

# Mejro, Czesław

---

## Historia pierwszego projektu elektryfikacji Warszawy

---

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 3/2, 265-278

---

1958

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



*Czesław Mejro*

## HISTORIA PIERWSZEGO PROJEKTU ELEKTRYFIKACJI WARSZAWY

### ROZWOJ ELEKTRYFIKACJI MIAST ZA GRANICĄ

W rozwoju elektryfikacji istnieją dwa momenty przełomowe: pierwszym jest wynalazek dynamomaszyny dokonany przez Wernera Siemensa w r. 1866, drugim — skonstruowanie przez Edisona w roku 1878 lampy żarowej. O ile pierwszy z tych wynalazków rozwiązał sprawę masowej produkcji energii elektrycznej, o tyle drugi — zagwarantował szybki rozwój jej zapotrzebowania.

Pierwsze elektrownie lokalne pojawiają się około roku 1878 i służą do zasilania pojedynczych budynków, sklepów, teatrów i urzędów.

Do napędu pierwszych dynamomaszyn (prądnic) służą maszyny parowe o mocach nie przekraczających kilkudziesięciu kilowatów. W prądnicach tych wytwarza się prąd stały o napięciu 65 V lub 110 V. Elektrownie służą wyłącznie do celów oświetleniowych, ich odbiornikami są początkowo lampy łukowe, a następnie żarówki.

Stopniowo wzrastające zaufanie do oświetlenia elektrycznego powoduje rozszerzenie się obszarów zasilanych przez poszczególne elektrownie i stopniowe powiększanie ich mocy. W ten sposób powstają w latach 1884—1890 tzw. „elektrownie blokowe“ zasilające całe grupy domów. Trudności formalne z uzyskaniem zgody na przeprowadzenie przewodów w poprzek ulic uniemożliwiają początkowo dalsze zwiększenie zasięgu elektrowni. Moce elektrowni blokowych sięgają już kilkuset kilowatów, jednak napięcie nie przekracza 110 V. W dalszym ciągu zastosowanie ma wyłącznie prąd stały.

Pierwsze elektrownie zasilające całe dzielnice miast powstają w latach 1890—1900. W tym też okresie powstają zaczątki pierw-

szych sieci miejskich i sieci oświetlenia ulicznego. W roku 1892 zostaje wybudowana pierwsza elektrownia prądu zmiennego, jednak dyskusje nad wyższością jednego lub drugiego rodzaju prądu trwają do roku 1900, a nawet i dłużej.

W ostatnim dziesiątku lat XIX w. budowa elektrowni przybiera w Europie charakter żywiłowy; powstają setki małych zakładów wytwórczych i sieci. Napięcia sieci rozdzielczej nie przekraczają jednak 120 V, z tą jedynie modyfikacją, że wchodzi również w użycie sieć trzyprzewodowa 120—0—120 V. Nowo powstające elektrownie prądu zmiennego stosują na ogół częstotliwość 50 Hz, nie brak jednak i innych częstotliwości jak 16, 25 i 42 Hz. Największy chaos w tej dziedzinie panuje w Anglii, gdzie np. w roku 1900 Londyn był zasilany z 66 małych elektrowni o najrozmaitszych napięciach, mocach i częstotliwościach.

Oczywiste korzyści gospodarcze wynikające z koncentracji wytwarzania szybko powodują powstawanie dużych elektrowni zasilających całe miasta. W tych warunkach prąd stały musi być zastępowany prądem zmiennym. Decyduje łatwość transformacji oraz ograniczone spadki napięcia i straty mocy po wprowadzeniu sieci zasilających wysokiego napięcia.

Sieci wysokiego napięcia, początkowo jednofazowe, o najrozmaitszych napięciach od 1000 do 6000 V, są już w końcu XIX wieku bardzo rozpowszechnione.

Jednym ze zwrotnych punktów w tej walce prądu zmiennego z prądem stałym była wystawa we Frankfurcie nad Menem w roku 1891, zasilania tytułem próby linią przesyłową o napięciu 30 000 V z odległej o 175 km elektrowni wodnej o mocy 300 KM. Pomyślny wynik tej próby wykazał realność planów wykorzystania energii spadku wód i przesyłania jej do centrów spożycia z odległych nawet elektrowni.

W roku 1892 pojawia się po raz pierwszy żarówka na napięcie 220 V. Wprowadzenie jednak tego napięcia do sieci rozdzielczych następuje na ogół znacznie później. Wpłynęły na to dwa czynniki: lęk przed zbyt wysokim, „niebezpiecznym“, napięciem 220 V oraz niższa sprawność żarówki 220 V od 110 V.

