

SYSTEMY ZDALNEGO KIEROWANIA RUCHEM MASZYN GÓRNICZYCH W KOPALNIACH ODKRYWKOWYCH – PROPOZYCJA IDENTYFIKACYJNO-SYMULACYJNEGO PROGRAMU PROJEKTOWANIA PRACY KOPARKI KOŁOWEJ

REMOTE CONTROL SYSTEMS FOR OPENCAST MINING MACHINES - PROPOSITION OF IDENTIFICATION AND SIMULATION SOFTWARE FOR PREPARATION OF THE WORKING PLANS FOR BUCKET WHEEL EXCAVATOR OPERATIONS

Anna Nowak-Szpak - „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

W artykule przedstawiono aktualne tendencje w górnictwie odkrywkowym, zmierzające do zdalnego sterowania maszyn tworzących ciąg technologiczny. Omówiono obecnie stosowane metody projektowania planów pracy koparek wielonaczyniowych kołowych. Przedstawiono możliwości zastosowania opracowanego w „Poltegor-Instytut” Instytucie Górnictwa Odkrywkowego programu tworzącego kompleksowe technologie pracy koparki wielonaczyniowej pracującej na froncie ustabilizowanym.

Słowa kluczowe: programy identyfikacyjno-symulacyjne, koparka wielonaczyniowa, plany pracy

The article presents the overview of current trends in surface mining in the area of remote control of machinery forming a technological process of excavation. Applied methods used for planning and designing working plans of bucket wheel excavators are presented.

Suggestions for using the identification&simulation software developed in the „Poltegor-Instytut” that models complex technology solutions of bucket wheel excavators working on the stabilized front (i.e. with regular working parameters) are given in the article.

Keywords: identification&simulation software, bucket wheel excavator, work plans

WPROWADZENIE

Dynamicznie rozwijająca się gospodarka wymusza na przedsiębiorstwach górniczych ciągle poszukiwanie narzędzi i metod zwiększających wydajność oraz dostosowujących jakość pozyskiwanych surowców do oczekiwań klientów. Podstawowym środkiem pozwalającym na osiągnięcie tych celów jest stosowanie nowoczesnych technologii umożliwiających wykorzystanie maszyn w możliwie najefektywniejszy sposób, który przyczyni się do ograniczenia wydatków ponoszonych przez przedsiębiorcę, a tym samym na obniżenie jednostkowych kosztów wydobycia kopaliny.

Obserwowanym trendem, nie tylko w przemyśle wydobywczym, jest dążenie do zdalnego sterowania maszyn tworzących ciąg technologiczny a nawet autonomiczności ich pracy [1]. Każda forma zdalnego sterowania wymaga odpowiedniej aparatury umożliwiającej wzajemną komunikację na drodze maszyna-operator [21]. Proponowane obecnie rozwiązania skupione są wokół trzech grup, zróżnicowanych ze względu na sposób obserwacji obiektu:

- zdalne sterowanie maszyną znajdującą się bezpośrednio w zasięgu wzroku operatora (line of sight) (rys. 1), [5]
- zdalnie sterowane maszyny prowadzone z odległości przez operatora na podstawie obrazu z kamer (non-line-of-sight system) (rys. 2), [4]

- telesterowanie, poprzez zestaw anten i nadajników rozmieszczonych w wyrobisku na trasie, po której porusza się maszyna (teleoperated) (rys. 3) [20].

Jako odrębny kierunek prac należy traktować pracę autonomiczną, w której maszyna zostaje zaprogramowana do wykonywania zadanych jej czynności zgodnie z opracowanym wcześniej przez technologów schematem.

Realizacja takich kierunków rozwoju kopalni wymaga reorganizacji jej działalności na każdym etapie produkcji, a dokładnie przystosowania jej poszczególnych ogniw, poprzez ich odpowiednią modernizację, w innowacyjne rozwiązania techniczne i programowe. W górnictwie odkrywkowym najczęściej wykorzystuje się połączenie systemów satelitarnych GPS z pomiarami laserowymi, wskaźnikowymi [22], [39] lub technologią czujników inercyjnych [30]. Proponowane na krajowym rynku rozwiązania skupiają się na rozwiązaniach sprzętowych wyznaczenia pozycji maszyny [27]. Bardziej zaawansowane oprogramowania pozwalają na porównanie w czasie rzeczywistym wykonywanej pracy z jej projektem cyfrowym w panelu sterującym [11], [12]. W koparkach jednonaczyniowych oraz spycharkach coraz częściej możliwe jest również automatycznie ustawianie zaworów hydraulicznych w taki sposób, aby łyżka/lemiesz usytuowane były na projektowanej wysokości [22], [30].



Rys. 1. Zdalne sterowanie maszyną znajdującą się bezpośrednio w zasięgu jego wzroku

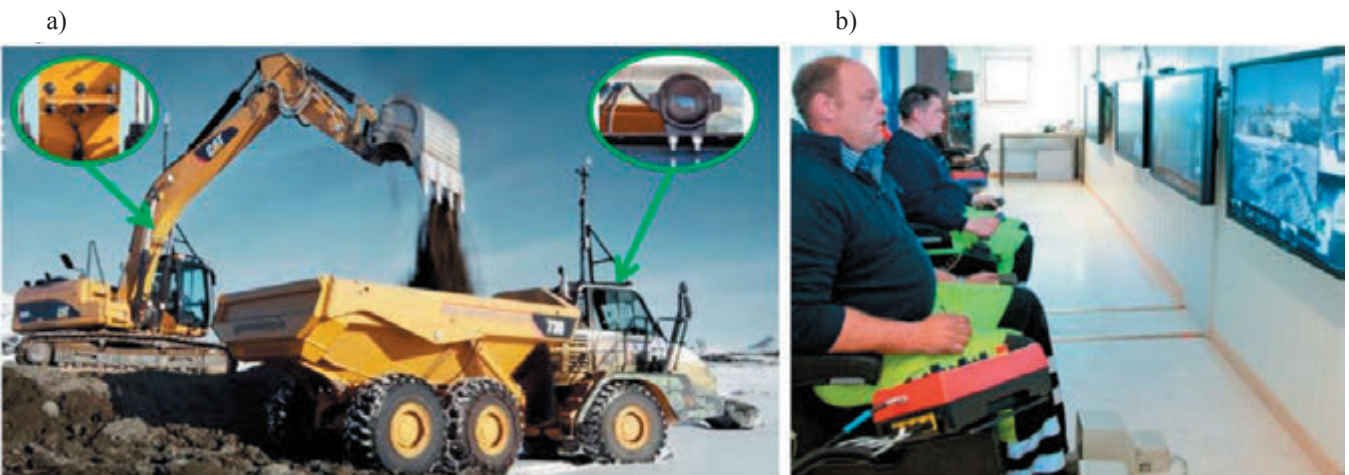
a) sterowanie spycharką za pomocą zdalnego pilota [5], [1]

b) zautomatyzowane wiertnice obsługiwane i kontrolowane za pośrednictwem komputera nadzorującego [10]

