
Spis treści

Podstawowe oznaczenia	11
Podstawowe skróty	15
Przedmowa	17
1. Ogólne zasady wzmocnienia podłoża kolumnami sztywnymi	21
1.1. Metoda wzmocnienia	21
1.2. Mechanizm i podstawowe schematy wzmocnienia podłoża	24
1.3. Podłoża wymagające wzmocnienia	27
1.4. Cele wzmocnienia podłoża gruntowego	27
1.5. Zakres stosowania kolumn sztywnych	28
1.6. Rodzaje kolumn objętych opracowaniem	29
1.7. Ograniczenia w stosowaniu kolumn	31
2. Badania podłoża gruntowego w celu jego wzmocnienia	32
2.1. Normowe dokumentacje	32
2.2. Normowe określenia wartości parametrów geotechnicznych	35
2.3. Identyfikacja słabego podłoża	37
2.4. Rozpoznanie wstępne podłoża	38
2.5. Rozpoznanie podłoża do projektu wzmocnienia	40
2.6. Rozpoznanie uzupełniające podłoża	43
2.7. Określanie parametrów odkształcalności słabych gruntów	43
2.8. Wybór modelu konstytutywnego gruntu i jego parametry	45
3. Projektowanie	51
3.1. Podstawy projektowania geotechnicznego	51
3.1.1. Wymagania ogólne	51
3.1.2. Model geotechniczny	53

3.1.3.	Klasy konsekwencji	53
3.1.4.	Klasy złożoności geotechnicznej	55
3.1.5.	Kategorie geotechniczne	56
3.1.6.	Stany graniczne i ich sprawdzenie	57
3.1.7.	Projektowe okresy użytkowania konstrukcji	59
3.1.8.	Zrównoważony rozwój	60
3.2.	Stany graniczne nośności (ULS)	62
3.2.1.	Identyfikacja	62
3.2.2.	Sprawdzenie z wykorzystaniem współczynników częściowych	63
3.2.3.	Wartości współczynników częściowych γ_F , γ_E i γ_M	64
3.2.4.	Przyporządkowanie sposobów sprawdzenia i współczynniki częściowe	66
3.2.5.	Praktyczne stosowanie podejść obliczeniowych MFA i EFA	72
3.2.6.	Praktyczne stosowanie podejścia obliczeniowego RFA	73
3.2.7.	Sprawdzenie stanów ULS z wykorzystaniem modeli numerycznych	74
3.3.	Stany graniczne użytkowości (SLS)	77
3.3.1.	Identyfikacja i sprawdzenie	77
3.3.2.	Kryteria użytkowości	78
3.4.	Geometria wzmocnienia podłoża kolumnami	80
3.4.1.	Nasypy	80
3.4.2.	Płyty, fundamenty, posadzki i nawierzchnie	82
3.4.3.	Wartości obliczeniowe właściwości geometrycznych	83
3.5.	Kolumny sztywne	84
3.5.1.	Dobór kolumn	84
3.5.2.	Projektowanie	86
3.5.3.	Materiały	88
3.6.	Warstwa transmisyjna	90
3.7.	Zbrojenie dolne	93
3.8.	Strefy przejściowe	96
3.9.	Platforma robocza	98
4.	Wykonawstwo	104
4.1.	Platforma robocza	104
4.2.	Kolumny	107
4.2.1.	Technologie wykonywania	107
4.2.2.	Sprzęt	119
4.2.3.	Przygotowanie materiałów	121
4.2.4.	Możliwe uszkodzenia kolumn i środki zaradcze	121
4.2.5.	Przygotowanie głowic	131
4.3.	Czapki	136
4.4.	Warstwa transmisyjna	137
4.5.	Układanie zbrojenia dolnego	139
4.5.1.	Poziom ułożenia pierwszej warstwy zbrojenia	139
4.5.2.	Zbrojenie geosyntetykami	141
4.5.3.	Zbrojenie siatkami stalowymi	146
4.5.4.	Zbrojenie prętami kompozytowymi	148
4.6.	Inne prace budowlane	148

