

Silniki elektryczne – wiadomości ogólne

Silniki elektryczne stanowią podstawowe źródło napędu w układach pompowych, wentylacyjnych, sprężonego powietrza itp. Cieszą się popularnością ze względu na swoje właściwości, takie jak: dopasowanie charakterystyki elektro – mechanicznej do potrzeb napędzanych maszyn, niezawodność, prostota konstrukcji, niskie koszty eksploatacyjne, wysoka sprawność przetwarzania energii. Wadą tych urządzeń była w przeszłości trudność regulacji prędkości obrotowej, obecnie jednak w okresie rozwoju elektroniki i energoelektroniki zagadnienie to nie stanowi większego problemu.

Silnik elektryczny to maszyna przetwarzająca energię elektryczną na energię mechaniczną, zwykle w postaci ruchu obrotowego. Moment obrotowy powstaje w silniku elektrycznym w wyniku oddziaływania pola magnetycznego i prądu elektrycznego. Silnik elektryczny składa się ze stojana (z osadzoną parą lub kilkoma parami uzwojeń elektromagnesów) oraz wirnika z uzwojeniem twornikowym. Zależnie od prądu zasilającego rozróżnia się silnik elektryczny prądu stałego oraz silniki elektryczny prądu przemiennego.

Silnik prądu stałego

Silnik elektryczny prądu stałego ma na osi wirnika pierścień złożony z izolowanych działek (tzw. komutator) łączonych z zaciskami uzwojeń twornika; po komutatorze ślizgają się doprowadzające prąd nieruchomo osadzone szczotki dociskane do powierzchni komutatora.

Silniki elektryczne prądu stałego dzieli się na szeregowo, równoległe i szeregowo-równoległe. W silnikach elektrycznych szeregowych prędkość obrotowa zmniejsza się wraz ze wzrostem obciążenia (mają skłonność do rozbiegania się po odłączeniu obciążenia). Są stosowane w trakcji elektrycznej i dźwignicach. W silnikach elektrycznych równoległych prędkość obrotowa jest niezależna od obciążenia. Są stosowane np. do napędzania obrabiarek. Silniki elektryczne szeregowo-równoległe są stosowane do napędzania maszyn o stałej prędkości obrotowej i dużych momentach obrotowych.

Silnik prądu przemiennego

Asynchroniczne

Silniki prądu przemiennego dzielą się na 1- i 3-fazowe, a zależnie od zasady działania na indukcyjne, synchroniczne i komutatorowe. W silnikach elektrycznych 3-fazowych indukcyjnych prąd 3-fazowy płynący przez uzwojenia stojana wytwarza pole wirujące; pole to przecina przewody uzwojenia wirnika, indukując w nich prądy zgodnie z regułą Lenza, a w rezultacie powoduje ruch obrotowy wirnika; wirnik obraca się wolniej niż pole wirujące. Różnica prędkości nazywa się poślizgiem. Silniki indukcyjne (asynchroniczne) są najbardziej rozpowszechnione w przemyśle. Najtańsze i najczęściej stosowane są odznaczające się najprostszą budową silniki indukcyjne klatkowe (zwarte); wirnik tych silników ma uzwojenie w kształcie klatki, wykonanej jako odlew aluminiowy lub zespół prętów zwartych na swych czołach pierścieniami.

Synchroniczne

Silniki elektryczne synchroniczne różnią się od silników elektrycznych indukcyjnych budową wirnika, który jest wyposażony dodatkowo w elektromagnesy zasilane prądem stałym ze wzbudnicy osadzonej na wale wirnika; liczba biegunów elektromagnesów odpowiada liczbie biegunów pola wirującego stojana; ponieważ moment obrotowy jest wynikiem wzajemnego oddziaływania na siebie biegunów magnetycznych elektromagnesów i pola wirującego, obroty wirnika są synchroniczne z obrotami pola i mają stałą prędkość. Stosowane są do

napędzania maszyn szybkoobrotowych o stałej prędkości obrotowej, np. sprężarek. Silniki elektryczne synchroniczne mogą być stosowane jako silniki skokowe (krokowe, impulsowe).

