

Wojciech A. SOKOLIK, Agnieszka KLIMAS, Marcin SOBEK

Zircon Poland Sp. z o.o.

Optymalizacja strat w przesyłach i dystrybucji energii elektrycznej za pomocą niskostratnych kabli i przewodów

Wstęp

W „Polityce energetycznej Polski do roku 2030” określonych zostało sześć podstawowych kierunków działań. Jednym z nich jest poprawa efektywności energetycznej. W dniu 4 marca 2011 r. Sejm uchwalił, a w dniu 29 kwietnia 2011 r. Prezydent podpisał „Ustawę o efektywności energetycznej”, która ma poprawić efektywność energetyczną oraz promować innowacyjne technologie, które zmniejszają szkodliwe oddziaływanie sektora energetycznego na środowisko. Najważniejsze cele ustawy o efektywności energetycznej to podwyższenie sprawności wytwarzania, ograniczenie strat w przesyłach i dystrybucji oraz zmniejszenie zużycia energii. Oprócz obecnego proekologicznego nastawienia naszych działań, wynika to z nałożonego przez UE wymogu redukcji emisji CO₂ o 9% do 2016 roku oraz o 20% do 2020 roku, która wg najnowszych planów Unii Europejskiej może być niewystarczająca.

W tym kontekście zmuszeni jesteśmy do podjęcia zdecydowanych działań zmierzających do poprawy obecnej sytuacji zarówno, jeżeli chodzi o zwiększenie obciążalności prądowej jak i zwiększenia efektywności energetycznej istniejących, i nowobudowanych linii napowietrznych.

Jednym ze sposobów poprawy efektywności energetycznej w modernizowanych i nowobudowanych liniach jest zastosowanie energetycznie efektywnych technologii takich jak przewody i kable niskostratne. Z ekologicznego punktu widzenia oznacza to zmniejszenie ilości spalanej w elektrowniach paliwa, redukcję emisji gazów cieplarnianych i ochronę środowiska naturalnego.

Budując nowe linie napowietrzne dotychczas korzystano w olbrzymiej większości z tradycyjnych niezmiennych od ponad 100 lat przewodów AFL zbudowanych z rdzenia z ocynkowanego drutu stalowego i opłotu z okrągłych drutów aluminiowych. Najwyższy czas, w kontekście nowych wyzwań, zacząć stosować bardziej energetycznie efektywne technologie i mamy już pierwsze działania operatora polskiego systemu przesyłowego, który w dniu 31.12.2013 r. opublikował nowy standard dla przewodów, w których zastosowano zewnętrzną warstwę drutów trapezoidalnych, a dwie pozostałe okrągłych. Mamy nadzieję, że jest to pierwszy krok w kierunku zastosowania najbardziej efektywnych energetycznie przewodów ACSR/TW ze wszystkimi warstwami drutów trapezoidalnych. Również Energa Operator S.A. wprowadziła już nowe, niskostratne standardy dla przewodów napowietrznych w swoich sieciach wysokich napięć.

W referacie przedstawiono najbardziej atrakcyjne z punktu widzenia ograniczenia emisji CO₂ przewody niskostratne ACCC[®], ACSS/TW, AFLs i ACSR/TW oraz nową konstrukcję kabli średnich napięć o obniżonych stratach, oznaczonych przez nas jako XRUHAKSe. Jako światową nowość przedstawiono przewody ACSS/TW o małych średnicach, które z jednej strony są niskostratne, a z drugiej strony należą do rodziny przewodów HTLS o małych zwisach, umożliwiając znaczne zwiększenie obciążalności prądowej napowietrznych linii średnich napięć.

Z wielu tabel, w których zawarte jest porównanie typowych konstrukcji przewodów niskostratnych z przewodami AFL wynika, że rezystancja przewodów niskostratnych jest znacznie mniejsza od rezystancji tradycyjnych przewodów AFL. Oznacza to, że ich zastosowanie w modernizowanych i nowobudowanych liniach spowoduje zdecydowanie mniejsze straty oraz ograniczenie emisji CO₂ związanej ze stratami. Dla przykładowych linii porównano wartość strat oraz emisji CO₂ przy zastosowaniu tradycyjnych przewodów AFL oraz alternatywnych niskostratnych przewodów.

1. Porównanie konstrukcji przewodów niskostratnych

Konstrukcja niskostratnych przewodów: ACCC[®], ACSS/TW, AFLs i ACSR/TW jest bardzo podobna. Przewody te zbudowane są z segmentowych drutów aluminiowych skręconych wokół rdzenia z kompozytu węglowo-szklanego albo stalowego. W przypadku AFLs i ACSR/TW segmentowe druty aluminiowe są w stanie twardym i dlatego dopuszczalna temperatura pracy dla tych przewodów wynosi 80°C, dwa pozostałe przewody mają druty aluminiowe w stanie wyżarzonym i dlatego ich dopuszczalna temperatura pracy wynosi dla ACCC[®] 180°C, a dla ACSS/TW 200°C lub 250°C, w zależności od rodzaju pokrycia drutów stalowych w rdzeniu. W Tabelach 1 - 8 pokazano porównanie konstrukcji przewodów AFL i alternatywnych konstrukcji przewodów niskostratnych.

Tabela 1. Porównanie przewodów ACSS/TW, ACSR/TW z AFL-6 70

Typ przewodu		AFL-6 70	ACSR/TW 78	ACSS/TW 100
		66-AL1/ 11-ST1A	78-A1F/ 9-UHST	78-AL0F/ 9-UHST
Przekrój znamionowy części AL	[mm ²]	70	78	78
Przekrój obliczeniowy przewodu	Aluminium	66,3	78,5	78,5
	Stal / Kompozyt	11,0	9,3	9,3
	Razem	77,3	87,8	87,8
Średnica zewnętrzna	[mm]	11,3	11,0	11,0
Obliczeniowa masa aluminium	[kg/km]	183	215	215
Obliczeniowa masa przewodu	[kg/km]	271	290	288

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Różnica masy w stosunku do AFL-6 120	[%]	-	6,8%	6,2%
Obliczeniowa siła zrywająca przewód	[kN]	23,0	27,2	22,8
Rezystancja obliczeniowa 1 km przewodu w 20°C	[Ω/km]	0,4400	0,3588	0,3483
Różnica rezystancji w stosunku do AFL-6 120	[%]	-	-18%	-21%

Uwaga: Rezystancja obliczeniowa przewodów ACSR/TW i ACSS/TW opiera się na rezystancji części przewodzącej AL oraz rdzenia stalowego

Tabela 2. Porównanie przewodów ACSS/TW, ACSR/TW z AFL-6 95

Typ przewodu		[mm ²]	AFL-6 95	ACSR/TW 106	ACSS/TW 120
			90-AL1/15-ST1A	106-A1F/13-UHST	106-AL0F/13-UHST
Przekrój znamionowy części AL		[mm ²]	95	106	106
Przekrój obliczeniowy przewodu	Aluminium	[mm ²]	90,1	106,4	106,4
	Stal / Kompozyt	[mm ²]	15,0	13,4	13,4
	Razem	[mm ²]	105,0	119,8	119,8
Średnica zewnętrzna		[mm]	13,4	12,8	12,8
Obliczeniowa masa aluminium		[kg/km]	248	292	292
Obliczeniowa masa przewodu		[kg/km]	372	398	397
Różnica masy w stosunku do AFL-6 95		[%]	-	7,0%	6,6%
Obliczeniowa siła zrywająca przewód		[kN]	32,6	37,8	32,4
Rezystancja obliczeniowa 1 km przewodu w 20°C		[Ω/km]	0,3251	0,2650	0,2567
Różnica rezystancji w stosunku do AFL-6 95		[%]	-	-18%	-21%

