



Polska Izba Gospodarcza Elektrotechniki  
Polish Economic Chamber of Electrotechnics  
[www.elektrotechnika.org.pl](http://www.elektrotechnika.org.pl)

Seminarium

*Nowoczesne Materiały i Technologie dla elektroenergetyki*  
Kraków, 26 września 2014r.

---

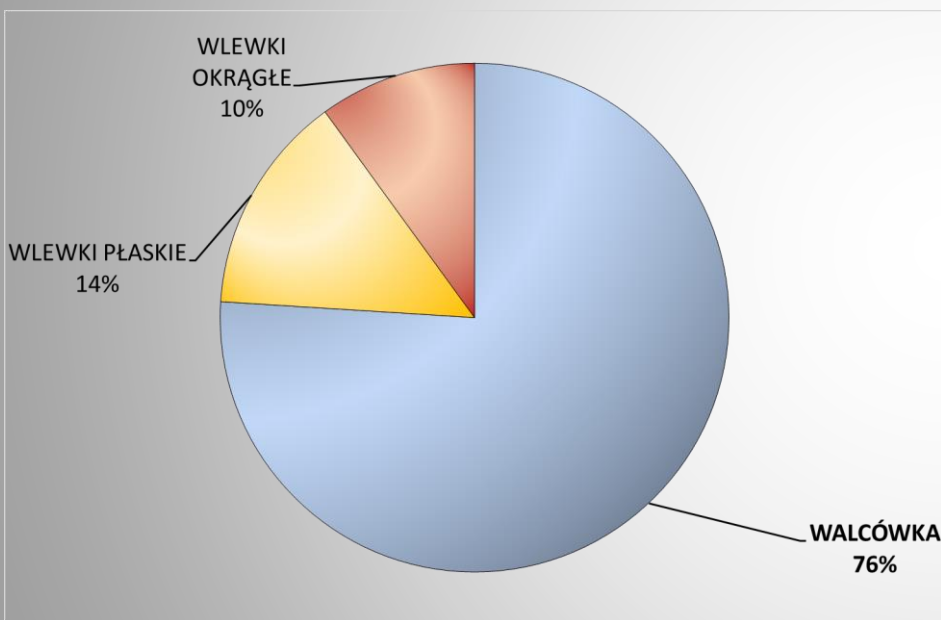
# *Substytucja miedzi przez aluminium – współczesne trendy w elektroenergetyce*

**Beata Smyrak**

Kraków, 26 września 2014r.

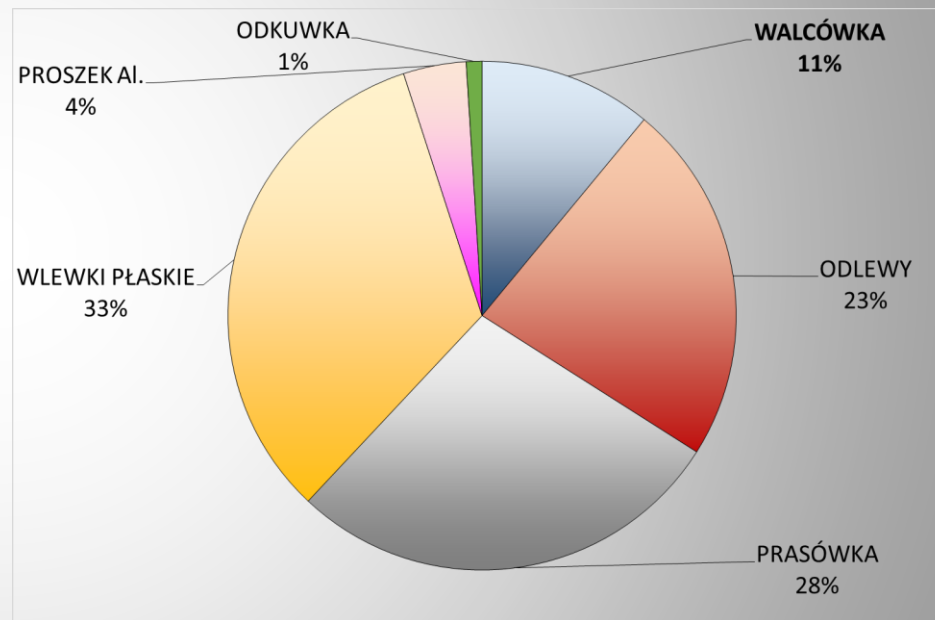
## STRUKTURA ŚWIATOWEJ PRODUKCJI POŁWYROBÓW Z Cu i Al

**Cu**



Rys.1. Diagram produkcji półwyrobów z miedzi w 2009 r.  
(produkcja 18 mln ton.)

**Al**

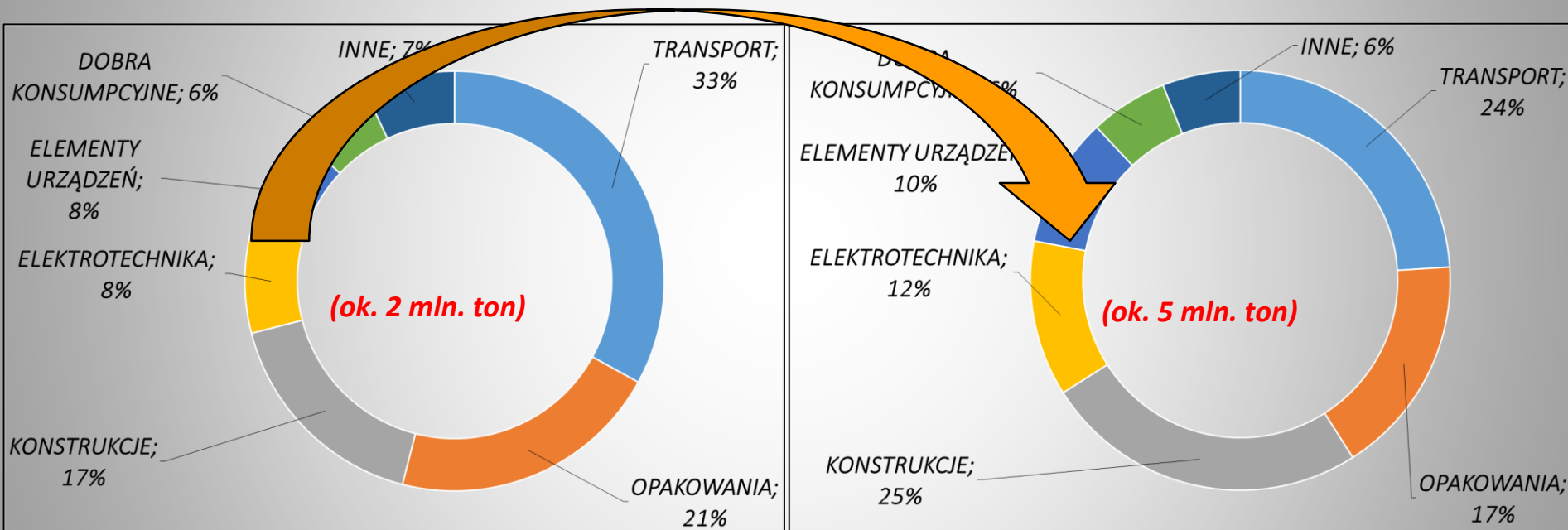


Rys.2. Diagram produkcji półwyrobów z aluminium w 2009 r.  
(produkcja 40,5 mln ton.)

