

Czy system oświetlenia elektrycznego Gülchera z Białej był konkurencyjny z systemem Edisona?

Piotr Rataj, Jerzy Hickiewicz

Wstęp

Lata 80. XIX wieku to okres przełomowy dla elektrotechniki. To wówczas zadebiutował pierwszy całościowy system oświetleniowy lampami żarowymi prądu stałego Thomasa Edisona, który zapoczątkował powstawanie komunalnych elektrowni. Warto jednak pamiętać, że niewiele wcześniej, w latach 70. XIX wieku pogląd na elektryczne oświetlenie był zupełnie inny, przeważały lampy łukowe, ze słynną „świecą” Jabłoczkowa na czele. Nie może więc dziwić, że elektrycy tamtego czasu szukali rozwiązań, które mogłyby zwiększyć przydatność lamp łukowych i wyeliminować ich największe wady, utrudniające użytkowanie. Jedno z najbardziej udanych rozwiązań w tej dziedzinie stworzył Robert Gülcher z Białej (dziś Bielsko-Biała). Jego system oświetleniowy lampami łukowymi zadebiutował w podobnym czasie co system Edisona, w niniejszym artykule podjęto zatem próbę wytłumaczenia, dlaczego system Gülchera nie przyjął się szerzej w przeciwieństwie do systemu Edisona.

System oświetlenia elektrycznego Gülchera

Robert Jakob Gülcher urodził się w galicyjskiej (krakowskiej) Białej 8 czerwca 1850 r., pochodził ze znanej rodziny fabrykantów sukna.

Robert po zdaniu matury w wyższej szkole realnej w Zgorzelcu uczył się w latach 1869-1871 do politechniki federalnej w Zurychu, gdzie studiował nauki przyrodnicze i mechanikę. W 1873 r. objął kierownictwo warsztatu mechanicznego i naprawczego fabryki włókienniczej ojca w Białej. Rozbudował ów warsztat na tyle, że w 1876 r. wyodrębniono go jako osobne przedsiębiorstwo, zatrudniając początkowo 50 robotników fabrykę maszyn włókienniczych i odlewnię pod nazwą R. J. Gülcher. W 1878 r. kupił on od firmy Siemens & Halske instalację oświetleniową złożoną z trzech lamp łukowych do oświetlenia pomieszczeń fabrycznych.

Ówczesne lampy łukowe, ze „świecą” Pawła Jabłoczkowa z 1876 r. na czele, były jedynym praktycznym źródłem światła elektrycznego (Edison opatentował swoją żarówkę w 1879 r.). „Łukówki” miały jednak wiele wad, które ograniczały ich zastosowanie. Towarzyszył im np. hałas i migotanie wywołany paleniem się łuku elektrycznego, konieczność częstej wymiany szybko zużywających się węgli i duży pobór energii elektrycznej (jedna lampka Jabłoczkowa miała moc ok. 0,74 kW prądu zmiennego, a moc innych lamp łukowych dochodziła nawet do 2 kW). Co więcej, każda taka przeciętna lampka wymagała zasilania z osobnej maszyny elektrycznej i działała na jednym obwodzie, bo wahanie prądu w jednej lampce powodowało analogiczne wahanie w szeregowo z nią połączonej drugiej lampce. Z użytkowego punktu widzenia lampki łukowe były jednak

Streszczenie: W artykule przybliżono system oświetlenia elektrycznego Roberta Gülchera (1850-1924) z Białej (obecnie Bielsko-Biała), wykorzystujący równolegle połączone automatycznie regulowane lampy łukowe z niskonapięciową dynamomaszyną prądu stałego, opracowany na przełomie lat 70. i 80. XIX wieku. Porównano ten system z rewolucyjnym systemem Thomasa Edisona (1847-1931), również z przełomu lat 70. i 80. XIX wieku, używającym lamp żarowych, również połączonych równolegle z dynamomaszyną prądu stałego, choć o wyższym napięciu. Wyjaśniono, dlaczego ten Edison okazał się najbardziej udany nie tylko w stosunku do systemu Gülchera, ale i wszystkich innych z tamtego czasu.

