

## MODUŁ 11

# MAGNETYZM, INDUKCJA ELEKTROMAGNETYCZNA

→ FIZYKA – ZAKRES ROZSZERZONY

OPRACOWANE W RAMACH PROJEKTU:  
WIRTUALNE LABORATORIA FIZYCZNE NOWOCZESNĄ METODĄ NAUCZANIA.  
PROGRAM NAUCZANIA FIZYKI  
Z ELEMENTAMI TECHNOLOGII INFORMATYCZNYCH

## → Zadania

### Zadanie 1

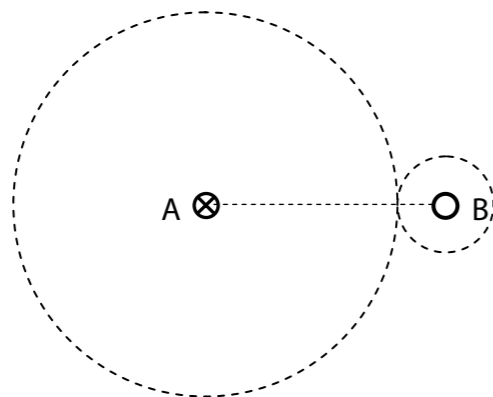
W odległości 0,1 m od prostoliniowego przewodnika, w którym płynie prąd elektryczny, wartość indukcji magnetycznej pola wynosi 0,02 mT. Oblicz wartość indukcji magnetycznej pola w odległości 0,15 m.

### Zadanie 2

Wewnątrz zwojnicy o długości 5 cm wartość indukcji magnetycznej pola wynosi 0,4 mT. Zwojnica posiada 200 zwojów. Oblicz natężenie prądu płynącego przez zwojnicę.

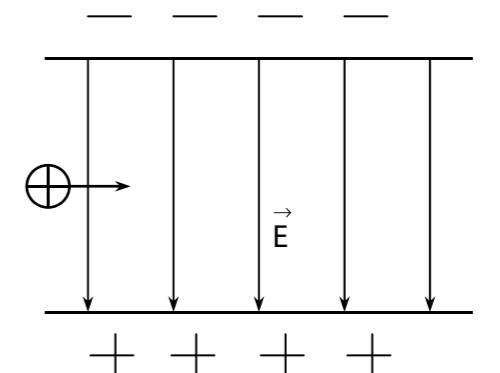
### Zadanie 3

W odległości 20 cm od siebie znajdują się dwa prostoliniowe przewodniki, przez które przepływają prądy elektryczne. Przewodniki te są równoległe do siebie. W przewodniku A (patrz rysunek) płynie prąd o natężeniu 2,5 A. W odległości 16 cm od tego przewodnika wartość indukcji wypadkowego pola magnetycznego pochodzącego od tych dwóch przewodników jest równa zero. Wyznacz kierunek płynięcia prądu w przewodniku B. Oblicz natężenie prądu płynącego w tym przewodniku.



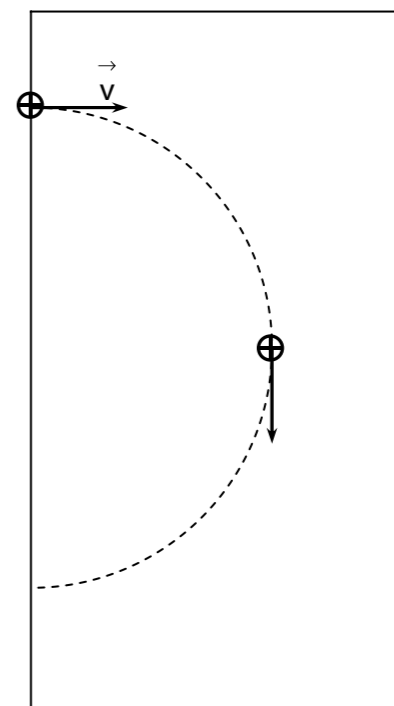
### Zadanie 4

Krzyżując ze sobą pola elektryczne oraz magnetyczne można doprowadzić do otrzymania strumienia naładowanych cząstek o jednakowych wartościach prędkości. Wyobraźmy sobie, że udało się doprowadzić do uzyskania strumienia cząstek  $\alpha$  poruszających się z prędkością o wartości  $2 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Na rysunku przedstawiono układ umożliwiający uzyskanie strumienia naładowanych cząstek o jednakowych wartościach prędkości zaznaczając kierunek i zwrot pola elektrycznego. Na rysunku dorysuj pole magnetyczne. Oblicz stosunek wartości natężenia pola elektrycznego do wartości indukcji magnetycznej pola magnetycznego.

