

# Wykorzystanie systemu monitoringu maszyn w kopalniach odkrywkowych do rejestracji zużycia paliwa

Mateusz Szymiec, Wiktor Kubiński, Andrzej Kotarba

## Wprowadzenie


Rozwój myśli technicznej oraz obserwowane w ostatnich latach zwiększenie znaczenia cyfryzacji sprawiły, że działania związane z przetwarzaniem i analizą danych znajdują coraz większe uznanie wśród inżynierów. Gromadzenie danych, ich przetwarzanie i obróbka znajdują swoje odzwierciedlenie również w górnictwie. Powszechna dostępność technologii informacyjnych i nadzór elektroniczny nad procesem produkcji zyskały na znaczeniu również dla odkrywkowych zakładów górniczych. Wzrost konkurencji oraz wahania popytu na surowce mineralne, kruszywa, a także surowce energetyczne sprawiają, iż inżynierowie i pracownicy dozoru technicznego poszukują rozwiązań pozwalających na obniżenie kosztów wydobycia i eksploatacji wtórnej przeróbki surowca. Umiejętne posługiwanie się danymi o procesie produkcji pozwala nie tylko zidentyfikować jego słabe strony, ale także wspomóc jego planowanie, a w razie konieczności odpowiednio szybko zastosować właściwe środki zaradcze. W niniejszym artykule autorzy zwrócili uwagę na zastosowanie systemu GPS w monitoringu i kontroli pracy maszyn górniczych pracujących w kopalniach, ze szczególnym zastosowaniem do racjonalizacji zużycia paliwa.

## 1. Zastosowanie systemów GPS do monitorowania zużycia paliwa przez maszyny górnicze w kopalniach odkrywkowych

Technologia GPS i komunikacja satelitarna zdają się nie mieć ograniczeń. Systemy GPS w przemyśle pracują od dawna. Szerokie zastosowanie satelitarnego przesyłu danych, począwszy od geodezji i kartografii poprzez transport, a skończywszy na zastosowaniach w rolnictwie, sprawia, że inżynierowie otrzymują dane o analizowanym i śledzonym procesie w czasie rzeczywistym z dowolnego miejsca na świecie. Urządzenia pomiarowe dostarczają coraz większej ilości danych procesowych, które po odpowiedniej analizie pozwalają na uzyskanie cennych informacji o procesie, w tym także jego słabych stronach, takich jak: nieuzasadnione zużycia paliwa, wydłużony czas przestoju maszyn, niska efektywność pracy operatorów, zagrożenia standardów BHP. Wdrożenie systemu nadzoru i kontroli nad parkiem maszynowym w kopalniach odkrywkowych pozwala na:

- kontrolę zużycia paliwa przez pracujące maszyny;
- ocenę charakterystyki pracy operatorów maszyn;
- lokalizację sprzętu;
- określenie pola pracy maszyny;

**Streszczenie:** W prezentowanym artykule przedstawiono nowoczesne podejście do sposobu monitorowania zużycia paliwa i nadzoru nad parkiem maszynowym w odkrywkowych zakładach górniczych. Zaprezentowano kluczowe wskaźniki wydajnościowe odzwierciedlające wymierne korzyści finansowe otrzymane dzięki rejestracji parametrów pracy maszyn z zainstalowanym systemem komunikacji satelitarnej.

 **Abstract:** This article shows modern approach to the way of fuel consumption and control over machines fleet in open mine pits. Key efficiency indicators, which reflect the relative financial benefits obtained due to recording of the machines working parameters with the installed satellite communication system, have been presented.

- eliminację zdarzeń niepożądanych związanych z pracą każdej maszyny;
- monitorowanie stanu technicznego oraz właściwe utrzymanie i serwis maszyn.