Słowa kluczowe: Robert Gülcher, Thomas Edison, oświetlenie elektryczne, historia elektrotechniki

Intrinsically safe pneumatic seismic source for monitoring and imaging of rock mass in underground mining

Abstract: The article presents the electric lighting system of Robert Gülcher (1850-1924) from Biała (now Bielsko-Biała) using parallel connected automatically controlled arc lamps with a low-voltage direct current dynamo, developed at the turn of 1870s and 1880s. A comparison was made between this system and the revolutionary system of Thomas Edison (1847-1931), also from the late 1870s and early 1880s, using incandescent lamps, also connected in parallel to a DC dynamo, albeit at a higher voltage. It was explained why this Edison's system proved to be the most successful not only over Gülcher's system, but also over all others of the time.

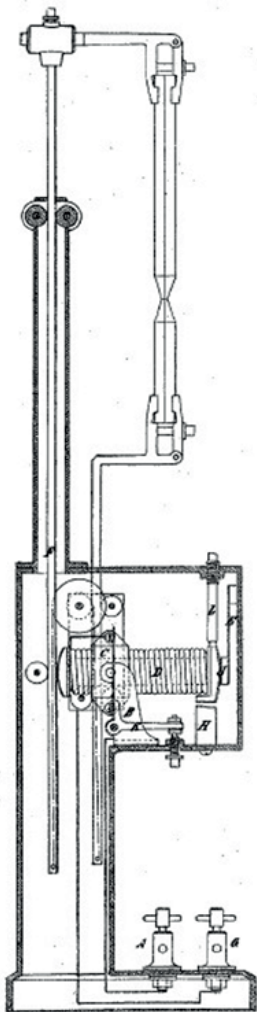
Keywords: Robert Gülcher, Thomas Edison, electric lighting, history of electrotechnics

przede wszystkim zbyt jaskrawe, dawały zbyt mocne światło do zastosowań we wnętrzach budynków, nadawały się raczej do oświetlania placów i ulic lub wielkich pomieszczeń. Dlatego też problemem, który zaprzętał wielu elektryków pod koniec lat 70. XIX wieku, gdy żarówki się jeszcze nie przebiły, był właśnie „podział światła” lamp łukowych.

W tę sytuację wpisał się Gülcher ze swoim rozwiązaniem wad lamp łukowych. Początkowo wystąpiły problemy z ich regulatorami (urządzeniami przybliżającymi do siebie elektrody węglowe, pomiędzy którymi palił się łuk elektryczny w miarę ich spalania, tak by zachować między nimi odpowiedni odstęp), ponieważ kurz w odlewni zakłócał działanie mechanizmu regulacyjnego. Rozwiązanie tego problemu skłoniło go do zajęcia

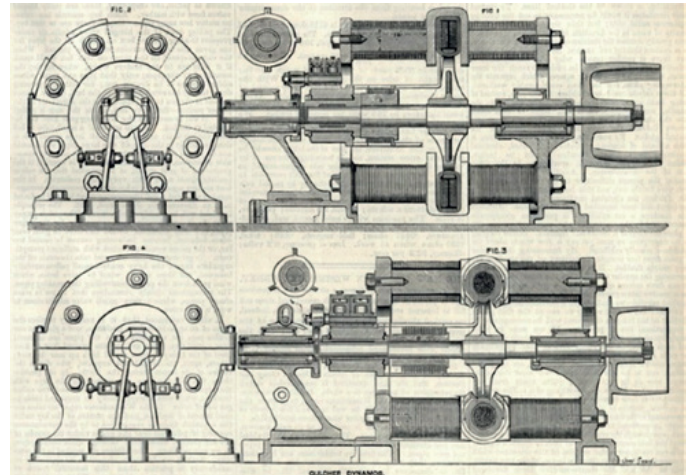
się elektrotechniką. Postępy robił bardzo szybko – stworzył nie tylko oryginalną lampę, ale też dynamomaszynę i zupełnie nowy system umożliwiający „podział światła” lamp łukowych.

