

TOMASZ MUSIAŁ

Projekt wzmocnienia szyny kolejki podwieszonej

Ciągły rozwój technologii wydobycia urobku w kopalniach węgla kamiennego, w tym zwiększanie wydajności maszyn i urządzeń stosowanych w górnictwie, stymuluje producentów tych maszyn do zwiększania ich mocy. Pociąga to za sobą również wzrost ich masy. Dostarczenie tych maszyn do miejsca przeznaczenia, szczególnie do przodka, jest zadaniem transportu podwieszonoego, tj. kolejki podwieszonoego. Proponowane rozwiązanie polega na tym, że do pólek dwuteownika specjalnego przyspawano płaskowniki, które pozwolą na zwiększenie jednostkowej masy ładunku, możliwej do przewiezienia przez każdy z wózków jezdnych zestawu transportowego poruszającego się po trasie kolejki. Artykuł zawiera opis techniczny szyny o zmodyfikowanej konstrukcji oraz podstawowe obliczenia wytrzymałościowe, których wyniki potwierdzają celowość jej stosowania.

Słowa kluczowe: kolejka podwieszona, szyna jezdna, transport

1. ZMK „WOSTAL” SP. Z O.O.

Początki działalności Zakładów Mechaniczno-Kuźniczych „Wostal” Sp. z o.o. sięgają 1949 r. Na miejscu dzisiejszego zakładu istniała Fabryka Wyrobów Metalowych. Przedmiotem działań firmy była produkcja taboru kopalnianego, sprzętu do kolejnictwa oraz obróbka metali. W 1979 r. Zakład Produkcji Urządzeń Technologicznych „Polmo” w Wolbromiu połączono z trzema innymi zakładami, tworząc Przedsiębiorstwo Projektowania i Dostaw Transportu Technologicznego i Składowania „Techmatrans”. Zawiązanie spółki pod nazwą Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze „Wostal” Sp. z o.o. nastąpiło w 1922 r. W 2014 r. większościowy pakiet udziałów ZMK „Wostal” Sp. z o.o. został kupiony przez firmę FTT Wolbrom S.A.

Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze „Wostal” Sp. z o.o. są producentem wysokiej jakości wyrobów oraz dostawcą usług dla wszystkich gałęzi przemysłu.

Wieloletnie kontakty i doświadczenie w branży górniczej, maszynowej i budowlanej stawiają tę firmę w pozycji liczącej się na rynku krajowym i zagranicznym. Główne kraje, do których eksportowane są produkty, to Finlandia, Francja, Niemcy, Turcja, Czechy, Słowacja i Wielka Brytania. W spółce zatrudnionych jest około 220 osób i dysponuje ona trzema wydziałami produkcyjnymi.

Wydział konstrukcji stalowych dysponuje wszystkimi możliwościami w zakresie produkcji różnego rodzaju konstrukcji stalowych o masie do 20 ton. Wydział kuźni (rys. 1) produkuje odkuwki matrycowe

o masie do 12 kg, ze stali niestopowych, stopowych i nierdzewnych.



Rys. 1. Wydział kuźni

Wydział matrycowni zabezpiecza potrzeby wydziału kuźni w zakresie oprzyrządowania kuźniczego, a także oferuje wyspecjalizowaną obróbkę skrawaniem za pomocą obrabiarek CNC (rys. 2).



Rys. 2. Obrabiarka CNC

2. ZAŁOŻENIA

Elementy tras kolejek podwieszanych: zawiesia, odciaży i szyny są jednymi z podstawowych grup wyrobów ZMK „Wostal” Sp. z o.o., oferowanych od wielu lat i posiadających dopuszczenia Wyższego Urzędu Górniczego w Katowicach oraz Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach.

Ze względu na budowę trasy kolejki podwieszanej najczęściej stosowanymi szynami jezdnyymi są szyny proste (rys. 3) o długości od 2 m do 3 m. Są to najdłuższe odcinki spośród różnego rodzaju stosowanych szyn, takich jak: szyny zakrętowe, przyłączeniowe oraz dołączne. Długość pojedynczej szyny jezdnej ma zasadniczy wpływ na koszt budowy oraz eksploatacji toru jezdnej. Korzystne jest stosowanie jak najdłuższych szyn jezdnych ze względu na wymaganą ich liczbę oraz ilość elementów tworzących tor jezdny (np. elementów zawieszania oraz stabilizacji toru jezdnej). W związku z tym wraz ze zwiększaniem długości szyny jezdnej liczba zarówno szyn, jak i elementów dodatkowych zmniejsza się znacząco, obniżając koszt budowy trasy.