System GPS stosowany w maszynach górniczych musi posiadać określoną specyfikę, gdyż maszyny z uwagi na swoje przeznaczenie pracują w ściśle zdefiniowanym obszarze, a zarządzanie nimi obejmuje nadzór nad odpowiednią efektywnością ich pracy. Faktem jest, że określenie pola działania maszyn wywiera istotny wpływ na przebieg kontroli nad prawidłowością oraz zakresem wykonywanej pracy. W zarządzaniu pracą kopalni istotny jest przede wszystkim sposób pracy monitorowanej maszyny, tzn. ilość obrotów silnika, obciążenie i zużycie paliwa, a nie tylko, jak ma to miejsce w przypadku transportu, sama lokalizacja jednostki. Należy zaznaczyć, iż w przypadku odkrywkowych zakładów górniczych paliwo stanowi jedną z najbardziej kosztownych pozycji obok podatków, wynagrodzeń i amortyzacji sprzętu. W zależności od typu i charakterystyki wydobywanego materiału i jego przeróbki koszt paliwa może sięgać nawet do 35% wszystkich kosztów zakładu górniczego. Wprowadzenie nawet niewielkich oszczędności w tym zakresie w znaczący sposób przekłada się na wynik finansowy jednostki.

Stosowane systemy monitoringu paliwa pozwalają zweryfikować, czy całe paliwo trafia do zbiornika danej maszyny, czy

**Tabela 1.** Redukcja wolnych obrotów dla koparki i ładowarki

	Typ maszyny	Czas pracy, [gg:mm]	Czas pracy w trybie obciążonym, [gg:mm]	Czas pracy w trybie biegu jałowego [gg:mm]	Zużyte paliwo na biegu jałowym, [dm <sup>3</sup> ]	Całkowite zużycie paliwa, [dm <sup>3</sup> /miesiąc]	Udział wolnych obrotów, [%]
Przed instalacją systemu nadzoru	Koparka	128:15	112:35	15:40	32,51	1709,18	12
	Ładowarka	95:34	73:12	22:22	55,14	1527,30	23
Po instalacji systemu nadzoru	Koparka	116:12	111:40	4:32	9,40	1672,42	4
	Ładowarka	86:14	73:15	12:59	32,01	1125,30	15

Źródło: opracowanie własne

**Tabela 2.** Kluczowe wskaźniki efektywności dla koparki Hitachi 350 LC po zainstalowaniu systemu monitoringu maszyny

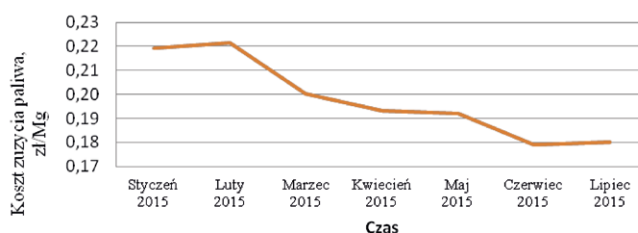
Wskaźnik/KPI	I 2015	II 2015	III 2015	IV 2015	V 2015	VI 2015	VII 2015
Liczba mth/miesiąc	280	278	275	272	269	265	260
Wydobycie kruszywa, Mg	112000	112590	123750	128384	130465	139125	136500
Zużycie ON, dm <sup>3</sup> /miesiąc	5485	5562	5530	5532	5587	5559	5491
Wydobycie, Mg/mth	400	405	450	472	485	525	525
Zużycie ON, dm <sup>3</sup> /mth	19,59	20,01	20,11	20,34	20,77	20,98	21,12
Koszt paliwa, zł/Mg	0,22	0,22	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18

Źródło: Opracowanie własne

nie dochodzi do marnotrawstwa lub jego kradzieży. Jako że moment tankowania należy do najbardziej newralgicznych operacji z punktu widzenia nadużyć, oprócz systemów nadzoru elektronicznego również nadzór przez służby dozoru kopalni jest elementem koniecznym. Istotny z punktu widzenia redukcji kosztów jest nadzór pozwalający na likwidację zbędnych przestoju maszyny (redukcja wolnych obrotów silnika). Przykład redukcji wolnych obrotów po instalacji systemu nadzoru został przedstawiony w tabeli 1.

