



## **Przetwornice częstotliwości firmy Danfoss w modernizowanych układach jezdnych zwałowarek i koparek w kopalniach węgla brunatnego**

**Andrzej Gizicki - Danfoss Sp. z o. o.  
Jerzy Szymański – Elpol s.c.**

### **1. Wprowadzenie**

W kopalniach węgla brunatnego eksploatowane są wyprodukowane w Niemczech w latach 60-tych i 70-tych duże koparki i zwałowarki o masie własnej przekraczającej 1000 ton zbierające dziennie kilkadziesiąt tysięcy m<sup>3</sup> nadkładu. Mankamentami tych koparek jest rozwiązanie układu jezdnego.

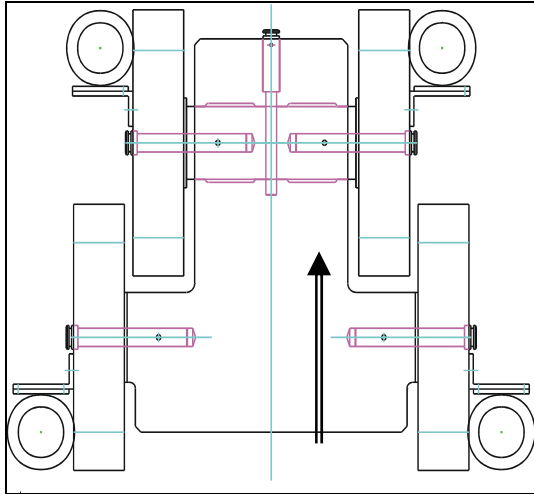
Układ jezdny maszyny stanowią pary nieskrętnych gąsienic. W zależności od rozwiązania są one zestawione w jedną lub dwie pary. W przypadku jednej pary gąsienic napęd jest realizowany przy pomocy dwóch silników pracujących na jedną gąsienicę. W przypadku dwóch par gąsienic – każda z nich jest napędzana niezależnie przez jeden silnik. Na rys 1 pokazano układ gąsienic dla koparki SRs 1200 - koparki te posiadają cztery gąsienice napędzane silnikami prądu stałego. Rozwiązanie konstrukcyjne przedniej pary gąsienic na sztywnym wale powoduje, że nie mają one możliwości wykonania skrętu. Para silników napędzających gąsienice po jednej stronie koparki połączona jest na wał elektryczny i zasilana z tyrystorowego przerywacza prądu stałego

Stosowane napędy prądu stałego ze względu na urządzenie komutatorowe, są bardzo kłopotliwe w eksploatacji, szczególnie w warunkach dużego zapylenia. Koszty i czas napraw oraz konserwacji tych silników są kilkakrotnie większe od kosztów eksploatacji trójfazowych silników asynchronicznych. Producenci silników coraz częściej odchodzą od produkcji silników prądu stałego i może zaistnieć sytuacja, że przy awarii silnika nie będzie możliwości jego zastąpienia.

Silniki napędzające gąsienice po jednej stronie koparki połączone są na wał elektryczny, a więc ich prędkość obrotowa jest jednakowa. Powoduje to określone problemy przy jeździe po łuku, gdyż każda z gąsienic ma inny promień jazdy, a więc i ich prędkości powinny być różne. Przy trudnych warunkach gruntowych (gleba sucha) opory ruchu przy bocznym skręcie gąsienic są tak duże, że zrealizowanie skrętu staje się praktycznie niemożliwe. Koparka, mimo zadania parametrów maksymalnego skrętu, realizuje ruch po prostej. Silniki napędzające gąsienice mają za małą moc na pokonanie występujących oporów tarcia.

Głównym problemem układu jazdy koparki (zwałowarki) są problemy z wykonaniem skrętu w trudnych warunkach gruntowych. Problem ten rozwiązać można poprzez zmniejszenie współczynnika tarcia między gąsienicami a podłożem, poprzez zwiększenie mocy silników napędowych, albo zmianę układu napędowego. W sytuacjach awaryjnych realizowane jest zmniejszanie współczynnika tarcia poprzez polewanie gruntu wodą. Tego typu rozwiązanie można traktować tylko jako doraźne. Drugim sposobem jest zwiększenie mocy silników DC napędzających gąsienice, co wiąże się również ze zwiększeniem mocy przekształtników tyrystorowych. Jest to rozwiązanie drogie, nienowoczesne i przy pozostawieniu starego systemu sterowania dwóch silników z jednego przekształtnika AC/DC, mało skuteczne.