Fig. 1. Remote control of the machine operated in sight

a) controlling the bulldozer via handheld remote control [5], [1]

b) automated drills operated and controlled via a supervisory computer [10]



Rys. 2. Zdalnie sterowane maszyny prowadzone przez operatora na podstawie obrazu z kamer [4]

a) widok koparki jednozaczyniowej i samochodu technologicznego wraz z lokalizacją anten i kamer

b) widok stanowisk operatorskich w dyspozytorni

Fig. 2. Non-line-of-sight solution provided via video cameras [4]

a) excavator and haul trucks with the location of antennas and cameras providing data

b) operators in a control room

Rola operatora w takich rozwiązaniach ogranicza się do prowadzenia maszyny z odpowiednią prędkością, bowiem sterowanie trajektorią ruchów odbywa się automatycznie. Opisanie rozwiązania stosowane są w budownictwie drogowym jak i mieszkalnym, dlatego obejmują powszechnie wykorzystywane maszyny, takie jak spycharki, równiarki, zrywarki czy koparki jednozaczyniowe. Projektowanie pracy dla sterowanych programowo maszyn odbywa się poprzez dedykowane oprogramowanie firmowe zawierające zestaw narzędzi niezbędnych do importu/eksportu plików AutoCad, Microstation 3DMC, przeglądania i edycji powierzchni, poziomych i pionowych elementów liniowych, przekrojów i punktów [22], [38].

AUTOMATYZACJA CIĄGÓW TECHNOLOGICZNYCH W GÓRNICTWIE ODKRYWKOWYM WĘGLA BRUNATNEGO

Liderem we wdrażaniu najnowszych rozwiązań w górnictwie węgla brunatnego jest niemiecka spółka energetyczna RWE Power AG. Wszystkie maszyny podstawowe w kopalniach należących do spółki są wyposażone w odbiorniki GPS i oprzyrządowanie pozwalające na ich precyzyjne pozycjonowanie w ramach wdrożonego systemu SABAS „satellite-assisted excavator operation control” [3]. Istotą systemu jest dokładne określenie położenia organu roboczego koparki na tle cyfrowego modelu odkrywki i złoża,



Rys. 3. Ładowarka pracująca w systemie telesterowania w podziemnym wyrobisku górniczym [20]

- a) interfejs operatora z informacjami pochodzącymi z pomiarów laserowych (lewa strona) oraz kamery (prawa strona)
 b) widok maszyny z danymi pochodzącymi z pomiarów laserowych (kolor czerwony) oraz zestaw możliwych trajektorii ruchów wykorzystywanych do sondowania przestrzeni przed pojazdem (kolor niebieski)
 c) widok maszyny z danymi pochodzącymi z pomiarów laserowych (kolor czerwony) oraz wybranej przez algorytm wiązki toru bezpiecznej jazdy (kolor niebieski) rozszerzonej do szerokości maszyny (kolor szary)

Fig. 3. The LHD (load-haul-dump) vehicle working in teleoperated system in an underground mine [20]

- a) interface of the operators station with information provided by laser (left side) and video equipment (right side)
 b) machine with laser data (red) and possible movement trajectories used to probe the environment ahead of the vehicle (blue)
 c) machine with laser data (red) and the safest movement trajectory chosen by algorithm the (blue) expanded to the machinery width (gray)

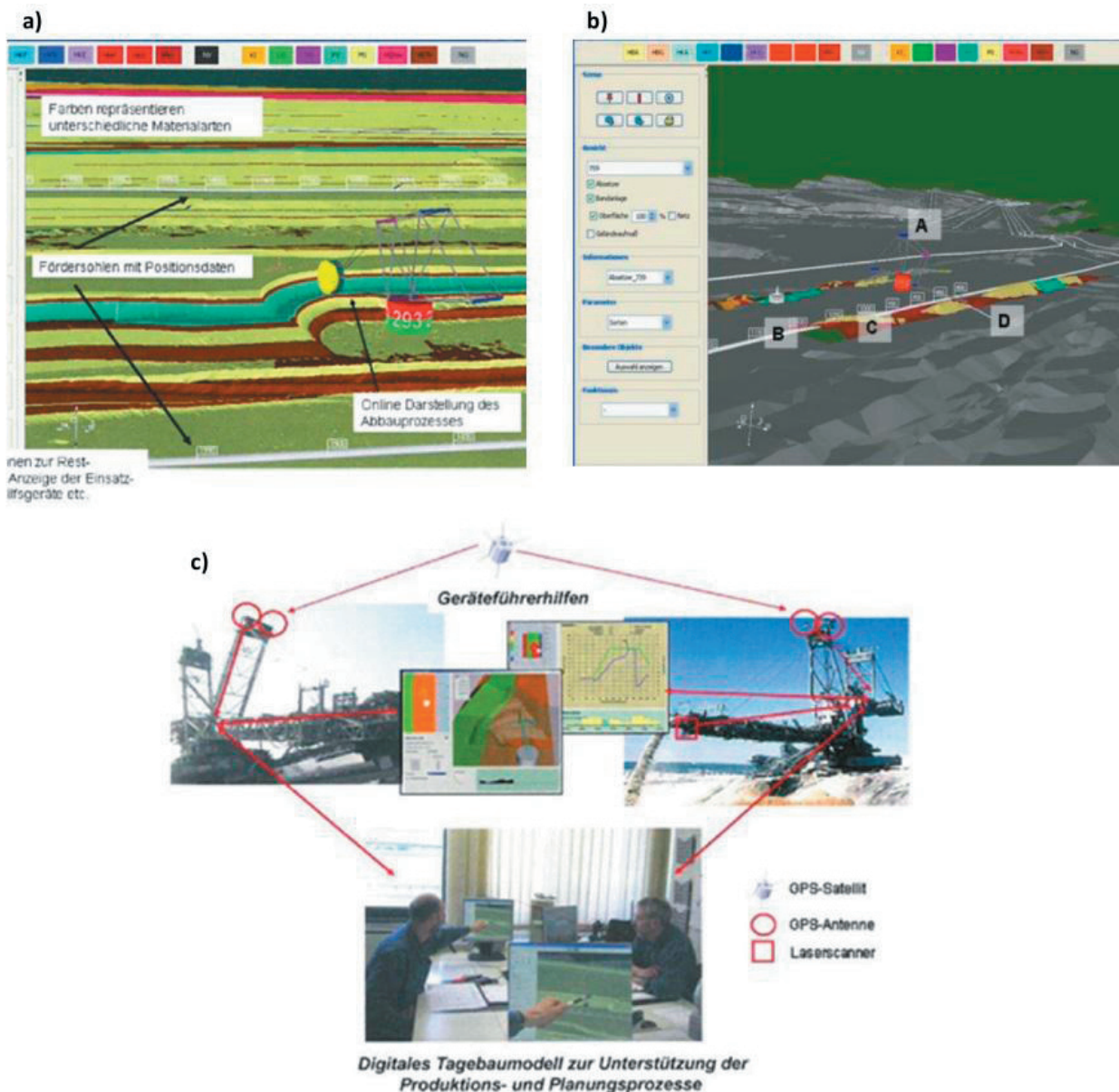
co pozwala na optymalne zarządzanie wydobytymi masami (rys. 4). Przejawia się to m.in. w możliwości wcześniejszego zaplanowania homogenizacji węgla z poszczególnych pięter, wpisaniu go do modelu i realizacji tego procesu na etapie wydobywania [3], [34]. Plan ten uzupełniony jest o wykonywane odczytów z czujników zamieszczonych na przenośnikach węglowych, których analiza on-line pozwala na mieszanie węgla o różnych parametrach jakościowych na węzłach przesypowych. Zarządzanie nadkładem natomiast odbywa się poprzez kierowanie strug o znanych parametrach geotechnicznych na poszczególne zwałowarki, w taki sposób, aby zapewnić stateczność formowanego zwałowiska [2], [3].