5. Kontrola robót 154

5.1. Platforma robocza	154
5.1.1. Przygotowanie	154
5.1.2. Grubość	155
5.1.3. Materiały	155
5.1.4. Parametry	155
5.1.5. Geosyntetyki i ich ułożenie	156
5.1.6. Próbny przejazd	157
5.2. Sprawdzenie sprzętu i materiału kolumn przed rozpoczęciem robót	157
5.2.1. Kontrola sprzętu	157
5.2.2. Kontrola materiałów	158
5.3. Kontrolowanie wykonywania kolumn	158
5.3.1. Zakres kontroli	158
5.3.2. Kolumny przemieszczeniowe formowane w gruncie	160
5.3.3. Kolumny prefabrykowane	160
5.3.4. Kolumny DSM	160
5.3.5. Kolumny iniekcyjne	167
5.3.6. Obserwacje kolumn wykonanych i platformy roboczej	167
5.3.7. Badania wytrzymałości materiału kolumn	169
5.3.8. Kontrola granic wzmocnienia podłoża	170
5.4. Kontrola powykonawcza kolumn	171
5.4.1. Parametry geometryczne kolumn	171
5.4.2. Kolumny uformowane w podłożu	172
5.4.3. Próbne obciążenia kolumn	174
5.4.4. Próbne obciążenie grupy kolumn	178
5.5. Kontrola warstwy transmisyjnej i zbrojenia dolnego	179
5.6. Monitorowanie	181

Załącznik – Pomoce projektowe 182

Z1. Wstęp	182
Z2. Obciążenia użytkowe od ruchu pojazdów	182
Z2.1. Pojazdy drogowe	182
Z2.2. Tabor kolejowy	187
Z3. Wybrane kryteria projektowe dla nasypów	189
Z3.1. Przemieszczenia dopuszczalne	189
Z3.1.1. Całkowite osiadanie pokonstrukcyjne	189
Z3.1.2. Różnica osiadania pokonstrukcyjnego	190
Z3.1.3. Przemieszczenie poziome kolumn	191
Z3.2. Wysokość nasypu i geometria układu podpór	191
Z4. Geometria komórki elementarnej	195
Z5. Podział obciążenia oraz rozciąganie zbrojenia dolnego	196
Z5.1. Schemat ogólny	196
Z5.2. Metoda Prandtla (ASIRI, 2012)	197
Z5.3. Metoda stożków (ASIRI, 2012)	200

Z5.4.	Metoda EBGEO (EBGEO, 2010)	201
Z5.5.	Metoda Klobe (Klobe, 2007)	204
Z5.6.	Metoda koncentrycznych sklepień łukowych CUR (CUR 226, 2016)	210
	Z5.6.1. Rozwiązanie dla przyjętego modelu przesklepienia	211
	Z5.6.2. Obliczenie wyężenia zbrojenia	213
Z6.	Wzajemne oddziaływanie kolumn i gruntu	215
	Z6.1. Model oddziaływania kolumny i gruntu	215
	Z6.2. Graniczne wartości tarcia negatywnego	216
	Z6.3. Funkcje transformacyjne	217
	Z6.4. Metoda Krasieńskiego	220
	Z6.4.1. Warstwa transmisyjna/nasyp nad kolumnami	220
	Z6.4.2. Fundament sztywny na kolumnach	224
	Z6.5. Metoda LTM (Bohn i Vogt, 2018)	229
	Z6.6. Metody numeryczne	231
	Z6.6.1. Modelowanie kolumn	231
	Z6.6.2. Parametry zastępcze kolumn w płaskim stanie odkształcenia	237
Z7.	Nośność, odkształcenia, zbrojenie i wyboczenie kolumn	239
	Z7.1. Nośność zewnętrzna	239
	Z7.1.1. Nośność reprezentatywna	239
	Z7.1.2. Nośność obliczeniowa	243
	Z7.2. Nośność wewnętrzna	243
	Z7.2.1. Zalecenia ogólne	243
	Z7.2.2. Średnica kolumn wykonywanych in situ	244
	Z7.2.3. Kolumny z betonu	244
	Z7.2.4. Kolumny z zaprawy lub iniektu	246
	Z7.2.5. Kolumny z cementogruntu	246
	Z7.3. Odkształcenia sprężyste	249
	Z7.4. Stateczność świeżego trzonu kolumny	250
	Z7.5. Zbrojenie	252
	Z7.6. Wyboczenie	254
Z8.	Zbrojenie dolne	254
	Z8.1. Miarodajna siła rozciągająca	254
	Z8.2. Zbrojenie geosyntetykami	256
	Z8.2.1. Zalecenia ogólne	256
	Z8.2.2. Nośność na rozciąganie	257
	Z8.2.3. Nośność na wyciąganie z gruntu	259
	Z8.2.4. Zakotwienie	259
	Z8.3. Zbrojenie siatkami stalowymi	260
	Z8.3.1. Zalecenia ogólne	260
	Z8.3.2. Nośność na rozciąganie	261
	Z8.3.3. Nośność na wyciąganie z gruntu	263
Z9.	Stateczność ogólna nasypów	265
	Z9.1. Stopniowanie obliczeń	265
	Z9.2. Obliczenia analityczne	265
	Z9.3. Obliczenia numeryczne	268
Z10.	Sztywność wzmocnionego podłoża	270

