

Spis treści

1. Wstęp	7
2. Metody bezwykopowe budowy tuneli, kanałów podziemnych i rurociągów	9
2.1. Schemat bezwykopowych metod budowy tuneli, kanałów podziemnych i rurociągów	9
2.2. Przebicia	9
2.2.1. Metoda wciągania rury za głowicą dynamiczną	9
2.2.2. Metoda wbijania rury zamkniętej od czoła	11
2.2.3. Metoda wbijania rury otwartej	11
2.3. Przeciski	11
2.3.1. Przeciski dwuetapowe – przeciskanie – wciąganie	11
2.3.2. Przeciski dwufazowe	11
2.3.3. Tunelowanie przeciskowe	11
2.4. Przewierty	14
2.4.1. Przewierty mechaniczne niesterowane	14
2.4.2. Przewierty mechaniczne sterowane	14
2.4.3. Przewierty mechaniczne sterowane poszerzane	14
2.4.4. Przewierty hydrauliczne sterowane	17
2.5. Mikrotunelowanie	17
3. Bezwykopowe metody renowacji kanałów podziemnych i rurociągów	19
3.1. Schemat bezwykopowych metod renowacji kanałów i rurociągów	19
3.2. Naprawy	20
3.2.1. Wymiana uszkodzonych i zużytych elementów	20
3.2.2. Przebudowa	20
3.2.3. Nakładanie wewnętrznych opasek uszczelniających	20
3.2.3.1. System Point Liner	20
3.2.3.2. System Short-Liner 3P oraz 16.1.3.3. Midde-Liner 3P	20
3.2.4. Iniekcje żywicami	20
3.2.5. Techniki wypełniająco-drenujące	21
3.2.6. Naprawy uszkodzeń za pomocą robotów	21
3.3. Renowacje	21
3.3.1. Renowacje luźnopusowane	21
3.3.1.1. Metoda reliningu rurą ciągłą	22
3.3.1.2. Metoda reliningu modułowego	22
3.3.2. Renowacje ciasnopusowane	22
3.3.2.1. Torkretowanie kanałów i kolektorów	22
3.3.2.2. Cementacja rurociągów	23
3.3.2.3. Metoda Compact Pipe	23
3.3.2.4. Metoda Compact Slimliner	24
3.3.2.5. Metoda Neofit	25
3.3.2.6. Metoda Omega Liner	25
3.3.2.7. Metoda Rolldown	25
3.3.2.8. Metoda Swagelining	26
3.3.2.9. Metoda Rauliner	27

3.3.2.10. Metoda Subline	28
3.3.2.11. Linery – rehabilitacja techniczna przewodów z zastosowaniem ciągłych powłok polimerowych CIPP (tzw. rękawów)	28
3.4. Wymiany	35
3.4.1. Metody berstliningu statycznego (crackingu)	35
4. Naprężenia pierwotne w gruntach	41
5. Parcie gruntu na obudowę tunelu	44
5.1. Parcie gruntu na obudowę tunelu według teorii Bierbaumera	45
5.2. Parcie gruntu na obudowę tunelu według teorii Protodiakonowa	46
5.3. Parcie gruntu na obudowę tunelu według teorii Cymbariewicza	49
5.4. Parcie skał na obudowę tunelu według Boreckiego	51
5.5. Parcie poziome gruntu określone na podstawie warunku równowagi granicznej	52
5.6. Parcie boczne gruntu wyznaczone na podstawie współczynnika parcia spoczynkowego	52
5.7. Pionowe i poziome parcie gruntu wyznaczane na 1 mb obudowy (rury) w metodach przeciskowych, według Kalisza	52
5.7.1. Metoda aktywnego parcia gruntu	53
5.7.2. Metoda uwzględniająca powstawanie przesklepień	53
5.8. Parcie boczne gruntu wyznaczone za pomocą uogólnionego prawa Hooke’a	53
5.9. Stateczność podłoża tunelu	53
5.9.1. Parcie gruntu na spąg tunelu	54
5.9.2. Parcie gruntu na spąg tunelu wg inżynierskiej praktyki budowlanej ...	55
5.9.2.1. Hipoteza równomiernego oporu gruntu	55
5.9.2.2. Hipoteza Winklera	55
5.9.2.3. Hipoteza jednorodnej przestrzeni sprężystej	56
5.10. Parcie gruntu na obudowę tunelu według obowiązujących w tym zakresie norm	59
5.10.1. Obudowa sklepiona	60
5.10.2. Zasady obliczania obudów sklepionych	61
5.10.2.1. Wstępne obliczenia dla kształtu obudowy sklepionej	61
5.10.2.2. Obliczanie obciążeń obudowy sklepionej	63
5.10.2.3. Sprawdzenie nośności obudowy sklepionej	73
5.10.3. Obudowa powłokowa	73
5.10.3.1. Odmiany obudowy powłokowej i zakres stosowania	74
5.10.3.1.1. Obudowa powłokowa z betonu natryskowego	74
5.10.3.1.2. Obudowa kotwiowo-betonowa oraz kotwiowo- betonowo-stalowa	74
5.10.3.1.3. Obudowa stalowo-betonowa	74
5.10.3.2. Materiały stosowane do wykonywania obudów sklepionych	75
5.10.3.3. Zasady obliczania obudów powłokowych	76
5.10.3.3.1. Model ośrodka sprężystego	76
5.10.3.3.2. Model ośrodka sprężysto-plastycznego	76
5.10.3.3.3. Model ośrodka sprężysto-plastyczno-sprężanego	78
5.10.3.3.4. Wytwarzanie płyt zalegających	79
5.10.3.3.5. Obciążenia obliczeniowe obudowy powłokowej	79
5.10.3.3.6. Sprawdzanie obudowy powłokowej	80
5.10.4. Sprawdzanie nośności podłoża	80

