



Rozproszony autonomiczny system pomiarowy obciążeń dynamicznych ścianowej maszyny urabiającej z ciągnowym napędem posuwu

Distributed autonomous measuring system of dynamic loads in a longwall mining machine with a chain haulage system

Dr inż. Eryk Remiorz^{*)}

Treść: W kompleksach ścianowych przeznaczonych do ścian niskich stosowane mogą być maszyny urabiające wyposażone w ciągnowe napędy posuwu. Przykładami takich maszyn są strugi węglowe ślizgowe lub płytowe oraz głowica urabiająco-ładująca GUŁ-500 wchodząca w skład kompleksu ścianowego Mikrus. Istnieją również rozwiązania ukraińskie tego typu kombajnów ścianowych. Obciążenia dynamiczne łańcucha pociągowego w tych maszynach są znaczne, o czym świadczą między innymi częste postoje spowodowane zerwaniem się łańcucha w napędzie posuwu. W artykule przedstawiono rozproszony autonomiczny system pomiarowy, który może być wykorzystany do badań doświadczalnych maszyn ścianowych wyposażonych w łańcuchowy napęd posuwu.

Abstract: The longwall machine systems intended for application in low seams might be equipped with cutting machine with round link chain haulage systems. Examples of such machines are coal ploughs or cutting and loading head GUŁ-500 which is a part of the Mikrus longwall complex. There are also similar solutions developer in Ukraine. The dynamic loads in the haulage chain in these machines are significant which is evidenced by, among others, frequent failures due to chain breakage. A distributed autonomous measuring system that can be used for experimental testing of longwall machines equipped with a chain haulage system has been presented in this paper.

Słowa kluczowe:

łańcuch ogniwoowy górniczy, maszyna urabiająca ścianowa, łańcuchowy napęd posuwu, rozproszony układ pomiarowy

Keywords:

round link chain, longwall cutting machine, chain haulage system, distributed measuring system

1. Wprowadzenie

W kompleksach ścianowych przeznaczonych do eksploatacji ścian niskich mogą być stosowane maszyny, w których przemieszczanie kombajnu lub głowicy strugowej wzdłuż trasy przenośnika zgrzeblowego realizowane jest za pomocą łańcucha ogniwoowego górniczego (Dziura 2012, Krauze 2011, 2012). Układy napędowe mechanizmu posuwu wyniesione są najczęściej do chodników przyścianowych. W stosowanych obecnie rozwiązaniach zmiana prędkości posuwu maszyny urabiającej z łańcuchowym układem posuwu realizowana jest za pomocą przemienników częstotliwości. Na rysunku 1 przedstawiono przykłady takich maszyn (CAT 2018, Dziura 2012, Kopex 2017, Myszkowski M., Burzan K. 2011, Myszkowski M., Paschedag U. 2018). Są to:

- głowica urabiająco-ładująca (kombajn) GUŁ-500 firmy Kopex Machinery S.A., która jest częścią kompleksu ścianowego Mikrus. Na rysunkach 1a i 1b przedstawiono główne elementy tego kompleksu: głowicę urabiająco-ładującą (1), ścianową obudowę zmechanizowaną (2),

- przenośnik ścianowy zgrzeblowy (3), łańcuch ogniwoowy (4) wielkości 42x137, służący do przemieszczania kombajnu, łańcuch zgrzeblowy przenośnika ścianowego (5), strug węglowy GH800 firmy Caterpillar (rys. 1c) z łańcuchem pociągowym (6) umieszczonym od strony calizny węglowej (tzw. strug ślizgowy), służącym do przemieszczania głowicy strugowej (7),
- strug węglowy RHH800 firmy Caterpillar (rys. 1d) z łańcuchem pociągowym (8) głowicy strugowej (7) prowadzonym od strony zrobów. Jest to tak zwany strug mieczowy wyposażony w płytę podprzenośnikową (9).

Stosowane w maszynach ścianowych łańcuchy ogniwoowe górnicze mają wiele zalet, z których najważniejsze to: możliwość przenoszenia dużych obciążeń rozciągających, możliwość względnego obrotu ogniów w płaszczyźnie równoległej i prostopadłej do spągu, możliwość łączenia odcinków łańcucha za pomocą specjalnych ogniów złącznych oraz stosunkowo prosta technologia wytwarzania (Dolipski 1997).