Również i sieć trójfazowa wchodzi w użycie względnie powoli.

Prawdziwy rozkwit elektrowni i sieci miejskich następuje dopiero z początkiem XX wieku; duże zmiany zachodzą szczególnie podczas pierwszej wojny światowej, kiedy to moc zainstalowana

w elektrowniach miejskich podwyższyła się w ciągu 4 lat przeszło dwukrotnie, a moce jednostek prądowórczych z paru tysięcy kilowatów podskoczyły do 25 MW i wyżej.

Taki przebieg rozwoju elektryfikacji miast pozostawił swe piętno na sieciach miejskich wielu krajów aż do dnia dzisiejszego. Likwidacja zbyt niskich napięć, a zwłaszcza prądu stałego, była zarówno ze względów ekonomicznych, jak też i prawnych (nie wygasłe koncesje) bardzo trudna. Stąd w wielkich miastach zachodnio-europejskich do dziś dnia są dzielnice zasilane prądem stałym lub też prądem jedno-, dwu- lub trójfazowym o napięciu 120 lub 220 V. Oczywiście elektrowni o tak niskich napięciach już nie ma, stare sieci zasila się ze stacji przetwornic lub prostowników. Niejednokrotnie stare sieci pozostawione są „do wymarcia“, a obok nich na tych samych ulicach, pojawia się nowa sieć prądu zmiennego o napięciu najczęściej 380/220 V.

Warto podkreślić, że w początkowym okresie rozwoju sieci wszystkie prawie linie niskiego i wysokiego napięcia wykonywane były kablami. Przypisać to należy z jednej strony obawom zagrożenia życia ludzkiego przez linie napowietrzne oraz brakowi odpowiednich przepisów, z drugiej jednak strony — wysokiemu poziomowi techniki budowy kabli. Kable elektroenergetyczne wywodzą bowiem swe pochodzenie od kabli teletechnicznych, których produkcja była już rozwinięta w połowie XIX wieku. Dość powiedzieć, że już w roku 1853 zostaje wykonana pierwsza podwodna linia telegraficzna, łącząca Petersburg z położoną na wyspie fortecą Kronstadt.

Osobny problem sieci miejskich stanowiło i stanowi zasilanie trakcji miejskiej pracującej na prąd stały. Napięcie sieci trakcyjnej od początku jej istnienia wynosiło zwykle 500—700 V. Początkowo budowano do zasilania tramwajów osobne elektrownie z maszynami o napięciu takiej wysokości. Niejednokrotnie też ustawiano w elektrowniach miejskich zespoły prądowórcze do zasilania trakcji obok zespołów zasilających sieć miejską.

Wraz ze zwiększeniem się rozległości sieci tramwajowej i w tym przypadku korzystniejsze okazało się wytwarzanie prądu zmiennego, przesyłanie go liniami wysokiego napięcia do przetwornic rozmieszczonych w terenie i dopiero tam prostowanie prądu w przetwornicach lub prostownikach. Taki sposób zasilania trakcji miejskiej okazał się najkorzystniejszy i stosowany jest do dziś dnia.

## ROZWÓJ ELEKTRYFIKACJI MIAST W POLSCE

Opóźnienie większych miast polskich w przyswajaniu sobie zdobyczy techniki w dziedzinie sieci miejskich było początkowo bardzo niewielkie, gdyż nie przekraczało zwykle paru lat w stosunku do opisanych poprzednio etapów rozwojowych. W niektórych przypadkach opóźnienie odbiło się nawet korzystnie na rozwoju naszych sieci miejskich, gdyż uniknęliśmy błędów, czy też nieudanych eksperymentów stosowanych za granicą.

Znacznie natomiast gorzej przedstawiała się sprawa rozpowszechnienia elektryfikacji w małych miastach i miasteczkach. Stosunek ilości powstających elektrowni do ilości miast był kompromitująco niski. W małych miastach i miasteczkach jeszcze po pierwszej wojnie światowej częściej spotykało się lampę naftową lub po prostu świeczkę niż żarówkę elektryczną.

Rozwój elektryfikacji miast przed pierwszą wojną światową był różny w trzech zaborach.

