

Nowa konstrukcja szyn kolejek podwieszonych jako przykład typizacji rozwiązań dla transportu podziemnego w kopalniach JSW SA

New construction of rail for underground suspended monorails as an example of typification for deep mining transport in the mines of JSW SA



Marek Rotkegel

dr inż.

Główny Instytut Górnictwa /
Zakład Technologii Eksploatacji i
Obudów Górniczych

mrotkegel@gig.katowice.pl



Łukasz Szot

mgr inż.

Główny Instytut Górnictwa /
Zakład Technologii Eksploatacji i
Obudów Górniczych

lszot@gig.katowice.pl



Michał Kapala

mgr inż.

Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.
Biuro Produkcji / Zespół Górniczy

mkapala@jsw.pl



Marek Dras

mgr inż.

Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. /
KWK Budryk

mdras@budryk.jsw.pl

Streszczenie: W artykule opisano przebieg prac projektowych, prowadzących do wdrożenia nowej konstrukcji szyn kolejek podwieszonych na potrzeby kopalń wchodzących w skład Jastrzębskiej Spółki Węglowej. Celem prac, stanowiących jeden z etapów typizacji wyposażenia wyrobisk górniczych w ramach JSW SA, było usprawnienie gospodarki materiałowej w ramach Spółki, zmniejszenie kosztów wytworzenia szyn, poprawę ich własności antykorozyjnych i wydłużenie żywotności toru jezdnego. Celem nadrzędnym takich działań jest redukcja kosztów wydobycia.

Słowa kluczowe: Górnictwo; Transport; Kolejka podwieszona; Szyna

Abstract: Designing process of the new rail construction for deep mining transport was presented in this article. This rails was designed within the mining excavation's equipment typification project of JSW SA coal mines. Goals of the study are improvement of material management, reduction of production cost, improvement corrosion resistance and extension of the track life. The primary aim of such actions is to reduce the cost of final coal price.

Keywords: Mining; Transport; Queue suspended; Rail

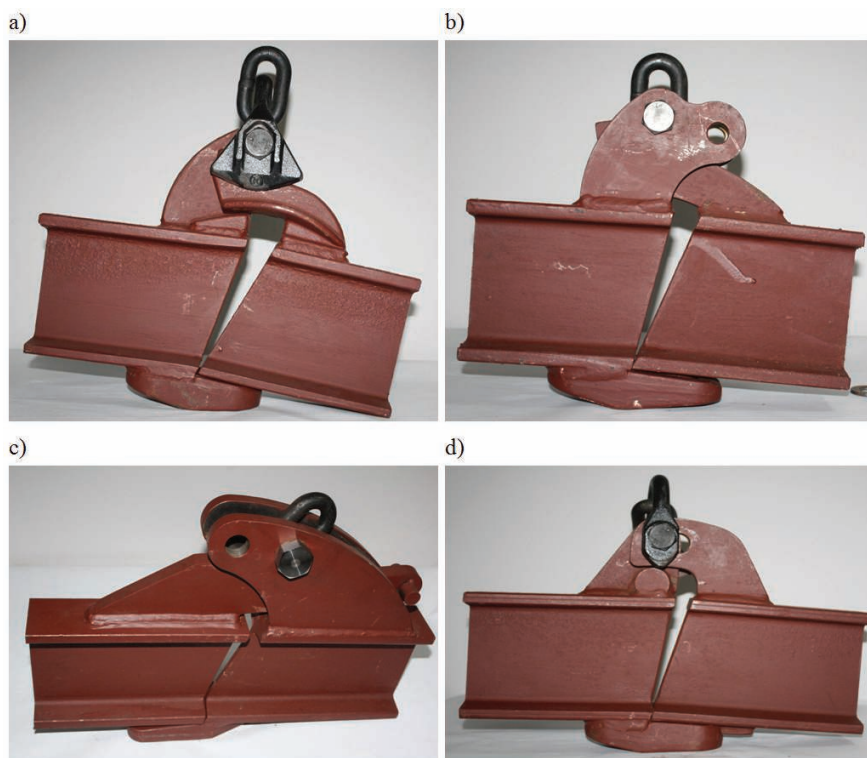
Jak podaje literatura [7], typizacja konstrukcji polega na zmniejszeniu liczby równoważnych (pod względem funkcjonalności) części, podzespołów, węzłów konstrukcyjnych, a także gotowych wyrobów do minimalnej liczby, wystarczającej w danych warunkach dla zapewnienia poprawnego przebiegu procesów technicznych lub funkcjonowania konstrukcji.