W lampie, opatentowanej po raz pierwszy w Niemczech w 1879 r., zastosował oryginalny, prosty regulator. Był on złożony ze sprężyny, elektromagnesu zasilanego prądem lampy i hamulca z miękkiego żelaza. Sprężyna dociskała elektrody węglowe do siebie, natomiast elektromagnes działał w stronę przeciwną. Wraz z upalaniem węgla łuk wydłużał się, rosła rezystancja łuku, malał zatem prąd, a więc też i siła elektromagnesu, przez co sprężyna mocniej zbliżała elektrody do siebie. Zatem osłabianie się łuku wywoływało taką reakcję prądu i siły elektromagnesu, że prąd lampy oraz jej jasność nie zmieniały się. Tak zwany hamulec miał tłumić ewentualne drgania, które mogłyby wywołać nagłą, skokowa zmiana odległości elektrod np. przy jej ułamaniu. Regulator Gülchera miał więc na celu utrzymanie stałej wartości prądu przepływającego przez lampę oraz zachowanie odpowiedniej odległości elektrod węglowych od siebie, mimo ich upalania. Regulator działał na zasadzie ujemnego sprzężenia zwrotnego prądowego. Dzięki prostej konstrukcji lampa posiadająca taki regulator była tania i mogła być używana w zakurzonych pomieszczeniach oraz dawała stabilne światło, a zwłaszcza, jak podkreślano, o przyjemniej dla oka białej barwie.



Rys. 1. Schemat lampy łukowej i regulatora Gülchera, rysunek z niemieckiego opisu patentowego (nr 10333 z 1879 r)

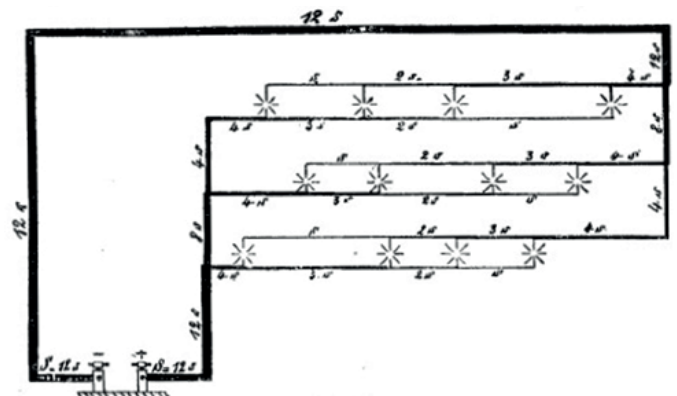
Dynamomaszyna prądu stałego wynaleziona przez Gülchera została tak skonstruowana, by dawać jak największy prąd przy niskim napięciu. Składały się na nią cztery płaskie elektromagnesy, bieguny każdej pary elektromagnesów umieszczone naprzeciwko siebie połączone były korytem w kształcie litery U. Za szczególną konstrukcyjną cechą tej maszyny uznawano bardzo dużą powierzchnię styku czterech szczotek z komutatorem. Uzwojenie obracało się z prędkością 900 obrotów na minutę.