Uwaga: Rezystancja obliczeniowa przewodów ACSR/TW i ACSS/TW opiera się na rezystancji części przewodzącej AL oraz rdzenia stalowego

Tabela 3. Porównanie przewodów ACCC[®], ACSS/TW, AFLs, ACSR/TW z AFL-6 120

Typ przewodu		AFL-6 120	AFLs-10 160	ACSR/TW 169	ACSS/T W Ostrich	ACCC [®] Helsinki	
		123-AL1/ 21-ST1A	161-A1F/ 16-ST1A	169-A1F/ 14-UHST	152- ALOF/ 25-UHST	-	
Przekrój znamionowy części AL	[mm ²]	120	160	169	152	151	
Przekrój obliczeniowy przewodu	Aluminium	[mm ²]	122,6	161,2	169,0	152,0	150,6
	Stal / Kompozyt	[mm ²]	20,9	15,8	15,0	25,0	28,0
	Razem	[mm ²]	143,5	177,0	184,0	177,0	178,6
Średnica zewnętrzna	[mm]	15,65	15,6	16,0	15,76	15,65	
Obliczeniowa masa aluminium	[kg/km]	338	444	466	420	417	
Obliczeniowa masa przewodu	[kg/km]	510	574	587	613	471	
Różnica masy w stosunku do AFL-6 120	[%]	-	13%	15%	20%	-8%	
Obliczeniowa siła zrywająca przewód	[kN]	44,5	45,8	50,7	56,9	68,9	
Rezystancja obliczeniowa 1 km przewodu w 20°C	[Ω/km]	0,2388	0,1816	0,1685	0,1808	0,1862	
Różnica rezystancji w stosunku do AFL-6 120	[%]	-	-24%	-29%	-24%	-22%	

Uwaga: Rezystancja obliczeniowa przewodów ACSR/TW i ACSS/TW opiera się na rezystancji części przewodzącej AL oraz rdzenia stalowego

Tabela 4. Porównanie przewodów ACCC[®], ACSS/TW, AFLs z AFL-6 185

Typ przewodu		AFL-6 185	AFLs-10 240	ACSR/TW 245	ACSS/TW Flicker	ACCC [®] Gdansk	
		184-AL1/ 32-ST1A	237-A1F/ 24-ST1A	245-A1F/ 22-UHST	242-A1F/ 31-UHST	-	
Przekrój znamionowy części AL	[mm ²]	185	240	245	242	249	
Przekrój obliczeniowy przewodu	Aluminium	[mm ²]	183,8	237,3	245,0	242,0	248,8
	Stal / Kompozyt	[mm ²]	31,7	24,2	22,0	31,0	28,0
	Razem	[mm ²]	215,5	261,5	267,0	273,0	276,8
Średnica zewnętrzna	[mm]	19,2	19,1	19,25	19,7	19,2	
Obliczeniowa masa aluminium	[kg/km]	506	653	675	667	689	

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Obliczeniowa masa przewodu	[kg/km]	765	851	851	911	743
Różnica masy w stosunku do AFL-6 185	[%]	-	11,2%	11,3%	19%	-3%
Obliczeniowa siła zrywająca przewód stal	[kN]	65,7	67,4	73,3	74,3	74,5
Rezystancja obliczeniowa 1 km przewodu w 20°C	[Ω/km]	0,1593	0,1234	0,1162	0,1138	0,1126
Różnica rezystancji w stosunku do AFL-6 185	[%]	-	-23%	-27%	-28,6%	-29,3%

Uwaga: Rezystancja obliczeniowa przewodów ACSR/TW i ACSS/TW opiera się na rezystancji części przewodzącej AL oraz rdzenia stalowego

Tabela 5. Porównanie przewodów ACCC[®], ACSS/TW, AFLs z AFL-6 240

Typ przewodu		AFL-6 240	AFLs-10 300	ACSR/T W 310	ACSS/TW 313	ACCC [®] Lisbon	
		236-AL1/40-ST1A	300-A1F/32-ST1A	311-A1F/32-UHST	313-A1F/32-UHST	-	
Przekrój znamionowy części AL	[mm ²]	236	300	311	313	316	
Przekrój obliczeniowy przewodu	Aluminium	[mm ²]	236,1	299,8	310,6	312,6	315,5
	Stal / Kompozyt	[mm ²]	40,1	31,7	31,7	31,7	39,7
	Razem	[mm ²]	276,1	331,4	342,3	344,3	355,2
Średnica zewnętrzna	[mm]	21,7	21,7	21,7	21,7	21,8	
Obliczeniowa masa aluminium	[kg/km]	650	826	856	862	872	
Obliczeniowa masa przewodu	[kg/km]	977	1077	1112	1110	948	
Różnica masy w stosunku do AFL-6 240	[%]	-	10%	13,8%	13,6%	-3%	
Obliczeniowa siła zrywająca przewód	[kN]	82,8	86,0	98,8	78,2	103,5	
Rezystancja obliczeniowa 1 km przewodu w 20°C	[Ω/km]	0,1240	0,0976	0,0928	0,0884	0,0887	
Różnica rezystancji w stosunku do AFL-6 240	[%]	-	-21%	-25%	-28,7%	-28,5%	

Uwaga: Rezystancja obliczeniowa przewodów ACSR/TW i ACSS/TW opiera się na rezystancji części przewodzącej AL oraz rdzenia stalowego

Tabela 6. Porównanie przewodów ACCC[®], ACSS/TW, AFLs, ACSR/TW z AFL-8 350

Typ przewodu		AFL-8 350	ACSR/T W 408	ACSR/T W 453	ACSS/T W 448	ACCC [®] Stockholm	
		357-AL1/46-ST1A	408-L1F/34-UHST	453-A1F/37-UHST	448-L0F/49-UHST	-	
Przekrój znamionowy części AL	[mm ²]	350	409	453	448	454	
Przekrój obliczeniowy przewodu	Aluminium	[mm ²]	356,7	408,5	453,0	448,0	453,7
	Stal / Kompozyt	[mm ²]	46,2	34,1	37,2	49,5	60,3
	Razem	[mm ²]	402,9	442,6	490,2	497,5	514,0
Średnica zewnętrzna	[mm]	26,1	26,1	26,1	26,1	26,4	
Obliczeniowa masa aluminium	[kg/km]	982	1132	1249	1235	1270	
Obliczeniowa masa przewodu	[kg/km]	1359	1404	1543	1622	1368	
Różnica masy w stosunku do AFL-8 350	[%]	-	3%	14%	19%	1%	
Obliczeniowa siła zrywająca przewód	[kN]	110,3	119,2	130,1	120,9	155,7	
Rezystancja obliczeniowa 1 km przewodu w 20°C	[Ω/km]	0,0821	0,0709	0,0629	0,0614	0,0617	
Różnica rezystancji w stosunku do AFL-8 350	[%]	-	-14%	-23%	-25,2%	-24,8%	

