

Wiesław Jałmużny

## **Wprowadzenie do Współczesnej Inżynierii** **ELEKTROTECHNIKA**

Wydział: Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki  
- kierunki: Elektrotechnika i Informatyka

**1 rok studiów / 1 semestr**

LICZBA GODZIN:

Wykład                                    **2 godziny x 4 tygodnie = 8 godzin**

Wykładowca odpowiedzialny za program w zakresie „Elektrotechniki”:

dr inż. Wiesław Jałmużny

Katedra Elektrotechniki Ogólnej i Przekładników ( K-23).

**Obowiązkowe zaliczenie wykładu**

---

### **Ogólna charakterystyka i cel przedmiotu:**

Uzyskanie ogólnej wiedzy dotyczącej elektrotechniki jako nośnika energii.  
Poznanie najważniejszych dziedzin inżynierii elektrotechnicznej.

## Treści kształcenia:

1. Elektrotechnika i społeczeństwo. Energetyczny i sygnałowy aspekt elektrotechniki. Elementy historii elektrotechniki. Podstawowe prawa elektromagnetyzmu. (2g.)
2. Pole elektryczne i magnetyczne. Obwody elektryczne. Podstawowe elementy i właściwości obwodów. Praktyczne zastosowanie przy konstruowaniu urządzeń elektrycznych. (2 g.)
3. Wytwarzanie, rozdział i użytkowanie energii elektrycznej. Gospodarka energetyczna, przetwarzanie energii elektrycznej. Charakterystyka wybranych urządzeń energetyki zawodowej. (2 g.)
4. Charakterystyka najważniejszych problemów inżynierii elektrycznej. Proces projektowania urządzeń elektrycznych. Wspomaganie komputerowe. Sprawdzanie rozwiązań prototypowych i gotowych modeli fizycznych. Przykłady. (2g.)

### Literatura podstawowa:

1. Praca zbiorowa: Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków, WNT, Warszawa, 2000

Obciążenie studenta:

zajęcia w uczelni:	<b>8 godz.</b>
praca własna :	<b>2 godz.</b>

# 1. Wstęp

**Inżynieria elektryczna** – nauka techniczna zajmująca się projektowaniem i wykonywaniem różnych urządzeń elektrycznych

## 1.1 Elektrotechnika i społeczeństwo

**Elektrotechnika** – wykorzystanie zjawisk oddziaływania pomiędzy ładunkami elektrycznymi, czyli zjawisk elektrycznych, wykorzystywanych do przenoszenia:

- energii
- informacji

TRANSPORT ENERGII → elektrotechnika

**Uwaga 1:** Energia elektryczna nie jest, poza nielicznymi wyjątkami, wykorzystywana w praktyce.

**Uwaga 2:** Energia elektryczna, poza nielicznymi wyjątkami, nie występuje w przyrodzie.

**Uwaga 3:** Energia elektryczna jest formą pośrednią i musi być wytwarzana (elektrownie) oraz przetwarzana na formy energii, które mogą być użytkowane (konsumowane).

Formy energii na które przetwarzana jest energia elektryczna:

- energia cieplna – 74,5%
- energia mechaniczna – 24%
- energia świetlna – 1%
- energia chemiczna – 0,5%

Formy energii z których otrzymywana jest energia elektryczna:

- energia cieplna
  1. spalanie węgla lub ropy
  2. reaktory nuklearne
- energia mechaniczna
  1. hydrauliczna
  2. wiatraki
- energia słoneczna

W Polsce → spalanie węgla → 98%  
→ hydrauliczna → 2%

W Szwajcarii → spalanie węgla → 1,5%  
→ hydrauliczna → 55 %  
- nuklearna → 43,5%

## Dlaczego elektrotechnika ( dostarczanie energii elektrycznej) zyskała tak wielkie znaczenie?

1. Łatwość transportu – małe straty
2. Łatwość rozdziału
3. Łatwość przekształcania do parametrów niezbędnych do wykorzystania – łatwość regulacji
4. Nie zanieczyszczanie środowiska
5. Wysoka sprawność przetwarzania w formy energii użytecznej

## **WADY** energii elektrycznej

1. Zagrożenia ekologiczne przy wytwarzaniu
2. Niebezpieczeństwo przy użytkowaniu
3. Zagrożenia cywilizacyjne

## PRZENOSZENIE SYGNAŁÓW (elektronika)

1. **Uzyskiwanie sygnałów elektrycznych – akwizycja**
  - przetworniki zamieniające sygnały nie elektryczne na elektryczne np.
    - mikrofon
    - termoelement
    - pomiar wielkości mechanicznych
2. **Transmisja sygnałów – telekomunikacja**
3. **Przetwarzanie sygnałów** (wzmacnianie, filtrowanie przetwarzanie analogowo /cyfrowe, przetwarzanie komputerowe)
4. **Wykorzystywanie informacji** (sterowanie procesami, automatyka)

### **Dziedziny zastosowania elektroniki**

1. telekomunikacja
2. elektroakustyka
3. elektronika przemysłowa
4. pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych
5. elektronika medyczna
6. pomiary czasu ( zegarki)
7. systemy wykrywające – detekcyjne ( radar,sonar... )
8. komputery i systemy procesorowe

## Elektronika analogowa i cyfrowa

analogowa → nieskończenie wiele wartości sygnałów

cyfrowa → dwie wartości sygnałów

Przetwarzanie sygnałów analogowych na cyfrowe

0	1	2	3	4	.....	10
0000	0001	0010	0011	0100		1010

**Dlaczego elektronika zyskała tak wielkie znaczenie?**

Szybkość propagacji zjawisk elektrycznych

Propagacja może nie wymagać środków materialnych

Łatwość, z jaką wielkości nieelektryczne można przekształcać na sygnały elektryczne

Szybkość wykonywania elementów i urządzeń elektronicznych

Poprawność pracy urządzeń elektronicznych

Miniaturyzacja elementów i sprzętu

## Czy elektronika nie ma wad?

1. Zbyt szybki rozwój technologiczny – problemy społeczne
2. Oddziaływanie współczesnych środków elektronicznych na rozwój kultury
3. Gwałtowny rozwój informatyki – zagrożenia w stosunku do magazynowanych i przesyłanych danych
4. Globalizacja cywilizacji ( wada czy zaleta?)

### 1.2 Elementy historii elektromagnetyzmu i elektrotechniki

**1595 Wiliam Gilbert (1544-1603)** – Anglia – lekarz królowej Elżbiety. Zajmował się badaniem magnetyzmu. Zastosował nazwę „elektryczność” (po grecku bursztyn = elektron = *ηλεκτρον*)

**1660 Otto von Guericke (1602-1686)** – burmistrz Magdeburga, Niemcy – skonstruował pierwszą maszynę elektrostatyczną (składała się z dużej kuli odlanej z siarki i osadzonej na osi. Pocierając ręką wirującą kulę wywoływał zjawiska elektryczne ⇒ półkule magdeburskie)





**1752 Benjamin Franklin**  
(1706-1790)

- Stany Zjednoczone Ameryki Płn.
- wynalazł piorunochron. Mąż stanu, uczonek. Stworzył teorię „materii elektrycznej” nazwaną teorią fluidów



**1785 Charles de Coulomb**  
(1736-1806)

- Francja – wykazał relację między siłą a ładunkiem, opracował podstawowe prawa elektrostatyki i magnetyzmu i zasady pomiarów wielkości elektrycznych



**1820**     **André-Marie Ampère**  
(1775-1836)

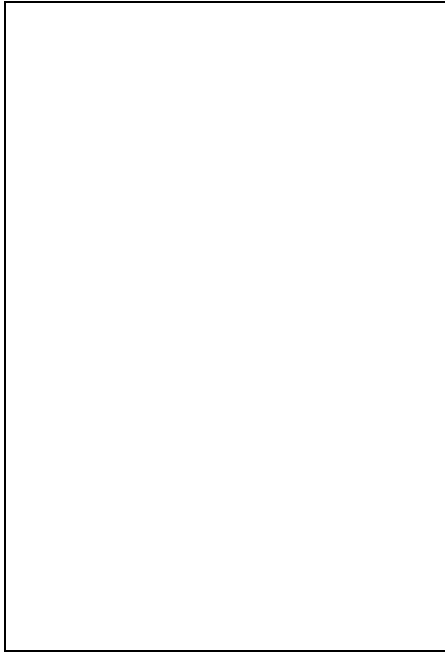
– Francja – przedstawia teorię elektrodynamiki. Opracowuje solenoid do wytwarzania pola magnetycznego.