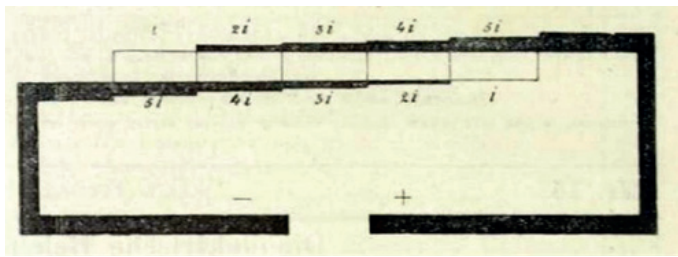
Rys. 2. Rysunki do dynamomaszyny Gülchera

Według pomiarów z jednego z modeli tej maszyny można było uzyskać prąd 81 A przy napięciu 81 V, przy całkowitej rezystancji obwodu twornika maszyny 0,365 Ω . Wczesne wersje (z 1881 r.) z jednego KM mocy napędzającej prądnicę mogły zasilić lampę o jasności 813 świec (świeca, starsza jednostka światłości, jest równa 1,02 kandel), później poprawiono sprawność prądnic i z jednego KM uzyskiwano 1000-1400 świec. Jak podkreślano, maszyna ta była bardzo solidnie zbudowana, miała niewielkie jak na owe czasy rozmiary, a iskrzenia i straty na komutatorze były niewielkie [1, 2].

Dzięki regulatorowi można było zasilać więcej lamp z jednej prądnicy w połączeniu równoległym, co było wtedy zupełną nowością dla lamp łukowych, ale równoległe łączono już niedługo później lampy żarowe, np. te Edisona. Lampy łukowe w systemie Gülchera, co dla ówczesnych było szczególnie imponujące, regulowały się wzajemnie bez pomocy dodatkowych mechanizmów, na tej samej zasadzie co w pojedynczej lampie. Przewody były dobierane tak, że najpierw obliczało się



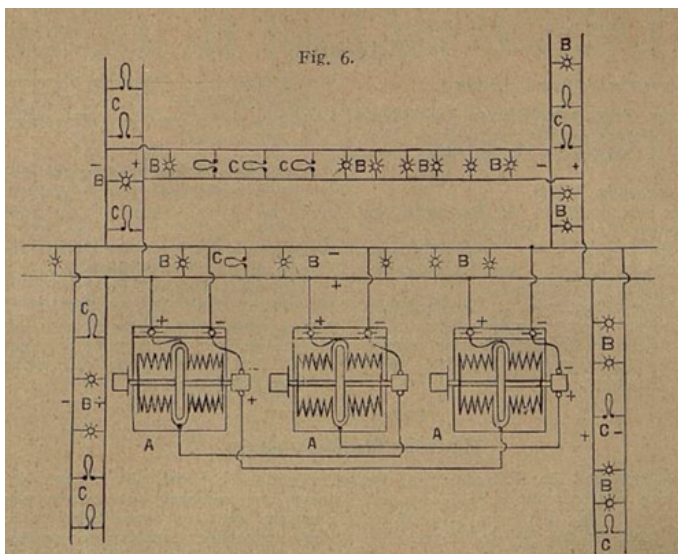
Rys. 3. Schemat połączenia równoległego lamp łukowych w systemie Gülchera



Rys. 4. Sposób dobierania grubości przewodów do poszczególnych lamp w systemie oświetleniowym Gülchera

przekrój przewodu głównego +, a potem dla każdej kolejnej lampy coraz cieńszy, z kolei przewód – dobierało się odwrotnie, dzięki czemu tak natężenie prądu jak i opór przewodników był dla każdej lampy taki sam, jak to pokazano na rys. 4.

System Gülchera oceniano bardzo pozytywnie. Poza już zaznaczonymi zaletami jak białość światła i jego stabilność wymieniano także prostotę i taniość regulatorów, wielką liczbę lamp, które mogły być zasilane z jednej prądnicy, łatwość z jaką lampa mogła być zapalana lub gaszona bez wpływu na pozostałe oraz fakt, że moc potrzebna do napędzania dynamomaszyny była proporcjonalna do liczby działających w danym momencie lamp. Zauważano także później, że na jednym obwodzie mogły zostać zainstalowane zarówno lampy łukowe, jak i żarowe, choć dopiero po zainstalowaniu dla żarówek specjalnych oporników balastowych.



