

Badania symulacyjne jako element zintegrowanego procesu projektowania w aspekcie eksploatacji przenośników taśmowych

Słowa kluczowe: przenośniki taśmowe, urządzenia napinające taśmę, badania symulacyjne, analiza dynamiczna, komputerowe wspomaganie projektowania

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono badania symulacyjne nieustalonych stanów pracy przenośnika, jako nieodłączną i istotną część zintegrowanego procesu jego projektowania. Za pomocą uproszczonych schematów blokowych i równań, opisano budowę dynamicznego modelu przenośnika taśmowego oraz grawitacyjnego urządzenia napinającego taśmę. Wyniki testów symulacyjnych modelu przenośnika taśmowego porównano z wynikami badań przemysłowych, przeprowadzonych w miejscu eksploatacji przenośnika z wykorzystaniem mobilnego systemu pomiarowego. Wyniki weryfikacji modelu dynamicznego potwierdziły jego użyteczność w analizie zjawisk dynamicznych występujących podczas pracy przenośnika oraz wykazały pełną przydatność badań symulacyjnych w zintegrowanym procesie projektowania przenośników taśmowych.

1. Wprowadzenie

Ze względu na uzyskiwaną zdolność transportową i niezawodność pracy, przenośniki taśmowe pełnią dominującą rolę w systemach odstawy kopalny użytecznej, zarówno w kopalniach odkrywkowych jak i podziemnych. Przenośniki taśmowe transportujące nadkład mogą uzyskać wydajność 50 tys. t/h, długość pojedynczych instalacji osiąga prawie 20 km, a moce napędów wynoszą nawet 12 MW. Przenośniki taśmowe o największych wydajnościach, prędkościach taśmy i zainstalowanych mocach wykorzystywane są do transportu nadkładu w odkrywkowych kopalniach węgla brunatnego, natomiast wiele interesujących wyzwań inżynierskich stawiają przed projektantami przenośniki powierzchniowe (overland conveyors) o długościach kilkunastu kilometrów przeznaczone do pracy w trudnych warunkach terenowych i klimatycznych oraz przenośniki taśmowe o zmiennej długości, wykorzystywane podczas drażenia tuneli lub pracujące w podziemnych kopalniach węgla kamiennego [12].

Nowoczesne przenośniki taśmowe z uwagi na warunki pracy i postawione im zadania transportowe wymagają stosowania taśm konstruowanych z wykorzystaniem najnowszych technologii, ich napędy są wyposażane w coraz doskonalsze i coraz bardziej złożone układy sterowania, a systemy podparcia taśmy są optymalizowane wg kryterium minimalizacji kosztów i zwiększenia ich trwałości. Wiele budowanych obecnie przenośników taśmowych jest wyposażanych w urządzenia napinające regulujące siłę w taśmie w funkcji obciążenia układu napędowego przenośnika. Nowe konstrukcje przenośników wymagają zastosowania w procesie ich projektowania specjalistycznego oprogramowania komputerowego, z nieustannie rozbudowywanymi algorytmami obliczeniowymi, wykorzystującymi najnowsze wyniki badań przemysłowych i eksploatacyjnych oraz doświadczeń prowadzonych w laboratoriach [12, 16]. Obecnie stosowane w świecie, najbardziej zaawansowane aplikacje komputerowe do wspomaganie projektowania stanowią przykład zintegrowanego projektowania przenośników taśmowych, obejmującego wielowariantowe obliczenia, weryfikację i dobór podzespołów przenośnika, analizę stanów dynamicznych oraz badania symulacyjne prowadzone w celu wybrania wariantu optymalnego zgodnie z założonymi kryteriami [10, 12].

2. Zintegrowane projektowanie przenośnika taśmowego

Przenośniki taśmowe posiadają budowę modułową i głównym zadaniem projektanta jest prawidłowy dobór i zestawienie gotowych podzespołów w unikalne, realizujące założone zadanie transportowe, urządzenie. Projektowanie przenośników jest zbiorem zintegrowanych procesów realizowanych przez zespół projektowy obejmujących analizę zadania transportowego, uwarunkowań i ograniczeń w jego realizacji, dobór parametrów ruchowych, podstawowe obliczenia, kompletację podzespołów przenośnika z uwzględnieniem uwarunkowań ekonomicznych, badania laboratoryjne oraz badania symulacyjne dla korekty parametrów ruchowych i nastaw układów sterowania (Fig. 1). Istotną część zintegrowanego projektowania przenośników taśmowych jest realizacja badań obiektu w warunkach przemysłowych w celu weryfikacji i kalibracji modeli obliczeniowych oraz uwzględnienie w procesie projektowania wyników badań eksploatacyjnych i diagnostycznych wybranych podzespołów przenośnika taśmowego [5, 6, 7, 14, 15, 18].

