

Układy sterowania i napędowe kombajnów chodnikowych produkowanych przez WAMAG SA

Maciej Korczyński, Joachim Złotos

Efektom analizy pracy i konstrukcji znanych maszyn chodnikowych są kombajny chodnikowe typu KTW, zaprojektowane i skonstruowane od podstaw w katowickim Biurze Projektów i Wdrożeń Wamag, z założeniem zminimalizowania lub eliminacji zagrożeń dla zdrowia załogi występujących podczas eksploatacji tego typu maszyn oraz ich powszechnych mankamentów eksploatacyjnych.

Podstawowym zagadnieniem była koncepcja kinematyki układu urabiania i odstawy urobku gwarantująca skrawanie skał na możliwie dużej wysokości, przy największej do uzyskania szerokości urabiania z jednego ustawienia kombajnu oraz transport urobionych skał o wielkości kęsów co najmniej $0,6 \times 0,6 \times 0,6$ m, bez konieczności ich kruszenia przed załadunkiem na przenośnik wewnętrzny. Dodatkowym warunkiem optymalizacji było zachowanie najmniejszej z możliwych wysokości kombajnu.


W efekcie powstała oryginalna konstrukcja kombajnu chodnikowego, dla którego zaprojektowano:

- samonośną obrotnicę rozbierną bez konieczności demontowania jej z ramy kombajnu. Prześwit pod obrotnicą kombajnów KTW135 ma przekrój 500 mm szerokości i 700 mm wysokości, a w przypadku KTW200 ma przekrój 600 mm szerokości i 800 mm wysokości;
- stół ładujący o bardzo małym kącie natarcia z oryginalnymi bocznymi usztywnieniami odciążającymi łożyskowanie stołu ładującego w ramie kombajnu przy niesymetrycznym podparciu maszyny na nieodkształcalnym spągu;
- wewnętrzny przenośnik zgrzeblowy mający dwie prędkości ciągną;
- gąsienicowy układ jezdny wyposażony w napęd o zmiennej prędkości każdej gąsienicy, umożliwiającą wykonanie skrętu o dowolnym promieniu, niezależnie od obciążenia gąsienic. Całość powiązano kształtowo ze sztywną, monolityczną ramą.

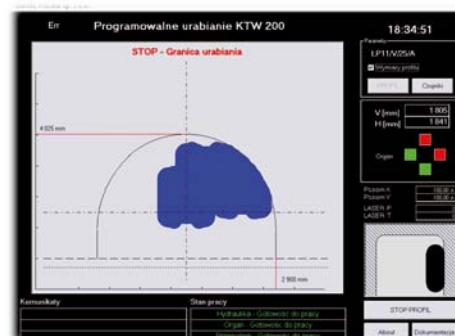
Kolejnym wyzwaniem okazał się system sterowania maszyną. Z założenia umożliwia bezprzewodowe sterowanie kombajnem podczas urabiania, a wszystkie funkcje związane z zabudową wyrobiska obsługiwane są wyłącznie z kabiny operatora. Z kabiny operatora można również sterować urabianiem, jednak wówczas sterowanie zdalne jest wyłączone.

Dodatkowym atutem systemu sterowania jest zapobieganie kolizji ruchomych elementów kombajnu ze sobą, pozwala on jednocześnie na pełną kontrolę przekroju wykonywanego wyrobiska, co eliminuje możliwość wykonania błędnego kształtu wyrobiska. Jedyną alternatywą jest w tym wypadku układ elektrohydrauliczny, który w przypadku kombajnów KTW wy-

Streszczenie: Opisano koncepcję budowy kombajnów chodnikowych spełniających wymogi najnowszych przepisów. Przedstawiono system sterowania, budowę oryginalnie zaprojektowanych podzespołów układów przeniesienia mocy, zasygnalizowano spostrzeżenia wynikające z eksploatacji zaprojektowanych kombajnów typu KTW.

 **Abstract:** New conception of road header designed in accordance with new European Standards is presented. Authors show function of control system, original designed systems for power transmission and results of using road headers named KTW.

Monitor z obrazem podczas programowego urabiania w kabine kombajnisty



konano jako proporcjonalny dla sterowania wysięgnikiem oraz jazdą i dwupołożeniowy dla pozostałych funkcji.

