

Spis treści

Od Autora 11

Wykaz ważniejszych, stosowanych skrótów oraz oznaczeń wraz z ich jednostkami 15

1. Zarys historii rozwoju lin 21

1.1. Rys historyczny rozwoju lin w starożytności 21

1.1.1. Wprowadzenie 21

1.1.2. Liny w czasach prehistorycznych 25

1.1.3. Liny w starożytności 30

1.2. Rys historyczny rozwoju lin do Rewolucji Przemysłowej 40

1.2.1. Średniowiecze 41

1.2.2. Odrodzenie i Oświecenie 43

1.2.3. Czasy rewolucji przemysłowej 47

1.2.4. Pierwsze liny wykonane z drutów ciągnionych ze stali węglowych 50

1.2.5. Lina Alberta 54

1.3. Pierwsze nowoczesne liny stalowe 56

2. Liny stalowe 63

2.1. Elementy budowy lin stalowych 63

2.2. Materiały stosowane do produkcji lin stalowych 68

2.2.1. Wprowadzenie 68

2.2.2. Drut stalowy na liny 70

2.2.3. Rdzenie lin stalowych 90

2.2.4. Pokrycia lin stalowych i spletek 96

2.2.5. Smary do lin stalowych 98

2.3. Oznaczanie spletek i lin stalowych ze względu na budowę i wykonanie 101

2.3.1. Obecny system oznaczania lin stalowych wg normy PN-EN 12385-1:2000 102

2.3.2. Poprzedni system oznaczania lin stalowych wg normy PN-ISO 3578:1997 105

2.3.3. System oznaczania lin stalowych wg polskiej normy PN-68/M-80200	107
2.3.4. Poprzedni (nieobowiązujący) systemem normalizacji wg DIN stosowany w Niemczech	108
2.3.5. Elementy oznaczania lin stalowych wg normalizacyjnego systemu angielskiego BS	108
2.4. Budowa splotek lin stalowych	109
2.4.1. Rodzaje styku powierzchni drutów w splotce	109
2.4.2. Podstawowe konstrukcje splotek lin stalowych o przekroju okrągłym	115
2.4.3. Geometria splotek lin stalowych o przekroju kształtowym	122
2.4.4. Podstawowe konstrukcje splotek deformowanych plastycznie	125
2.5. Budowa splotek lin stalowo-włókiennych	129
2.6. Technologia produkcji splotek i lin stalowych	130
3. Przegląd konstrukcji lin stalowych oraz ich połączeń i zakończeń	134
3.1. Liny stalowe jednozwite	136
3.1.1. Liny jednozwite z drutów okrągłych (liny spiralne)	136
3.1.2. Liny jednozwite półzamknięte (HLCR) wykonane z drutów kształtowych	137
3.1.3. Liny jednozwite zamknięte (FLCR) wykonane z drutów kształtowych	138
3.2. Liny stalowe dwuzwite o przekroju okrągłym	140
3.2.1. Liny stalowe dwuzwite okrągłosplotkowe	140
3.2.2. Liny stalowe dwuzwite o splotkach kształtowych	146
3.2.3. Liny stalowe dwuzwite nieodkrętnie o splotkach okrągłych	151
3.2.4. Liny stalowe o splotkach deformowanych plastycznie (liny kompaktowane)	155
3.2.5. Liny stalowe okrągłe plastikowane	158
3.3. Stalowe liny kablowe	160
3.4. Liny stalowe stosowane w konstrukcjach złożonych	162
3.4.1. Liny stalowe do taśm przenośnikowych z kordem wzmacnianym linkami	162
3.4.2. Linki stalowe do pasów pędnych dźwigów osobowych i towarowych	165
3.4.3. Liny stalowe przeznaczone na ciągną sprężające	166
3.4.4. Liny stalowe do kabli energetycznych i kable w opłotach stalowych	167

3.4.5. Liny stalowo-włókienne i liny hybrydowe	169
3.5. Liny stalowe o przekroju prostokątnym	172
3.5.1. Liny płaskie szyte i nitowane	172
3.5.2. Liny płaskie stalowo-gumowe	174
3.6. Zakończenia i połączenia lin stalowych	177
3.6.1. Sposoby mocowania końców lin stalowych	177
3.6.2. Sposoby łączenia odcinków lin stalowych przez zaplatanie końców	196
3.6.3. Zawieszenia linowe	207
3.6.4. Systemy mocowania elementów konstrukcji do lin stalowych	210
3.6.5. Mocowanie końców lin stalowych na bębnach	210
3.7. Nowe materiały na liny	212
3.7.1. Liny z włókien węglowych	213
3.7.2. Liny wykonane z włókien sztucznych	216
4. Dobór lin stalowych do określonych warunków pracy	221
4.1. Wprowadzenie	221
4.2. Wymiary geometryczne lin stalowych	223
4.3. Obliczanie lin stalowych	228
4.3.1. Klasyczne definicje wytrzymałości lin stalowych i ich interpretacja	228
4.3.2. Definicje i wymagania techniczne wprowadzone normą PN-EN 12385	239
4.4. Podstawowe zasady doboru lin stalowych do przenoszenia obciążeń wzdłużnych	243
4.5. Zerwanie liny pod wpływem obciążenia własną masą	250
4.6. Zasady doboru lin stalowych przenoszących obciążenia poprzeczne	252
4.7. Praca lin stalowych w układach wielokrążkowych i napędach linowych	260
4.7.1. Kinematyka wielokrążkowych układów linowych	261
4.7.2. Obciążenia lin pracujących w układach wielokrążkowych	264
4.8. Rola i udział sił tarcia w pracy lin stalowych	268
4.8.1. Sprężenie cierne pomiędzy liną a pędną linową	268

