

Spis treści

1. Wstęp	7
2. Badania geotechniczne skał	9
2.1. Badania geologiczne	9
2.2. Określanie własności fizyko-mechanicznych skał i masywów skalnych	12
2.2.1. Badania właściwości mechanicznych skał i masywów skalnych	13
2.2.2. Właściwości masywów skalnych - badania polowe	16
2.2.2.1. Moduł sprężystości i moduł odkształcenia	17
2.2.2.2. Określanie wytrzymałości na ścinanie	17
2.3. Badania modułów sprężystości i odkształcenia górotworu	20
2.3.1. Metoda matrycowa	21
2.3.2. Metoda pras radialnych	24
2.3.3. Sztolnie badawcze	28
2.4. Określenie wewnętrznych naprężeń w masywie skalnym	30
3. Stan naprężenia w górotworze wokół wyrobisk tunelowych	31
3.1. Układy sprężyste	31
3.1.1. Stan pierwotny w górotworze	31
3.1.2. Stan naprężeń w obrębie wyrobisk tunelowych	33
3.1.2.1. Stan naprężenia w górotworze w obrębie wyrobiska o przekroju kołowym	33
3.1.2.2. Stan naprężeń w górotworze w obrębie wyrobiska o przekroju eliptycznym	38
3.2. Kryteria wytrzymałości górotworu	41
3.3. Czynniki czasu w stanach naprężenia i odkształcenia	45
3.4. Układy sprężysto-plastyczne z obszarem spękań	50
3.4.1. Stan naprężenia i rozmieszczenie stref niesprężystych wokół wyrobiska kołowego ($p_x = p_z = p$)	50
3.4.1.1. Stan sprężysty	50
3.4.1.2. Stan sprężysto-plastyczny	51
3.4.1.3. Stan sprężysty z obszarem spękań w ośrodku spoistym	54
3.4.1.4. Odkształcenia sprężysto-plastyczne	55
3.4.1.5. Ośrodek sprężysto-plastyczny ze strefą spękań	56
3.4.2. Stan naprężenia i rozmieszczenie stref niesprężystych wokół wyrobiska kołowego ($p_x \neq p_z$)	60
3.4.2.1. Układ sprężysto – plastyczny	60
3.4.2.2. Ośrodek sprężysty (spoisty) ze strefą spękań	74
4. Ciśnienie górotworu na obudowę tuneli	79
4.1. Ciśnienie statyczne górotworu na obudowę tuneli	79
4.1.1. Teoria Protodjakonowa	79
4.1.2. Teoria Cymbariewicza	82
4.1.3. Teoria Sałustowicza	83
4.2. Ciśnienie statyczne gruntu na obudowę tuneli na małych głębokościach	85
4.2.1. Teoria K. Terzagiego	85
4.2.2. Teoria Bierbaumera	89
4.2.3. Rozwiązanie własne autora	91

4.3. Ciśnienie deformacyjne górotworu – interakcje konstrukcja obudowy – górotwór	96
4.3.1. Sprężysty model współpracy obudowy z górotworem	97
4.3.2. Ciśnienie górotworu o modelu reologicznym na obudowę wyrobiska kołowego ($p_x = p_z$)	100
4.3.2.1. Ośrodek Kelvina	100
4.3.2.2. Ośrodek Maxwella	103
4.3.2.3. Inne ośrodki	105
4.3.3. Ciśnienie górotworu o modelu reologicznym na obudowę wyrobiska kołowego w warunkach gdy $p_x \neq p_z$ - rozwiązanie własne autora	105
5. Tunele	120
5.1. Klasyfikacja dróg i ulic	120
5.2. Podział tuneli	126
5.3. Przekroje poprzeczne tuneli	129
5.4. Tunele miejskie	136
5.4.1. Trasowanie tuneli miejskich	136
5.4.2. Tunele szybkiej kolei podziemnej	137
5.4.3. Stacje miejskich kolei podziemnych	138
5.4.4. Obciążenia stałe i zmienne	146
5.4.5. Parcie gruntu na boczne ściany tuneli	151
5.4.5.1. Parcie graniczne gruntu	152
5.4.5.2. Odpór graniczny gruntu	154
5.4.5.3. Parcie spoczynkowe gruntu	156
5.4.5.4. Wartości obliczeniowe parcia lub oporu gruntu	159
5.4.6. Konstrukcja i obliczenie statyczne tuneli	160
5.4.6.1. Schematy statyczne tuneli płytkich	160
5.4.6.2. Obliczanie tuneli jako konstrukcje na sprężystym podłożu	164
5.4.7. Podziemne garaże i parkingi	167
5.5. Tunele głębokie (górskie)	171
6. Wentylacja, oświetlenie, bezpieczeństwo pożarowe tuneli	194
6.1. Wentylacja tuneli samochodowych	194
6.1.1. Wentylacja naturalna	194
6.1.2. Wentylacja mechaniczna	195
6.1.2.1. Wentylacja podłużna	195
6.1.2.2. Wentylacja poprzeczna	198
6.1.3. Zapotrzebowanie powietrza wentylacyjnego	201
6.1.3.1. Dopuszczalne stężenie zanieczyszczeń w tunelach	201
6.1.3.2. Obliczanie ilości powietrza wentylacyjnego	205
6.2. Oświetlenie tuneli	206
6.3. Urządzenia systemów pomiarowych	208
6.4. Bezpieczeństwo pożarowe	209
6.4.1. Wpływ temperatury na wytrzymałość stali zbrojeniowej AI i betonu	210
6.4.2. Zabezpieczenie konstrukcji żelbetowych – budownictwa powierzchniowego – na działanie ognia	211
6.4.3. Zabezpieczenia obudowy tuneli na wpływ ognia	212