Dane zawarte w tabeli 1 przedstawiają charakterystyki maszyn pracujących w ciągu technologicznym przy uwzględnieniu powtarzalności procesu wydobywania kruszywa. Jak wynika z tabeli 1, poprzez zastosowanie systemu monitoringu nastąpiło zmniejszenie nieefektywnej pracy operatorów zarówno dla koparki, jak i ładowarki. Różnica w procentowym udziale wolnych obrotów silnika w sumarycznym czasie jego pracy przed i po instalacji systemu monitoringu wynosiła odpowiednio 8% dla koparki oraz 8% dla ładowarki. Z uwagi na fakt, iż zastosowanie systemu monitoringu maszyn górniczych można traktować jako inwestycję usprawniającą, istotne staje się określenie wskaźników ekonomicznych, takich jak: stopa zwrotu inwestycji ROI czy metoda oceny efektywności inwestycji z wykorzystaniem wskaźnika NPV (*Net Present Value*) [1].

Kluczowym czynnikiem pozwalającym na określenie dynamiki zmian w procesie produkcyjnym, jako wydajności, jest zastosowanie kluczowych wskaźników efektywności KPI (*Key Performance Indicators*). W przypadku procesu wydobywania w kopalniach wskaźnikami takimi mogą być: wydobycie, zużycie paliwa oraz wskaźniki pośrednie przedstawiające koszty paliwa. Dynamikę zmian wskaźników wydobywania, zużycia, kosztów paliwa przedstawiono w tabeli 2.



**Rys. 1.** Redukcja kosztów zużycia paliwa w procesie wydobywania i załadunku

Dane zawarte w tabeli 2 uzyskano w siedmiomiesięcznym okresie czasu wydobywania, monitorując zmieniającą się wydajność produkcji. Należy zaznaczyć, iż charakterystyka pracy maszyny obejmowała wydobycie piasku wraz z jego załadunkiem na samochody ciężarowe. Dynamikę zmian kosztów przedstawionych w tabeli 2 pokazano na rysunku 1.

Pozornie błędnie może wydawać się, iż nastąpił wzrost zużycia oleju napędowego na motogodzinę pracy maszyny. Wzrost ten spowodowany jest skróceniem pracy maszyny na biegu jałowym podczas oczekiwania przez operatora maszyny na załadunek surowca na samochody ciężarowe. Z ekonomicznego punktu widzenia istotny jest wskaźnik prezentujący koszt zużycia paliwa na każdą wydobytą i załadowaną tonę surowca. Zapewnienie ciągłości produkcji oraz niezawodności maszyn i urządzeń ma ogromne znaczenie nie tylko dla przemysłu górniczego. W zależności od wielkości parku maszynowego i rozlokowania poszczególnych maszyn istotne miejsce odgrywa

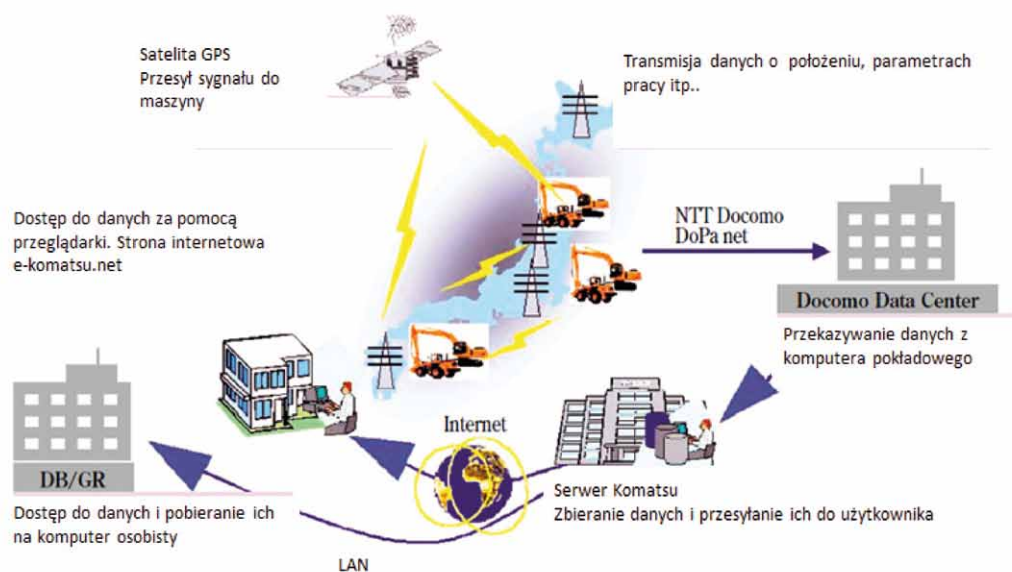
Tabela 3. Wskazania zużycia paliwa przy wykorzystaniu systemu GPS