4.8.2. Przykłady napędów i uchwytów linowych wykorzystujących sprzężenie cierne	274
4.8.3. Rola sił tarcia w technologii wymiany lin górniczych wyciągów szybowych	282
4.8.4. Windy frykcyjne (windy cierne)	284
4.9. Naciski pomiędzy liną a bieżnią pędni linowej	285
4.9.1. Naciski powierzchniowe	285
4.9.2. Rowki kół linowych	288
4.9.3. Wykładziny rowków kół linowych	292
4.10. Pędnie bębnowe	295
5. Właściwości eksploatacyjne lin stalowych	305
5.1. Eksploatacja lin	305
5.2. Wprowadzanie lin stalowych do eksploatacji	306
5.3. Wydłużanie się i moduł sprężystości pracujących lin stalowych	310
5.4. Moment odkrętu lin stalowych	319
5.5. Trwałość zmęczeniowa lin stalowych	327
5.6. Przyczyny zużywania się i odkładania lin stalowych	341
5.6.1. Wprowadzenie	341
5.6.2. Podstawowe przyczyny powstawania uszkodzeń drutów i lin stalowych	346
5.6.3. Zużycie zmęczeniowe i hipotezy o zużyciu lin stalowych	350
5.6.4. Zużycie korozyjne i fretting	364
5.6.5. Zużycie ściernie	367
5.6.6. Zużycie lin stalowych na skutek działania momentu odkrętu	371
5.7. Kryteria odkładania lin stalowych w wybranych urządzeniach transportu linowego	374
5.8. Technologie napraw lin stalowych	379
6. Metody badań i oceny stanu lin stalowych	382
6.1. Wprowadzenie	382
6.2. Klasyczne metody wizualne	384
6.2.1. Sposoby pomiaru deformacji geometrycznych i starć drutów lin stalowych	385

6.2.2. Metody pomiaru wymiarów geometrycznych ubytków uszkodzonych drutów	387
6.3. Nowe metody wizualne (VT) oceny stanu lin stalowych	390
6.3.1. Zastosowanie cyfrowej fotografii i i skanowania laserowego 2D w ocenie wizualnej lin stalowych	390
6.3.2. System wizyjny z zastosowaniem kamer cyfrowych do oceny stanu lin stalowych	393
6.3.3. System laserowy 3D do wizyjnej inspekcji lin	394
6.4. Aktywne metody badań magnetycznych i oceny stanu lin stalowych	405
6.4.1. Norma PN-EN 12927: Wymagania bezpieczeństwa dla osobowych kolei linowych	409
6.4.2. Podstawy magnetycznej metody badania stanu lin stalowych	413
6.4.3. Aparatura do akwizycji wyników badań magnetycznych lin stalowych	419
6.5. Obliczanie stopnia zużycia lin stalowych na podstawie wyników badań magnetycznych	440
6.5.1. Obliczanie stopnia zużycia na podstawie sygnału z czujnika indukcyjnego LD	441
6.5.2. Obliczanie stopnia zużycia na podstawie sygnału z czujnika hallotronowego LMA	445
6.5.3. Przeglądarki wyników badań magnetycznych Browser MD120 i MD121View	447
6.5.4. Ocena stanu zaplecenia liny na podstawie wyników badań magnetycznych	450
6.5.5. Identyfikacja deformacji struktury geometrycznej liny na podstawie wyników badań magnetycznych	453
6.6. Dokładność badań magnetycznych lin stalowych	455
6.6.1. Metodyka i ocena dokładności badań magnetycznych lin stalowych	455
6.6.2. Wpływ obciążenia liny na dokładność pomiaru metodą magnetyczną czujnikiem hallotronowym LMA	460
6.6.3. Ocena osłabienia lin na podstawie wyników badań magnetycznych	466
6.7. Technologie badań lin stalowych metodą magnetyczną	468
6.7.1. Głowice do badań magnetycznych lin stalowych produkowane w Polsce	468
6.7.2. Sposoby badania metodą magnetyczną lin ruchomych	470
6.7.3. Badanie metodą magnetyczną lin nieruchomych	473
6.7.4. Badanie lin płaskich i taśm przenośnikowych zbrojonych linkami stalowymi	478
6.8. Prognozowanie czasu pracy lin stalowych	480
6.9. Kierunki rozwoju magnetycznej metody badania lin stalowych	483