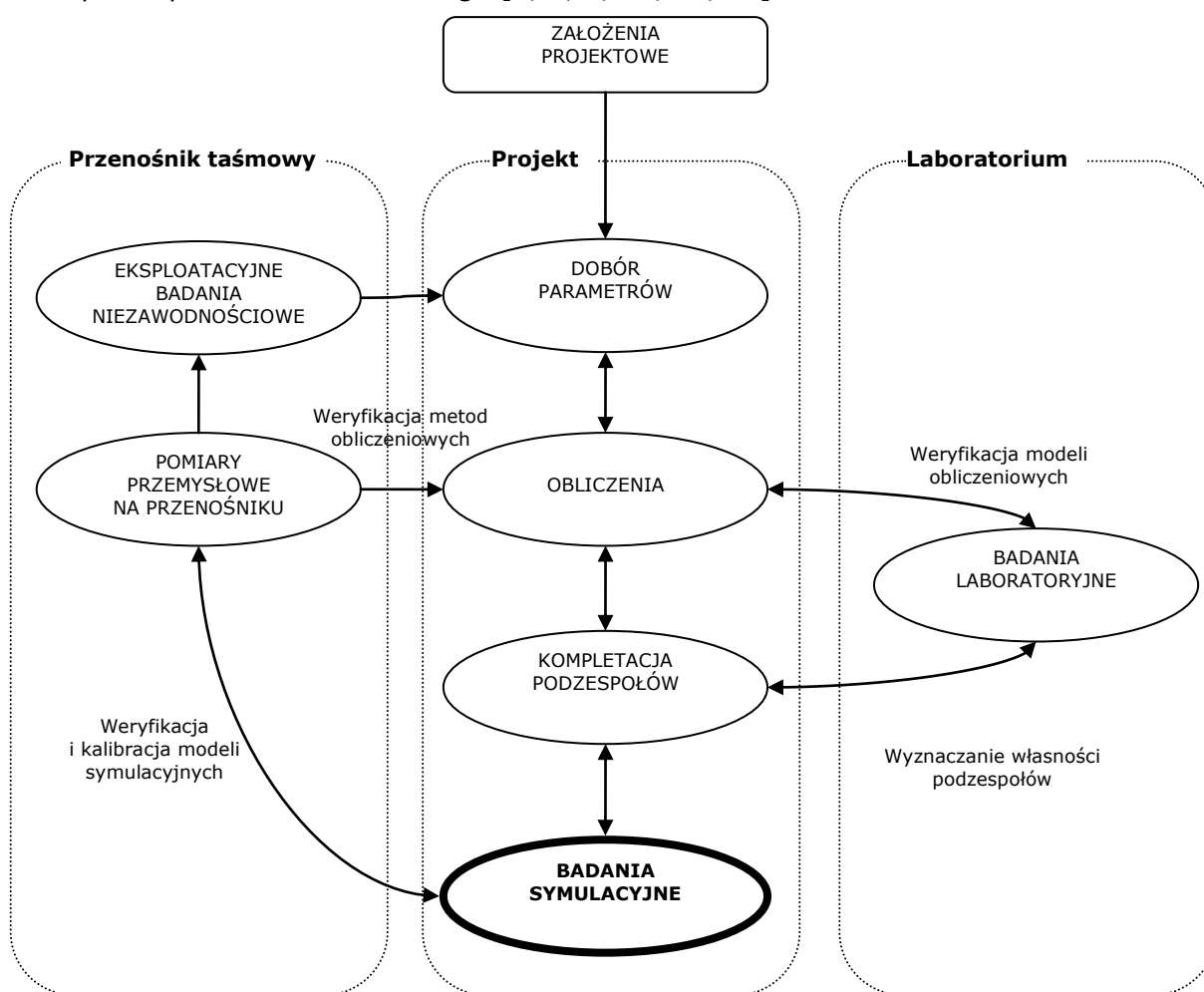


Fig. 1 Schemat przedstawiający miejsce badań symulacyjnych w procesie zintegrowanego projektowania przenośnika taśmowego [12]

Zadanie transportowe, w przypadku przenośników taśmowych, można zdefiniować jako proces, którego celem jest przetransportowanie zadanej ilości nosiwa w określonym czasie, między ustalonymi miejscami załadunku i rozładunku. Determinuje ono wydajność przenośnika oraz profil i plan trasy a zadaniem projektanta jest przyjęcie właściwej prędkości i szerokości taśmy oraz przeprowadzenie obliczeń podstawowych parametrów pracy przenośnika. Ten etap zintegrowanego projektu obliczeniowego jest fazą wstępnych obliczeń, a główną jego część stanowią obliczenia mocy napędu i wytrzymałości taśmy przeprowadzane z wykorzystaniem metody podstawowej (Fig. 2).

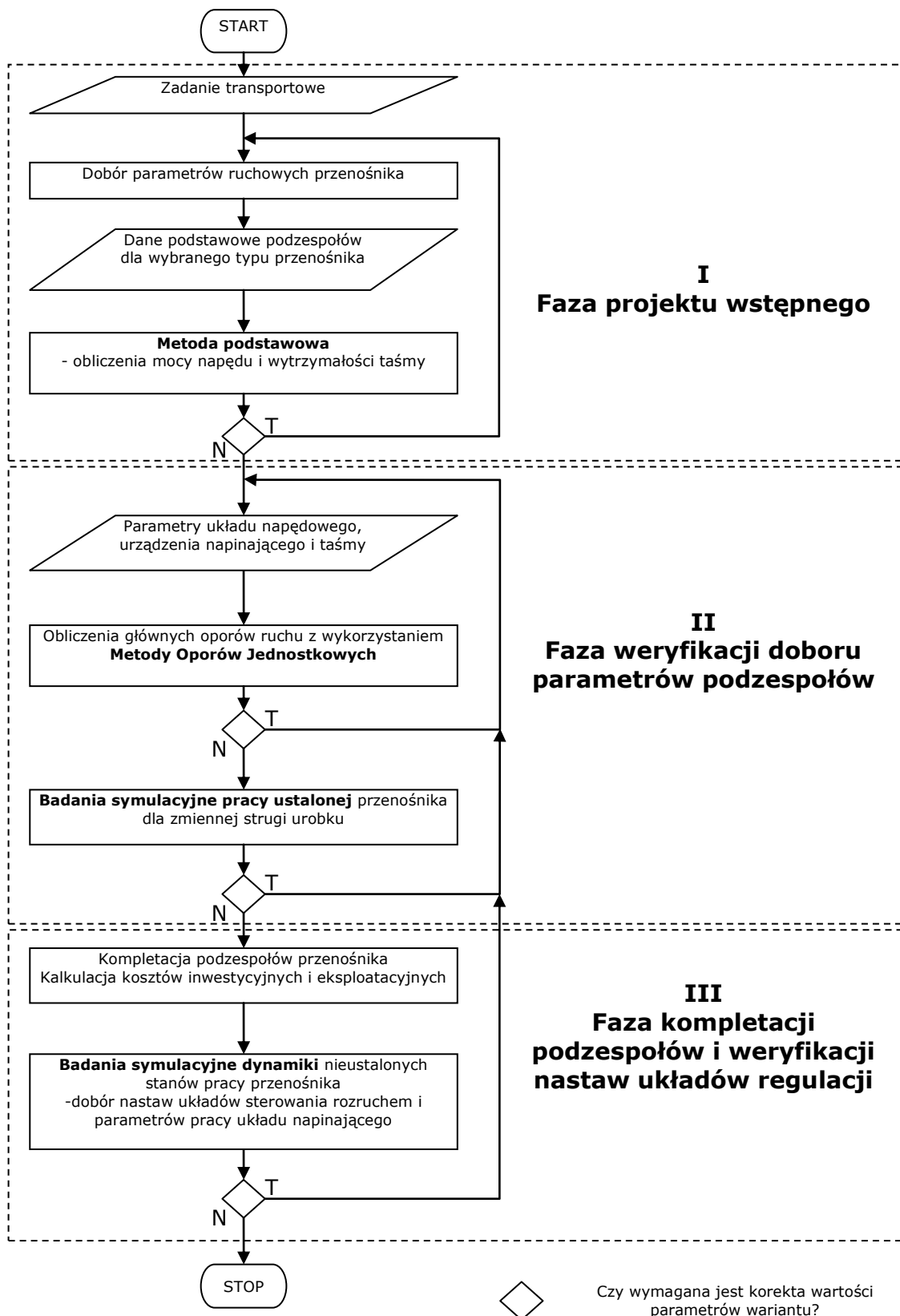


Fig. 2 Algorytm projektowania przenośnika taśmowego [12]

Kolejny etap stanowi weryfikacja doboru podzespołów: krążników, taśmy, układu napędowego i napinającego. Etap ten powinien być wspierany przez szczegółowe obliczenia oporów głównych przenośnika z wykorzystaniem Metody Oporów Jednostkowych [4]. Podsumowaniem tego etapu są badania symulacyjne pracy ustalonej przenośnika przy zmiennej wydajności punktów załadowniczych. Analizowany jest pobór mocy przez układ

napędowy przenośnika, stan obciążenia taśmy oraz jej stateczność na odcinkach łukowych trasy przenośnika (Fig. 2).

