

Budowa i przykładowe zastosowanie stanowiska pomiaru i rejestracji prądów i napięć w instalacjach trójfazowych

Waldemar Uździcki, Marcin Chciuk, Paweł Bachman, Remigiusz Aksentowicz

Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski

Streszczenie: W artykule opisane jest stanowisko do pomiarów i rejestracji podstawowych parametrów sieci trójfazowych. Opisano w nim budowę stanowiska pomiarowego a następnie zależności matematyczne dotyczące mierzonych sygnałów. W końcowej części artykułu przedstawiono wyniki przykładowych pomiarów.

Słowa kluczowe: pomiary, rejestracja, napięcie, prąd, moc, sieć trójfazowa, siła skrawania

1. Wprowadzenie

Pomiaru podstawowych wielkości elektrycznych takich jak napięcie, prąd oraz moc można dokonać miernikami analogowymi lub cyfrowymi. Mierniki te w większości mierzą wartości skuteczne, co stanowi pewne ograniczenie, utrudniające rejestrację szybko zmieniających się przebiegów w sieci elektrycznej [1]. W artykule przedstawiono stanowisko do rejestracji prądów, napięć oraz mocy zarówno chwilowych jak i skutecznych. Dzięki możliwości rejestracji przebiegów, stanowisko to wykorzystane będzie w pośrednich pomiarach sił nacisku występujących w narzędziach skrawających (wiertarka, tokarka) oraz w pilach. Może ono być wykorzystywane także w diagnostyce stanu narzędzia oraz do doboru parametrów technologicznych obróbki.

Metoda określania siły skrawania za pomocą pomiaru zapotrzebowania mocy polega na pomiarze mocy pobieranej z sieci przez obrabiarkę na biegu jałowym i w czasie skrawania. W przypadku napędu obrabiarki z asynchronicznym silnikiem prądu zmiennego, pomiar mocy musi być dokonany jednocześnie w trzech fazach.

Siłę skrawania oblicza się z zależności:

$$N_{siln} \cdot \eta_{siln} \cdot \eta_{obrab} = P_z \cdot v \quad [W] \quad (1)$$

gdzie:

N_{siln} – moc [W],

η_{siln} – współczynnik sprawności silnika,

η_{obrab} – współczynnik sprawności obrabiarki,

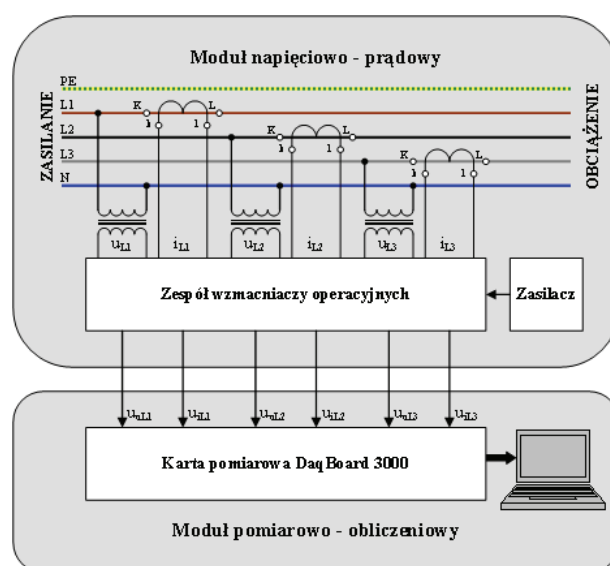
v – prędkość skrawania w [m/sek],

P_z – główna siła skrawania w [N].

Oprócz tego, dzięki wykorzystaniu stanowiska, można rejestrować parametry pracy różnych urządzeń elektrycznych, m.in. omówionego w artykule wentylatora instalacji odwirowującej.

2. Budowa stanowiska pomiarowego

Stanowisko pomiarowe podzielone jest na dwa moduły: napięciowo-prądowy oraz pomiarowo-obliczeniowy (rys. 1).