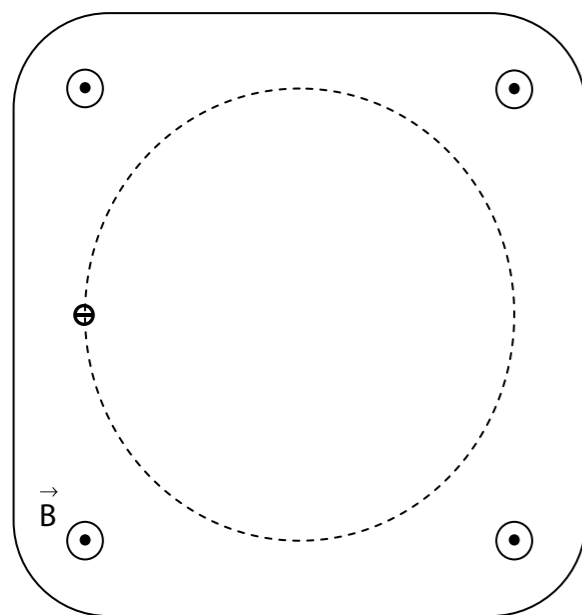


### Zadanie 5

Do obszaru jednorodnego pola magnetycznego, prostopadle do jego linii, wpada strumień dodatnio naładowanych cząstek. Cząstki te poruszają się z prędkością o wartości  $4 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Poruszając się po części okręgu cząstki uderzają w detektor w odległości 20 cm od miejsca wpadnięcia do obszaru pola magnetycznego (patrz rysunek). Wartość indukcji magnetycznej pola wynosi 80 mT. Zaznacz na rysunku kierunek i zwrot pola magnetycznego. Oblicz stosunek masy cząstek do ich ładunku.

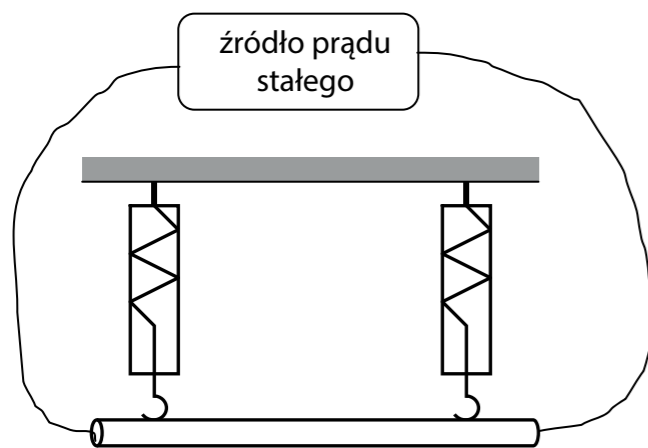


### Zadanie 6



W obszarze jednorodnego pola magnetycznego, po okręgu o promieniu 0,5 m krążą elektrony. Pole magnetyczne jest prostopadłe do płaszczyzny rysunku, wartość indukcji tego pola wynosi 0,5 mT. Na rysunku zaznacz kierunek i zwrot wektora prędkości poruszającego się elektronu. Oblicz okres obiegu elektronów w polu magnetycznym.

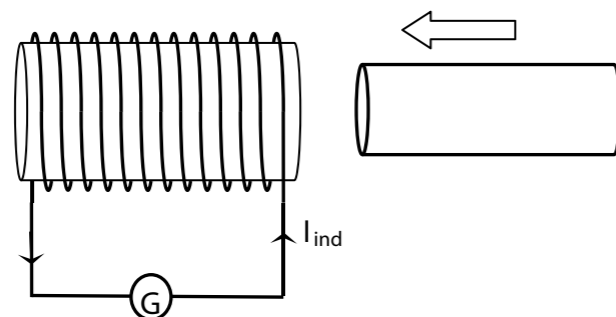
### Zadanie 7



Na dwóch siłomierzach wisi przewodnik. Siłomierze wskazują wartości 1 N. Długość przewodnika wynosi 30 cm. Przewodnik ten znajduje się w obszarze jednorodnego pola magnetycznego o indukcji 0,2 T. Pole magnetyczne jest prostopadłe do przewodnika oraz płaszczyzny rysunku. Przewodnik jest podłączony, za pomocą przewodów o znikomej masie, do źródła napięcia stałego. Gdy w przewodniku płynie prąd elektryczny wskazania siłomierzy wzrastają o 20%. Zaznacz na rysunku kierunek przepływu prądu przez przewodnik. Oblicz natężenie prądu płynącego w przewodniku.