Trzeci i ostatni etap projektowania przenośników taśmowych obejmuje kompletację wyposażenia przenośnika w podzespoły, połączoną ze wstępną kalkulacją kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Na tym etapie występuje ostateczna weryfikacja poprawności doboru podzespołów w procesie symulacyjnych badań modelowych nieustalonych stanów pracy przenośnika. Korygowane są nastawy układu sterowania rozruchem oraz przeprowadzana jest analiza pracy urządzenia napinającego podczas rozruchu i hamowania przenośnika.

Na schemacie poniżej przedstawiono algorytm zawierający podstawowe etapy procesu zintegrowanego projektowania przenośników taśmowych (Fig. 2).

Istotnym celem badań symulacyjnych prowadzonych w II i III fazie zintegrowanego projektowania przenośników taśmowych jest analiza pracy układu napinania taśmy, przeprowadzona w oparciu o wyniki obliczeń dynamiki nieustalonych stanów pracy przenośnika, z uwzględnieniem własności reologicznych taśmy oraz parametrów pracy układu sterowania napędem.

Podstawowa, powszechnie stosowana metoda analizy dynamiki stanów nieustalonych pracy przenośnika taśmowego bazuje na założeniu, że wszystkie elementy ruchome przenośnika, czyli te znajdujące się ruchu postępowym jak materiał transportowany i taśma, jak i obracające się: krążniki i podzespoły układu napędowego są skupione w jednym punkcie o określonej masie, poruszającej się ze stałym przyspieszeniem lub opóźnieniem. W przypadku przenośnika taśmowego jest zbyt duże uproszczenie, gdyż ze względu na własności sprężyste taśmy nie wszystkie elementy ruchome przenośnika są przyspieszane jednocześnie. Podczas rozruchu występują w taśmie zjawiska falowe związane z przebiegiem fal naprężeń wywołanych działaniem układów napędowych i napinających taśmę. Zdarza się, szczególnie w przenośnikach o znacznej długości, że zwłoka czasowa wprowadzenia w ruch poszczególnych odcinków taśmy wynosi od kilku do kilkudziesięciu sekund. Zatem wyniki obliczeń uzyskane z wykorzystaniem standardowych metod oceny dynamiki rozruchu można uznać jedynie za szacunkowe lub wstępne do przeprowadzenia bardziej złożonych procedur analitycznych.

Problemy związane z analizą rozruchu przenośnika, pracą urządzeń napinających można rozwiązać korzystając z dynamicznego modelu przenośnika taśmowego o parametrach rozłożonych [8].

3. Dynamiczny model przenośnika taśmowego

W modelu przenośnika przedstawionym na Fig. 3 masy zredukowane napędów, czyli silników elektrycznych, sprzęgieł, przekładni i bębnow napędowych wraz z odpowiednimi odcinkami taśmy, materiałem transportowanym oraz masą zredukowaną odpowiedniej liczby krążników skupiono w punktach zainstalowania napędów. Masy zredukowane związane z taśmą górną i dolną skupiono odpowiednio w punktach masowych rozmieszczonych na trasie przenośnika.

W modelu fizycznym przeznaczonym do analizy zjawisk dynamicznych (Fig. 3) przez x_i , oznaczono przemieszczenia poszczególnych punktów taśmy ($i = 1, 2, \dots, n$). Opór ruchu taśmy na określonym odcinku przenośnika oznaczono jako W_i i założono, że wartość i zwrot siły oporu jest zależny od prędkości taśmy v_i . W zależności od postawionego celu badań modelowych wartość oporów ruchu jest wyznaczana na podstawie metod standardowych [3, 17] lub też metody oporów jednostkowych [4]. Składowe siły ciężkości taśmy i leżącego na niej materiału transportowanego, styczne do kierunku ruchu taśmy, oznaczono przez G_i , natomiast δ_i jest kątem nachylenia względem poziomu modelowanego i -tego odcinka taśmy. Siły czynne działające na taśmę, pochodzące od napędu oznaczono jako P_i [8].