Komutatorowe

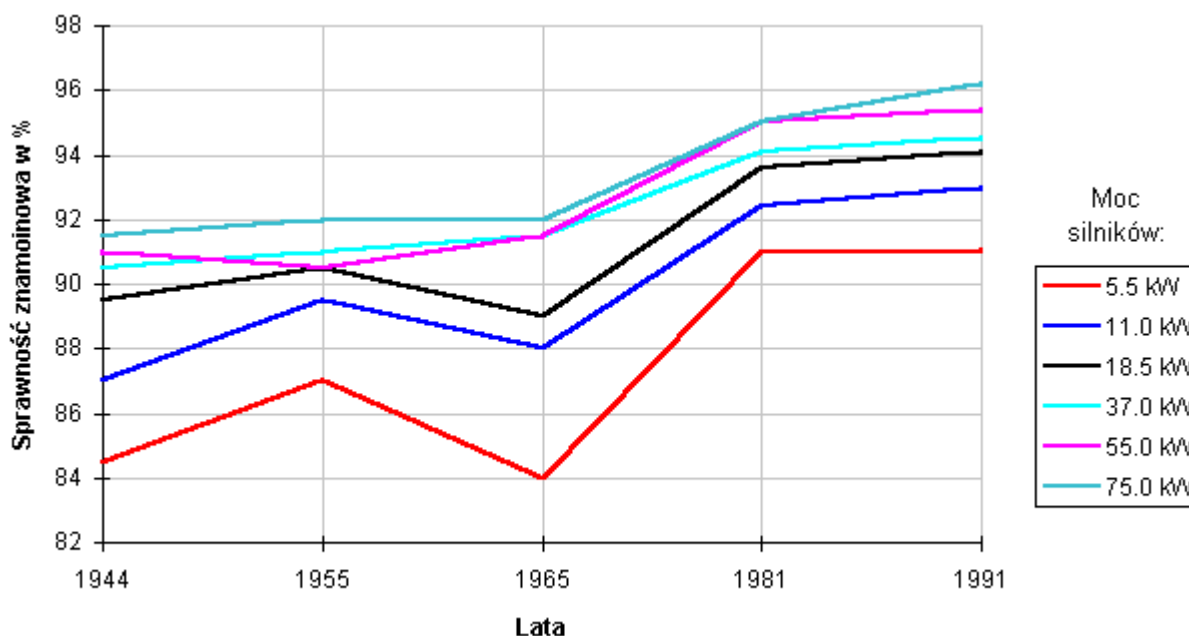
Silniki elektryczne komutatorowe (szeregowe i równoległe), podobnie jak silniki elektryczne prądu stałego, mają wirnik z komutatorem, do którego doprowadza się prąd przemienny za pomocą szczotek.

Osobną grupę stanowią silniki elektryczne uniwersalne, które mogą być zasilane prądem stałym lub przemiennym; stosowane do napędzania sprzętu gospodarstwa domowego, maszyn biurowych itp.

Odrębnym rodzajem silnika elektrycznego jest silnik liniowy, przetwarzający energię elektryczną bezpośrednio na energię ruchu postępowego. Silnik liniowy składa się z induktora i bieźnika, które są odpowiednikami stojana i wirnika zwykłego silnika elektrycznego, lecz rozwiniętymi w linię prostą; częścią ruchomą silnika może być zarówno induktor, jak i bieźnik. Rozróżnia się silniki elektryczne liniowe prądu stałego, prądu przemiennego, synchroniczne, asynchroniczne, oscylacyjne itp.; do najnowszych konstrukcji należą silniki o poprzecznym strumieniu magnetycznym (tzw. transverse-flux motor) nadające się zwłaszcza do napędzania szybkich pojazdów poruszających się na poduszce powietrznej lub magnetycznej. Silniki elektryczne liniowe stosuje się głównie w automatyce, w napędach specjalnych oraz w trakcji elektrycznej.

Silniki energooszczędne (HEM) – cechy konstrukcyjne, sprawność

Obserwując sytuację na rynku silników elektrycznych zauważamy stały proces poprawy parametrów produkowanych i sprzedawanych silników. Poniższy rysunek przedstawia zmianę osiąganą sprawności przez silniki asynchroniczne w latach 1944-1991.



Rysunek 1 Osiągana poprawa sprawności silników w latach 1944 – 1991

źródło: G.A.Mc Coy, T.Litmann, J.G.Douglas Washington State Energy Office Olympia, Washington February 1992

Pomimo stałego wzrostu osiąganych sprawności na rynku dostępne są silniki znacznie odbiegające od ideału, a nowe wysokosprawne urządzenia z trudem zdobywają nabywców.