Rys. 5. Schemat równoległego połączenia lamp łukowych (B) i żarówek (C) z dynamomaszynami (A) w systemie Gülchera

Poza tym system umożliwiał stosowanie lamp łukowych o różnej światłości (200 świec przy 2 A lub 500 świec przy 4 A), zatem można je było stosować także w mniejszych pomieszczeniach zamkniętych. Ponadto podkreślano, że system ten był całkowicie bezpieczny, można było dotykać nieosłoniętych przewodów, niezależnie od liczby lamp w sieci, głównie ze względu na to, że napięcie między zaciskami maszyny nigdy nie przekraczało 65 V. Za podstawową wadę uznano za to konieczność stosowania grubych przewodników, w których też tracono stosunkowo dużo energii elektrycznej (podawano, że nawet 25%), również dużo energii marnowało się po użyciu wspomnianych oporników dla lamp żarowych. Spadek napięcia

i duże straty wynikały z przyjęcia niskiego napięcia, co ograniczało odległość na jakiej od prądnicy można było zainstalować lampy oraz, w mniejszym stopniu, ich liczbę (łącznie moc).

Wobec tylu zalet nie może dziwić, że ów system, wystawiony na pierwszej Światowej Wystawie Elektrotechnicznej w Paryżu w 1881 r., zdobył złoty medal (konkretnie nagrodzono lampę z regulatorem). Świat był zachwycony rozwiązaniem przez wynalazcę z Białej problemu „podziału światła” lamp łukowych. Na wystawie działało 11 lamp w połączeniu równoległym, zasilanych z jednej dynamomaszyny o mocy 5 KM, każda lampa dawała 60 jednostek Carcela światłości, razem więc 660 jednostek (Carcel to jednostka światłości równa ok. 9,4 kandel). Według Gülchera energię elektryczną wytworzoną przez jedną dynamomaszynę można było rozdzielić maksymalnie na 24 lampy, każda o światłości 27,5 jednostek Carcela [1, 2]. Warto przypomnieć, że owa wystawa miała fundamentalne znaczenie dla światowej elektrotechniki – to tu Edison zaprezentował swój kompletny system prądu stałego (w oparciu o żarówkę, otrzymał tam łącznie 5 złotych medali i dyplom honorowy), a w trakcie kongresu elektrotechników, który towarzyszył wystawie ustalono podstawowe jednostki pomiarowe w elektrotechnice: wolt, amper i om.

Instalacja Gülchera w Pałacu Kryształowym w Londynie

Wystawa paryska z 1881 r. przyniosła Gülcherowi szeroki rozgłos. Postanawiając to wykorzystać, niedługo potem wraz z rodziną przeniósł się do stolicy ówczesnego pierwszego światowego supermocarstwa – Londynu. W 1882 r. założył tam produkcyjno-instalacyjną firmę Gülcher Electric Light and Power Company (Limited), która miała prawo użycia patentów Gülchera na terenie Wielkiej Brytanii, Irlandii, Wysp Normandzkich, Wyspy Man oraz w Indiach i we wszystkich pozostałych koloniach brytyjskich. Wykonywano kompletne instalacje oświetleniowe miast, budynków publicznych, młynów, fabryk, hut, kopalń, jak i prywatnych domów i rezydencji przy użyciu systemu oświetleniowego Gülchera, reklamowanego jako system niskonapięciowy, absolutnie bezpieczny. To ta firma ok. 1883 r. wykonała wyjątkowo prestiżowe stałe oświetlenie elektryczne olbrzymiego Pałacu Kryształowego w Londynie. Zainstalowano tam 75 lamp łukowych o sile światła 2000 świec każda w trzech obwodach, a dzięki temu w razie przerwy w jednym z obwodów nie gasły wszystkie lampy. Była to największa



Rys. 6. Wnętrze Pałacu Kryształowego w Londynie

instalacja oświetlenia elektrycznego jaką przeprowadzono dotychczas w jednym budynku na świecie [3].