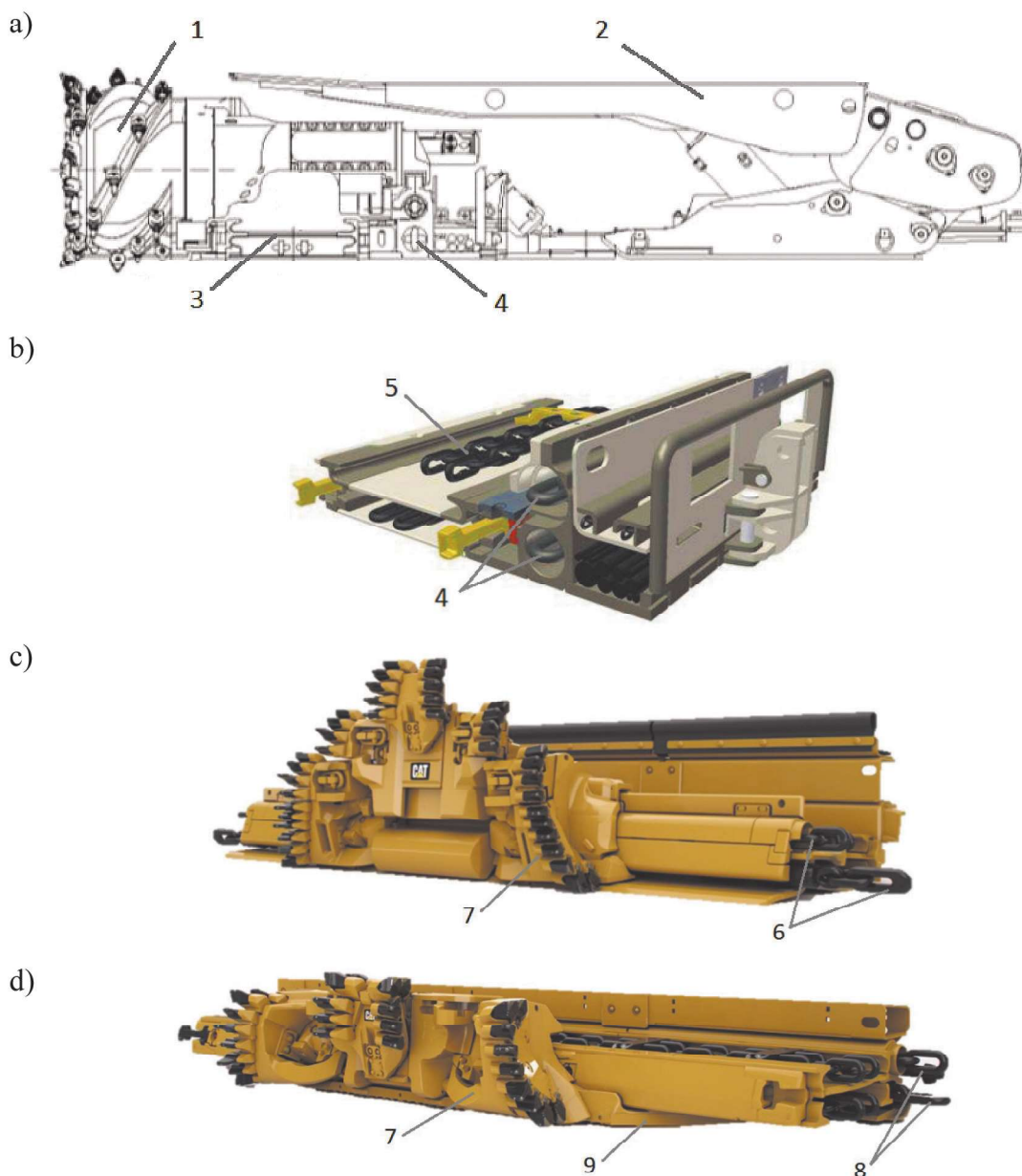
Długość eksploatowanych obecnie wyrobisk ścianowych często jest większa od 300 m (CAT 2018, Dolipski, Remiorz

^{*)} Politechnika Śląska, WGIG, Gliwice

2016, Famur 2017, Kopex 2017), przy czym długość łańcucha pociągowego (tzn. łańcucha ogniowego górniczego zastosowanego w napędzie posuwu maszyny urabiającej), pracującego w obiegu zamkniętym, jest dwa razy większa. Łańcuch ten przenosi znaczne obciążenia dynamiczne wynikające z oporów przemieszczania maszyny urabiającej o dużej masie (do około 20 ton), zmiennych wartości oporów urabiania i ładowania urobku oraz oporów przemieszczania łańcucha ogniowego wzdłuż trasy przenośnika wewnątrz specjalnego prowadzenia. Dlatego rozpatrywany łańcuch ogniowy górniczy musi cechować się bardzo dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi. Obecnie w rozpatrywanych układach posuwu maszyn ścianowych stosowany jest najczęściej łańcuch ogniowy o wielkości 42x137, który popularnie nazywany jest łańcuchem strugowym. Wartość minimalna obciążenia zrywającego dla tego łańcucha, w zależności od

klasy może mieścić się w przedziale od 2200 kN do 3050 kN (Fasing 2017). Dostępne są również na rynku większe łańcuchy ogniowe górnicze, dla których wartość minimalna obciążenia zrywającego może przekraczać nawet 4000 kN (Fasing 2017, Thiele 2017).