Typizacja, poprzez zmniejszenie różnorodności dostępnych rozwiązań konstrukcyjnych, przynosi szereg korzyści. Przede wszystkim należy tu wymienić skrócenie czasu projektowania, zmniejszenie kosztów produkcji, zakupu, składowania i serwisowania,

a także polepszenie jakości wyrobu ostatecznego [7].

Od roku 2011 w Jastrzębskiej Spółce Węglowej, prowadzone są działania zmierzające do typizacji obudowy stalowej wyrobisk chodnikowych i jej akcesoriów. We współpracy z Głównym Instytutem Górnictwa opracowano kolejno projekty: typoszeregu odrzwi obudowy ŁProJ i ŁPrPJ, strzemiion dwujarzmowych typu SDJ, rozpor międzyodrzwiovych typu JSW oraz stóp podporowych typu JSW. Dodatkowo powstały dwa typoszeregi odrzwi, dedykowane na potrzeby kopalń „Zofiówka” (ŁPZof) i „Borynia” (ŁPCBor). Ostatnim zrealizowanym

etapem typizacji w JSW był projekt szyn kolejek podwieszonych ze złączem nowej konstrukcji. Działania te miały na celu zmniejszenie różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych, stosowanych w kopalniach wchodzących w skład Jastrzębskiej Spółki Węglowej. Wytyczne do projektowania szyn nowej konstrukcji obejmowały zmniejszenie kosztów ich produkcji, poprawę własności antykorozyjnych i wydłużenie żywotności toru jezdnego. W zamysle szyny te miały również charakteryzować się nieskomplikowaną zabudową, dużą prostoliniowością toru jezdnego, a także posiadać możliwość łatwej adaptacji do zwiększo-



1. Złącza szyn kolejek podwieszonych stosowane w kopalniach JSW SA; a) złącze typu KSP-32 (Stal-poll), b) złącze typu S-100 (Bowa), c) Złącze typu ZD24D (Transl - Czechy), d) Złącze typu P-130 (Pioma)

nych prędkości transportu kolejkami podwieszonymi. Jednak najważniejszym założeniem było wyeliminowanie niekompatybilnych wzajemnie rozwiązań szyn, pochodzących od różnych producentów.

Obecnie, w kopalniach JSW SA stosowanych jest kilka typów szyn, różniących się przede wszystkim konstrukcją złączy. Taka mnogość rozwiązań powoduje znaczne utrudnienia w logistyce oraz serwisowaniu i utrzymaniu należytego stanu technicznego tras kolejek. Stwarza to także konieczność dysponowania znaczną ilością szyn przejściowych pomiędzy każdym z systemów szyn. Wdrożenie do użycia nowej, jednakowej dla kopalń całej Spółki szyny, stanowi istotny etap procesu typizacji wyposażenia wyrobisk górniczych w ramach JSW SA. Głównym celem takich działań jest redukcja kosztów wydobycia.