Sprawność silnika elektrycznego była zawsze uznawana za podstawowy parametr świadczący o jego wartości technicznej i handlowej. Dlatego jest ona przedmiotem ścisłych uregulowań normalizacyjnych. Złożonym celem tych uregulowań jest zapewnienie jednoznaczności i dokładności odnośnie do deklarowanej przez wytwórcę wartości sprawności silnika. W konsekwencji normy międzynarodowe oraz normy poszczególnych krajów oprócz definicji sprawności silnika zawierają zalecenia dotyczące metod wyznaczania wartości sprawności. Jednak jak dotychczas w skali światowej nie ma ujednoczenia tych norm. Skutkuje to tym, że poprawnie wyznaczona sprawność silnika wg zaleceń różnych norm ma różne wartości. Dla przykładu podano wartości sprawności silnika o mocy 15 kW wyznaczonej wg różnych norm.

Tabela 1 Sprawność silnika indukcyjnego o mocy 15 kW wg różnych norm

Norma	Sprawność, %
	silnik o mocy 15 kW
Amerykańska – IEEE-112 metoda B	86,9
Kanadyjska – CSA C390	86,9
Międzynarodowa – IEC 34-2	89,4
Brytyjska – BS-269	89,4
Japońska – JEC-37	90,4

Produkcję silników elektrycznych o podwyższonej sprawności wymusił na wytwórcach kryzys energetyczny z pierwszej połowy lat siedemdziesiątych. Obecnie silniki określane zamiennie jako HIGH EFFICIENT, SUPER EFFICIENT, lub PREMIUM EFFICIENT są oferowane przez wiele firm. Na świecie podejmowane są liczne działania mające na celu rozpowszechnianie stosowania silników energooszczędnych. Wśród liderów niewątpliwie pierwsze miejsce zajmują Stany Zjednoczone. W Unii Europejskiej starania o wprowadzenie do eksploatacji silników energooszczędnych podjęło Stowarzyszenie CEMEP definiując system klasyfikacji silników na trzy klasy sprawności:

- EFF3 – sprawność standardowa,
- EFF2 – sprawność ulepszona,
- EFF1 – wysoka sprawność.

Podział dotyczy silników trójfazowych indukcyjnych klatkowych budowy zamkniętej z chłodzeniem własnym w wykonaniu standardowym o zakresie mocy od 1,1 do 90 kW i bigunowościach $2p = 2$ i 4 (prędkości synchroniczne 3000 i 1500 obr/min).

Silnik energooszczędny to silnik o zwiększonej sprawności. Poprawę sprawności można osiągnąć stosując następujące rozwiązania:

- Straty w uzwojeniu stojana w znamionowych warunkach pracy silnika wynoszą około 35 % całości strat. Straty te mogą zostać zmniejszone drogą zwiększenia przekroju przewodów miedzianych tworzących uzwojenie oraz poprzez skrócenie zakończeń uzwojeń, które nie mają udziału w generacji mocy wyjściowej, ale mają udział w powstawaniu strat. Ponieważ straty w uzwojeniu zależą od stopnia obciążenia silnika, korzyść ze zwiększenia przekroju przewodów miedzianych ujawnia się zwłaszcza przy wyższych obciążeniach.
- Stal magnetyczna jest najkosztowniejszym składnikiem silnika, więc każdy przyrost jej ilości jest niepożądany. Dla stali magnetycznej zaletami są niskie straty energetyczne magnesowania i rozmagnesowania oraz wysoka wartość granicy nasycenia magnetycznego. Ograniczenie strat z powodu prądów wirowych następuje dzięki zmniejszeniu grubości blach tworzących obwód magnetyczny. Wpływ poprawy własności stali magnetycznej na sprawność silnika występuje zwłaszcza w dolnym zakresie jego obciążeń.
- Dobry projekt termiczny silnika służy skutecznemu odprowadzeniu generowanego wewnątrz silnika ciepła. Jest to zagadnienie skomplikowane ze względu na rozłożone w przestrzeni źródła ciepła i różne wartości przewodności cieplnych części składowych silnika. Nowe techniki modelowania matematycznego problemu pozwalają wyznaczyć

pole temperatur pracy urządzenia, a to z kolei zoptymalizować przepływ czynnika chłodzącego, czego konsekwencją jest możliwość zmniejszenia tolerancji montażowych i tą drogą poprawy sprawności obwodu magnetycznego.