**1820**     **Hans Christian Oersted** (1777-1851) – Dania – odkrywa istnienie pola magnetycznego wokół przewodnika z prądem (*oddziaływanie na igłę magnetyczną*)



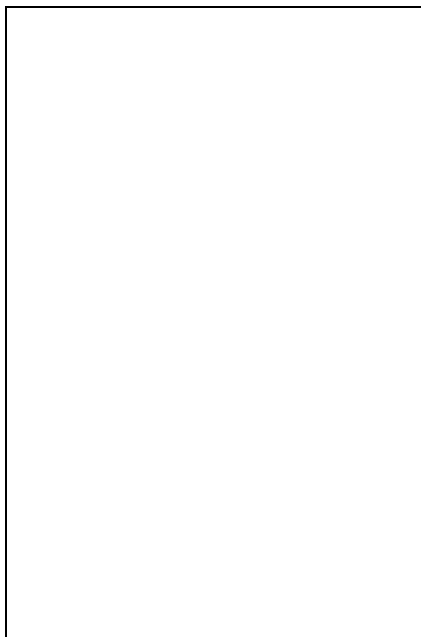
**1827**     **Georg Ohm**  
(1787-1854)

– Niemcy – formułuje prawo nazwane jego imieniem. Zajmuje się badaniem obwodów elektrycznych



**1832 Faraday**  
(1791-1867)

– Anglia – Genialny elektryk. Odkrywa zasadę indukcji elektromagnetycznej i określa prawa stanowiące podstawę transformatora i innych zastosowań elektromagnetyzmu. Opracowuje zasady elektrolizy i właściwości pola elektrycznego i magnetycznego. Wynalazł elektrometr i zbudował pierwszy silnik elektryczny.



**1841 James Joule**  
(1818-1889)

– Anglia – opisuje efekt cieplny związany z przepływem prądu przez przewodnik. Wprowadza mechaniczny równoważnik ciepła.

**1844** Uruchomienie pierwszego publicznego telegrafu między Waszyngtonem i Baltimore (1833: między obserwatorium astronomicznym a Uniwersytetem w Getyndze – Gauss i Weber)

**1846** pierwszy kabel telegraficzny

**1882** pierwsza linia przesyłowa w Bawarii (57 km, 1,1 kW, 1,5 ÷ 2 kV)



Library of Congress

**1847 Gustav Robert Kirchhoff**  
(1824-1877)

– ur. w Królewcu – podaje prawa dla węzłów i oczek obwodu elektrycznego. Pracował nad akumulatorem.



**1856 Werner von Siemens**  
(1816-1892)

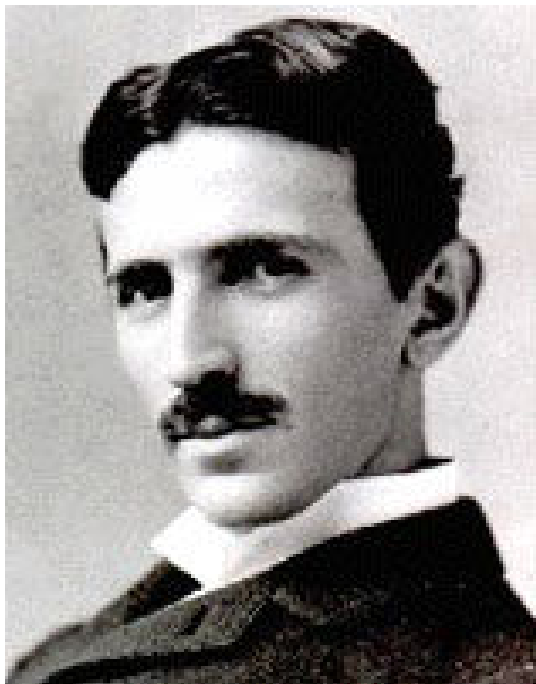
– Niemcy – buduje dynamo. Pracuje nad samowzbudzeniem maszyn elektrycznych

**1881 Pierwszy tramwaj elektryczny Siemens (Berlin)**

**1865 James-Clerk Maxwell (1831-1879) – Szkocja – publikuje „Teorię dynamiki pola elektromagnetycznego” stanowiącą matematyczne uzasadnienie teorii Faraday’a i elektromagnetyczne rozszerzenie teorii światła**

**1876 Pierwszy telefon – USA (A.G. Bell)**

**1879** Początek elektryfikacji USA z punktu widzenia oświetlenia elektrycznego. Sylwester 1879, iluminacja Manlo Park 800 żarówkami elektrycznymi (Edison)



**1888 Nikola Tesla  
(1856-1943)**

– Chorwacja (*od 1884 w USA*) –  
odkrywa możliwość wytworzenia  
wirującego pola magnetycznego –  
pierwszy silnik asynchroniczny.

Opracował pierwszy transformator  
w.cz., w 1898 roku zbudował  
radiostację 200 kW.

**1896 Pierwsze radio – Włochy (Marconi) oraz Rosja (Popow)**

**1941** Inauguracja pierwszego komercyjnego przekazu telewizyjnego.  
W 1929 roku pierwsza stacja nadawcza w USA. W 1935 roku w  
Berlinie pierwsza całkowicie elektroniczna stacja nadawcza.  
1936 – w Wielkiej Brytanii stała emisja programu. Telewizja  
kolorowa w 1956 w USA; w 1962 wprowadzono do transmisji  
satelity (Telstar).

W Polsce w 1952 a od 1956 powszechnie.

**1948** Wynalezienie tranzystora – Bardeen i Brattain oraz Shockley (1949) – 1956 nagroda Nobla. Pierwszy tranzystor ostrzowy – małe zastosowanie, ale zapoczątkował „erę tranzystorową”. Po kilku latach opracowano tranzystor Warstwowy (stopowy).

**1958** Pojawienie się pierwszego układu scalonego (USA)

**1971** Pojawienie się pierwszego mikroprocesora (USA)

**od 1980** Rozwój komputerów indywidualnych ( USA)

**od 1990** Rozwój telefonii komórkowej (USA)

**od 1990** Rozwój sieci komputerowych - Internetu

## 1.3 Jednostki wielkości fizycznych

### MIĘDZYNARODOWY SYSTEM JEDNOSTEK SI

#### Kryterium jakościowe

- jednostki podstawowe:
  - długość → m
  - masa → kg
  - czas → s
  - natężenie prądu → A
  - temperatura term. → K
  - ilość substancji → mol
  - natężenie światła → cd
  - kąt płaski → rad
  - kąt bryłowy → sr

- jednostki pochodne:
  - częstotliwość (f) → Hz
  - pulsacja ( $\omega$ ) → s<sup>-1</sup>
  - siła → N
  - ciśnienie → p
  - energia → J
  - ład. elektr. → C
  - różn. potencjałów → V
  - pojemność elektr. → F
  - opór elektr. →  $\Omega$
  - przewodność el. → S
  - strumień magn. → Wb
  - indukcja magn.- T
  - nat.pola magnet. → A/m
  - nat.pola elektr. → V/m
  - strumień świetlny → lm
  - natężenie ośw. → lx

### Kryterium ilościowe

- jednostki główne: 1 [*miano jednostki*]
  - jednostki pokrewne: 1 × [*przedrostek*][*miano jedn.*]
- [*przedrostek*] → 10<sup>k</sup>
- k = ±1, ±2, ±3, .....