***Najbardziej właściwa wydaje się zmiana systemu układu napędowego poprzez zastosowanie indywidualnego napędu każdej gąsienicy.***



Rys. 1. Rozmieszczenie gąsienic w koparce SRs 1200.



Rys. 2. Model 1:30 napędu gąsienic w koparce SRs 1200 z silnikami AC zasilanymi z 4 przetwornic częstotliwości

W roku 2001 Kopalnia Węgla Brunatnego „Konin” S.A. wraz z Instytutem Technologii Eksploatacji z Radomia podjęła się realizacji kompleksowej modernizacji napędów koparki SRs 1200. Modernizacja i prace badawczo-rozwojowe były realizowane w ramach Projektu Celowego KBN nr 10 T12 022 2000 C/5273. Celem projektu była modernizacja układu napędu gąsienic koparki serii SRs 1200 zwiększająca jego trwałość i niezawodność oraz poprawiająca parametry ruchu tych gąsienicowych maszyn górniczych, szczególnie przy jeździe po łuku. Prace polegały na zastąpieniu napędów z silnikami prądu stałego nowoczesnymi napędami z silnikami asynchronicznymi sterowanymi przetwornicami częstotliwości.

Dla dobrania optymalnych parametrów sterowania napędem czterech gąsienic opracowano model układu jezdnej koparki – rys 2. Widok ogólny modernizowanej koparki – rys 3



Rys. 3 – widok ogólny koparki SRs 1200



Rys. 4. Zespół szaf sterowniczych z przetwornicami częstotliwości VLT5125 w trakcie montażu

## 2. Dane mechaniczne i elektryczne układu napędowego koparki.

Dobór silników i energoelektronicznych przetwornic częstotliwości uwarunkowany był potrzebą zapewnienia uzyskania założonych parametrów jazdy koparki w warunkach normalnej eksploatacji jak również zabezpieczenia nadwyżki mocy w warunkach awaryjnych.

Koparki i zwałowarki w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego pracują na glebach o różnych strukturach. Przy glebach grząskich może dojść do zapadnięcia się koparki i wówczas silniki napędzające gąsienice muszą dysponować takim zapasem mocy, aby koparka była w stanie sama wyjechać z niebezpiecznej sytuacji. Przed modernizacją każda z gąsienic koparki SRs 1200 napędzana była silnikiem prądu stałego GMK 400.1 o mocy 76 kW i prędkości nominalnej 980 obr/min. Moment na wale takiego silnika wynosi 740 Nm. W ekstremalnych warunkach pracy (wyjechanie z grząskiego terenu czy też skręt w trudnych warunkach glebowych) silniki te w krótkim okresie czasu były przeciążane nawet dwukrotnie, co oznacza, że chwilowy moment jaki rozwijały przekraczał 1500 Nm. Dobierając więc silniki asynchroniczne i przetwornice częstotliwości należało mieć na uwadze, żeby dobrany układ napędowy dysponował podobną nadwyżką momentu.

### **3. Modernizacja układu jazdy koparki i zwałowarki.**

Wykorzystując zasilanie silników z przetwornic częstotliwości (płynną regulację częstotliwościową ich prędkości obrotowej z możliwością pracy silników powyżej prędkości nominalnych) zdecydowano się zastosować silniki o mocy 90 kW i nominalnej prędkości obrotowej 750 obr/min. Moment na wale takiego silnika wynosi 1150 Nm. Ponieważ przetwornica częstotliwości pozwala na przekroczenie prądu nominalnego silnika do 150%, stąd dysponowany moment silnika wyniósł 1725 Nm.