Typ maszyny	Zużyte paliwo na biegu jałowym, [dm <sup>3</sup> ]	Całkowite zużycie paliwa, [dm <sup>3</sup> /miesiąc]	Jednostkowe zużycie paliwa, [dm <sup>3</sup> /godz.]	Tankowanie, [dm <sup>3</sup> /miesiąc]	Paliwo stan początkowy [dm <sup>3</sup> ]	Paliwo stan końcowy, [dm <sup>3</sup> ]
<b>Przesiewacze</b>						
I.	18,00	1618,61	13,56	1689,34	145,23	215,96
II.	19,35	2448,09	11,11	2534,34	95,35	181,60
<b>Spychacze</b>						
III.	4,54	620,65	13,08	611,90	256,89	248,14
IV.	15,30	1876,03	22,11	1756,67	320,11	200,75
<b>Koparki</b>						
V.	13,01	1448,87	24,76	1418,11	167,98	137,22
VI.	94,95	3555,05	14,55	3461,73	234,23	140,91
VII.	108,78	5516,75	21,11	5229,79	376,11	89,15

zaopatrzenie i dostawa paliwa dla pracującego sprzętu. W chwili obecnej coraz więcej kopalń rezygnuje z utrzymywania własnych służb zaopatrzenia w paliwo na rzecz usług zewnętrznych. Zaplanowanie dostaw właściwych ilości paliwa na czas ma ściśle uzasadnienie nie tylko z punktu widzenia operacyjnego, ale również ekonomicznego. Wielokrotnie zdarza się, że zainstalowane w maszynach wskaźniki poziomu paliwa wskazują wy-

niki z dużym błędem, co z kolei prowadzi do niewłaściwej gospodarki paliwowej przedsiębiorstwa. Systemy nadzoru pracy maszyn oparte o technologie GPS pozwalają w czasie rzeczywistym na określenie ilości pozostałego w zbiorniku paliwa. Przykład wskazań zużycia paliwa przy wykorzystaniu systemu GPS dla parku maszynowego kopalni odkrywkowej przedstawiono w tabeli 3.

reklama



Rys. 2. Konfiguracja systemu KOMTRAX z wykorzystaniem fal naziemnych [4]

Dzięki rozbudowanym funkcjom oprogramowania istnieje możliwość generowania raportów za dowolny okres czasu, co jest istotną korzyścią z punktu widzenia wewnętrznej analizy kosztowej produkcji, jak i rozliczenia z dostawcami zewnętrznymi.

## 2. Zastosowanie systemów GPS do monitorowania stanu technicznego maszyn górniczych

Każdorazowe wyłączenie maszyny z ruchu generuje dla właściciela koszty związane z przestojami produkcji, koniecznością zapłaty kar umownych oraz możliwość utraty klientów na rzecz konkurencji. Fakt ten powoduje, iż producenci sprzętu górniczego już na etapie projektu stawiają wymagania, aby zminimalizować ryzyko awarii i przestoju. W celu wyeliminowania potencjalnych awarii konieczna jest identyfikacja jakichkolwiek problemów technicznych oraz otrzymanie przez służby serwisowe informacji o niewłaściwych odczytach parametrów bez żadnych opóźnień. Jednym z bardzo korzystnych rozwiązań technologicznych jest bezprzewodowy system monitorujący, stworzony przez koncern Komatsu, o nazwie Komtrax (*Komatsu Tracking System*). System pozwala na dostarczanie szczegółowych informacji o poszczególnych maszynach i całej flocie, umożliwiając redukcję kosztów i maksymalizację wydajności pracy [2]. Działanie systemu opiera się na wykorzystaniu modemu i anteny, które gromadzą dane oraz przesyłają je do satelity OrbcComm [3]. Konfigurację systemu Komtrax przedstawia rysunek 2. System regularnie pobiera dane za pomocą łącza satelitarne lub sieci komórkowej.