Uwaga: Rezystancja obliczeniowa przewodów ACSR/TW i ACSS/TW opiera się na rezystancji części przewodzącej AL oraz rdzenia stalowego

Tabela 7. Porównanie przewodów ACCC[®], ACSS/TW, AFLs z AFL-8 400

Typ przewodu		AFL-8 400	AFLs-10 525	ACSR/T W 506	ACSS/T W 514	ACCC [®] Dublin	
		408-AL1/53-ST1A	509-A1F/50-ST1A	506-A1F/52-UHST	514-L0F/54-UHST	-	
Przekrój znamionowy części AL	[mm ²]	400	525	506	514	525	
Przekrój obliczeniowy przewodu	Aluminium	[mm ²]	407,6	508,8	505,5	514,0	524,5
	Stal / Kompozyt	[mm ²]	52,8	49,8	52,8	54,6	71,3
	Razem	[mm ²]	460,4	558,6	558,3	568,6	595,8
Średnica zewnętrzna	[mm]	27,9	27,8	27,9	27,9	28,1	

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Obliczeniowa masa aluminium	[kg/km]	1123	1401	1394	1417	1451
Obliczeniowa masa przewodu	[kg/km]	1554	1805	1811	1843	1583
Różnica masy w stosunku do AFL-8 400	[%]	-	16%	17%	19%	2%
Obliczeniowa siła zrywająca przewód	[kN]	124,6	142,4	160,9	132,3	183,3
Rezystancja obliczeniowa 1 km przewodu w 20°C	[Ω/km]	0,0718	0,0575	0,0562	0,0536	0,0534
Różnica rezystancji w stosunku do AFL-8 400	[%]	-	-20%	-22%	-25%	-26%

Uwaga: Rezystancja obliczeniowa przewodów ACSR/TW i ACSS/TW opiera się na rezystancji części przewodzącej AL oraz rdzenia stalowego

Tabela 8. Porównanie przewodów ACCC[®], ACSS/TW, AFLs z AFL-8 525

Typ przewodu		AFL-8 525	ACSR/TW 653	ACSS/TW Yukon	ACCC [®] Budapest	
		520-AL1/67-ST1A	653-A1F/59-UHST	625-A0F/80-UHST	-	
Przekrój znamionowy części AL	[mm ²]	525	653	625	668	
Przekrój obliczeniowy przewodu	Aluminium	[mm ²]	519,5	653,0	625	668,3
	Stal / Kompozyt	[mm ²]	67,4	59,9	80	71,3
	Razem	[mm ²]	586,9	712,9	705	739,6
Średnica zewnętrzna	[mm]	31,5	31,5	31,5	31,5	
Obliczeniowa masa aluminium	[kg/km]	1431	1800	1733	1851,9	
Obliczeniowa masa przewodu	[kg/km]	1979	2272	2357	1983,9	
Różnica masy w stosunku do AFL-8 525	[%]	-	15%	19%	0,2%	
Obliczeniowa siła zrywająca przewód stal	[kN]	158,28	195,2	189,0	191,4	
Rezystancja obliczeniowa 1 km przewodu w 20°C	[Ω/km]	0,0564	0,0436	0,0443	0,0420	
Różnica rezystancji w stosunku do AFL-8 525	[%]	-	-23%	-21%	-26%	

Uwaga: Rezystancja obliczeniowa przewodów ACSR/TW i ACSS/TW opiera się na rezystancji części przewodzącej AL oraz rdzenia stalowego

Jak widać w powyższych tabelach, rezystancja przewodów AFLs, ACSR/TW, ACSS/TW i ACCC[®] jest znacznie niższa od rezystancji tradycyjnych przewodów AFL. Oznacza to, że ich zastosowanie w modernizowanych i nowobudowanych liniach spowoduje zdecydowanie mniejsze straty oraz ograniczenie emisji CO₂ związanej ze stratami. Jednak niskostratne przewody AFLs, ACSR/TW i ACSS/TW mają bardzo dużą masę, co uniemożliwia ich zastosowanie w modernizowanych liniach, w których, aby uniknąć konieczności całkowitej przebudowy linii, trzeba stosować przewody o mniejszej od AFL średnicy, co jednak zmniejsza ilość aluminium i zwiększa straty. Jedynie przewody ACCC[®] przy identycznej lub mniejszej od AFL średnicy mają od nich mniejszą masę, co czyni ten przewód optymalnym rozwiązaniem przy modernizacji linii nie tylko, jeżeli chodzi o obniżenie strat, ale również ze względu na brak konieczności wymiany lub/i podwyższania słupów, dzięki mniejszej od AFL masie.

2. Ograniczenie emisji CO₂ dzięki zastosowaniu przewodów niskostratnych

Surowe wymagania ograniczenia emisji CO₂ zawarte w „Polityce energetycznej Polski do roku 2030” zmuszają spółki odpowiedzialne za przesył i dystrybucję energii do podjęcia konkretnych działań w tej dziedzinie. Jednym ze sposobów realizacji celów oszczędnościowych zawartych w tym dokumencie jest zastosowanie niskostratnych przewodów w modernizowanych i nowobudowanych liniach napowietrznych, które oprócz ograniczenia strat i emisji CO₂ umożliwiają także znaczne zwiększenie obciążalności prądowej.

W celu udowodnienia słuszności tej tezy porównano ilość strat oraz emisji CO₂, przy zastosowaniu różnych przewodów niskostratnych oraz tradycyjnych przewodów AFL dla przykładowych linii o długości 100 km. Do analizy przyjęto następujące założenia:

- koszt strat – 260 PLN/MWh

- współczynnik emisji CO₂ związany z wytworzeniem energii elektrycznej – 1 t CO₂/MWh

W Tabelach 7 - 13 przedstawiono ilość strat i emisji CO₂, a także ich koszt dla przewodów AFL oraz odpowiadających im przewodów niskostratnych.

Tabela 9. Ilość strat oraz emisji CO₂ dla przewodu AFL-6 70 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych

Typ przewodu		AFL-6 70	ACSR/TW 78	ACSS/TW 100
		66-AL1/ 11-ST1A	78-A1F/ 9-UHST	78-AL0F/ 9-UHST
Średnica zewnętrzna	[mm]	11,25	11,00	11,00
Przekrój obliczeniowy części AL	[mm ²]	66,3	78,5	78,5
Masa całkowita	[kg/km]	271,2	289,5	288,0
Rezystancja	[Ohm/km]	0,4400	0,3588	0,3483
Średnie obciążenie [A]:		200		
Liczba godzin w roku [h]:		8 760		
Koszt strat [PLN/MWh] :		260		
Długość rozpatrywanej linii średniego napięcia[km]:		100		

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Straty w linii w ww. przewodzie przy danym obciążeniu [MWh/rok]:	172	142	135
Straty energii czynnej w 1 km linii [MWh/rok/km]	541	446	426
Łączne straty energii czynnej w linii [MWh/rok]	54 126	44 648	42 566
Roczne koszty strat energii czynnej w linii [PLN/rok]	14 072 808	11 608 459	11 067 090
Różnica w ilości strat energii względem AFL-6 70 [PLN/rok]	-	-2 464 348	-3 005 717
Procentowa różnica w ilości strat energii względem AFL-6 70 [%]	-	-18%	-21%
Ilość CO ₂ generowanego na pokrycie strat [t/rok]	54 126	44 648	42 566
Różnica w ilości generowanego CO ₂ względem AFL-6 70 [t/rok]	-	-9 478	-11 560
Procentowa różnica w ilości generowanego CO ₂ względem AFL-6 70 [%]	-	-18%	-21%