Powyższe zagadnienia rozwiązano poprzez sposób pomiaru położenia wysięgnika i stołu ładującego względem ramy, stosując bezpośredni i ciągły pomiar położenia tych elementów. Dzięki temu możliwe jest automatyczne sterowanie zatrzymaniem ruchów wysięgnika i stołu ładującego w kierunku niebezpiecznym dla maszyny (funkcja antykolizji). Dodatkowo maszynę wyposażono w inklinometr elektroniczny dokonujący ciągłego pomiaru odchylenia kombajnu od poziomu odnoszonego do pola magnetycznego Ziemi oraz w zespół dalmierzów mierzących położenie osi wzdłużnej kombajnu względem osi wyrobiska. Sygnały generowane w inklinometrze i dalmierzach, powiązane z sygnałami położenia wysięgnika, umożliwiają ciągłą kontrolę położenia organów urabiających względem osi wyrobiska i spągu, a zatem przekroju wykonywanego wyrobiska, zaś porównane z zaprogramowanym profilem wyłomu umożliwiają automatyczne sterowanie procesem urabiania. W pamięci komputera pokładowego kombajnów KTW zapisano profile typowych wyrobisk chodnikowych oraz stworzono możliwość dodania dowolnego innego kształtu wyrobiska.



Monitor i pulpit sterowania w kabinie kombajnisty



Nadajnik radiowy zdalnego sterowania funkcjami urabiania

W kabinie operatora umieszczono ciekłokrystaliczny monitor, na którym wyświetlany jest wybrany profil wyrobiska, bieżące położenie organów urabiających względem tego profilu i ślad już urobionej calizny. Zbliżenie się organów urabiających do granicy zadanego przekroju na odległość niebezpieczną powoduje zatrzymanie ruchu wysięgnika w kierunku mogącym spowodować wykonanie błędnego przekroju, co pozwala na precyzyjne i bezpieczne urabianie. Korzyści płynące z tego systemu to minimalizacja pustek w wyrobiskach górniczych, torkretowanie o niemal stałej grubości przy drążeniu tuneli, ale przede wszystkim zdalne sterowanie procesem urabiania.

Stwarza to praktycznie potwierdzoną możliwość wyeliminowania pomocników kombajnisty narażonych na największe niebezpieczeństwo podczas docinania ociosów. Drugim aspektem jest usytuowanie kombajnisty z nadajnikiem zdalnego sterowania za stołem ładującym lub na obrotnicy tak, aby sam kontrolował wzrokiem pracę organów urabiających.

W przypadku zagrożenia wyrzutami skał i gazów kombajnistę można wycofać o kilkadziesiąt metrów w strefę bezpieczną, a wskazania monitora w kabinie kombajnu przenieść na inny monitor usytuowany w strefie bezpiecznej. Dodatkowo obraz przodka chodnikowego przekazywany jest kamerami do strefy bezpiecznej. Takie stanowisko do zdalnego sterowania urabianiem z odległości 50 m od kombajnu jest opcjonalnym i certyfikowanym wyposażeniem kombajnu, pozostałe funkcje opisane powyżej są wyposażeniem standardowym.

W kabinie kombajnisty po obu stronach fotela usytuowano dźwignie ręcznego sterowania proporcjonalnego wysięgnikiem i jazdą oraz pulpit z pokrętkami sterującymi pozostałymi funk-

cjami kombajnu. Nadajnik zdalnego sterowania, zawieszany na pasie kombajnisty, jest zminiaturyzowanym odzwierciedleniem kabiny; posiada po bokach obsługiwane kciukami dźwignie sterowania proporcjonalnego wysięgnikiem i jazdą oraz przełączniki sterujące wszystkimi funkcjami związanymi z urabianiem.

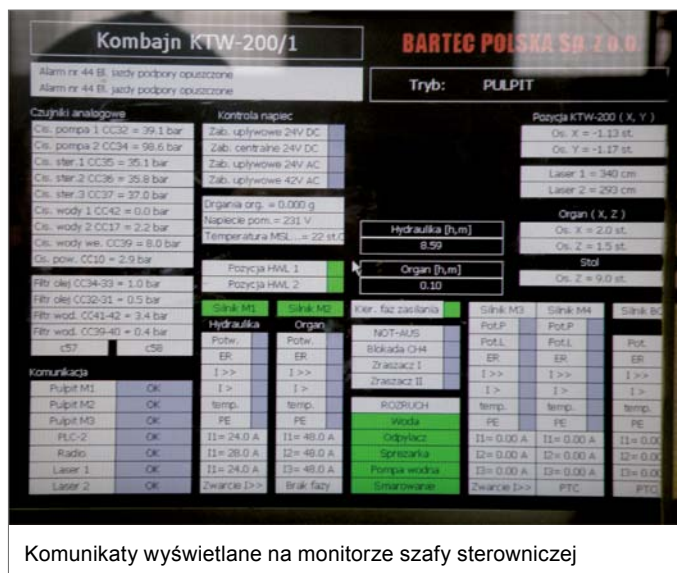
Tak zaprojektowany system sterowania wyposażono w szereg czujników gwarantujących pracę maszyny w zakresie ustalonych parametrów przepływów, ciśnień i temperatur olejów i wody, temperatur oraz drgań przekładni, pomp i silników, stanu filtrów oraz właściwego położenia elementów ruchomych układów stabilizacji i zabudowy chodnika. Wskazania wszystkich czujników, z czasem próbkowania od kilku do kilkudziesięciu sekund, są zapisywane i zapamiętywane przez 30 dni. Stany odmienne od nominalnych dla funkcji decydujących o bezpieczeństwie powodują natychmiastowe wyłączenie maszyny, funkcje kontrolne informują załogę o osiągnięciu stanów mogących spowodować awarię. Każdy stan, zarówno awaryjny, jak i ostrzegawczy, sygnalizowany jest na bocznym monitorze skrzyni aparaturowej kombajnu oraz na wyświetlaczu w kabinie kombajnisty. Jednocześnie określana jest awaria i miejsce jej wystąpienia, co ułatwia usuwanie usterek bez straty czasu na ich diagnozowanie. Bieżący obraz stanu pracy maszyny w czasie rzeczywistym możliwy jest do transmisji do dowolnego komputera, również na powierzchnię z podziemi kopalni.