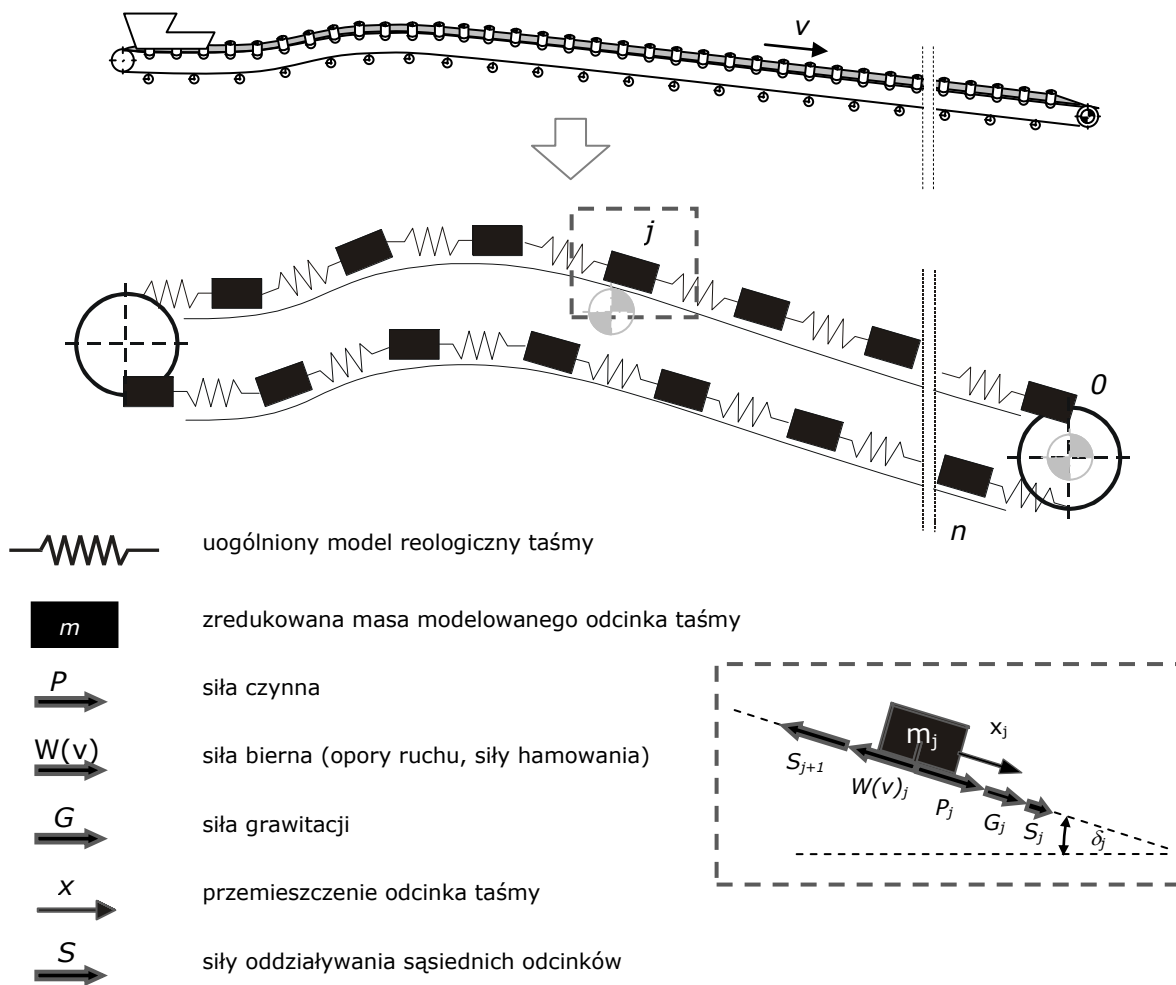


Fig. 3 Model do analizy zjawisk dynamicznych w taśmie przenośnikowej [8]

Ze względu na zjawiska reologiczne występujące w taśmie podczas pracy przenośnika do analizy jednoosiowego stanu naprężeń w przyjęto modele taśmy opracowane na podstawie literatury [13, 12, 19]. Wybór modelu reologicznego taśmy jest uzależniony od celu postawionego badaniom symulacyjnym. Jeżeli analizie są poddawane krótkotrwałe, nieustalone stany pracy przenośnika występujące podczas jego rozruchu i hamowania, to wystarczający jest model dwuparametrowy Kelvina-Voigta, o krótkim czasie relaksacji naprężeń, kalibrowanym podczas testów symulacyjnych. W przypadku analizy zmian zachodzących podczas pracy ustalonej przenośnika przy zmiennym obciążeniu nadawą konieczne jest wykorzystanie modelu standardowego lub czteroparametrowego, będącego szeregowym połączeniem dwóch modeli Kelvina-Voigta [12].

Matematyczny model przenośnika taśmowego jest opisany przez układ równań różniczkowych zwyczajnych 2-rzędu. W postaci macierzowej ma następującą postać [8]:

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{N} \cdot \dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{P} - \mathbf{W} + \mathbf{G} \quad (1)$$

gdzie: \mathbf{M} - macierz mas zredukowanych; \mathbf{N} - macierz współczynników tłumienia; \mathbf{K} - macierz współczynników sprężystości; \mathbf{W} - macierz oporów ruchu; \mathbf{P} - macierz sił czynnych; $\mathbf{x}(t)$ - macierz przemieszczeń; \mathbf{G} - macierz składowych sił ciężkości.

Poniżej, na Fig. 4, przedstawiono fragment blokowego modelu przenośnika z dwuparametrowym modelem reologicznym taśmy. Równanie ruchu dla j -tego segmentu tego modelu opisuje zależność (2), natomiast jego model blokowy przedstawiono na Fig. 5.

Sposób modelowania siły napędowej P_i jest zależny od zastosowanego typu układu rozruchowego. Dla potrzeb prowadzonych badań symulacyjnych opracowano szereg modeli powszechnie stosowanych napędów, które opisano w literaturze [12]

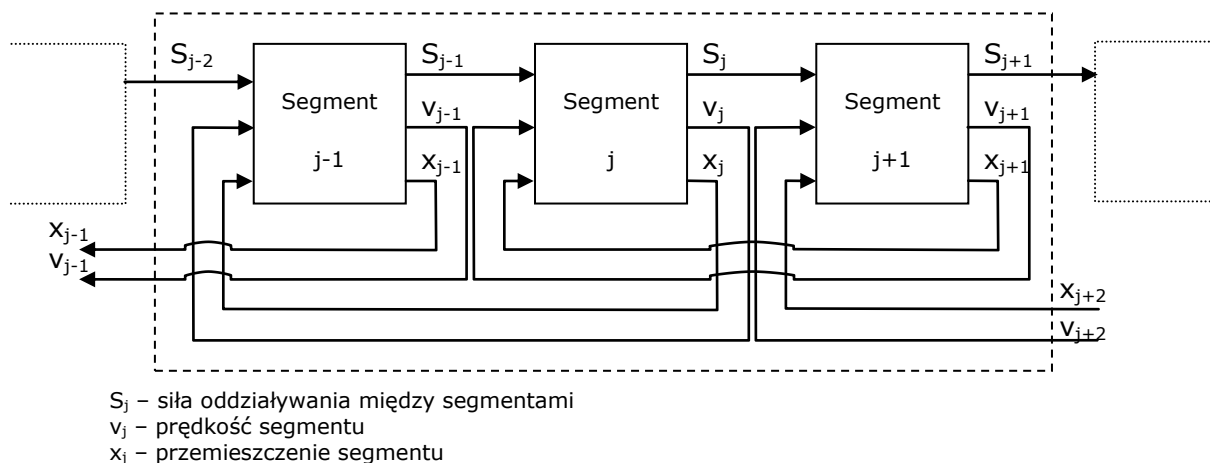


Fig. 4 Fragment blokowego modelu przenośnika [12]

Równanie ruchu dla j -tego segmentu przenośnika z dwuparametrowym modelem reologicznym taśmy ma postać:

$$m_{zrj} \ddot{x}_j = S_j - W_j - S_{j-1} + G_j + P_j \quad (2)$$

gdzie: S_j – suma sił sprężystości i tłumienia w reologicznym modelu taśmy, [N];

$$S_j = k_j(x_{j+1} - x_j) + \eta_j(\dot{x}_{j+1} - \dot{x}_j) \quad (3)$$

gdzie: k_j – współczynnik sprężystości reologicznego modelu taśmy, [N/m];
 η_j – współczynnik tłumienia reologicznego modelu taśmy, [Ns/m]; x – przemieszczenie segmentu, [m];