## 2. Podstawowe prawa elektromagnetyzmu

**Elektryczność** – zjawiska związane z makroskopowymi właściwościami ładunków elektrycznych, głównie wolnych. Elektrony i jony

### 2.1 Modele zjawisk elektrycznych

**Elektrostatyka** – ładunki nieruchome

*Fizyk francuski **Charles de Coulomb**, w roku 1785 ustalił doświadczalnie związek pomiędzy wartościami nieruchomych ładunków i siłę, z jaką działają one na siebie.*



#### **Prawo Coulomba**

**Elektrokinetyka** – ładunki w ruchu ustalonym ( prąd stały)

Prąd elektryczny → **prawa Ohma, Joule'a, Kirchhoff'a**

**Elektromagnetyzm** – ładunki w ruchu zmiennym lub przemiennym

*Opis zjawisk elektromagnetycznych przedstawił James Clerk Maxwell w roku 1865.*

#### **Prawa Maxwell'a.**



POLE ELEKTRYCZNE → Pole źródłowe, potencjalne

Prawo Coulomb'a → Analogia grawitacyjna

POLE MAGNETYCZNE → Pole beźródłowe, wirowe  
(reguła korkociągu)

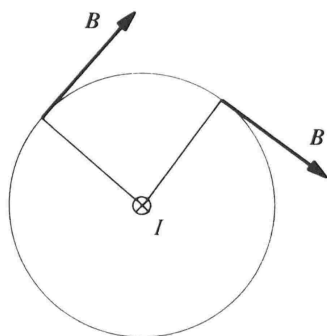
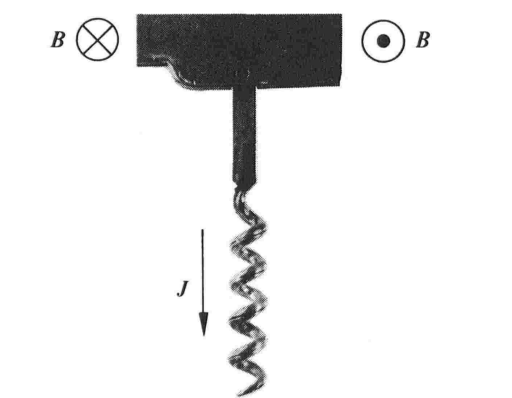


Fig. 2.11



Rys. 1

## 2.2 Pole magnetyczne, indukcja elektromagnetyczna

Pole magnetyczne – siła Lorentz'a

Siła elektromagnetyczna → oddziaływanie  
elektrodynamiczne

Właściwości pola magnetycznego:

- reguła śruby prawoskrętnej (korkociągu)
- pole przewodnika prostoliniowego
- reguła lewej ręki

Siła uogólniona Lorentz'a

Siły elektrostatyczne → pomiędzy ładunkami

Siły elektromagnetyczne → pomiędzy ładunkami w ruchu  
(prąd elektryczny)

W rzeczywistości na ładunek swobodny w ruchu działa  
siła Lorentz'a

## Indukcja elektromagnetyczna

Zjawisko **indukcji elektromagnetycznej** polega na powstawaniu napięcia w obwodzie, przez który przenika zmienny w czasie strumień magnetyczny.

Napięcie takie nosi nazwę napięcia **indukowanego**

*Zjawisko indukcji elektromagnetycznej zostało odkryte w roku 1832 przez **Michaela Faraday'a**. Samouk, który dokonał także bardzo ważnych do dni dzisiejszych odkryć z dziedziny elektrochemii, optyki i chemii, pracę zawodową rozpoczął jako chłopiec do sprzątania u zecera a skończył jako lord, Prezydent Królewskiej Akademii Nauk.*



**Początek elektrotechniki**

Praktycznie wykorzystuje się względny ruch (najczęściej obrotowy) pola magnetycznego i obwodu elektrycznego, w którym indukuje się napięcie.

Szczególnym przypadkiem zjawiska indukcji elektromagnetycznej jest **zjawisko samoindukcji**.

Szczególnym przypadkiem zjawiska indukcji elektromagnetycznej jest zjawisko **indukcji wzajemnej** wykorzystywane m.in. w transformatorach.

### **Prawo Lenz'a (reguła Lenza):**

*Jeżeli w wyniku indukcji elektromagnetycznej w obwodzie indukuje się prąd, to kierunek tego prądu jest taki, że zawsze przeciwstawia się przyczynie, która spowodowała powstanie tego prądu.*

Działanie mechaniczne → odpowiedź mechaniczna

Działanie elektryczne → odpowiedź elektryczna

Zasada **bezwładności** strumienia magnetycznego (przenikającego zamknięty obwód elektryczny).

**Prawo Lenz'a ma charakter jakościowy (!)**

### 3. Zasada działania obwodu elektrycznego

Obwód elektryczny składa się z trzech głównych elementów:

1. **źródło** (lub źródła) **energii elektrycznej**
2. **przewody**
3. **odbiorniki** (lub odbiornik)

Najczęściej w obwód są włączane także wskaźniki lub mierniki oraz aparatura łączeniowa (np. wyłącznik).

**Źródło**- kosztem energii dostarczonej z zewnątrz wytwarza pole elektryczne pod wpływem którego odbywa się ruch ładunków w obwodzie, czyli płynie prąd.

**Źródła prądu stałego** -

akumulatory  
baterie  
prostowniki  
zasilacze DC  
prądnice

**Źródła prądu zmiennego** -

generatory  
oscylatory  
alternatory  
sieć  
zasilacze AC  
falowniki  
przezienniki częstotliwości

## Źródła idealne i rzeczywiste – rezystancja wewnętrzna

**Odbiorniki** - urządzenia zamieniające energię elektryczną na inny rodzaj energii:

- świetlną ( lampy )
- mechaniczną ( silniki, elektromagnesy, przekaźniki)
- ciepłą ( piece, grzejniki)
- chemiczną ( elektroliza )

**Przewody** - wykonane z materiałów przewodzących połączenia źródeł z odbiornikami.

Przewody określają tory po których poruszają się ładunki (elektrony) w obwodzie.

- przewody miedziane
- przewody aluminiowe

1. przewody gołe
2. przewody izolowane
3. kable

## 3.1 Podstawowe stany pracy obwodu elektrycznego

- **stan jałowy**
- **stan obciążenia**
- **stan zwarcia**

### ◆ Stan jałowy

W stanie jałowym moc użyteczna równa jest zeru.

W praktyce stan jałowy jest wykorzystywany do pomiarów napięć źródłowych ( sił elektromotorycznych).

### ◆ Stan obciążenia

Stan obciążenia odpowiada przedziałowi wartości prądów.

Zmiany natężenia prądu wywołują zmiany napięcia na odbiornikach.

Wahania napięcia nie powinny przekraczać wartości dopuszczalnych.

## Kryteria doboru przewodów

Przewody dobiera się ze względu na:

1. **na spadek napięcia** – decyduje przy długich obwodach
2. **na grzanie** - natężenie prądu decyduje przy krótkich obwodach
3. **wytrzymałość mechaniczną**

### ◆ Stan zwarcia

Zwarcie dwóch punktów nazywamy połączenie tych punktów, elementem o rezystancji równej zero (zestknięcie dwóch przewodów). W praktyce wystarczy, aby rezystancja pomiędzy zwartymi punktami była znacznie mniejsza od rezystancji występującej między tymi punktami podczas normalnej pracy.

#### · a) *zwarcie odbiornika*

Zwarcie odbiornika stwarza zagrożenie cieplne dla przewodów.

KONIECZNE jest zabezpieczenie przewodów przed skutkami zwarć odbiorników (bezpieczniki, wyłączniki instalacyjne)

Zabezpieczenia są dobrane do przekroju przewodów.



## **b) zwarcie źródła**

Zagrożenie elektrodynamiczne źródeł, w przypadku zwarcia źródło ulega zniszczeniu - systemy zabezpieczeń.

## **3.2 Zależności energetyczne w obwodzie elektrycznym**

**Energia** (moc) elektryczna wytwarzana **w źródle**

**Energia** (moc) tracona wewnątrz źródła – **straty** wewnątrz źródła

**Energia** (moc) w obwodzie zewnętrznym – energia **użyteczna**.

W rzeczywistych obwodach niewielka część energii w obwodzie zewnętrznym także jest tracona (np. straty w przewodach).