## ŚWIATOWA KONSUMPCJA AI – ANALIZA 2000-2012

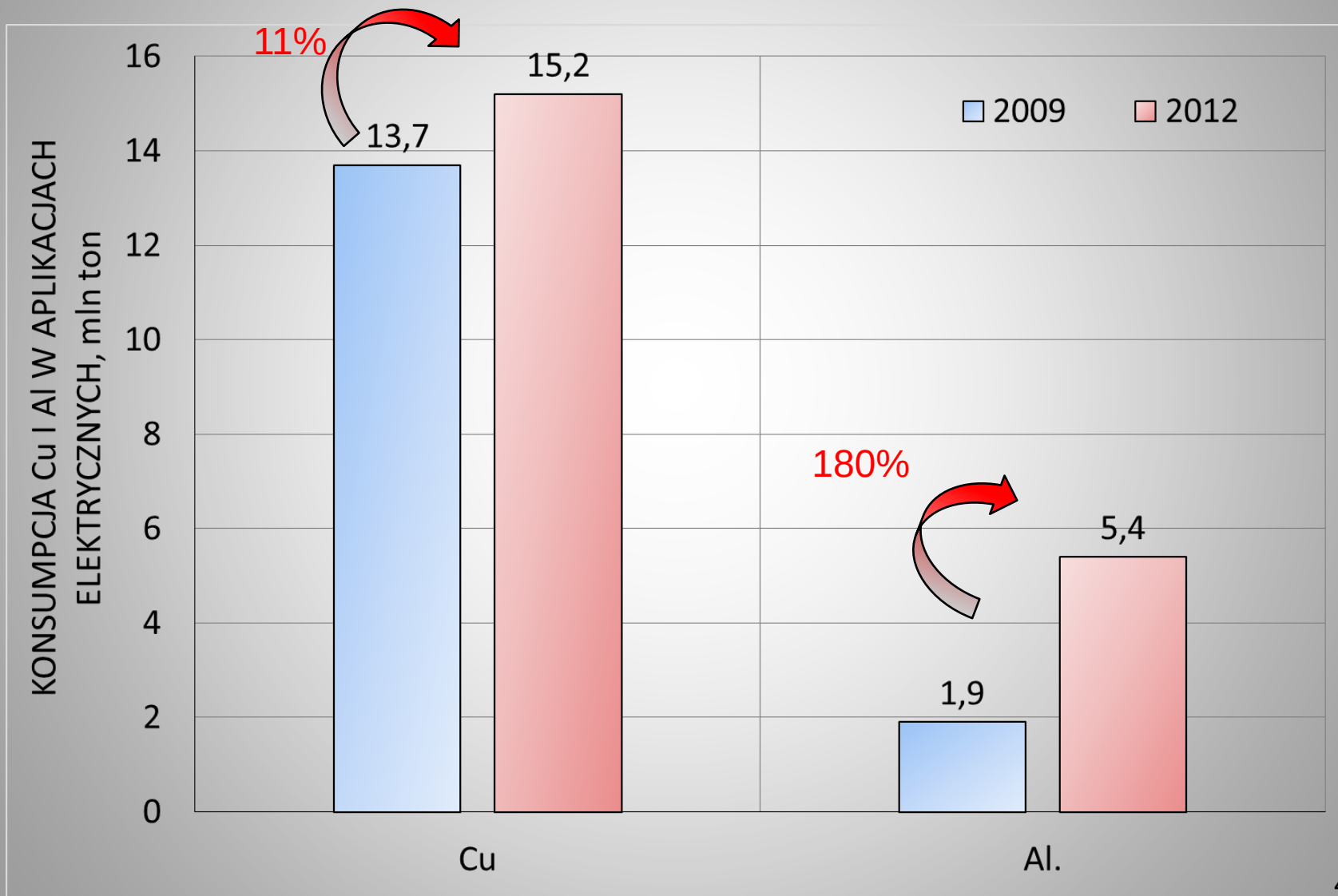
2000 r.

2012 r.



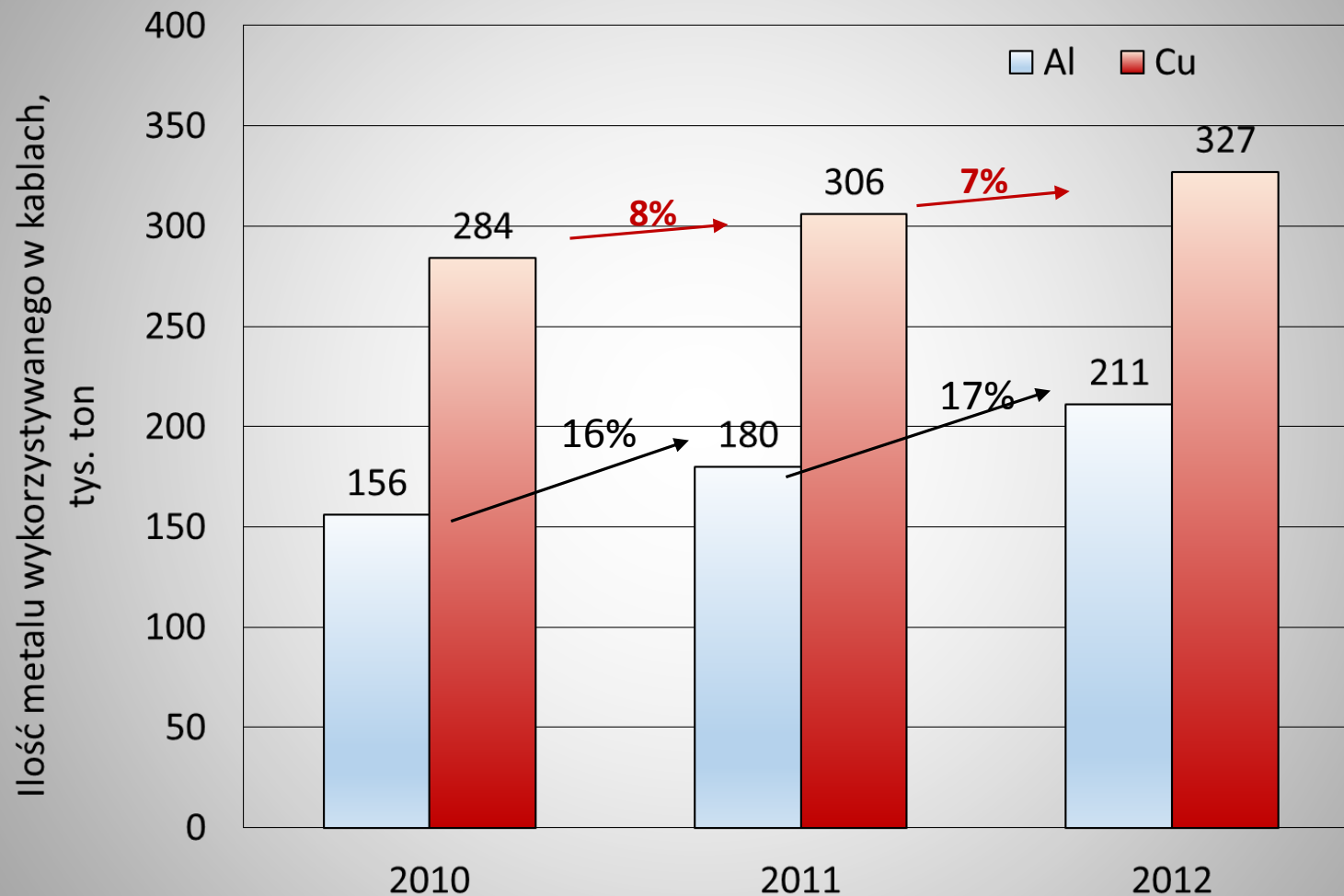
Rys.3. Zużycie wyrobów z aluminium w 2000 r. ( z lewej) i w 2012 r. ( z prawej)

