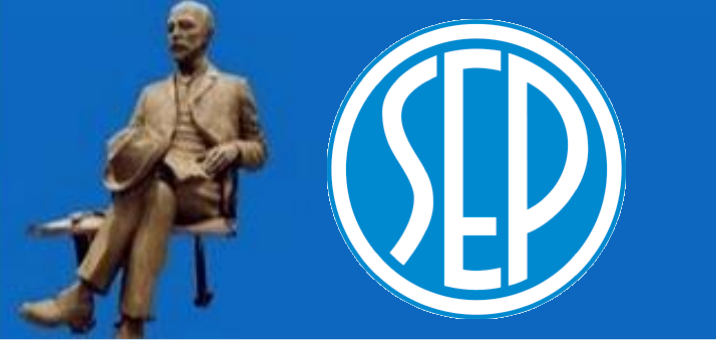


Jubileusz 160-lecia
urodzin Michała
Doliwo-Dobrowolskiego

Szczecin, 10 czerwca 2022 r.



Trzy przykłady początków techniki prądu przemiennej trójfazowej na ziemiach polskich do końca XIX wieku

Three examples of the beginnings of three-phase alternating current technique in Poland up to the end of the 19th century

Jerzy Hickiewicz, Piotr Rataj

Pracownia Historyczna SEP w Opolu

Historical Study Lab of Association of Polish Electrical Engineers

Wstęp – zasięg instalacji prądu stałego

Introduction – coverage of DC installations

- Instalacje prądu stałego powstawały jeszcze po pokazowym przesłaniu energii elektrycznej, na odległość 175 km linią prądu przemiennego, dokonany w 1891 r. Ale klęska prądu stałego była nieunikniona, a przyczyną były wynikające z prawa Ohma **spadki napięcia**. 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 $\gamma = 56 \text{ m/om mm}^2$, określony jest zależnością:

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

- Wprowadzając pojęcie **gęstości prądowej** $s = I/q$ otrzymuje się:

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

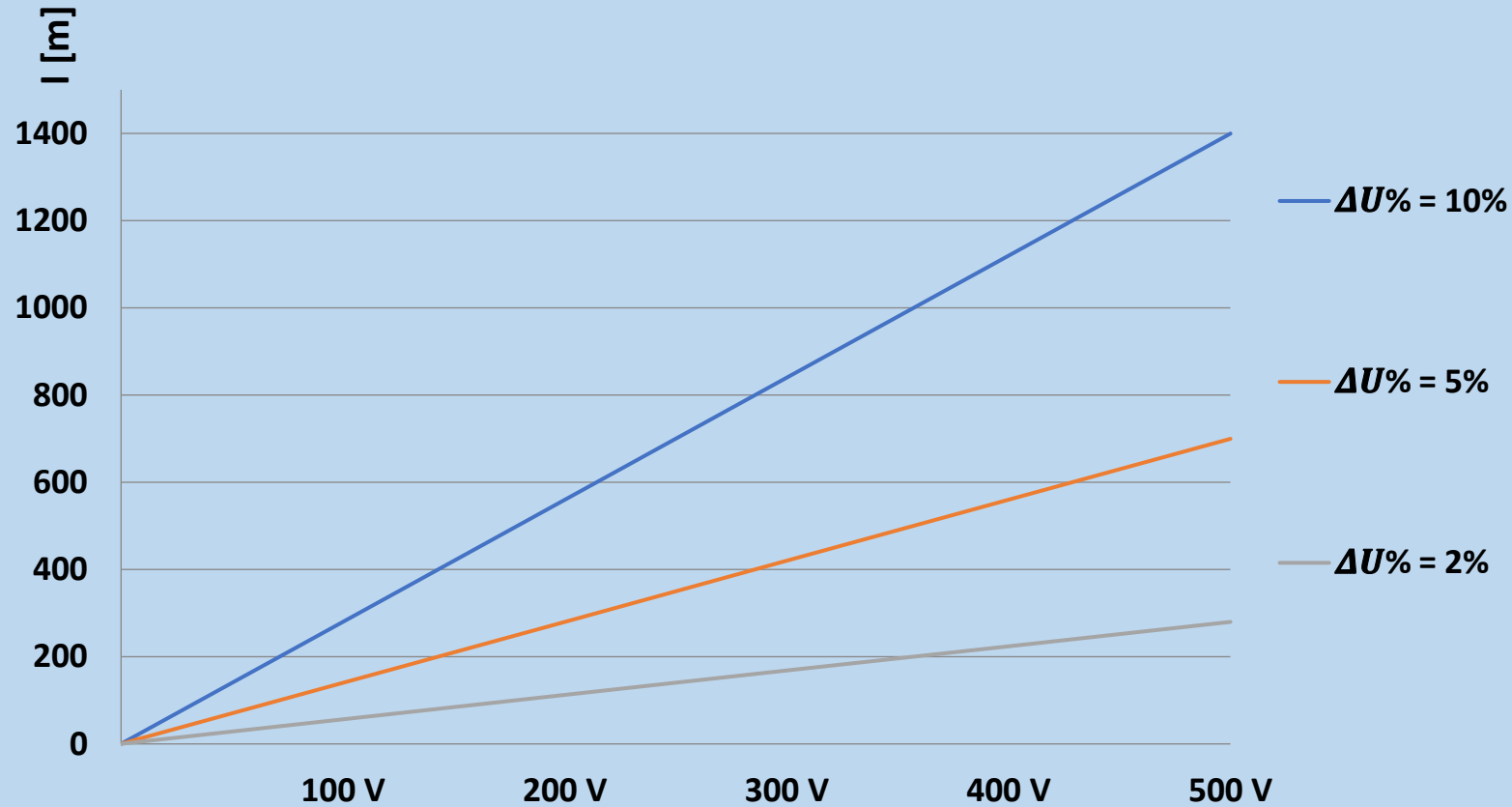
- **Procentowy spadek napięcia nie zależy od prądu**, czyli od wartości przesyłanej energii. Zależy jedynie od **stosunku długości linii l do napięcia linii U** oraz gęstości prądu s