**Zależność mocy od obciążenia**

## ◆ Stan dopasowania

**Sprawność energetyczna** obwodów elektrycznych może być zdefiniowana jako stosunek mocy w obwodzie zewnętrznym do mocy wytwarzanej w źródle

Sprawność obwodu zależy od stosunku rezystancji zewnętrznej do rezystancji wewnętrznej źródła

## Wnioski

1. Sprawność obwodu zależy od warunków elektrycznych obwodu (koszty) – trzeba je świadomie kształtować
2. Aby uzyskać **duże wartości sprawności** (małe straty) rezystancja zewnętrzna musi być znacznie większa od rezystancji wewnętrznej źródła – **obwody energetyczne**
3. Aby uzyskać **maksymalną moc** należy stosować **stan dopasowania** – **obwody elektroniczne (o słabych źródłach)**

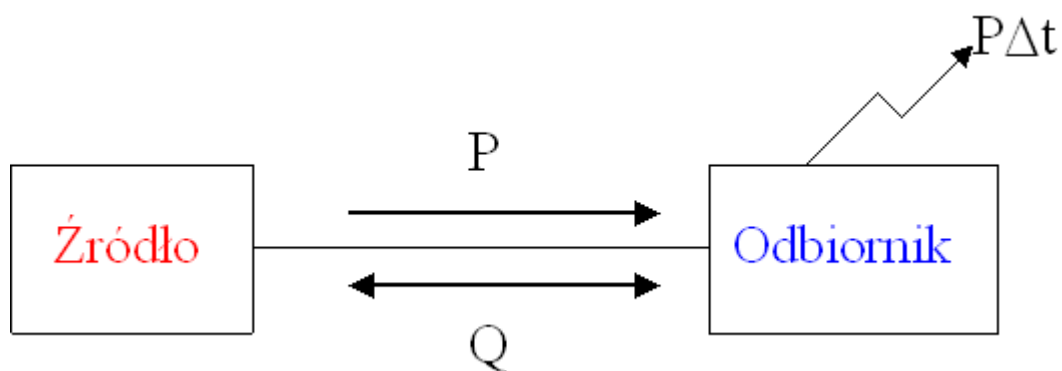
## 4. Zależności energetyczne w obwodach prądu sinusoidalnego

W obwodach prądu sinusoidalnego można wyróżnić:

4. moc czynną  $P$  [W]

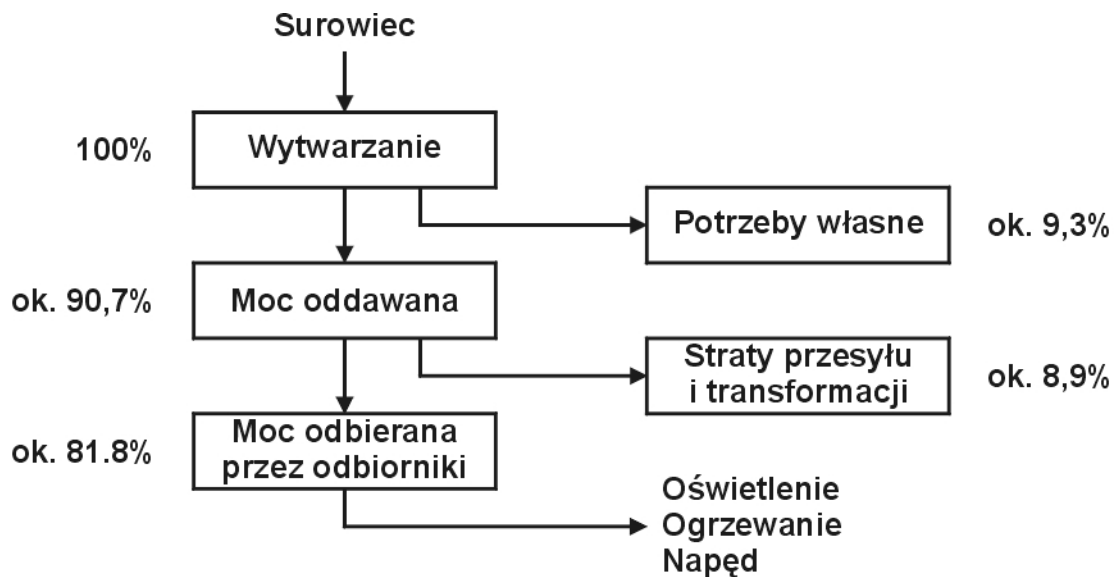
5. moc bierną  $Q$  [var]       $1\text{var} = 1\text{Var} = 1\text{VAr}$

6. moc pozorną  $S$  [VA]



## 5. Wytwarzanie, przesył i rozdział energii elektrycznej

System elektroenergetyczny – elektrownie, sieci i instalacje

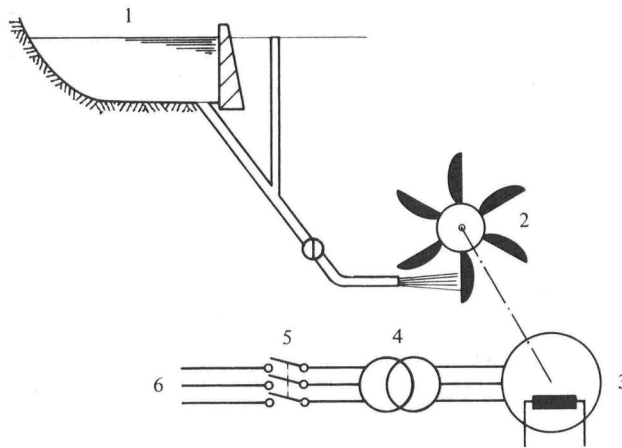


Rys. 5.1 Wykorzystanie energii w SEE

### 5.1 Elektrownie i elektrociepłownie

W Polsce

- Elektrownie ciepłe – 98%
- Elektrownie wodne – 2%



*Rys. 5.2 Schematyczna ilustracja elementów elektrowni wodnej*

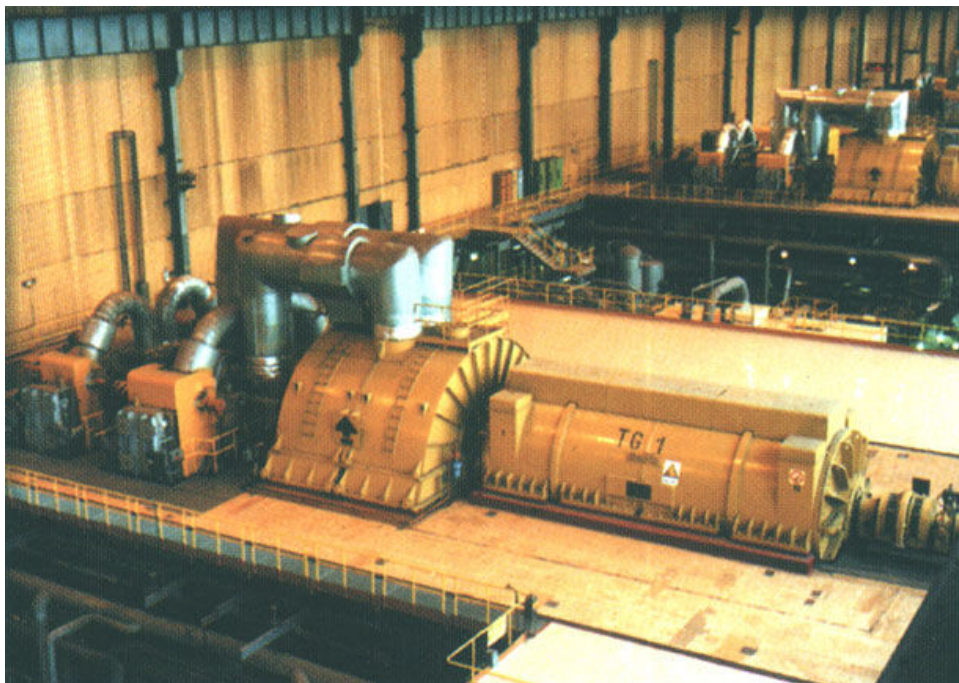
**Jednostki prądotwórcze** – generatory synchroniczne trójfazowe.