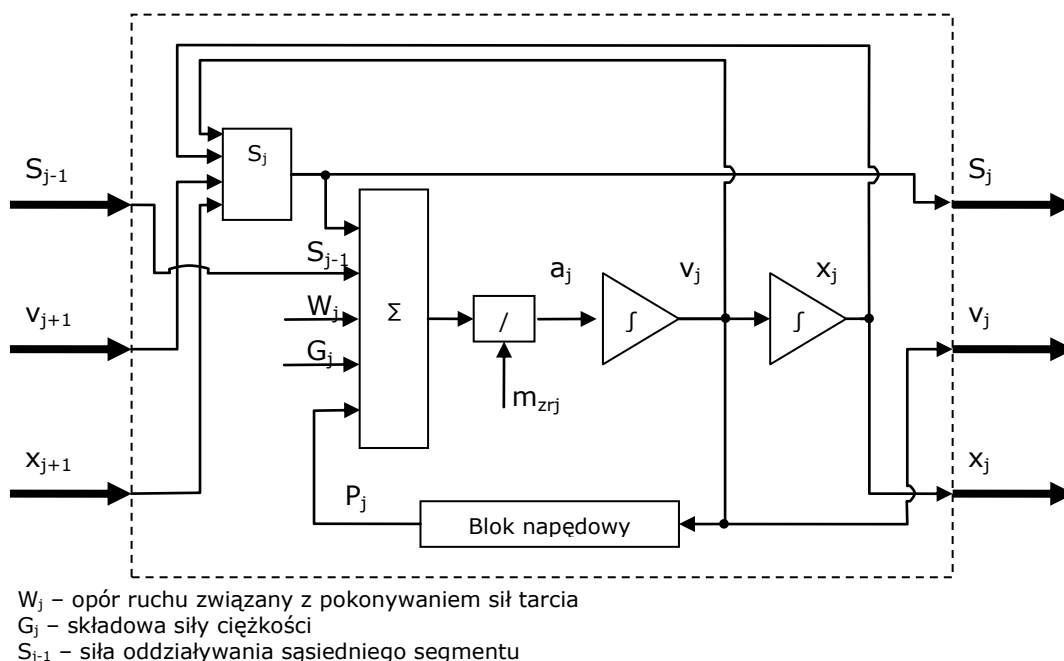


Fig. 5 Model blokowy segmentu napędowego w dynamicznym modelu przenośnika [12]

Jednym z najbardziej istotnych podzespołów przenośnika taśmowego jest układ napinania taśmy, zapewniający prawidłowy bieg taśmy i poprawną pracę układu napędowego.

Stosowane urządzenia napinające taśmę można podzielić na dwie grupy:

- ze stałym położeniem bębna napinającego podczas pracy przenośnika: sztywny układ napinania,
- ze zmiennym położeniem bębna napinającego podczas pracy przenośnika: grawitacyjny, hydrauliczny i naddżny układ napinania taśmy.

Poniżej przedstawiono na schemacie na Fig. 6, powszechnie stosowany w przenośnikach powierzchniowych, fizyczny model grawitacyjnego układu napinania. Na Fig. 7 zamieszczono uproszczony, w stosunku do schematu blokowego na Fig. 5, model segmentu napinania taśmy w dynamicznym modelu przenośnika.

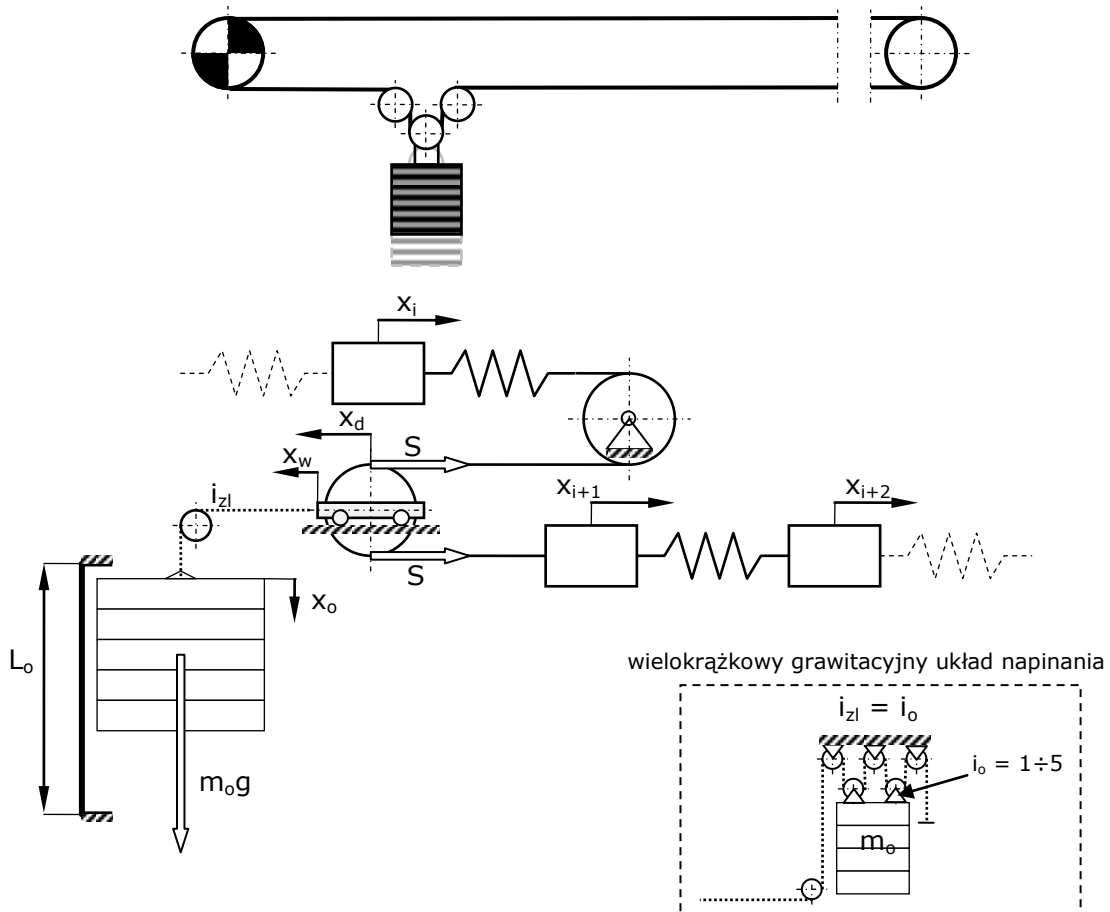


Fig. 6 Schemat i model fizyczny grawitacyjnego urządzenia napinającego [12]

Obliczona wartość prędkości i przemieszczenia dodatkowego punktu taśmy x_d jest wprowadzana do układu równań różniczkowych opisujących model przenośnika.