Przebiegi obciążeń dynamicznych występujących w łańcuchach pociągowych maszyn urabiających, podczas ich pracy w wyrobiskach ścianowych najczęściej nie są znane. O ich dużych wartościach świadczą liczne przypadki zrywania się łańcucha ogniowego w mechanizmach posuwu. Czas postoju ściany niezbędny do usunięcia awarii jest zwykle bardzo duży ze względu na utrudniony dostęp do łańcucha, szczególnie gdy zerwanie ogniw nastąpiło w dolnym przedziale prowadzenia. Powoduje to olbrzymie straty ekonomiczne wynikające z przerw w wydobywaniu.



Rys. 1. Przykłady maszyn urabiających z ciągowym napędem posuwu (CAT 2018, Dziura 2012, Kopex 2017): a) kompleks ścianowy Mikrus, b) rynna przenośnika ścianowego wraz z prowadzeniem łańcucha pociągowego w kompleksie ścianowym Mikrus, c) strug węglowy GH800 z prowadzeniem ślizgowym, d) strug węglowy RHH800 z prowadzeniem mieczowym
 Fig. 1. Examples of longwall cutting machines with a chain haulage system (CAT 2018, Dziura 2012, Kopex 2017): a) Mikrus longwall complex, b) scraper conveyor pan along with haulage chain guide in longwall complex Mikrus, c) gliding coal plough GH800, d) base-plate coal plough RHH800

W celu poznania zjawisk dynamicznych zachodzących w łańcuchowych mechanizmach posuwu maszyn urabiających niezbędne jest prowadzenie badań doświadczalnych w warunkach eksploatacyjnych. Pomiar, rejestracja i analiza charakterystyk rozpatrywanych obciążeń dynamicznych umożliwi opracowanie rozwiązań mających na celu zwiększenie niezawodności rozpatrywanych łańcuchowych mechanizmów posuwu.

2. Ogólna charakterystyka obiektu badań

Pomiar parametrów pracy maszyny urabiającej z ciągnym układem posuwu w czasie pracy w wyrobisku ścianowym jest bardzo trudny ze względu na wiele czynników, z których najważniejsze to:

- niewielka wysokość wyrobisk ścianowych oraz bardzo często znaczne nachylenie podłużne i poprzeczne,
- przegięcie trasy przenośnika w płaszczyźnie równoległej i prostopadłej do spągu wynikające z pofałdowania spągu oraz z technologii urabiania, która wymaga dosuwania trasy przenośnika zgrzeblowego do czoła ściany za maszyną urabiającą,
- duża odległość pomiędzy napędami wynikająca z długości wyrobiska ścianowego (mechanizm posuwu składa się z napędu głównego i napędu pomocniczego, umieszczonego w chodniku podścianowym i nadścianowym),
- prowadzenie łańcucha pociągowego w przedziale zamkniętym o niewielkim przekroju poprzecznym. Czujniki dokonujące pomiaru obciążeń dynamicznych w łańcuchu pociągowym muszą przemieszczać się wraz z ogniwami łańcucha w tym przedziale,
- współpraca ogniw łańcucha pociągowego z zębami kół łańcuchowych gniazdowych. Odcinki pomiarowe łańcucha wpięte w kontur łańcuchowy za pomocą szybkozłączy muszą mieć możliwość prawidłowej współpracy z kołem łańcuchowym,
- duża wilgotność, zapylenie oraz występujące zagrożenia naturalne.

