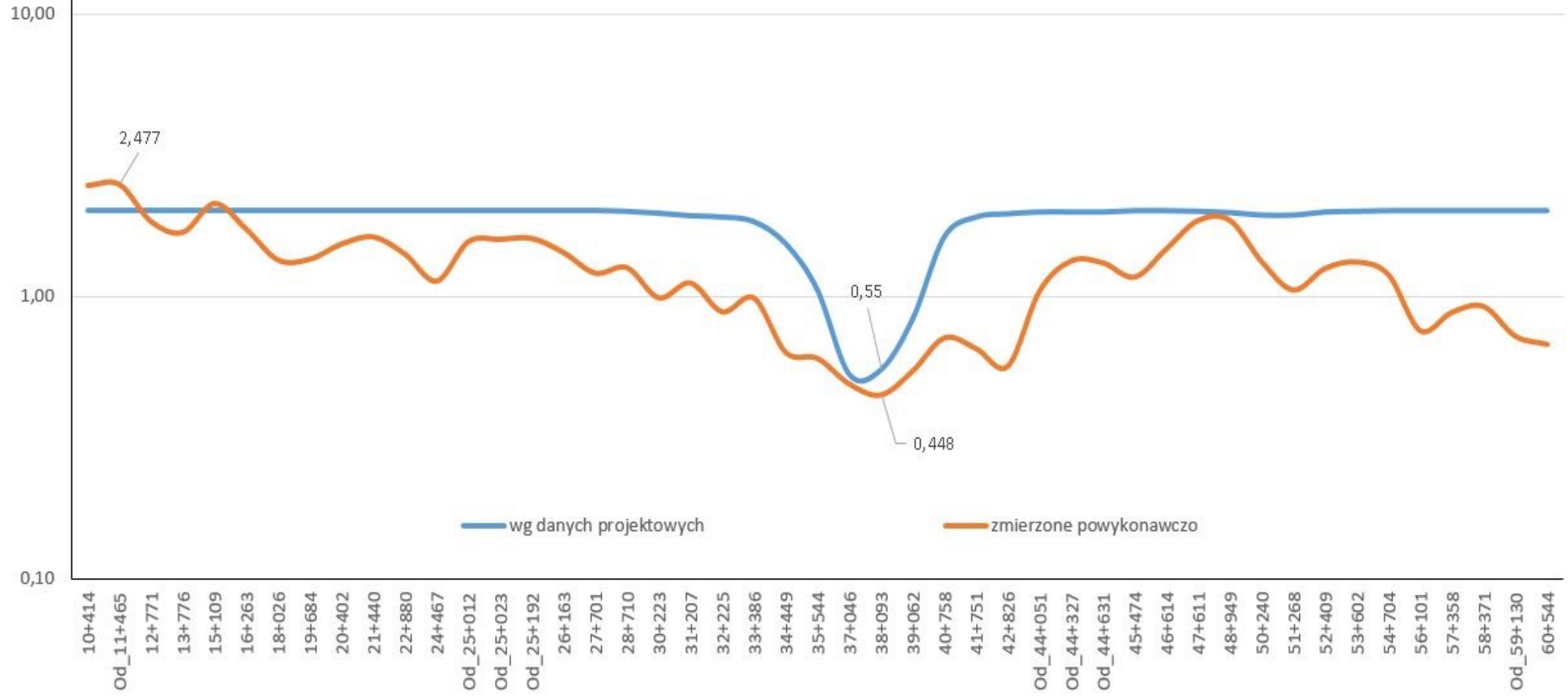
Rozkład gęstości prądu AC wzdłuż trasy gazociągu po załączeniu UZPP ekstrapolowana do wartości maksymalnej A/[m²]

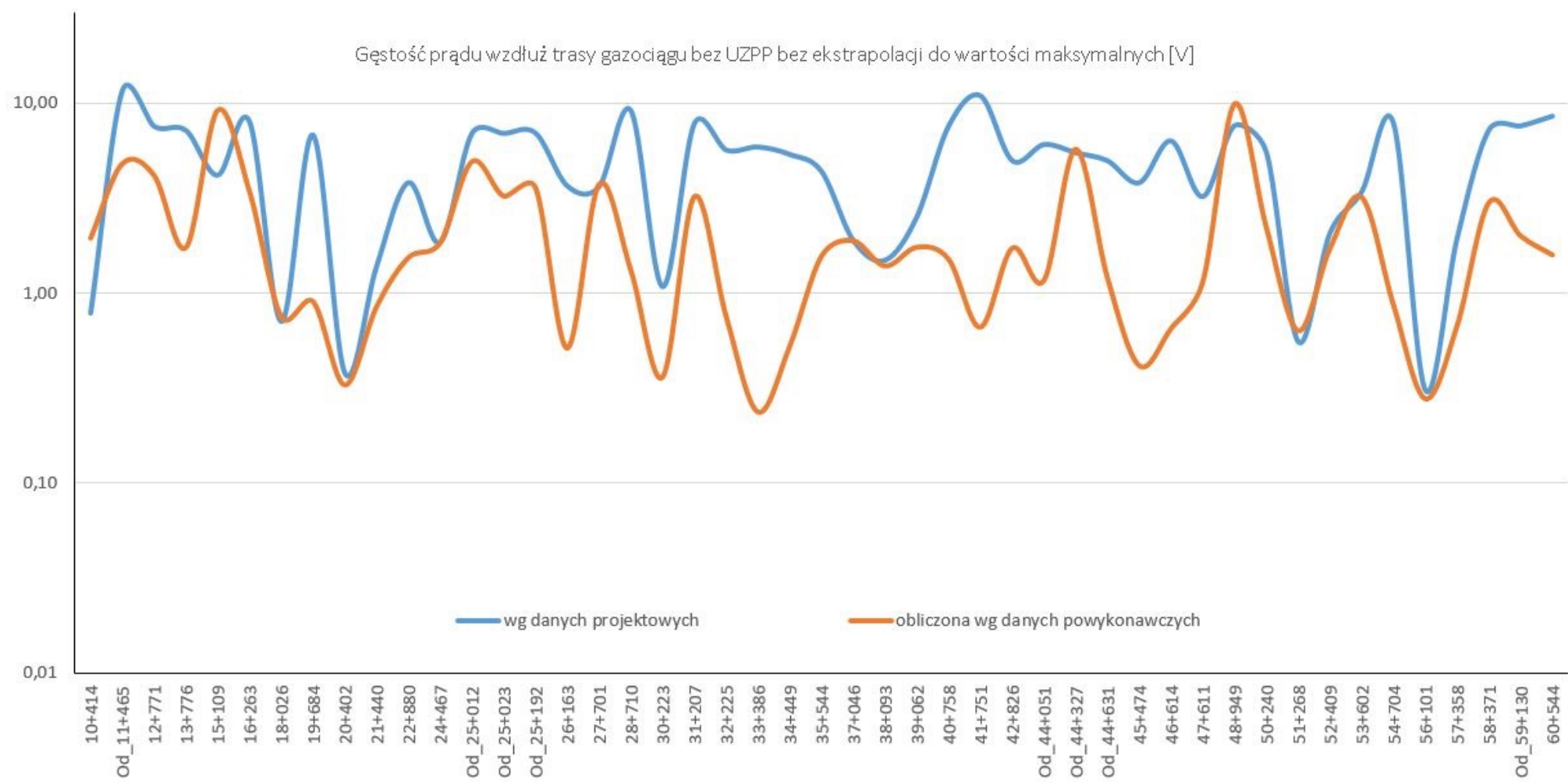


Rozkład gęstości prądu AC wzdłuż trasy gazociągu po załączeniu UZPP obliczona na podstawie pomiarów powykonawczych napięcia AC, ekstrapolowana do wartości maksymalnej dla rezystywności przedprojektowej i powykonawczej [A/m²]

