



# Zadbaj o silniki prądu przemiennego

*Odpowiednia kontrola i obsługa techniczna silników indukcyjnych prądu przemiennego są dla większości zakładów przemysłowych sprawami kluczowymi. Silniki te, zasilane zwykle napięciem trójfazowym, są bowiem jednym z podstawowych napędów stosowanych w przemyśle. Ich sprawne i niezawodne działanie zależy od wielu cech związanych z aplikacją, w której są stosowane – doboru silnika do obciążenia, warunków jego pracy, jak też regularnych przeglądów, aż po działania serwisowe. W artykule skupiamy się na opisie eksploatacji i utrzymania silników, odpowiadamy również na pytania jak diagnozować uszkodzenia silników stosowanych w przemyśle.*

Silniki indukcyjne prądu przemiennego zawdzięczają swoją popularność wyższej wydajności w stosunku do silników prądu stałego, jak też, co jest szczególnie istotne w przemyśle, stosunkowo dużej bezawaryjności. Ich uszkodzenia nie są jednak niczym

niezwykłym i spowodowane mogą być wieloma przyczynami. Powstają one zarówno na skutek niedopasowania silnika do danej aplikacji, jak też z powodu przegrzewania się w wyniku nierówności napięć faz zasilających. O ile każdy silnik charakteryzuje

się skończoną żywotnością, te wymienione, jak i inne czynniki mogą w znaczącym stopniu przyczyniać się do jej zmniejszenia. Na szczęście wiele z negatywnych zjawisk można minimalizować lub wręcz eliminować. W pierwszej kolejności należy poznać jednak ich źródła.

## Wrogowie silników

Przyczyną dużej części problemów z działaniem silników indukcyjnych jest ich przegrzewanie się, co jest skutkiem niedostatecznego rozpraszania ciepła podczas pracy. Nadmierne grzanie się może być jednocześnie oznaką uszkodzenia. Chociaż po przegrzaniu silnik może nadal poprawnie pracować, niekorzystnie wpływa ono m.in. na stan izolacji jego uzwojenia, przyspieszając jej starzenie się, czego skutkiem może być skrócenie czasu eksploatacji napędu. Grzanie się silników indukcyjnych jest wpisane w ich naturę i wynika z przepływu prądu przez uzwojenie stojana, jak też oporów mechanicznych. Z tego powodu silniki budowane są w sposób pozwalający na efektywne rozpraszanie ciepła – zwykle za pomocą ra-

### Zanim rozpoczniesz ...

Do przeprowadzenia podstawowej diagnostyki silników przydatne są takie przyrządy pomiarowe, jak woltomierz prądu przemiennego, amperomierz cęgowy oraz omomierz i miernika rezystancji izolacji. Przystępując do pomiarów nie można zapominać o podstawowych zasadach bezpieczeństwa, szczególnie w zakresie ochrony przeciwko porażeniu prądem elektrycznym oraz przed wypadkami związanymi z działającymi maszynami.

diatorów na bokach obudowy lub wentylatora. Spotyka się również silniki chłodzone w sposób bardziej wyrafinowany – wykorzystujące np. wymienniki ciepła.

Jedną z wymienionych przyczyn przegrzewania się silników jest niedopasowanie danego napędu do urządzenia lub systemu, w którym jest on wykorzystywany. W szczególności silnik może być przeciążony, co, o ile jest procesem długotrwałym, prowadzi do jego uszkodzenia. Typowym tego powodem jest wykorzystanie silnika o zbyt małej mocy w stosunku do wymaganej w danym układzie. Niedopasowanie elementów napędowych, zużyte łożyska oraz nadmierne tarcie to dodatkowe czynniki, które powodują wzrost temperatury podczas pracy.

Dla poprawnego działania silnika istotne jest również, aby pracował on w środowisku umożliwiającym odpowiednie odprowadzanie powstającego ciepła. Praca na słońcu czy bliskość dodatkowego źródła ciepła to czynniki, które należy brać pod uwagę przy tworzeniu aplikacji i, jeżeli to możliwe, zredukować jeszcze na etapie projektu. Za pogorszenie chłodzenia odpowiada również nagromadzenie się brudu w silniku oraz na jego obudowie – jest to szczególnie częste w przypadku pracy w warunkach dużego zapylenia. Wewnętrzne zanieczyszczenia utrudniają przepływ powietrza, natomiast brudna obudowa powoduje gorsze odprowadzanie ciepła do otoczenia. Z tych powodów zadbanie o względną czystość silników jest istotnym zadaniem dla służb utrzymania ruchu.