Stosunkowo najlepiej przedstawiała się sprawa w zaborze pruskim i tak:

Na terenie Poznania powstają w latach 1895—1898 pierwsze lokalne elektrownie prądu stałego, zasilające przedmieścia Jeżyce, Św. Łazarz i Wilda oraz jedna elektrownia blokowa w śródmieściu. Sieć ma napięcie  $2 \times 110$  V aż do roku 1910, kiedy ulega przeróbce na  $2 \times 220$  V. Mniej więcej w tym samym czasie co w Poznaniu powstają elektrownie i sieci w Grudziądzu (1895), Bydgoszczy (1896), Chorzowie (1898), Tczewie (1899), Toruniu (1898), Grodzisku (1898), Gnieźnie (1901), Gdańsku (1896), Wrocławiu (1893).

Równie wcześniej powstają pierwsze elektrownie miejskie w zaborze austriackim: w Bielsku-Białej (1893), Krakowie (1894), Lwowie (1893), Nowym Targu (1898) itd.

Brak natomiast zainteresowania rozwojem gospodarczym naszego kraju ze strony carskiej Rosji odbija się również na elektryfikacji miast trzeciego zaboru. O ile pierwsze elektrownie przemysłowe w cukrowniach i przemyśle włókienniczym powstają stosunkowo wcześniej, to zasilanie miast zaboru rosyjskiego rozpoczyna się dopiero w początku bieżącego wieku. Warszawa otrzymuje elektrownię miejską dopiero w roku 1903, a elektrownię tramwajową w 1908 r. Radom w 1901 r., Częstochowa — 1907 r., Białystok — 1910 r., Kielce — 1913 r., Płock — 1908 r., Włocławek — 1909 r. Pomimo tak znacznego opóźnienia wszystkie te elektrownie, z wyjątkiem Warszawy, budują sieci prądu stałego.

## PIERWSZE KROKI NA DRODZE DO ELEKTRYFIKACJI WARSZAWY

Rozwój elektryfikacji miast zachodnioeuropejskich był niewątpliwie od samego początku uważnie obserwowany przez naszych inżynierów. Już w roku 1890 „Przegląd Techniczny“ zamieszcza *Sprawozdanie o projektach oświetlenia elektrycznego dla miasta Hannoveru*.

Jednak realne prace nad sporządzeniem projektu elektrowni i sieci miejskiej rozpoczynają się prawdopodobnie około roku 1895—1897, kiedy to Wydział Budowlany Miejski opracowuje pierwszą koncepcję rozwiązania. Niestety o tym opracowaniu mamy tylko parowerszową wzmiankę w „Przeglądzie Technicznym“ z r. 1898, samo zaś opracowanie nie zostało opublikowane i nie jest nam znane.

Następny z kolei, a pierwszy ze znanych nam, projekt elektryfikacji miasta Warszawy opracowuje inżynier Wiliam Henryk Lindley, syn i współpracownik autora projektu wodociągów i kanalizacji Warszawy, inżyniera W. Lindleya.

Projekt zostaje pod tytułem *Objaśnienie projektu inżyniera W. H. Lindleya zaopatrzenia miasta Warszawy w energię elektryczną* — opublikowany w „Przeglądzie Technicznym“ z roku 1898 a następnie wydany w postaci 112-stronicowej książki uzupełnionej 13 dużymi rysunkami, schematami itp.

Projekt ten stanowi niezmiernie interesujący przegląd stanu techniki w dziedzinie elektryfikacji miast na przełomie XIX i XX wieku.

Autor projektu był w tym czasie niewątpliwie jednym z najlepszych światowych specjalistów i miał za sobą wykonane już i zrealizowane projekty elektrowni i sieci miejskich we Frankfurcie nad Menem, Elberfeldzie i Budapeszcie. W projekcie warszawskim nie kopiuje on jednak poprzednich rozwiązań, lecz usiłuje dać opracowanie pionierskie, stosując wyższe napięcia i bardziej nowoczesne wyposażenie oraz uwzględniając lokalne warunki, w jakich się znajdowała ówczesna Warszawa.

Zarówno wiedza inżynierska W. H. Lindleya, wszechstronność ujęcia tematu jak i niezwykle staranne opracowanie są na podziwu godnym wysokim poziomie, a niektóre tezy projektu nadają się do przypomnienia i w dniu dzisiejszym. I tak we wstępie do projektu znajdujemy, tak bardzo jeszcze dziś aktualne zdanie: „Po zaprowadzeniu urządzeń kanalizacyjnych i wodociągowych, zaczęto doprowadzać do porządku i układać nowe chodniki i bruki. Tę pracę powinno właściwie, w miarę możliwości, poprzedzić ułożenie przewodników dla elektryczności“.

W dalszym ciągu zajmiemy się omówieniem ciekawszych tez projektu oraz metod jego wykonania.