Generatory – 500 MW węgiel kamienny ( do 1000 MW)  
360 MW węgiel brunatny

Blok energetyczny → Transformator  
↓  
Sieć elektroenergetyczna



*Rys. 5.3 Turbozespół 65 MW*



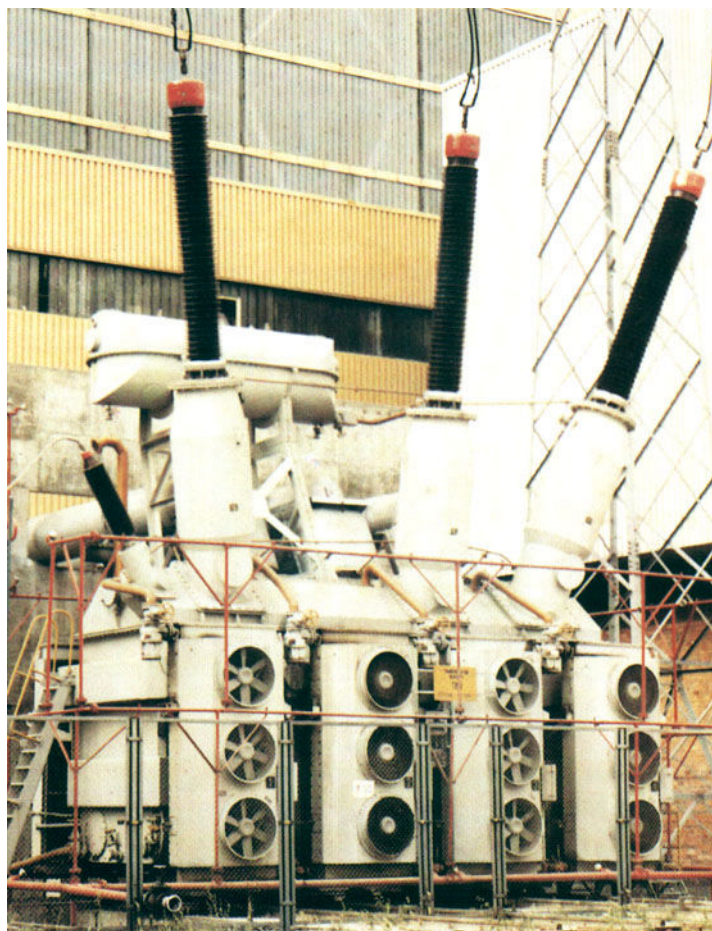
*Rys. 5.4 Turbozespół 360 MW*



*Rys. 5.5 Turbozespól 750 MW*

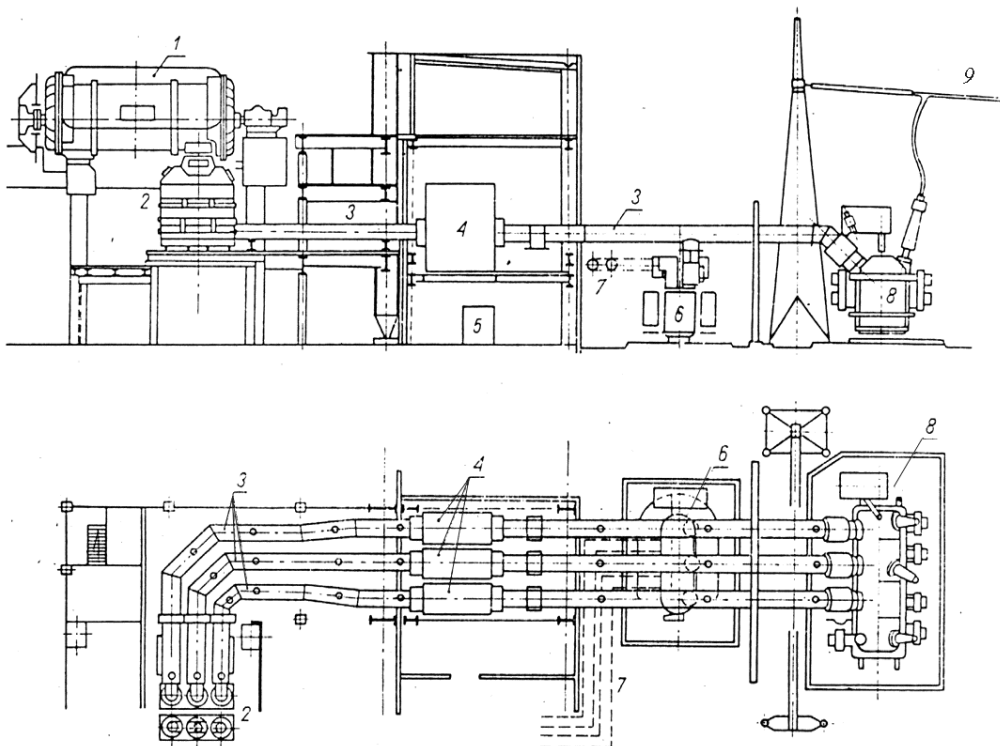


*Rys. 5.6 Transformator blokowy: 150 MVA, 13,8kV / 125kV  
(6280A / 675A; masa: 111 ton)*



*Rys. 5.7 Transformator blokowy: 426 MVA, 22,5kV / 420kV  
(11180A / 586A; masa: 266 ton)*





*Rys. 5.8 Wyprowadzenie mocy szynami ekranowanymi bloku 360MW*

- 1 – generator; 2 – początki i końce uzwojeń generatora; 3 – szyny ekranowane; 4 – rozłącznik generatorowy; 5 – transformator wzbudzenia; 6 – transformator zaczepowy potrzeb własnych; 7 – podłączenie do rozdzielni potrzeb własnych; 8 – transformator blokowy; 9 – wyjście do rozdzielni wysokiego napięcia

## 6. Sieci elektroenergetyczne – SEE

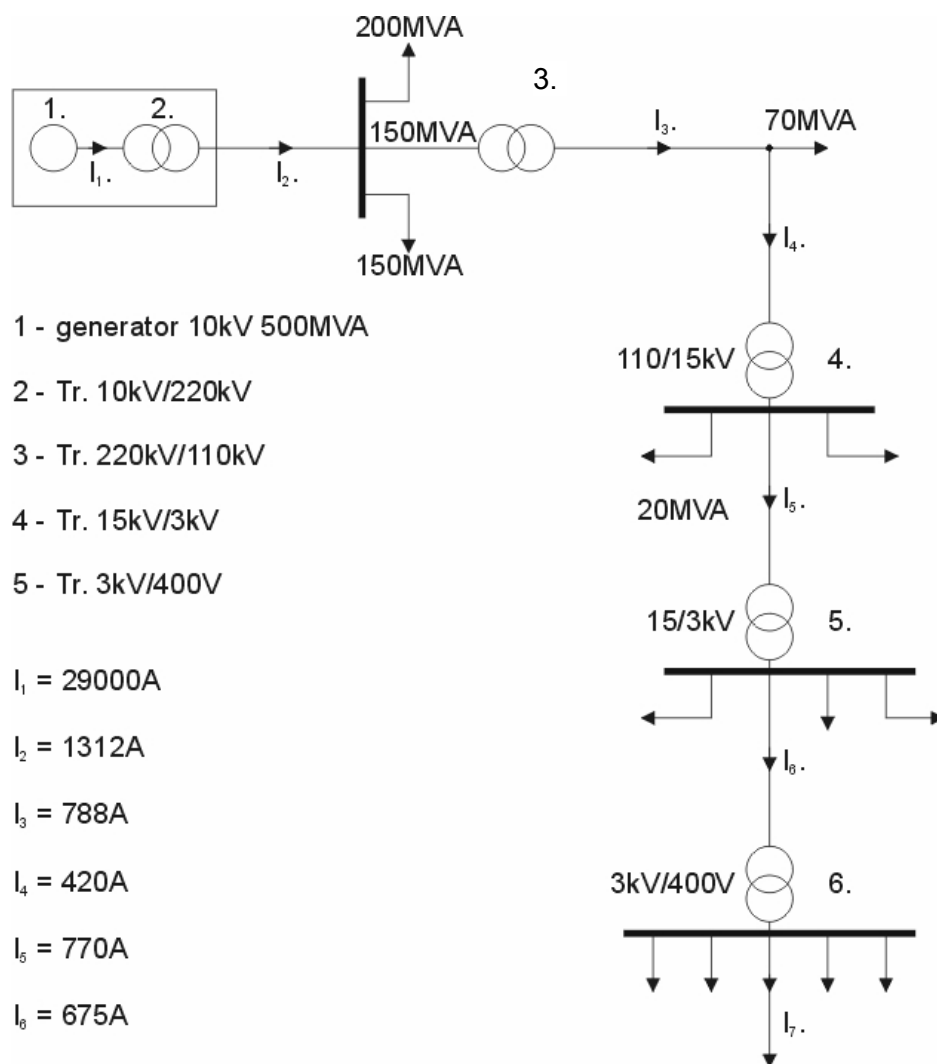
### 6.1. System elektroenergetyczny – elektrownie, sieci i instalacje