Niewłaściwe chłodzenie napędu może być spowodowane również zbyt niskimi lub zmiennymi obrotami silnika, szczególnie w przypadku silników z wentylatorami. W praktyce ocenia się, że za dwukrotne skrócenie czasu pracy silnika odpowiada wzrost jego temperatury o 10°C do 15°C powyżej temperatury nominalnej. We wszystkich tych przypadkach konieczne jest sprawdzenie parametrów pracy, o czym piszemy również dalej, jak też ich porównanie z wartościami wzorcowymi podanymi przez producenta na tabliczce znamionowej i dokumentacji silnika.

## Uwaga na hałas i wibracje

Zbyt duży poziom hałasu generowanego przez silnik to często oznaka jego niepoprawnej pracy – szczególnie gdy towarzyszą mu wibracje. Zjawiska te mogą być powodowane niedopasowaniem wału silnika do napędzanego urządzenia, ich źródłem może być też samo urządzenie lub przekładnia (transmisja napędu). Częste powody występowania nadmiernego hałasu i wibracji to również niewłaściwe zasilanie silnika oraz zużycie mechaniczne jego elementów. Skutki wibracji mogą być tymczasem znaczne. Przykładowo dla silników synchronicznych lub asynchro-

### Kto smaruje ten ...

... jedzie! To znane powiedzenie ma również zastosowanie do silników. Łożyska wymagają regularnego i zgodnego z zaleceniami producenta smarowania, co zapewni długi czas ich eksploatacji. Przy ich smarowaniu lub olejeniu należy pamiętać o kilku generalnych zasadach. Okolice łożysk lub połączeń, którymi podawany jest olej lub smar, muszą być oczyszczone, inaczej brud, który, jeżeli dostanie się do łożysk, może spowodować ich uszkodzenia. Należy przy tym stosować odpowiednie ilości środka smarnego – zbyt duże mogą powodować brudzenie się łożysk, ale też większy opór podczas ich pracy, co niekorzystnie wpływa na czas poprawnej eksploatacji. W przypadku łożysk ślizgowych zasadą, którą można stosować do silników niewielkiej mocy, jest olejenie łożysk w okresach co 2 tys. godzin ich pracy silnika lub przynajmniej raz rocznie. W przypadku pracy w środowiskach korozyjnych lub o dużym stopniu zanieczyszczeń, okres ten może być zmniejszony do przedziału wynoszącego trzy miesiące. Typową objętością oleju jest 40 kropli w przypadku łożyska o średnicy 100 mm lub około 100 kropli dla łożysk o średnicach 250 mm. Większe silniki z łożyskami ślizgowymi wyposażone są zwykle w zbiorniki oleju oraz elementy pozwalające na kontrolę poziomu. Dopóki olej jest czysty i o odpowiednim kolorze, jedynym działaniem w jego utrzymywaniu jego odpowiedniego poziomu zgodnie z zaleceniami producenta. W przypadku oleju brudnego, zawierającego wodę, konieczna jest wymiana. W przypadku silników z łożyskami tocznymi konieczne jest regularne smarowanie, którego częstotliwość zależy od aplikacji w której pracuje silnik. Temperatura pracy silnika, zanieczyszczenia, jak też inne czynniki muszą być brane w tym przypadku pod uwagę. Do smarowania silników należy stosować odpowiednie i przeznaczone do danych zastosowań smary. Cześć silników wyposażona jest w system smarowania, który pozwala na wytłoczenie starego, zużytego smaru nowym. Istnieje również grupa silników, szczególnie tych o mniejszych mocach, których łożyska, nie wymagają smarowania – tego typu silniki nie powinny być smarowane, jeżeli takie jest zalecenie ich producenta.



nicznych pierścieniowych mogą one powodować poluzowanie się drutu i jego uszkodzenia mechaniczne – pęknięcie, łuszczenie się oraz ścieranie izolacji. W wyniku ich występowania możliwe jest również szybsze zużywanie się części mechanicznych – przykładowo elementy toczne w pierścieniach łożysk mogą ulegać poluzowaniu.