### Zadanie 8

Gdy do zwojnicy zbliża się magnes trwały, to miernik wskazuje przepływ prądu indukcyjnego (patrz rysunek). Na rysunku zaznacz bieguny magnetyczne magnesu trwałego.



### Zadanie 9

Ramka prądnicza posiada 200 zwojów. Powierzchnia tej ramki wynosi 5 cm<sup>2</sup>. Ramka ta obraca się w polu magnetycznym o indukcji 0,1 T. Oblicz częstotliwość obrotów tej ramki jeśli wyindukowała się w niej siła elektromotoryczna 1,5 V.

### Zadanie 10

Do uzwojenia pierwotnego transformatora podłączono akumulator. Napięcie na zaciskach akumulatora wynosi 11,8 V. Transformator posiada 250 zwojów na uzwojeniu pierwotnym oraz 1000 zwojów na uzwojeniu wtórnym. Oblicz napięcie na uzwojeniu wtórnym.

### Zadanie 11

Transformator posiada 1500 zwojów na uzwojeniu pierwotnym oraz 200 zwojów na uzwojeniu wtórnym. Natężenie skuteczne prądu płynącego przez uzwojenie pierwotne wynosi 0,5 A. Napięcie skuteczne na uzwojeniu wtórnym wynosi 20 V. Sprawność transformatora wynosi 95%. Oblicz napięcie skuteczne na uzwojeniu pierwotnym oraz natężenie skuteczne prądu płynącego przez uzwojenie wtórne.

## Rozwiązania

### Zadanie 1

Wartość indukcji magnetycznej pola w odległości  $r_2 = 0,15$  m można obliczyć ze wzoru:  $B_2 = \mu_0 \frac{I}{2\pi r_2}$

Natężenie prądu płynącego w przewodzie:  $I = \frac{B_1 \cdot 2\pi \cdot r_1}{\mu_0}$

Wstawiając to wyrażenie do pierwszego otrzymujemy:  $B_2 = \mu_0 \frac{B_1 \cdot 2\pi \cdot r_1}{2\pi \cdot r_2 \cdot \mu_0} = B_1 \frac{r_1}{r_2}$

Wstawiając dane do wzoru otrzymujemy:

$$B_2 = 0,02 T \frac{0,1 m}{0,15 m} = 0,013 T$$

**Odpowiedź:** Wartość indukcji pola magnetycznego w odległości 0,15 m od przewodnika wynosi 0,013 T.

### Zadanie 2

Wewnątrz zwojnicy o długości 5 cm wartość indukcji magnetycznej pola wynosi 0,4 mT. Zwojnica posiada 200 zwojów. Oblicz natężenie prądu płynącego przez zwojnicę.

Wartość indukcji magnetycznej wewnątrz zwojnicy opisuje wzór:

$$B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{l}$$

Przekształcając powyższy wzór można wyznaczyć natężenie prądu płynącego w zwojnicy:

$$I = \frac{B \cdot l}{\mu_0 \cdot N}$$

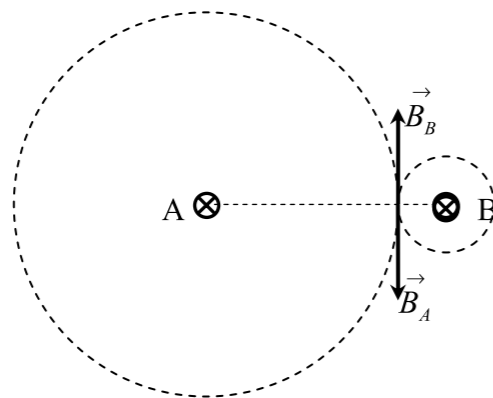
Wstawiając dane do wzoru otrzymujemy:

$$I = \frac{0,4 \cdot 10^{-3} T \cdot 5 \cdot 10^{-2} m}{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2} \cdot 200} = 0,08 A$$

