

# Spis treści

PRZEDMOWA .....	9
1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I KLASYFIKACJA PRZEKŁADNI ZĘBATYCH .....	11
2. ZASTOSOWANIE I WYMAGANIA STAWIANE PRZEKŁADNIOM ZĘBATYM .....	22
3. GEOMETRIA I KINEMATYKA PRZEKŁADNI WALCOWYCH O OSIACH STAŁYCH I EWOLWENTOWYM ZARYSIE ZĘBÓW .....	24
3.1. Koła walcowe o zębach prostych zerowych .....	24
3.1.1. Koła o uzębieniu zewnętrznym .....	24
3.1.2. Koła o uzębieniu wewnętrznym .....	26
3.1.3. Znormalizowany standardowy zarys odniesienia .....	28
3.1.4. Luzy międzyzębne .....	30
3.1.5. Graniczna liczba zębów .....	32
3.1.6. Odległość między osiami współpracujących kół .....	34
3.1.7. Wskaźnik zazębienia .....	36
3.1.8. Koła z przesuniętym zarysem zębów .....	37
3.2. Koła walcowe o zębach skośnych zerowych .....	54
3.2.1. Wymiary geometryczne kół i zależności między nimi .....	57
3.2.2. Zastępcza liczba zębów .....	59
3.2.3. Graniczna liczba zębów .....	62
3.2.4. Odległość między osiami współpracujących kół .....	63
3.2.5. Wskaźnik zazębienia .....	63
3.2.6. Koła walcowe o zębach skośnych z przesuniętym zarysem .....	64
3.2.7. Koła walcowe o zębach strzałkowych .....	67
3.3. Kinematyka zazębienia ewolwentowego, poślizg zębów .....	68
3.3.1. Ruch względny współpracujących zarysów .....	69
3.3.2. Poślizg zębów .....	70
3.3.3. Straty mocy w zazębieniu, sprawność przekładni .....	74
4. GEOMETRIA I KINEMATYKA PRZEKŁADNI STOŻKOWYCH .....	77
4.1. Ogólna charakterystyka przekładni stożkowych .....	77
4.2. Geometria przekładni stożkowych .....	81
4.2.1. Stożki dopełniające .....	81
4.2.2. Zarys odniesienia .....	84
4.2.3. Koła stożkowe o zębach prostych oraz odpowiadające im zastępcze koła walcowe wytrzymałościowo równoważne .....	86

4.2.4. Koła stożkowe o zębach skośnych i krzywoliniowych oraz odpowiadające im zastępcze koła walcowe wytrzymałościowo równoważne .....	92
4.2.5. Liczba zębów w zębniku i kole .....	99
4.3. Wskaźnik ząbienia .....	100
4.4. Graniczna liczba zębów, przesunięcie zarysu i zmiana grubości zęba .....	103
4.4.1. Graniczna liczba zębów .....	103
4.4.2. Przesunięcie zarysu .....	103
4.4.3. Grubość zęba .....	105
4.5. Luzy .....	106
4.5.1. Luz wierzchołkowy .....	106
4.5.2. Luz boczny .....	108
4.6. Kinematyka przekładni stożkowych .....	108
5. OBCIĄŻENIE PRZEKŁADNI ZĘBATYCH .....	111
5.1. Siły nominalne obciążające zęby kół walcowych .....	111
5.1.1. Siły międzyzębne w kołach walcowych o użębieniu prostym .....	111
5.1.2. Siły międzyzębne w kołach walcowych o użębieniu skośnym .....	113
5.2. Siły nominalne obciążające zęby kół stożkowych .....	115
5.2.1. Siły międzyzębne w kołach stożkowych o użębieniu prostym .....	115
5.2.2. Siły międzyzębne w kołach stożkowych o użębieniu skośnym oraz krzywoliniowym .....	117
5.3. Obciążenie zębów i sztywność ząbienia .....	119
5.3.1. Współczynnik zastosowania $K_A$ .....	121
5.3.2. Obciążenie wewnętrzne przekładni, współczynnik sił dynamicznych $K_V$ .....	123
5.3.3. Współczynnik rozkładu obciążenia wzdłuż szerokości wieńca zębatego $K_\beta$ .....	134
5.3.4. Współczynnik rozdziału obciążenia na pary zębów w przyporze $K_\alpha$ ....	137
6. WYTRZYMAŁOŚĆ PRZEKŁADNI WALCOWYCH .....	141
6.1. Uwagi ogólne .....	141
6.2. Wytrzymałość podstawy zęba na złamanie .....	143
6.2.1. Naprężenia u podstawy zęba .....	143
6.2.2. Obliczeniowe naprężenie u podstawy zęba .....	145
6.2.3. Naprężenia dopuszczalne i graniczna wytrzymałość podstawy zęba na złamanie .....	153
6.2.4. Bazowa wytrzymałość zmęczeniowa podstawy zęba koła-próbki na zginanie $\sigma_{F\ lim}$ .....	159
6.2.5. Sprawdzanie wytrzymałości podstawy zęba na złamanie .....	162
6.3. Wytrzymałość stykowa boku zęba .....	163
6.3.1. Warunek wytrzymałości stykowej boku zęba .....	163
6.3.2. Obliczeniowe naprężenie stykowe .....	164