- Z kolei zależność długości linii l od jej napięcia U :

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

- Przyjmowane wartości s mieszczą się zwykle w granicach 2 – 4 A/mm²

- Przyjmując, $s = 2 \text{ A/mm}^2$ a ponadto kolejno $\Delta U_{\%} = 2\%, 5\%, 10\%$ można przykładowo wyznaczyć zależność $l = f(U)$ linii, obciążonej prądem I , przy którym $\Delta U_{\%}$ nie przekraczają wartości zadanych:



- Wykres ten pokazuje liniową zależność l od U oraz to, że zwiększa się ona wraz ze zwiększeniem wartości $\Delta U_{\%}$. Przy napięciu $U = 440 \text{ V}$ (najwyższym w instalacjach prądu stałego) dopuszczalne długości linii osiągają wartości od 246,4 m do 1232 m.
- Pokazane zależności **pokazują wymiennie ograniczenia zasięgu instalacji prądu stałego**
- Istnieją możliwości **powiększenia zasięgu** przez powiększaniu przekroju przewodu niż wynikałby on z warunku nagrzania przewodu. Prowadzi to do **zwiększenia zużycia miedzi i zwiększenia kosztów instalacji**

1. Pionierski przesył energii elektrycznej prądem przemiennym trójfazowym

1. Pioneering three-phase alternating-current electricity transmission

- W 1891 r. Michał Doliwo-Dobrowolski dokonał pionierskiego eksperymentu transmisji energii elektrycznej na odległość 175 km, systemem prądu przemiennego trójfazowego
- Ziemie polskie były wówczas pod zaborami. W referacie chcielibyśmy zwrócić uwagę na trzy przykłady zaadaptowania tej techniki na ziemiach polskich jeszcze w XIX wieku, w Warszawie, we Lwowie i w Borystawiu

The Polish lands in the second half of the 19th century



Ziemie polskie w drugiej połowie XIX w.

- granicz państw zaborczych
- granica Królestwa Polskiego
- ważniejsze linie kolejowe
- huty

- kopalnie węgla kamiennego
- obszary eksploatacji i rafinerie ropy naftowej
- przemysł metalurgiczny i maszynowy
- przemysł stoczniowy
- porty morskie i rzeczne

- kopalnie i wazelnie soli kamiennnej
- przemysł włókienniczy
- większe browary

2. Warszawa – instalacja oświetleniowa na II Wystawie Higienicznej z 1896 r.

2. Warsaw – lighting installation at the Second Hygienic Exhibition of 1896

- Zapewne najstarszą polską trójfazową elektrownią była tymczasowa elektrownia, która posłużyła do zasilania oświetlenia elektrycznego II Wystawy Higienicznej w Warszawie (maj-lipiec 1896) zlokalizowanej na terenie, na którym obecnie znajduje się gmach główny i kampus Politechniki Warszawskiej
- Instalację wykonała firma inż. Mariana Lutosławskiego, wybitnego elektrotechnika, absolwenta politechniki w Darmstadt, znanej z pionierskiej roli w rozwoju techniki prądu przemiennego trójfazowego

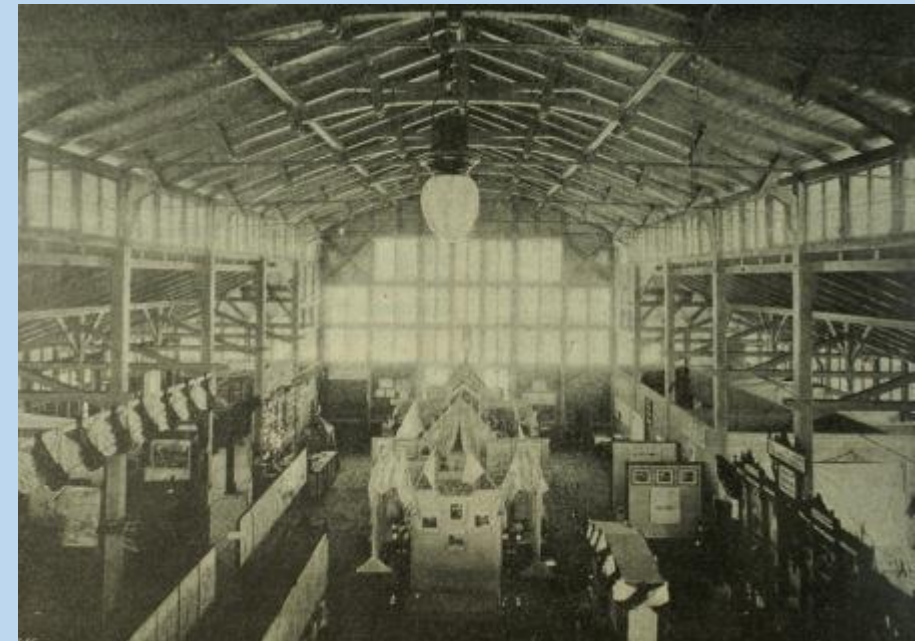


Marian Lutosławski
(1871-1918)