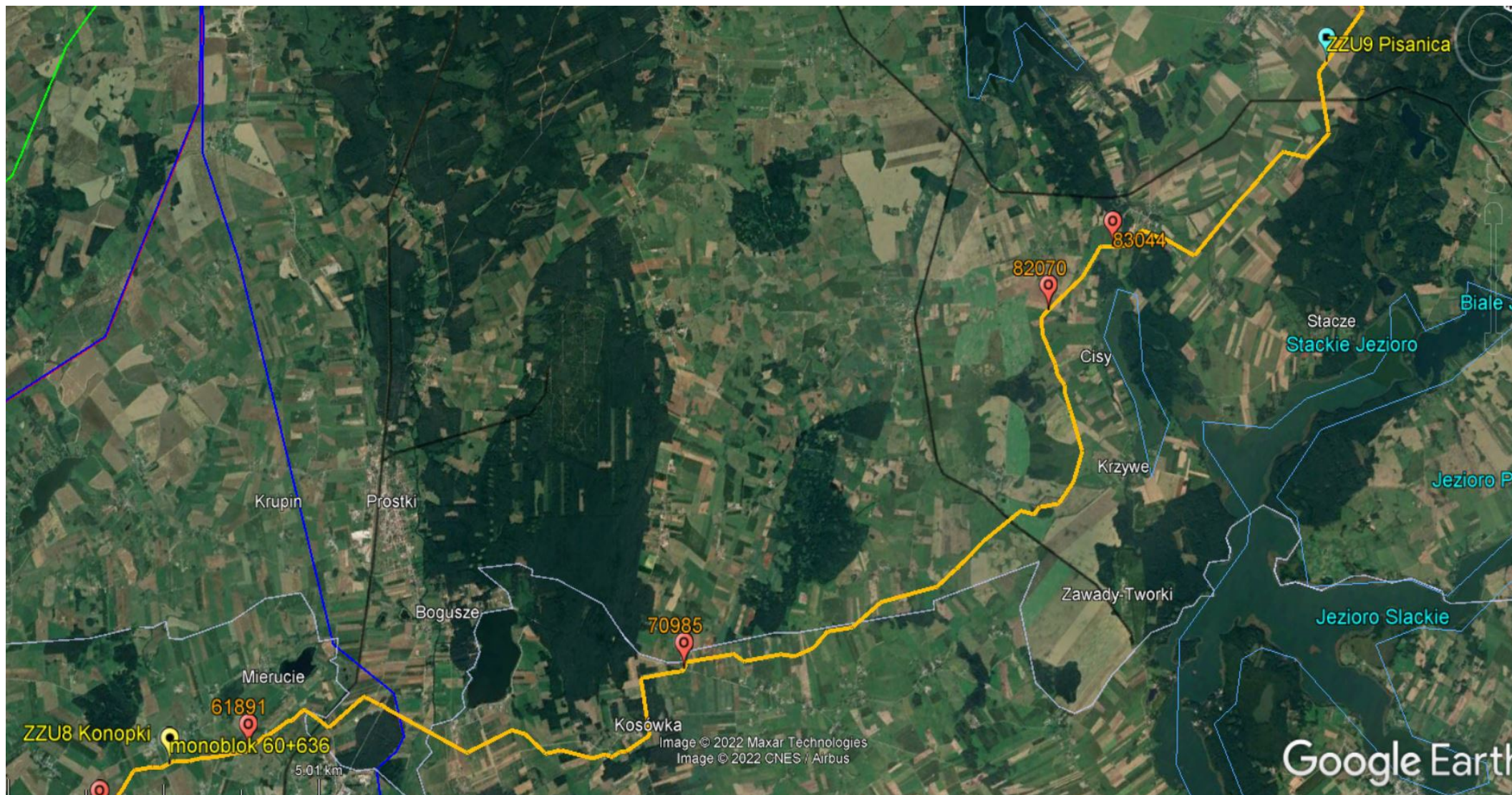


Napięcie AC wzdłuż trasy gazociągu bez UZPP bez ekstrapolacji [V]

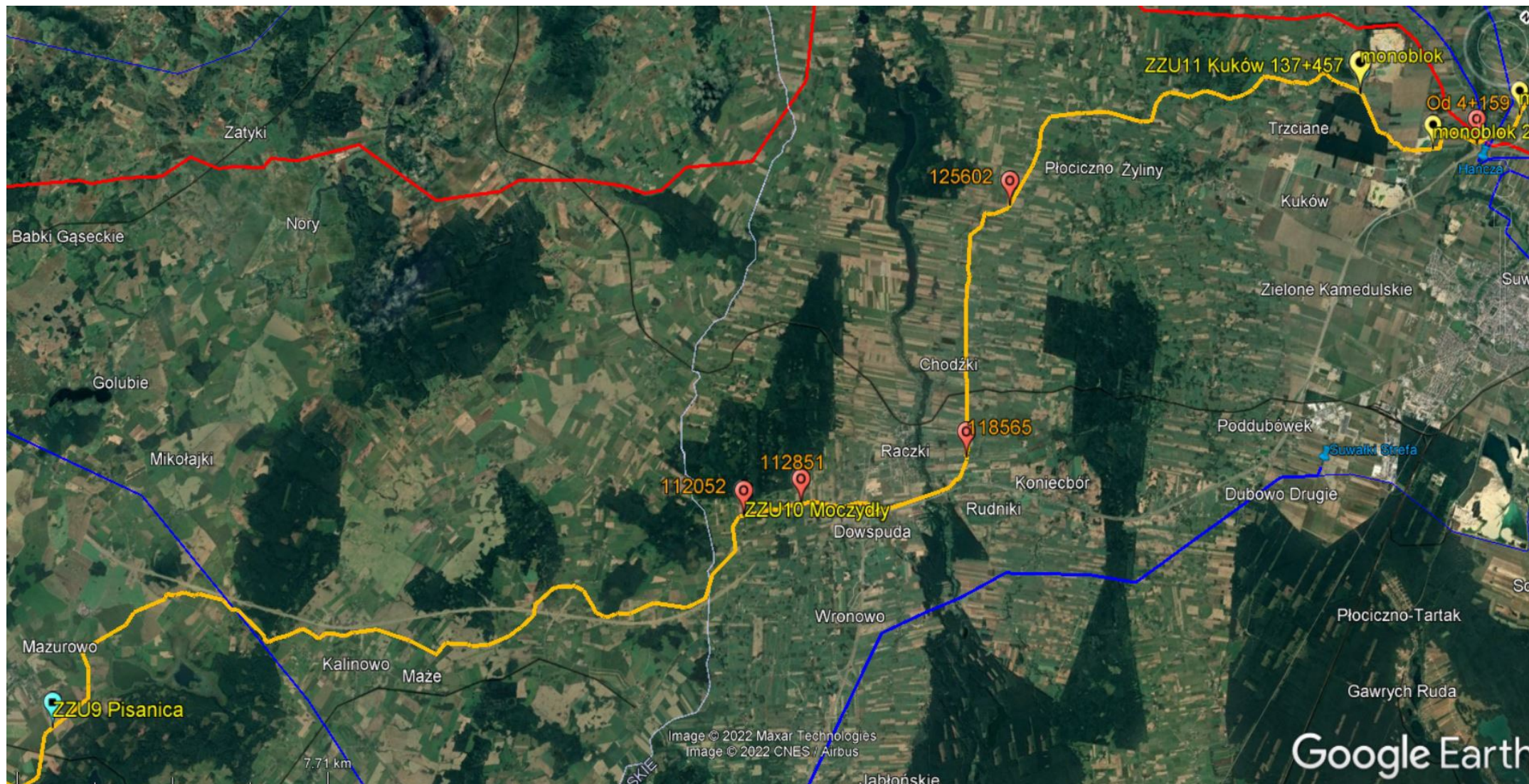




Odcinek 4: ZZUP Konopki – ZZU Pisanica – trasa gazociągu i kolizje z LWN



Odcinek 4: ZZU Pisanica - ZZUP Kuków – trasa gazociągu i kolizje z LWN



Jak przedstawiają mapy, na odcinku występują tylko dwa skrzyżowania gazociągu z LWN.

Wartość SEM indukowanych przedstawia tabela:

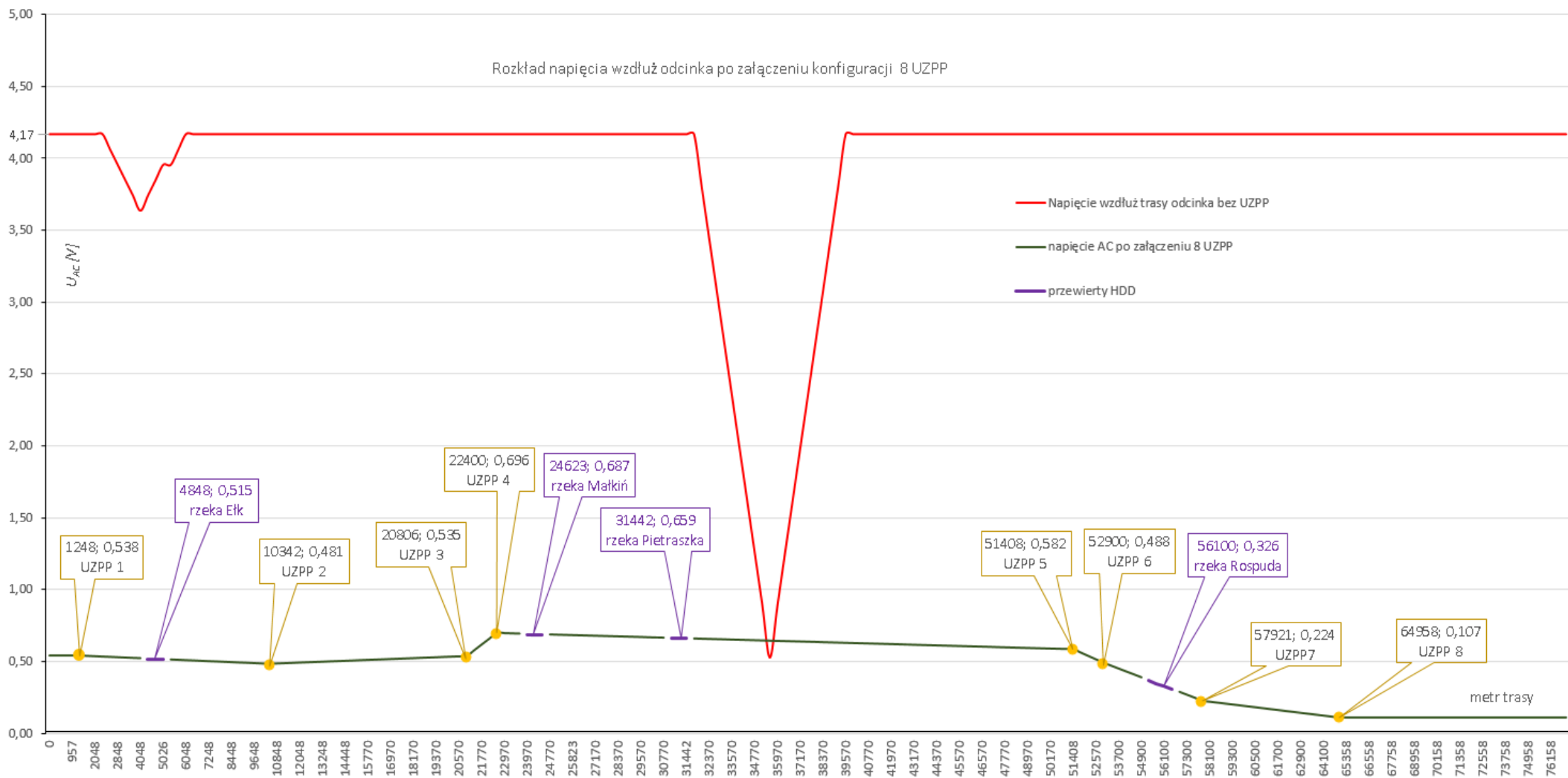
Odcinek ZZUP Konopki - ZZUP Kuków														
Lp	Obiekt	przebieg równoległy				skrzyżowanie		średnia SEM zmierzona [V]	kabel pomiarowy [m]	SEM aproksymowana [V]	Średni prąd linii w czasie rejestracji [A]	maksymalne obciążenie linii [A]	Monożnik	SEM ekstrapolowana [V]
		od m	do m	długość zbliżenia [m]	średnia odległość od LWN [m]	km trasy	kąt [°]							
1	LWN 110kV Ełk - Grajewo			0		4 207	47	0,155	185	0,251	130,09	550	4,228	1,06
2	LWN 110 kV Szeligi -Augustów	34 857	36 557	1 700	50			0,053	225	0,400	47,3952	735	15,508	6,21
				0		35 257	46	0,051	185	0,083	47,3952	735	15,508	1,28
													Razem	8,56