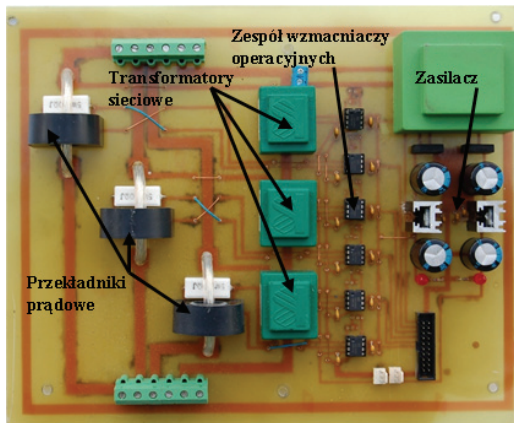


Rys. 1. Układ pomiarowy instalacji trójfazowej

Fig. 1. Measurement system of three-phase mains

Moduł napięciowo-prądowy (rys. 2), ze względu na konieczność galwanicznego oddzielenia modułu pomiarowo-obliczeniowego od mierzonej instalacji elektrycznej, zbudowano w oparciu o przekładniki prądowe oraz transformatory. Do pomiaru prądów na poszczególnych fazach zastosowano przekładniki prądowe PPAC1050, natomiast do pomiaru napięć fazowych zastosowano transformatory sieciowe TEZ1,5/D/6V. Ze względu na tolerancję przekładni znamionowych poszczególnych elementów do kompensacji błędów pomiarowych zastosowano zespół wzmacniaczy operacyjnych o regulowanym wzmocnieniu. Zastosowane przekładniki prądowe pozwalają na pomiar prądów nominalnych do 50 A, z możliwością pomiaru prądów do maksymalnie 125 A. Przekładnia nominalna zastosowanych przekładników prądowych to 1000 : 1, co daje prąd po stronie wtórnej 50 mA dla 50 A po stronie pierwotnej. W celu uzyskania napięcia proporcjonalnego do mierzonego prądu, podłączono równolegle do uzwojenia wtórnego przekładnika prądowego precyzyjny rezystor o wartości 100 Ω , dzięki czemu uzyskano na wyjściu napięcie proporcjonalne w zakresie 0÷5 V do mierzonego prądu 0÷50 A.

Zastosowane do pomiaru napięć transformatory posiadają przekładnię nominalną 38,33 : 1, co daje napięcie 6 V po stronie wtórnej dla napięcia 230 V po stronie pierwotnej.



Rys. 2. Płytkę modułu pomiaru napięciowo-prądowego
Fig. 2. Board of voltage-current measurement module

Mierzone napięcia, po korekcji na wzmacniaczach operacyjnych, trafiają do modułu pomiarowo-obliczeniowego, zbudowanego w oparciu o komputer z kartą pomiarową DaqBoard 3000.

3. Moduł pomiarowo-obliczeniowy

Na rys. 3. przedstawiono schemat blokowy działania układu pomiarowo-obliczeniowego dla jednej wybranej fazy prądu trójfazowego. Układ ten pozwala na digitalizację analogowego sygnału $u_{Ln}(t)$ oraz $i_{Ln}(t)$ pochodzącego z modułu napięciowo-prądowego i dokonania niezbędnych obliczeń oraz rejestrację zmian sygnału. Zbudowany on jest na bazie komputera PC z kartą pomiarową DaqBoard 3000. W karcie ustawiono częstotliwość próbkowania 10 kHz/kanal, co pozwala na dokonanie 200 pomiarów na jeden okres prądu zmiennego o częstotliwości 50 Hz. W module tym, w pierwszej kolejności po digitalizacji napięć wejściowych $u_{Ln}(n)$ oraz $i_{Ln}(n)$, mnożone one są przez współczynniki $k_u = 38,33$ dla napięcia oraz $k_i = 10$ dla prądu w celu uzyskania wartości rzeczywistych mierzonych wielkości $u_{Ln}(n)$ oraz $i_{Ln}(n)$. Następnie wyznaczana jest moc czynna P (3) liczona jako średnia z mocy chwilowej p_{Ln} (2) zgodnie z zależnościami [2, 3]:

$$p_{Ln}(n) = u_{Ln}(n) \cdot i_{Ln}(n) [VA] \quad (2)$$

$$P_{Ln} = \frac{1}{N} \sum_{n_0}^{n_0+N} p_{Ln}(n) [W] \quad (3)$$

gdzie N jest liczbą próbek przypadających na pojedynczy okres T sygnału.