Wykres 1. – Porównanie ilości emitowanego na pokrycie strat CO₂ dla przewodu AFL-6 70 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych i o obniżonych stratach

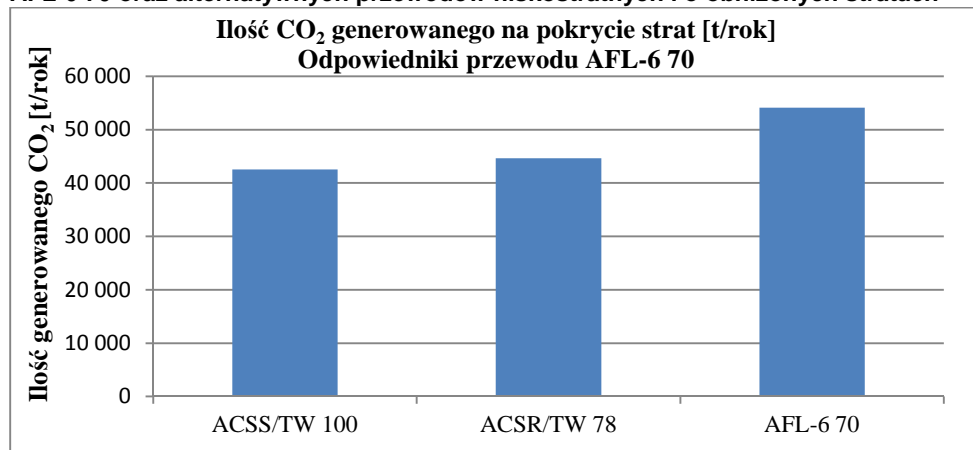


Tabela 10. Ilość strat oraz emisji CO₂ dla przewodu AFL-6 95 oraz alternatywnych przewodów niskoprężnych

Typ przewodu		AFL-6 95	ACSR/TW 106	ACSS/TW 120
		90-AL1/ 15-ST1A	106-A1F/ 13-UHST	106-AL0F/ 13-UHST
Średnica zewnętrzna	[mm]	13,35	12,80	12,80
Przekrój obliczeniowy części AL	[mm ²]	90,1	106,4	106,4
Masa całkowita	[kg/km]	372,2	398,3	396,7
Rezystancja	[Ohm/km]	0,3251	0,2650	0,2567
Średnie obciążenie [A]:		200		
Liczba godzin w roku [h]:		8 760		
Koszt strat [PLN/MWh] :		260		
Długość rozpatrywanej linii średniego napięcia[km]:		100		
Straty w linii w ww. przewodzie przy danym obciążeniu [MWh/rok]:		122	101	96
Straty energii czynnej w 1 km linii [MWh/rok/km]		384	318	302
Łączne straty energii czynnej w linii [MWh/rok]		38 412	31 819	30 242
Roczne koszty strat energii czynnej w linii [PLN/rok]		9 987 008	8 272 975	7 862 928
Różnica w ilości strat energii względem AFL-6 95 [PLN/rok]		-	-1 714 033	-2 124 080
Procentowa różnica w ilości strat energii względem AFL-6 95 [%]		-	-17%	-21%
Ilość CO ₂ generowanego na pokrycie strat [t/rok]		38 412	31 819	30 242
Różnica w ilości generowanego CO ₂ względem AFL-6 95 [t/rok]		-	-6 592	-8 170
Procentowa różnica w ilości generowanego CO ₂ względem AFL-6 95 [%]		-	-17%	-21%

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Wykres 2. – Porównanie ilości CO₂ emitowanego na pokrycie strat dla przewodu AFL-6 95 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych i o obniżonych stratach

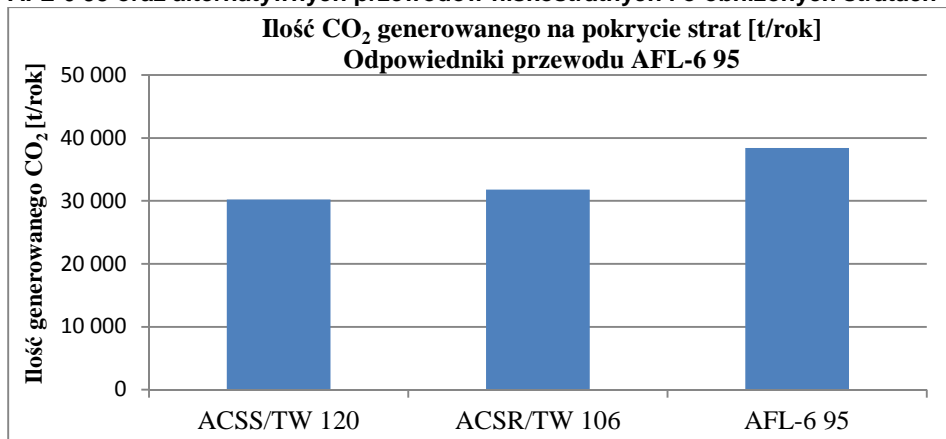


Tabela 11. Ilość strat oraz emisji CO₂ dla przewodu AFL-6 120 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych

Typ przewodu		AFL-6 120	AFLs-10 160	ACSR/TW 169	ACSS/TW Ostrich	ACCC® Helsinki
		123-AL1/ 21-ST1A	161-A1F/ 16-ST1A	169-A1F/ 14-UHST	152-AL0F/ 25-UHST	-
Średnica zewnętrzna	[mm]	15,65	15,60	16,00	15,76	15,65
Przekrój obliczeniowy części AL	[mm ²]	122,6	161,2	169,0	152,0	150,6
Masa całkowita	[kg/km]	510,0	574,0	586,9	613,0	471,2
Rezystancja	[Ohm/km]	0,2388	0,1816	0,1685	0,1808	0,1862
Średnie obciążenie [A]:		200				
Liczba godzin w roku [h]:		8 760				
Koszt strat [PLN/MWh] :		260				
Długość rozpatrywanej linii 110 kV [km]:		100				
Straty w linii w ww. przewodzie przy danym obciążeniu [MWh/rok]:		86	65	62	65	67
Straty energii czynnej w 1 km linii [MWh/rok/km]		270	205	194	205	212

Łączne straty energii czynnej w linii [MWh/rok]	27 043	20 491	19 404	20 461	21 234
Roczne koszty strat energii czynnej w linii [PLN/rok]	7 031 064	5 327 695	5 045 100	5 319 761	5 520 732
Różnica w ilości strat energii względem AFL-6 120 [PLN/rok]	-	-1 703369	-1 985964	-1 711303	-1 510332
Procentowa różnica w ilości strat energii względem AFL-6 120 [%]	-	-24,2%	-28,2%	-24,3%	-21%
Ilość CO ₂ generowanego na pokrycie strat [t/rok]	27 043	20 491	19 404	20 461	21 234
Różnica w ilości generowanego CO ₂ względem AFL-6 120 [t/rok]	-	-6 551	-7 638	-6 582	-5 809
Procentowa różnica w generowanym CO ₂ względem AFL-6 120 [%]	-	-24,2%	-28,2%	-24,3%	-21%