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że system Gülchera w instalacjach o długich przewodach wymagał znacznie więcej miedzi na przewody niż wynikałoby to z warunku dopuszczalnego nagrzania.

Zależność spadku napięcia od odległości i napięcia

Edison od początku chciał uczynić swój system komercyjnym, ale szybko się zorientował, że aby system był ekonomicznie opłacalny musiałby znaleźć sposób na zwiększenie zasięgu prądu stałego. Okazało się bowiem, że jednym sposobem było podwyższenie stosowanego napięcia (początkowo 110 V). Była to jednak ograniczona możliwość, bo w warunkach prądu stałego trudno było uzyskiwać dowolnie wysokie napięcia, a jeszcze trudniej było je obniżyć (próby były czynione przez szeregowo łączenie maszyn elektrycznych). Natomiast stosując niskie napięcie zasilania linii przesyłowej nie można było zaprojektować jej o dowolnej długości w sposób ekonomiczny. Przyczyną tego było prawo Ohma, a raczej wynikające z niego spadki napięcia na linii przesyłowej. Procentowy spadek napięcia $\Delta U_{\%}$ linii o napięciu U , obciążonej prądem I , długości l , przekroju q , o rezystancji R , wykonanej przewodem z miedzi o przewodności właściwej γ , określony jest zależnością:

$$\Delta U_{\%} = \frac{R \cdot I}{U} 100 \quad (1)$$

Wprowadzając pojęcie gęstości prądowej $s = I/q$ można przekształcić poprzednią zależność:

$$\Delta U_{\%} = \frac{100}{\gamma} s \frac{l}{U} 100 \quad (2)$$

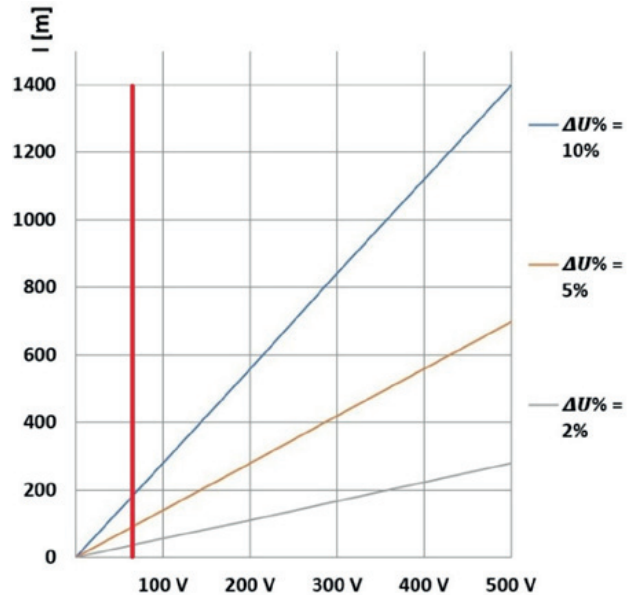
Warto zauważyć, iż wyrażenie to nie zależy od prądu, czyli od wartości przesyłanej energii. Procentowy spadek napięcia zależy jedynie od stosunku długości linii do napięcia linii oraz gęstości prądu, której przyjmowana wartość mieści się zwykle w dość ograniczonym zakresie. Ze związku można wyrazić zależność długości linii od jej napięcia uwzględniając ponadto, że linia jest wykonana z miedzi ($\gamma = 56 \text{ m/om mm}^2$):

$$l = \frac{\gamma}{100} \frac{\Delta U_{\%}}{s} U = 0,56 \frac{\Delta U_{\%}}{s} U \quad (3)$$