## ŚWIATOWA KONSUMPCJA Al i Cu (2000-2012r.)



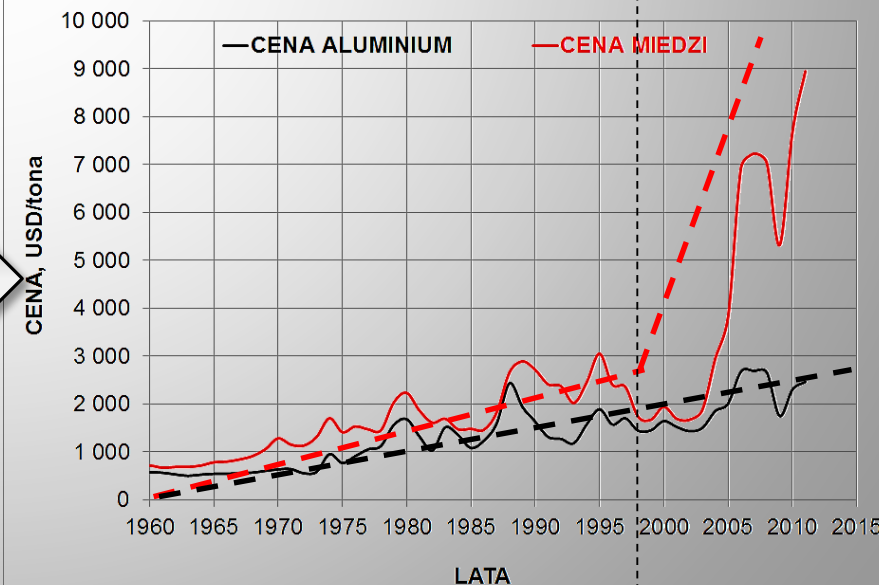
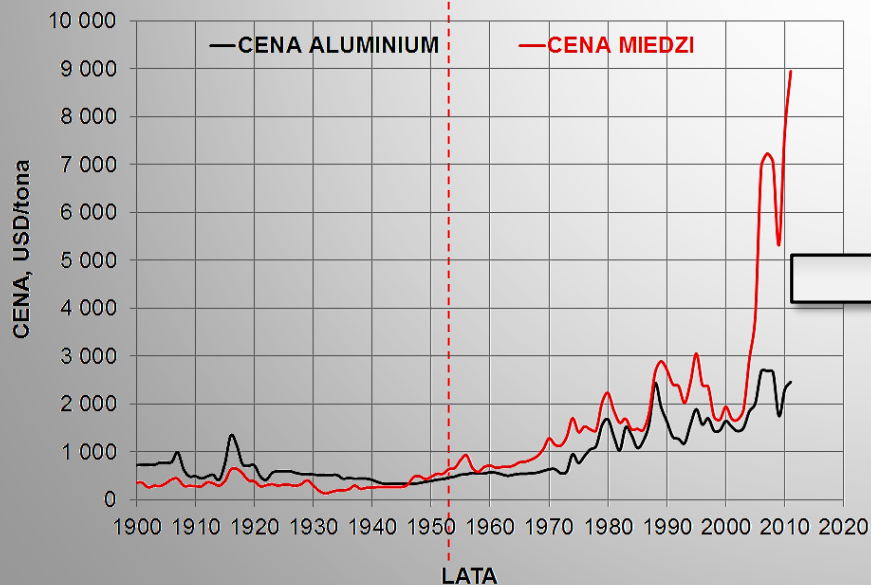
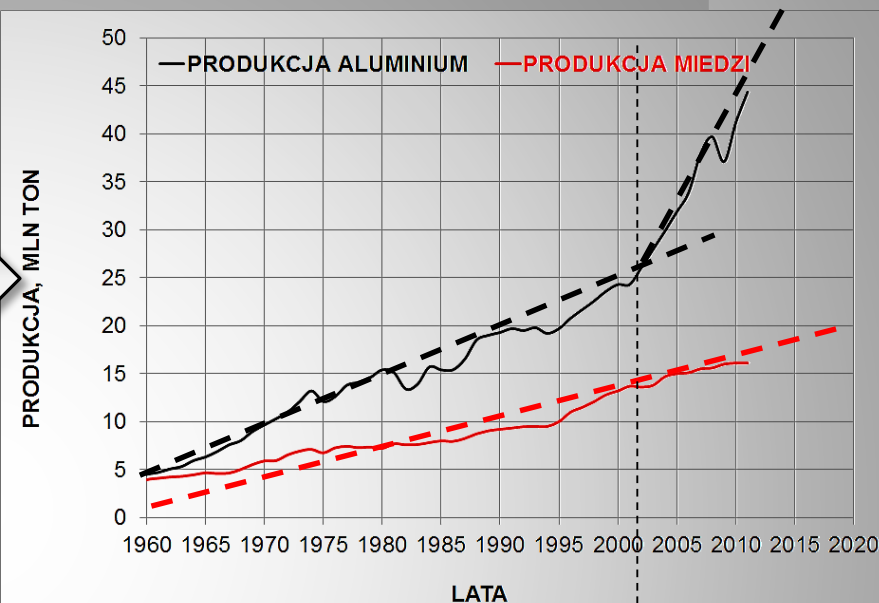
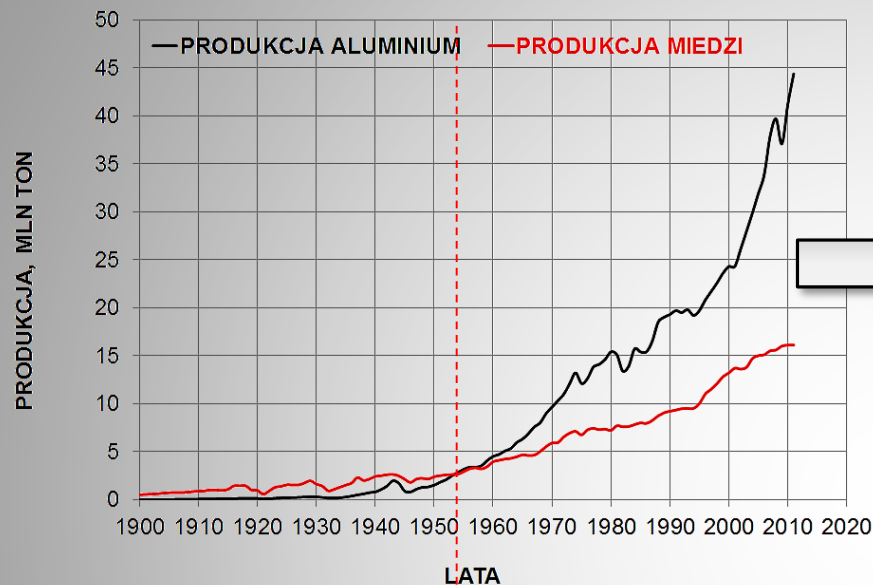
Rys.4. Konsumpcja Cu i Al. w aplikacjach elektrycznych w okresie 2009-2012r.

## ALUMINIUM JAKO SUBSTYTUT MIEDZI W APLIKACJACH ELEKTRYCZNYCH

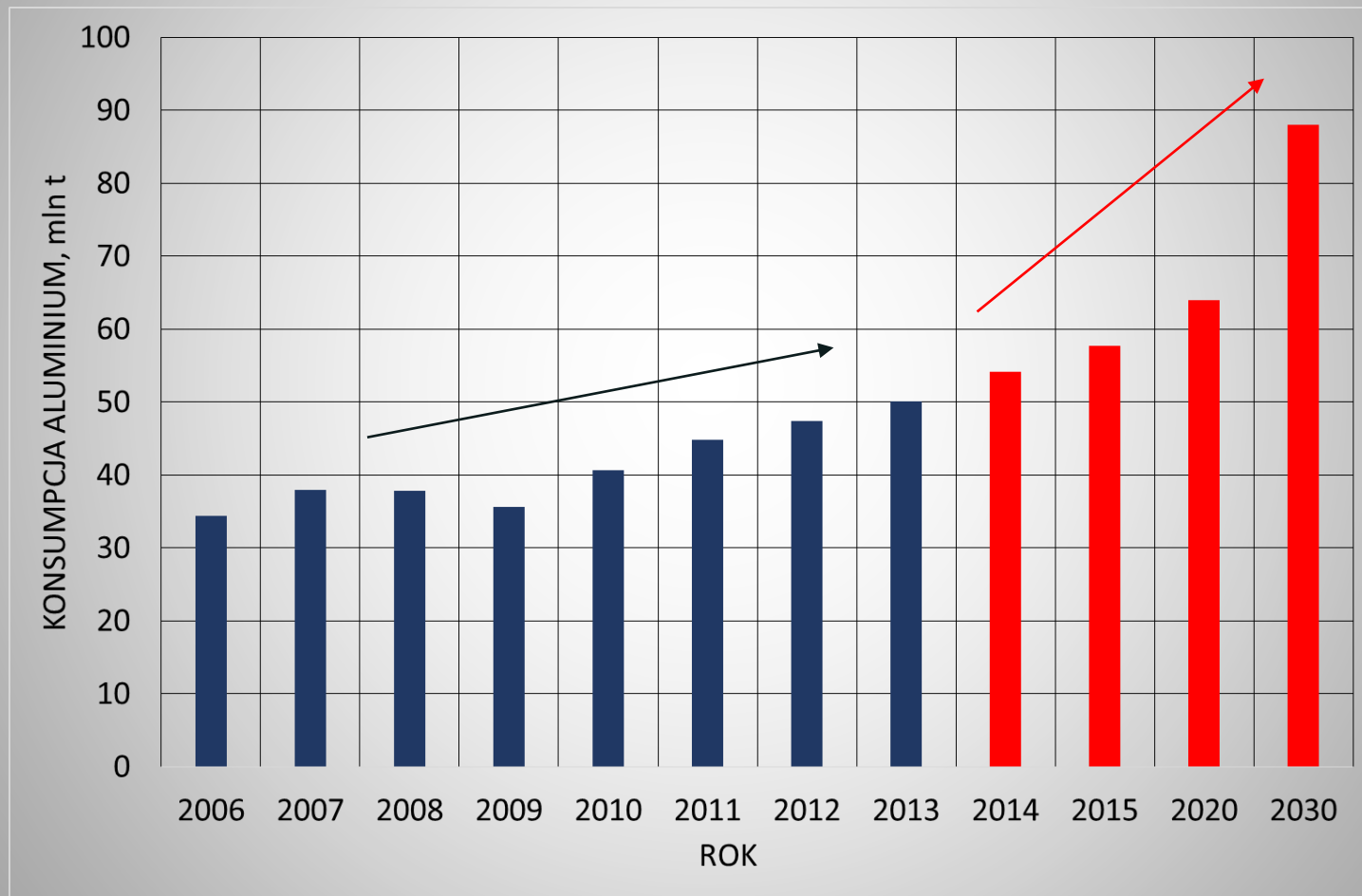


Rys. 5. Ilość Cu i Al wykorzystywana w kablach samochodowych w okresie 2010-2012r.