W przypadku stwierdzenia niepokojących objawów związanych z pracą silnika, konieczne jest określenie ich przyczyn. Jeżeli po sprawdzeniu połączenia wału silnika z napędzanym urządzeniem pod względem współosiowości przyczyna występujących wibracji pozostaje nieznana, prawdopodobnie konieczne jest odłączenie silnika od urządzenia. W przypadku gdy przy pracy w stanie jałowym wibracje nie ustępują, ich przyczyn należy szukać w samym silniku, w pierwszej kolejności w jego niesymetrycznym zasilaniu. Jeżeli silnik wprawiony w obroty, ale odłączony od zasilania, nadal wibruje, przyczyny są natury mechanicznej. Mogą nimi być zarówno zgięcie wału, źle wyważony wirnik, luźne elementy wewnątrz silnika lub zużyte łożyska. Niejednokrotnie powody są również mniej poważne – np. wentylator obciążający o ramę.

## Odpowiednie zasilanie

Czynnikiem, który znacząco wpływa na żywotność silnika, jest jakość energii elektrycznej, którą zasilany jest silnik. Specjaliści zajmujący się silnikami indukcyjnymi

oceniają, że w przypadku silników trójfazowych nierówność napięć fazowych jest jedną z istotniejszych przyczyn przegrzewania się tych napędów, powstawania drgań i skracania czasu ich eksploatacji. Według szacunkowych danych różnice pomiędzy napięciami fazowymi na poziomie 2% skutkować mogą wzrostem temperatury silnika o około 10%, przy czym zależność ta jest wielomianowa (kwadratowa). Nierówność napięć powoduje, że wartości strumienia magnetycznego dla każdego z faz również są nierówne, czego skutkiem siły mechaniczne względem wirnika nie są identyczne i nierównomiernie na niego oddziałują.

Do podstawowych pomiarów jakości zasilania silnika należy pomiar wartości napięć fazowych, którymi zasilany jest silnik. Pomiar powinien być wykonany woltomierzem prądu przemiennego przy wyłączonym silniku – należy zmierzyć napięcia międzyfazowe oraz napięcia faza-ziemia. Odpowiednie wartości napięć powinny być równe – jeżeli tak jest, należy zmierzyć je przy włączonym silniku i biegu jałowym, co zostało opisane w dalszej części artykułu. W przypadku nierówności napięć przyczyn należy szukać poza samym silnikiem. Należy dodać, że powodem nierówności napięć fazowych może być uszkodzenie silnika, takie jak występowanie zwarcia jednego z uzwojeń lub uszkodzony pręt w przypadku silnika klatkowego. Przyczyną może być również zużycie silnika – np. nierówna szczelina powietrzna pomię-





**Elektronika przychodzi z pomocą**

Ze względu na szybki rozwój elektroniki i energoelektroniki, jak też towarzyszący temu spadek cen urządzeń mikroprocesorowych, silnikom indukcyjnym towarzyszą obecnie bardzo często falowniki, jak też urządzenia typu soft-start (łagodnego rozruchu). Ich upowszechnienie się spowodowało, że popularność silników indukcyjnych, szczególnie klatkowych, wzrosła. Falowniki, prócz regulacji prędkości obrotowej, umożliwiają kontrolę szeregu parametrów pracy silnika, co poprawia jakość jego działania i wydłuża czas eksploatacji. W przypadku urządzeń łagodnego rozruchu polepszana jest praca systemu napędowego – np. niwelowane są nagłe szarpnięcia, które powodować mogą uszkodzenia taśmociągów, maszyn, itp. Na zdjęciu przedstawiono falownik PowerFlex 4 firmy Rockwell Automation. Napęd dostępny jest na napięcia jedno- i trójfazowe w zakresie mocy od 0,18 kW do 4 kW.

dzy wirnikiem a stojanem, czego powodem występowania mogą być uszkodzone lub zużyte łożyska silnika.