Obliczane są również wartości skuteczne napięcia U_{Ln} (4) oraz prądu I_{Ln} (5):

$$U_{Ln} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n_0}^{n_0+N} u_{Ln}^2(n)} [V] \quad (4)$$

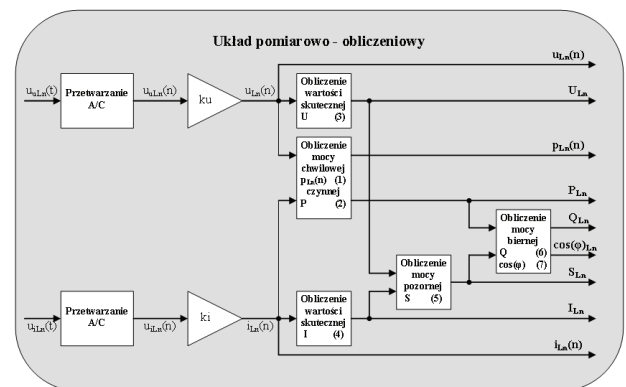
$$I_{Ln} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n_0}^{n_0+N} i_{Ln}^2(n)} [A] \quad (5)$$

Następnie obliczana jest moc pozorna S_{Ln} (6), moc bierna Q_{Ln} (7) oraz współczynnik mocy $\cos(\phi)_{Ln}$ (8) zgodnie z zależnościami:

$$S_{Ln} = U_{Ln} \cdot I_{Ln} [VA] \quad (6)$$

$$Q_{Ln} = U_{Ln} \cdot I_{Ln} \cdot \sin(\phi) [Var] \quad (7)$$

$$\cos(\phi)_{Ln} = \frac{P_{Ln}}{S_{Ln}} \quad (8)$$



Rys. 3. Schemat blokowy układu pomiaru i obliczania parametrów instalacji elektrycznej

Fig. 3. Block diagram of the measurement and calculation of mains parameters

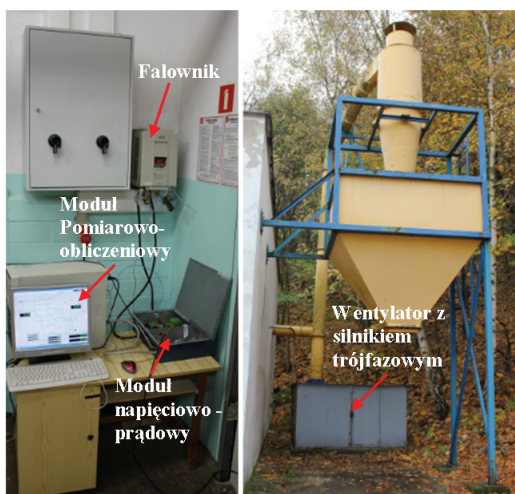
W celu wyznaczenia mocy czynnej P (9) oraz mocy biernej Q (10) w układzie trójfazowym należy skorzystać z zależności:

$$P = P_{L1} + P_{L2} + P_{L3} [W] \quad (9)$$

$$Q = Q_{L1} + Q_{L2} + Q_{L3} [Var] \quad (10)$$

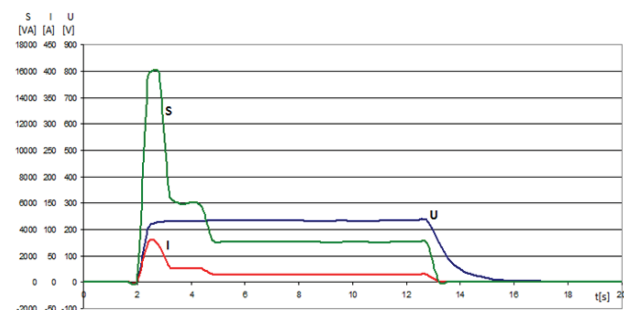
4. Badania doświadczalne

Możliwości rejestracji sygnałów przedstawiono na podstawie pomiarów wykonanych w układzie z silnikiem trójfazowym o mocy 11 kW sterowanym falownikiem Hitachi J300 (rys. 4). Przy pomocy opisywanego układu pomiarowego można analizować oraz rejestrować poszczególne napięcia oraz prądy dla trzech faz jednocześnie lub osobno dokonać analizy sygnału dla poszczególnych fazach linii zasilającej.