Przyspieszenie obciążnika jest wyznaczane na podstawie następującej zależności:

$$a_o = \frac{2 \cdot S \cdot i_{zl} \cdot \eta_{zl}}{m_o \cdot n_o} - g \quad [\text{m/s}^2] \quad (4)$$

gdzie: m_o – masa obciążnika, [kg]; n_o – liczba obciążników, [-]; S – siła w taśmie, [N]; i_{zl} – przełożenie układu zlinowania, [-]; η_{zl} – sprawność układu zlinowania $\eta_{zl} = f(v_o)$, [-];

Po wyznaczeniu, w operacji całkowania przyspieszenia obciążnika - a_o , przemieszczenia - x_o oraz uwzględnieniu konstrukcyjnych ograniczeń długości drogi napinania L_o obliczona zostaje wartość przemieszczenie wózka napinającego. W obliczeniach tej wartości uwzględniono

przełożenie układu zlinowania i jego sprawność, zmienną w zależności od prędkości obciążnika v_o . Wartość prędkości punktu dodatkowego v_d wyznaczano na podstawie zależności (5).

$$v_d = v_{i+1} + 2v_w \quad [\text{m/s}] \quad (5)$$

gdzie: v_d – prędkość dodatkowego punktu, [m/s]; v_w – prędkość wózka napinającego, [m/s]; v_{i+1} – prędkość punktu masowego $i+1$, [m/s];

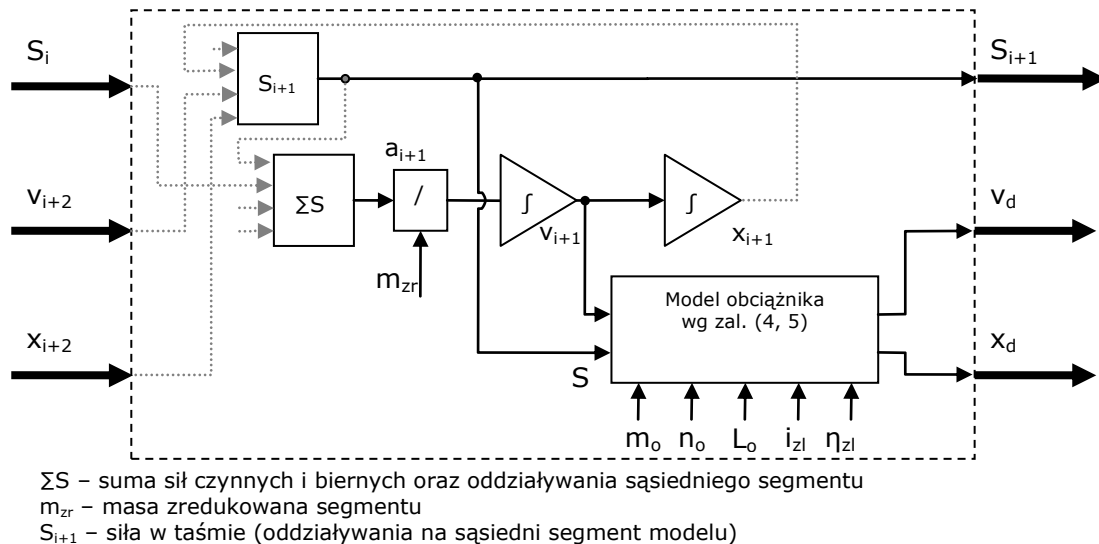


Fig. 7 Uproszczony model blokowy segmentu napinania grawitacyjnego w dynamicznym modelu przenośnika

Parametry pracy grawitacyjnego układu napinania są regulowane poprzez liczbę i masę obciążników oraz długość drogi napinania.

Poniżej zamieszczono wyniki badań symulacyjnych przenośnika z wciągarką i grawitacyjnym układem napinania taśmy zweryfikowane z wynikami badań przemysłowych przeprowadzonych w kopalni rudy miedzi [11].

4. Weryfikacja wyników badań symulacyjnych dyskretnego modelu przenośnika z grawitacyjnym układem napinania taśmy

Podczas badań symulacyjnych przeprowadzonych z wykorzystaniem dyskretnego modelu przenośnika zastosowano:

- do obliczania sił biernych oporów ruchu metodę oporów jednostkowych (TT) [4],
- standardowy model reologiczny taśmy (3p) wg [13],
- model grawitacyjnego układu napinania taśmy,
- model układu napędowego z hydrodynamicznymi sprzęgłami rozruchowymi,
- zmienną sekwencję włączania silników.

Zestawienie wybranych parametrów procesów i modeli podzespołów przyjętych podczas badań symulacyjnych przenośnika taśmowego, kod symulacji: model3p-TT, zamieszczono w publikacjach [12, 13].