**Przeglądy, przeglądy ...**

Najlepszym sposobem do minimalizowania liczby problemów związanych z silnikami, są ich okresowe przeglądy. Choć częstotliwość obsługi technicznej zależy od danej aplikacji, przegląd silników równoległe z okresowym przeglądem maszyny, w której są one używane, jest zwykle wystarczający. Częstsze przeglądy konieczne mogą być w przypadku zastosowań o szczególnym znaczeniu dla procesu produkcji. Mogą one być wykonywane w większości przypadków bez odłączania silnika od napędzanego systemu lub demontażu jego obudowy. Podczas przeglądu stosować można następujące wskazówki i powinno się zwrócić uwagę na:

- **Warunki chłodzenia** – konieczne jest wyczyszczenie, wydmuchanie i pozbycie się brudu zalegającego w radiatorze i elementach odpowiedzialnych za wentylację silnika. Jeżeli przy oględzinach silnika, który ma otwory wentylacyjne, okaże się, że jego wnętrze jest zanieczyszczone w stopniu uniemożliwiającym poprawne chłodzenie, konieczny może być demon-

taż obudowy i wyczyszczenie środka silnika. Dokonując oględzin należy zwrócić uwagę na ewentualną korozję.

- **Wysoka temperatura, drgania i hałasy** – należy sprawdzić, czy silnik się nie przegrzewa, jak też ocenić, czy jego praca jest poprawna pod względem głośności oraz poziomu wibracji. W razie niepokojących objawów należy znaleźć ich przyczynę.
- **Kontrola łożysk** – łożyska wymagają okresowego smarowania oraz częstszego smarowania w przypadku pracy silnika w niekorzystnych warunkach środowiskowych, szczególnie jeżeli ma on tendencję do nagrzewania się. Należy stosować odpowiednie środki smarne w odpowiednich ilościach.
- **Kontrola uzwojeń** – testem, który może zaoszczędzić wielu późniejszych problemów, jest pomiar rezystancji izolacji uzwojeń (opisane poniżej). Jest on szczególnie istotny w przypadku silników wykorzystywanych w środowiskach o podwyższonej wilgotności, jak też przy pracy w podwyższonych temperaturach. W takich przypadkach konieczna może być również kontrola podłączenia przewodów zasilających.
- **Dokumentacja** – istotnym elementem polityki utrzymania i serwisowania maszyn w zakładzie jest prowadzenie odpowiedniej dokumentacji. Przy przeglądach należy zapisywać wykonane czynności i wnioski.

**Uzwojenia wymagają troski**

Silniki prądu przemiennego, szczególnie o wysokich mocach, nie wymagają otwierania obudowy i inspekcji stanu uzwojeń podczas rutynowych przeglądów. Jeżeli istnieje możliwość takiej inspekcji silnika, kontynuując listę porad rozpocząć w poprzednim rozdziale, można wskazać na następujące czynności konserwacyjne:

- Brud zgromadzony na uzwojeniach jest niekorzystny nie tylko pod względem odprowadzania z nich ciepła, ale również może absorbować wilgoć i substancje powodujące uszkodzenia izolacji uzwojeń. Jego czyszczenie najlepiej jest poprzedzić wstępnym odkurzaniem. Nie należy stosować wydmuchiwanie powietrzem

pod wysokim ciśnieniem, gdyż może ono przenosić elementy powodujące uszkodzenia izolacji.

- Równie niekorzystnym czynnikiem jest zawilgotnienie silnika, co może powodować powstawanie zwarc. Silniki, które zostały zalane (nie tylko wodą, ale również innymi cieczami przewodzącymi) powinny być osuszone, ewentualnie wyczyszczone. W ostatnim przypadku do czyszczenia należy stosować środki, które nie są agresywne chemicznie w stosunku do elementów silnika, szczególnie uzwojeń i ich izolacji.
- Uzwojenia lub wyprowadzenia, które są luźne, mogą poruszać się na skutek wibracji lub pola magnetycznego, powodując ścieranie się lub pękanie ich izolacji. W najgorszym przypadku uszkodzenia tego typu mogą skutkować koniecznością przezawiania silnika.
- W przypadku silników synchronicznych lub asynchronicznych pierścieniowych należy również sprawdzić stan uzwojeń wirnika. Są one bardziej narażone na uszkodzenia niż uzwojenia stojanu, gdyż podczas pracy silnika działają na nie siły odśrodkowe. Konieczne jest, aby ściśle przylegały one do siebie, dzięki czemu nie istnieją luźne zwoje mogące negatywnie wpływać na wyważenie wirnika.
- W przypadku silników klatkowych konieczna jest inspekcja prętów i pierścieni zwierających. Przerwa elektryczna w jednym z tych elementów powoduje dużą niestabilność wirnika, co objawiać może się może wibracjami.