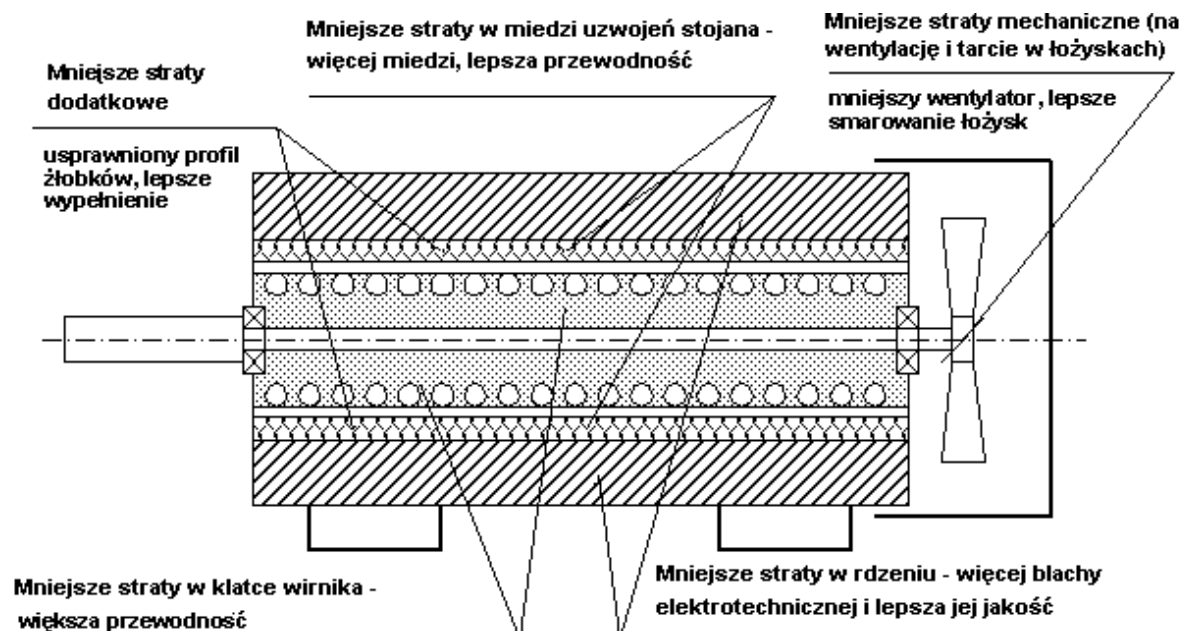
- Większość silników elektrycznych jest chłodzonych przez przetłaczanie powietrza pomiędzy uzwojeniami za pomocą wentylatora zintegrowanego z wirnikiem silnika. Straty z tytułu tarcia aerodynamicznego mogą być zmniejszone dzięki właściwemu zaprojektowaniu drogi przepływu powietrza chłodzącego i wirnika wentylatora.
- Duże znaczenie ma również właściwa technika montażu.

Reasumując szczególną uwagę przy projektowaniu, silników o podwyższonej sprawności powinno się zwrócić na:

- zwiększenie ilości miedzi w uzwojeniach silnika i aluminium w jego wirniku,
 - poprawę rozwiązań konstrukcyjnych rdzeni i zwiększenie ich wymiarów geometrycznych,
 - dążenie do poprawy rozwiązań układu wentylacyjnego i ułożyskowania,
 - poprawę technologii wykonania w celu zmniejszenia rozrzutu produkcyjnego parametrów.
- Co odzwierciedlają cechy konstrukcyjne napędów energooszczędnych.