**Odpowiedź:** Natężenie prądu płynącego w zwojnicy wynosi 0,08 A.

### Zadanie 3

Jeżeli wypadkowe pole magnetyczne pochodzące od obu przewodników ma być równe zero, to zwroty wektorów indukcji obu pól muszą mieć przeciwne zwroty. Korzystając z reguły prawej dłoni można wyznaczyć kierunek płynięcia prądu w przewodniku B



Wartość indukcji magnetycznej obu pól są takie same, więc:

$$\mu_0 \frac{I_A}{2\pi \cdot r_A} = \mu_0 \frac{I_B}{2\pi \cdot r_B}$$

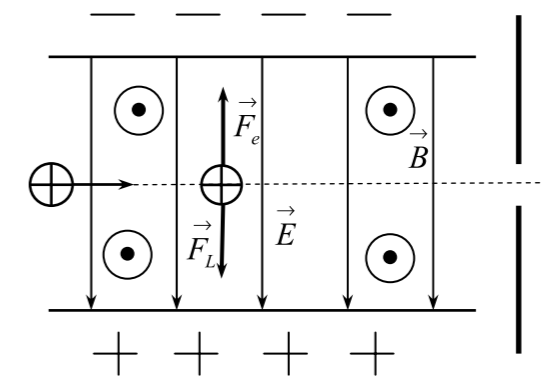
Stąd natężenie prądu płynącego w przewodniku B:

$$I_B = I_A \frac{r_B}{r_A} = 2,5 A \frac{4 cm}{16 cm} = 0,625 A$$

**Odpowiedź:** Natężenie prądu płynącego w przewodniku B wynosi 0,625A

### Zadanie 4

Aby cząstki a mogły poruszać się po linii prostej siły działające na nie muszą się równoważyć. Zwrot siły Lorentza jest przeciwny do zwrotu siły pochodzącej od pola elektrycznego. Kierunek i zwrot linii pola magnetycznego ustalono korzystając z reguły lewej dłoni.



Wartości obu sił działających na cząstkę są takie same:

$$q \cdot v \cdot B = q \cdot E$$

Ze wzoru tego wynika, że szukany stosunek wartości natężenia pola elektrycznego  $\vec{E}$  do wartości indukcji magnetycznej pola magnetycznego  $\vec{B}$  jest równy wartości prędkości cząstki:

$$\frac{E}{B} = v = 2 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$$

**Odpowiedź:** Stosunek wartości natężenia pola elektrycznego do wartości indukcji magnetycznej pola magnetycznego wynosi  $2 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ .

### Zadanie 5

Naładowana cząstka wpadająca prostopadłe do linii pola magnetycznego porusza się po okręgu. Rolę siły dośrodkowej pełni w tym przypadku siła Lorentza. Kierunek i zwrot wektora indukcji magnetycznej wyznaczmy korzystając z reguły lewej dłoni.

Rolę siły dośrodkowej pełni w tym przypadku siła Lorentza, co można zapisać równaniem:

$$q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

gdzie:  $r = 10$  cm.

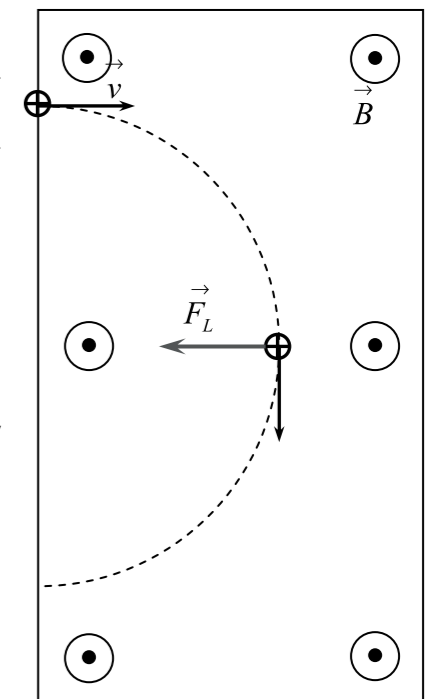
Przekształcając powyższe równanie otrzymamy stosunek masy cząstki do jej ładunku:

$$\frac{m}{q} = \frac{B \cdot r}{v}$$

Wstawiając dane otrzymujemy:

$$\frac{m}{q} = \frac{80 \cdot 10^{-3} T \cdot 10 \cdot 10^{-2} m}{4 \cdot 10^5 \frac{m}{s}} = 2 \cdot 10^{-8} \frac{kg}{C}$$