Dotychczas stosowane złącza szyn kolejek podwieszanych

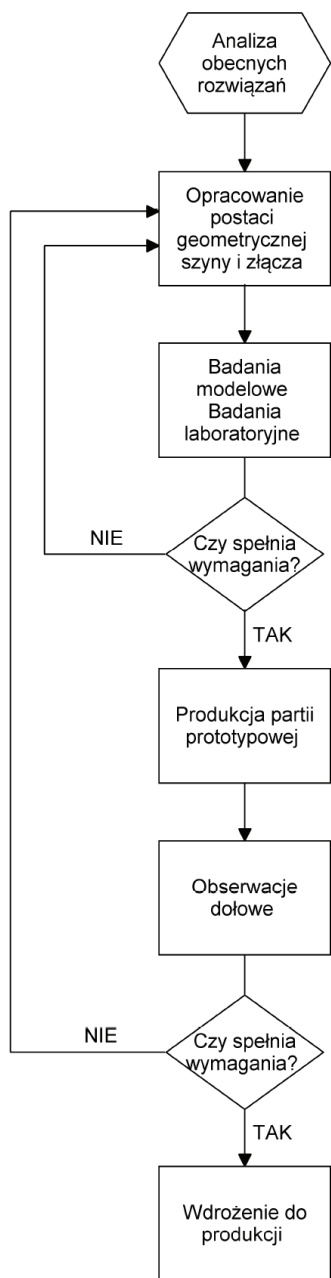
W kopalniach JSW SA, do prowadzenia transportu podziemnego kolejkami podwieszonymi, dotychczas wykorzystywano kilka różnych rodzajów

złączy szyn (w zależności od producenta toru). Różnią się one między sobą głównie konstrukcją złącza górnego, ale też postacią geometryczną odkuwek, a także sposobem łączenia szyny z zawieszem. Różna jest też sztywność, szczególnie poprzeczna, torów zbudowanych z szyn poszczególnych konstrukcji, a także ich masa jednostkowa. Wszystkie te parametry wpływają bezpośrednio na dopuszczalne obciążenia maksymalne złączy wzdłuż i poprzek osi toru, co z kolei stanowi o możliwości stosowania danego typu szyn w konkretnych warunkach. Na fotografiach **1a÷d** przedstawiono przykładowe złącza wykorzystywane do budowy tras w kopalniach wchodzących w skład JSW SA.

Prace projektowe nad nową konstrukcją złączy

Prace projektowe nad nową konstrukcją szyn do kolejek podwieszanych rozpoczęto po wnikliwej analizie stanu obecnego oraz po licznych konsultacjach z przedstawicielami JSW SA. W procesie projektowym przyjęto następujące założenia, określone przez Zleceniodawcę:

1. tor jezdny będzie wykonany z dwuteownika walcowanego na gorąco typu I155 lub równoważnego, zgodnie z normą PN-H-93441-10:1994,
2. dopuszczalne obciążenie złączy w kierunku zawieszenia będzie nie mniejsze niż 80 kN,
3. dopuszczalne obciążenie złączy wzdłuż toru będzie nie mniejsze niż 120 kN,
4. złącze przegubowe umożliwiać będzie przegięcie trasy w płaszczyźnie pionowej maksymalnie $\pm 6^\circ$ oraz $\pm 0,5^\circ$ w płaszczyźnie poziomej. Połączenia pomiędzy szynami jezdny realizowane będą za pomocą łączników przymocowanych do końca szyn i zabezpieczających połączenie przed rozłączeniem. Kompletne złącze będzie zawierać element zabezpieczający przed rozłączeniem, wykorzystywany także do mocowania elementów zawiesia lub odciągów,
5. górną część złącza szyny prostej stanowić będą dwa elementy wykonane z płaskownika, z otworami na śrubę, przyspawane do górnej półki dwuteownika,
6. szyny wyposażone będą (opcjonalnie) w dodatkowy uchwyt, umożliwiający zabudowę odciągów stabilizacyjnych, zapadek i innych akcesoriów,
7. szyny łukowe 15° i $7,5^\circ$ służące do zmiany po łuku kierunku toru jezdny w poziomie, zakończone będą obustronnie połączeniem kołnierзовym zapewniającym sztywne połączenie tych szyn z trasą kolejki. Długość szyny wyniesie $1,0 \div 1,1$ m. Minimalny promień łuku wygięcia szyn wyniesie 4,0 m,
8. szyny wklęsłe i wypukłe, służące do zmiany po łuku kierunku toru jezdny w pionie odpowiednio w górę i w dół, zakończone będą obustronnie połączeniem kołnierзовym, zapewniającym sztywne połączenie tych szyn z trasą kolejki. Minimalny promień łuku wygięcia szyn wyniesie 10,0 m,
9. szyny łukowe, wklęsłe i wypukłe będą wyposażone w złącze o bu-