W przypadkach, gdy archaiczna terminologia mogłaby być dla czytelnika dzisiejszego niezrozumiała, w nawiasach podawać będziemy określenia obecnie stosowane.

## PROJEKT W. H. LINDLEYA

### Przewidywane zapotrzebowanie mocy

Ludność Warszawy liczyła w chwili wykonywania projektu 670 000 mieszkańców. Projekt przewiduje wzrost tej ilości do 1 miliona. Powierzchnia miasta wynosząca około 40 km<sup>2</sup> była ograniczona mniej więcej ulicami: Czerniakowską — Parkową — Polną — Nowowiejską — Raszyńską — Towarową — Okopową — Linia obwodową kolejową — Terespolską — Grochowską — rzeką Wisłą.

Całkowite zapotrzebowanie mocy elektrycznej do oświetlenia domów w niedalekiej przyszłości określa autor na 35 000÷40 000 lamp jednocześnie palących się, czyli około 2000 kW. Do tego dochodzi zapotrzebowanie mocy do oświetlenia ulic — 400÷500 kW, do celów napędowych — 400÷600 kW oraz do zasilania sieci tramwajowej — ok. 1000 kW. Łącznie przewidziano zapotrzebowanie mocy ok. 4000 kW.

W „dalekiej“ przyszłości planuje autor projektu „maksymalną sprawność eksploatacji“ (moc szczytową miasta) na 10 000—11 000 kW. Co się tyczy dalszego rozwoju zapotrzebowania mocy, autor jest bardzo ostrożny w swoich przewidywaniach, pisze jednak: „Równocześnie zaś należy obmyślić wszystko tak, ażeby z chwilą gdy zapotrzebowanie przekroczy tę najwyższą sprawność (moc szczytową), można je było zaspokoić za pomocą nowej stacji centralnej, która założona w odpowiednim miejscu, mogłaby za pomocą z góry przygotowanych i wykonanych punktów, połączyć się do wspólnego działania z siecią kabli i systemem przewodników rozdzielających“.

### Wybór napięcia i rodzaju prądu

Autor wyklucza możliwość zastosowania prądu stałego zarówno ze względu na obszar miasta, jak i niecelowość budowy większej ilości małych elektrowni.

Jako podstawową zaletę prądu zmiennego Lindley słusznie uważa łatwość jego transformacji. Wprowadzenie prądu stałego uczyni-

łoby sieć trudną do rozbudowy i przekreśliłoby możliwości dostawy energii do poszczególnych odbiorców, położonych w większej odległości od stacji wytwórczych. Pod względem sprawności ruchu oba rodzaje prądu uważa autor za równorzędne podkreślając, że brak akumulatorów przy prądzie zmiennym można łatwo skompensować bogatszym zaprojektowaniem sieci i zasilaniem ważniejszych odbiorców z paru stron, niezależnymi liniami. W projekcie podkreśla się zresztą, że odbiorcy najważniejsi (teatry, wielkie gmachy publiczne itp.) będą również i przy prądzie zmiennym posiadać rezerwowe zasilanie oświetlenia prądem stałym z baterii akumulatorów, ładowanych przy pomocy przetwornic.

Autor projektu uważa prąd zmienny za całkowicie równoważący z prądem stałym odnośnie zastosowania do napędu. Silnik prądu zmiennego posiada co prawda gorszy moment rozruchowy i trudniejszą regulację obrotów, równoważy się to jednak prostszą budową i mniej złożonymi urządzeniami rozruchowymi.

Przy rozważaniach na temat wyboru rodzaju prądu Lindley słusznie pomija problem zasilania sieci tramwajowej, wychodząc z założenia, że posiadać ona będzie znacznie wyższe napięcie (600 V) i w każdym rozwiązaniu wymagać będzie do zasilania osobnych urządzeń prądotwórczych lub przetwornic.

Decydując się na wprowadzenie na terenie Warszawy prądu zmiennego zakłada się jednocześnie dwunapięciowy układ sieci, przy czym ze względu na rozmiary miasta i wielkość obciążeń, autor projektu uważa za celowe wprowadzenie napięcia 4000 lub nawet 5000 V. Podkreślić należy, że była to jedna z pionierskich tez projektu, gdyż do momentu jego opracowania w żadnej sieci miejskiej napięcie nie przekraczało 4000 V. W poprzednich np. projektach Lindleya zastosowano: we Frankfurcie nad Menem i Budapeszcie — 3000 V i w Elberfeldzie — 4000 V. Propozycja wprowadzenia w Warszawie napięcia 5000 V oparta była na ofertach czołowych firm produkujących prądnice i kable wysokiego napięcia.