6.4.4. Prace badawcze w zakresie bezpieczeństwa pożarowego tuneli drogowych	214
6.4.4.1. Przykłady budowy nowych tuneli drogowych	217
7. Metody budowy tuneli	220
7.1. Budowa tuneli metodą odkrywkową	220
7.1.1. Uwagi ogólne	220
7.1.2. Odwadnianie wykopu	220
7.1.3. Zabezpieczenie ścian wykopu metodą berlińską	220
7.1.4. Konstrukcje ze ścian szczelinowych	223
7.1.5. Konstrukcje ze ścian szczelnych	227
7.1.6. Ściany oporowe z pali o dużych średnicach	233
7.1.7. Konstrukcja i nośność naprężanych kotew gruntowych	238
7.1.8. Wzmacnianie gruntu metoda wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej (Jet Grouting)	253
7.1.9. Przykłady budowy tuneli płytowych	256
7.2. Metoda tarczowa budowy tuneli	262
7.2.1. Uwagi ogólne	262
7.2.2. Szyby pomocnicze	262
7.2.3. Części składowe tarczy	263
7.2.4. Tarcza zamknięta	268
7.2.5. Obudowa tuneli z tubingów	270
7.2.6. Przegląd rozwiązań konstrukcyjnych kombajnów (tarcz zmechanizowanych) do drążenia w skałach twardych	278
7.2.7. Wpływ wykonywania wykopów i tuneli na odkształcenia terenu	284
7.3. Metody górnicze budowy tuneli	285
7.3.1. Drążenie tuneli metodą strażkową	286
7.3.2. Nowa austriacka metoda tunelowania	292
7.3.2.1. Wprowadzenie	292
7.3.2.2. Klasyfikacja masywu skalnego jako środek przewidywania stateczności ociosów i stropu	296
7.3.2.3. Wytyczne doboru obudowy wstępnej i ostatecznej w tunelach o szerokości 5,0÷12,0 m, drążonych metodą strażkową, dla poszczególnych klas skał (metoda oparta głównie na betonie natryskowym)	300
7.3.3. Wzmacnianie skał metodą kotwienia	308
7.3.3.1. Kotwy żelbetowe	309
7.3.3.2. Kotwy wklejane	311
7.3.3.3. Kotwy długie żelbetowe, strunowe i kablone	312
7.3.3.4. Obliczanie grubościennego pierścienia skotwionego górotworu	313
7.4. Metody budowy tuneli podwodnych	314
7.4.1. Tunele podwodne wykonywane metodą tarczy	316
7.4.2. Tunele podwodne – wykonywane metodą zatapiania gotowych odcinków tunelu	321
7.4.3. Tunele podwodne – pływające	328
8. Projektowanie obudowy wyrobisk hydrotechnicznych podziemnych elektrowni pompowych	330

8.1. Uwagi ogólne	330
8.2. Tunele komunikacyjne	332
8.3. Sztolnie hydrotechniczne	333
8.3.1. Sztolnie ciśnieniowe - doprowadzające	333
8.3.1.1. Wybór przebiegu trasy oraz przekroju poprzecznego sztolni ciśnieniowych	334
8.3.1.2. Metody budowy sztolni upadowych i montaż opancerzenia	335
8.3.1.3. Drażnienie szybów ciśnieniowych	338
8.3.1.4. Zasady obliczeń wytrzymałościowych opancerzenia	339
8.3.1.5. Metody wypełniania betonem przestrzeni pomiędzy opancerzeniem a obudową	341
8.3.1.6. Iniekcje cementowe	344
8.3.1.7. Zakotwienie rozgałęzień rurociągów w skale	350
8.3.2. Sztolnie odprowadzające	350
8.3.3. Obliczanie obudowy pierścieniowej sztolni niskociśnieniowych oraz opancerzenia sztolni ciśnieniowych	352
8.3.3.1. Stan naprężenia w grubościennej rurze obciążonej ciśnieniem wewnętrznym i zewnętrznym	352
8.3.3.2. Stan naprężenia w grubościennej rurze obciążonej ciśnieniem wewnętrznym współpracującej z górotworem. Zagadnienie B.G. Galerkina	358
8.3.3.3. Nomogramy do określania grubości obudowy betonowej sztolni niskociśnieniowych współpracujących z górotworem	360
8.3.3.4. Obliczanie współpracy pancerza stalowego z otaczającym górotworem	368
8.3.3.5. Działanie krótkotrwałego obciążenia przerywanego na stalowe opancerzenie sztolni ciśnieniowych – rozwiązanie własne autora	371
8.3.3.6. Wyboczenie pancerza pod działaniem równomiernego ciśnienia zewnętrznego	378
8.4. Komory podziemne elektrowni pompowych	384
8.4.1. Konstrukcja i budowa komór	384
8.4.1.1. Przykłady budowy komór	386
8.4.2. Elektrownie brzegowe	412
8.4.2.1. Budowa szybów turbinowych	412
8.4.3. Obliczanie stateczności zakotwień ociosów wyrobisk komorowych	418
8.4.4. Pomiary deformacji oraz naprężeń w górotworze i obudowie wyrobisk podziemnych	421
8.4.4.1. Badania odkształceń konstrukcji obudowy metodami tensometrycznymi	422
8.4.4.2. Pomiary przemieszczeń ścian bocznych obudowy i górotworu wokół wyrobisk	425
8.4.4.3. Pomiary naprężeń wewnętrznych w górotworze	427
8.4.4.4. Pomiary odkształceń wewnętrznych w betonie obudowy	428
Podstawowe oznaczenia	432
Literatura	435
Normy	441