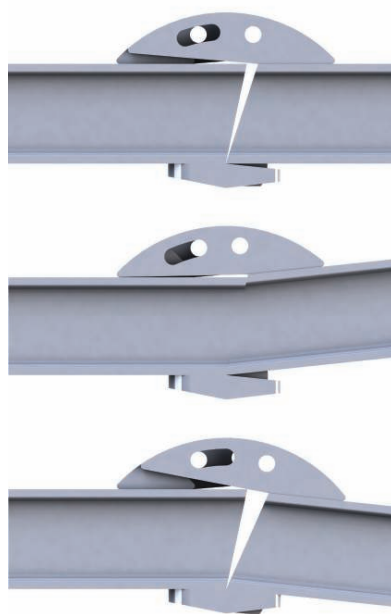


2. Schemat blokowy procesu projektowo-wdrożeniowego

dwie części górnej jak w punkcie 5 powyżej.

Przyjęty schemat blokowy procesu projektowo-wdrożeniowego przedstawiono na rysunku 2.

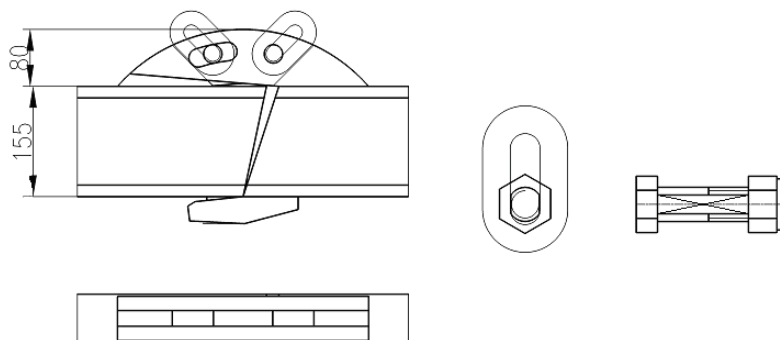
W celu określenia parametrów geometrycznych złącza, umożliwiających spełnienie przyjętych założeń projektowych przeprowadzono analizę kinematyczną łączonych elementów – końców szyn. Pozwoliło to określić wymagane kształty i wymiary elementów stanowiących złącze. Na rysunku 3 przedstawiono charakterystyczne



3. Analiza kinematyczna złącza - wychylenie w pionie $\pm 6^\circ$

ułożenia elementów złącza.

Postać konstrukcyjna złącza górnego według koncepcji opiera się na dwóch identycznych łącznikach, zbliżonych kształtem do odcinka koła, wykonanych z blachy o grubości 20 mm i spawanych do górnych półek kształtownika I155 - po jednym dla każdej części złącza. Pomiędzy łącznikami pozostawiona jest przestrzeń, w której mocuje się ogniwo zawiesia łańcuchowego, a także stalowe prowadniki o kształcie zbliżonym do trójkąta, zapewniające odpowiednią sztywność złącza i pełniące funkcję ogranicznika wychylenia ogniwa łańcucha. Złącze dolne stanowią dwie współpracujące odkuwki. Zarówno złącze górne, jak i dolne, swoją kinematyką umożliwiają spełnienie wytycznych odnośnie przegięcia złącza w pionie i poziomie.