Indukowane SEM są niewielkie, ale na odcinku zaprojektowano przekroczenia przeszkód terenowych wykonane w technice przewiertów sterowanych (HDD) w płuczce o rezystywności 1,5 do 2 Ω m, co powoduje konieczność obniżenia na tych odcinkach napięcia AC poniżej 1 V.

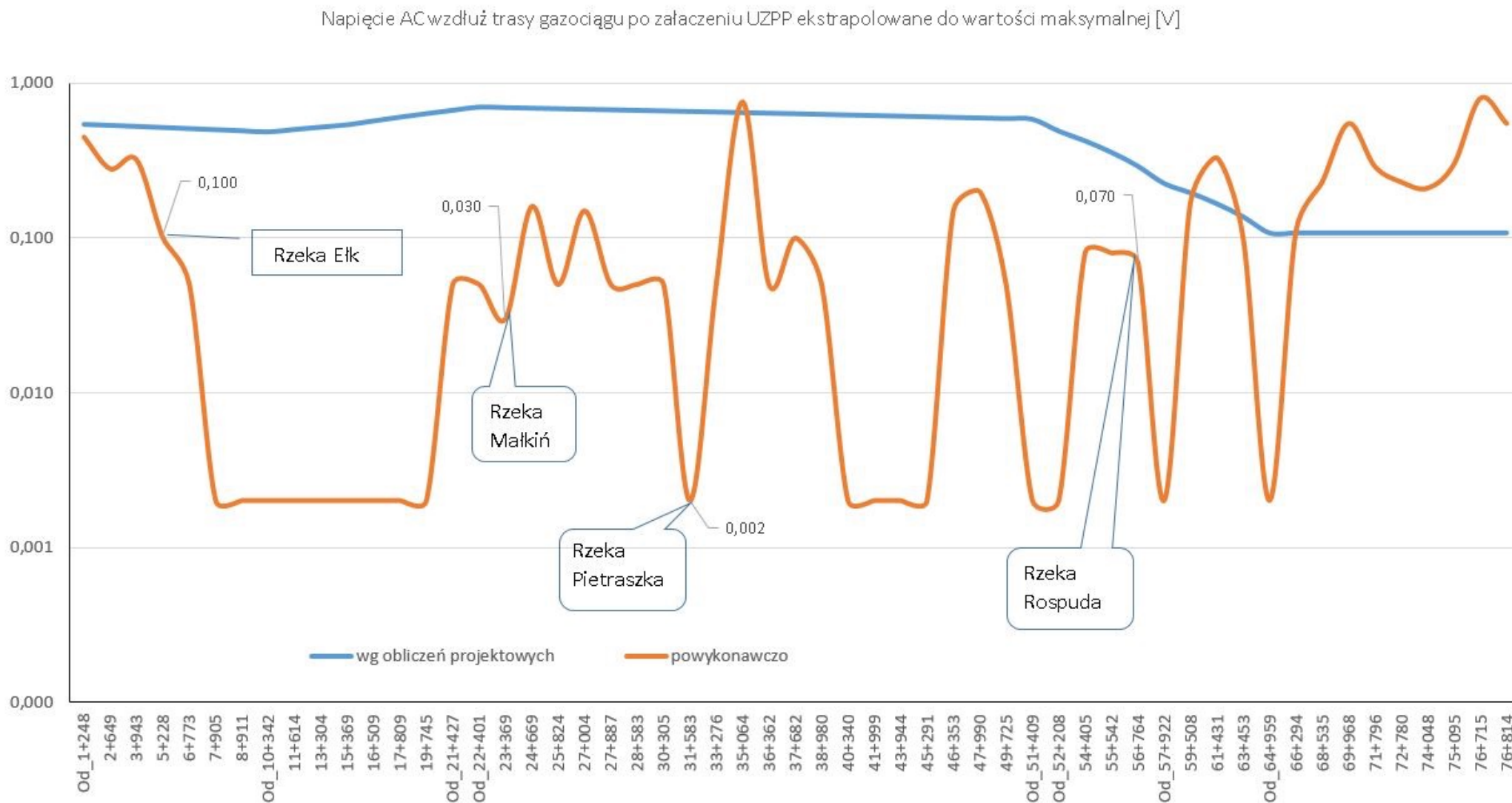
Zestawienie HDD:

Lp.	Przeszkoda terenowa	od km	do km	długość odcinka [m]
1	Rzeka Ełk	4,486	5,026	540
2	Rzeka Małkiń	23,968	24,623	655
3	Rzeka Pietraszka	30,922	31,442	520
4	Rzeka Rospuda	55,791	56,66	869

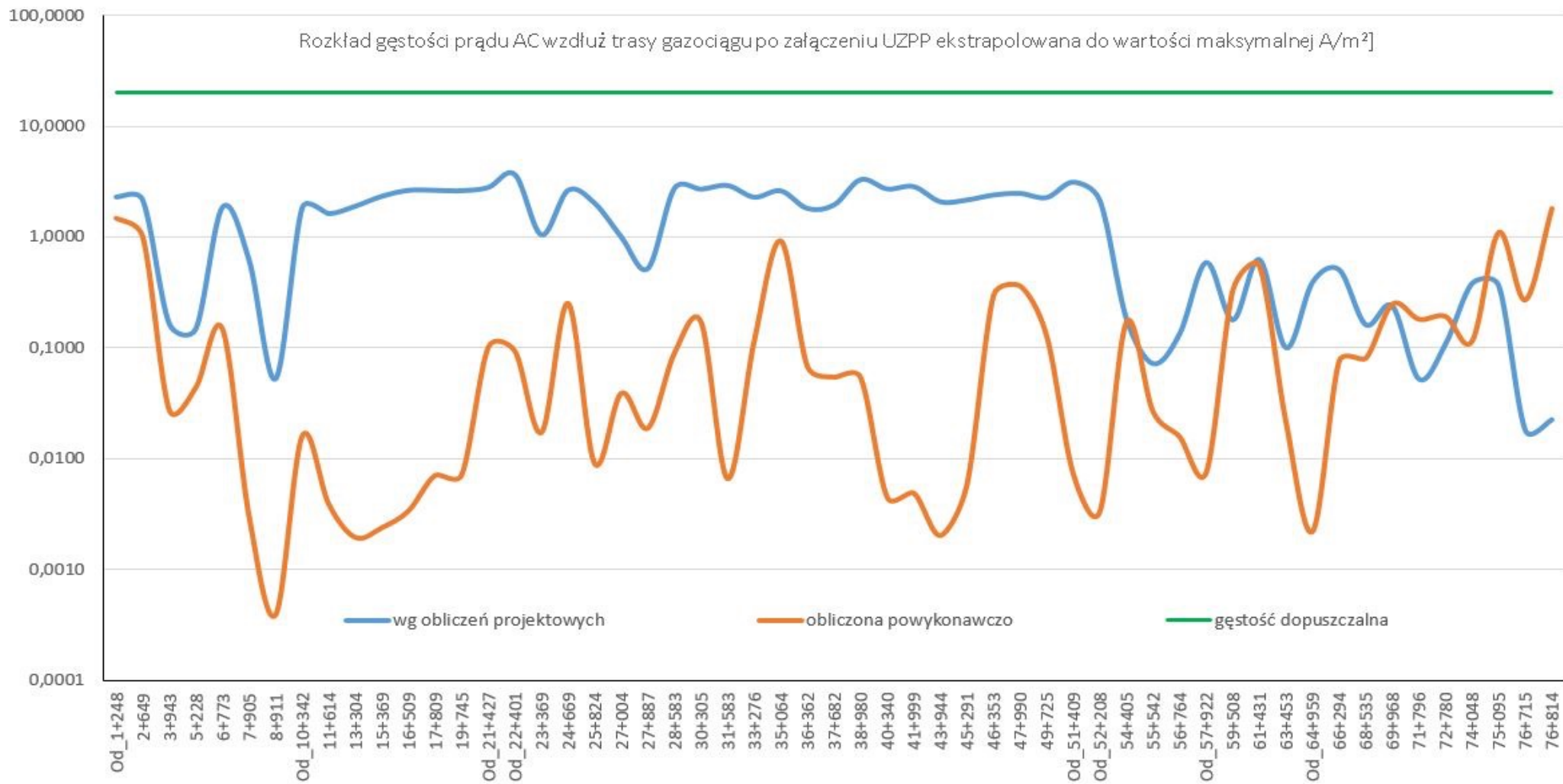
Obliczony w projekcie rozkład UZPP wraz z odpowiednio dobranymi uziomami powinien zapewnić rozkład napięcia AC jak na wykresie poniżej:



Na podstawie powykonawczych pomiarów rozruchowych, rozkład napięcia AC wzdłuż gazociągu wygląda tak:

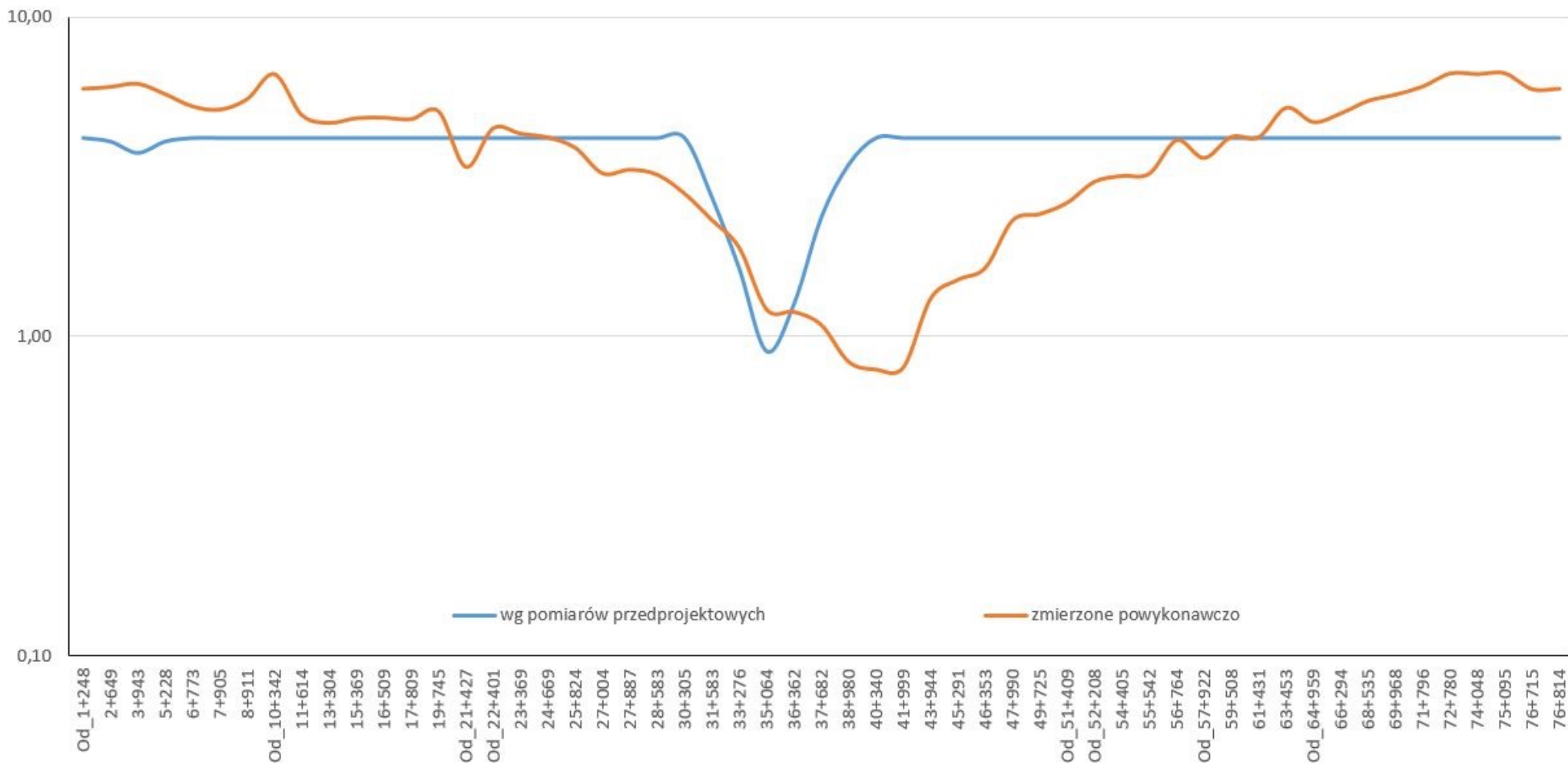


Gęstość prądu w potencjalnym defekcie o powierzchni 1 cm²:

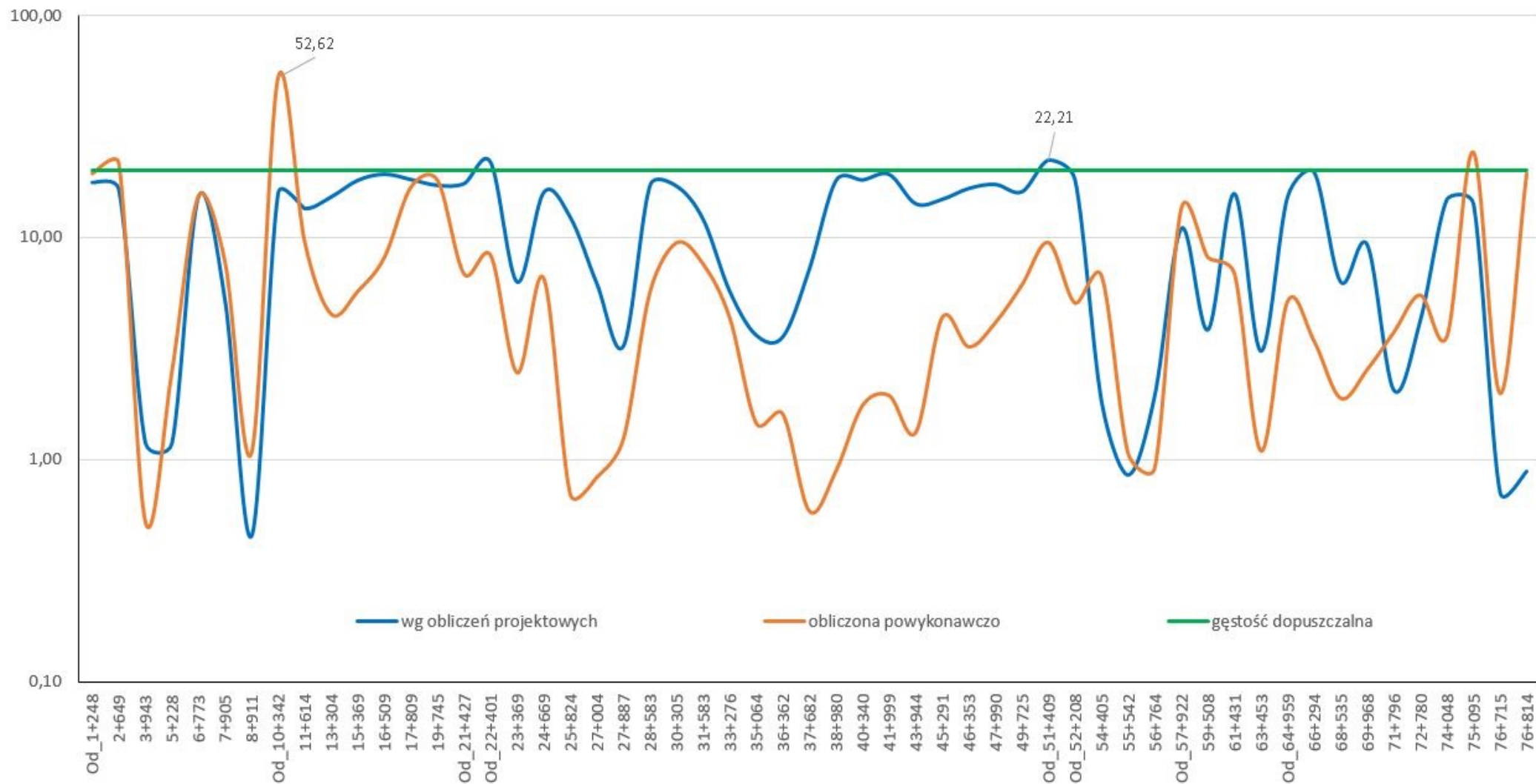


Rozkłady bez UZPP:

Napięcie AC wzdłuż trasy gazociągu przed załączeniem UZPP ekstrapolowane do wartości maksymalnej [V]