7. Analiza widmowa sygnału cyfrowego oraz modelowanie zużycia zmęczeniowego i dynamiki pracy lin stalowych 494

7.1. Wprowadzenie 494

7.2. Analiza widmowa sygnałów z czujników indukcyjnych typu LD 496

7.2.1. Sygnał cyfrowy z czujników indukcyjnych typu LD 496

7.2.2. Przekształcenie Fouriera sygnału cyfrowego 500

7.2.3. Detekcja wymiarów geometrycznych lin na podstawie widma sygnału z czujników indukcyjnych LD 511

7.2.4. Widmo sygnałów impulsowych z czujników indukcyjnych typu LD 515

7.3. Zaawansowane metody analizy sygnału z czujników indukcyjnych typu LD 517

7.4. Modelowanie zużycia zmęczeniowego lin stalowych 525

7.4.1. Model iteracyjny procesu zużycia zmęczeniowego lin stalowych 529

7.4.2. Modelowanie rozkładu naprężeń w drutach liny 537

7.4.3. Wpływ charakteru obciążeń drutów liny na jej trwałość 543

7.4.4. Modelowanie wpływu niektórych czynników konstrukcyjnych i wytrzymałościowych na trwałość zmęczeniową lin stalowych 546

7.4.5. Dynamika procesu zużyciowego lin a diagnostyka ich stanu 553

7.4.6. Rozdział obciążeń w układach wielolinowych urządzeń wyciągowych 557

7.5. Modelowanie dynamiki pracy lin w układach transportu linowego 561

7.5.1. Wprowadzenie 561

7.5.2. Wielomasowe modele układów transportu linowego 563

7.5.3. Modele ciągłe dynamiki i kinematyki lin stalowych 566

7.6. Modelowanie pracy lin stalowych w układach wielokrążkowych 567

8. Zastosowanie lin stalowych w urządzeniach do transportu ludzi i materiałów 572

8.1. Wprowadzenie 572

8.2. Koleje linowe 574

8.2.1. Wprowadzenie 574

8.2.2. Terenowe koleje linowe (funiculars) 581

8.2.3. Charakterystyka pasażerskich napowietrznych kolei linowych 583

8.2.4. Wyciągi narciarskie	597
8.2.5. Specjalistyczne koleje linowe	599
8.3. Górnicze wyciągi szybowe	605
8.3.1. Układy olinowań górniczych urządzeń wyciągowych	605
8.3.2. Statyka, kinematyka i dynamika górniczych wyciągów szybowych	614
8.3.3. Tarcze szybowe i linowe prowadzenie naczyń wyciągowych	621
8.3.4. Urządzenia do głębiania i pogłębiania szybów	625
8.4. Urządzenia suwnicowe	628
8.4.1. Suwnice	628
8.4.2. Dźwigi linotorowe	632
8.4.3. Przewoźny dźwig linotorowy	635
8.4.4. Szeregowy dźwig linotorowy	636
8.5. Dźwigi osobowe i towarowe	637
8.5.1. Nieco historii	637
8.5.2. Elektryczne dźwigi osobowe i towarowe	639
8.5.3. Dźwigi hydrauliczne i dźwigi z napędami pasowymi	645
8.5.4. Dźwigi osobowe o trasie kątovej	648
8.6. Żurawie, dźwigi budowlane, dźwigowe urządzenia portowe i morskie	649
8.6.1. Żurawie	649
8.6.2. Dźwigi samojezdne, budowlane i platformy ruchome	654
8.6.3. Dźwigi budowlane i platformy ruchome	655
8.6.4. Urządzenia dźwignicowe na statkach	657
9. Pomocnicze zastosowania lin stalowych w układach wybranych maszyn i konstrukcji	661
9.1. Maszyny podstawowe górnictwa odkrywkowego	661
9.1.1. I znowu nieco historii	661
9.1.2. Koparki jednonaczyniowe	663
9.1.3. Koparki wielonaczyniowe	665

9.1.4. Zwałowarki i zwałowarko-ładowarki	676
9.2. Wiertnicze wyciągarki linowe	678
9.3. Przenośniki taśmowe	681
9.3.1. Linowe układy napinania taśm przenośnikowych	681
9.3.2. Przenośniki linowo-taśmowe	683
9.4. Konstrukcje ciągnowe	688
9.4.1. Konstrukcje ciągnowe w budownictwie	689
9.4.2. Mosty linowe	692
9.4.3. Konstrukcje sprężane linami stalowymi	697
9.4.4. Ciągnowe układy linowe do napinania	699
9.4.5. Konstrukcje niestateczne mocowane linami stalowymi	700
9.5. Platformy wiertnicze i eksploatacyjne	703
9.6. Obciążenia lin odciągowych i wantowych	706
9.7. Nietypowe zastosowania lin stalowych	709
Literatura	711