Rys. 4. Widok stanowiska pomiarowego
Fig. 4. View of measuring stand

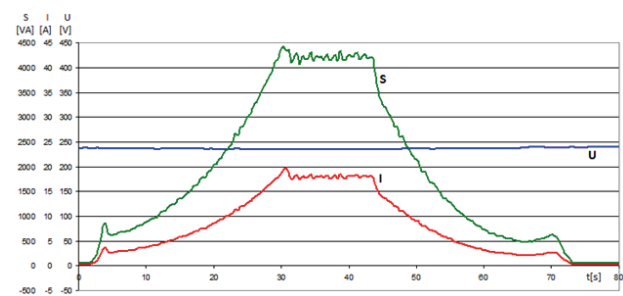
W pierwszej kolejności zarejestrowano przebiegi prądu, napięcia oraz mocy podczas załączania silnika podłączonego bezpośrednio do sieci elektrycznej (rys. 5). Na wykresie widoczne są sygnały dla jednej fazy. Przy rozruchu silnika zauważalny jest znaczny wzrost sygnałów prądu i mocy, które stabilizują się po uzyskaniu przez silnik maksymalnej prędkości obrotowej.



Rys. 5. Wykres wartości skutecznych U , I i S podczas rozruchu silnika

Fig. 5. Waves of RMS values U , I and S during motor startup

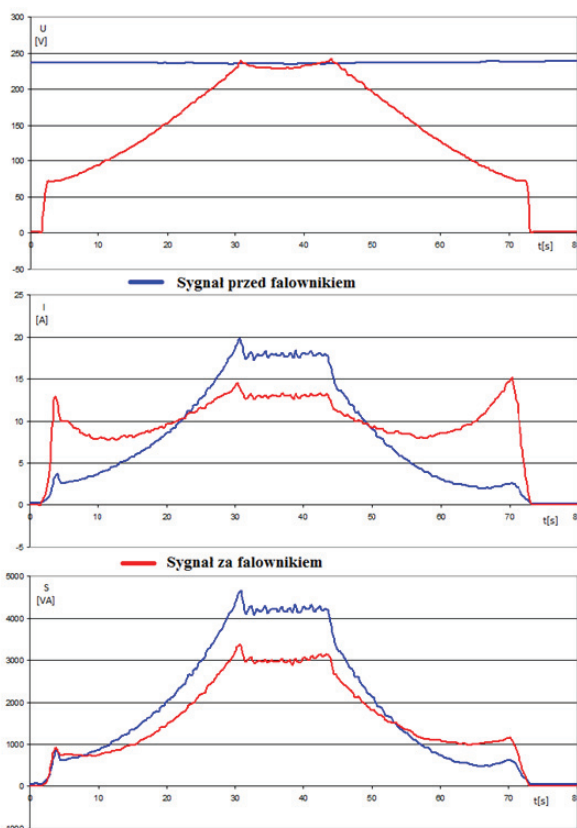
Następnie zbadano prąd, napięcie i moc podczas rozruchu oraz zatrzymania silnika sterowanego falownikiem (rys. 6).



Rys. 6. Wykres wartości skutecznych U , I i S dla rozruchu silnika sterowanego falownikiem

Fig. 6. Waves of RMS U , I and S during startup controlled inverter motor

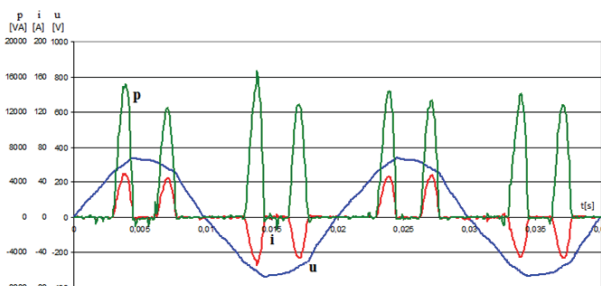
Zbadano również, jak zmieniają się sygnały napięcia, prądu i mocy przed i za falownikiem, podczas rozruchu i zatrzymania silnika (rys. 7).