## ALUMINIUM I MIEDŹ – PRODUKCJA, CENY



## ŚWIATOWA KONSUMPCJA Al – PROGNOZA 2030



Rys.6. Światowa konsumpcja Al w okresie 2006-2013 oraz prognozy do roku 2030.



## SUBSTYTUCJA MIEDZI PRZEZ ALUMINIUM

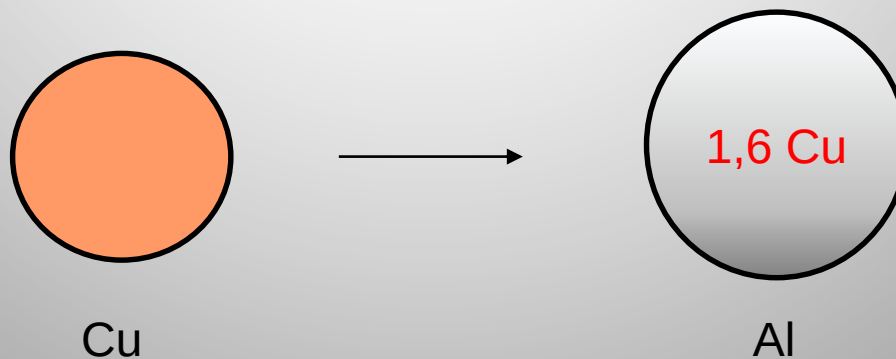
Tablica 1. Porównanie własności miedzi i aluminium

| Własności           | Jednostka         | Cu    | Al   | Cu/Al |
|---------------------|-------------------|-------|------|-------|
| Gęstość             | kg/m <sup>3</sup> | 8900  | 2700 | 3,3   |
| Rezystywność, 20 °C | nΩm               | 17,24 | 27,3 | 0,63  |
| Cena                | \$/t              | 6800  | 1990 | 3,5   |

$$\left( \frac{\text{masa Al}}{\text{masa Cu}} \right)_{R=\text{const}} = \left( \frac{\text{gęstość Al}}{\text{gęstość Cu}} \right) \cdot \left( \frac{\text{rezystywność Al}}{\text{rezystywność Cu}} \right) \cong \frac{1}{2}$$

$$\left( \frac{\text{koszt Al}}{\text{koszt Cu}} \right)_{R=\text{const}} = \left( \frac{\text{masa Al}}{\text{masa Cu}} \right)_{R=\text{const}} \cdot \left( \frac{\text{cena Al}}{\text{cena Cu}} \right) \cong \frac{1}{2} \left( \frac{\text{cena Al}}{\text{cena Cu}} \right)$$

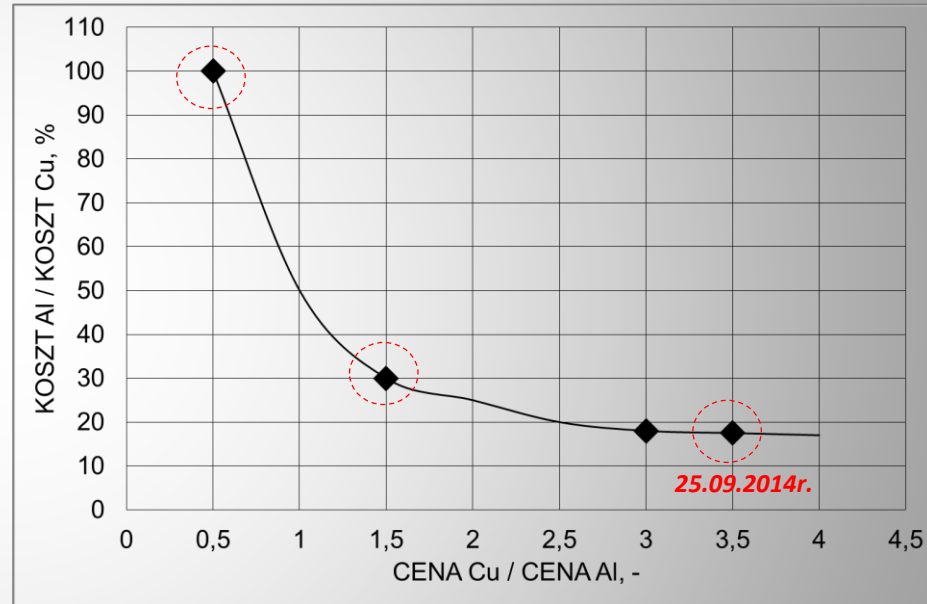
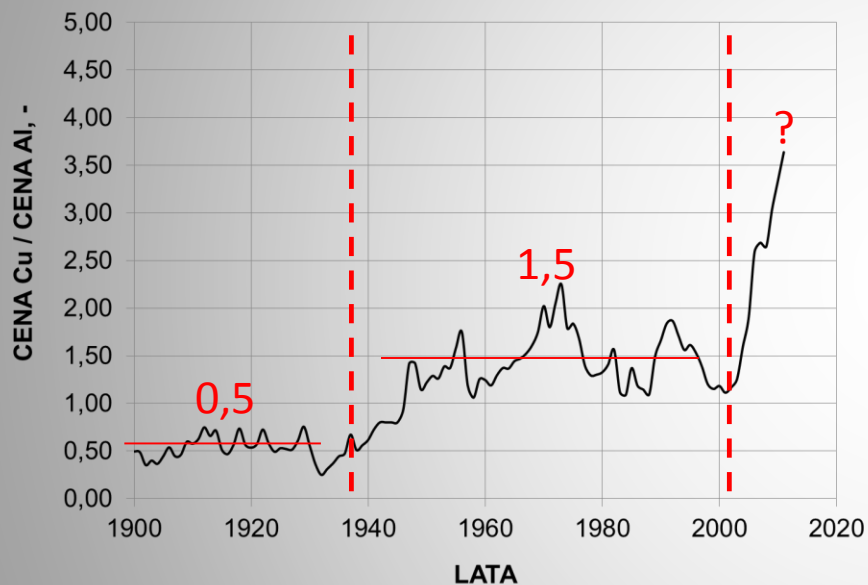
PRZEWÓD GOŁY MIEDZIANY I ALUMINOWY O TAKIEJ SAMEJ REZYSTANCJI





## ALUMINIUM vs. MIEDŹ

### KRZYWA TEORETYCZNA SUBSTYTUCJI MIEDZI PRZEZ ALUMINIUM DLA PRZEWODU O TEJ SAMEJ REZYSTANCJI LINIOWEJ

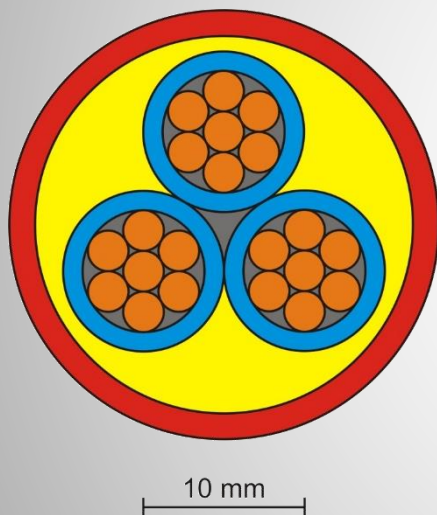


Rys. 7. Relacja cen Cu do Al w okresie ostatnich 120 lat

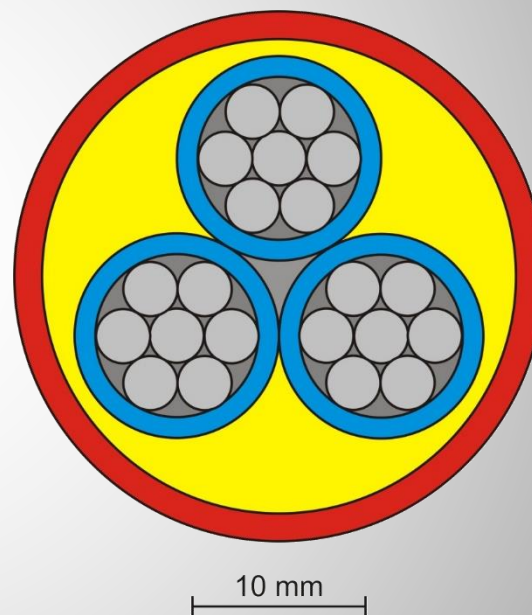
Rys.8. Krzywa substytucji Cu przez Al

## SUBSTYTUCJA MIEDZI PRZEZ ALUMINIUM

### PRZEWÓD Z ŻYŁAMI MIEDZIANYMI



### PRZEWÓD Z ŻYŁAMI ALUMINIOWYMI



#### LEGENDA:

|                                                                                     |           |                                                                                     |           |                                                                                      |                    |                                                                                       |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|  | Drut (Al) |  | Drut (Cu) |   | Izolacja           |  | Powłoka wypełniająca |
|  | Ekran     |  | Pancerz   |  | Powłoka zewnętrzna |                                                                                       |                      |