Przyjmowane wartości gęstości prądu w przewodzie decydują o jego nagrzaniu. Zależą one od tego jakie są dopuszczalne temperatury izolacji przewodu i zastosowane rodzaje chłodzenia. Dla przewodów wykonanych w najczęściej stosowanych rodzajach izolacji oraz chłodzeniu naturalnym mieszczą się zwykle w granicach $2 - 4 \text{ A/mm}^2$. Przyjmując najmniejszą z tych wartości, a ponadto kolejno wartości procentowego spadku napięcia równe: 2%, 5%, 10% można przykładowo wyznaczyć zależność dopuszczalnych długości linii obciążonej prądem I , przy których procentowe wartości spadku napięcia nie przekroczą zadanych, od napięcia linii, a następnie zilustrować wykresami (rys. 7). Wykres ten pokazuje liniową zależność dopuszczalnej długości linii od napięcia oraz to, że zwiększa się ona wraz ze zwiększeniem procentowego spadku napięcia. Przy napięciu $U = 440 \text{ V}$ (a więc najwyższym stosowanym w instalacjach

prądu stałego) dopuszczalne długości linii osiągają wartości od 246,4 m do 1232 m.

W instalacjach Gülchera najwyższe napięcie wynosiło $U = 65 \text{ V}$, więc dla tych samych założeń dopuszczalne długości linii osiągają odpowiednio wartości od 36,4 m do 182 m. Można ją powiększyć przez zmniejszenie gęstości prądu. Powoduje to jednak zwiększenie przekroju przewodu, zwiększenie zużycia materiału i kosztów.



Rys. 7. Wykres zależności $l = f(U)$, dla $s=2 \text{ A/mm}^2$, czerwoną linią zaznaczono 65 V, napięcie systemu Gülchera

Można też spróbować oszacować wartość gęstości prądu w przewodach instalacji w Pałacu Kryształowym.

Przekształcając wyrażenie (3) uzyskano zależność gęstości prądu od: procentowego spadku napięcia, napięcia zasilania lampy oraz długości przewodu z miedzi:

$$s = 0,56 \cdot \Delta U_{\%} \frac{U}{l} = 0,56 \cdot 10 \frac{65}{300} = 1,21 \text{ A/mm}^2$$

Długość Pałacu wynosiła ok. 563 m, jeśli więc przyjmując, że prądnicą umieszczoną była w środkowej części pałacu, to długość przewodu do najdalej położonej lampy mogła wynosić ok. 300 m. Wiadomo też, że najwyższe napięcie w instalacjach Gülchera wynosiło 65 V. Zakładając ponadto, że dopuszczono 10% spadek napięcia (co w przypadku lamp łukowych z regulatorem prądu było możliwe, a w przypadku żarowych za duże), uzyskano z podanego poprzednio wyrażenia przypuszczalną wartość gęstości prądu w przewodach instalacji w Pałacu Kryształowym $s = 1,21 \text{ A na mm}^2$. Porównując ją z gęstością prądu z warunku dopuszczalnego nagrzania (średnio ok. 3 A/mm^2) można wnioskować, że przewody mogły mieć prawie 2,5 razy większy przekrój, czyli że zużyto o 150% więcej miedzi niż wynikałoby to z warunku nagrzania. Można też oszacować jaki byłby procentowy spadek napięcia, gdyby przyjmując wynikającą z warunku nagrzania wartość gęstość prądu $s = 3 \text{ A/mm}^2$. Wtedy, korzystając z poprzednio podanych wzorów, można wyliczyć, że dla $U = 65 \text{ V}$ oraz $l = 300 \text{ m}$ procentowy spadek napięcia w najodleglejszym miejscu Pałacu wynosiłby $\Delta U_{\%} = 24,7\%$, czyli 16,1 V, a napięcie zasilania znajdującej się tam lampy wyniosłoby tylko $65 - 16,1 = 48,9 \text{ V}$.