Celem ostatecznego wyboru napięcia opracowano projekt sieci w czterech wariantach:

wysokie napięcie	5000 V 1-faz +	niskie napięcie	120 V 1-faz,
„	„ 5000 V 1-faz +	„	„ 2x120 V 2-faz.
„	„ 5000 V 3-faz +	„	„ 3x120 V 3-faz, 3-przew.
„	„ 5000 V 3-faz +	„	„ 3x120 V + 0 3-faz, 4-przew

Dla każdego wariantu wykonano szczegółowy kosztorys, przy czym koszty we wszystkich przypadkach wypadły prawie jednakowe.



Odwaga Lindleya, którą wykazał przy wyborze wysokości napięcia, zawodzi jednak, gdy chodzi o wprowadzenie układu trójfazowego. Piśze on między innymi: „Prąd 3-fazowy posiada cały szereg wad i jest mocno skomplikowany, szczególnie w takich urządzeniach, gdzie chodzi nie tyle o zasilanie motorów, ile o oświetlenie miasta“. „Łączniki i przyrządy na całej tablicy rozdzielowej i na szynach zbiornikowych muszą być o 50% zwiększone i bardziej skomplikowane“. Autor stwierdza jednak obiektywnie, że przy prądzie trójfazowym koszty prądnic będą znacznie niższe, a rozruch silników będzie prostszy, dodając jednak zaraz, że trudności z rozruchem silników jednofazowych można „usunąć za pomocą odpowiednich urządzeń mechanicznych“.(?)

Wariant drugi, to jest dwufazową sieć niskiego napięcia, autor odrzuca ze względu na „ujemną stronę stanowiącą wprowadzenie prądu zmiennego o napięciu 240 V do wnętrza domów“.

Ostatecznie wybrano wariant pierwszy, sieci jednofazowej dwuprzewodowej.

#### Wy b ó r m i e j s c a „ s t a c j i c e n t r a l n e j “ ( e l e k t r o w n i )

Wybór miejsca na elektrownię oparty jest na wszechstronnych rozważaniach i szczegółowym rachunku ekonomicznym. Jako dwa główne czynniki, mające wpływ na usytuowanie elektrowni, przyjmuje się podobnie jak i dziś: łatwość dostarczenia wody do chłodzenia skraplaczy oraz tania dostawa paliwa.

Nie pomija się jednak nie tylko takich czynników jak odległość od głównych ośrodków spożycia energii i kierunek najczęściej wiejących wiatrów (a więc możliwość zadymiania miasta przez elektrownię wzniesioną w jego zachodniej części), lecz rozważa się nawet oszczędności, jakie można by osiągnąć na administracji elektrowni przez zlokalizowanie jej na wspólnym placu ze stacją pomp lub z filtrami wodociągowymi.

Rozpatrzono 6 zasadniczych wariantów usytuowania elektrowni:

1. Na lewym brzegu Wisły koło Cytadeli.
2. „ „ „ „ przy stacji pomp na Czerniakowskiej.
3. „ „ „ „ w bliskości starego wodociągu przy ul. Dobrej i Karowej.
4. Na prawym brzegu Wisły w pobliżu mostu „Aleksandryjskiego“ (Kierbedzia).

5. Na „Koszykach“, na terenie stacji filtrów.
6. Przy kolei obwodowej, parę subwariantów, między innymi na Powązkach.

Warianty „Cytadela“ i „Czerniakowska“ uznane zostały za niewłaściwe ze względu na odległość od centrum miasta, jakim były w tym czasie okolice Placu Teatralnego, ul. Wierzbowej i Mazowieckiej, ponadto wariant „Czerniakowska“ posiadał trudny dowóz węgla.

Wariant 4 „Praga“ odrzucono ze względu na konieczność prowadzenia wszystkich kabli zasilających lewobrzeżną część miasta przez most.

Zaletą wariantów 5 i 6 była łatwość doprowadzenia bocznic kolejowej, wadą natomiast — brak wody chłodzącej. Lindley przeprowadza jednak obliczenia użycia do chłodzenia skraplaczy zarówno ścieków kanałowych (wariant „Powązki“), jak też i wody pitnej, zasilającej wodociągi (wariant „Koszyki“); dopatrywano się nawet korzyści z podgrzewania w zimie tej wody o 4—6 stopni, co zmniejszyłoby niebezpieczeństwo jej zamarzania w rurach instalacyjnych.