Rys.9. Przykład kabli z żyłą miedzianą i aluminiową

## TECHNOLOGIA PRODUKCJI WYROBÓW Z MIEDZI I ALUMINIUM - PORÓWNANIE

### ETAP I – GÓRNICTWO I PRZETWÓRSTWO RUDY

1. DOSTĘPNOŚĆ ŹŁOŻ RUDY

2. EKSPLOATACJA ŹŁOŻ RUDY

2. PRZETWÓRSTWO RUDY

### ETAP II - METALURGIA

1. WYTAPIANIE

2. EKSTRAKCJA

3. RAFINACJA

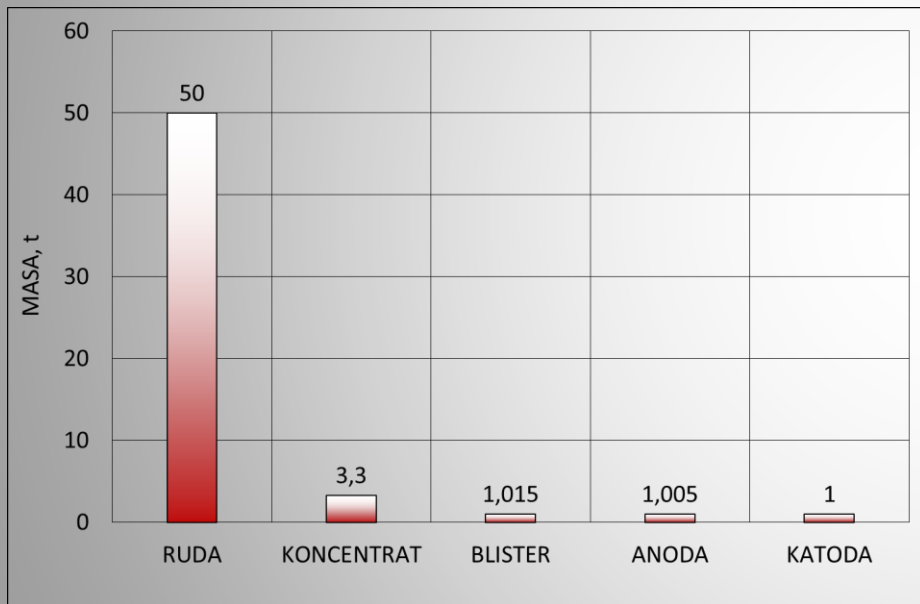
### ETAP III – PRZETWÓRSTWO METALU

1. TOPIENIE

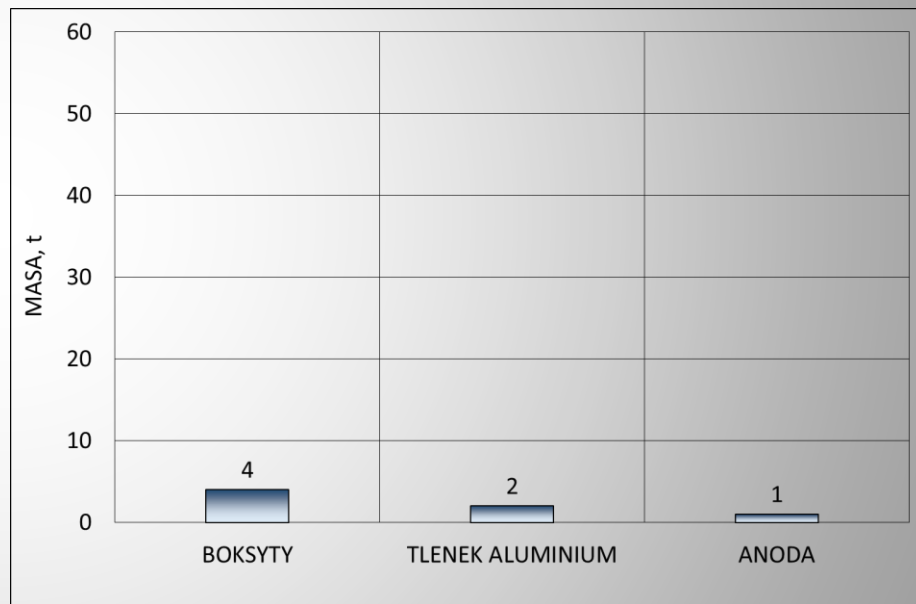
2. ODLEWANIE

3. PRZERÓBKA PLASTYCZNA

## TECHNOLOGIA PRODUKCJI WYROBÓW Z MIEDZI I ALUMINIUM - PORÓWNANIE

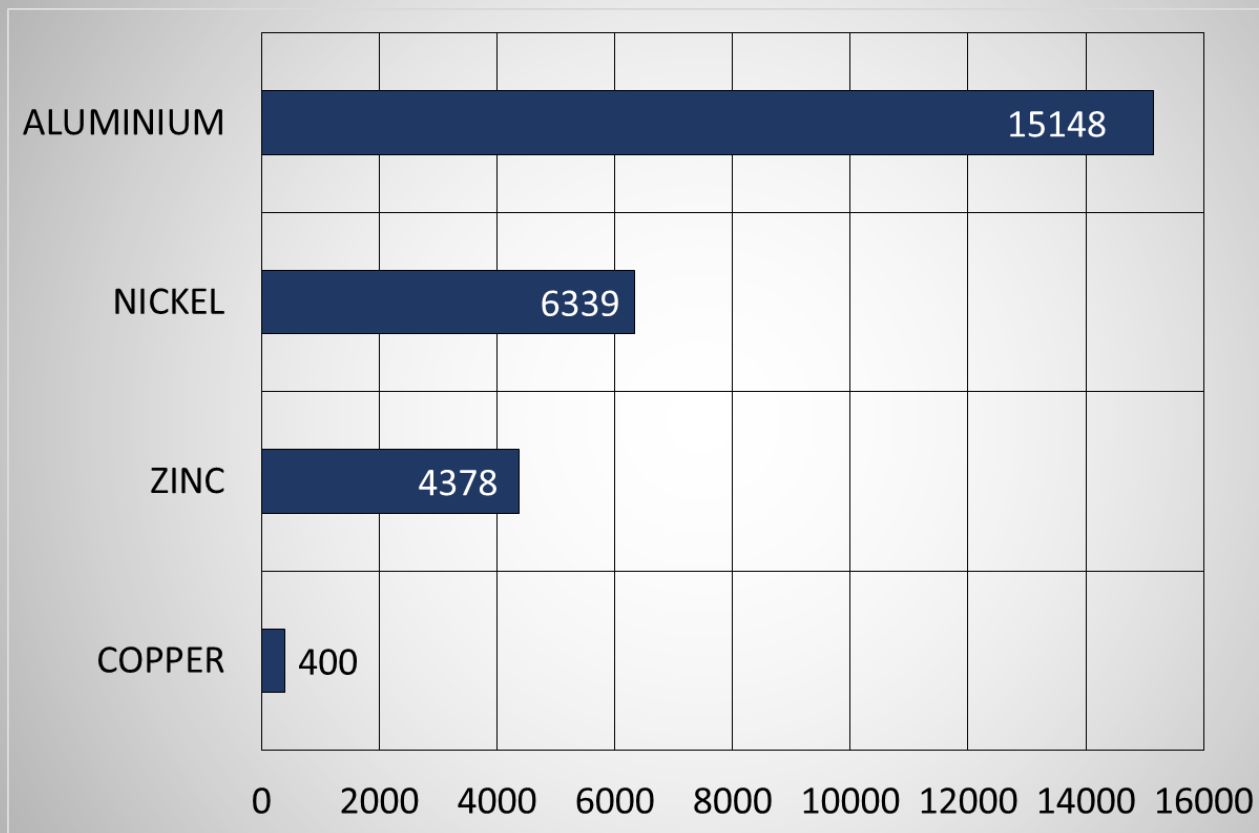


Rys. 10. Etapy produkcji miedzi



Rys.11. Etapy produkcji aluminium

## TECHNOLOGIA PRODUKCJI WYROBÓW Z MIEDZI I ALUMINIUM - PORÓWNANIE

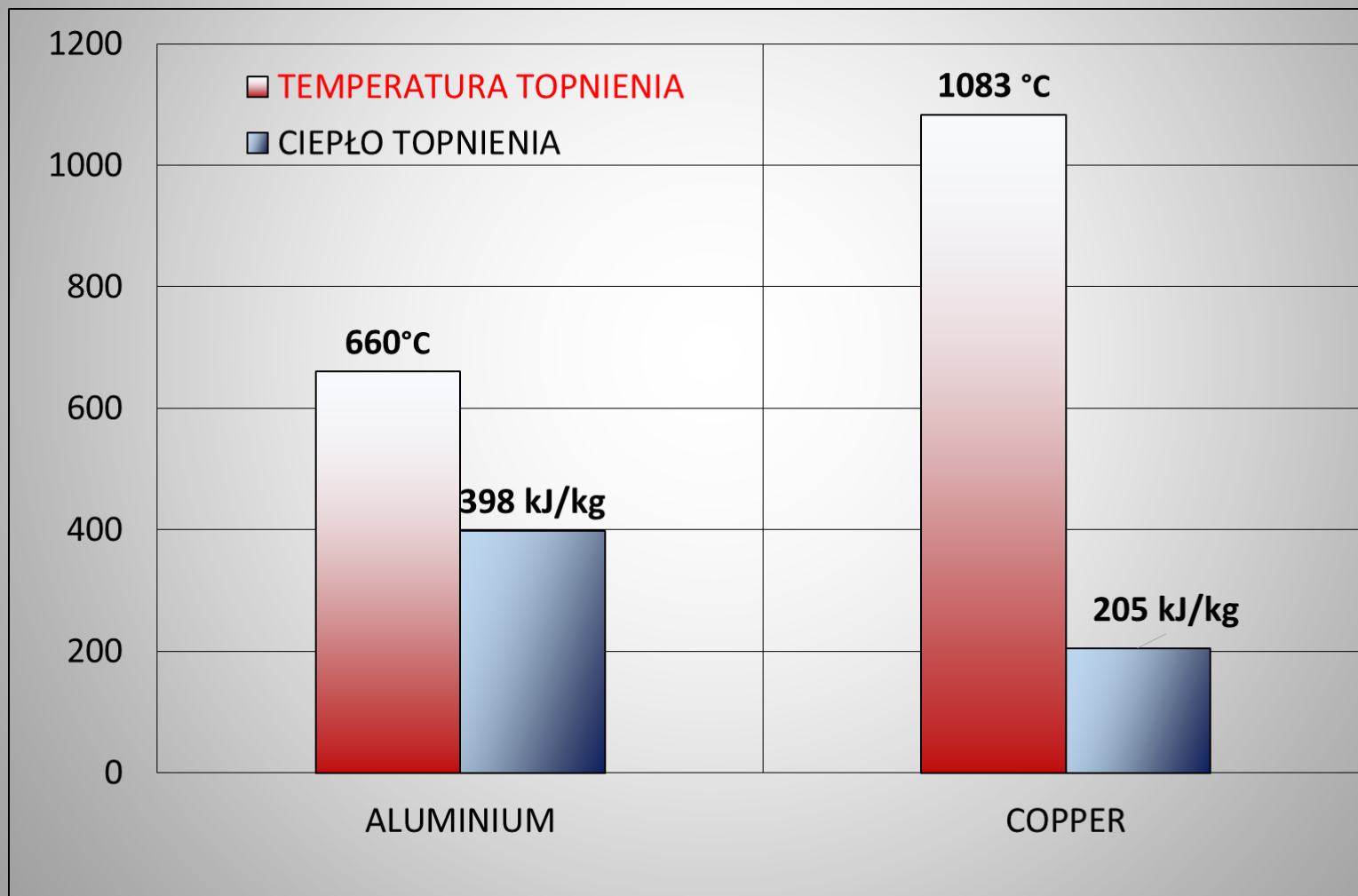


ILOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ WYMAGANEJ DO  