Przesyłanie danych w trybie ciągłym do bazy firmy Komatsu pozwala użytkownikowi przy pomocy przeglądarki internetowej śledzić profil i charakterystykę pracy danej maszyny. Aplikacja Komatsu Tracking System pozwala na monitorowanie około 20 współzależnych parametrów pracy maszyny, dostarczając kluczowych informacji o lokalizacji, całkowitym czasie pracy silnika, liczbie motogodzin i czasie pracy maszyny na biegu jałowym. Istotne z punktu bezpieczeństwa i kontroli jest

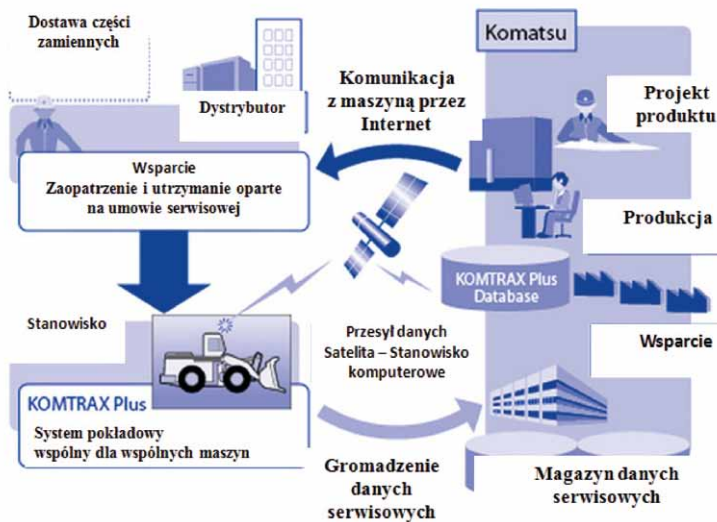
zastosowanie ograniczenia pola pracy maszyny lub włączenie blokady silnika we wskazanym okresie czasu. Z uwagi na zarejestrowane przez czujniki pomiarowe błędy parametrów pracy, służby serwisowe producenta mogą ze znacznym wyprzedzeniem określić prawdopodobieństwo wystąpienia awarii i podjąć odpowiednie kroki zaradcze. Zdarzenia związane z całkowitym wyłączeniem maszyny należą do zdarzeń rzadkich, co przekłada się na wysoką dostępność maszyny i obniżenie kosztów eksploatacji. Z uwagi na fakt, iż koszty napraw po wystąpieniu awarii są o 1,5–2,0 razy większe od kosztów przeglądów poprzedzających jej wystąpienie, Komatsu wprowadziło dodatkowo nowatorski system Komtrax Plus (VHMS – *Vehicle Health Monitoring System*) umożliwiający ciągłe zbieranie i analizowanie danych dotyczących parametrów pracy, stanu technicznego maszyny oraz zagrożeń związanych z awarią sprzętu [5]. Głównym zadaniem systemu Komatsu VHMS jest redukcja kosztów utrzymania bieżącego. Zainstalowanie systemu VHMS pozwala użytkownikowi na osiągnięcie następujących korzyści [6]:

- uniknięcia awarii dzięki analizowaniu parametrów pracy maszyny oraz ich kształtowania się w czasie eksploatacji;
- minimalizację czasu przestoju maszyny poprzez możliwość zaplanowania prac serwisowych;
- określenie typu awarii oraz redukcję czasu potrzebnego na jej usunięcie;
- wydłużenie cyklu czasu eksploatacji maszyny poprzez prawidłowe jej utrzymanie i konserwację.

Zasadę działania systemu zarządzania Komtrax Plus przedstawiono na rysunku 3.