Linie elektryczne – instalacje

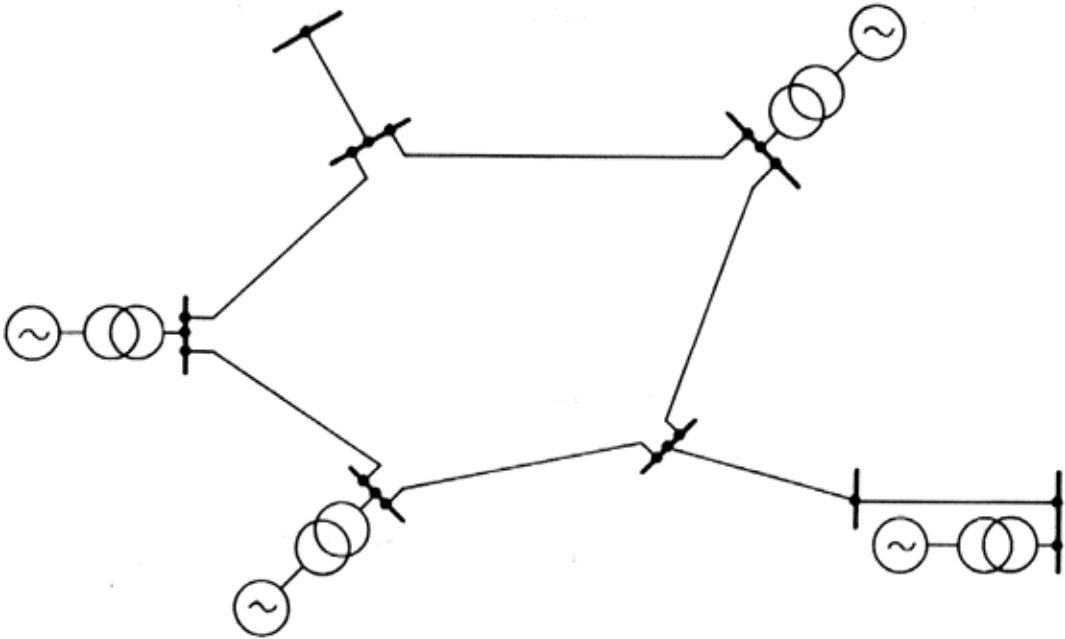
Stacje WN i rozdzielnice nn.

- urządzenie rozdzielcze – wyłączania, przełączania, załączenia
- urządzenia pomiarowe i sygnalizujące
- zabezpieczenia
- transformatory ( w stacjach transformatorowych WN)

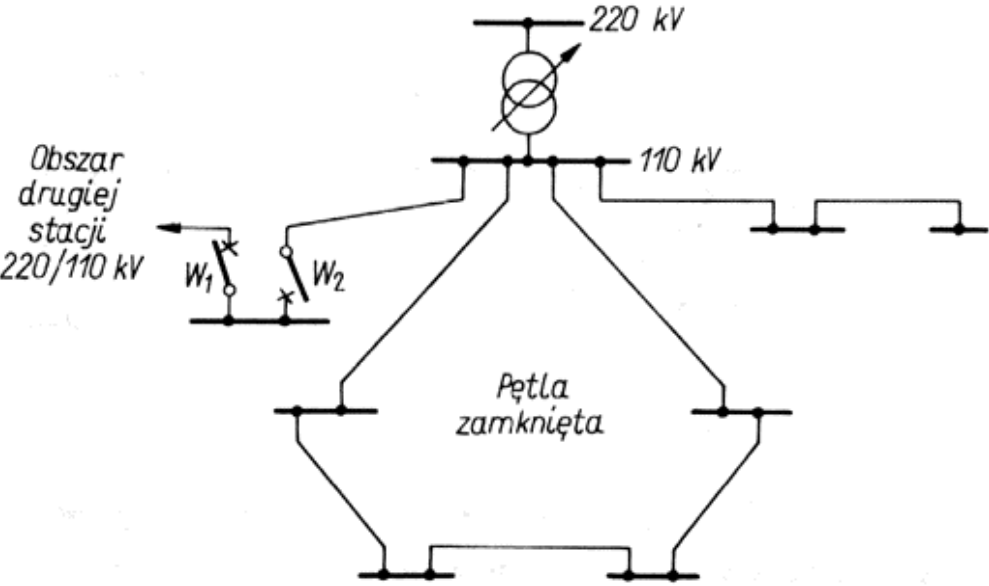
#### Przykład sieci elektroenergetycznej