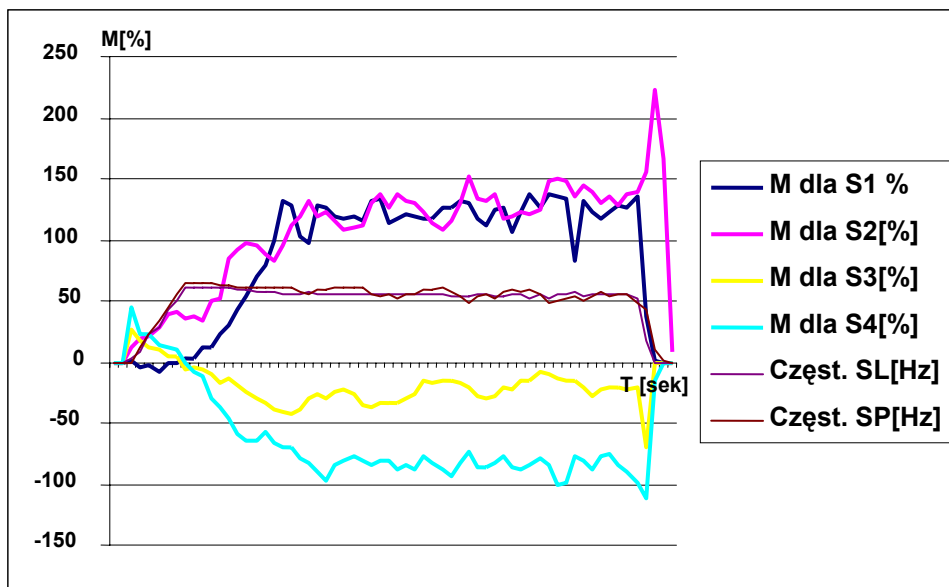
Do zasilania silników zastosowano przetwornice częstotliwości **VLT 5125** o mocy 110 kW przy napięciu zasilania 3 x 500V z możliwością przeciążenia do 150% mocy znamionowej przez czas do 1 min. Tak dobrany układ napędowy dysponował znacznie większym momentem od wymaganego do napędu gąsienic w warunkach normalnej pracy koparki. W celu zabezpieczenia przekładni mechanicznych moment ten został ograniczony przez przetwornice częstotliwości do poziomu momentu znamionowego dotychczas stosowanych silników. W przypadkach awaryjnych istnieje możliwość ominięcia tego zabezpieczenia i podania na przekładnię gąsienicy maksymalnego dysponowanego momentu.

Przy jeździe po łuku, szczególnie przy trudnych warunkach glebowych, dochodzić mogło do „wleczenia” wewnętrznych gąsienic przez zewnętrzne. W konsekwencji może występować przekazywanie energii napędu z gąsienic wewnętrznych na silniki, co powoduje przejście silników w pracę generatorową i konieczność odebrania generowanej przez silniki energii. Zdecydowano się zastosować układ zasilania silników ze wspólną szyną DC przetwornic częstotliwości, dzięki czemu następuje przepływ energii między silnikami napędzającymi i napędzanymi.

Dotychczasowy układ sterowania silników prądu stałego umieszczony był w sterowni znajdującej się w górnej części koparki, a więc wszystkie kable zasilające i sterownicze przechodziły przez bęben obrotnicy. Nowy układ sterowania silników zdecydowano zainstalować w pomieszczeniu o wymiarach 3800 x 1200 mm usytuowanym w pobliżu silników – rys. 4. Zmniejszyło to znacznie długość kabli zasilających oraz wyeliminowało konieczność prowadzenia kabli przez ruchomą obrotnicę. Rezystory hamowania przetwornic, niezbędne przy zjeździe koparki w dół, usytuowano na zewnątrz pomieszczenia.

Zadawanie parametrów pracy silników napędzających gąsienice realizuje sterownik PLC układu jazdy koparki współpracujący z przetwornicami częstotliwości poprzez łącze RS485. Sterownik ten połączony jest ze sterownikiem nadrzędnym nadzorującym pracę wszystkich układów koparki. Sterowanie układem jazdy koparki odbywa się z pulpitu znajdującego się w kabinie operatora.

Na rys. 5 pokazano przykładowe przebiegi zmian momentu obciążeniowego przy wykonywaniu ostrego skrętu w prawo.