Rys. 3. Szyny jezdne proste produkowane przez „Wostal” Sp. z o.o.

Stosowanie rozwiązań konstrukcyjnych szyn jezdnych opartych na dwuteowniku specjalnym I155 według [1] bez wzmocnień pozwala na transport ciężaru przypadającego na jeden wózek nośny dla szyny o długości 3 m nie przekracza 27,5 kN [2] dla minimalnego rozstawu wózków jezdnych wynoszącego 1,8 m [3].

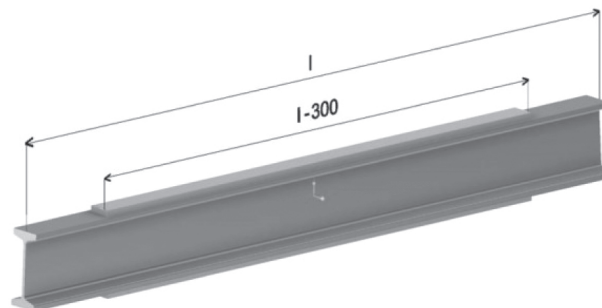
Rozpatrywana w niniejszym opracowaniu metoda zwiększenia nośności szyny polega na zastosowaniu standardowego dwuteownika specjalnego I155 [1], w którym zwiększenie wskaźnika wytrzymałości na zginanie uzyskuje się przez przyspawanie do jego półek płaskownika o wymiarach $b \cdot h = 12 \cdot 50$ mm. Ograniczeniem dla wielkości usztywnienia (wymiarów płaskownika) jest dostępna przestrzeń, zdeterminowana koniecznością zapewnienia wystarczającego luzu pomiędzy wózkiem jezdny a dolną półką dwuteownika. Wymiary płaskownika zostały tak dobrane, aby zapewnić powyższy warunek oraz umożliwić uzyskanie jak

największych możliwości nośnych dla szyny o długości 3 m. W opracowaniu przedstawiono obliczenia, nie rozpatrując wpływu zużycia eksploatacyjnego szyn.

3. OBLICZENIA

Istotny charakter obciążeń w kierunku pionowym, pochodzących od ciężaru transportowanego oraz cel zastosowania dwóch płaskowników podnoszących wytrzymałość na zginanie szyny jezdnej, przedstawiony w pracy [4], dotyczył wyłącznie parametrów użytkowych bezpośrednio związanych z naprężeniem pochodzącym od zginania szyny, gdy znajduje się na niej tylko jeden wózek. Uwzględniono również ograniczenie nośności szyny ze względu na wytrzymałość zawiesia oraz przeprowadzono weryfikację nośności złącza.

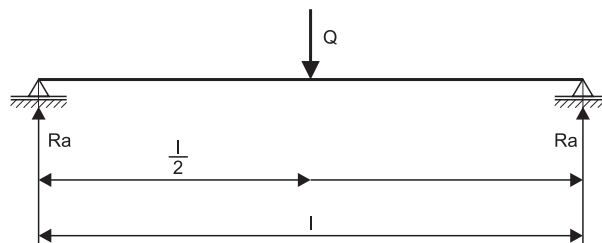
Konstrukcję szyny przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Szyna 155 po wzmocnieniu płaskownikami przyspawanymi do zewnętrznych powierzchni dolnej i górnej półki

Założono, że płaskowniki zostaną przyspawane spoiną pachwinową o wymiarach $a_6 - 100 \times 100$ mm. Materiał dwuteownika stanowiła stal S355J2G3, natomiast płaskowniki wykonano ze stali S355JR. Stale te nieznacznie różnią się między sobą, zwłaszcza pod względem udarności.

Ze względu na bardzo częste stosowanie szyn o długości równej 2,4 m oraz 3 m obliczenia maksymalnej nośności szyn wykonano jednocześnie dla tych dwóch długości. Schemat obciążenia szyny kolejki podwieszanej przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat obciążenia szyny siłą skupioną działającą w połowie jej długości