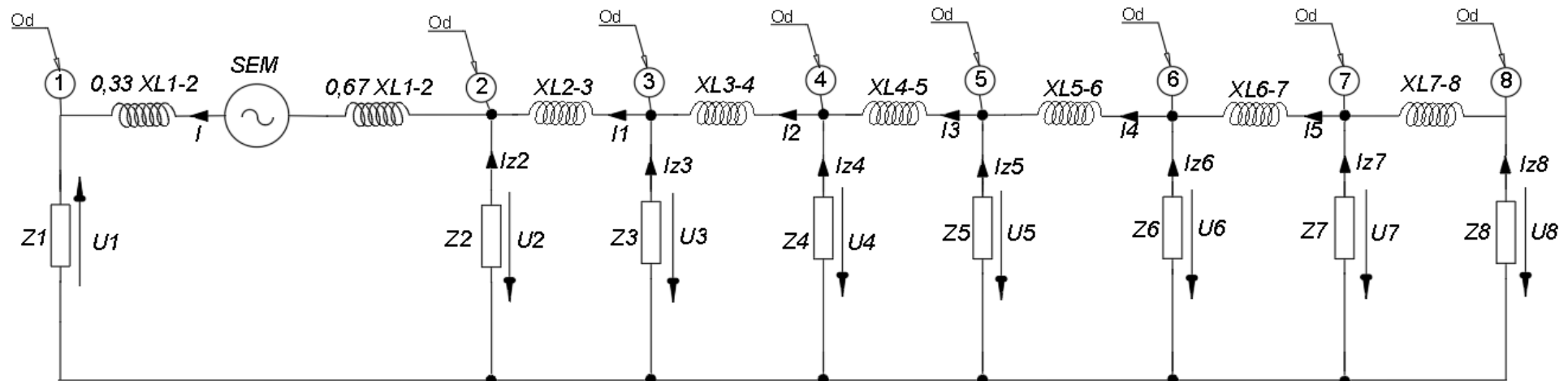
Rozkład gęstości prądu AC wzdłuż trasy gazociągu przed załączeniem UZPP ekstrapolowana do wartości maksymalnej A/m²



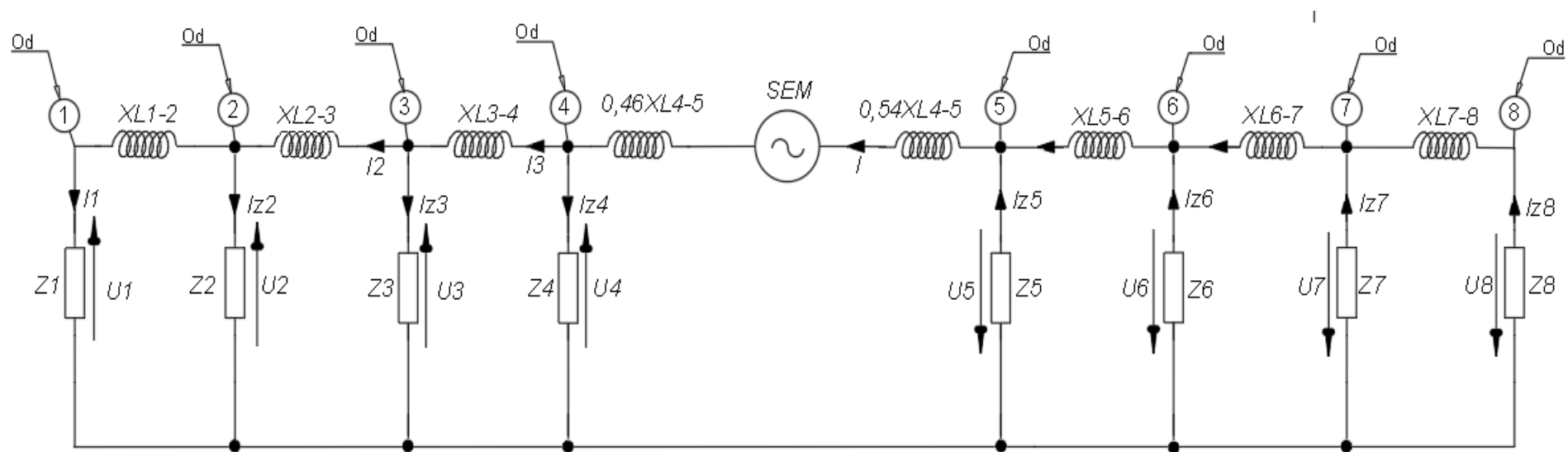
Schematy zastępcze odcinka 5 wykonane dla obliczeń rozkładu napięcia AC:
 Lokalizacja UZPP i wartości rezystancji uziomów:

Rezystancje rozptywu uziomów							
RuOd1 [Ω]	RuOd2 [Ω]	RuOd3 [Ω]	RuOd4 [Ω]	RuOd5 [Ω]	RuOd6 [Ω]	RuOd7 [Ω]	RuOd8 [Ω]
2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Lokalizacje UZPP (km trasy)							
Od1	Od2	Od3	Od4	Od5	Od6	Od7	Od8
1 248	10 342	20 806	22 400	51 408	52 900	57 921	64 958

Schemat zastępczy dla SEM1:

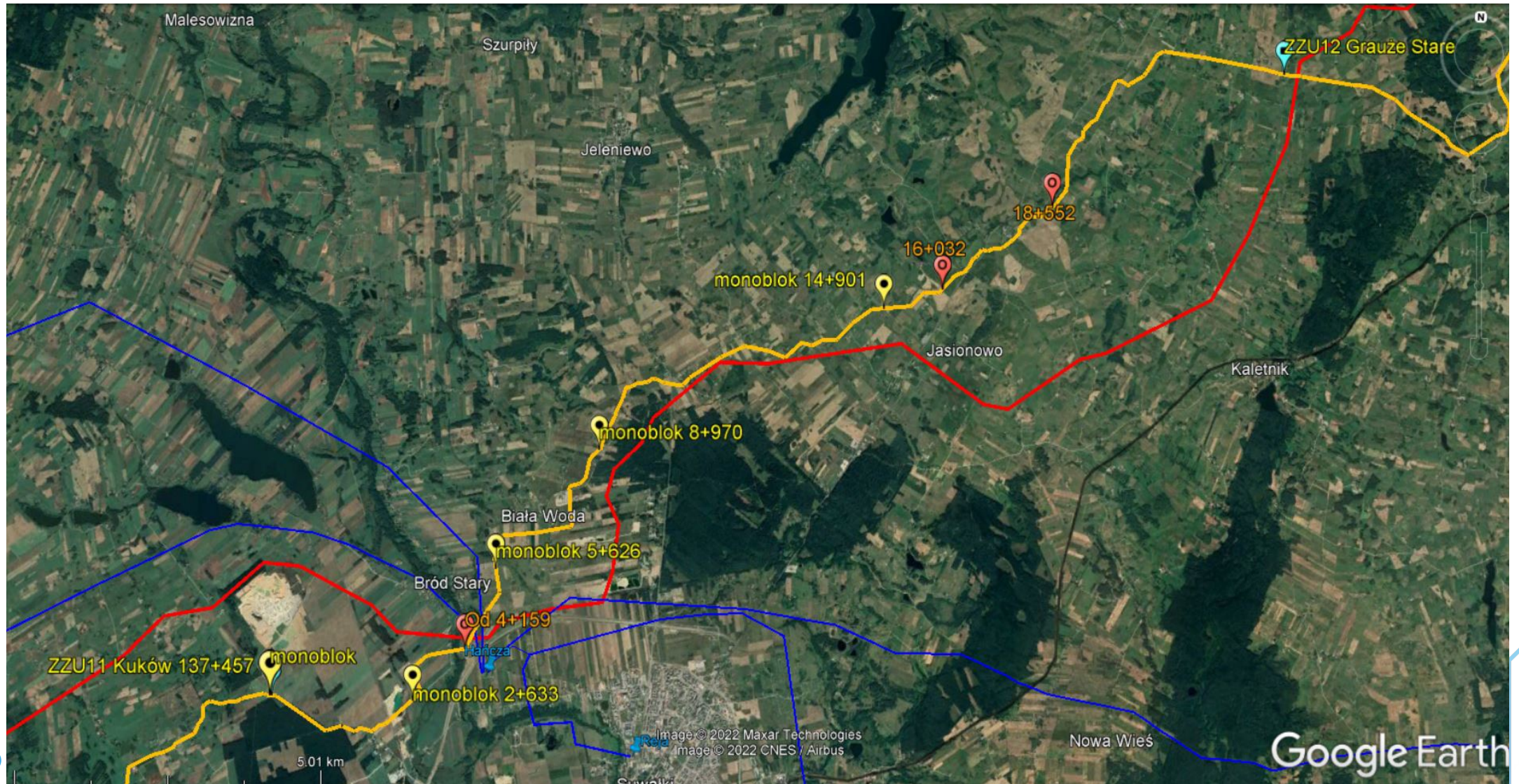


Schemat zastępczy dla SEM2:

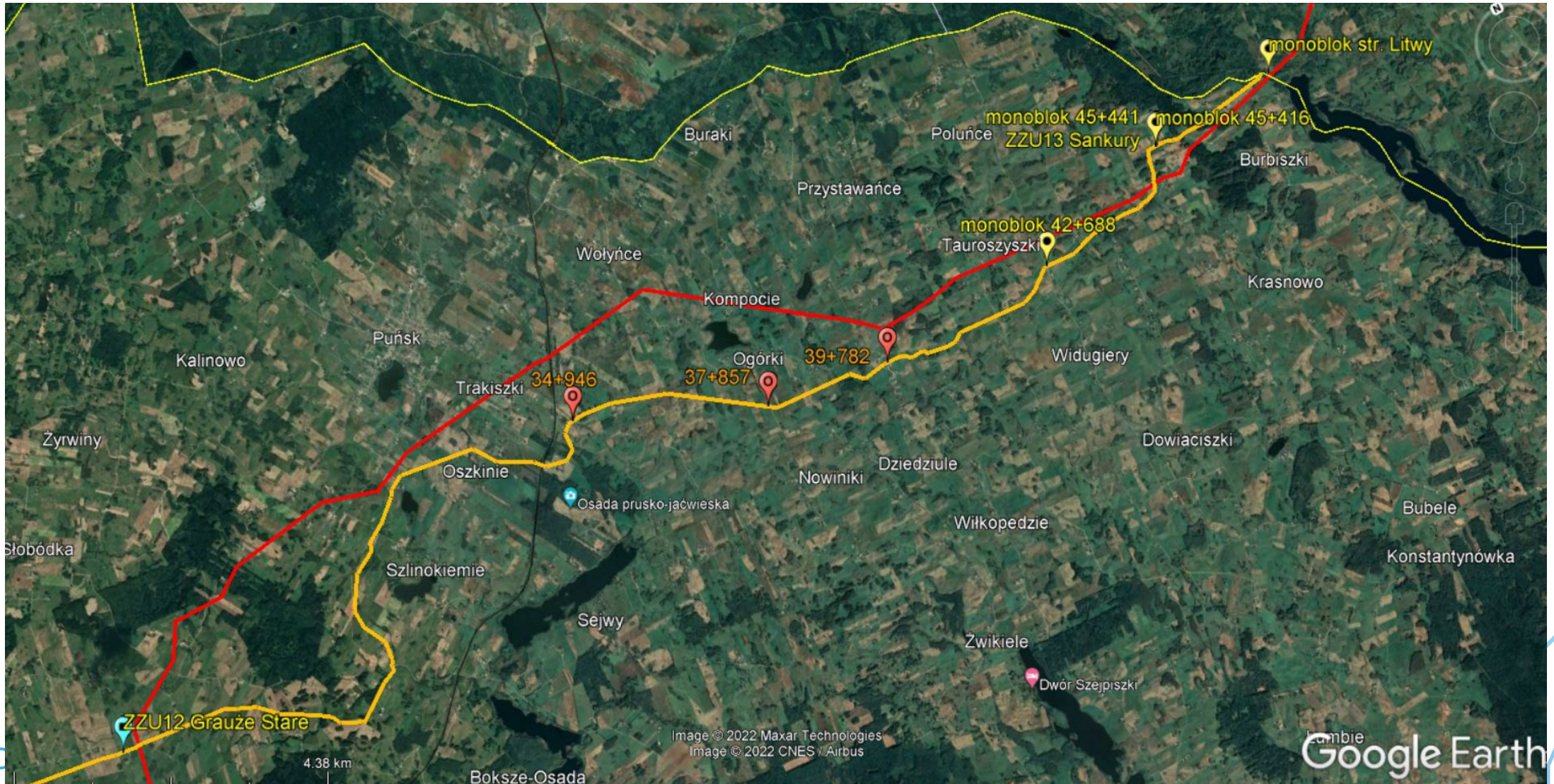


Otrzymane w wyniku obliczeń na wyżej pokazanych modelach gazociągu rozkłady napięcia AC w przybliżeniu pokrywają się z rozkładem zmierzonym powykonawczo. W efekcie prac projektowych uzyskane powykonawczo wyniki zapewniają skuteczną ochronę przed korozją prądu przemiennopięk.

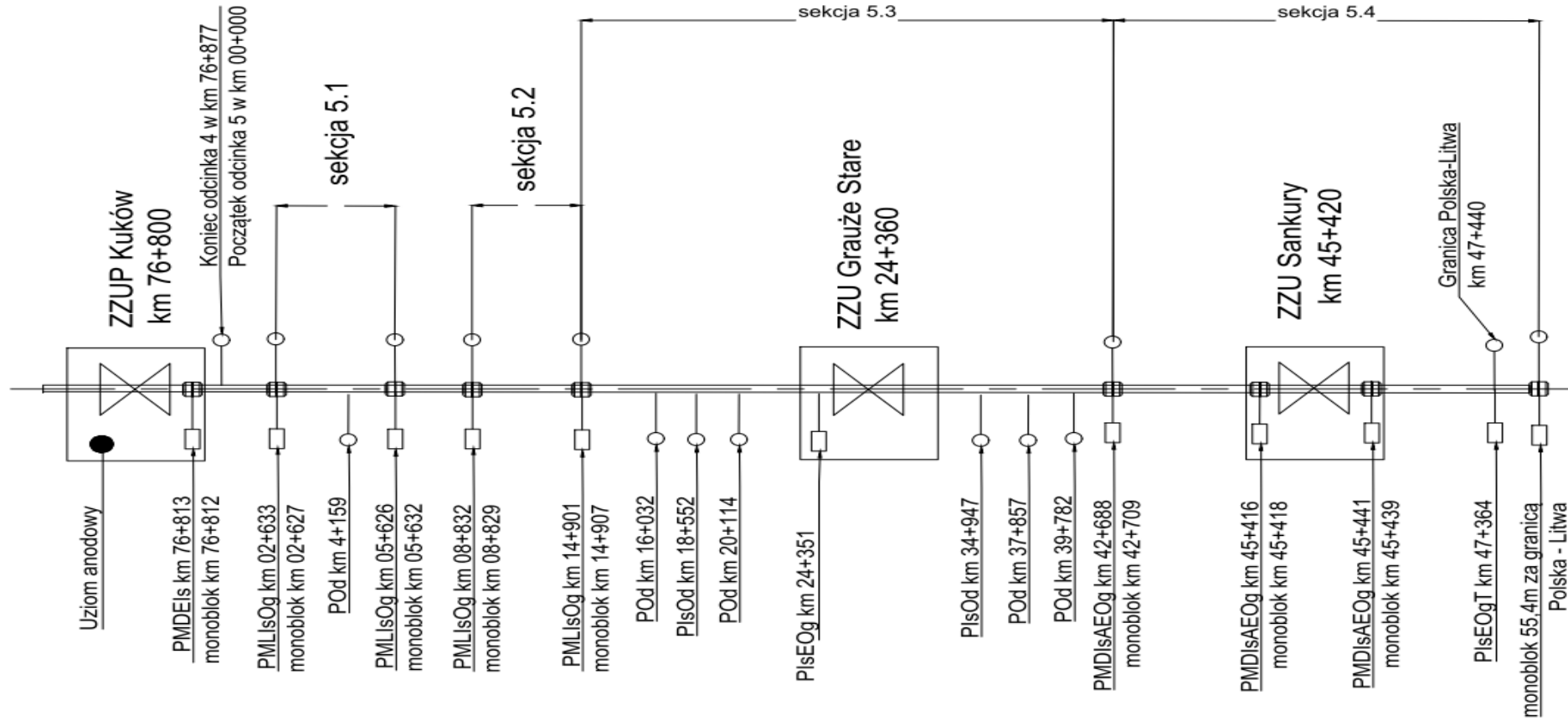
Odcinek 5. : ZZUP Kuków – ZZU Grauże Stare – trasa gazociągu i kolizje z LWN



Odcinek 5. : ZZU Grauże Stare – granica Polska – Litwa - trasa gazociągu i kolizje z LWN



Z uwagi na przebieg odcinka gazociągu względem LWN, mogą na nim indukować się duże SEM. Dlatego po wykonaniu pomiarów w terenie i obliczeniu możliwych SEM podzielono odcinek na sekcje:



W sekcjach 5.1, 5.2 i 5.4 jako podstawową ochronę przed korozją AC zastosowano powłokę bezdefektową na poziomie $10^9 \Omega\text{m}^2$ i taka została przez Wykonawcę zachowana, więc rozkład napięcia AC w tych sekcjach nie ma istotnego znaczenia i nie będę go w opracowaniu analizował.

Maksymalne SEM w tych sekcja mogą osiągnąć nawet ponad 40V.

Natomiast w sekcji 5.3 indukowana SEM może mieć wartość 8,64 V przy założeniu średniego obciążenia linii 400 kV Polska – Litwa prądem 1000 A.