Maszynę górniczą powinna cechować prosta budowa i odporność na niewłaściwą obsługę. Te zasady doprowadziły do skonstruowania kilku oryginalnych urządzeń i podzespołów kombajnu.

Powszechnie znana jest niska trwałość i duża komplikacja budowy przekładni nagarniaków stołu ładującego, występujących jako przekładnie stożkowe w wykonaniu prawo- i lewostronnym, wymagające w efekcie od użytkownika posiadania zapasu dwóch różnych przekładni na czas eksploatacji. Do kombajnów KTW zaprojektowano oryginalną walcową przekładnię nagarniaków, identyczną zarówno do lewego, jak i prawego nagarniaka. Wymaga to więc posiadania w zapasie tylko jednej przekładni podczas eksploatacji oraz eliminuje wszystkie niedogodności związane z regulacją przekładni stożkowej, podnosząc niezawodność układu nagarniaków i obniżając koszty produkcji. Kombajny KTW wyposażono w gwiazdy ładujące podnoszące wydajność ładowania i zapewniające równomierne obciążenia dynamiczne przekładni podczas pracy. Niezależny napęd gwiazd ładujących pozwala na kontrolowany proces załadunku urobku, jak i jego przemieszczanie po stole głowicy ładującej.

Odstawa urobionej skały związana jest ściśle z wydajnością jej urabiania, zaś zużycie elementów układu transportu urobku zależy od jej własności tribologicznych. Mając na uwadze fakt, że zazwyczaj trudno urabialne skały są jednocześnie silnie abrazyjne, przenośnik wewnętrzny kombajnu wyposażono w dwie prędkości ruchu ciągną, realizowane dwubiegowymi przekładniami lub silnikami dwubiegowymi zespolonymi z przekładniami o stałym przełożeniu. Rozwiązanie to pozwala na wzrost trwałości rynnociągu i ciągną układu transportu urobku, jak również obniżenie hałasu generowanego przez przenośnik.

W układzie jazdy niewłaściwe napięcie wstępne łańcuchów gąsienic powoduje permanentne awarie i przedwczesne zużycie całego układu jazdy. Problem ten wyeliminowano, stosując specjalny system zapewniający uzyskanie zawsze takiego samego napięcia wstępnego łańcucha gąsienicy, bez względu na ciśnienie i ilość smaru użytego do napinania wstępnego łańcuchów gąsienic.



Komunikaty wyświetlane na monitorze szafy sterowniczej

Konieczność urabiania skał o wysokiej zwięzłości i ścieralności wymaga od układu napędowego głowicy urabiającej pracy z różnymi prędkościami skrawania, z zachowaniem możliwie dużej siły na nożu skrawającym. Racjonalnym rozwiązaniem wydaje się zatem zastosowanie przekładni dwubiegowej napędzającej głowicy urabiającej. Dla kombajnów KTW zaprojektowano dwubiegowe przekładnie dla układu napędowego głowicy urabiających.

Towarzyszące procesowi urabiania drgania skrętne są powodem przedwczesnego zużycia elementów układu przeniesienia mocy. Każda tego typu awaria jest związana z dużą prącochłonnością i często z koniecznością rozłączenia przekładni napędowej od silnika. Problem tłumienia drgań skrętnych nie został dostatecznie rozwiązany w żadnym znanym kombajnie chodnikowym, natomiast jedną z prób poprawienia żywotności i łatwości obsługi układu napędowego głowicy urabiających jest system z tylnym sprzęgłem elastycznym i wałem skrętnym silnika, zastosowany w kombajnach KTW.