Ostatecznie jednak projekt wybiera wariant „Dobra“, posiadający tylko jedną zasadniczą wadę, tj. trudny dowóz węgla, natomiast umożliwiający duże oszczędności sieciowe, a nawet w razie potrzeby przyjęcie niższego napięcia sieci zasilającej (4000 V zamiast 5000 V).

### Projekt „stacji centralnej“ (elektrowni)

Maszynownię zaprojektowano jako budynek o wymiarach  $100 \times 24$  m, z miejscem na ustawienie 4 maszyn parowych po 1000 kW i 4 po 2000 kW (razem 12 000 kW). W alternatywie przewidziano 6 maszyn parowych po 1000 kW i 6 turbin parowych po 1000 kW.

Decyzja w sprawie równoległego stosowania turbin i maszyn parowych oparta jest na rozumowaniu, które dzisiaj może wydawać się śmieszne, było jednak w pełni uzasadnione ówczesnym stanem techniki i świadczy raczej o wysokim poziomie projektanta. Lindley zdaje sobie sprawę, że przy przewadze odbiorników oświetleniowych, obciążenie miasta w godzinach wieczornych będzie wielokrotnie większe od obciążenia dziennego, czy też nocnego i wymagać będzie uruchomienia w okresie szczytu większej ilości jednostek prądotwórczych na stosunkowo krótki okres czasu. Wobec tego decyduje się na zróżnicowanie maszyn, dzieląc je na te, które pracować będą stale oraz te, które — jak to dzisiaj mówimy — uruchamiane są „w szczycie obciążenia“. Od maszyn stale pracujących wymagać będzie więk-

szej sprawności, godząc się na większe ich koszty. Od maszyn pracujących „w szczycie“ wymaga łatwości rozruchu, łatwiejszej obsługi i niższej ceny.

W rezultacie jako jednostki pracujące stale wybiera projektant — maszyny parowe (!), gdyż ówczesna turbina parowa, będąc o ok. 28% tańsza zużywała na 1 kWh o ok. 30% więcej pary (!). Natomiast szybki rozruch turbin, łatwość smarowania i obsługi, predestynują je do pracy „szczytowej“.

Jednostkowe zużycie pary średnio szacowano:

maszyny parowe	8,5 kg/kWh
turbiny	11,4 kg/kWh

Kotłownia o wymiarach budynku  $94 \times 35$  m była przewidziana na 20 kotłów po 100 m<sup>2</sup> powierzchni ogrzewalnej i 20 kotłów po 260 m<sup>2</sup>. Temperatura przegrzania 300°C.

Pompownia o wymiarach budynku  $17 \times 14$  m posiadać miała 8 pomp zasilających o wydajności 3000 do 24 000 ltr/godzinę i 8 pomp do wody chłodzącej o wydajności od 125 do 250 ltr/sek.

Przy obliczaniu kosztu wytwarzania wzięto pod uwagę korzyści, jakie można osiągnąć przez rozwój spożycia energii do celów napędowych; pozwoliłoby to na lepsze wykorzystanie maszyn pracujących normalnie tylko w porze wieczornej, a tym samym na obniżenie średniego kosztu 1 kWh dla wszystkich odbiorców.

### Projekt sieci miejskiej

Cały układ sieciowy podzielono w projekcie na następujących 6 części:

- „Stacja centralna wytwarzająca prąd o wysokim napięciu“ z prądnicami 5 kV (elektrownia).
- „Główne przewody zasilające“ (linie zasilające 5 kV).
- „Główne punkty zasilające“ (rozdzielnie sieciowe 5 kV).
- „Sieć przewodników pierwszorzędnych“ (linie rozdzielcze 5 kV).
- Stacje transformatorowe.
- „Drugorzędna sieć przewodów“ (sieć niskiego napięcia).

Przewidziano wyłącznie sieć kablową o następujący przekrojach przewodów:

Główne kable zasilające 5 kV:  $2 \times 200$  mm<sup>2</sup>Cu o łącznej długości, łącznie z połączeniami rezerwowymi, ok. 74 km.

Kable rozdzielcze 5 kV :  $2 \times 35 \text{ mm}^2 \text{Cu}$  o łącznej długości ok. 160 km. Kable niskiego napięcia 120 V :  $2 \times 100 \text{ mm}^2 \text{Cu}$  o łącznej długości ok. 270 km.