WYPRODUKOWANIA 1 t metalu (KWh/t)

Rys.12. Ilość energii wymagana do wyprodukowania 1 t metalu

## TECHNOLOGIA PRODUKCJI WYROBÓW Z MIEDZI I ALUMINIUM - PORÓWNANIE

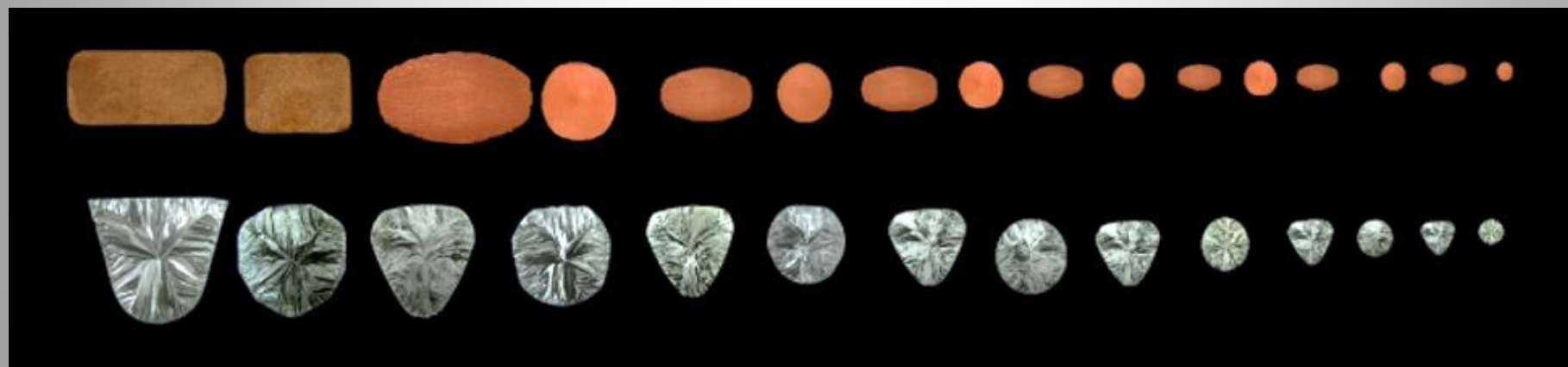
### PROCES TOPIENIA



Rys.13. Porównanie własności fizycznych aluminium i miedzi

# TECHNOLOGIA PRODUKCJI WYROBÓW Z MIEDZI I ALUMINIUM - PORÓWNANIE

## PROCES PRZETWÓRSTWA W LINIACH CIĄGŁEGO ODLEWANIA I WALCOWANIA



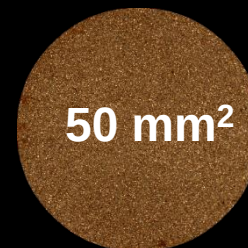
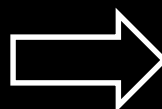
Rys.14. Makrostruktury przekroju poprzecznego pasma Cu i Al walcowanego w liniach COIW Contirod oraz Properzi



# TECHNOLOGIA PRODUKCJI WYROBÓW Z MIEDZI I ALUMINIUM - PORÓWNANIE

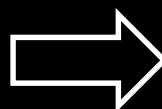
PASMO- Cu ETP

WALCÓWKA– 8 mm



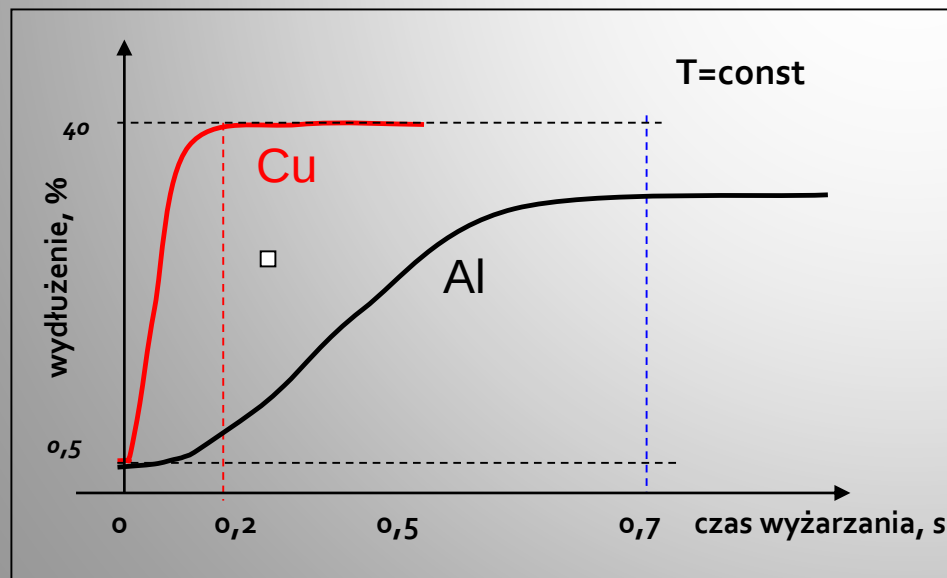
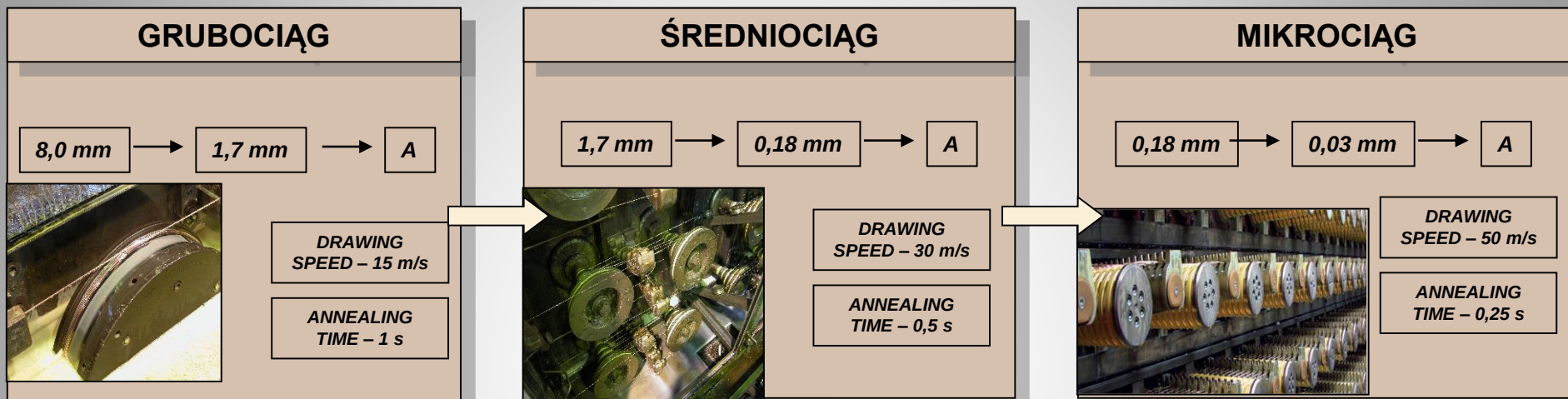
PASMO- Al1370