**Odpowiedź:** Stosunek masy cząstki do jej ładunku wynosi:  $2 \cdot 10^{-8} \frac{kg}{C}$ .



### Zadanie 6

Na poruszający się po okręgu elektron działa siła dośrodkowa. Korzystając z reguły lewej ręki wyznaczmy kierunek i zwrot wektora prędkości elektronu (patrz rysunek obok).

Rolę siły dośrodkowej pełni w tym przypadku siła Lorentza, co można zapisać równaniem:

$$q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Pamiętając, że  $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$  otrzymujemy:

$$q \cdot B = \frac{m \cdot 2\pi \cdot r}{r \cdot T}$$

Z ostatniego równania wyznaczamy okres obiegu elektronu po okręgu:

$$T = \frac{m \cdot 2\pi}{B \cdot q}$$

Podstawiając dane otrzymujemy:

$$T = \frac{2\pi \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{0,5 \text{ T} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 7,15 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

**Odpowiedź:** Okres obiegu elektronu po okręgu wynosi  $7,15 \cdot 10^{-8} \text{ s}$

### Zadanie 7

Wskazania siłomierza wzrosły, co oznacza, że siła elektrodynamiczna jest skierowana w dół. Gdy pole magnetyczne ma zwrot od rysunku, to prąd przepływa w kierunku zaznaczonym na rysunku.

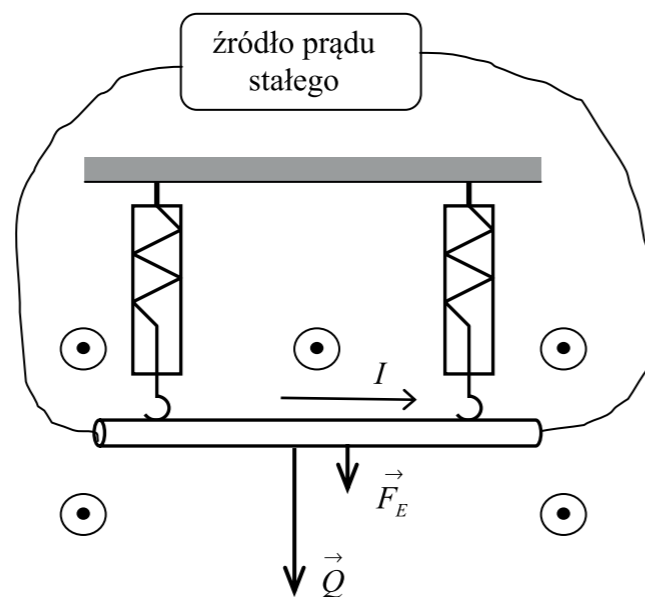
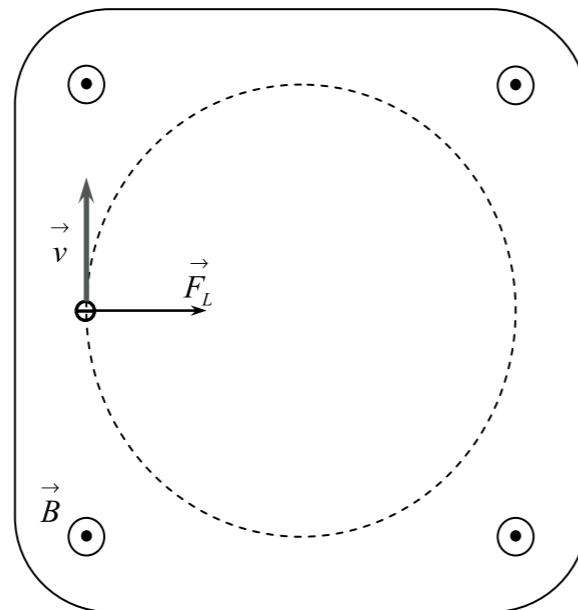
Wartość siły wskazywanej przez siłomierze wzrosła o 20%, czyli wartość siły elektrodynamicznej działającej na przewodnik wynosi 0,4 N.