Wykres 3. – Porównanie ilości CO₂ emitowanego na pokrycie strat dla przewodu AFL-6 120 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych i o obniżonych stratach

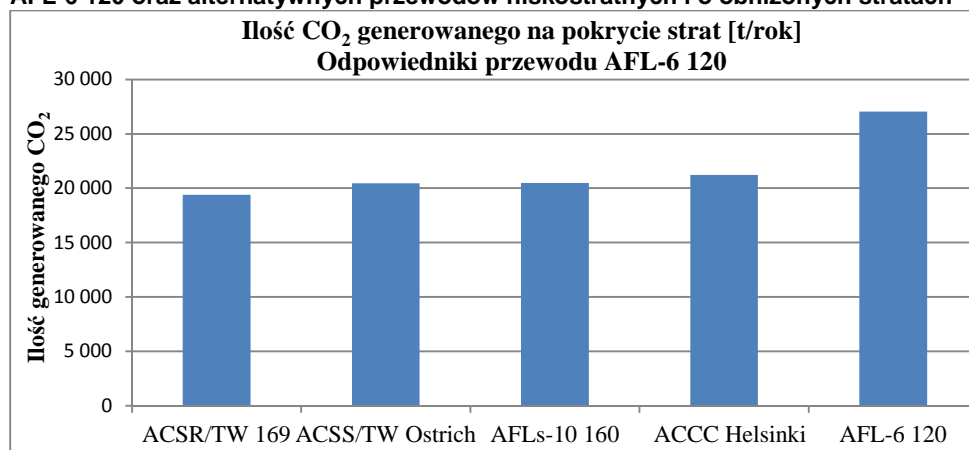


Tabela 12. Ilość strat oraz emisji CO₂ dla przewodu AFL-6 185 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych

Typ przewodu		AFL-6 185	AFLs-10 240	ACSR/TW 245	ACSS/TW Flicker	ACCC® Gdansk
		184-AL1/32-ST1A	237-A1F/24-ST1A	245-A1F/21-UHST	242-AL0F/31-UHST	-
Średnica zewnętrzna	[mm]	19,20	19,10	19,25	19,70	19,20
Przekrój obliczeniowy części AL	[mm ²]	183,8	237,3	245,0	242,0	248,8
Masa całkowita	[kg/km]	765,0	851,0	851,3	911,0	742,6
Rezystancja	[Ohm/km]	0,1593	0,1234	0,1162	0,1138	0,1126
Średnie obciążenie [A]:		200				

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Liczba godzin w roku [h]:	8 760				
Koszt strat [PLN/MWh]:	260				
Długość rozpatrywanej linii 110 kV [km]:	100				
Straty w linii w ww. przewodzie przy danym obciążeniu [MWh/rok]:	58	45	43	42	41
Straty energii czynnej w 1 km linii [MWh/rok/km]	184	140	136	132	130
Łączne straty energii czynnej w linii [MWh/rok]	18 357	14 028	13 589	13 187	12 976
Roczne koszty strat energii czynnej w linii [PLN/rok]	4 772 866	3 647 342	3 533 170	3 428 521	3 373 709
Różnica w ilości strat energii względem AFL-6 185 [PLN/rok]	-	-1 125 525	-1 239 696	-1 344 345	-1 399 157
Procentowa różnica w ilości strat energii względem AFL-6 185 [%]	-	-24%	-26%	-28%	-29%
Ilość CO₂ generowanego na pokrycie strat [t/rok]	18 357	14 028	13 589	13 187	12 976
Różnica w ilości generowanego CO₂ względem AFL-6 185 [t/rok]	-	-4 329	-4 768	-5 171	-5 381
Procentowa różnica w generowanym CO₂ względem AFL-6 185 [%]	-	-24%	-26%	-28%	-29%

Wykres 4. – Porównanie ilości CO₂ emitowanego na pokrycie strat dla przewodu AFL-6 185 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych i o obniżonych stratach

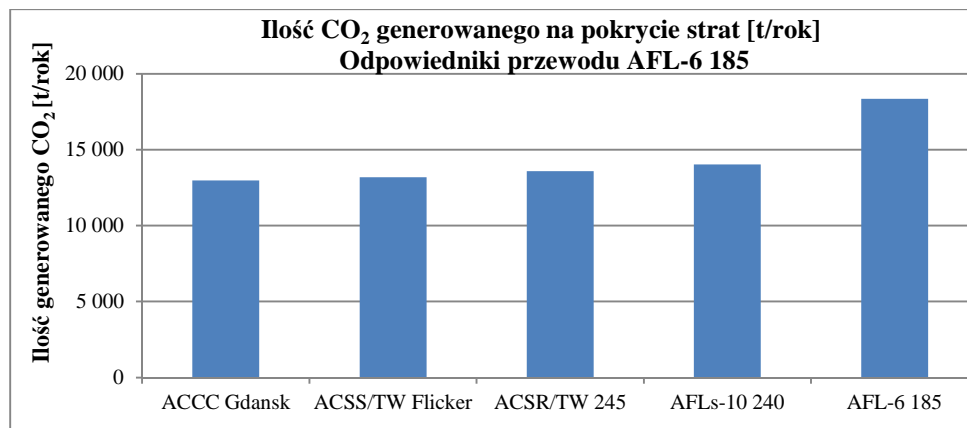


Tabela 13. Ilość strat oraz emisji CO₂ dla przewodu AFL-6 240 oraz alternatywnych przewodów niskopratnych

Typ przewodu		AFL-6 240	AFLs-10 300	ACSR/T W 310	ACSS/T W 313	ACCC® Lisbon
		236- AL1/40- ST1A	300- A1F/32- ST1A	311- A1F/32- UHST	313- AL0F/32 -UHST	-
Średnica zewnętrzna	[mm]	21,70	21,70	21,70	21,70	21,79
Przekrój obliczeniowy części AL	[mm ²]	236,1	299,8	310,6	312,6	315,5
Masa całkowita	[kg/km]	977,0	1077,3	1112,3	1109,5	947,6
Rezystancja	[Ohm/km]	0,1240	0,0976	0,0928	0,0884	0,0887
Średnie obciążenie [A]:		300				
Liczba godzin w roku [h]:		8 760				
Koszt strat [PLN/MWh] :		260				
Długość rozpatrywanej linii 110 kV [km]:		100,00				
Straty w linii w ww. przewodzie przy danym obciążeniu [MWh/rok]:		101	78	75	72	73
Straty energii czynnej w 1 km linii [MWh/rok/km]		317	247	236	228	229
Łączne straty energii czynnej w linii [MWh/rok]		31 676	24 655	23 560	22 806	22 856
Roczne koszty strat energii czynnej w linii [PLN/rok]		8 235 842	6 410 244	6 125 667	5 929 675	5 942 528
Różnica w ilości strat energii względem AFL-6 240 [PLN/rok]		-	-1 825 598	-2 110 175	-2 306 167	-2 293 314
Procentowa różnica w ilości strat energii względem AFL-6 240 [%]		-	-22%	-26%	28,0%	27,8%
Ilość CO₂ generowanego na pokrycie strat [t/rok]		31 676	24 655	23 560	22 806	22 856
Różnica w ilości generowanego CO₂ względem AFL-6 240 [t/rok]		-	-7 022	-8 116	-8 870	-8 820
Procentowa różnica w ilości generowanego CO₂ względem AFL-6 240 [%]		-	-22%	-26%	28,0%	27,8%