WALCÓWKA– 9.5 mm



# TECHNOLOGIA PRODUKCJI WYROBÓW Z MIEDZI I ALUMINIUM - PORÓWNANIE

## ODKSZTAŁCALNOŚĆ



- Temperatura rekrytalizacji aluminium jest niższa niż dla miedzi
- Wyższy współczynnik tarcia dla aluminium niż dla miedzi
- 3 x dłuższy cykl technologicznych dla aluminium

Rys.15. Charakterystyka zmiany wydłużenia w funkcji czasu wyżarzania w danej temperaturze aluminium i miedzi

## ALUMINIUM JAKO SUBSTYTUT MIEDZI – ANALIZA SWOT

### MOCNE STRONY

1. NISKA CENA
2. NISKA GĘSTOŚĆ
3. NATURALNA ODPORNOŚĆ KOROZYJNA
4. WYSOKI WSPÓŁCZYNNIK  $R_m$  / GĘSTOŚĆ

### SŁABE STRONY

1. NIŻSZA OD Cu PRZEWODNOŚĆ ELEKTRYCZNA
2. MAŁA ODKSZTAŁCALNOŚĆ
3. NISKA ODPORNOŚĆ REOLOGICZNA
4. NISKA ODPORNOŚĆ CIEPLNA
5. WYSOKI WSPÓŁCZYNNIK TARCIA

### SZANSE

1. ZMIANA PRZEKROJU POPRZECZNEGO
2. STOPY ALUMINIUM SERII 8XXX
3. STOPY ALUMINIUM SERII 6XXX I 8XXXX
4. ODPORNE CIEPLNIE STOPY Al.-Zr
5. POLIKRYSTALICZNE CIĄGADŁA DIAMENTOWE (PCD)

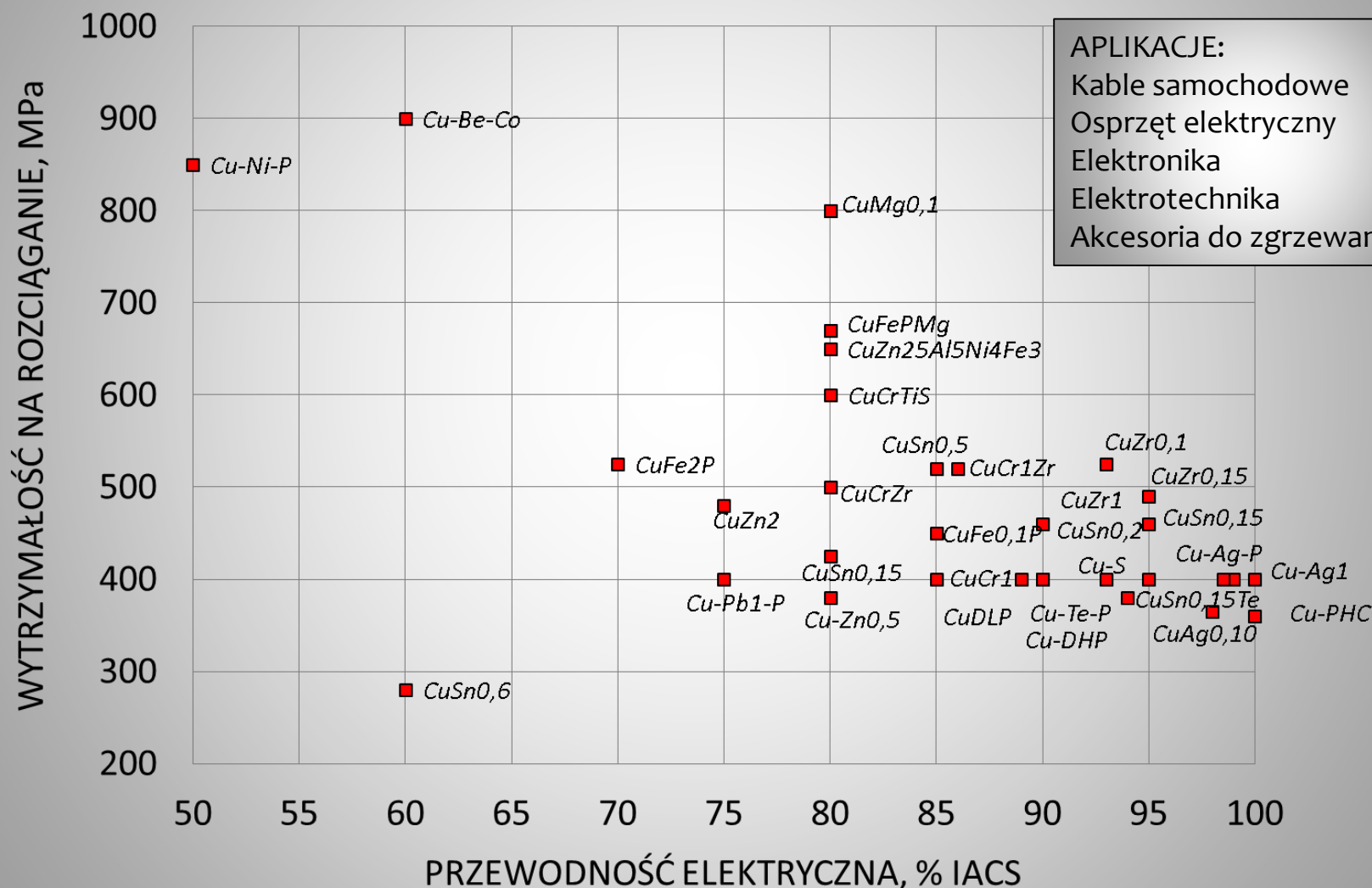
### ZAGROŻENIA

1. SPADEK CEN MIEDZI
2. NIEZNANE WŁASNOŚCI EKSPLOATACYJNE
3. NOWE MATERIAŁY PRZEWODZĄCE NP. NA BAZIE GRAFENU
4. STOPY MIEDZI
4. MIEDŹ NISKOSTOPOWA