Second hygiene exhibition
plan in Warsaw 1896

Wnętrze jednego z pomieszczeń wystawy
Interior of one of the exhibition rooms



- **Elektrownia była oddalona o 1200 m** od terenu wystawy, znajdowała się tam maszyna parowa o mocy 150 KM, 180 obr./min.
- Napędzała ona przy użyciu przekładni pasowej wał generatora trójfazowego z prędkością $n = 420$ obr./min.
- **Generator był produkcji szwajcarskiej firmy Brown-Boveri**, była to maszyna synchroniczna o odwróconej budowie, o mocy ok. 100 kW
- **Trójfazowe uzwojenie** w którym wytwarzane było napięcie przemienne umieszczone **było w wirniku**
- Z pierścieni, przez szczotki, a potem kablem wyprowadzone było napięcie prądu przemiennego na deskę rozdzielczą. Napięcie generatora wynosiło 500 V, a częstotliwość 42 Hz
- **Uzwojenie wzbudzenia znajdowało się w stojanie** i zasilane było z boczniowej **wzbudnicy prądu stałego**
- Regulacja napięcia dokonywana była dwoma rezystorami, jednym włączonym w obwód wzbudzenia generatora i drugim w obwód wzbudzenia wzbudnicy

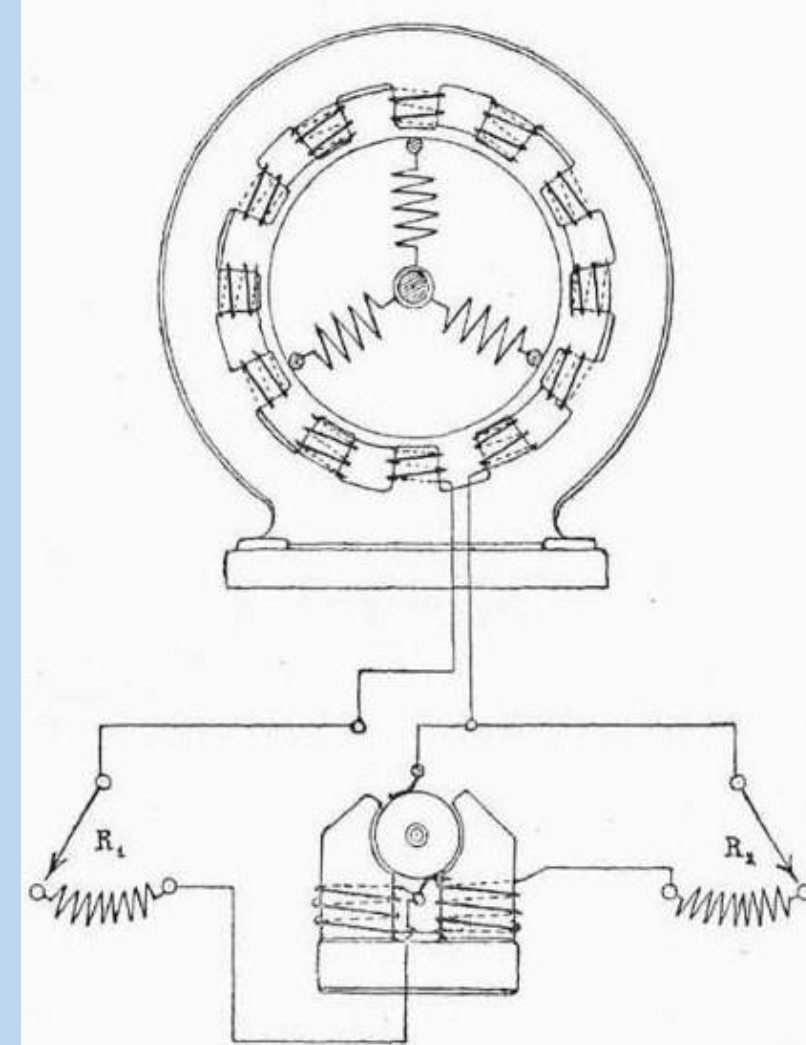
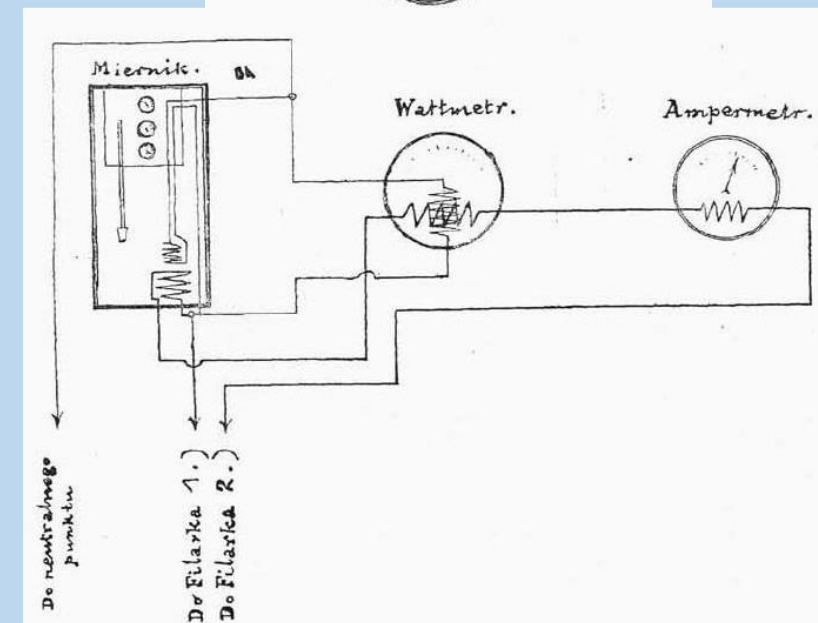
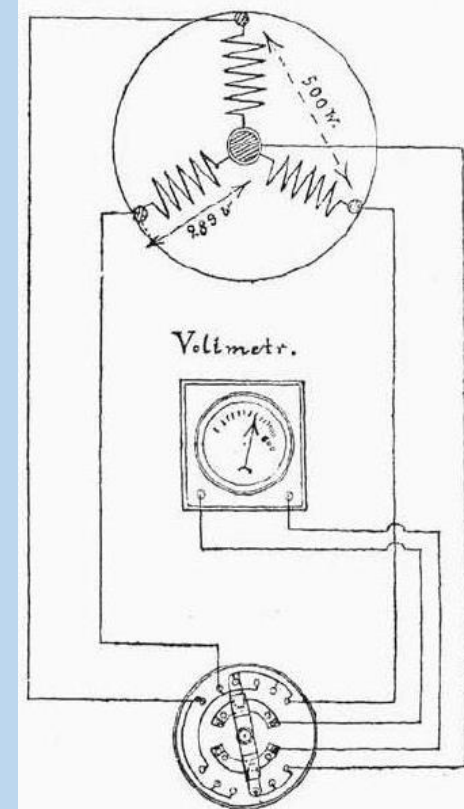