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Wykres 5. – Porównanie ilości CO₂ emitowanego na pokrycie strat dla przewodu AFL-6 240 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych i o obniżonych stratach

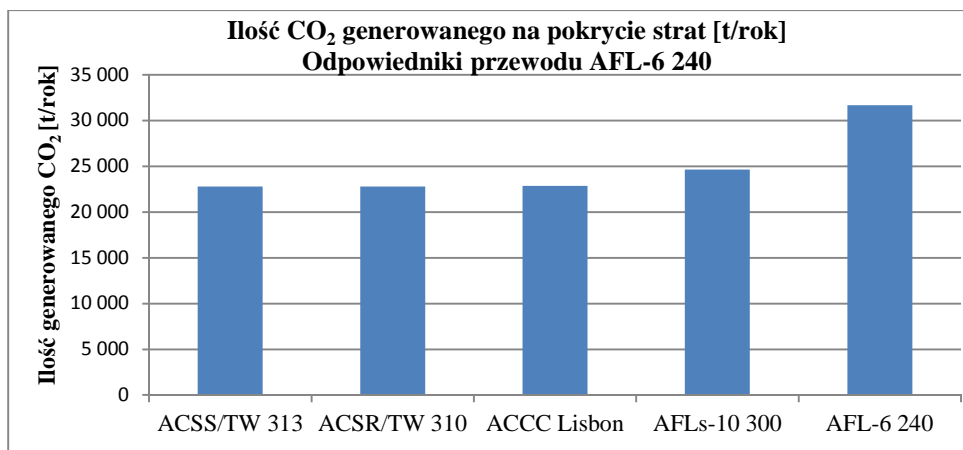


Tabela 14. Ilość strat oraz emisji CO₂ dla przewodu AFL-8 350 oraz alternatywnych przewodów niskoprężnych

Typ przewodu		AFL-8 350	ACSR/TW 408	ACSR/TW 453	ACSS/TW 448	ACCC® Stockholm
		357-AL1/ 46-ST1A	408-AL1F/ 34-UHST	453-A1F/ 37-UHST	448-AL0F/ 49-UHST	-
Średnica zewnętrzna	[mm]	26,10	26,10	26,10	26,10	26,40
Przekrój obliczeniowy części AL	[mm ²]	356,7	408,5	453,0	448,0	453,7
Masa całkowita	[kg/km]	1359,4	1404,0	1543,3	1621,8	1367,8
Rezystancja	[Ohm/km]	0,0821	0,0709	0,0629	0,0614	0,0617
Średnie obciążenie [A]:		300				
Liczba godzin w roku [h]:		8 760				
Koszt strat [PLN/MWh]:		260				
Długość rozpatrywanej linii 220 kV [km]:		100				
Straty w linii w ww. przewodzie przy danym obciążeniu [MWh/rok]:		66	57	52	51	50
Straty energii czynnej w 1 km linii [MWh/rok/km]		207	178	164	160	159
Łączne straty energii czynnej w linii [MWh/rok]		20 685	17 825	16 420	16 030	15 881
Roczne koszty strat energii czynnej w linii [PLN/rok]		5 378 216	4 634 444	4 269 186	4 167 749	4 128 991
Różnica w ilości strat energii względem AFL-8 350 [PLN/rok]		-	-743 772	-1 109 029	-1 210 466	-1 249 225
Procentowa różnica w ilości strat energii względem AFL-8 350 [%]		-	-14%	-21%	-22,5%	-23,2%
Ilość CO₂ generowanego na pokrycie strat [t/rok]		20 685	17 825	16 420	16 030	15 881
Różnica w ilości generowanego CO₂ względem AFL-8 350 [t/rok]		-	-2 861	-4 265	-4 656	-4 805
Procentowa różnica w ilości generowanego CO₂ względem AFL-8 350 [%]		-	-14%	-21%	-22,5%	-23,2%

Wykres 6. – Porównanie ilości CO₂ emitowanego na pokrycie strat dla przewodu AFL-8 350 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych i o obniżonych stratach

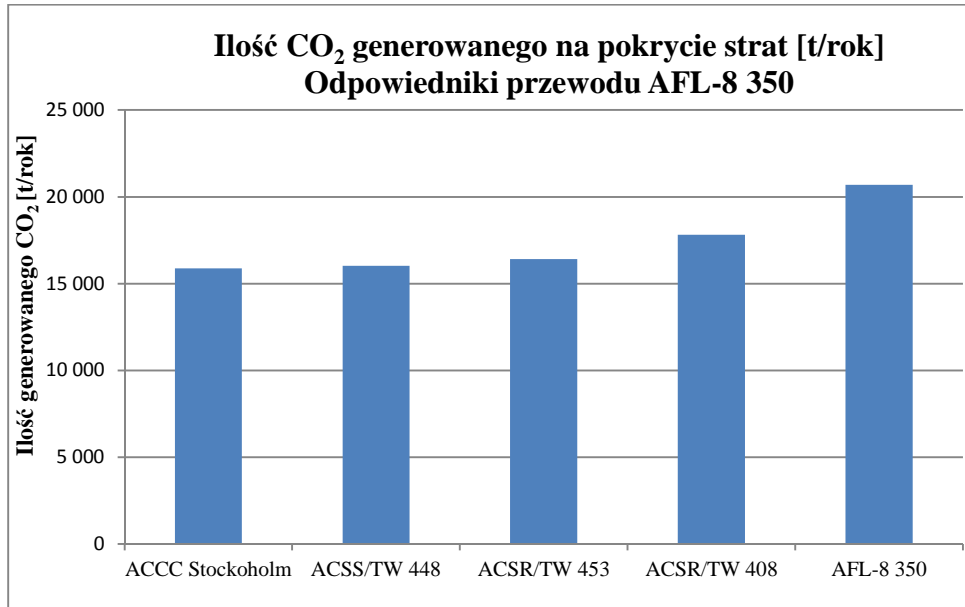


Tabela 15. Ilość strat oraz emisji CO₂ dla przewodu AFL-8 400 oraz alternatywnych przewodów niskoprężnych

