

## Spis treści

<b>Streszczenie</b> .....	9
<b>Summary</b> .....	11
<b>Wykaz ważniejszych symboli i oznaczeń</b> .....	13
<b>1. Wprowadzenie</b> .....	15
1.1. Górnicze przenośniki taśmowe .....	15
1.2. Analiza stanu wiedzy i kierunki rozwoju metod obliczania przenośników taśmowych .....	20
1.2.1. Aktualne kierunki badawcze w dziedzinie transportu taśmowego .....	20
1.2.2. Informatyczne narzędzia wspomagania projektowania przenośników taśmowych .....	21
1.2.2.1. Aplikacja mConveyor™ .....	21
1.2.2.2. System wspomagania projektowania Sidewinder™ .....	22
1.2.2.3. Pakiet programowy do wspomagania projektowania przenośników firmy CDI .....	23
1.2.2.4. Pakiet programowy HELIX delta-T .....	25
1.2.2.5. Program Belt Analyst™ .....	26
1.2.2.6. Pakiet programowy Pro-Belt™ .....	28
1.2.2.7. Aplikacja Winbelt™ .....	28
1.2.3. Kierunki rozwoju oprogramowania wspomagającego obliczenia przenośników taśmowych .....	29
<b>2. Projektowanie przenośników taśmowych</b> .....	30
2.1. Metody obliczania oporów ruchu przenośników taśmowych .....	33
2.1.1. Metoda podstawowa .....	34
2.1.1.1. Opory główne przenośnika według standardów europejskich .....	35
2.1.1.2. Opory główne przenośnika według standardu CEMA .....	40
2.1.1.3. Opory skupione .....	41
2.1.2. Metoda oporów jednostkowych .....	43
2.1.2.1. Opór wgniatania krążnika w taśmę .....	44
2.1.2.2. Opór przeginania taśmy .....	45

2.1.2.3. Opór falowania nosiwa .....	45
2.1.2.4. Opór obracania krążników .....	47
2.1.2.5. Opór ślizgania taśmy po krążnikach .....	47
2.1.3. Ocena porównawcza stosowanych metod obliczania oporów ruchu .....	47
2.2. Charakterystyka statyczna układu napędowo-napinającego przenośnika taśmowego .....	49
2.2.1. Minimalne wartości siły napinającej taśmę .....	49
2.2.2. Charakterystyki statyczne urządzeń napinających taśmę przenośnika .....	51
2.3. Analityczna metoda doboru układu napinania taśmy .....	55
2.3.1. Metoda obwiedniowa obliczania sił w taśmie .....	55
2.3.2. Standardowa metoda obliczania długości skoku wózka napinającego .....	58
2.3.2.1. Sztywny układ napinania taśmy .....	58
2.3.2.2. Układ napinania taśmy ze zmiennym położeniem bębna .....	59
2.3.3. Zastępczy moduł sprężystości taśmy na przenośniku .....	60
2.3.4. Zmodyfikowany algorytm obliczania długości drogi napinania taśmy .....	63
2.3.5. Diagram drogi napinania taśmy .....	63
2.3.6. Ocena wpływu zastępczego modułu $E_z$ na długość drogi napinania taśmy .....	64
2.4. Metody analizy dynamiki nieustalonych stanów pracy przenośników taśmowych .....	67
2.4.1. Standardowa metoda obliczania czasu rozruchu przenośnika .....	67
2.4.2. Numeryczna metoda analizy dynamiki pracy przenośnika taśmowego .....	68
<b>3. Informatyczne narzędzie wspomaganie obliczania – program QNK™ .....</b>	<b>70</b>
3.1. Wprowadzenie .....	70
3.2. Algorytm obliczania i doboru podzespołów przenośników taśmowych .....	70
3.3. Opis aplikacji .....	72
3.3.1. Podstawowy interfejs programu QNK™ .....	73
3.3.2. Strukturalny, rozszerzony moduł programu .....	78
3.4. Model strukturalny przenośnika taśmowego .....	81
<b>4. Dynamiczny model przenośnika taśmowego .....</b>	<b>88</b>
4.1. Modele reologiczne taśm przenośnikowych .....	91
4.2. Modele fizyczne urządzeń napinających taśmę .....	93
4.2.1. Sztywny układ napinania taśmy .....	93
4.2.2. Grawitacyjny układ napinania taśmy .....	95