4. Schemat złącza według koncepcji

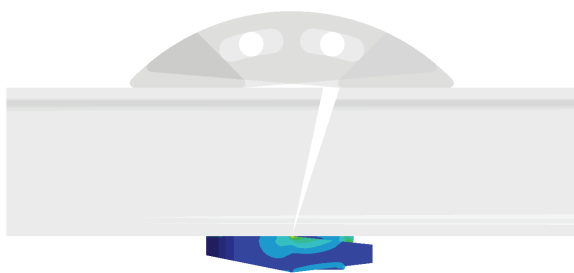
Elementy złączne zaproponowane do skręcenia złącza to śruby specjalne M24 z podcięciem dla wprowadzenia w ogniwo łańcucha 18x64, wraz z nakrętkami samozabezpieczającymi. Widok ogólny złącza według koncepcji przedstawiono na rysunku 4.

Nowe rozwiązanie konstrukcyjne złączy szyn kolejek podwieszonych

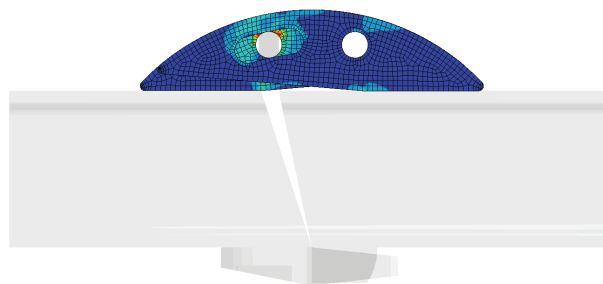
W wyniku przeprowadzonych analiz, a także konsultacji z przedstawicielami JSW SA, do dalszych prac konstrukcyjnych wytypowano koncepcję złącza szyn kolejek podwieszonych, nieznacznie zmodyfikowaną w sposób umożliwiający spełnienie wymagań ruchowo - wytrzymałościowych.

Przed przystąpieniem do właściwego etapu projektowego wykonano analizę wytrzymałościową zasadniczych elementów złącza.

Modelowe badania wytrzymałościowe przeprowadzono numerycznie metodą elementów skończonych (MES, ang. FEM) [4,5]. Z punktu widzenia użytkownika, modelowanie we współczesnych systemach MES sprowadza się do wprowadzenia geometrii całego badanego układu oraz określenia parametrów poszczególnych jego części, takich jak własności materiałowe, parametry przekrojowe, a w przypadku analizy nieliniowej krzywe materiałowe. Geometrię układu można zadać tworząc ją, bądź importując gotową z programów CAD. Uciążliwa dyskretyzacja, zwłaszcza w przypadku skomplikowanych modeli, dokonywana jest często w sposób automatyczny lub półautomatyczny, pod kontrolą użytkownika. Po wprowadzeniu powyższych danych konieczne jest okre-



5. Wyniki analizy wytrzymałościowej złącza dolnego



6. Wyniki analizy wytrzymałościowej złącza górnego

ślenie sposobu obciążenia i podparcia modelu. W wyniku obliczeń otrzymuje się między innymi wartości sił wewnętrznych przeliczanych automatycznie na naprężenia zredukowane. Programy komputerowe działające w oparciu o algorytm MES, oprócz przemieszczeń i sił wewnętrznych, automatycznie obliczają naprężenia zredukowane według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego, zgodnie z ogólną zależnością [2,3]:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_x \sigma_z - \sigma_y \sigma_z + 3 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

Porównując uzyskane wartości maksymalnych naprężeń zredukowanych z wartościami dopuszczalnymi dla danego materiału można w prosty, niedrogi, nieniszczący sposób uzyskać odpowiedź na pytanie o poprawność zaprojektowanej konstrukcji (jeszcze przed podjęciem produkcji).

W pierwszym etapie zbudowano modele odzwierciedlające zarówno geometrię badanych elementów,

jak również ich parametry materiałowe. Badaniom poddano elementy górnego i dolnego złącza, poddane obciążeniom rozrywającym osiowo i poprzecznie w stosunku do osi toru kolejki. Rysunki 5 i 6 przedstawiają przykładowe barwne mapy naprężeń zredukowanych.