Dodatkowo należy zwrócić uwagę na fakt, że prąd pobierany przez każde z uzwojeń powinien być analogiczny, jednocześnie nie przekraczać (w przypadku dłuższych obciążeń) wartości nominalnych. Testowanie rezystancji uzwojeń może być poprzedzone pomiarami wartości napięć międzyfazowych i napięć faza-ziemia przy włączonym silniku. Jeżeli odpowiednie napięcia są nierówne, a przyczyną nie są parametry zasilania (procedura pomiarowa opisana została wcześniej), należy zmierzyć rezystancje uzwojeń silnika. Powinny być one analogiczne do siebie oraz do wartości, które producent podaje w dokumentacji. Jeżeli tak nie jest, przyczyną może być zarówno

**Asystent mile widziany**

Ułatwieniem dla służb utrzymania ruchu może być skorzystanie z przemienników częstotliwości, które mają wbudowane funkcje nadzoru pracy i okresowej kontroli silnika. Przykładem jest ACS550 z firmy ABB, którego panel sterowania wyposażono w asystenta uruchamiania, obsługi, konserwacji i diagnostyki. Urządzenie może powiadamiać o koniecznych czynnościach związanych z utrzymaniem silników, monitorowany jest również pobór energii i praca napędów. Obsługa silników może być również alarmowana, jeżeli przekroczone zostaną wartości krytyczne, lub powiadamiana w określonych odstępach czasu – np. w celu smarowania łożysk lub czyszczenia wentylatora.



Silniki indukcyjne spełniające warunki energooszczędności stają się alternatywą dla dotychczas stosowanych rozwiązań. Na zdjęciu silnik z firmy ABB o mocy do 600 KM z serii NEMA 506AT – 688.



zwiększona rezystancja połączeń, jak też rozwarcie. W pierwszej kolejności należy sprawdzić podłączenie przewodów zasilających silnik – ich korozja lub przegrzanie może być przyczyną wzrostu rezystancji. Jeżeli natomiast omawiane rezystancje, szczególnie w stosunku do ziemi, są zbyt małe, można spodziewać się istnienia zwarcia spowodowanego np. uszkodzeniem izolacji. W tym przypadku konieczna jest dokładniejsza inspekcja silnika.

### Jeszcze tylko izolacja

Rutynowa kontrola uzwojeń pozwala na określenie stanu ich izolacji i ewentualną naprawę zanim nastąpi uszkodzenie silnika. Włączenie tego typu testów w okresową kontrolę jest szczególnie wskazanym rozwiązaniem jeżeli silnik pracuje w nieprzychylnych warunkach środowiskowych, a jego możliwa awaria wiąże się z dużymi kosztami naprawy lub kosztami wynikającymi z przestoju produkcji.

Najprostszym i bardzo skutecznym testem jest sprawdzenie izolacji uzwojeń silnika w stosunku do ziemi, co polega na zasilaniu jednego z wyprowadzeń silnika napięciem stałym, zwykle o wartości 500 V lub 1 kV, i pośrednim pomiarze rezystancji izolacji. W przypadku standardów NEMA wymagana jest minimalna rezystancja do ziemi wynosząca 1 MW na każdy 1 kV napięcia plus dodatkowo 1 MW (pomiar w temperaturze 40°C). Wartość zmierzona dla średniej wielkości silników w dobrym stanie przekracza zwykle 50 MW. Niskie wartości rezystancji wskazują na zredukowaną izolację, czego powodem może być zawilgotnienie lub zabrudzenie wnętrza. Przyczyną mogą być też efekty starzeniowe spowodowane zbyt wysoką temperaturą pracy napędu.