Diagram of the Brown-Boveri generator used by Lutostawski

- **Energia elektryczna dostarczana** była do rozdzielni WN na terenie wystawy **trójfazową linią napowietrzną 500 V**. Znajdowała się tam **stacja transformatorowa**, sześć **jednofazowych transformatorów** obniżających napięcie, połączonych w **dwa równoległe układy trójfazowe**
- Pierwsza grupa trzech transformatorów służyła do **zasilania lamp łukowych**, druga do lamp żarowych
- Ponadto bezpośrednio z napięcia 500 V zasilany był silnik 1,5 KM napędzający pompę rozpylaczy. Była też instalacji do gotowania kawy i czekolady oraz do zasilania zapalniczek

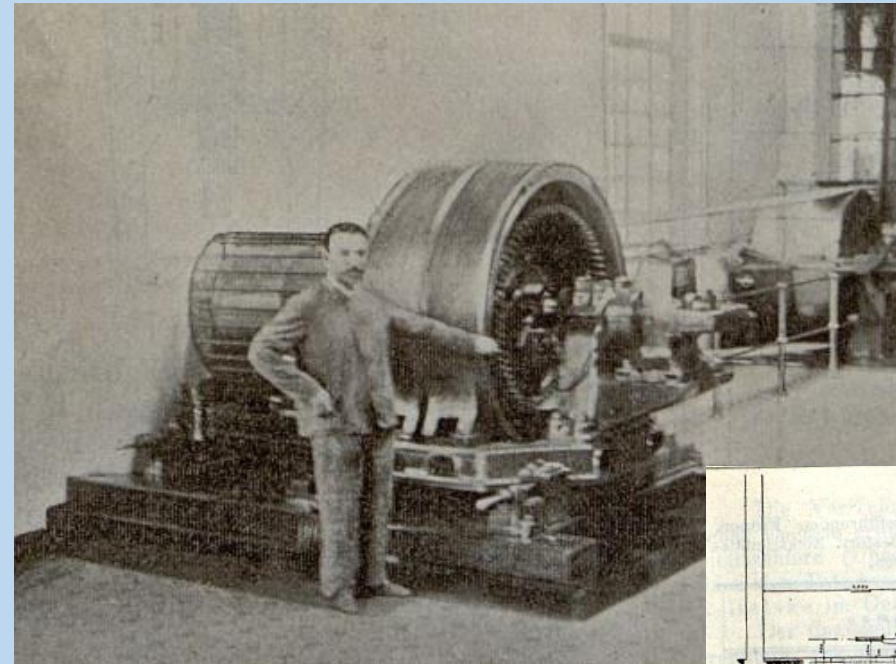


Układy pomiarowe
Measuring systems

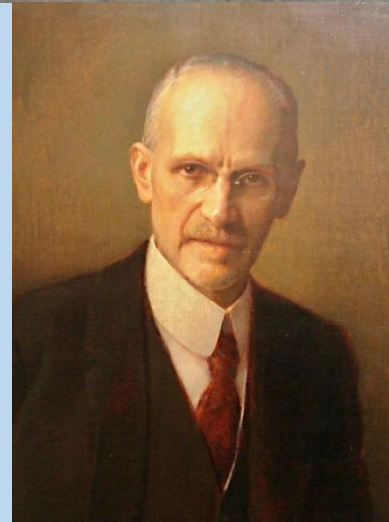
3. Lwów – elektrownia w warsztatach kolejowych 1898 r. – elektryczny napęd grupowy

3. Lviv - power station in the railway workshops 1898 - electric group drive

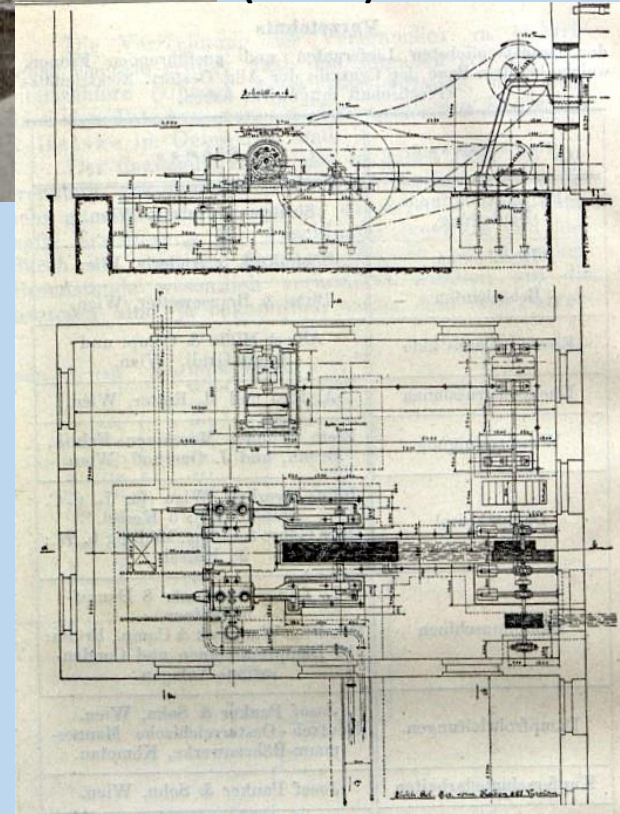
- W lipcu 1898 r. oddano do użytku elektrownię w warsztatach kolejowych kolei państwowej we Lwowie
- **Obsługiwała** kompleks budynków w których naprawiano i budowano wagony, lokomotywy itp. **stolarnię oraz kuźnię**
- Wykonała ją firma **EAG wcześniej Kolben** (później znana jako ČKD) z Pragi, która też dostarczyła generator i motory
- **W elektrowni była jedna maszyna parowa** o mocy 240 KM 85 obr./min. wyposażona w koło zamachowe o średnicy 4 m.
- **Napędzała ona** przez przekładnie z jednej strony duże tokarki, a z drugiej strony dwunastobiegunowy **generator trójfazowy o mocy 110 KM**, 500 obr./min., napięciu 220 V i częstotliwości 50 Hz