Również w Polsce rozpoczęto proces instalacji na koparkach kołowych odbiorników GPS. Od 2012 koparka SchRs 4600.30 (K42) pracująca w kopalni Bełchatów Pole Szczerców, posiada zainstalowany system pomiarowy IMS (Zintegrowany system pomiarowy) do współpracy z maszynami podstawowymi. Obecnie system składa się z trzech bazujących na jednolitym oprogramowaniu komponentów. Pierwszy z nich stanowi Moduł operatora wraz z jednostką pozycjonującą GNSS, którego zadaniem jest precyzyjna lokalizacja koła czerpakowego w przestrzeni oraz prezentowanie operatorowi w czasie rzeczywistym pozycji koparki w aktualizowanym na bieżąco cyfrowym modelu złoża lub w odniesieniu do przygotowanych planów pracy (rys. 5). Ponadto, program ostrzega operatora o występowaniu obszarów zagrożeń, m.in. o wystąpieniu studni i piezometrów [9].

Przygotowywane plany pracy dla maszyn podstawowych, a właściwie zawarty w nich zakres ich informacji i wytycznych, są ściśle związane z możliwościami wynikającymi z oprzyrządowania maszyny. Zaawansowany system pomiarowy w niemieckich kopalniach pozwala na przygotowywanie bardzo szczegółowych informacji dla operatorów koparek o wytycznych sterowania maszyną. Plany pracy dla każdej z maszyn podstawowych wykonywane są wyprzedzająco na okres 2-3 dni i zawierają szczegółowe dane o przewidzianych w tym okresie uwarunkowaniach geologiczno-górnictwowych. Z uwagi na zdecydowanie mniejsze oczyunikowanie maszyn w polskich kopalniach węgla brunatnego, stosowany sposób zarządzania pracą parku maszynowego wygląda zgoła inaczej.

PROJEKTOWANIE PLANÓW PRACY KOPAREK WIELONACZYNIOWYCH

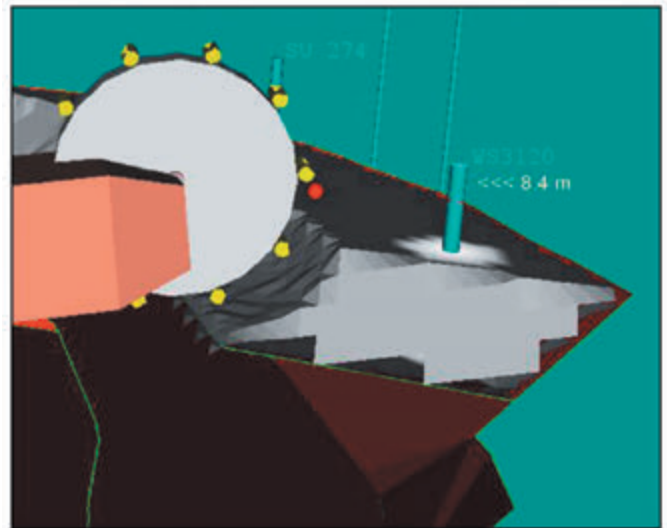
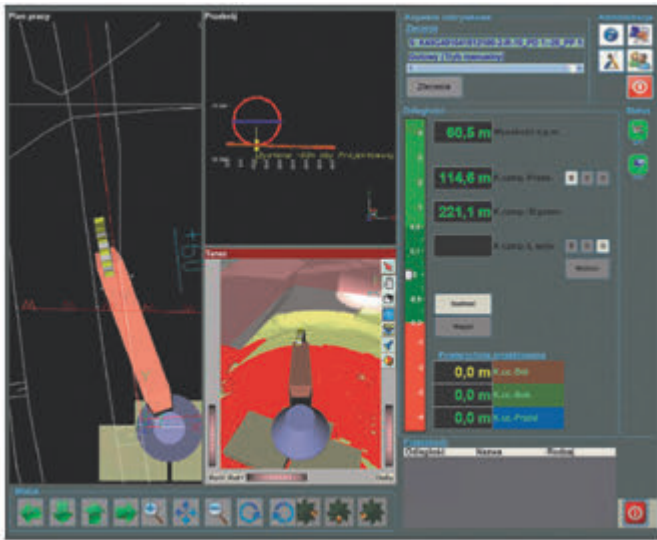
Dotychczasowe prace związane z projektowaniem prac wydobywczych w Polsce dokonywane były drogą ewolucyjną, głównie dzięki postępowi, jaki dokonywał się przez coraz to powszechniejsze stosowanie komputerów. Początkowo największy rozwój dokonywany był w modelowaniu warunków geologiczno-górnictwowych [8] i polegał na dostarczaniu niezbędnych informacji o złożu tj. o rodzaju urabianej kopaliny, możliwych zagrożeniach związanych z występowaniem utworów trudno urabialnych, wtrąceniach czy możliwych soczewkach wodnych... itp. Uzyskane informacje wykorzystywane były