Cechy konstrukcyjne energooszczędnych silników elektrycznych:

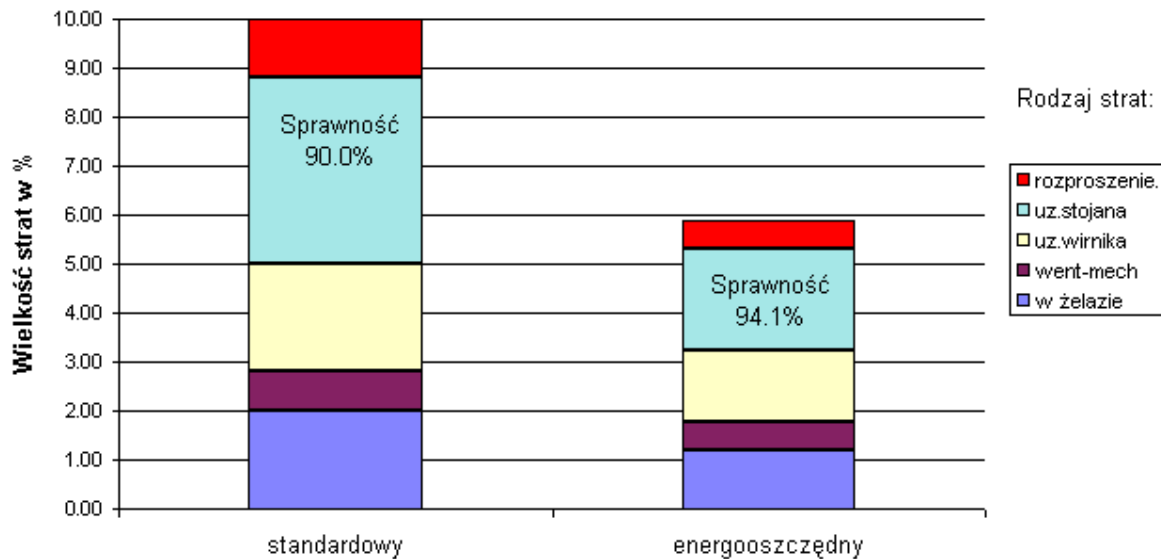
1. Powiększenie przekroju żłobków w stojanach dla umieszczenia większej ilości miedzi oraz poprawa kształtu zębów dla obniżenia strat dodatkowych;
2. Powiększenie ilości miedzi w stojanie i aluminium w wirniku w celu zmniejszenia strat czynnych w uzwojeniach;
3. Zastosowanie blachy elektrotechnicznej o mniejszej stratności i mniejszej grubości, przy równocześnie wydłużonym pakiecie w celu obniżenia strat w rdzeniu. Powoduje to wydłużenie obudowy silnika, ale nie zmienia jego wymiarów montażowych;
4. Zmniejszenie strat w miedzi i w rdzeniu umożliwia zmniejszenie średnicy wentylatora i obniżenie strat mocy na przewietrzanie silnika.



Rysunek 2 Cechy konstrukcyjne silnika energooszczędnego.

W wyniku wyżej opisanych zabiegów uzyskuje się poprawę sprawności silnika. Przykładowy wpływ zmian można zaobserwować porównując poszczególne rodzaje strat w silniku standardowym i energooszczędnym (Rysunek 3).

**STRATY W SILNIKU STANDARDOWYM
I ENERGOOSZCZĘDNYM**
Przykład: silnik 37 kW 1430 obr/min



Rysunek 3 Przykładowe porównanie strat energii w silniku standardowym i energooszczędnym.

Niestety, ze względu na większe zużycie materiałów o wyższej jakości i bardziej precyzyjne wykonanie, silniki energooszczędne kosztują przeciętnie od 15 do 30% więcej niż silniki standardowe o tej samej mocy. Z drugiej strony warto jednak zwrócić uwagę, że w czasie eksploatacji silnik już w czasie pierwszych kilkuset godzin pobiera energię elektryczną o wartości równej cenie jego zakupu, w ciągu roku pobrana energia kosztuje kilka do kilkunastu razy więcej, niż cena silnika, a w ciągu całego okresu pracy silnika koszt pobranej prądu może przekroczyć stukrotnie jego cenę.

Dodatkowo, ponieważ silniki energooszczędne budowane są z lepszych materiałów i bardziej precyzyjnie zmontowane dodatkowo uzyskuje się wyższą trwałość łożysk i izolacji, silnik wydziela mniej ciepła odpadowego, powoduje mniejsze drgania, co w efekcie zwiększa niezawodność. Wielu wytwórców daje dłuższy okres gwarancji na silniki energooszczędne, niż na modele standardowe.