W efekcie jego zastosowania para kół stożkowych przekładni jest oddzielona od silnika napędowego i pozostałych stopni przekładni elementami o dużej podatności skrętnej. Wał skrętny silnika dostępny jest po otwarciu komory sprzęgła elastycznego silnika. Wymiana sprzęgieł czy też wału skrętnego silnika nie wymaga demontażu przekładni ani silnika napędowego.

Ważnym elementem wpływającym na żywotność elementów układu urabiania oraz zużycie noży jest wysięgnik i prędkość jego przemieszczania. W kombajnach KTW jest to wysięgnik o liniowo zmiennej sztywności, zapewniający równomierny rozkład sił urabiania na ustrój nośny kombajnu.

Pomimo proporcjonalnego sterowania prędkością przemieszczania wysięgnika przez kombajnistę, maszyna niezależnie od woli kombajnisty samoczynnie obniża prędkość przemieszczania wysięgnika, gdy człowiek chce przeciążyć jej układ urabiania. System ten jest dwutorowy, jako sygnały wykorzystywane jest bieżące obciążenie silnika organów urabiających oraz ciśnienie układu hydraulicznego odpowiedzialnego za ruch wysięgnika. Dodatkowo, w przypadku próby przeciążenia podczas zawrębiania, samoczynnie obniżana jest prędkość zawrębiania.

Kombajn KTW jako obiekt rzeczywisty został poddany serii pomiarów tensometrycznych oraz skuteczności tłumienia drgań przenoszonych na aparaturę elektryczną podczas próbnego urabiania bloku betonowego o zwięzłości 74 MPa. Zmierzone wy-



Trajektorie noży – zmiana prędkości urabiania

żenia blisko 30 pól ustroju nośnego, poddanych 5 różnym stanom obciążenia, pozwalają korzystnie zweryfikować numeryczne obliczenia wytrzymałościowe, jak również przeprowadzić ewentualną optymalizację wybranych elementów maszyny. Jednocześnie próbne urabianie potwierdziło wysoką stabilność kombajnu przy różnych sposobach zawrębiania i skrawania ciałizny, przy niewielkim nacisku na podłoże.

Obserwacje poczynione podczas eksploatacji i wprowadzane systematycznie usprawnienia dowodzą poprawności założeń i przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych oraz powodują dalszy rozwój maszyny. Jednym z urządzeń, w które w najbliższym czasie wyposażony zostanie układ odstawy urobku kombajnu, będzie zmienna szerokość stołu głowicy ładującej oraz kruszarka brył transportowanych przez kombajn, bowiem rzeczywista wielkość transportowanych brył urobku (800 × 800 × 600 mm) jest większa niż zakładano, powodując spiętrzenia na dalszych przenośnikach odstawy. Tak czy inaczej, kruszenie nadgabarytów zostało przeniesione ze stołu głowicy ładującej, czyli strefy niebezpiecznej, za kombajn, wyeliminowano również kruszenie brył urobku rynnociągami przenośnika o korpus kombajnu.

Nacisk na spąg, niższy niż nacisk człowieka, pozwala maszynie pracować stabilnie na miękkim i grząskim podłożu, co zaobserwowano zwłaszcza podczas przemieszczania kombajnu w trudnych warunkach górniczych.

W związku z tym, że budowa nowoczesnych maszyn chodnikowych jest zdecydowanie bardziej skomplikowana niż popularna konstrukcja z lat 70. XX wieku, czyli AM 50, pociąga to za sobą wyższe wymagania stawiane załodze obsługującej się kombajnem. Współczesne maszyny pozwalają na znacznie większe postępy w drążeniu wyrobisk w skałach dotąd pokonywanych metodami strzałowymi, lecz wymaga to kompleksowego podejścia do tego zagadnienia.

Podczas wdrażania kombajnów KTW napotkano na początkowe trudności z przewyciężeniem nawyków kombajnistów pracujących dotąd na innych kombajnach, zwłaszcza AM 50. Dotyczy to przyzwyczajenia do jeżdżenia kombajnem, bowiem AM 50 ma niewielki zasięg urabiania i wymaga przestawiania podczas drążenia wyrobiska, w przeciwieństwie do KTW. Ponadto początkowo trudno jest przekonać kombajnistów do proporcjonalnego sterowania kombajnem, zwłaszcza przy pomocy zdalnego sterowania radiowego. Nawyków używania tych funkcji kombajnu załoga nabiera po około miesiącu pracy i wówczas sterowanie radiowe jest jedynym akceptowalnym sposobem sterowania kombajnem, co zresztą było założeniem konstruktorów maszyny.

mgr inż. Maciej Korczyński – Wamag SA,
e-mail: maciej.korczynski@wamag.com.pl;
inż. Joachim Złotos – Wamag SA,
e-mail: joachim.zlotos@kopex.com.pl