6.3.3. Naprężenie stykowe dopuszczalne i graniczna wytrzymałość stykowa boku zęba na pitting .....	168
6.3.4. Umowna (bazowa) granica wytrzymałości boku zęba na zmęczenie stykowe $\sigma_{H\ lim}$ .....	175
6.3.5. Sprawdzanie wytrzymałości stykowej boku zęba .....	176
6.3.6. Minimalny współczynnik bezpieczeństwa $S_{H\ min}$ dla naprężeń stykowych .....	177
6.4. Sprawdzanie zazębienia na zatarcie .....	178
6.4.1. Charakterystyka ogólna zjawiska zatarcia .....	178
6.4.2. Sprawdzanie kół na zagrzanie .....	180
7. WYTRZYMAŁOŚĆ PRZEKŁADNI STOŻKOWYCH .....	181
7.1. Uwagi ogólne .....	181
7.2. Obciążenie obliczeniowe zębów kół stożkowych .....	182
7.2.1. Współczynnik zastosowania $K_A$ .....	182
7.2.2. Współczynnik sił dynamicznych $K_V$ .....	182
7.2.3. Współczynnik rozkładu obciążenia wzdłuż szerokości wieńca zębatego $K_\beta$ .....	183
7.2.4. Współczynnik rozdziału obciążenia na pary zębów w przyporze $K_\alpha$ ....	185
7.3. Wytrzymałości zmęczeniowa i statyczna podstawy zęba na złamanie .....	186
7.3.1. Obliczeniowe naprężenie u podstawy zęba .....	186
7.4. Naprężenie dopuszczalne i graniczna wytrzymałość podstawy zęba na złamanie .....	188
7.5. Wytrzymałość stykowa boku zęba .....	189
7.5.1. Uwagi ogólne .....	189
7.5.2. Naprężenie obliczeniowe .....	189
7.5.3. Naprężenie dopuszczalne i graniczna wytrzymałość stykowa boku zęba .....	190
7.6. Sprawdzanie zazębienia na zatarcie .....	191
7.7. Przykłady kształtowania kół i postaci konstrukcyjnych przekładni walcowych .....	191
7.8. Przykłady kształtowania kół i postaci konstrukcyjnych przekładni stożkowych .....	198
8. PRZEKŁADNIE OBIEGOWE .....	202
8.1. Uwagi wstępne .....	202
8.2. Podstawowe cechy przekładni .....	203
8.2.1. Ogólne pojęcia i terminy .....	203
8.3. Przełożenie .....	205
8.4. Liczba stopni swobody .....	207
8.5. Wyznaczanie przełożenia .....	208
8.6. Podstawowe równania przekładni obiegowych .....	211
8.7. Sprawność i obciążenie przekładni .....	212
8.7.1. Uwagi wstępne .....	212