Generator w elektrowni (po lewej) i schemat elektrowni (poniżej)
Generator at the power station (left) and diagram of the power station (below)

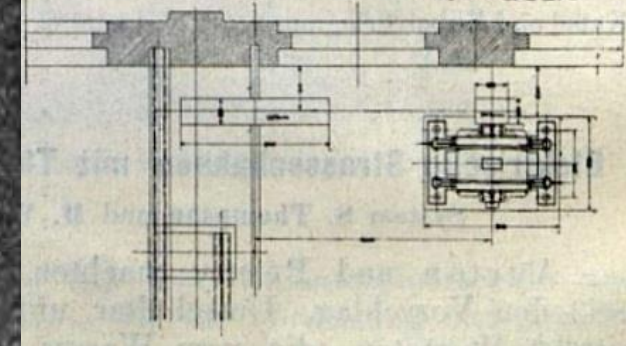
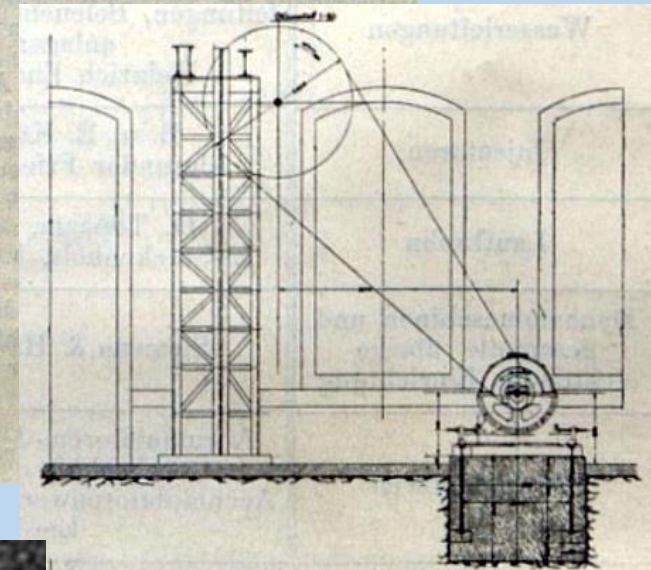
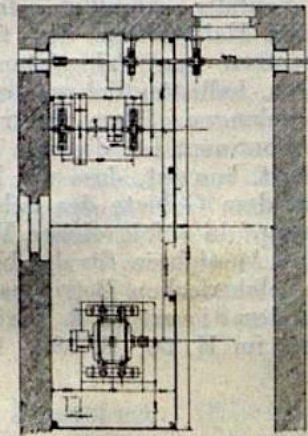
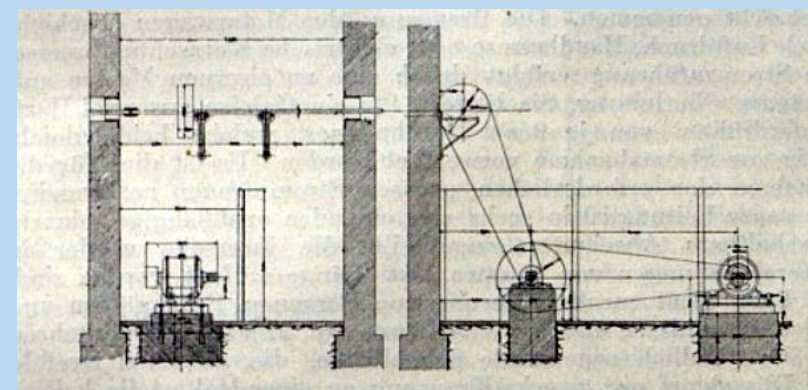


Emil Kolben (1862-1943)



**Schemat układu napędu elektrycznego grupowego
w stolarni (u góry) i w kuźni (poniżej)
Diagram of the electric group drive system in the
woodworks (above) and in the forge (below)**

- **Energię elektryczną doprowadzano** kablami do rozdzielnicy głównej skąd była kierowana **do kuźni i stolarni**
- **W stolarni** zastosowano **silnik trójfazowy 30 KM 960 obr./min.**, który **przez przekładnię pośrednią, połączoną z głównym wałem transmisyjnym, napędzał różne maszyny stolarskie** z prędkością 120 obr./min.
- **W kuźni** był **silnik trójfazowy 50 KM 725 obr./min.**, który za pomocą pasów **napędzał wał główny 150 obr./min.** do którego **podłączone były różne maszyny**: do obróbki blachy, kotlarskie, sprężarki i kompresory do nitowania
- Pozostawiano zatem **napęd grupowy**, a więc jedynie **zastąpiono maszynę parową motorem elektrycznym**
- Instalacja oświetleniowa wykonana była w ten sposób, że lampy zasilane były przewodami bezpośrednio z generatora
- Wśród projektantów instalacji znalazł się kierownik warsztatów **Ignacy Drewnowski**, ojciec Kazimierza Drewnowskiego