Pokazane zależności zilustrowane przykładami pokazują wymiennie ograniczenia zasięgu instalacji prądu stałego. Istnieją pewne możliwości powiększenia tego zasięgu, bez podwyższenia napięcia linii, ale jest to możliwe, jak widać, dzięki powiększaniu przekroju przewodu niż wynikałoby on z warunku nieprzekroczenia dopuszczalnej temperatury przewodu. Wiąże się to jednak z nadmiernym zużyciem materiału przewodowego – miedzi i zwiększeniem kosztów instalacji. Choć system prądu stałego Edisona odniósł sukces i wygrał z systemem Gülchera, bo pozwalał na dłuższy zasięg linii przesyłowych, to jednak niedługo potem został wyparty przez system prądu przemiennego trójfazowego Michała Doliwo-Dobrowolskiego, który umożliwiał przesyłanie energii elektrycznej o znacznie wyższych napięciach na znacznie większe odległości.

Podsumowanie

Odpowiadając na pytanie zawarte w tytule, czy system oświetlenia Gülchera był konkurencyjny wobec systemu Edisona, trzeba zaznaczyć, że odpowiedź wynika z prawa Ohma uzależniającego procentowy spadek napięcia od stosunku napięcia linii przesyłowej do jej długości niezależnie od wartości przesyłanej energii elektrycznej. Można więc już na tej podstawie stwierdzić, że system Gülchera nie był konkurencyjny w stosunku do systemu Edisona. Przyczyna leżała głównie w wysokości stosowanych napięć, ten elektryka z Białej był niższy, a więc wymagał grubszych przewodników, był więc drogi inwestycyjnie, a duże straty dodatkowo czyniły go drogim eksploatacyjnie. Lampy łukowe, choć zostały przez Gülchera pozbawione lub poprawiły wiele charakterystycznych dla nich wad i niedomagań, to i tak pozostawały mniej wygodnym źródłem światła w stosunku do żarówek, które używał system Edisona. Bardzo ważne było też podejście Gülchera i Edisona. Ten drugi miał szeroką wizję tworzenia dużych publicznych elektrowni, które zasilalyby całe dzielnice, gdy ten pierwszy w gruncie rzeczy myślał znacznie bardziej zachowawczo, tylko o oświetlaniu pojedynczych budynków, większych zakładów czy fabryk. To właśnie takie podejście wymusiło na Edisonie rozwiązanie

problemów technicznych wymagających uzyskania dostatecznie dużego zasięgu przesyłu – a zatem podwyższenia stosowanych napięć.

Sukces Edisona sprawił, że został on jednym z najsłynniejszych wynalazców i przedsiębiorców w dziejach, gdy Gülcher został zapomniany, choć założył oddział elektrotechniczny w swojej firmie w Białej, który przetrwał do dzisiaj (po przeniesieniu do Bielska, znany jako fabryka Indukta), a sam kontynuował działalność wynalazczą, opracowując m.in. oryginalne konstrukcje termostosów i akumulatorów. Zmarł w Berlinie w 1924 r. [5].

Literatura

- [1] Heap D. P., Report on the International Exhibition of Electricity held at Paris August to November 1881., Washington 1884.
- [2] Die elektrische Beleuchtung System Gülcher, „Der Bautechniker” 1884, nr 13, s. 135-137, nr 15, s. 159-161.
- [3] Das elektrische Licht im Krystallpalaste in London, „Zeitschrift für Elektrotechnik” 1884, nr 11, s. 351-352.
- [4] Rataj P., Hickiewicz J., „Wojna prądów” na przełomie XIX i XX wieku w 130. rocznicę przesyłu energii elektrycznej z Lauffen do Frankfurtu nad Menem, „Śląskie Wiadomości Elektryczne” 2021, nr 3, s. 28-34.
- [5] Rataj P., Robert Gülcher (1850-1924) wybitny pionier elektrotechniki z Bielska-Białej i jego przedsiębiorstwa, „Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej” 2022, nr 74, s. 143-150.

Autorzy:
dr Piotr Rataj
Pracownia Historyczna SEP
Oddział Opolski SEP
piotr.rataj33@wp.pl

Jerzy Hickiewicz
em. prof. Politechniki Opolskiej, Pracownia Historyczna SEP
Oddział Opolski SEP
j.hickiewicz@zw.po.edu.pl