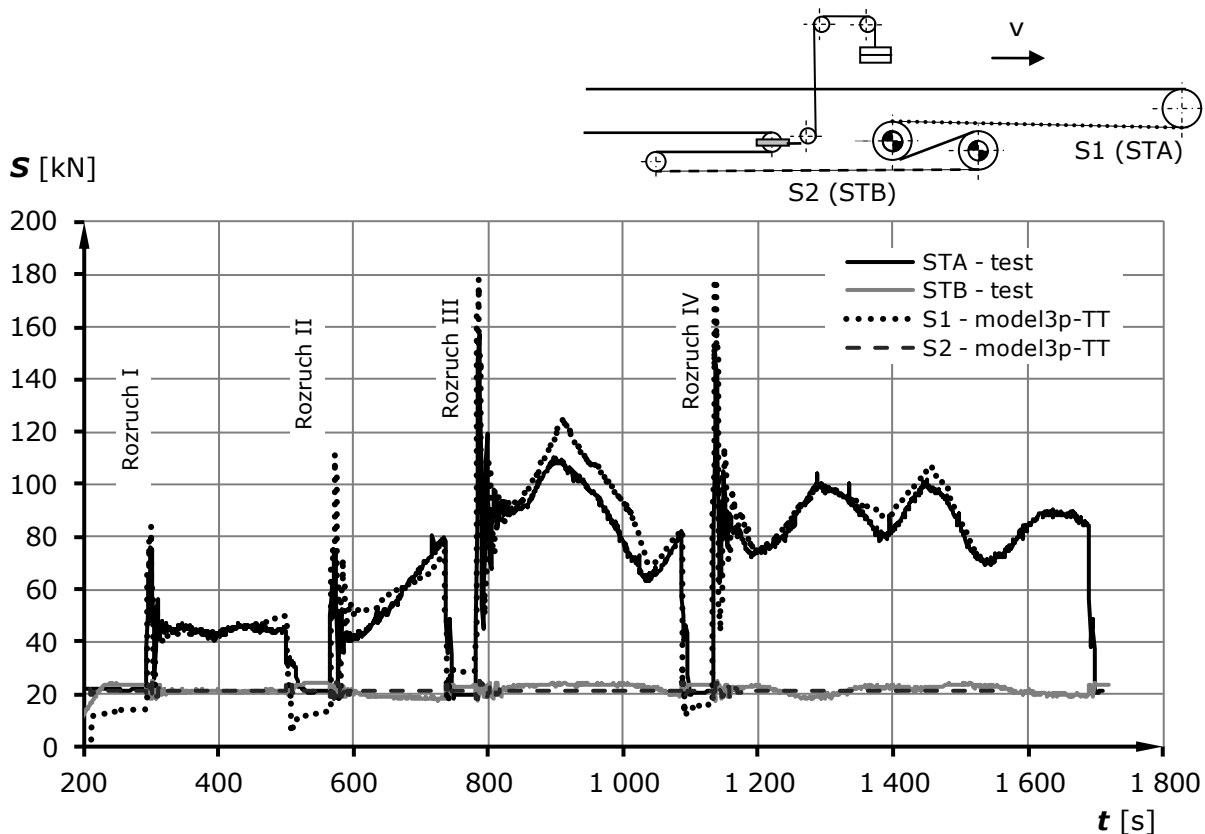


Fig. 8 Przebieg zmian sił w taśmie przenośnika podczas pracy ustalonej, rozruchu i hamowania – badania przemysłowe (test) oraz badania symulacyjne dyskretnego modelu przenośnika (model3p-TT) [13]

Analiza wyników zmian sił w taśmie, uzyskanych na podstawie badań symulacyjnych dyskretnego modelu przenośnika (model3p-TT) i badań przemysłowych (test), wskazuje na poprawność sformułowanych założeń do budowy modelu. Wartości siły **S1**, uzyskane w badaniach modelowych, są większe od zmierzonej wartości siły **STA**, co może być spowodowane nie uwzględnieniem poślizgu między taśmą a bębniem, który w rzeczywistości wystąpił na bębnie AB podczas wszystkich rejestrowanych rozruchów (Fig. 8).

Weryfikacja dyskretnego modelu przenośnika taśmowego w głównej mierze dotyczyła nieustalonych stanów pracy, dlatego też na Fig. 9 przedstawiono porównanie wyników badań przemysłowych i symulacyjnych w postaci przebiegów przemieszczenia wózka napinającego i prędkości taśmy w czasie rozruchów przenośnika I÷IV. Podczas zarejestrowanych rozruchów stan załadunku przenośnika nośnikiem był różny [13], dlatego też przebiegi uzyskane na drodze badań symulacyjnych można uznać za satysfakcjonujące, a przyjęty model oporów ruchu i model reologiczny taśmy za poprawny. Poza możliwym błędem w oszacowaniu wydajności przenośnika, niedokładność obliczeń mocy napędu, siły w taśmie i długości drogi napinania może być również spowodowana przybliżonym odwzorowaniem profilu trasy przenośnika. Z powodu braku dokładniejszych informacji geodezyjnych trasę przenośnika opisano przy pomocy jednego odcinka o stałym nachyleniu, natomiast w rzeczywistości trasa przenośnika jest złożona z segmentów o długości 2,5 m posadowionych na spągu wyrobiska. Zmienny kąt nachylenia poszczególnych odcinków trasy, powiązany ze zmiennością strugi nośnika może mieć istotny wpływ na chwilowe obciążenia napędu.

Użyteczność wyników badań symulacyjnych, przeprowadzonych z wykorzystaniem tych modeli, byłaby trudna do określenia gdyby nie proces ich weryfikacji, przeprowadzony w miejscu eksploatacji przenośnika z wykorzystaniem mobilnego systemu pomiarowego. System ten, powstały na podstawie oryginalnej koncepcji, wraz z zastosowaną aparaturą pomiarową i odpowiednimi procedurami obróbki danych wykazał pełną przydatność w czasie pomiarów wykonywanych w warunkach przemysłowych a uzyskane wyniki dały pełen obraz dynamiki nieustalonych stanów pracy przenośnika [11].