Rys. 4. Zarządzanie wydobywaniem w odkrywkowych kopalniach węgla brunatnego RWE Power AG
 a) cyfrowy model kopalni odkrywkowej - model geologiczny piętra i podział na tarasy jako wytyczne dla procesu urabiania [2]
 b) cyfrowy model zwałowiska – projektowanie postępu procesu zwałowania [34]
 c) ogólny schemat komunikacji GPS wspierającego proces produkcji i planowania [2]
 Fig. 4. Operations management for mining production used in RWE Power AG opencast lignite mines
 a) digital opencast-mine model - geological model and bench planning as a guideline for the mining process [2]
 b) digital dump model - dumping planning as a guideline for the dumping process [34]
 c) general schema of the GPS-communication to support the production and planning processes [2]

przez technologów w przygotowywanych dla każdej z maszyn planach pracy. Zawierające początkowo jedynie informacje o przewidywanych krawędziach zabierki mapy powstające w działach technologicznych kopalń, zostały rozbudowane i zawierają obecnie komplet niezbędnych informacji przygotowanych i zestawionych przez służby geologiczne, geotechniczne i hydrogeologiczne [6], [33]. Dzięki syntetycznej informacji przedstawionej na mapie zarówno kierownik zmiany jak również operator koparki są w stanie przygotować się do pracy w przedstawionych w planie strefach niebezpiecznych. Dlatego to od doświadczenia pracowników zależy, w jaki sposób manewrować będą ruchami koparki i w jakim stopniu przyjęta metoda pozwoli zminimalizować skutki oznaczonych w planie utrudnień.

Tym bardziej można zakładać, że w niedalekim czasie będzie istniało zapotrzebowanie na narzędzia symulacyjne dla wyboru najbardziej odpowiedniej technologii wydobywania, które będą również pozwalały na wygenerowanie, w postaci pakietów danych, najkorzystniejsze parametry sterowania pracą maszyny. Opracowane drogą analiz symulacyjnych wytyczne pracy, w postaci współrzędnych trasy koparki i odpowiadającym danym stanom parametrom ruchów roboczych, dla wybranej technologii eksploatacji, stanowiąc będą instrukcje dla operatora maszyny lub nawet cyfrowy zapis sterowania programowego ruchami manewrowymi takiej maszyny. W procesie projektowania nowych narzędzi dąży się bowiem do takich rozwiązań, aby operator mógł spełniać jedynie funkcję nadzoru, co umożliwi ograniczenie ludzkich błędów mogących wystąpić w okresie



Rys. 5. Interfejs systemu IMS

- a) przykładowa konfiguracja okna Teren, Przekrój oraz Plan pracy [9]
 b) widok okna informującego o pracy w miejscu niebezpiecznym - wystąpienie przeszkody [9]

Fig. 5. Interface of the IMS-System

- a) Terrain, Section and Work Plan, example views configuration [9]
 b) Window informing about work in a hazardous place - occurrence of an obstacle [9]

eksploatacji. Narzędziem pozwalającym na opracowanie takich planów pracy są programy identyfikacyjno-symulacyjne pod nazwą „Kompleksowej technologii pracy wielonaczyniowej koparki kołowej” opracowane przez pracowników „Poltegor-Instytut”. Pozwalają one na wykonywanie multikryterialnych analiz pracy koparki - w tym na dobór i kontrolę parametrów przestrzennych zabiorów na froncie ustabilizowanym, jak również symulowanie procesu urabiania i oszacowania prognozowanych efektów pracy.

KOMPLEKSOWE TECHNOLOGIE PRACY WIELONACZYNIOWYCH KOPAREK KOŁOWYCH

W literaturze wymienia się wiele autorskich programów symulacyjno-identyfikacyjnych, pozwalających na dobór parametrów struktur przestrzennych pięter eksploatacyjnych tworzących front wydobywczy kopalni oraz kontrolę tworzonych struktur [6], [7], [13], [16], [19], [23], [28]. Zakres ujętych w nich zależności jest zróżnicowany i zależy od kierunków badań autora. Dotyczą one zarówno efektywności procesu roboczego i wykorzystania potencjału koparek, jak również zachowania wymaganych warunków bezpieczeństwa. Wspólną ich cechą jest ściśle deterministyczny charakter, z założenia opierają się bowiem na zależnościach funkcyjnych występujących między parametrami struktur geometrycznych frontu roboczego, zasięgami i kinematyką zespołów roboczych koparki oraz ograniczeniami geotechnicznymi, a także eksploatacyjnymi.

W większości prace badawcze związane z technologią pracy koparek kołowych, skupiały się na maksymalizacji wydajności koparki w zabierce o stałych parametrach geometrycznych zabierki tj. stałej wysokości i szerokości samej zabierki jak i poszczególnych stopni. Od wielu lat wiodącą jednostką z wymienionej dziedziny jest „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, gdzie pod przewodnictwem prof. dr inż. W. Kołkiewicza już w latach 90-tych XX wieku opracowane zostały pierwsze modele obliczeniowe obejmujące podstawowe procesy pracy koparką kołową w urabianiu nadpoziomym na froncie ustalonym [17], [37].

Wraz z rozbudową modelu zmieniano środowiska programowania (Turbo Pascal, Matlab, Mathcad), aby spełniały nowe wymagania obliczeniowe [14], [15], [24], [35], [36]. Kolejne rozbudowy polegały na rozszerzeniu funkcjonalności o pracę na froncie niestabilnym przy stacji napędowej i zwrotnej przenośnika [17], [40], a także pracę frontem niestabilnym przy urabianiu podpiętrami [17], [29].

Przyjęta przez zespół prof. Kołkiewicza metoda obliczeniowa polegała na dekompozycji procesu urabiania na procesy cząstkowe (zabior→stopień→pasma→wiór), które odwzorowane zostały funkcjami stanów. Wzory ogólne pozwalające na przybliżone określenie parametrów geometrycznych wióra są powszechnie znane i stosowane np. przy doborze mocy koła czerpakowego czy tworzeniu Instrukcji Pracy Maszyn lub Dokumentacji Techniczno-Ruchowych (DTR)

Zrealizowane w okresie 1980-2013 prace badawcze procesów związanych z eksploatacją prawie wszystkich typów koparek w krajowych kopalniach odkrywkowych, prowadzone przez pracowników „Poltegor-Instytut” Instytutu Górnictwa Odkrywkowego we Wrocławiu, pozwoliły na rozbudowę zależności, które ostatecznie przyjęły postać 21 programów użytkowych w postaci arkuszy obliczeniowych programu Mathcad wchodzących w skład „Kompleksowej technologii pracy wielonaczyniowej koparki kołowej” [14], [16]:

- 1) Podstawowy, kompleksowy program wdrożeniowy technologii pracy koparki (KPW.1.).
- 2) Identyfikacja struktury frontu roboczego koparek z zabierką nadpoziomą (PSF.1.).
- 3) Identyfikacja struktury frontu roboczego z zabierką podpoziomą (PKF2.).
- 4) Identyfikacja struktury frontu roboczego z podpiętrzem podpoziomym (PKF3.).
- 5) Symulacja procesu urabiania skały przez koło urabiające koparki, odwzorowująca przebieg procesu funkcjami chwilowej czynnej długości ostrzy czerpaków (PUS.1a.).