Główne punkty zasilające (rozdzielnie sieciowe), oprócz połączenia liniami zasilającymi z elektrownią, miały przewidziane liczne połączenia „pomocnicze i wyrównujące“, tworząc układ sieci zamkniętej (węzłowej). Autorzy projektu nie przeprowadzają jednak rozważań nad zabezpieczeniami tego układu od zwarć, ograniczając się tylko do stosowania bezpieczników na kablach wychodzących z elektrowni. Podkreślić zresztą należy, że w całej sieci, łącznie z rozdzielnią elektrowni, oprócz bezpieczników nie ma żadnych innych urządzeń zabezpieczających.

Sieć rozdzielcza 5 kV zaprojektowana jest jako promieniowa, natomiast sieć niskiego napięcia ma stanowić układ węzłowy, zamknięty, zabezpieczony „ołowianymi bezpiecznikami“.

Do obliczeń sieci rozdzielczej niskiego napięcia przyjęto następujące obciążenia liniowe:

w śródmieściu	150—225 W/mb
dalej od śródmieścia	40—70 W/mb
w „dzielnicach obwodowych“	25—50 W/mb

Wszystkie te linie liczone są na dopuszczalne spadki napięcia wynoszące:

w sieci zasilającej	2%
w sieci rozdzielczej	0,5%
w sieci niskiego napięcia	1,25%

W połączeniach krótkich decydowało oczywiście maksymalne obciążenie grzejne. Celem przyspieszenia obliczeń autor projektu skonstruował własny nomogram, przy pomocy którego dla zadanej mocy przesyłowej i długości linii można określić, drogą graficzną, przekrój kabla.

Określenie mocy transformatorów wynikało z założenia, że na każdym skrzyżowaniu ulic będzie ustawiona stacja transformatorowa, w zasadzie podziemna, zasilająca kable ułożone po obu stronach zbiegających się w tym punkcie ulic. Średnia odległość między stacjami transformatorowymi wypadła w ten sposób w śródmieściu 100—150 m, a na peryferiach 150—300 m. Moc transformatorów, z reguły olejowych, znormalizowano w trzech wielkościach 15, 25 i 35 kW, co odpowiada „300, 500 i 700 lampom żarowym“.

Był również rozważany wariant niebudowania w ogóle sieci niskiego napięcia, lecz umieszczenia w każdym domu osobnego transformatora, podobnie jak to 50 lat później stosować zaczęto w miastach amerykańskich. Wariant ten jednak odrzucono, zarówno ze względu na wielki koszt transformatorów i start biegu jałowego, jak też i ze względów bezpieczeństwa.

Kable układane wprost w ziemi, na głębokości 0,7 m; skrzyżowania z ulicami w rurach żeliwnych, ułożonych z dużym zapasem w okresie wykonywania nawierzchni ulicy, jeszcze przed budową samej sieci.

Projekt sieci wykonany jest w ten sposób, że na planie miasta naniesiono sieć zasilającą wysokiego napięcia, natomiast plany linii wyrównawczych i rozdzielczych oraz sieci niskiego napięcia wykonano w postaci 3 osobnych rysunków, wykonanych na przezroczystej kalce, każdy innym kolorem. Przez nałożenie kalki na plan miasta można w ten sposób ustalić położenie wszystkich kabli danej części sieci\*.

Oprócz planów sieci do opisu projektu dołączony jest ideowy schemat połączeń elektrowni i sieci, wykonany dwuprzewodowo, pięciobarwnie.

W opisie technicznym położono poza tym szczególny nacisk na system oznaczania kabli i innych elementów sieci. „Znakowanie powinno być ułożone w ten sposób, ażeby przy dalszym rozwoju sieci numeracja mogła być stosownie rozwinięta, bez przerw lub określeń specjalnych“.

### Dalsze losy projektu

Opublikowanie projektu w „Przeglądzie Technicznym“ było jednocześnie poddaniem go pod publiczną krytykę i kontrolę. W jednym z dalszych numerów tego czasopisma znajduje się artykuł inż. Aleksandra Rotherta (późniejszego profesora i jednego z najznakomitszych polskich elektryków) poświęcony krytyce przyjętego przez W. H. Lindleya układu jednofazowego. Autor artykułu wykazuje, że sieć trójfazowa z wielu względów będzie w Warszawie korzystniejsza.