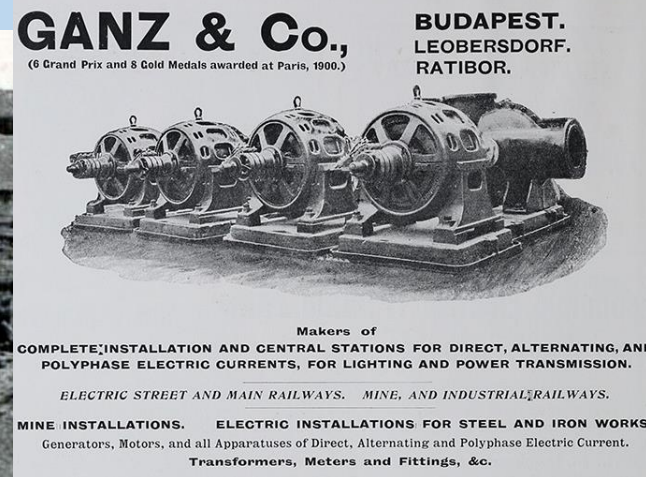


Ignacy Drewnowski (1846-1920)

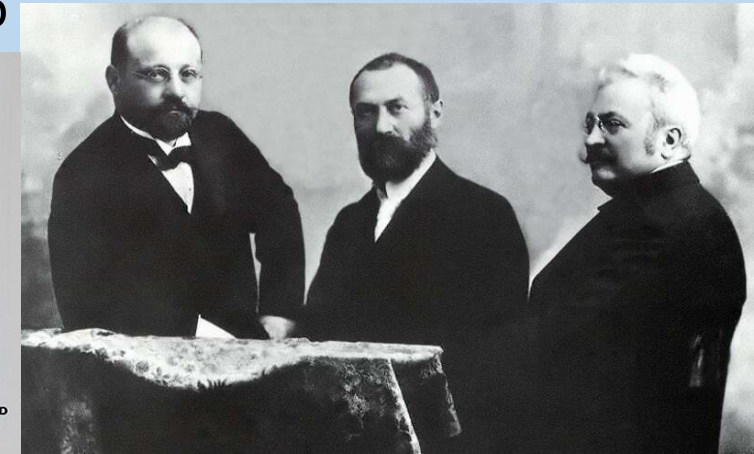
4. Borysław – elektrownia w kopalni nafty (1897-1898) - elektryczny napęd indywidualny

4. Boryslav - power station in the oil mine (1897-1898) - individual electric drive

- Elektrownia powstała na przełomie lat 1897-1898, ok. 750 m od stacji kolejowej w Borysławiu, na terenie kopalni nafty własności Galicyjskiego Banku Kredytowego i Compagnie Commerciale Française
- **Początkowo ropa była tam wydobywana ręcznie**, kubłami za pomocą kołowrotów. Zdecydowano się **użyć elektrycznego napędu do wydobywania**, a także do **wentylacji, odpompowywania** wody z szybów i oświetlenia terenu kopalni
- W elektrowni były trzy **maszyny parowe po 150 KM** i 210 obr./min. z którymi **połączone** były dwa **trójfazowe generatory** węgierskiej firmy **Ganz** które mogły działać samodzielnie lub pracować połączone równolegle, sprawność ich wynosiła 92%, dawały 330 V prądu przemiennego trójfazowego
- Każdy z generatorów miał **bocznikową wzbudnicę prądnicę prądu stałego**