Typ przewodu		AFL-8 400	AFLs-10 525	ACSR/TW 506	ACSS/TW 514	ACCC® Dublin
		408-AL1/ 53-ST1A	509-A1F/ 50-ST1A	506-A1F/ 52-UHST	514-AL0F/ 54-UHST	-
Średnica zewnętrzna	[mm]	27,90	27,80	27,90	27,90	28,14
Przekrój obliczeniowy części AL	[mm ²]	407,6	508,8	505,5	514,0	524,5
Masa całkowita	[kg/km]	1554,0	1805,0	1810,5	1843,4	1583,0
Rezystancja	[Ohm/km]	0,0718	0,0575	0,0562	0,0535	0,0534
Średnie obciążenie [A]:		300				
Liczba godzin w roku [h]:		8 760				
Koszt strat [PLN/MWh] :		260				
Długość rozpatrywanej linii 220 kV [km]:		100				
Straty w linii w ww. przewodzie przy danym obciążeniu [MWh/rok]:		57	46	47	45	44
Straty energii czynnej w 1 km linii [MWh/rok/km]		180	144	147	140	138
Łączne straty energii czynnej w linii [MWh/rok]		18 043	14 393	14 720	14 030	13 765
Roczne koszty strat energii czynnej w linii [PLN/rok]		4 691 232	3 742 190	3 827 319	3 647 923	3 579 010
Różnica w ilości strat energii względem AFL-8 400 [PLN/rok]		-	-949 042	-863 913	-1 043 309	-1 112 222
Procentowa różnica w ilości strat energii względem AFL-8 400 [%]		-	-20%	-18%	-22%	-24%
Ilość CO₂ generowanego na pokrycie strat [t/rok]		18 043	14 393	14 720	14 030	13 765
Różnica w ilości generowanego CO₂ względem AFL-8 400 [t/rok]		-	-3 650	-3 323	-4 013	-4 278
Procentowa różnica w ilości generowanego CO₂ względem AFL-8 400 [%]		-	-20%	-18%	-22%	-24%

Wykres 7. – Porównanie ilości CO₂ emitowanego na pokrycie strat dla przewodu AFL-8 400 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych i o obniżonych stratach

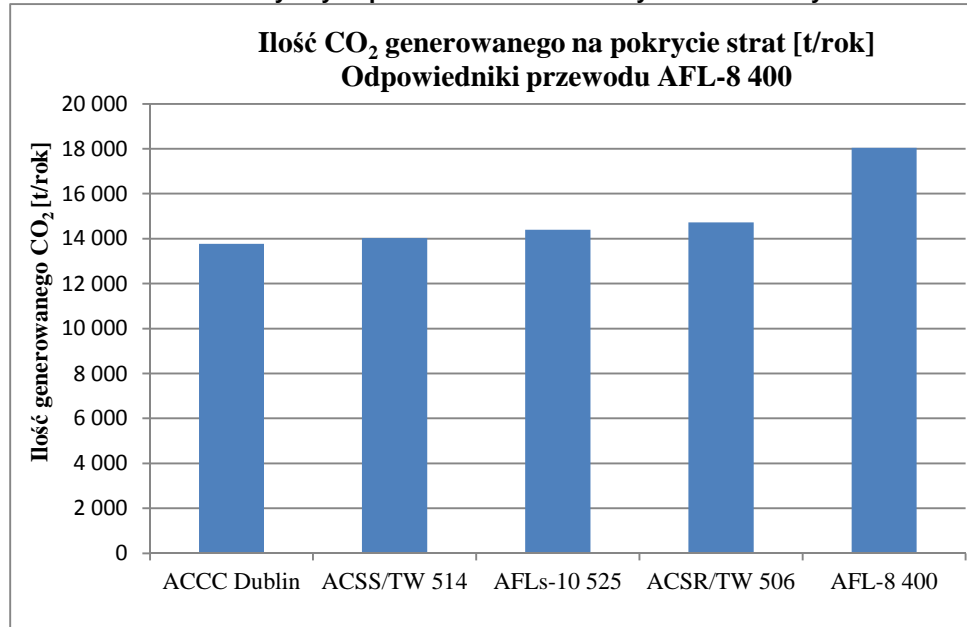
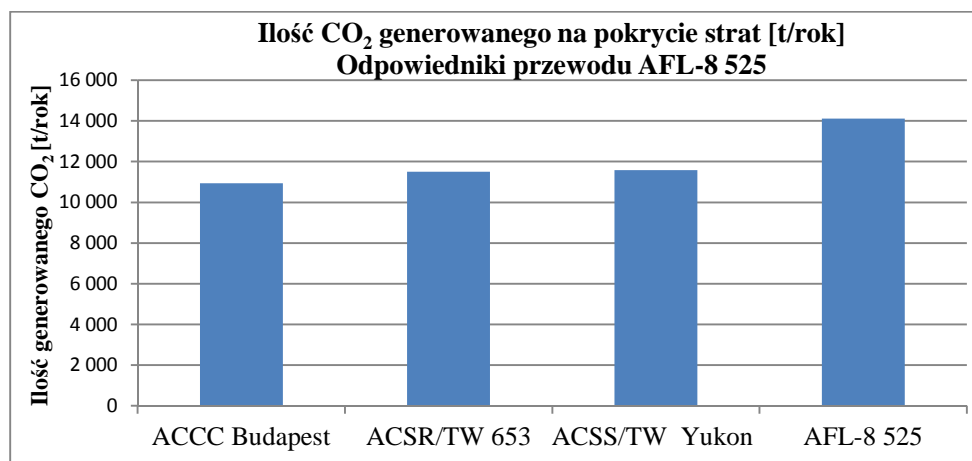


Tabela 16. Ilość strat oraz emisji CO₂ dla przewodu AFL-8 525 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych

Typ przewodu		AFL-8 525	ACSR/TW 653	ACSS/TW Yukon	ACCC® Budapest
		520-AL1/ 67-ST1A	653-A1F/ 59-UHST	625-A0F/ 80-UHST	-
Średnica zewnętrzna	[mm]	31,50	31,50	31,50	31,50
Przekrój obliczeniowy części AL	[mm ²]	519,5	653,0	625,0	668,3
Masa całkowita	[kg/km]	1979,0	2272,2	2357,0	1983,9
Rezystancja	[Ohm/km]	0,0564	0,0436	0,0443	0,0420
Średnie obciążenie [A]:		300			
Liczba godzin w roku [h]:		8 760			
Koszt strat [PLN/MWh] :		260			
Długość rozpatrywanej linii 220 kV [km]:		100			
Straty w linii w ww. przewodzie przy danym obciążeniu [MWh/rok]:		45	37	37	35
Straty energii czynnej w 1 km linii [MWh/rok/km]		141	115	116	109
Łączne straty energii czynnej w linii [MWh/rok]		14 118	11 498	11 583	10 931

Roczne koszty strat energii czynnej w linii [PLN/rok]	3 670 600	2 989 436	3 011 672	2 842 150
Różnica w ilości strat energii względem AFL-8 525 [PLN/rok]	-	-681 164	-658 928	-828 450
Procentowa różnica w ilości strat energii względem AFL-8 525 [%]	-	-19%	-18%	-23%
Ilość CO ₂ generowanego na pokrycie strat [t/rok]	14 118	11 498	11 583	10 931
Różnica w ilości generowanego CO ₂ względem AFL-8 525 [t/rok]	-	-2 620	-2 534	-3 186
Procentowa różnica w ilości generowanego CO ₂ względem AFL-8 525 [%]	-	-19%	-18%	-23%

Wykres 8. – Porównanie ilości CO₂ emitowanego na pokrycie strat dla przewodu AFL-8 525 oraz alternatywnych przewodów niskostratnych i o obniżonych stratach



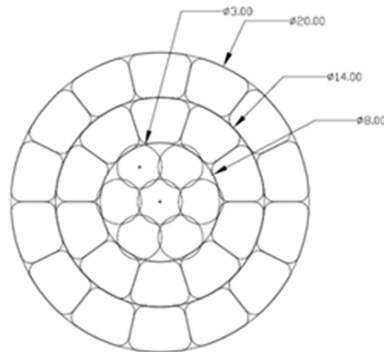
Z powyższych porównań wynika, że powszechne zastosowanie przewodów niskostratnych w nowobudowanych i modernizowanych napowietrznych liniach energetycznych pozwoli na zaoszczędzenie dużej ilości traconej energii, a zatem przyczyni się do znacznej redukcji emisji CO₂. Dodatkową zaletą instalacji niskostratnych przewodów o małym zwisie będzie także zwiększenie przepustowości linii, co zapewni najlepszą efektywność energetyczną.