Na podstawie uzyskanych pozytywnych wyników badań modelowych podjęto decyzję wykonaniu partii próbnej szyn przeznaczonych do badań stanowiskowych. Dodatkowo, ze względu na miejsca koncentracji naprężeń, zdecydowano się na zwiększenie wymiarów poprzecznych

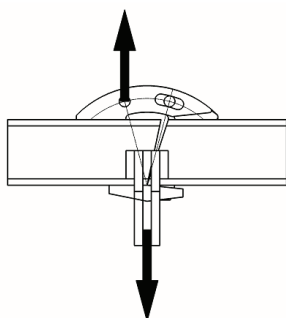
kluczowych spoin nośnych, a także zaostrenie norm ich wykonania i kontroli jakości.

Badania stanowiskowe

Na podstawie poprawionej po etapie obliczeń numerycznych dokumentacji rysunkowej wykonano partię próbną złączy szyn kolejek podwieszanych typu JSW. Próbkę przygotowano tak, aby określić wytrzymałość złącza, a przez to umożliwić określenie maksymalnego dopuszczalnego obciążenia złącza wzdłuż i poprzek osi toru jezdnego, z uwzględnieniem odpowiednich współ-



7. Sposób obciążania złącza w badaniu wytrzymałości na rozciąganie wzdłużne



8. Sposób obciążania złącza w badaniu wytrzymałości poprzecznej

Tab. 1. Wyniki badań stanowiskowych próbek złączy szyn kolejek podwieszanych typu JSW

Numer próbki	Sposób obciążania	Pc [kN]	Uwagi	
1	Osiowo	317,8	Wersja I – śruba 8.8	Badania w trakcie prac projektowych (GIG)
2	Poprzecznie	204,9		
3	Poprzecznie	174,1		
4	Poprzecznie	233,8	Wersja II - szkła	
5	Poprzecznie	269,0		
6	Osiowo	312,9		
7	Osiowo	519,1	Wersja III (poprawiona wersja I) – śruba 10.9	
8	Poprzecznie	280,5		
9	Poprzecznie	275,9		
10	Osiowo	441,0		
11	Osiowo	452,1		
12	Osiowo	460,6		
13	Osiowo	436,6	Wersja ostateczna	
14	Osiowo	650,5		
15	Osiowo	589,6		
16	Osiowo	653,7		
17	Osiowo	675,4		
18	Osiowo	681,6		
19	Osiowo	725,4		
20	Poprzecznie	370,8		
21	Poprzecznie	374,8		
22	Poprzecznie	349,3		
23	Poprzecznie	370,1		
24	Poprzecznie	369,1		
25	Poprzecznie	344,7		



9. Próbką po badaniach



10. Próbką po badaniach



11. Próbką po badaniach

czynników bezpieczeństwa. Badania prowadzono kilkietapowo, aby umożliwić naniesienie odpowiednich zmian w konstrukcji złącza, wynikających z potrzeby zwiększenia nośności czy zmiany sposobu zachowania złącza pod wpływem obciążenia. Schemat prowadzenia badań pokazano na rysunkach 7 i 8. Przykłady próbek po badaniach przedstawiają fotografie 9-11. Zestawienie wyników wraz z uwagami odnośnie typu badania i wersji próbki zamieszczono w tablicy 1.

Podsumowanie i wnioski

Wyniki badań stanowiskowych, a także dalsze opinie przedstawicieli JSW SA zostały uwzględnione przy ostatecznym etapie projektowania, którego wynikiem jest komplet dokumentacji rysunkowej. Uzupełnieniem dokumentacji rysunkowej są warunki techniczne wykonania i odbioru, a także dokumentacja techniczno-ruchowa.

Szyny kolejek podwieszanych typu JSW, według dokumentacji jak wyżej, występują w następujących odmianach:

- -szyny proste,
- szyny zakrętowe,
- szyny wklęsłe lub wypukłe,
- szyny przejściowe.