Teren kopalni Potok w Borysławiu
Site of the Potok Mine in Boryslav

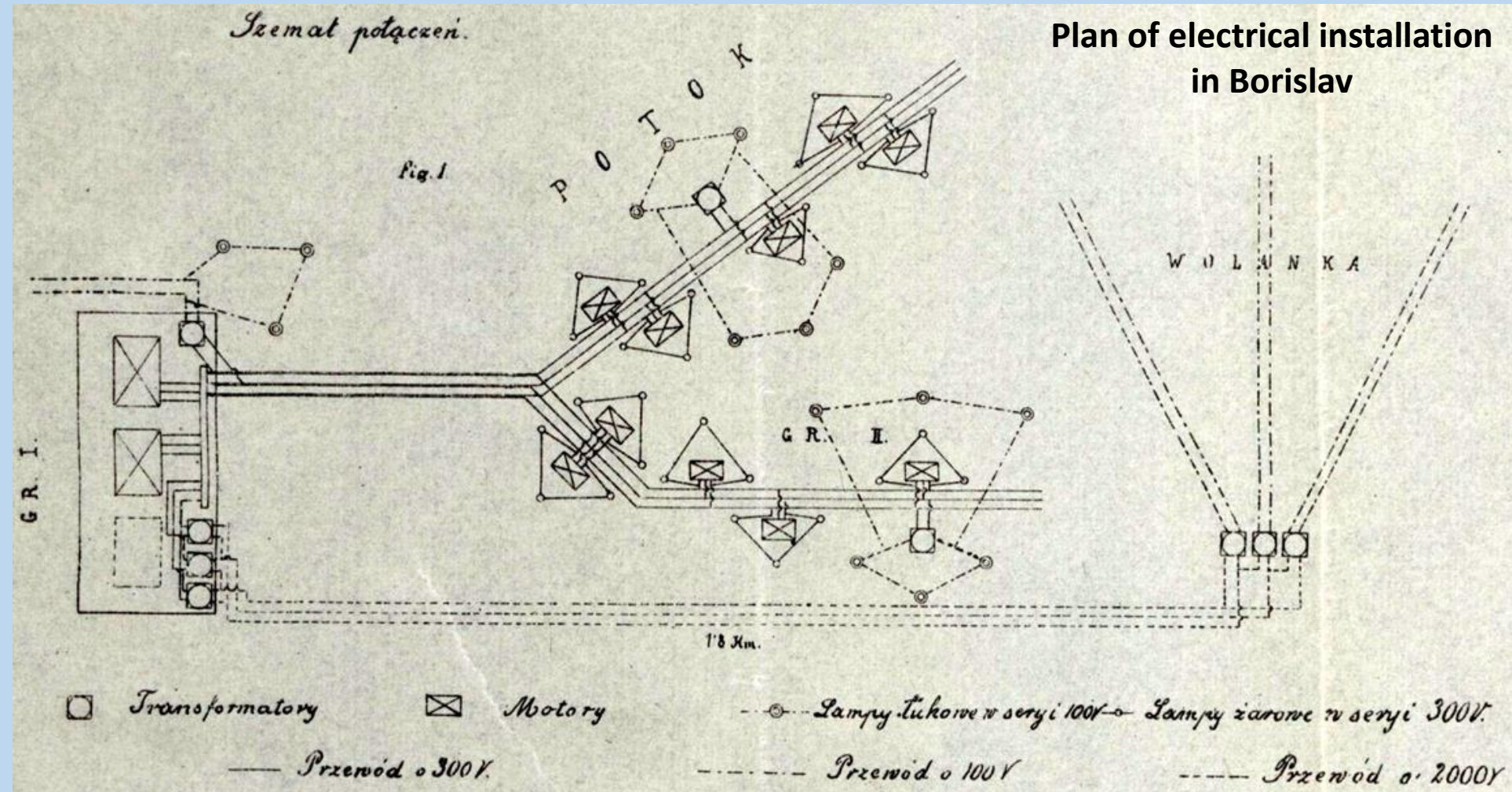


Pionierzy prądu przemiennego z zakładów Ganz, Miksa Déri, Ottó Bláthy, Károly Zipernowsky
AC pioneers from the Ganz works, Miksa Déri, Ottó Bláthy, Károly Zipernowsky

- Część energii była przesyłana do kopalń Potok i Grupa II, i tam transformowana z 330 V na 110 V gdzie zasilala indywidualne napędy:

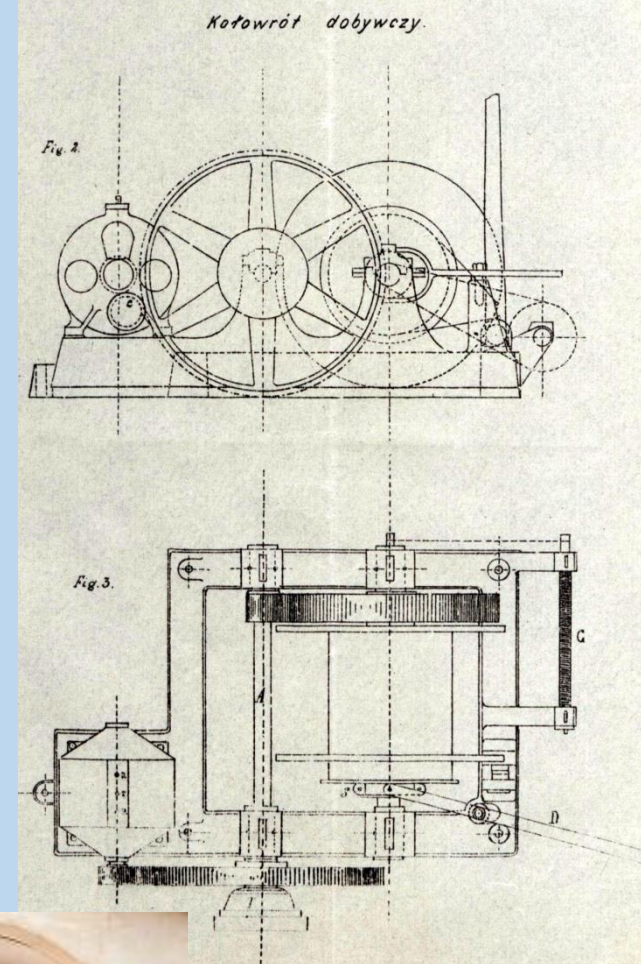
- Na Potoku: 12 motorów wind wydobywczych, jeden motor pompy, 3 motory wentylatorów i 6 lamp łukowych
- Na Grupie II: 18 motorów wind, motor pompy, 5 motorów wentylatorów, 9 lamp łukowych
- Teren elektrowni oświetlały 3 lampy łukowe

- Prąd był rozdzielany na trzy części. Część energii była transformowana z napięcia 330 V na 2000 V (najwyższe wówczas napięcie w zaborze austriackim) i przesyłana za pomocą trzech przewodów napowietrznych na odległość 1800 m do wsi Wolanka gdzie transformowana była na napięcie 110 V, zasilala tam 300 lamp żarowych



- **Wszystkie motory były produkcji zakładów Ganz na napięciu 300 V, 1200 obr./min. Zastosowane do napędu wentylatorów miały moc 2 KM, wind 3 KM pomp 8 i 12 KM**
- **Pewne w eksploatacji (brak komutatora) miały dobre własności rozruchowe**, „mogły od razu zostać wprowadzone w ruch do wymaganej prędkości obrotowej”, **chwalono także łatwą zmianę kierunku obrotowego**, poprzez „zamianę dwóch drutów przewodu” czyli zmianę kolejności faz
- Zwracano także uwagę, że **przy powiększeniu prędkości motoru ponad 1200 obr./min. zachowuje się on jak hamulec**, co w przypadku wind było szczególnie korzystne, zapobiegało uzyskaniu przez windę nadmiernej prędkości pod wpływem opadającego ciężaru
- **Tak inż. górniczy Adam Łukaszewski ocenił tę instalację w chwili debiutu: „Oto jest główny zarys urządzenia, prawdopodobnie największego w kraju, tem więcej interesującego, że jest przykładem użycia prądu zmiennego o polu wirującym, który dopiero w nowszych czasach wszedł w użycie i który zdaje się szczególnie z powodu łatwości transformowania i taniości przewodów znaleźć w przyszłości bardzo szerokie zastosowanie”**