Zastosowanie przewodów ACSR/TW, AFLs oraz ACSS/TW pozwoli na spore oszczędności strat oraz emisji CO₂, jednak przy rozważaniu ich instalacji na istniejących liniach należy wziąć pod uwagę ewentualną ingerencję w konstrukcje wsporcze oraz koszty z tym związane, czego nie wymagają najbardziej niskostratne przewody ACCC®.

3. Niskostratne kable średnich napięć

Niskostratne kable stosowane są od wielu lat na poziomie napięć niskich i średnich, ponieważ od dawna są stosowane żyły z litego aluminium okrągłego lub sektorowego, które z punktu widzenia wysokości strat są najbardziej optymalnymi rozwiązaniami. Jednak większość żył stosowanych w elektroenergetycznych kablach niskich i średnich napięć ma konstrukcję wielodrutową.

Poziom strat w kablach z żyłami wielodrutowymi zależy od rezystywności materiału żyły (dlatego je się wyżarza) i od stopnia ich zagęszczenia tzn. jak największej ilości materiału przewodzącego znajdującego się w danej średnicy. Zagęszczanie żył wykonuje się poprzez przeciągnięcie ich przez specjalne ciągnadła lub za pomocą walcowania. Wadą tych metod jest to, że chociaż zewnętrzne warstwy mają wysoki stopień sprasowania, to wewnętrzne warstwy drutów mają kształt zbliżony do okrągłego. Znacznie większy współczynnik wypełnienia (ok. 97%) materiałem przewodzącym w kablach z wielodrutowymi okrągłymi żyłami aluminium można uzyskać poprzez zastosowanie drutów trapezoidalnych, co umożliwia obniżenie rezystancji kabli o ok. 9%. Stosując aluminium o większej przewodności 62,5% IACS można osiągnąć o około 1% mniejszą rezystancję w stosunku do tradycyjnych kabli, w których stosuje się aluminium o przewodności 61,8% IACS.



Przekrój żyły (aluminium) [mm ²]	Rezystancja DC standardowego kabla w 20°C [Ohm/km]	Rezystancja DC niskostratnego kabla w 20°C [Ohm/km]
95	0,320	0,288
120	0,253	0,228
150	0,206	0,185
185	0,164	0,148
240	0,125	0,113
300	0,100	0,090
400	0,078	0,070

4. Podsumowanie

Poprawa efektywności energetycznej, a co za tym idzie znaczne ograniczenie emisji CO₂, jest jednym z głównych priorytetów UE w celu zmniejszenia negatywnego oddziaływania sektora energetycznego na środowisko. Z opublikowanego w grudniu 2011 roku „Planu działań w zakresie energii do roku 2050” wynika, że ograniczenie emisji CO₂ o 20% do 2020 roku może być niewystarczające i wobec tego Komisja Europejska zaleca podjęcie zdecydowanych działań inwestycyjnych w celu zastąpienia infrastruktury energetycznej oddanej do użytku 30-40 lat temu na nową prowadzącą do jeszcze większego zmniejszenia emisji CO₂.

Budując nowe linie napowietrzne dotychczas korzystano w olbrzymiej większości z tradycyjnych przewodów AFL zbudowanych z rdzenia z ocynkowanymi drutów stalowych i oplotu z okrągłych drutów aluminiowych. Najwyższy czas, w świetle nowych wyzwań, zacząć stosować bardziej energetycznie efektywne technologie. Na przykład, zastosowanie w nowobudowanej linii, zamiast tradycyjnego przewodu AFL-8 350, przewodów z drutami trapezoidalnymi, pozwoli obniżyć rezystancję, a tym samym straty mocy czynnej ok. 22-24% i w tym samym stopniu obniżyć emisję CO₂ generowanego na pokrycie strat.

Idąc dalej, poprzez zastosowanie przewodu o małym zwisie ACSS/TW z aluminiowymi drutami trapezoidalnymi w stanie miękkim wyżarzonym i z rdzeniem z drutów stalowych pokrytych aluminium lub przewodu ACCC[®] z aluminiowymi drutami trapezoidalnymi w stanie miękkim wyżarzonym, i z rdzeniem kompozytowym, możemy nie tylko obniżyć straty o ok. 25% w stosunku do strat w linii z przewodami AFL-8 350, ale również zwiększyć ok. dwukrotnie obciążalność prądową nowobudowanej linii, zapewniając większą elastyczność pracy systemu, co zapewnia bardziej ekonomiczne wykorzystanie środków finansowych przeznaczonych na budowę nowych linii.

Dodatkowe źródło obniżenia strat w dystrybucji energii elektrycznej to wielodrutowe żyły aluminiowych kabli średnich napięć zbudowane z drutów trapezoidalnych, które choć nieco podrożą koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową, to te podwyższone nakłady zwrócą się dzięki znacznie obniżonym kosztom strat na przestrzeni wielu np. 30 lat eksploatacji.

5. Literatura

- [1] Sokolik W.A. „Optymalizacja energetycznej efektywności przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej za pomocą niskostratnych przewodów o małym zwisie” APE’11, Jurata 8-10 czerwca 2011
- [2] Sokolik W.A., Furmann C., Sobek M. " Niskostratne technologie przewodów napowietrznych spełniające wymagania nakreślone w Polityce energetycznej Polski do 2030 roku.", XVIII Konferencja Szkoleniowo-Techniczna „Elektroenergetyczne linie kablowe i napowietrzne” KABEL 2011, Zakopane, 8-11.03.2011.
- [3] Sokolik W.A. "Nowoczesny sposób na szybkie zwiększenie zdolności przesyłowych linii napowietrznych za pomocą przewodów o małych zwisach", V Konferencja Szkoleniowo – Techniczna „Nowoczesna energetyka” NOE 2008. Nałęczów, 3 – 5 grudnia 2008.
- [4] „Polityka energetyczna Polski do roku 2030”
- [5] „Ustawa o efektywności energetycznej”
- [6] „Plan działań w zakresie energii do roku 2050”
- [7] Sokolik W.A. „Optymalizacja strat w przesyśle i dystrybucji energii elektrycznej za pomocą niskostratnych przewodów napowietrznych” V Konferencja Naukowo-Techniczna PTPIREE: "Straty energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych", Kołobrzeg, 17-18.05.2011
- [8] Sokolik W.A., Odzinkowski Ł., Sobek M. „Zastosowanie przewodów niskostratnych oraz o obniżonych stratach w liniach elektroenergetycznych wysokich napięć”, V Konferencja Naukowo-Techniczna PTPIREE: „Elektroenergetyczne linie napowietrzne”, Dźwirzyno, 15-16.05.2012