Schemat ogólny ścianowej maszyny urabiającej z pociągowym układem łańcuchowym przedstawiono na rysunku 2. Maszyna ta znajduje się w wyrobisku ścianowym o długości L metrów i składa się z następujących podzespołów:

- napędu głównego i pomocniczego, które oznaczono odpowiednio literami A i B. W warunkach eksploatacyjnych napęd główny znajduje się w wyrobisku podścianowym, a napęd pomocniczy w wyrobisku nadścianowym. Obydwa napędy charakteryzują się tymi samymi parametrami nominalnymi i składają się z silnika elektrycznego asynchronicznego, sprzęgła, reduktora i koła łańcuchowego współpracującego z łańcuchem pociągowym. Napędy przekazują siłę uciągu łańcuchowi, który przemieszcza maszynę urabiającą (kombajn lub strug węglowy),
- łańcucha pociągowego, do którego zamocowana jest maszyna urabiająco-ładująca. Łańcuch pociągowy w obiegu zamkniętym prowadzony jest wzdłuż trasy przenośnika ścianowego wewnątrz specjalnego kanału wykonanego w rynnach przenośnika. Łańcuch w gałęzi górnej ma możliwość obrotu wokół osi wzdłużnej. Kąt skręcenia łańcucha pociągowego oznaczono symbolem φ_{LA} dla odcinka łańcucha pomiędzy maszyną urabiająco-ładującą a napędem głównym oraz φ_{LB} dla odcinka łańcucha pomiędzy maszyną a napędem pomocniczym,
- maszyny urabiająco-ładującej (GU). Wykonuje ona ruch nawrotny przemieszczając się w kierunku jednego napędu (na przykład głównego), a następnie drugiego

(pomocniczego). Regulacja prędkości posuwu maszyny urabiająco-ładującej realizowana jest przez zmianę prędkości kątowej kół łańcuchowych w napędzie głównym i pomocniczym maszyny urabiającej. Obecnie zmiana prędkości posuwu realizowana jest najczęściej za pomocą przemienników częstotliwości i odpowiednich układów sterowania. Na rysunku 2 przedstawiono kilka przykładowych rozwiązań maszyn urabiająco-ładujących, które oznaczono w następujący sposób:

- GU1 – głowica strugowa,
- GU2 – maszyna z pojedynczym organem urabiająco-ładującym napędzana silnikiem elektrycznym,
- GU3 – maszyna z dwoma organami urabiająco-ładującymi, które są napędzane pojedynczym silnikiem elektrycznym,
- GU4 – maszyna z dwoma organami urabiająco-ładującymi, z których każdy napędzany jest oddzielnym silnikiem elektrycznym.

3. Rozproszony autonomiczny system pomiarowy

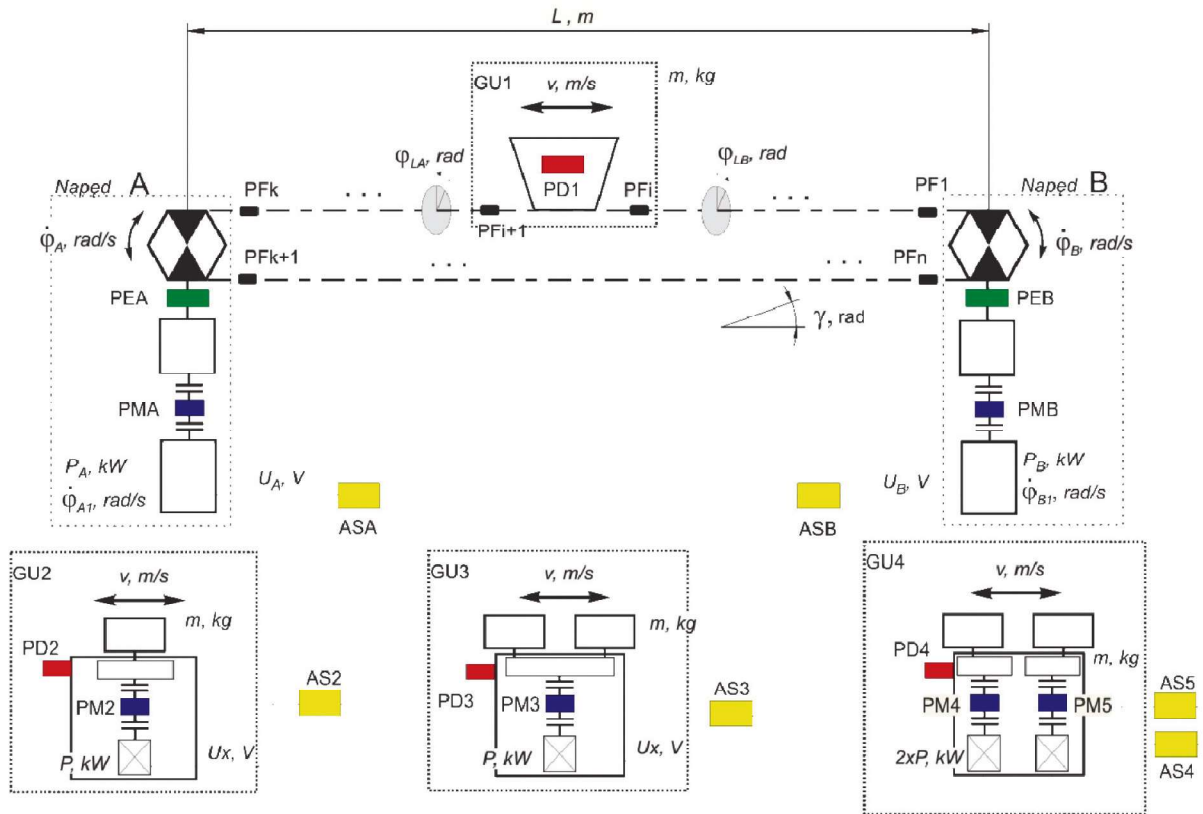
Rozproszone systemy pomiarowe znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle i są rozwijane w różnych ośrodkach naukowych od wielu lat (Arpaia i in. 1996, Badźmirowski i in. 1979, Bucci, Landi 2003, Grimaldia, Marinov 2001, Nawrocki 2006, Olszyna, Winiecki 2008, Pawlak, Żarczyński 2013, Stankiewicz i in. 2016). Ich podstawowymi zaletami są: niewielka odległość pomiędzy czujnikami a urządzeniami akwizycji danych oraz minimalizacja długości zastosowanych przewodów. Poszczególne urządzenia w typowym rozproszonym systemie pomiarowym mogą również wykorzystywać połączenia bezprzewodowe.