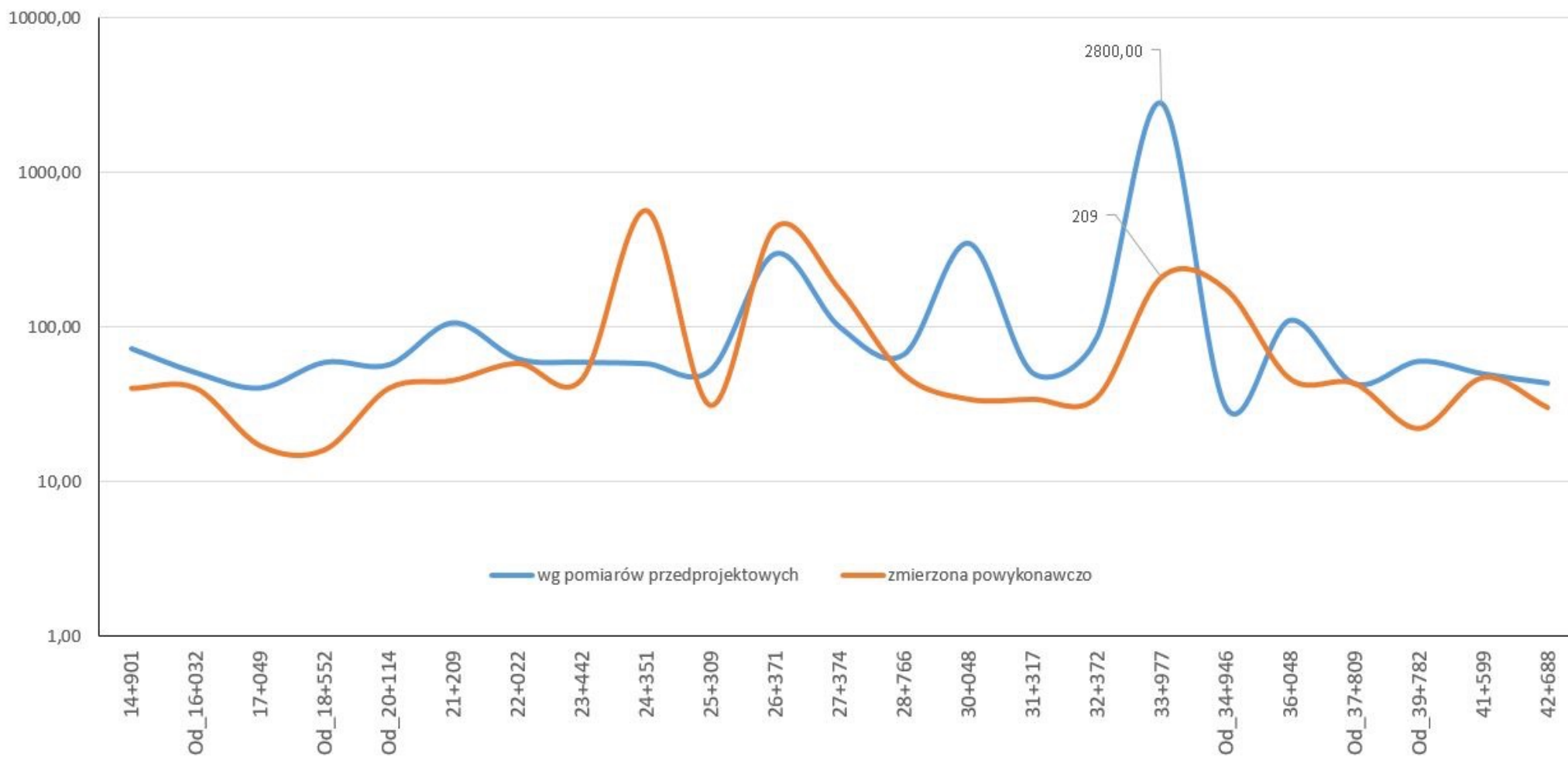
Takie dane przyjęto do obliczeń na podstawie informacji uzyskanych od operatora sieci, który twierdził, że linia nie będzie obciążana większym prądem.

Dopuszczalne obciążenie tej linii to 2970 A przy temperaturze $\leq 0^\circ\text{C}$.

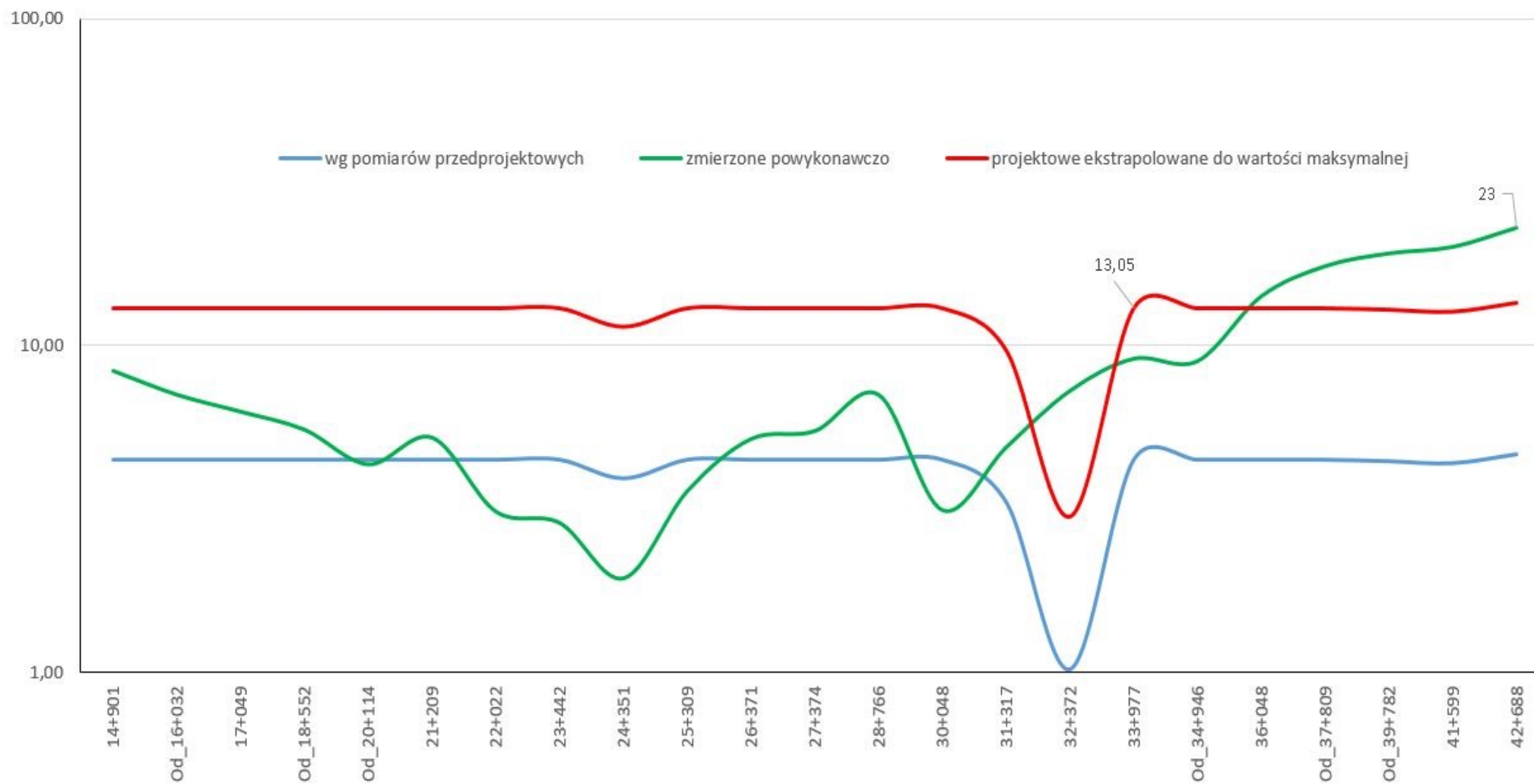
Przy maksymalnym obciążeniu linii może wystąpić łączna SEM = 25,5 V

Rozkład napięcia wzdłuż gazociągu powstałego wskutek działania indukowanej SEM, rezystywności gruntu i gęstości prądu w potencjalnym defekcie kołowym o powierzchni 1 cm^2 przedstawiają kolejne wykresy.

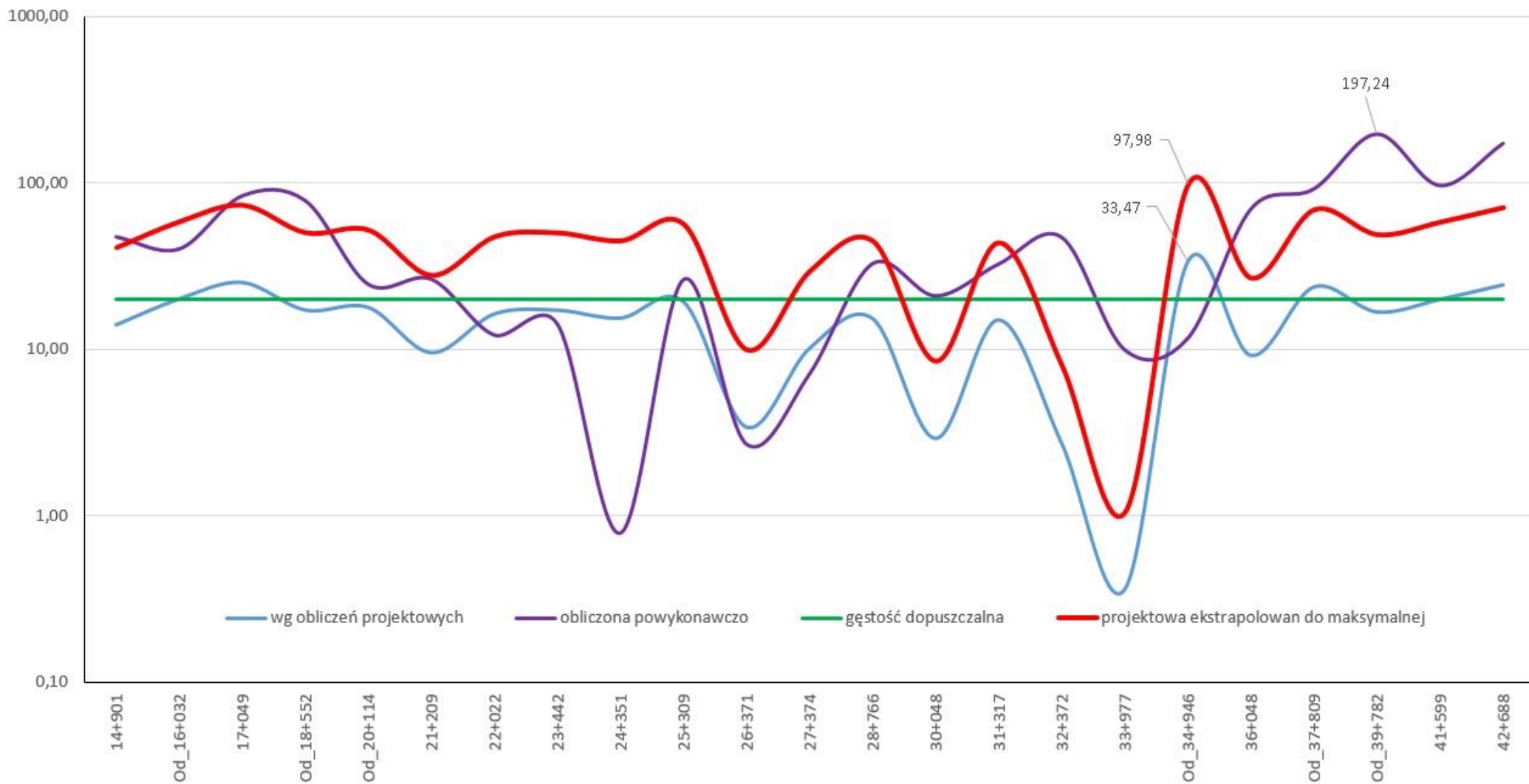
Rezystywność gruntu wzdłuż trasy gazociągu