6) Symulacja procesu urabiania skały przez koło urabiające koparki, odwzorowująca przebieg procesu funkcjami chwilowej wielkości przekrojów skrawanych wiórów (PUS.1b.).

7) Bilans mocy napędu koła urabiającego koparki kołowej w procesie urabiania skał o określonej urabialności (PUS.2.).

8) Identyfikacja dysponowanej i wymaganej mocy i jednostkowych sił kopania (PUS.3.).

9) Prognoza wydajności technicznej koparki (PUS.4.).

10) Symulacja procesu urabiania zabierki, to jest procesu pracy ustabilizowanej koparki, odwzorowująca przebieg procesu układem stanów urabiających i manewrowych (PUZ.1.).

11) Moduł doboru parametrów zabierki nadpoziomowej (M1.).

12) Moduł doboru parametrów zabierki podpoziomowej (M2.).

13) Moduł doboru parametrów zabierki w podpiętrze podpoziomowym (M3.).

14) Moduł doboru parametrów poziomego układu ładującego koparki (M4a.).

15) Moduł doboru parametrów przestrzennego układu zespołu ładującego koparki (M4b.).

16) Moduł identyfikacji wielkości granicznych i wykorzystania zasięgów roboczych koparek (M5.).

17) Moduł kontrolny dystansów bezpieczeństwa występujących w zabierce i ich zestawienie z wartościami dopuszczalnymi (M6.).

18) Moduł identyfikacji parametrów sterowania koparką w procesie przestrzennego kształtowania zabierki (M7.).

19) Moduł prognozowania wyników procesu urabiania skały (M8.).

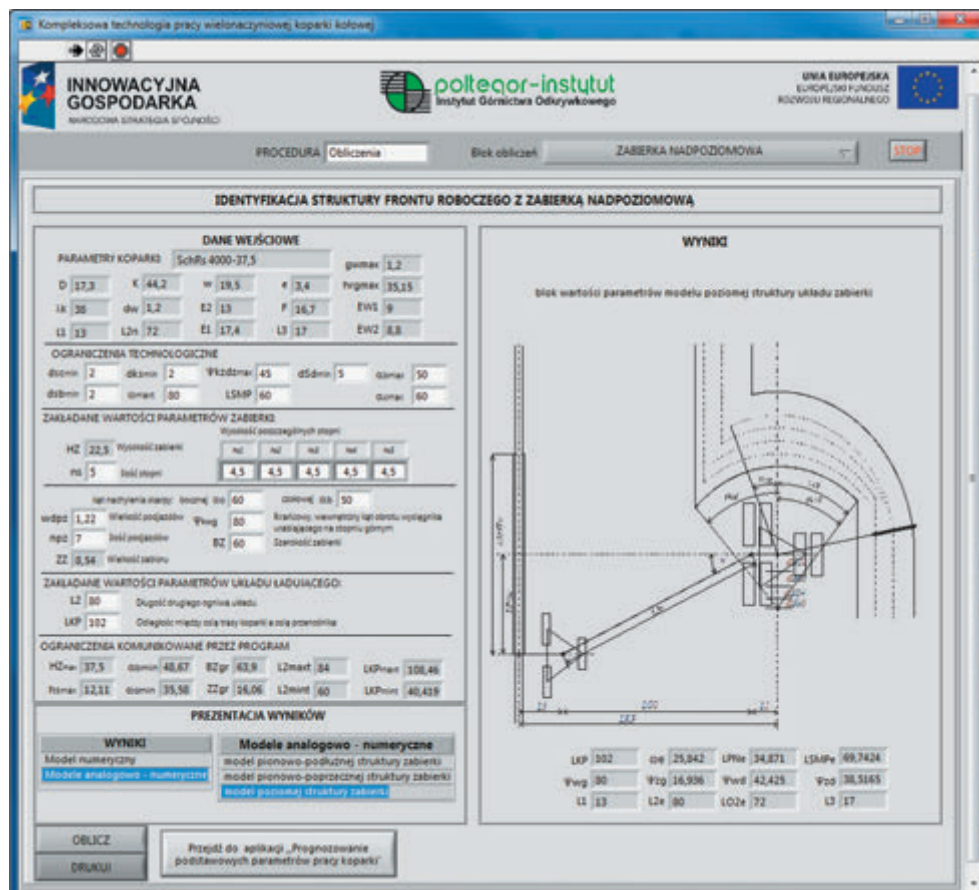
20) Moduł prognozowania efektywności procesu urabiania zabierki (M9.).

21) Moduł prognozowania wielkości wydobywania i postępu frontu roboczego koparki (M10.).

W latach 2009-2013 w ramach realizacji projektu rozwojowego pt. „Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego”, przygotowano zostało oprogramowanie, w którym połączono funkcjonalnie w dwa moduły 15 z wymienionych arkuszy obliczeniowych. Zadaniem pierwszego z nich, pt.: Identyfikacja struktury frontu roboczego koparek [26], [31] jest dobór parametrów przestrzennych pięter eksploatacyjnych tworzących front wydobywczy kopalni jak również kontrola tworzonych struktur pod kątem zachowania wymaganych warunków bezpieczeństwa. Program ma charakter interaktywny, dzięki czemu podczas zadawania kolejnych wytycznych pracy komunikuje o przekroczeniach dopuszczalnych parametrów pracy koparki w zabierce.