Rys. 7. Wykres wartości skutecznych podczas rozruchu silnika sterowanego falownikiem na wejściu oraz wyjściu falownika

Fig. 7. Waves of the RMS values during start and stop the motor controlled by inverter on input and output of the inverter

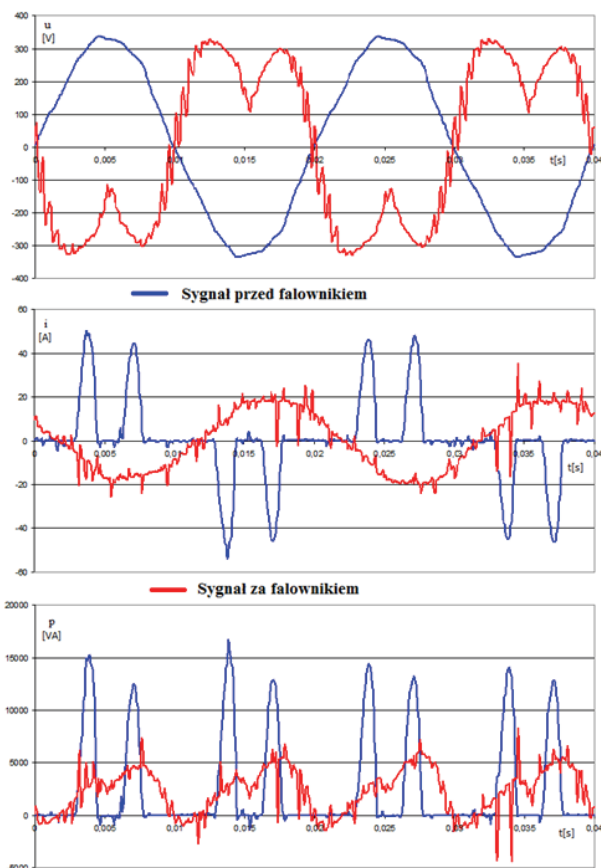
Układ pomiarowy pozwala również na rejestrację wartości chwilowych poszczególnych parametrów elektrycznych. Na rys. 8 widać wartości chwilowe napięcia, prądu oraz mocy pobieranych z linii elektrycznej przez falownik sterujący silnikiem. Przedstawione parametry zarejestrowano przy maksymalnej prędkości obrotowej.



Rys. 8. Wykres wartości chwilowych pobieranych z sieci elektrycznej przez falownik sterujący silnikiem dla jednej fazy

Fig. 8. Waves of momentary values taken from the mains by inverter during motor control for a single phase

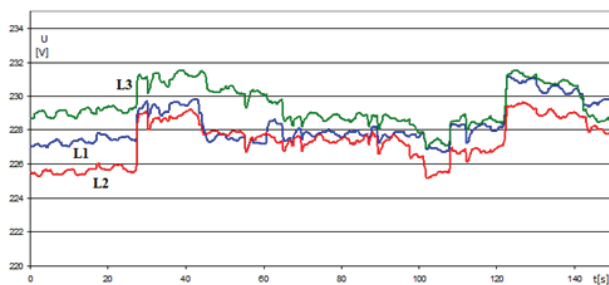
Natomiast na rys. 9. widać wartości chwilowe zarejestrowane na wejściu i wyjściu falownika dla fazy L1.



Rys. 9. Wykres wartości chwilowych na wejściu i wyjściu falownika sterującego silnikiem, dla tej samej fazy

Fig. 9. Waves of momentary values at the input and output of the inverter during motor control, for the same phase

Dobierając odpowiednio skalę na wyświetlanych wykresach, opisywane stanowisko można zmienić w analizator bieżących parametrów sieci elektrycznej. Na rys. 10 widoczny jest pomiar napięcia skutecznego jednocześnie dla trzech faz. Nieznaczne skoki napięcia powodowane są załączeniem i wyłączeniem różnych odbiorników przyłączonych do badanej sieci (elektryczny piec CO, obrabiarki do drewna itp.).