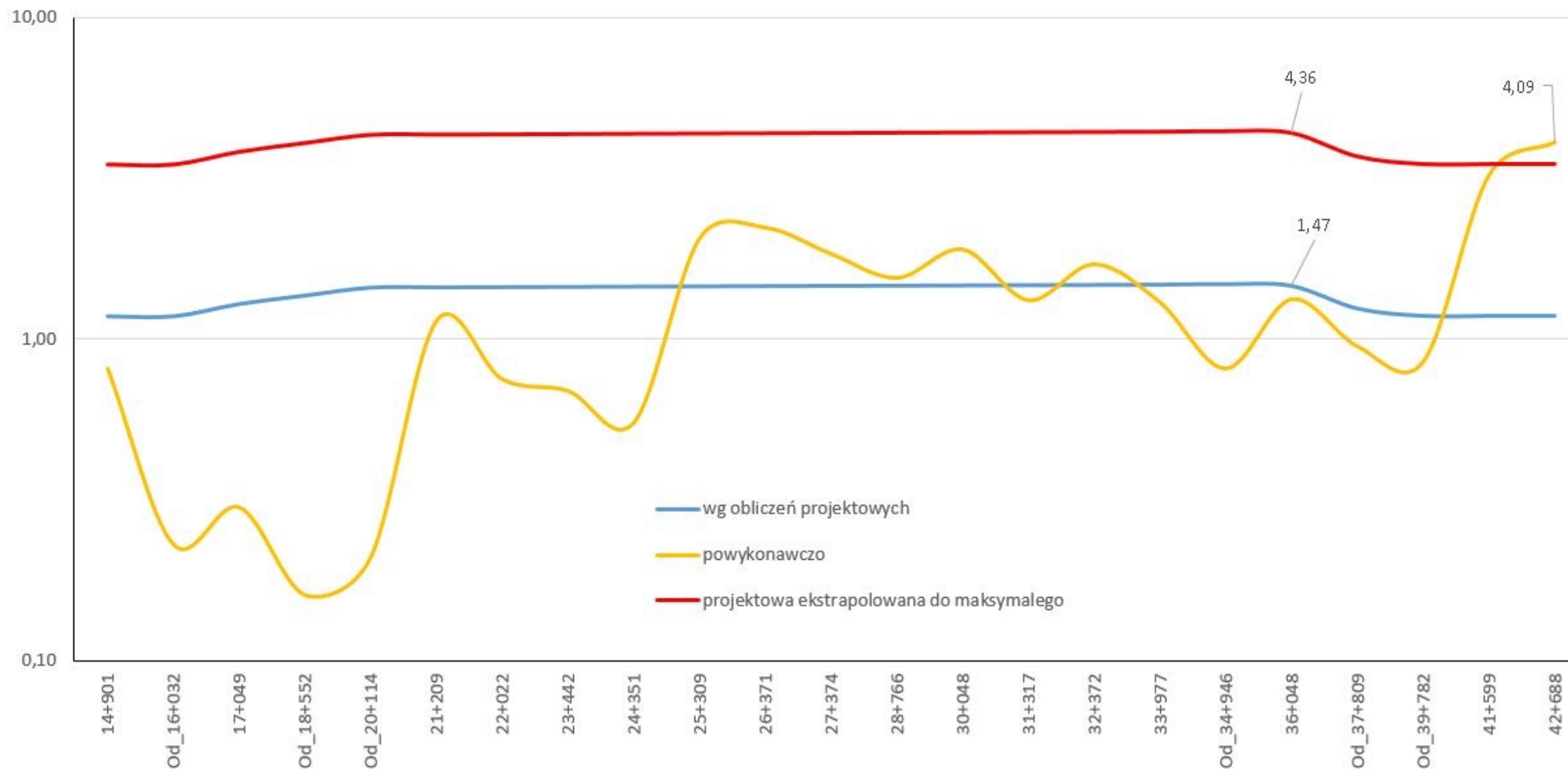
Napięcie AC wzdłuż trasy gazociągu przed załączeniem UZPP [V]



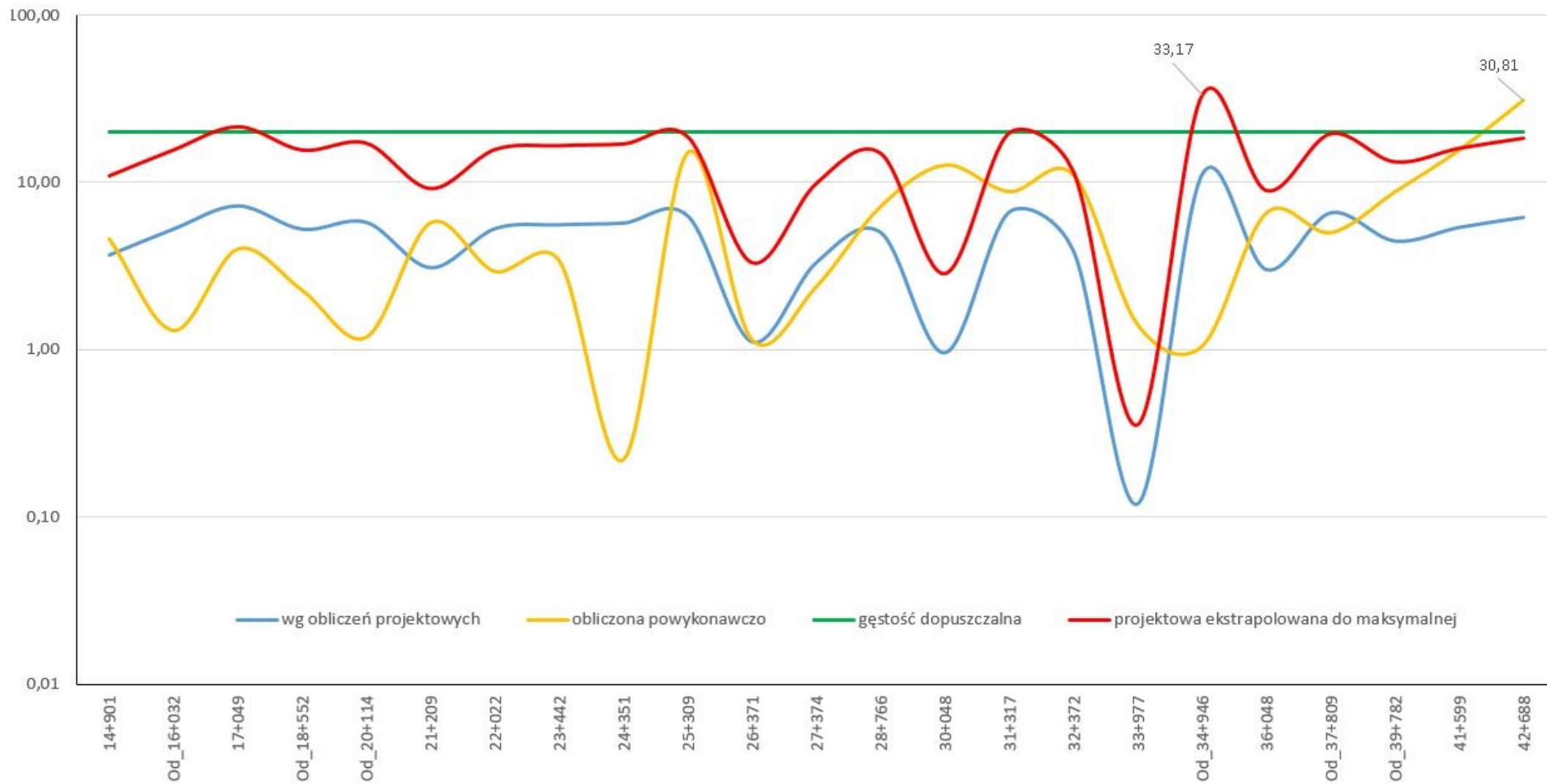
Rozkład gęstości prądu AC wzdłuż trasy gazociągu przed załączeniem UZPP [A/m²]



Napięcie AC wzdłuż trasy gazociągu po załączeniu UZPP [V]



Rozkład gęstości prądu AC wzdłuż trasy gazociągu po załączeniu UZPP [A/m²]



Wnioski:

1. Rozkłady napięcia przemiennego wzdłuż trasy gazociągu projektowe (obliczone) i powykonawcze są w dużym stopniu zbieżne.
2. Rezystywność gruntu może ulec zmianie wskutek jego wymieszania przy pracach wykopowych i zasypach rurociągów
3. Metodyka obliczania rozkładu napięcia przemiennego wzdłuż trasy gazociągu oparta na jego modelu uproszczonym, opisana w referacie, daje wystarczająco dokładne wyniki dla doboru zabezpieczeń przed korozją AC



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Roman Serwiński