Zgodnie z definicją wartość siły elektrodynamicznej zapisujemy za pomocą wzoru:  $F = B \cdot I \cdot l$

Stąd natężenie prądu:

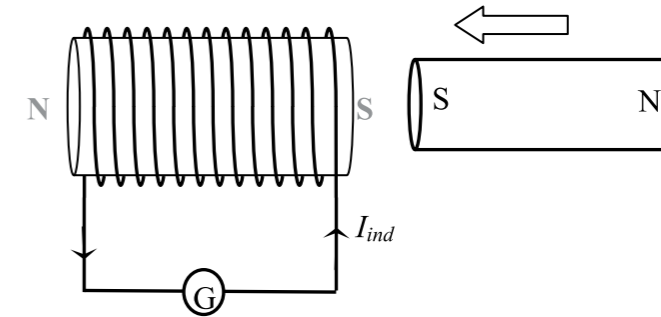
$$I = \frac{F}{B \cdot l} = \frac{0,4 \text{ N}}{0,2 \text{ T} \cdot 0,3 \text{ m}} = 6,67 \text{ A}$$

**Odpowiedź:** Natężenie prądu płynącego w przewodniku wynosi 0,67 A.



### Zadanie 8

Korzystając z reguły prawej ręki wyznaczamy położenie biegunów magnesu wokół zwojnicy, w której płynie prąd indukcyjny. Wiedząc, że podczas zbliżania magnesu jest on odpychany od pola magnetycznego prądu indukcyjnego, wyznaczamy położenie biegunów pola magnesu trwałego.



### Zadanie 9

Amplitudę siły elektromotorycznej prądnicy można obliczyć ze wzoru:

$$\mathcal{E} = N \cdot B \cdot S \cdot \omega$$

Związek między prędkością kątową  $\omega$  a częstotliwością obrotów  $f$ :  $\omega = 2\pi f$

$$\mathcal{E} = N \cdot B \cdot S \cdot 2\pi \cdot f$$

Przekształcając ostatnie równanie otrzymujemy:

$$f = \frac{\mathcal{E}}{2\pi \cdot N \cdot B \cdot S}$$

Wstawiając dane otrzymujemy:

$$f = \frac{1,5 \text{ V}}{2\pi \cdot 200 \cdot 0,1 \text{ T} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 23,9 \text{ Hz}$$

**Odpowiedź:** Częstotliwość obrotów ramki prądnicy wynosi 23,9 Hz.

### Zadanie 10

Gdy do transformatora podłączymy akumulator, to wokół uzwojenia pierwotnego powstanie stałe pole magnetyczne. Stałe pole magnetyczne obejmując uzwojenie wtórne nie wytworzy na nim prądu indukcyjnego.

**Odpowiedź:** Napięcie na uzwojeniu wtórnym wynosi 0.

### Zadanie 11

Transformator posiada 1500 zwojów na uzwojeniu pierwotnym oraz 200 zwojów na uzwojeniu wtórnym. Natężenie skuteczne prądu płynącego przez uzwojenie pierwotne wynosi 0,5 A. Napięcie skuteczne na uzwojeniu wtórnym wynosi 20 V. Sprawność transformatora wynosi 95%. Oblicz napięcie skuteczne na uzwojeniu pierwotnym oraz natężenie skuteczne prądu płynącego przez uzwojenie wtórne.

Przekładnia transformatora:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Stąd napięcie skuteczne na uzwojeniu pierwotnym:

$$U_1 = U_2 \frac{N_1}{N_2}$$

Wstawiając dane do wzoru otrzymujemy:

$$U_1 = 20 V \frac{1500}{200} = 150 V$$

Sprawność transformatora:

$$\eta = \frac{\text{moc na uzwojeniu wtórnym}}{\text{moc na uzwojeniu pierwotnym}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1}$$

Stąd natężenie skuteczne prądu płynącego w uzwojeniu wtórnym:

$$I_2 = I_1 \frac{\eta \cdot U_1}{U_2}$$

Wstawiając dane otrzymujemy:

$$I_2 = 0,5 A \frac{0,95 \cdot 150 V}{20 V} = 3,56 A$$

Odpowiedź: Napięcie skuteczne na uzwojeniu pierwotnym wynosi 150 V, a natężenie skuteczne prądu płynącego przez uzwojenie wtórne wynosi 3,56 A.