Schemat sieci pętlowej 220kV



Schemat wycinka sieci 110kV



## 6.2. Linie napowietrzne i kablowe

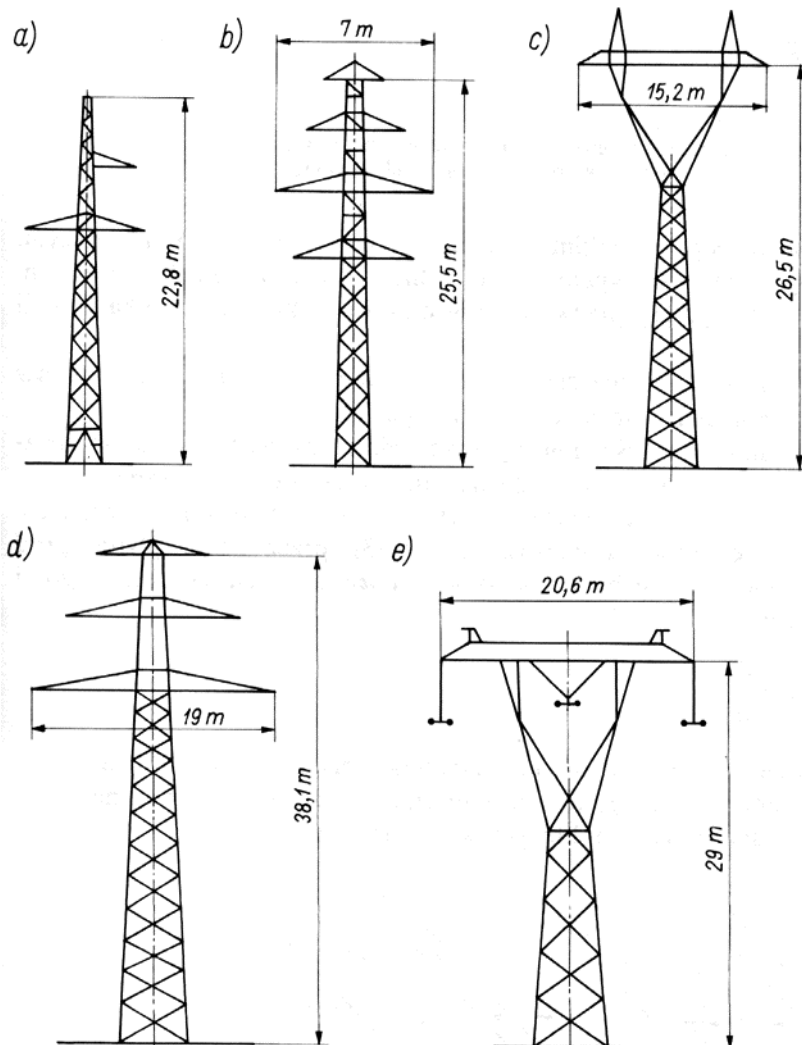
### Napowietrzne

Do 30kV – słupy betonowe

Powyżej 30kV – słupy stalowe – konstrukcje kratowe

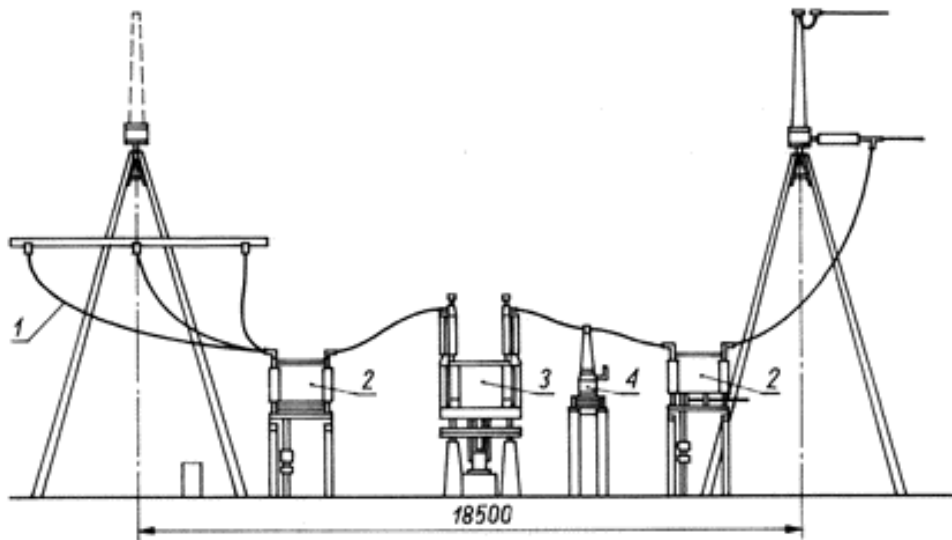
Przewody fazowe

Przewody odgromowe



## 6.3. Podstacje WN

### Pole podstacji rozdzielczej 110kV



1. Szyny zbiorcze
2. Odłączniki
3. Wyłączniki
4. Przekładniki prądowe i napięciowe (kombinowane)

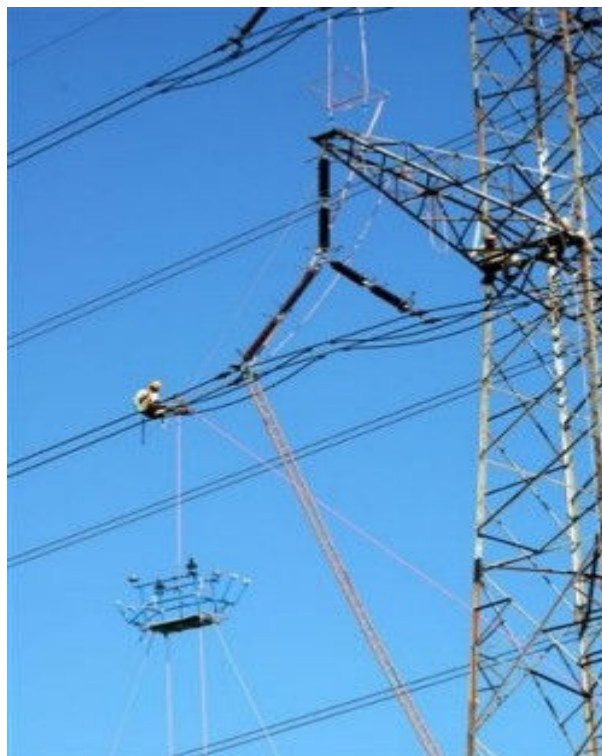




*Dławiki zaporowe w stacji 220 kV*



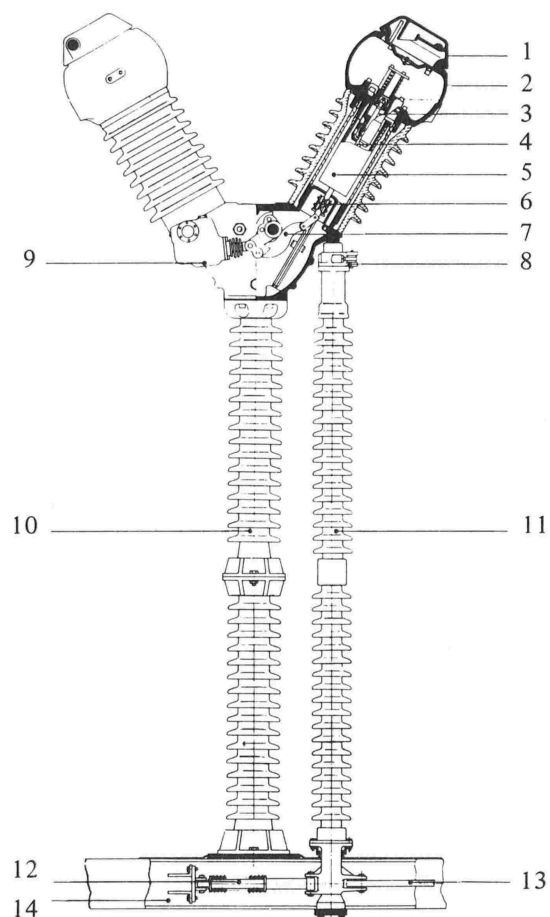
*I przykład pracy wykonywanej na nie wyłączonej linii wysokiego napięcia*