Dane z maszyny przesyłane są za pośrednictwem satelity do serwera, a następnie przez sieć Internet do lokalnych serwerów oraz użytkowników końcowych. System rejestruje dane z kluczowych czujników maszyny. Przewidując czas przeglądu, istnieje możliwość zamówienia części serwisowych bez zbędnego wyprzedzenia. Zastosowanie systemu VHMS w maszynach Komatsu skutkuje wydłużeniem czasu pomiędzy naprawami głównymi z 12 000 motogodzin do 20 000 motogodzin [5].





Rys. 3. Zasada działania systemu zarządzania Komatsu: KOMTRAX Plus & KOMTRAX Plus [7]

### Podsumowanie

W obliczu zmieniających się modeli biznesowych systemy zarządzania produkcją ulegają ciągłej optymalizacji. Wkraczające cyfryzacja i automatyzacja nie omijają również górnictwa. Projektowane w ostatnich latach nowoczesne kopalnie w sukcesywny sposób wykorzystują systemy nadzoru GPS oraz łączność satelitarną w procesie wydobywania. Zdecydowanymi pionierami rozwiązań nadzoru nad sprzętem górniczym są światowi liderzy w produkcji maszyn górniczych, tacy jak: Caterpillar, Komatsu, Hitachi i Volvo. Kluczowym czynnikiem przemawiającym nad zastosowaniem systemów GPS, oprócz przedstawionych w artykule zastosowań, są również względy bezpieczeństwa pracy operatorów sprzętu i maszyn górniczych. Zastosowanie nowoczesnych technologii przesyłu i analizy danych wpływa na zwiększenie efektywności produkcji oraz pozyskiwanie surowców w optymalny sposób, zgodnie z zasadami szeroko rozumianej sztuki górniczej.

### Literatura

[1] KUBIŃSKI W., SZYMIEC M.: *Racjonalizacja procesów produkcyjnych i systemów technicznych poprawiająca działania odkrywkowego zakładu górniczego*. [W:] *Zarządzanie przedsiębiorstwem* [Dokument elektroniczny]: teoria i praktyka 2014.

[2] Komatsu Wireless Monitoring System. [\[ad/browser/Dokumenty/Komtrax.pdf\]\(http://ad/browser/Dokumenty/Komtrax.pdf\), Wrzesień 2015.

\[3\] Monitorowanie i trucking maszyn budowlanych – nowość Komtrax Komatsu, <http://blog.machineryzone.pl/2012/07/monitorowanie-i-trucking-maszyn-budowlanych-nowosc-komtrax-komatsu/>, Październik 2015.

\[4\] ARAKAWA S.: \*Development and Deployment of KOMTRAX STEP 2\*, \[www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/report/pdf/150-03\\\_E.pdf\]\(http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/report/pdf/150-03\_E.pdf\), Wrzesień 2015.

\[5\] MURAKAMI T. I IN.: \*Development of Vehicle Health Monitoring System \(VHMS/WebCARE\) for Large-Sized Construction Machine\*, \[http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/report/pdf/150-04\\\_E.pdf\]\(http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/report/pdf/150-04\_E.pdf\), Wrzesień 2015.

\[6\] Komatsu – Diagnostyka Maszyn. \[http://www.komatsupoland.pl/serwis-maece-nas\\\_nec\\\_libero\\\_dui.html\]\(http://www.komatsupoland.pl/serwis-maece-nas\_nec\_libero\_dui.html\), Wrzesień 2015.

\[7\] Komatsu Service and Solutions \[http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/product\\\_supports/\]\(http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/product\_supports/\), Październik 2015.](http://www.komatsupoland.pl/uplo-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

✉ Mateusz Szymiec – IMS Controls, e-mail: [matszyniec@gmail.com](mailto:matszyniec@gmail.com)

Wiktor Kubiński – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Zarządzania, e-mail: [wkubinsk@zarz.agh.edu.pl](mailto:wkubinsk@zarz.agh.edu.pl)

Andrzej Kotarba – Gegenbauer Polska, e-mail: [akotarba@gegenbauerpolska.pl](mailto:akotarba@gegenbauerpolska.pl)