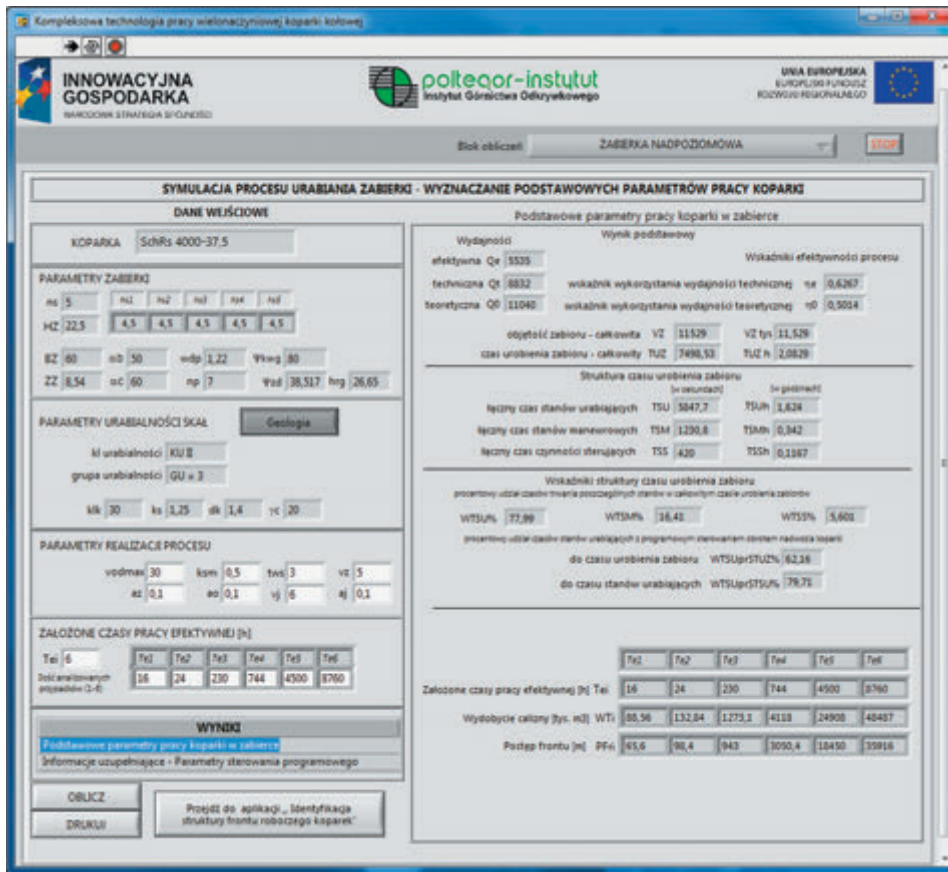
W efekcie pracy w programie użytkownik otrzymuje ogólny i szczegółowy model piętra określający wzajemny układ koparki, zabierki i przenośnika poziomego. Wyniki programu prezentowane są w formie numerycznej, także w formie graficznej z poglądowymi rysunkami w trzech rzutach wspomagających interpretację dobranych parametrów (rys. 6).

Drugi z opracowanych modułów pn. Prognozowanie podstawowych parametrów pracy koparki [25] wykorzystuje dobrane parametry geometryczne, dla których oblicza się parametry efektywnościowe pracy koparki (rys. 7), tj.: wydajność teoretyczna, techniczna i efektywna (wraz ze wskaźnikami), objętość zabioru oraz czas potrzebny do jego urobienia.

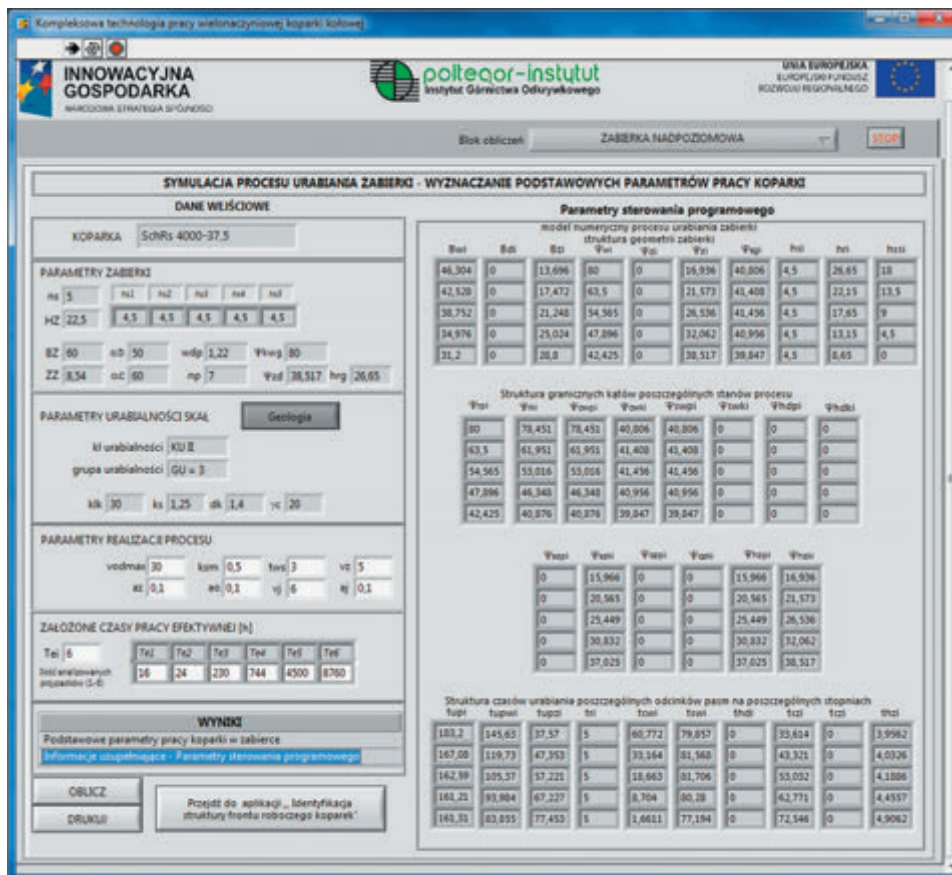


Rys. 6. Ekran programu *Identyfikacja struktury frontu roboczego z zabierką nadpoziomową* [31], [41]

Fig. 6. Screen of *Identification of working front structure with sublevel block* [31], [41]



Rys. 7. Ekran programu Symulacja procesu urabiania zabierki – wyznaczanie podstawowych parametrów pracy koparki [32], [41]
 Fig. 7. Screen of Simulation of working block processes – setting the basic parameters of excavating technology [32], [33]



Rys. 8. Ekran programu Symulacja procesu urabiania zabierki – wyznaczanie podstawowych parametrów efektywności koparki przedstawiający parametry sterowania programowego dla założonych warunków pracy koparki [32], [41]
 Fig. 8. Screen of Simulation of working block processes – setting the basic efficiency parameters of excavators and the program control parameters for the assumed excavator working conditions [32], [41]

Ponieważ w przebiegu urabiania całego pasma można wyróżnić strefy charakteryzujące się odmiennym przebiegiem prędkości posuwu koła naczyniowego, obliczenia prędkości posuwu obliczone zostały o funkcje ciągłe, w których argumentem jest kąt obrotu nadwozia (Ψ). Zastosowane algorytmy obliczeniowe uwzględniają stabilizację objętości odcinanych wiórów, zapewniające stałe natężenie generowanego przez koparkę strumienia urobku funkcją stanu:

$$v_p(\Psi) = \frac{v_{p0}}{\cos \Psi}$$

W modelu obliczeniowym wyróżniono trzy warianty charakteru posuwu koła urabiającego, które determinowane są prędkością posuwu tj.:

- z prędkością stałą $v_p = \text{const}$ (C),
- z prędkością jednostajnie zmienną, z przyspieszeniem stałym dodatnim (R) lub ujemnym (H): $ap = \text{const}$,
- z prędkością zmienną, sterowaną programowo w funkcji kąta obrotu nadwozia (S) [16], [26].