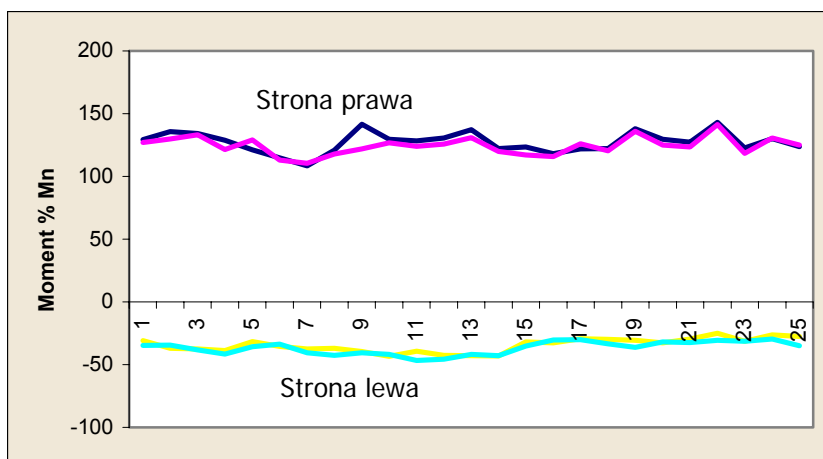
Rys. 5 . Koparka SRs 1200 - przebieg zmian momentu obciążeniowego w czasie wykonywania ostrego skrętu w prawo

Kilka miesięcy wcześniej w Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” S.A. firma Elpol z Radomia – autoryzowany partner firmy Danfoss zrealizowała, na bazie projektu Poltegor Projekt , modernizację napędów w zwałowarce ZGOT 5542. Doświadczenia zdobyte w trakcie prac modernizacyjnych i uruchomieniowych pozwoliły na optymalizację parametrów pracy układu napędowego koparki SRs1200.

Układ jezdny zwałowarki bazował na dwóch nieskrętnych gąsienicach napędzanych parą silników pracujących na sztywny wał. W miejsce silników prądu stałego zastosowano 4 silniki klatkowe asynchroniczne (45 kW, 737obr/min, 3x500 V) zasilane z przetwornic częstotliwości VLT 5075 o mocy znamionowej 75 kW przy napięciu 3x500V. W tym rozwiązaniu nie zastosowano wspólnej szyny DC dla przetwornic częstotliwości, co wpłynęło na ograniczenie prędkości manewrowej zwałowarki. Na rys 6 pokazano widok ogólny zwałowarki ZGOT 5542, a na rys 7. przykładowy przebieg momentów obciążeniowych poszczególnych silników przy wykonywaniu skrętu w lewo przez wykorzystywanie różnicy prędkości gąsienic



Rys. 6. Widok ogólny zwałowarki ZGOT 5542



Rys. 7. Zwałowarka ZGOT 5542 - przebiegi zmian momentu silników przy wykonywaniu skrętu w lewo – wykorzystywanie różnicy prędkości gąsienic.

#### 4. Wnioski

Pionierskie zastosowanie silników klatkowych zasilanych z przetwornic częstotliwości w miejsce dotychczas stosowanych silników prądu stałego w gąsienicowych napędach jazdy koparek i zwałowarek jest rozwiązaniem energooszczędnym i nowoczesnym, zapewniającym właściwe parametry jazdy tych maszyn górniczych.

Przy wyborze przetwornic należy przeanalizować możliwość ich pracy ze wspólną szyną DC. Pierwsze w Polsce rozwiązanie tego typu w napędzie koparki SRs 1200 w pełni potwierdziło zasadność zastosowania wspólnej szyny DC dla przetwornic częstotliwości w gąsienicowych napędach jazdy koparek i zwałowarek.

Przy pracy na jeden sztywny wał mechaniczny (poprzez motoreduktory) dwóch silników zasilanych przetwornicami częstotliwości, wymaga się od tych przetwornic specjalnych funkcji, które zapewnią możliwość uzyskania jednakowych prędkości i momentów napędowych przekazywanych na wał napędowy, mimo różnic w charakterystykach mechanicznych silników i motoreduktorów.