Dobrym testem jest również pomiar wartości izolacji przy zimnym oraz rozgrzanym silniku. Z powodu rozszerzalności cieplnej uzwojeń stojana i wirnika mierzona rezystancja może się zmieniać, dlatego jej

Silniki standardowe i o podwyższonej sprawności energetycznej

Silniki o podwyższonej sprawności energetycznej, takie jak NEMA Premium, charakteryzują się w stosunku do stosunku do silników standardowych następującymi cechami:

- inne cechy materiałów stosowanych do nawijania uzwojeń, zmiany w konstrukcji uzwojeń,
- polepszona jakość stali użytej na wirnik i stojan,
- zastosowanie konstrukcji powodującej redukcję prądów wirowych,
- zoptymalizowana przerwa powietrzna pomiędzy wirnikiem a stojanem,
- poprawiona konstrukcja prętów wirnika (w przypadku silników klatkowych),
- zredukowane straty związane z wentylatorem,
- zwiększona kontrola jakości podczas produkcji,
- ogólne zmiany w projektach silników w celu minimalizacji wibracji i innych czynników powodujących straty energii.

miar w warunkach temperaturowych najbardziej zbliżonych do tych podczas pracy jest najbardziej wiarygodny. Jednocześnie im większa zmiana rezystancji mierzonej w przypadku zimnego i rozgrzanego silnika, tym ogólny stan izolacji gorszy.

### A jeżeli się zepsuje?

Nawet gdy minimalizowane są przyczyny prowadzące do skrócenia czasu eksploatacji, w wielu przypadkach uszkodzenie jest nieuniknione. Gdy już nastąpi, kadra odpowiedzialna za utrzymanie ruchu staje zwykle przed decyzją, czy bardziej kosztowny jest remont uszkodzonego silnika czy zakup nowego. Jako intuicyjnie droższe ocenia się zwykle drugie z rozwiązań, szczególnie w przypadku silników o większych mocach. Jednak po wzięciu pod uwagę przyszłego czasu pracy silnika po naprawie, jej kosztu, jak też strat, które mogą być związane z przestojem urządzenia, wybór odpowiedniej opcji przestaje być intuicyjny. Przykładowo w przypadku silników klatkowych uszkodzenie wirnika może wiązać się z uszkodzeniem jego powierzchni, jak też miejscowym stopieniem lub rozrywaniem prętów czy pierścienia zwierającego. Ostatnie z uszkodzeń może być katastroficzne. Wydaje się, że najlepszym remedium pozostają okresowe przeglądy i konserwacja napędu, które odsuwają omawiany moment w czasie.

Decyzja dotycząca naprawy lub wymiany uszkodzonego silnika może być jeszcze trudniejsza, jeżeli weźmie się pod uwagę

zmiany w technologii, które zaszły w ostatnich latach. Trendem, który stał się bardzo istotny w branży jest bowiem coraz częstsze stosowanie silników o wysokiej sprawności energetycznej, takich jak EAct oraz NEMA Premium. W przypadku silników indukcyjnych prądu przemiennego głównym kosztem, który ponosi użytkownik, nie jest bowiem cena zakupu silnika, ale koszt jego użytkowania na który składają się głównie wydatki na energię elektryczną. Biorąc to pod uwagę, wykonując kalkulację serwisu silnika i jego wymiany, należy koniecznie wziąć pod uwagę całociowe koszty związane się z użytkowaniem silnika w danej aplikacji (TCO – *Total Cost of Ownership*), szczególnie gdy wiąże się ona z jego pracą ciąglą przez dłuższy czas.

Zbigniew Piątek, APA

REKLAMA

## Advantech MIO-5290

**Advantech MIO-5290**  
Komputer jednopłytkowy 3.5" z procesor Intel Core i7 2.5 GHz

- > Wbudowany procesor Intel Core i3 1.6 GHz, Core i7 1.7 GHz lub 2.5 GHz
- > Do 8 GB pamięci DDR3
- > Wyjście HDMI/DP, VGA oraz LVDS
- > Obsługa do trzech niezależnych wyświetlaczy (VGA + LVDS + HDMI lub VGA + LVDS + DisplayPort)
- > 2 x Intel GbLAN, 6 x USB (w tym 2 x USB 3.0)
- > 2 x COM (RS-232 oraz RS-232/422/485)
- > 2 x SATA II, 1 x mSATA
- > HD Audio, 8-bit GPIO
- > 2 x Mini-PCI oraz złącze na moduły MIOe (duże możliwości rozbudowy)
- > Zasilanie 12 VDC

**ADVANTECH**  
Premier Partner

[www.elmark.com.pl](http://www.elmark.com.pl)

ELMARK Automatyka sp. z o.o.  
05-075 Warszawa-Wesoła ul. Niemcewicza 76  
Tel. 22 773-79-37; Fax. 22 773-79-36  
elmark@elmark.com.pl