Rozważenie zastosowania silników energooszczędnych jest szczególnie uzasadnione wówczas, gdy:

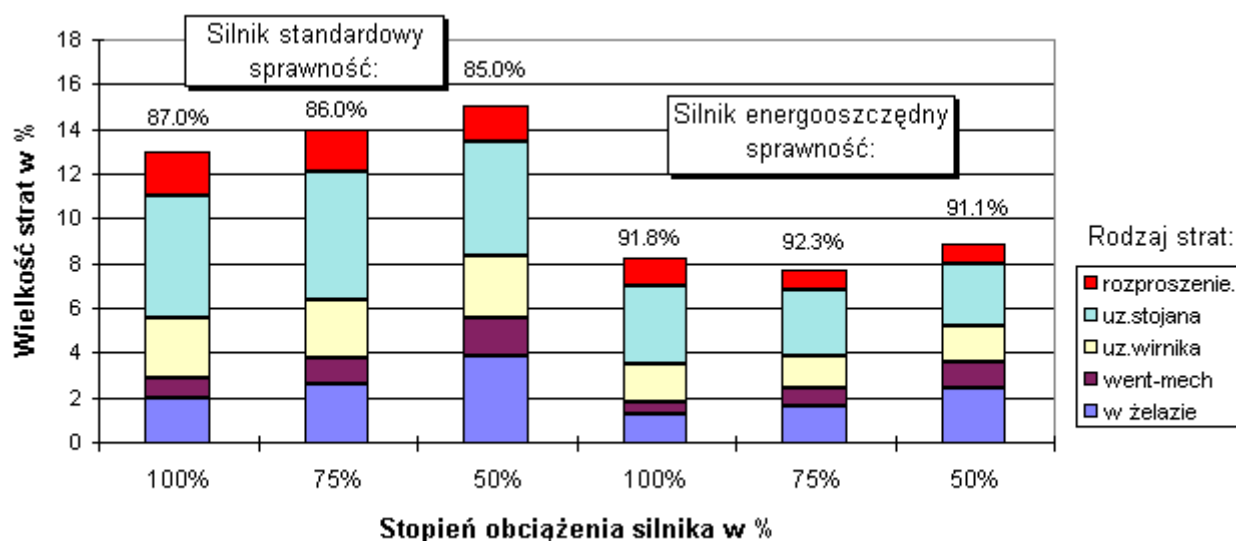
- wyposażana jest nowa instalacja o przewidywanej długiej żywotności,
- w przypadku znacznych modyfikacji w warunkach pracy lub w obsługiwanym procesie,
- zamiast przewijania starych jednostek o standardowej konstrukcji,
- przy zastępowaniu silników przewymiarowanych lub niedociążonych,
- gdy wymiana silnika jest częścią programu oszczędzania energii.

Czas zwrotu nakładów inwestycyjnych poniesionych dodatkowo na zakup silnika energooszczędnego zamiast standardowego zależy od wielu czynników, w tym od:

- różnicy cen silnika energooszczędnego i standardowego,
- ceny energii elektrycznej,
- różnicy sprawności przy różnych obciążeniach silnika standardowego i energooszczędnego,
- stopnia obciążenia silnika,
- rocznego czasu pracy.

DLACZEGO warto zainteresować się silnikami energooszczędnymi ?

- Silniki elektryczne zużywają ok. 50% całości energii elektrycznej zużywanej w gospodarce narodowej.
- Znaczna ilość silników jest eksploatowana przez wiele lat.
- Stały postęp w konstrukcjach powoduje, że sprawność silników obecnie produkowanych jest wyższa niż 10 czy 20 lat temu.
- Różnice w sprawności silników standardowych i energooszczędnych wynoszą kilka procent i mają zasadniczy wpływ na ekonomię eksploatacji silnika. Pokazuje to przykład porównania wielkości strat dla silnika średniej mocy przedstawiony na rysunku 3.
- Ponadto silniki energooszczędne mają tę właściwość, że przy niepełnym obciążeniu ich sprawność nie pogarsza się, a nawet nieznacznie wzrasta (dla obciążenia 75%), co pokazano na rysunku 4. Wobec tego często spotykane w warunkach eksploatacyjnych niedociążenia silników nie pogarszają efektywności ich pracy.



Rysunek 4 Straty w zależności od obciążenia silnika o mocy 22 kW (silnik standardowy i energooszczędny)