System pomiarowy służący do rejestracji charakterystyk dynamicznych maszyn ścianowych z łańcuchowym mechanizmem ciągnięcia musi pracować w bardzo trudnych warunkach, w których pewne moduły pomiarowe przemieszczają się wraz z maszyną urabiającą, inne są wpięte w kontur łańcuchowy i przemieszczają się w zamkniętym stalowym prowadzeniu wraz z ogniwami łańcucha pociągowego, a kolejne znajdują się w chodnikach przyścianowych. Praktycznie nie ma więc możliwości, aby zapewnić w czasie pomiarów łączność przewodową czy bezprzewodową pomiędzy tymi modułami (na przykład w celu synchronizacji sygnałów i transmisji danych).

Dlatego do pomiaru obciążeń dynamicznych w maszynach ścianowych z pociągowym układem łańcuchowym zaproponowano **Rozproszony Autonomiczny System Pomiarowy**, który nazwano **RASP**. W tym systemie poszczególne moduły pomiarowe mogą działać w sposób niezależny od siebie. Oznaczono je w następujący sposób (rys. 2):

- PF – moduły służące do pomiaru obciążeń dynamicznych w łańcuchu pociągowym oraz drgań i orientacji ogniw pomiarowych,
- PE – moduły służące do pomiaru prędkości kątowej kół gniazdowych w napędzie głównym (A) i pomocniczym (B),
- PM – moduły, których zadaniem jest pomiar momentu w układach napędowych mechanizmu posuwu i w układzie napędowym mechanizmu urabiania maszyny,
- AS – analizator parametrów sieci elektrycznej zasilającej silniki napędowe,
- PD – moduł do pomiaru drgań i orientacji kadłuba maszyny urabiająco-ładującej.

Przedstawione powyżej moduły mogą działać w sposób autonomiczny. Są one wyposażone we własne zestawy czujników, rejestrator z możliwością zapisu danych na karcie SD lub mikro SD oraz własne zasilanie w postaci specjalnych