6. Zjawisko tarcia w metodach bezwykopowych	81
6.1. Wyznaczanie współczynników tarcia pomiędzy obudową tuneli a otaczającymi je gruntami	81
6.2. Badany materiał	81
6.2.1. Grunty	81
6.2.2. Kostki betonowe	82
6.2.3. Bentonit	82
6.3. Badanie szorstkości powierzchni stykowych kostek betonowych	83
6.3.1. Metodyka badań	84
6.3.2. Wyniki badań	85
7. Sposoby obliczania siły przecisku w metodach bezwykopowych	87
7.1. Siły przecisku według Strieglera	87
7.2. Siły przecisku według Paula	88
7.3. Siły przecisku według Kalisza	89
7.4. Propozycja zmian wzoru na niezbędną siłę przecisku według M. Kędrackiego	91
8. Obudowy wyrobisk w metodach bezwykopowych	92
8.1. Prefabrykowane żelbetowe elementy obudowy tunelu wykonywanego technologią przeciskową	92
8.1.1. Przykład prefabrykowanego żelbetowego elementu obudowy tunelu o wymiarach w wyłomie $9,20 \times 6,28$ m	92
8.1.2. Przykład prefabrykowanego żelbetowego elementu obudowy tunelu o wymiarach w wyłomie $5,10 \times 3,25$ m	93
8.2. Wyroby rurowe stosowane w technikach przeciskowych i mikrotunelowaniu	94
9. Prognozowanie osiadań powierzchni terenu spowodowanych budową tuneli	95
9.1. Osiadania powierzchni terenu	95
9.2. Oddziaływanie tunelowania metodą przeciskową na deformację powierzchni terenu	96
9.3. Teorie i metody dotyczące szacowania osiadań powierzchni terenu na skutek budowy tuneli	99
9.3.1. Teoria Budryka-Knothego	99
9.3.2. Teoria Briggisa	100
9.3.3. Metoda Goldreicha	101
9.3.4. Metoda Awierszyna	101
9.3.5. Sposób szacowania osiadań powierzchni terenu według Limanowa ...	102
9.3.6. Geometryczny sposób szacowania osiadań powierzchni terenu według Steinfelda	104
9.3.7. Stochastyczny model osiadań Schmidta	105
9.3.8. Kształt niecki osiadania według Müllera	106
9.3.9. Prognozowanie maksymalnych osiadań powierzchni terenu na podstawie wskaźnika zagęszczenia gruntu	107
9.3.9.1. Wskaźnik zagęszczenia	107
9.3.9.2. Wyznaczanie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego	108
9.3.9.3. Wylczenie osiadań w osi podłużnej tunelu	108
9.3.9.4. Osiadania w przekroju poprzecznym tunelu	110

10. Przesklepienie gruntu nad tunelem	111
10.1. Zestawienie teorii i wzorów do obliczania wysokości przesklepienia	111
10.2. Zależności między przekrojem poprzecznym tunelowania, głębokością i zasięgiem rozluźnienia oraz przesklepienia gruntu	115
10.3. Wyniki własnych badań dotyczących występowania przesklepienia	115
10.3.1. Modele cyfrowe parametrów przesklepienia gruntu nad tunelem ...	119
10.4. Czynniki wpływające na tworzenie się i wielkość przesklepień	119
11. Urabianie gruntów w metodach bezwykopowych	120
11.1. Metoda tarczowa w drążeniu tuneli	120
11.2. Podział tarcz stosowanych w metodach bezwykopowych	121
11.2.1. Tarcze otwarte	121
11.2.2. Tarcze zamknięte pracujące z nadciśnieniem sprężonego powietrza w komorze roboczej	123
11.2.3. Tarcze zamknięte z zawieszoną płuczkową w komorze roboczej	124
11.2.4. Tarcze zamknięte równoważące parcie gruntu (Earth-pressure balance system EPBS)	125
11.2.5. Tarcze o łączonych systemach	126
11.3. Wypełnienie pustki za obudową	127
11.4. Kombajny chodnikowe	127
11.5. Dobór tarcz oraz ich uzbrojenia w narzędzia urabiające	129
11.5.1. Wskaźniki urabialności	129
11.5.2. Ocena oporów skrawania i strugania skał	130
11.5.3. Ocena zwiercania skał tarczą do drążenia tunelu	131
11.5.4. Uzbrojenie głowic urabiających tarczy	131
11.6. Wyznaczanie siły rozrywającej rurę w metodzie berstliningu statycznego	133
11.6.1. Składowe siły ciągu w metodzie berstliningu statycznego	134
11.6.2. Siła parcia gruntu w metodzie berstliningu statycznego	134
11.6.3. Siła tarcia pomiędzy gruntem, a wciągana rurą	136
11.6.4. Siła rozrywająca niszczoną rurę	136
12. Sposoby zabezpieczania powierzchni terenu przed degradacją wynikającą ze stosowania metod bezwykopowych	138
12.1. Sztuczne stropy stosowane przy tunelach przeciskowych o przekrojach poprzecznych prostokątnych	138
12.2. Zabezpieczanie powierzchni terenu metodą znaną pod nazwą pipe roofing	139
12.3. Przykład zabezpieczenia obiektów budowlanych przed skutkami tunelowania	140
12.4. Wyznaczanie zasięgu sztucznego stropu w przekroju poprzecznym budowli	140
Podsumowanie	143
Literatura	144