Minimalna wytrzymałość na rozciąganie materiałów użytych do budowy szyny wynosi $R_m = 490$ MPa, a war-

tość wyznaczonego wskaźnika wytrzymałości przekroju szyny wraz ze wzmocnieniami $W_x = 222,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$. Długości szyn przyjęte do obliczeń wynosiły odpowiednio $l = 2,4 \text{ m}$ oraz $l = 3,0 \text{ m}$. Warunek maksymalnego dopuszczalnego obciążenia szyny Q_{\max} z uwagi na minimalną wytrzymałość na rozciąganie materiału szyny R_m przedstawia zależność:

$$\frac{M_{g_max}}{W_x} \leq R_m \quad (1)$$

gdzie moment gnący maksymalny wynosi:

$$M_{g_max} = \frac{Q_{\max} \cdot l}{4} \quad (2)$$

Natomiast po wyznaczeniu obciążenia maksymalnego równanie przyjęło postać:

$$Q_{\max} \leq \frac{R_m \cdot W_x \cdot 4}{l_{\max}} \quad (3)$$

Po podstawieniu danych i obliczeniu maksymalne obciążenie szyny wyniosło:

- 181,7 kN dla długości szyny równej 2,4 m,
- 145,3 kN dla długości szyny równej 3 m.

Obliczone z warunku (3) obciążenie maksymalne musi zostać zmniejszone z powodu konieczności uwzględnienia wartości współczynnika bezpieczeństwa. Otrzymujemy w ten sposób zależność, z której można wyliczyć obciążenie użyteczne:

$$Q \leq \frac{Q_{\max}}{n} \quad (4)$$

Po podstawieniu danych do równania (3) i obliczeniu wartości użytkowe obciążenia wyniosły:

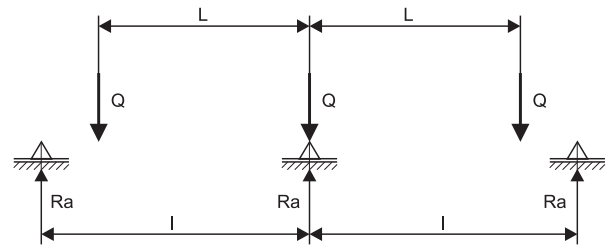
- dla długości szyny równej 2,4 m, $Q = 60,6 \text{ kN}$,
- dla długości szyny równej 3 m, $Q = 48,4 \text{ kN}$.

Na podstawie wyliczonego dopuszczalnego obciążenia szyny, z uwzględnieniem wymaganego współczynnika bezpieczeństwa, przyjęto do dalszych obliczeń poniższe wartości dopuszczalnych obciążeń pochodzących od wózków jezdnych:

- dla długości szyny równej 2,4 m, $Q = 60,0 \text{ kN}$,
- dla długości szyny równej 3 m, $Q = 48,0 \text{ kN}$.

Aby uniknąć wystąpienia przypadku przekroczenia dopuszczalnych obciążeń złączy szynowych, wyznaczono minimalne odległości pomiędzy wózkami jezdnymi. Do obliczeń przyjęto schemat obciążeń przedstawiony na rysunku 6. Charakteryzował się on tym, że rozpatrzono dwie szyny znajdujące się pomiędzy trzema zawieszami. Obciążenie Q w tym układzie skupione było w połowie odległości pomiędzy kołami wózka jezdneho, każdego z trzech wózków jezdnych, mierzonej wzdłuż szyny. Środkowy z tych wózków znajdował się dokładnie na złączu, pomiędzy rozpa-

trywanymi szynami. W modelu tym odległości pomiędzy siłami skupionymi Q są takie same i wynoszą L . Najbardziej obciążone złącze (zawiesie) znajdowało się pomiędzy tymi szynami.



Rys. 6. Schemat obciążenia dwóch sąsiadujących szyn trzema wózkami nośnymi

Dalsze obliczenia przeprowadzono dla założonej, stałej nośności zawiesi wynoszącej $R_a = R_b = R_c = 100 \text{ kN}$. Uwzględniono dopuszczalne obciążenie od zawieszania, ograniczone nośnością zawiesi oraz obciążenia pochodzące od wózków jezdnych wyznaczone powyżej $Q = 60 \text{ kN}$ i $Q = 48 \text{ kN}$.

Warunek nośności pionowej złącza szynowego został zapisany w postaci:

$$3 \cdot Q - 2 \cdot R_a \leq R_b \quad (5)$$

gdzie reakcja R_a :

$$R_a = \frac{Q \cdot L}{l} \quad (6)$$

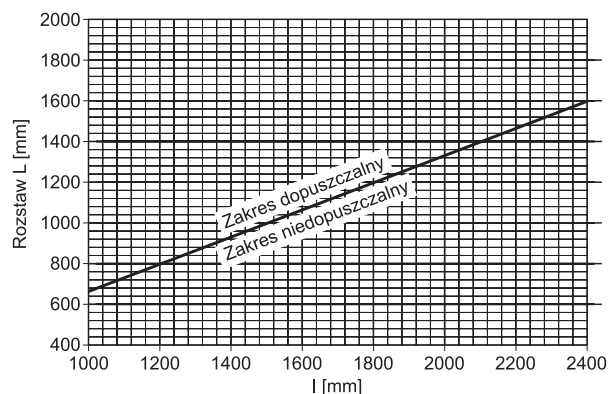
Z czego równanie ogólne przyjmuje postać:

$$\frac{3 \cdot Q - R_b}{2} \leq \frac{Q \cdot L}{l} \quad (7)$$

Po podstawieniu danych dla szyn o długości maksymalnej $l = 2,4 \text{ m}$ odległość L między wózkami wyniosła:

$$L \geq 0,667 \cdot l \quad (8)$$

Powyższa nierówność została przedstawiona w postaci wykresu (rys. 7) zależności stosowalności minimalnego rozstawu wózków dla szyny o długości 2,4 m przy dopuszczalnym obciążeniu pojedynczym wózkiem siłą $Q = 60,0 \text{ kN}$.

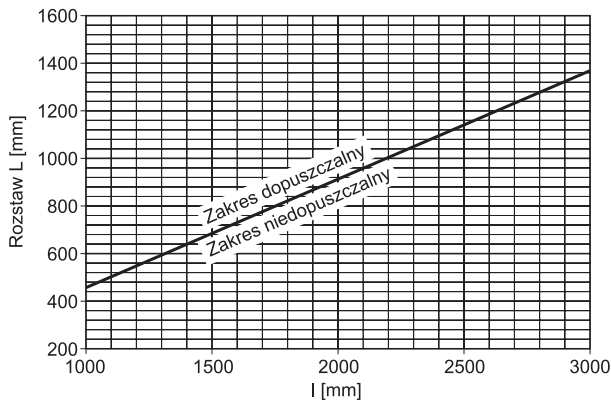


Rys. 7. Interpretacja graficzna nierówności (8) dla szyny o długości 2,4 m

Po podstawieniu danych dla szyn o długości maksymalnej $l = 3,0$ m odległość L między wózkami wyniosła:

$$L \geq 0,458 \cdot l \quad (9)$$

Zależność (9) została przedstawiona w postaci wykresu na rysunku 8. Opisano na nim zakres stosowności minimalnego rozstawu wózków dla szyny o długości 3,0 m przy dopuszczalnym obciążeniu pojedynczym wózkiem siłą $Q = 48,0$ kN.



Rys. 8. Interpretacja graficzna nierówności (9) dla szyny o długości 3,0 m

4. PODSUMOWANIE

Zastosowane rozwiązanie konstrukcyjne zwiększyło dopuszczalne obciążenie szyny z 27,5 kN dla szyny zbudowanej z dwuteownika niewzmocnionego do 48,0 kN dla szyny z dwuteownika wzmacnionego płas-

kownikami. Opracowane rozwiązanie zostało wdrożone w ramach projektu trasy jezdnej wzmocnionej, typ ZMK-160W, opracowanej w Zakładach Mechaniczno-Kuźniczych „Wostal” Sp. z o.o., która uzyskała dopuszczenie do stosowania w wyrobiskach podziemnych zakładów górniczych węgla kamiennego. Przewiduje się że szyny, wykonane według opisanej technologii, będą również dostarczane do nowych kopalń, budowanych obecnie poza granicami kraju.

Literatura

- [1] PN-H-93441-10:1994: *Kształtowniki stalowe walcowane na gorąco dla górnictwa – Dwuteowniki typu I 155 na jezdnie kolei podwieszonych – Wymiary.*
- [2] Barczyk B.: *Dokumentacja wniosku o dopuszczenie do stosowania w zakładach górniczych – Elementy toru jezdno typ: ZMK-100 do kolejki podwieszonej z napędem własnym lub liniowym.* Wolbrom 2017 [praca niepublikowana].
- [3] Barczyk B.: *Dokumentacja wniosku o dopuszczenie do stosowania w zakładach górniczych – Elementy toru jezdno typ: ZMK-160W kolejki podwieszonej z napędem własnym lub liniowym.* Wolbrom 2021 [praca niepublikowana].
- [4] Drozd K., Nieoczym A.: *Dynamiczne obciążenie zawiesi generowane podczas jazdy zestawu transportowego z napędem własnym po trasie kolejki podwieszonej w wyrobisku.* Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2020.

inż. TOMASZ MUSIAŁ
Dział Badawczo-Rozwojowy
Zakłady Mechaniczno-Kuźnicze
„Wostal” Sp. z o.o.
ul. 1 Maja 29-37, 32-340 Wolbrom
tomasz.musial@wostal.pl