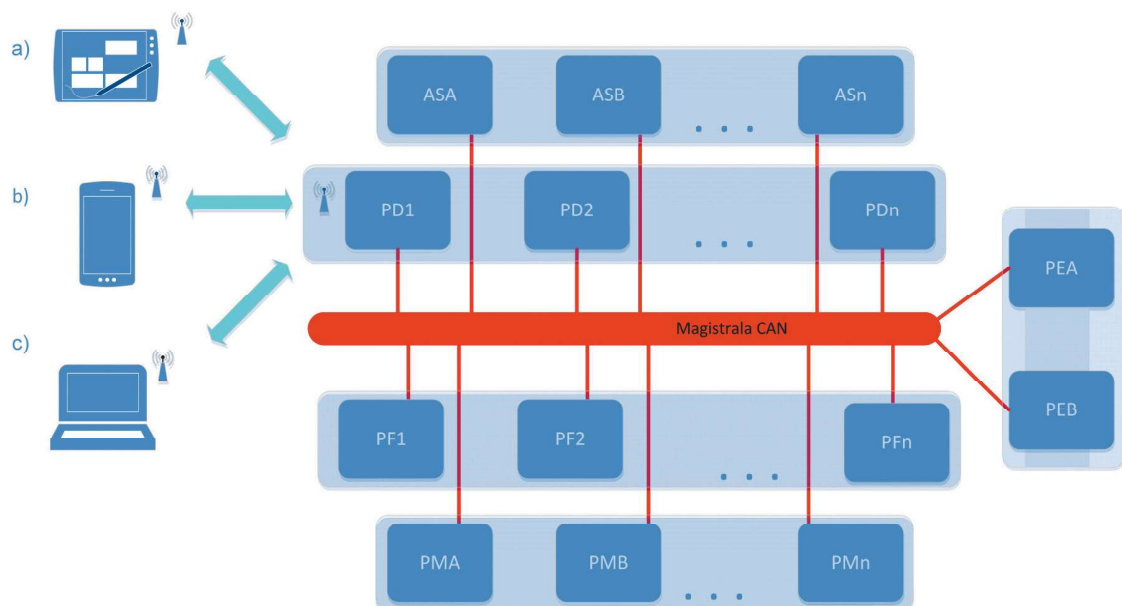


Rys. 2. Koncepcja rozproszonego autonomicznego systemu pomiarowego obciążeń dynamicznych maszyny ścianowej (głowicy strugowej lub kombajnu ścianowego) z łańcuchowym napędem posuwu

Fig. 2. Distributed autonomous measuring system of dynamic loads in a longwall mining machine (plough, shearer) with a chain haulage system

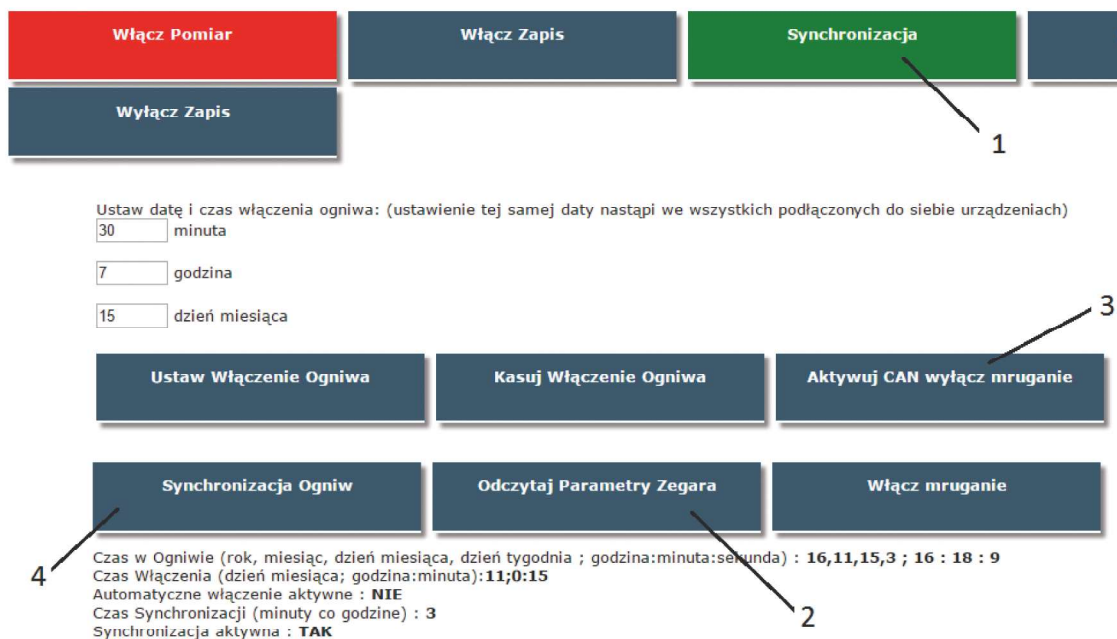
baterii wysokoprądowych, które zapewniają odpowiednio długi czas rejestracji. Każdy moduł systemu RASP posiada również bardzo dokładny zegar czasu rzeczywistego. Zegary te są wykorzystywane do synchronizacji pomiarów dla wszystkich modułów. Są one zasilane dodatkową baterią tak, aby wymiana głównej baterii zasilającej dany moduł pomiarowy w czasie badań w wyrobisku ścianowym nie spowodowała utraty synchronizacji.