## **OBSZARY ZAKAZANE DLA SUBSTYTUCJI MIEDZI PRZEZ ALUMINIUM**

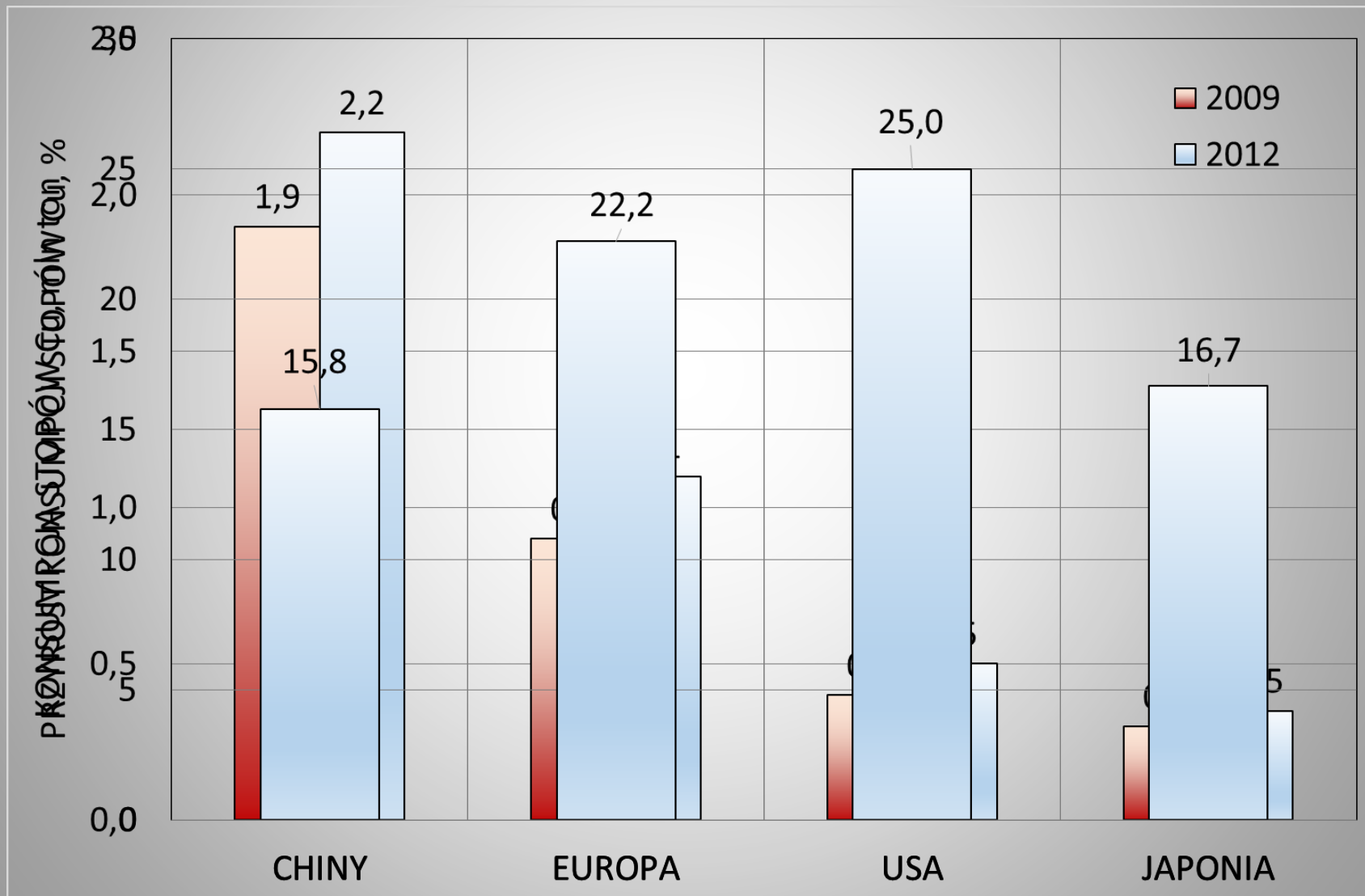
- 1. SPECJALISTYCZNE KABLE O WYSOKIEJ PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ***
- 2. KABLE WYSOKOOBCIĄŻALNE PRĄDOWO***
- 3. KABLE W ELEKTRONICE***
- 4. KABLE ODPORNE MECHANICZNIE, CIEPLNIE, REOLOGICZNIE I ZMĘCZENIOWO  
WYKORZYSTUJĄCE MIEDŹ NISKOSTOPOWĄ***

## MIEDŹ NISKOSTOPOWA



Rys.16. Relacja przewodności elektrycznej i wytrzymałości na rozciąganie wybranych gatunków miedzi niskostopowej

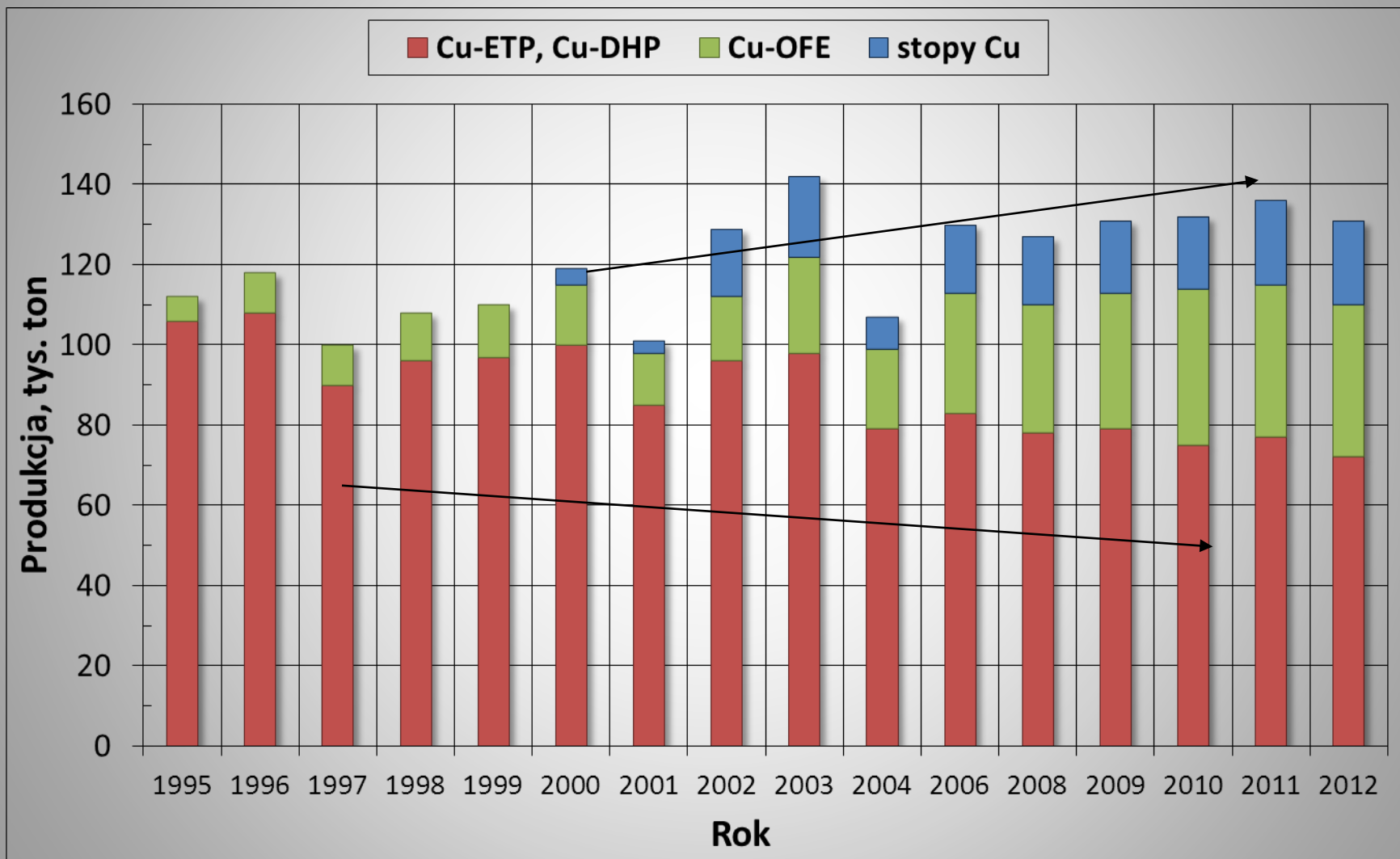
## KONSUMPCJA STOPÓW MIEDZI – 2009-2012



Rys.17. Światowa produkcja stopów miedzi z podziałem na rejony

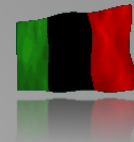


## NOWE TRENDY W PRODUKCJI MIEDZI NA CELE ELEKTRYCZNE - JAPONIA



Rys.18. Produkcja czystej miedzi oraz jej stopów w Japonii w okresie 1995-2012r.





## OBSZARY SUBSTYTUCJI MIEDZI PRZEZ ALUMINIUM

1. NIESKOMPLIKOWANE W BUDOWIE KABLE WYKORZYSTUJĄCE ŻYŁĘ Z Cu-ETP
2. KABLE NISKONAPIĘCIOWE WYKORZYSTUJĄCE ŻYŁĘ Z Cu-ETP
3. WYROBY WYKORZYSTYWANE W APLIKACJACH WYMAGAJĄCYCH OGRANICZENIA MASY PRZEWODU (kable samolotowe, kable samochodowe, przewody napowietrzne, konstrukcje paneli słonecznych)



Polska Izba Gospodarcza Elektrotechniki  
Polish Economic Chamber of Electrotechnics  
[www.elektrotechnika.org.pl](http://www.elektrotechnika.org.pl)

Seminarium

*Nowoczesne Materiały i Technologie dla elektroenergetyki*  
Kraków, 26 września 2014r.

---

# *Substytucja miedzi przez aluminium – współczesne trendy w elektroenergetyce*

**Beata Smyrak**

Kraków, 26 września 2014r.