Przyjęte założenia pozwoliły na określenie granicznych kątów stanów procesu posuwu wraz z odpowiadającymi im wymaganymi prędkościami posuwu dla poszczególnych stopni (tarasów) (rys. 8).

Dzięki takiemu podejściu możliwe było szczegółowe oszacowanie czasu potrzebnego do urobienia całego pasma,

jak również wyznaczenie czasu potrzebnego do urobienia w każdym ze stanów. Odpowiednie ich zgrupowanie w obliczeniach dla całego zabioru pozwala na określenie czasu produktywnego (czasu urabiania) oraz czasu nieproduktywnego (czas potrzebny na wykonanie ruchów manewrowych i czynności sterujących). Tym samym możliwe jest obliczenie rzeczywistego czasu potrzebnego do urobienia zabioru i uwzględnienie tej wartości w obliczeniu wydajności rzeczywistej pracy (rys. 7).

Wyznaczone parametry dla pojedynczego zabioru są podstawą określenia efektów produkcyjnych koparki, tj. wielkości wydobywania i postępu frontu roboczego w założonym okresie czasu kalendarzowego.

PODSUMOWANIE

Obserwowane obecnie tendencje w górnictwie odkrywkowym zmierzają do zdalnego sterowania maszyn tworzących ciąg technologiczny. Aktualne metody projektowania pracy maszyn nie wykorzystują możliwości wynikających ze stosowanych rozwiązań sprzętowych wyznaczenia pozycji koparek.

Opracowane w „Poltegor-Instytut” Instytucie Górnictwa Odkrywkowego programy pozwalają na przygotowanie kompleksowych technologii pracy koparki wielonaczyniowej pracującej na froncie ustabilizowanym.

Artykuł powstał w ramach realizacji projektu BEWEXMIN „Bucket wheel excavators operating under difficult mining conditions including unmineable inclusions and geological structures with excessive mining resistance” finansowanego ze środków Funduszu Badawczego Węgla i Stali (RFCR-CT-2015-00003) oraz środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Antoniak, J. (4/2010,). *W kierunku kopalni przyszłości*. Surowce i Maszyny Budowlane, ISSN 1734-7998, strony 35-40.
- [2] AUCOTEAM unterstützt Optimierung der Produktionsprozesse im RWE Power. (2008). AUCOTEAM TIMES, Kundenmagazin der AUCOTEAM Unternehmensgruppe
- [3] Benndorf J. [et al.], (2015): *RTRC-Coal: Real-Time Resource-Reconciliation and Optimization for exploitation of coal deposits*, Minerals, ISSN 2075-163X, , vol. 5, iss. 3, s.546–569, DOI:10.3390/min5030509
- [4] Cat Magazine: *SHAPING THE FUTURE BY REMOTE CONTROL, Working with empty cabs for safety's sake in Norway*. (2010). Pobrano 11 7, 2014 z lokalizacji http://www.teknoxgroup.com/fileadmin/user_upload/katalogi/en/CM_-_2010_2_ENG.pdf
- [5] *Cat® Command for Dozing, D10T and D11T*. (2012, 11). Pobrano 11 1, 2014 z lokalizacji <https://mining.cat.com/cda/files/4485404/7/Command%20for%20Dozing%20Specalog%20AEHQ6721.pdf>
- [6] Frankowski, R., Gądek, A. i Sośniak, E. (Rok 31 Zeszyt 2/2007). *Krótkookresowe planowanie robót górniczych z wykorzystaniem oprogramowania MineScape w BOT KWB „Belchatów” SA*. Górnictwo i geoinżynieria, ISSN 1732-6702, strony 229-240
- [7] Fries, J., Helebrant, F., Jurman, J., Klouda, P. i Moni, V. (2010). *Merenje kapaciteta rotornog bagera tipa K 2000*. W III. Medunarodni simpozijum energetiko rudarstvo ER 2010, ISBN 978-86-7352-215-9 (strony 441-446). Apatin
- [8] Gądek, A. i Sośniak, E. (Vol. 112, nr 44/2005). *Wspomaganie komputerowe planowania robót górniczych - Mincom IV*. Prace naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Konferencje, ISSN 0324-9670, strony 243-254
- [9] Geotronics Polska Sp. z o. o.: *Materiały promocyjne: IMS Zintegrowany system pomiarowy*. (2014)
- [10] Grad, P. S. (2010, 01). *Running with Robotics. Step by step, Rio Tinto's concept of highly autonomous mining is materializing in Western Australia's Pilbara iron ore district*. (WOMP. The Mining E-Journal Published in Association with Engineering and Mining Journal) Pobrano 12 03, 2014 z lokalizacji <http://www.womp-int.com/story/2010vol01/story026.htm>