Przed pomiarem należy dokonać synchronizacji wszystkich modułów pomiarowych wykorzystywanych do badań. W tym celu moduły należy połączyć ze sobą za pomocą magistrali CAN (rys. 3). Następnie należy połączyć się bezprzewodowo za pomocą sieci Wi-Fi z dowolnym modułem pomiarowym na przykład PD1. Można w tym celu wykorzystać laptop, tablet lub smartfon. W warunkach laboratoryjnych do sterowania układem pomiarowym najbardziej wygodny



Rys. 3. Konfiguracja i synchronizacja modułów systemu pomiarowego RASP: a) tablet, b) smartfon, c) laptop

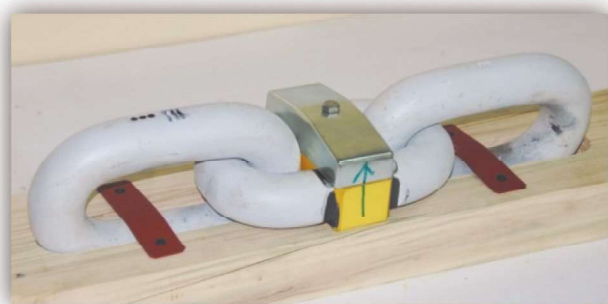
Fig. 3. Configuration and synchronization of measurement system modules RASP: a) tablet, b) smartphone, c) laptop



Rys. 4. Fragment interfejsu użytkownika systemu pomiarowego RASP pozwalający na synchronizację modułów pomiarowych: 1) rozpoczęcie procesu synchronizacji, 2) odczyt parametrów zegara modułu pomiarowego, 3) aktywacja magistrali CAN, do której podłączone są pozostałe moduły, 4) wysłanie sygnału synchronizacji do wszystkich modułów

Fig. 4. User interface of measuring system RASP allowing synchronization of measurement modules: 1) starting the synchronization process, 2) reading parameters of the clock of measurement module, 3) CAN bus activation – all modules are connected to it, 4) sending synchronization signal to all modules

a)



b)



c)



Rys. 5. Przykładowe ogniwa pomiarowe (PF) wykonane dla łańcucha ogniwowego górniczego wielkości 42x137: a) odcinek trzy ogniwowy z układem pomiarowym, b) położenie ogniwa pomiarowego poziomego w gnieździe koła napędowego, c) schemat przedstawiający współpracę odcinka pomiarowego łańcucha pociągowego z prowadzeniem rurowym maszyny urabiającej

Fig. 5. Measuring chain links (PF) made for the mining chain of 42x137 in size: a) three-link section with a measuring system, b) position of the horizontal measuring chain link in the sprocket wheel seat, c) diagram showing the cooperation of the measuring section of the haulage chain with the pipe guide of the cutting machine



Rys. 6. Moduł (PD) do pomiaru drgań i orientacji kadłuba maszyny urabiającej

Fig. 6. Module (PD) for measuring vibrations and orientation of the mining machine hull

jest laptop lub tablet, ponieważ mają ekran o odpowiedniej wielkości. Natomiast w warunkach wyrobiska ścianowego najlepszym rozwiązaniem jest smartfon ze względu na małe wymiary gabarytowe i masę, długi czas pracy akumulatora, możliwość doładowania urządzenia w wyrobiskach dołowych z powerbanku oraz możliwość wykonywania dokumentacji głosowej i fotograficznej prowadzonych badań. Ponadto obudowy wielu dostępnych na rynku smartfonów zapewniają stopień ochrony IP68, co oznacza, że są pyłoszczelne oraz odporne na wodę (PN-EN 60529:2003). Po zalogowaniu się na stronę www wybranego modułu pomiarowego dostępna jest opcja synchronizacji wszystkich podłączonych do magistrali CAN modułów (rys. 4). Przykładowe moduły PF i PD systemu RASP pokazano na rysunkach 5 i 6 (SysPro 2016).

4. Podsumowanie

Rozproszony autonomiczny system pomiarowy RASP służy do wykonywania pomiarów parametrów dynamicznych ścianowych maszyn urabiających z łańcuchowym napędem posuwu. System ten jest bardzo elastyczny jeśli chodzi o możliwość zmiany konfiguracji. Liczba i rodzaj modułów pomiarowych wykorzystywanych w konkretnych badaniach zależy od potrzeb i może być dowolnie konfigurowana przez użytkownika. Na przykład w czasie badań można dokonać pomiaru obciążeń dynamicznych w łańcuchu ogniowym napędu posuwu za pomocą modułów PF, obciążeń dynamicznych sprzęgieł (moduły PM) oraz drgań i orientacji kadłuba kombajnu ścianowego lub głowicy strugowej (moduły PD). W czasie kolejnych pomiarów można badać tylko drgania kadłuba maszyny urabiającej za pomocą właściwego modułu. Synchronizacja modułów pomiarowych oraz przebieg pomiaru przebiegają w obydwóch przypadkach tak samo. Zmiana konfiguracji systemu pomiarowego nie wymaga żadnej modyfikacji modułów pomiarowych. W czasie badań w wyrobisku ścianowym można zalogować się do wybranego modułu (z niewielkiej odległości), na przykład za pomocą smartfona w celu sprawdzenia poprawności jego działania.