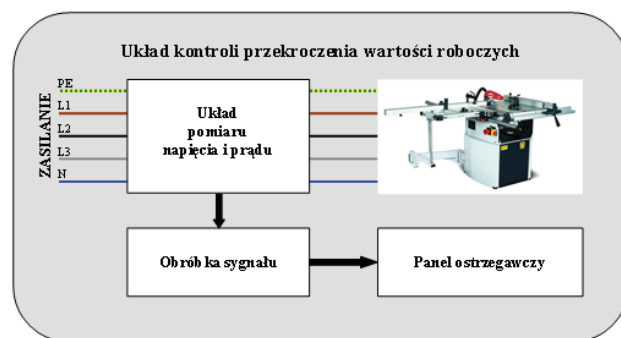


Rys. 10. Wykorzystanie stanowiska do analizy bieżących parametrów sieci elektrycznej

Fig. 10. Use the stand to analyze the mains parameters

5. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych pomiarów można stwierdzić, że zbudowane stanowisko spełnia wszystkie wymagania odnośnie zastosowania go w badaniach przebiegów napięcia, prądu i mocy w układach trójfazowych. Pracuje ono z częstotliwością próbkowania pozwalającą na rejestrację zarówno przebiegów wartości skutecznych jak i chwilowych. Jest to stanowisko uniwersalne, dzięki któremu można badać parametry pracy każdej obrabiarki lub innego sterowanego elektrycznie urządzenia. Możliwość doboru odpowiedniej skali wyświetlanych przebiegów pozwala na wychwycenie nawet najdrobniejszych zmian wartości badanych przebiegów. W przyszłych badaniach układ pomiarowy podłączony zostanie do różnych obrabiarek w celu badania sił występujących podczas skrawania oraz oceny stopnia zużycia narzędzi roboczych. Badać nim będzie można również to, jak na pobór mocy wpłynie przekroczenie parametrów technologicznych maszyny, np. zbyt duża prędkość posuwu drewna podczas cięcia drewna na pile tarczowej itp. Opisane stanowisko, po pewnych modyfikacjach, można również wykorzystać, jako układ ostrzegający operatora o przekroczeniu dopuszczalnych parametrów technologicznych maszyny rys. 11.



Rys. 11. Układ kontroli przekroczenia dopuszczalnych wartości technologicznych

Fig. 11. Control system of the transgression technology limit values

Bibliografia

1. Bolkowski S., *Elektrotechnika*. WSiP, Warszawa 2005.
2. Tumański S., *Technika pomiarowa*, WNT, Warszawa 2007.
3. Czarnecki L., *Moce w obwodach elektrycznych z niesinusoidalnymi przebiegami prądów i napięć*, 2005. ■

Design and sample application stand of measurement and registration currents and voltages in three-phase mains

Abstract: This paper describes a stand to measure and record the basic parameters of the three-phase mains. Describes the construction of measuring stand and mathematical relations of the measured signals. Finally, the paper presents the results of the sample measurements.

Keywords: measurement, recording, voltage, current, power, three-phase mains, cutting force

dr inż. Waldemar Uździcki, prof. UZ

Profesor w Instytucie Edukacji Techniczno-Informatycznej Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski. Kierownik Zakładu Podstaw Techniki. Zainteresowania: budowa i eksploatacja maszyn, transport pneumatyczny.

e-mail: W.Uzdziicki@eti.uz.zgora.pl



mgr inż. Remigiusz Aksentowicz

Asystent w Instytucie Edukacji Techniczno-Informatycznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski. Członek Zrzeszenia Audytorów Energetycznych i Polskiego Towarzystwa Ergonomicznego. Zainteresowania: transport pneumatyczny.

e-mail:

R.Aksentowicz@eti.uz.zgora.pl



mgr inż. Marcin Chciuk

Asystent w Instytucie Edukacji Techniczno-Informatycznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski. Zainteresowania: mechatronika i systemy sterowania.

e-mail: M.Chciuk@eti.uz.zgora.pl



mgr inż. Paweł Bachman

Asystent w Instytucie Edukacji Techniczno-Informatycznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski. Zainteresowania: mechatronika, sterowanie. Jest stypendystą w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa.

e-mail: P.Bachman@eti.uz.zgora.pl