4.2.3. Hydrauliczny układ napinania taśmy .....	97
4.2.4. Nadażny, mechaniczny układ napinania taśmy .....	98
4.3. Model układu napędowego .....	100
4.3.1. Silnik asynchroniczny klatkowy z rozruchem bezpośrednim .....	102
4.3.2. Silnik asynchroniczny klatkowy rozrusznikiem tyrystorowym .....	103
4.3.3. Silnik asynchroniczny klatkowy sterowany przemiennikiem częstotliwości .....	104
4.3.4. Silnik pierścieniowy z rozrusznikiem stycznikowo-oporowym .....	107
4.3.5. Układ napędowy wyposażony w sprzęgło hydrodynamiczne .....	108
4.4. Model oporów ruchu przenośnika .....	110
4.5. Przykład wykorzystania dynamicznego modelu przenośnika w procesie projektowania układów napędowo-napinających .....	111
<b>5. Kalibracja parametrów modeli obliczeniowych oraz weryfikacja jakości i dokładności obliczeń .....</b>	<b>114</b>
5.1. Wyznaczanie współczynnika oporów głównych $f$ .....	114
5.1.1. Sprawność układu napędowego .....	115
5.1.2. Uproszczona metoda wyznaczania współczynnika oporów głównych .....	116
5.1.3. Wyznaczanie współczynnika oporów ruchu przenośnika taśmowego w upadowej odstawczo-transportowej KWK Marcel .....	119
5.2. Badanie oporów ruchu taśmy po zestawach krążnikowych .....	122
5.3. Badanie oporów obracania krążników .....	127
5.4. Badanie sztywności poprzecznej taśm przenośnikowych .....	132
5.4.1. Wpływ sztywności poprzecznej taśmy na możliwości jej eksploatacji .....	132
5.4.2. Stanowiska do badań sztywności poprzecznej taśmy przenośnikowej .....	133
5.4.2.1. Stanowisko badawcze z taśmą podwieszaną (wg PN-EN ISO 703) .....	133
5.4.2.2. Stanowisko badawcze z taśmą podpartą .....	134
5.4.3. Porównanie metod badania sztywności poprzecznej taśm .....	135
5.5. Wyznaczanie parametrów modeli reologicznych taśm przenośnikowych .....	137
5.6. Mobilny system pomiarowy .....	139
5.6.1. Stosowane metody pomiarów podstawowych parametrów pracy przenośników taśmowych .....	139
5.6.2. Koncepcja mobilnego stanowiska pomiarowego .....	140
5.6.3. Opis wielkości rejestrowanych .....	141
5.6.4. Stanowisko do rejestracji prędkości taśmy i wydajności przenośnika .....	141
5.6.5. Stanowisko pomiarowe układu napędowo-napinającego .....	143
5.6.6. Analiza błędu pomiaru siły w taśmie .....	147
5.6.7. Stanowisko do pomiaru parametrów elektrycznych .....	148
5.6.8. Synchronizacja węzłów akwizycji danych .....	149

5.6.9. Badania przemysłowe układu napędowo-napinającego .....	150
5.6.10. Weryfikacja siły napinającej taśmę w sztywnych układach napinania .....	155
5.6.11. Analiza stanu obciążenia zestawu krążnikowego .....	158
5.6.11.1. Koncepcja stanowiska pomiarowego .....	158
5.6.11.2. Badania przemysłowe .....	160
5.6.11.3. Porównanie wyników badań doświadczalnych i obliczeń teoretycznych .....	164
5.7. Porównanie wyników badań przemysłowych i symulacyjnych .....	166
5.7.1. Badania przemysłowe .....	167
5.7.2. Ocena stanu obciążenia przenośnika nosiwem .....	169
5.7.3. Pomiar sprawności układu napędowego .....	170
5.7.4. Weryfikacja modułu obliczeniowego QNK™ .....	172
5.7.5. Weryfikacja wyników badań symulacyjnych dyskretnego modelu przenośnika .....	174
<b>6. Metody i wskaźniki oceny pracy układu napędowo-napinającego przenośników taśmowych .....</b>	<b>181</b>
6.1. Charakterystyka statyczna jako narzędzie oceny pracy układu napędowo-napinającego .....	181
6.1.1. Metoda analizy pracy ciernego napędu bębnowego przenośnika taśmowego .....	181
6.1.2. Przykład wykorzystania charakterystyki statycznej układu napędowo-napinającego w doborze parametrów pracy napędu bębnowego .....	182
6.1.3. Wykorzystanie charakterystyk układów napędowo-napinających w ocenie pracy przenośników taśmowych .....	184
6.1.3.1. Analiza pracy układu napędowo-napinającego z układem łagodnego rozruchu .....	184
6.1.3.2. Analiza pracy układu napędowo-napinającego z rozruchem bezpośrednim .....	186
6.2. Wskaźniki oceny jakości rozruchu przenośnika taśmowego .....	188
6.2.1. Wskaźniki oceny jakości rozruchu stosowane w praktyce obliczeniowej .....	188
6.2.2. Nowy wskaźnik przeciążenia taśmy podczas rozruchu przenośnika taśmowego .....	189
6.2.2.1. Dozwolona wartość siły w taśmie .....	190
6.2.2.2. Prawdopodobieństwo przeciążenia taśmy podczas rozruchu przenośnika .....	191
6.2.2.3. Liczba złączy w strefie niebezpiecznej podczas rozruchu .....	192
6.2.3. Ocena wskaźników jakości rozruchu .....	192
<b>7. Podsumowanie .....</b>	<b>193</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>197</b>