Realizacja projektu nie następuje natychmiast, głównie ze względów finansowych. Dopiero oddanie w r. 1901 koncesji firmie zagra-

---

\* Redakcja nie była w stanie załączyć do tego artykułu kopii opisanych rysunków. To, co było możliwe w roku 1898, okazało się niewykonalne dla Państwowego Wydawnictwa Naukowego w r. 1958 (Przyp. redakcji).

nicznej doprowadziło w r. 1903 do uruchomienia elektrowni i sieci. Elektrownia została wybudowana, zgodnie z projektem W. H. Lindleya, na Powiślu, nieco bardziej tylko na południe, bo przy wylocie ulicy Tamka. Układ sieci natomiast i rozmieszczenie istniejących do dziś dnia głównych rozdzielni niewiele odbiega od przyjętego w projekcie Lindleya.

Również i napięcie sieci 5000 V i 120 V są zgodne z powyższym projektem, z tą jednak różnicą, że prąd jest trójfazowy, zamiast jednofazowego.

Po wybudowaniu sieci próbowano ją eksploatować w układzie zamkniętym, jednak ogromne trudności z opanowaniem zakłóceń przy braku odpowiednich urządzeń zabezpieczających zmusiły do rozcięcia sieci. W tym układzie pracuje ona, niestety, do dziś dnia, pomimo że rozwój techniki sieciowej doprowadził już w latach 1925—1930 do stosowania miejskich sieci zamkniętych.

Jak widać z powyższego, wystartowaliśmy w dziedzinie techniki elektryfikacji miast mniej więcej jednocześnie z przodującymi krajami świata, niestety jednak, lata niewoli, okupacji i złej gospodarki doprowadziły do tego, że w chwili obecnej jesteśmy pod niektórymi względami opóźnieni o ok. 30 lat. Dopiero więc np. w najbliższych latach przewidujemy wprowadzenie w niektórych dzielnicach Warszawy sieci zamkniętej, której dodatnie strony widział Lindley już 60 lat temu, a którą w wielu krajach stosuje się już z powodzeniem od lat 30.

## ИСТОРИЯ ПЕРВОГО ПРОЕКТА ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ВАРШАВЫ

В начале статьи кратко охарактеризовано развитие электрификации европейских городов на протяжении последних десятилетий XIX века и, в частности, расширение сети электростанций и электрических линий в городах Польши. Затем в сжатой форме описан первый проект электрификации Варшавы, разработанный инженером В. Г. Линдлеем в 1898 году.

Проект состоял из следующих частей:

1. Определение предусматриваемой потребляемой мощности
2. Выбор напряжения и род токов
3. Выбор места для строительства электростанции
4. Проект электростанции в районе Повисле
5. Проект городской электросети.

Созданный В. Г. Линдлеем проект являлся весьма новаторским для того времени, так, например, предусмотренное в нем напряжение сети

в 5000 вольт было рекордным (до этого проекта применявшееся предельное напряжение составляло 4000 вольт).

Высокий технический и экономический уровень, а также превосходное графическое оформление проекта, изданного в виде книги (схемы и чертежи выполнены в пяти красках), являются примером высочайшего достижения в области инженерного дела прошлого столетия и также в настоящее время могут служить образцом для современных проектировщиков.

В заключение статьи приведены данные о судьбах проекта, о сделанных в нем изменениях и об его осуществлении в последующее время.

Следует отметить, что ряд участков городской электросети, спроектированных В. Г. Линдлеем в 1898 году, работает безотказно по сегодняшний день.

#### THE STORY OF THE FIRST ELECTRIFICATION SCHEME FOR WARSAW

After a brief introduction dealing with the development of electrification of European cities during the last few decades of the nineteenth century and particularly, the development of power stations and electric networks in Polish towns, the article goes on to a condensed description of the first electrification scheme for the city of Warsaw, submitted in 1898 by the engineer W. H. Lindley.

The scheme is made up of the following main parts:

- (1) determining the quantity of power expected to be required;
- (2) choosing the strength and kind of current expected to be required;
- (3) choosing the site for the power station;
- (4) the scheme of the power station in Powiśle;
- (5) the scheme of the municipal network.

For his time, W. H. Lindley was a pioneer in the manner in which he solved his task, — eg. the voltage he chose for his network, 5000 V, was of a record height (since prior to the Warsaw network scheme, the highest voltage used had been 4000 V).

The high technical and economic level, as well as the exquisite appearance of the scheme edited in book form (fivecolour diagrams and drawings) serve as an example of supreme achievement in the art of engineering of the period, and could indeed serve as a model for our contemporary constructors.

In the conclusion, a brief account of the scheme's further fate is given including the changes that had been introduced, and of the later forms, in which it was finally executed.

It is worth noting that a fair number of sections of the Warsaw municipal network drawn up by W. H. Lindley in 1898, are still working most satisfactorily even now.