*II przykład pracy wykonywanej na nie wyłączonej linii wysokiego napięcia*

## 7. Wybrane przykłady osiągnięć inżynierii elektrycznej w zakresie elektrotechniki

### 7.1. Wyłącznik mocy 5GVA



*Rys. 7.1 Wyłącznik 5 GVA (400 kV)*

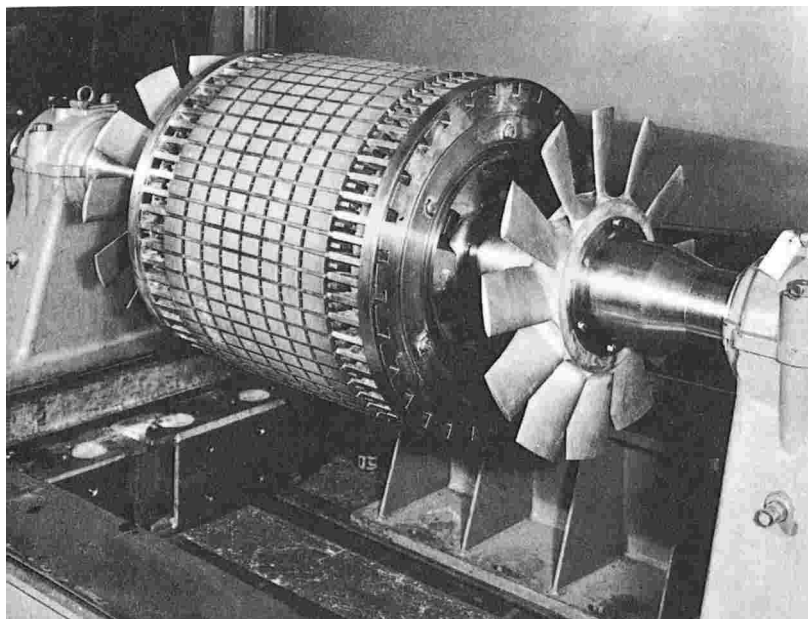


## 7.2. Przekładnik kombinowany JUK123

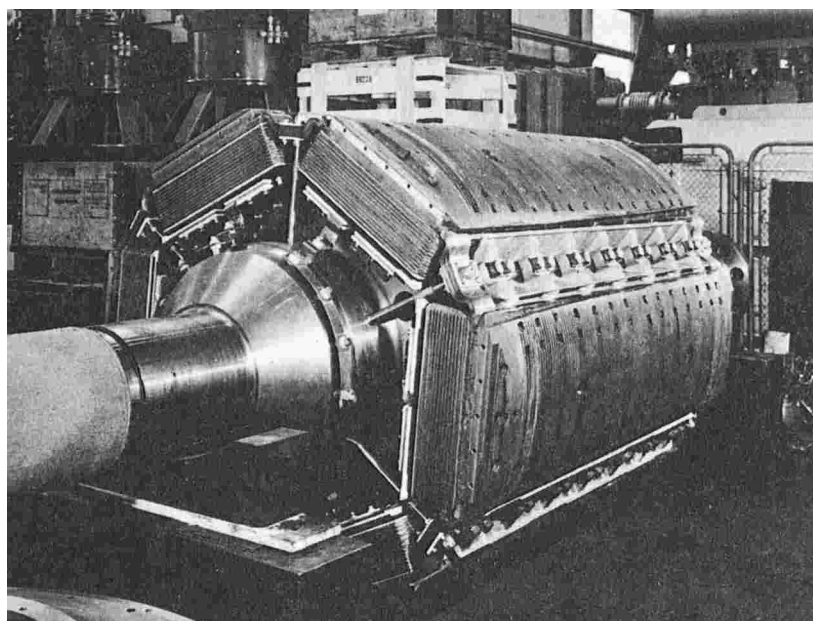


*Rys. 7.2 Przekładnik kombinowany JUK123*

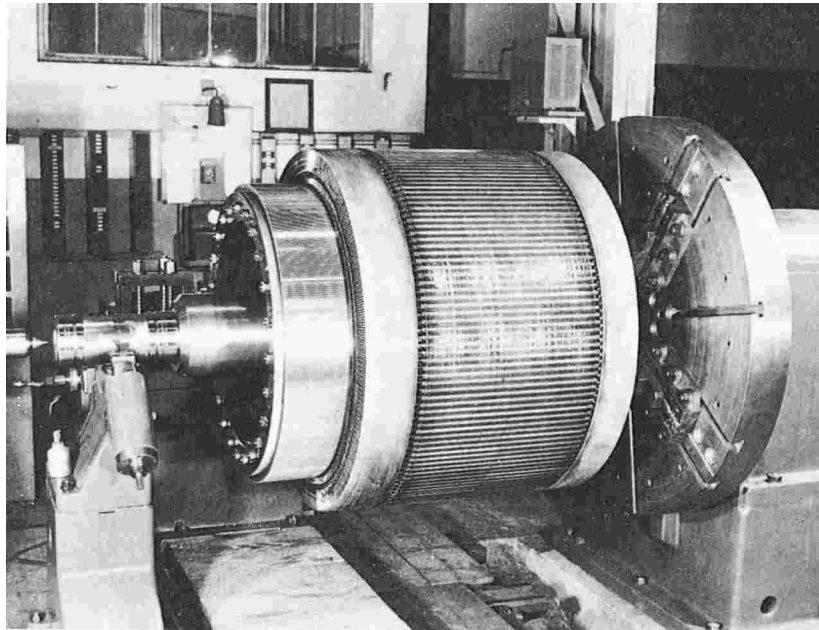
### 7.3. Silniki elektryczne



*Rys. 7.3 Wirnik silnika indukcyjnego klatkowego 1,5 MW*

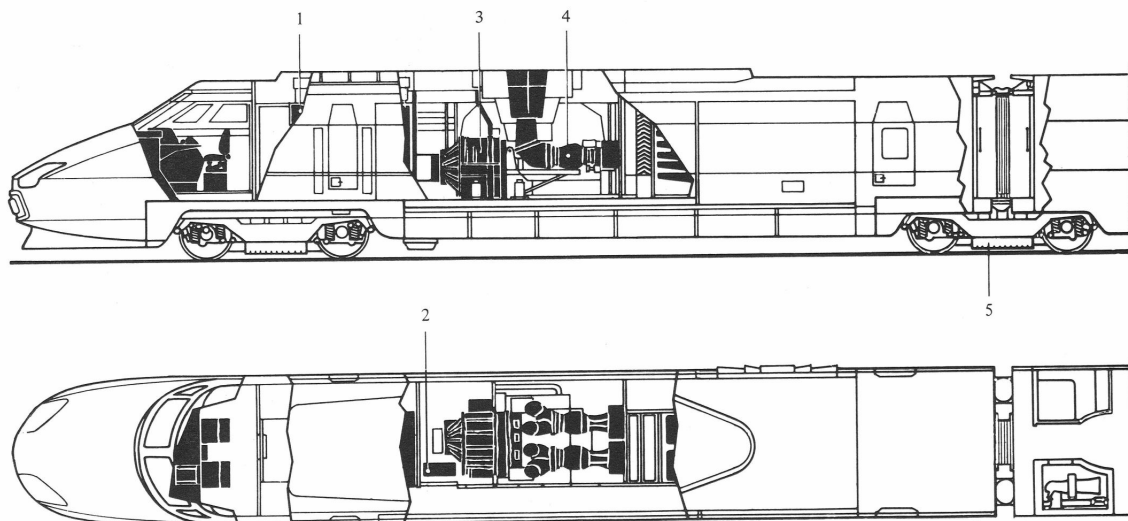


*Rys. 7.4 Wirnik silnika synchronicznego 45 MVA*



*Rys. 7.5 Wirnik silnika prądu stałego 1000 kW, 600 obr/min*

### 7.3. Trakcja elektryczna

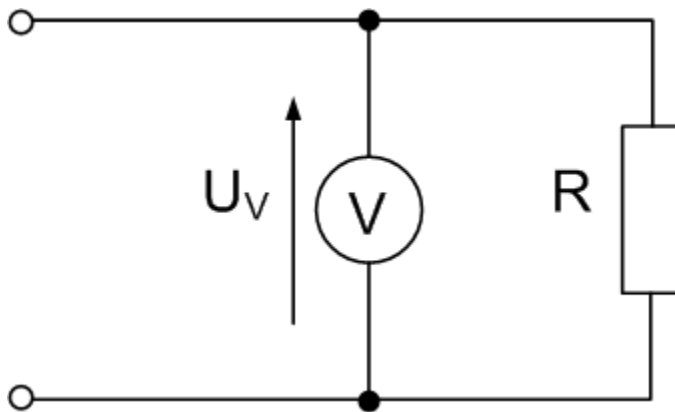


*Rys. 7.6 Lokomotywa TGV z turbiną spalinową*

## 8. Wybrane zagadnienia miernictwa elektrycznego

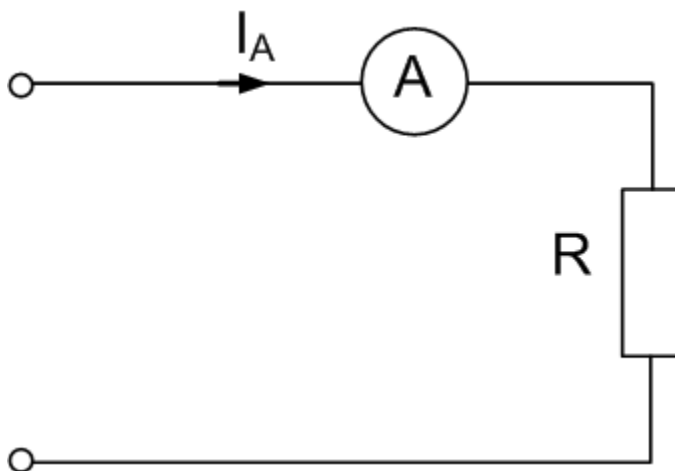
### 8.1 Pobór mocy przez przyrządy pomiarowe

#### Woltomierz



$$P_V = \frac{U_V^2}{R_V}$$

#### Amperomierz



$$P_V = R_A I_A^2$$

### 8.1. Przyrządy elektroniczne

„Idealny pod względem energetycznym woltomierz”? **Tak**

„Idealny pod względem energetycznym amperomierz”? **Nie**