Kluczowym elementem systemu RASP są moduły PF służące do pomiaru i rejestracji sił w łańcuchu ogniowym napędu posuwu. Pozwalają one dodatkowo na pomiar i reje-

strację przyspieszeń i orientacji ogniów pomiarowych wpiętych do konturu łańcuchowego. Wymiary gabarytowe i sposób mocowania kadłuba modułu PF w ogniu pomiarowym umożliwia jego zastosowanie w łańcuchu prowadzonym w specjalnych kanałach wykonanych w rynnach przenośnika zgrzeblowego oraz zapewnia prawidłową współpracę tego ogniwa z kołem gniazdowym.

Literatura

- ARPAIA P., CENNAMO F., DAPONTE P., SAVASTANO M. 1996 - A distributed laboratory based on object-oriented measurement systems. *Measurement* Vol. 19, No. 3/4.
- BADŹMIROWSKI K., KARKOWSKA M., KARKOWSKI Z. 1979 - *Cyfrowe systemy pomiarowe*, WNT, Warszawa.
- BUCCI G., LANDI C. 2003 - A Distributed Measurement Architecture for Industrial Applications. *IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement*, Vol. 52, No. 1.
- DOLIPSKI M., REMIORZ E. 2016 - Nadające napinanie łańcuchów w przenośnikach ścianowych. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice*.
- DOLIPSKI M. 1997 - *Dynamika przenośników łańcuchowych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice. *DTR modułów pomiarowych*. *SysPro Sp. z o.o., Świdnica* 2016.
- DZIURA J. 2012 - Kompleks Mikrus - nowa technologia wybierania pokładów niskich. „*Maszyny Górnicze*” nr 3.
- GRIMALDIA D., MARINOV M. 2001 - Distributed measurement systems. *Measurement* Vol. 30.
- KRAUZE K. 2012 - *Urabianie skał strugami statycznymi*. *Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice*.
- KRAUZE K. 2011 - *Eksploracja cienkich pokładów wyrobiskami ścianowymi wyposażonymi w kompleks kombajnowy lub strugowy*. *Rozdział IX*. J. Kicki, A. Dyczko 2011 - *Technika strugowa – praktyka wdrażania*. *Monografia*. *Wydawnictwo Fundacja dla AGH, Kraków*.
- MYSZKOWSKI M., BURZAN K. 2011 - *Stan techniki strugowej w światowym górnictwie*. *Rozdział II*. J. Kicki, A. Dyczko 2011 - *Technika strugowa – praktyka wdrażania*. *Monografia*. *Wydawnictwo Fundacja dla AGH, Kraków*.
- MYSZKOWSKI M., PASCHEDAG U. 2018 - *Eksploracja ścianowa w pokładach średniej miąższości*. *Kompleksowe porównanie kombajnu ze strugiem węglowym*. *Reliability at work*, [on line], http://imf.net.pl/files_imf/uploads/longwall_extraction_of_medium_thickness_coal_seams_polish.pdf (dostęp 28.04.2018).
- NAWROCKI W. 2006 - *Rozproszone systemy pomiarowe*. *Wydawnictwo Komunikacji i Łączności*.
- OLSZYNA J., WINIECKI W. 2008 - *Bezprzewodowy rozproszony system pomiarowy z wykorzystaniem technologii ZigBee*. *PAK*, vol.54, nr 6.
- PAWŁAK M., ŻARCZYŃSKI Z. 2013 - *Rozproszony system pomiarowy do diagnostyki przemysłowych napędów elektrycznych*. „*Napęd i Sterowanie*” nr 10.
- STANKIEWICZ K., JASIULEK D., JAGODA J., JURA J. 2016 - *Rozproszone systemy sterowania maszyn i urządzeń górniczych*. „*Maszyny Górnicze*” nr 3.
- CAT. [online] www.cat.com [dostęp: 08.05.2018]
- Famur. [online] www.famur.pl [dostęp: 05.10.2017]
- Fasing. [online] www.fasing.pl [dostęp: 05.10.2017]
- Kopex. [online] www.kopex.com.pl [dostęp: 05.10.2017]
- Thiele. [online] www.thiele.de [dostęp: 05.10.2017]

Artykuł wpłynął do redakcji – marzec 2018
Artykuł akceptowano do druku 15.06.2018