Uzupełnieniem systemu tras opartego na szynach typu JSW mogą być zawiesia, odciągi, rozjazdy, blokady i zakończenia torów pochodzące z systemów innych producentów, spełniające zasady dopuszczenia i kompatybilności z systemem typu JSW.

Szyna typu JSW w podstawowym, prostym wariantcie, (rys. 12) składa się z:

- odcinka prostego dwuteownika I155 wg normy PN-H-93441-10 (poz. 1),
- dwóch jednakowych elementów z blachy płaskiej o grubości 20 mm (poz. 2), stanowiących, po połączeniu kolejnych szyn, górną część zamka toru jezdnygo i jednocześnie zawiesie toru, a także uchwyt transportowy w transporcie ręcznym,
- dwóch różnych, współpracujących odkuwek (poz. 3 i 4), stanowiących, po połączeniu kolejnych szyn, dolną część zamka toru jezdnygo,
- dwóch jednakowych elementów dystansowych (poz. 5) z blachy o grubości 20 mm,
- dwóch kompletów śruby specjalnej

M24 z nakrętką samozabezpieczającą (poz. 6 i 7), przeznaczonych do łączenia i stabilizacji kolejnych szyn w torze jezdnygo, a także jako zawiesia łańcucha górniczego 18x64,

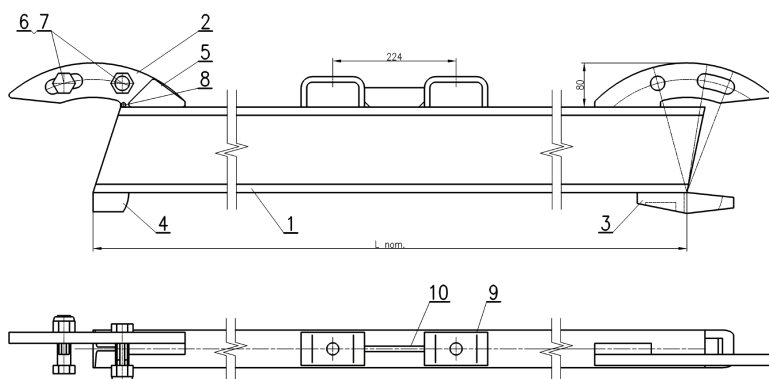
- zabezpieczenia przed wysunięciem złącza w pionie, wykonanego z pręta $\varnothing 8$ (poz. 8),
- uchwytu do akcesoriów dodatkowych wraz z blachą wzmacniającą (poz. 9 i 10).

Szyny kolejek podwieszanych typu JSW produkowane są o długości od 1000 mm do 2250 mm w zależności od wymagań zamawiającego.

W ramach prac projektowych zaprojektowano szyny kolejek podwieszanych ze złączem nowego typu, o wysokich parametrach nośnościowych. W przypadku poprawnie wykonanego złącza dopuszczalne obciążenie poprzeczne wynosi 70 kN, a w przypadku zastosowania dwóch nośnych zawiesi łańcuchowych wynosi ono 80 kN. Dopuszczalne obciążenie wzdłużne wynosi 120 kN. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Chmielewski T., Nowak H. *Mechanika budowli. Metoda przemieszczeń. Metoda Crossa. Metoda elementów skończonych.* Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1996.
- [2] Cook R.D. i inni. *Concepts and applications of finite element analysis.* John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [3] Dyląg Z. i inni. *Wytrzymałość materiałów.* Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1996.
- [4] Rakowski G., Kacprzyk Z. *Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji.* Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1996.
- [5] Rusiński E. *Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M.* Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1994.
- [6] Szuścik W., Kuczyński J. *Wytrzymałość materiałów (Mechanika modelu ciała odkształcalnego i ciała rzeczywistego). Część I.* Wydawnictwa Politechniki Śląskiej, 1998.
- [7] Wrotny L.T. *Projektowanie obrabiarerek. Zagadnienia ogólne i przykłady obliczeń.* Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1986.



12. Szyna prosta typ JSW