Mining winch in an oil mine



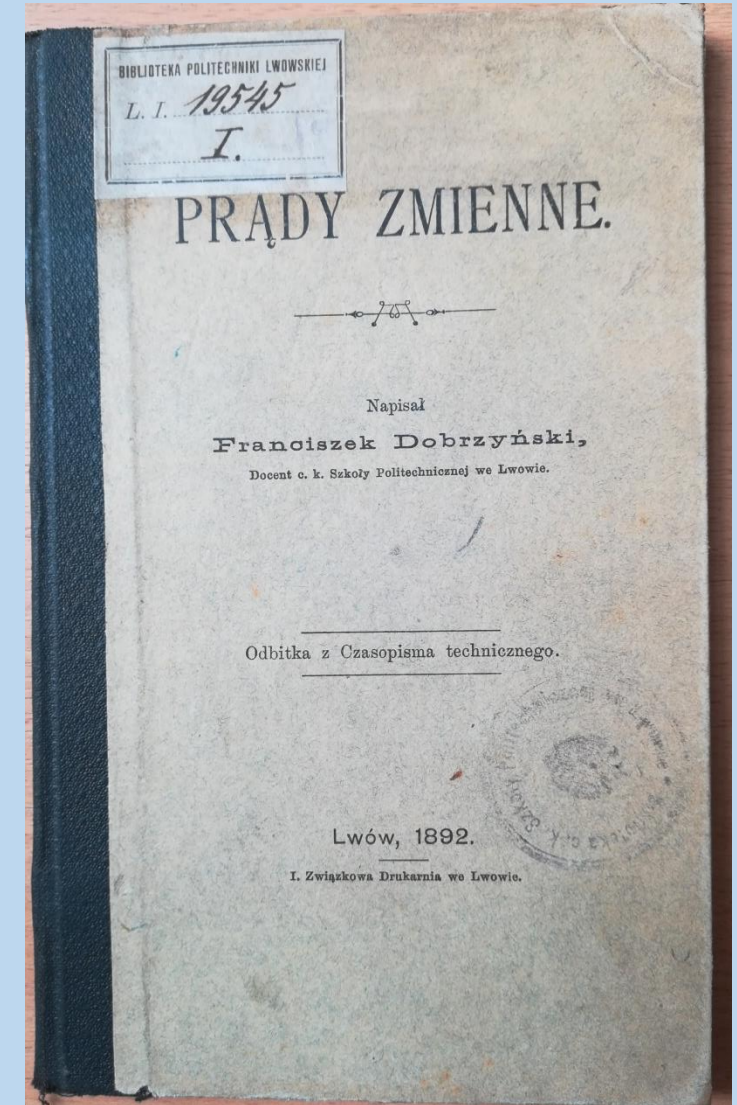
Adam Łukaszewski (1876-1912)
inżynier kopalni nafty
Potok w Boryslawiu
engineer of the Potok
oil mine in Boryslav

5. Podsumowanie

5. Summary

- Podane **trzy przykłady dowodzą**, że polscy inżynierowie nie tylko **teoretycznie** (np. podręcznik Franciszka Dobrzyńskiego pt. *Prądy zmienne* z 1892 r.) **ale i praktycznie** potrafili wykorzystać technikę prądu przemiennego trójfazowego jeszcze w XIX wieku
- O ile **łatwo zrozumieć**, że **Lutosławski**, wybitny elektrotechnik, świetnie wykształcony na politechnice w Darmstadt był przesycony duchem nowoczesnej elektrotechniki, o tyle **zaskakuje wczesne zaadaptowanie techniki trójfazowej w zaborze austriackim**
- Świadczy to o dużym **znaczeniu Lwowa** jako ośrodka w którym nowoczesne rozwiązania elektrotechniczne potrafiły się szybko przyjmować **dzięki istnieniu autonomii** i wykształceniu dzięki niej **politechniki, miejskich zakładów elektrycznych, towarzystwa politechnicznego**
- Dowodzi to też, że **elektrycy z monarchii habsburskiej** – w tym przypadku z Pragi i Budapesztu - szybko **potrafili adaptować** praktycznie **światowe osiągnięcia elektrotechniczne**, a firma Ganz miała pionierski wkład w rozwój techniki prądu przemiennego

Alternating currents - textbook by Franciszek Dobrzyński from 1892, published in Lviv



- Przedstawione **elektrownie były stosunkowo niewielkie**, warto zatem **przywołać** jedne z najwcześniejszych i największych na świecie **elektrowni trójfazowych zbudowanych** przez inżynierów AEG (w tym **przy udziale Doliwo-Dobrowolskiego**) w **Zaborzu** (obecnie część Zabrze) i **Chorzowie** w latach **1897-1898**, które stały się podstawą elektryfikacji okręgowej górnośląskiego okręgu przemysłowego
- Przedstawione trzy elektrownie przedstawiają też **logikę rozwoju zastosowań prądu trójfazowego** – od **oświetlenia elektrycznego** (Warszawa), po **napęd elektryczny grupowy** (Lwów), zastępujący maszynę parową i wreszcie **napęd elektryczny indywidualny** każdej maszyny roboczej (Borysław)
- Elektryfikacja reszty ziem polskich w systemie trójfazowym nastąpiła już w XX wieku



**Elektrownia w Chorzowie w 1922 r.,
największa wówczas w Polsce
The power station in Chorzów in 1922,
the largest in Poland at the time**