8.7.2. Sprawność bazowa .....	213
8.7.3. Momenty obrotowe i siły obwodowe .....	215
8.7.4. Wyznaczanie sprawności przekładni .....	215
8.8. Przepływ mocy .....	220
8.9. Wstępny dobór parametrów geometrycznych prostych przekładni obiegowych .....	221
8.9.1. Warunki montażowe .....	222
8.9.2. Wyznaczanie liczby zębów i przełożeń .....	223
8.9.3. Warunek sąsiedztwa kół satelitarnych .....	226
8.9.4. Warunek równomiernego rozmieszczenia satelitów .....	227
8.10. Spostrzeżenia końcowe .....	228
<b>9. MATERIAŁY STOSOWANE NA KOŁA ZĘBATE .....</b>	<b>231</b>
9.1. Wymagania stawiane materiałom na koła zębate .....	231
9.2. Stale i staliwa stosowane na koła zębate .....	232
9.2.1. Utwardzanie powierzchni zęba .....	234
9.3. Żeliwa stosowane na koła zębate .....	239
<b>10. SMAROWANIE PRZEKŁADNI ZĘBATYCH .....</b>	<b>240</b>
10.1. Uwagi ogólne .....	240
10.2. Klasyfikacja olejów przemysłowych .....	242
10.3. Sposoby smarowania przekładni zębatych .....	245
10.3.1. Smarowanie zanurzeniowe .....	245
10.3.2. Smarowanie obiegowe .....	248
<b>11. DOKŁADNOŚĆ WYKONANIA PRZEKŁADNI .....</b>	<b>250</b>
11.1. Wiadomości podstawowe .....	250
11.2. Dobór dokładności wykonania .....	251
11.2.1. Odchyłki warunkujące względny ślad przylegania zębów .....	254
11.2.2. Odchyłki podziałki .....	256
11.2.3. Dobór rodzaju pasowania i tolerancji luzu bocznego .....	258
<b>12. DOBÓR PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH PRZEKŁADNI ZĘBATYCH WALCOWYCH, SPRAWDZANIE WARUNKÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH ZAZĘBIENIA .....</b>	<b>261</b>
12.1. Uwagi wstępne .....	261
12.2. Dobór podstawowych parametrów przekładni .....	262
12.2.1. Wytyczne doboru liczby stopni redukcji oraz przełożeń na danym stopniu .....	262
12.2.2. Wytyczne doboru wskaźnika względnej szerokości wieńca zębatego .....	266
12.2.3. Wytyczne doboru kąta pochyleń zęba .....	267
12.2.4. Wytyczne doboru liczby zębów zębownika .....	268
12.2.5. Wytyczne doboru liczby zębów koła .....	269
12.2.6. Wytyczne doboru współczynników przesunięcia zarysu .....	269

12.2.7. Wytyczne doboru zarysu odniesienia .....	273
12.2.8. Wytyczne doboru oleju .....	274
12.2.9. Wytyczne doboru klasy dokładności wykonania .....	275
12.3. Wstępne obliczenia wielkości podstawowych przekładni .....	276
12.3.1. Wyznaczanie momentu równoważnego, gdy znany jest moment nominalny na wale wejściowym lub wyjściowym przekładni .....	277
12.3.2. Wyznaczanie przełożenia całkowitego, liczby stopni redukcji oraz przełożeń na poszczególnych stopniach .....	278
12.3.3. Wyznaczanie podstawowych wymiarów kół .....	279
12.4. Warunki wytrzymałościowe zazębienia .....	283
12.4.1. Sprawdzanie wytrzymałości zmęczeniowej i statycznej podstawy zęba na złamanie .....	284
12.4.2. Sprawdzanie wytrzymałości zmęczeniowej i statycznej boku zęba na pitting .....	286
12.5. Sprawdzanie zazębienia na zagrzanie .....	288
<b>13. WYBÓR PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH PRZEKŁADNI ZĘBATYCH STOŻKOWYCH, SPRAWDZANIE WARUNKÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH ZAZĘBIENIA .....</b>	<b>289</b>
13.1. Wstępne obliczenia wielkości podstawowych .....	289
13.1.1. Wyznaczanie średnicy podziałowej w przekroju środkowym zębniaka .....	289
13.1.2. Wyznaczanie modułu normalnego .....	291
13.2. Obliczanie wielkości geometrycznych oraz właściwości zazębienia współpracujących kół .....	293
13.2.1. Uwagi wstępne .....	293
13.2.2. Parametry geometryczne kół stożkowych .....	294
13.3. Warunki wytrzymałościowe zazębienia .....	296
13.3.1. Uwagi wstępne .....	296
13.3.2. Sprawdzanie wytrzymałości zmęczeniowej i statycznej podstawy zęba na złamanie .....	296
13.3.3. Sprawdzanie wytrzymałości zmęczeniowej i statycznej boku zęba na pitting .....	298
13.4. Sprawdzanie zazębienia na zagrzanie .....	301
<b>14. PRZYKŁADY OBLICZEŃ PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH ORAZ WYTRZYMAŁOŚCI ZAZĘBIENIA KÓŁ ZĘBATYCH .....</b>	<b>302</b>
14.1. Obliczenia parametrów geometrycznych kół walcowych .....	302
14.2. Obliczenia wytrzymałościowe przekładni walcowych .....	326
14.2.1. Metodyka postępowania .....	326
14.2.1.1. Metodyka postępowania w przypadku przekładni wielostopniowych .....	327
14.2.2. Przykłady obliczeniowe .....	328

14.3. Obliczenia parametrów geometrycznych kół stożkowych .....	374
14.4. Obliczenia wytrzymałościowe przekładni stożkowych .....	396
14.4.1. Metodyka postępowania .....	396
<b>15. ZADANIA DO ROZWIĄZANIA .....</b>	<b>425</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>428</b>