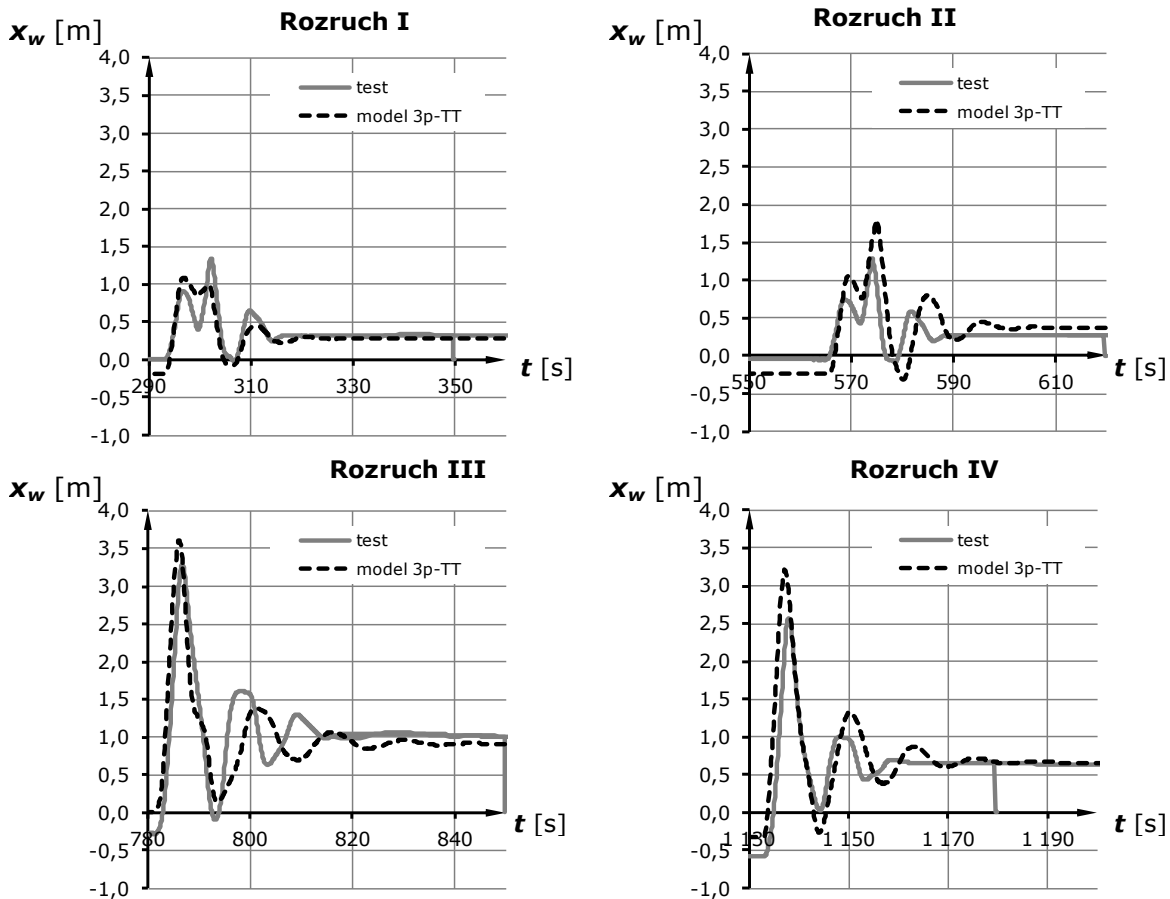


Fig. 9 Przebieg zmian przemieszczenia wózka napinającego – porównanie wyników badań przemysłowych (test) i symulacyjnych z wykorzystaniem standardowego modelu taśmy (model 3p-TT) [13]

5. Podsumowanie

Projektowanie przenośnika taśmowego jest zbiorem zintegrowanych procesów realizowanych w celu prawidłowego doboru i zestawienia jego podzespołów w unikalne, realizujące określone zadanie transportowe, urządzenie. W niniejszym artykule przedstawiono badania symulacyjne pracy przenośnika taśmowego, jako nieodłączną i istotną część zintegrowanego procesu jego projektowania.

Badania symulacyjne prowadzono z wykorzystaniem dynamicznego modelu przenośnika taśmowego o parametrach rozłożonych, którego integralną część stanowią modele urządzeń napinających taśmę. Ich budowę i miejsce w modelu przenośnika opisano za pomocą uproszczonych schematów blokowych i równań [12]. Otrzymane wyniki badań przemysłowych przenośnika taśmowego, prowadzonych podczas rozruchu, hamowania i pracy ustalonej przy zmiennym obciążeniu nosiwem, porównano z rezultatami badań symulacyjnych dynamicznego modelu przenośnika taśmowego z trójparametrowym modelem reologicznym taśmy [19] i modułem wyznaczania sił biernych na podstawie oporów jednostkowych [4]. W modelu układu napędowego wykorzystano sparometryzowane charakterystyki sprzęgieł hydrodynamicznych wyznaczone na stanowisku badawczym firmy VOITH [9]. Porównanie otrzymanych wyników wykazało, że dyskretny model przenośnika taśmowego wraz z modelami urządzeń napinających taśmę może być z powodzeniem i z zadowalającą dokładnością wykorzystywany do symulacji rozruchu, hamowania i ciągłej pracy przenośnika, przy zmiennej nadawie materiału transportowanego.

Badania symulacyjne prowadzone podczas projektowania przenośnika umożliwiają dobór właściwych podzespołów, optymalnych parametrów ruchowych oraz prawidłowych nastaw układów regulacji, co skutkuje znacznym ograniczeniem przyszłych problemów eksploatacyjnych.

6. Bibliografia

1. Advanced Conveyor Technologies Inc. Sidewinder. [online], 2011.
<http://www.actek.com/>.
2. Conveyor Dynamic, Inc. Software: Beltstat, Beltflex, Beltcurv. [online], 2011.
http://www.conveyor-dynamics.com/cdi_intro.htm.
3. Deutsches Instit. Normung. DIN 22101, Stetigfoerderer. Gurtfoerderer fur Schuttgutter, 2002.
4. Gładysiewicz L. Przenośniki taśmowe. Teoria i obliczenia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003.
5. Gładysiewicz L., Król R., Bukowski J. Eksperymentalne badania oporów ruchu przenośnika taśmowego. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2011; 3:17–25.
6. Hardygóra M., Komander H., Błażej R., Jurdziak L. Metoda prognozowania trwałości zmęczeniowej złączy wieloprzekładkowych taśm przenośnikowych. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2012; 14 (2):171–175.
7. Kacprzak M., Kulinowski P., Wędrychowicz D. Informatyczny system zarządzania procesem eksploatacji górniczych przenośników taśmowych. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2011; 2:81–93.
8. Kulinowski P. Badania modelowe nieustalonych stanów pracy przenośników taśmowych. Praca doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1997.
9. Kulinowski P. Dynamic Start-up Calculations for Belt Conveyors with Measured Torque Curves of Fluid Couplings. Mine Planing and Equipment Selection 2004, A.A. Balkema Publishers, 2004; 443–448.
10. Kulinowski P. Informatyczne wspomaganie procesu projektowania przenośników taśmowych. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2007; T.23, Z.4:209–221.
11. Kulinowski P. Identyfikacja parametrów techniczno-ruchowych przenośników taśmowych z wykorzystaniem mobilnego systemu pomiarowego. Maszyny Górnicze, 2008; 3:35–43.
12. Kulinowski P. Metodyka zintegrowanego projektowania górniczych przenośników taśmowych. Wydawnictwa AGH, 2012.
13. Kulinowski P., Zarzycki J., Furmanik K. Identyfikacja parametrów standardowego modelu reologicznego taśmy i jego wykorzystanie w symulacyjnych badaniach dynamiki przenośników taśmowych. Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze 2012; 2:3–8.
14. Kwaśniewski J. The use of monitoring to improve the reliability and endurance of continous coal handling systems. Archives of Mining Sciences, 2012 56(4):651–664.
15. Mazurkiewicz D. Badania wydłużalności i wytrzymałości złączy klejonych w aspekcie opracowania komputerowego systemu monitorowania ich stanu w czasie pracy przenośnika taśmowego. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 2010; 3 (47):34.
16. Overland Conveyor Company, Inc. Belt Analyst™. [online], 2011.
<http://www.overlandconveyor.com>.
17. PN-M-46552:1993 Przenośniki taśmowe z krążnikami podpierającymi taśmę. Obliczanie mocy napędowej i sił napinających taśmę. Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości. 1993.
18. Szybka J., Wędrychowicz D. Wyznaczanie strategii prewencyjnych odnów przenośników taśmowych. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2010, Kraków, 22–26 lutego 2010. Wydawnictwo IGSMiE PAN.
19. Zarzycki J. Wpływ własności reologicznych taśmy na parametry eksploatacyjne przenośnika. Praca doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, 2011.