- [11] Kielbasiewicz, W. (2014). *Asystent w kopalni. Górniczy system nawigacyjno-kontrolny na kopalnię lądową*. Surowce i maszyny budowlane, NR3, strony 42-46
- [12] Kielbasiewicz, W. (2014). *Eksploracja ze wspomaganie. Zalety systemu kontroli w czasie rzeczywistym*. Surowce i maszyny budowlane NR.3, strony 68-70
- [13] Klouda, P., Nová, K. A., Bašta, L., Moni, V. i Strakoš, K. (2008). *Wpływ kształtu i geometrii ostrza organów urabiających w interakcji z urabianą skałą*. W: Systemy Wspomagania w Zarządzaniu Środowiskiem, ISBN 83 – 919777-3-0. Zabrze
- [14] Kołkiewicz, W. (2006). *Metody identyfikacji i optymalizacji podstawowego procesu technologicznego odkrywkowej eksploatacji złóż z zastosowaniem numerycznych technik symulacyjnych*. Wrocław: Redakcja „Górnictwa Odkrywkowego”, ISBN 8391387585
- [15] Kołkiewicz, W. (2008). *Oceny potencjału wydobywczego modeli wielonaczyniowych koparek kołowych w udostępnianiu i eksploatacji złóż węgla brunatnego*. Wrocław: Redakcja „Górnictwa Odkrywkowego”, ISBN 9788360905449
- [15] Kołkiewicz, W. (2013). *Kompleksowe technologie pracy wielonaczyniowych koparek kołowych uzyskiwane z zastosowaniem identyfikacyjno-symulacyjnych technik informatycznych tworzących mechatroniczny system sterowania koparkami*. Wrocław: Redakcja „Górnictwa Odkrywkowego”, ISBN 978-83-60905-60-9
- [17] Kołkiewicz, W., Szatan, M., Witt, A. i Pomorski, A. (1996). *Modelowanie i optymalizacja odkrywkowych procesów wydobywczych układami technologicznymi o pracy ciągłej*. Wrocław: Redakcja „Górnictwa Odkrywkowego”, ISBN 83-905120-1-7
- [18] Kopertowski A., Majkusiak T. (2016). *Praktyczne zastosowanie systemów pozycjonujących wspomagających pracę maszyn podstawowych na przykładzie wdrożenia systemu IMS w KWB Belchatów*. W: Węgiel brunatny gwarantem bezpieczeństwa energetycznego. Monografia, ISBN 978-83-7783-124-3, Kraków
- [19] Kovacs, I., Nan, M. S., Jula, D. i Tomus, O. B. (2010). *New Buckets Mounted on Rotor Excavators, as a Result of Dislocation Tested Process*. W: Proceedings of the International Conference on Applied Computer Science, ISSN: 1792-4863, ISBN: 978-960-474-225-7 (strony 623-626). Malta
- [20] Larsson, J. (2011). *Unmanned Operation of Load-Haul-Dump Vehicles in Mining Environments*. Örebro: Örebro University, Repo 2011-11-21, ISSN 1650-8580, ISBN 978-91-7668-829-8
- [21] Marianowski, J. (2012, R.14, nr 2). *Automatyzacja funkcjonowania maszyn roboczych w skalnym górnictwie podziemnym i odkrywkowym*. Napędy i Sterowanie, ISSN 1507-7764, strony 120-124
- [22] Materiały reklamowe Trimble: *Systemy sterowania maszynami Trimble GCS900*. (2012). Trimble Navigation Limited
- [23] Nan, M. S., Kovacs, I., Andras, I. i Jula, D. (2008, September). *Research Regarding the Establishment of Force and Energetic*. WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics, ISSN: 1991-8747, Issue 9, Volume 3, 9(3), strony 835-847
- [24] Nowak, A., Łazarek, K. i Witt, A. (2009). *Model przemieszczania frontu wydobywania w odkrywce Szczerców z wyodrębnieniem pięt z koparkami oraz ciągów transportowo zwalujących – Etap I i II*. Wrocław: Praca niepubl. IGO Poltegor-Institut
- [25] Nowak-Szpak, A. (2013, 09). *Technologia wyznaczania parametrów pracy koparek kołowych w zmiennych warunkach geologicznych i geometrycznych zabierki*. (Poltegor-Institut Instytut Górnictwa Odkrywkowego) Pobrano 05 31, 2015 z lokalizacji <http://www.igo.wroc.pl>
- [26] Nowak-Szpak, A. i Wygoda, M. (2013). *Opracowanie programu komputerowego na bazie algorytmów obliczeniowych wytworzonych w ramach zadania 5*. Wrocław: Praca niepubl. IGO Poltegor-Institut
- [27] Nowak-Szpak, A., Onichimiuk, M. i Wygoda, M. (2014). *Modułowy system monitorowania i zarządzania pracą maszyn w kopalniach surowców skalnych*. Materiały IX Konferencji Naukowo-Technicznej ELGOR. Toruń
- [28] Nowak-Szpak, A., Strembski, A. i Bajcar, A. (2013). *Technologiczna charakterystyka obiektów w blokach danych symulacyjno-identyfikacyjnych programów sterowania pracą koparek kołowych*. Wrocław: Redakcja „Górnictwa Odkrywkowego”, ISBN 978-83-60905-41-8
- [29] Pomorski, A. (1996). *Optymalizacja modeli procesów urabiania nieustabilizowanego koparek kołowych występujących w eksploatacji wielopiętrowej*. Rozprawa doktorska. Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica; Wydział Górniczy
- [30] Produkty: *Systemy sterowania maszyn*. (brak daty). (TOPCON) Pobrano 12 09, 2014 z lokalizacji <http://www.tpi.com.pl/systemy-sterowania-maszyn>
- [31] Przedstawienie rozwiązań przeznaczonych do komercjalizacji zrealizowanych w ramach projektu unijnego: *Technologia urabiania zabierek dla opracowywania strategii rozwoju frontów wydobywczych na przykładzie Pola Szczerców*. (2013). (Poltegor-Institut Instytut Górnictwa Odkrywkowego) Pobrano 10 10, 2014 z lokalizacji http://www.igo.wroc.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=287:technologia-urabiania-zabierek&catid=167&Itemid=114&lang=pl
- [32] Przedstawienie rozwiązań przeznaczonych do komercjalizacji zrealizowanych w ramach projektu unijnego: *Technologia wyznaczania parametrów pracy koparek kołowych w zmiennych warunkach geologicznych i geometrycznych zabierki*. (2013). (Poltegor-Institut Instytut Górnictwa Odkrywkowego) Pobrano 10 10, 2014 z lokalizacji http://www.igo.wroc.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=288&Itemid=310&lang=pl
- [33] Sośniak, E., Frankowski, R. i Gądek, A. (nr 5-6/2007, rocznik XLIX, ISSN 0043-2075). *Zastosowanie oprogramowania Mincom-MineScape do planowania robót górniczych w oparciu o numeryczne modele złoża Belchatów*. Górnictwo Odkrywkowe, strony 191-201

- [34] Stoll, R., Niemann-Delius, C., Drebenstedt, C., Müllensiefen, K. i (Hrsg.). (2009). *Der Braunkohlentagebau. Bedeutung, Planung, Betrieb, Technik, Umwelt*. Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg
- [35] Strempsi, A. i Nowak, A. (2012). *Badania mechatroniczne wielowymiarowej optymalizacji procesu urabiania koparkami*. Wrocław: Praca niepubl. IGO Poltegor-Instytut
- [36] Strempsi, A. i Nowak-Szpak, A. (2011). *Identyfikacja wzajemnych zależności i uwarunkowań między współpracującymi w ciągu wydobywczym zespołami*. Wrocław: Praca niepubl. IGO Poltegor-Instytut
- [37] Szatan, M. (1996). *Identyfikacja i optymalizacja procesów pracy ustabilizowanej koparek kołowych*. Rozprawa doktorska. Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica; Wydział Górniczy
- [38] Topcon. (2014). *Topcon SiteMaster - oprogramowanie do modelowania cyfrowego placu budowy*
- [39] Trimtech. (2013). *Systemy Trimble na budowie autostrady A4*. Forum Budowlane nr 10 (209)
- [40] Witt, A. (1996). *Identyfikacja i optymalizacja procesów pracy nieustabilizowanej koparek kołowych w końcówkach poziomów roboczych*. Rozprawa doktorska. Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica; Wydział Górniczy
- [41] Wygoda, M., Nowak-Szpak, A., Szepietowski, S. W., Bednarczyk, Z. i Cioch, W. (nr 1/2014r. rocznik LV. ISSN 0043-2075). *Mechatroniczne zabezpieczenia i sterowanie maszyn w rezultatach realizacji projektu rozwojowego „Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego”*. *Górnictwo Odkrywkowe*, strony 67-77



Tajemnica światła

Fot. Renata S-K