Przykłady obliczeniowe 272**A. Nasyp drogowy na słabym podłożu 274**

A1.	Dane wyjściowe i założenia	274
A2.	Zakres obliczeń projektowych	276
A3.	Nasyp na niewzmocnionym podłożu	279
A3.1.	Model MES dla płaskiego stanu odkształcenia	279
A3.2.	Przemieszczenia	280
A3.3.	Stateczność ogólna	282
A4.	Obliczenia dla komórki elementarnej	285
A4.1.	Geometria i obciążenie	285
A4.2.	Efektywność naturalnego przesklepienia (bez geosiatki)	287
A4.2.1.	Metoda Prandtla (p. Z5.2)	287
A4.2.2.	Metoda stożków (p. Z5.3)	289
A4.2.3.	Metoda EBGEO (p. Z5.4)	289
A4.2.4.	Metoda Klobe (p. Z5.5)	291
A4.2.5.	Metoda koncentrycznych sklepień łukowych CUR (p. Z5.6)	293
A4.2.6.	Model MES-OS bez geosiatki	295
A4.2.7.	Porównanie efektywności przesklepienia	298
A4.3.	Rozciąganie zbrojenia dolnego	299
A4.3.1.	Parametry wytrzymałościowe geosiatki	299
A4.3.2.	Model MES-OS z geosiatką	300
A4.3.3.	Metoda EBGEO (p. Z5.4)	302
A4.3.4.	Metoda Klobe (p. Z5.5)	302
A4.3.5.	Metoda koncentrycznych sklepień łukowych CUR (p. Z5.6)	303
A4.3.6.	Porównanie siły rozciągającej geosiatkę	304
A4.4.	Prognoza osiadania	305
A5.	Obliczenia w układzie przestrzennym	306
A5.1.	Model MES-3D	306
A5.2.	Analizy i kombinacje obliczeniowe	307
A5.3.	Analizy dla stanu granicznego użyteczności	309
A5.3.1.	Przemieszczenia	309
A5.3.2.	Przemieszczenia kolumn oraz reprezentatywne siły wewnętrzne	311
A5.3.3.	Rozciąganie i przemieszczenia geosiatki	313
A5.4.	Analizy dla stanu granicznego nośności	318
A5.4.1.	Obliczeniowe siły wewnętrzne w kolumnach	318
A5.4.2.	Obliczeniowe siły rozciągające w geosiatce	318
A6.	Wymiarowanie	320
A6.1.	Kolumny sztywne	320
A6.1.1.	Nośność zewnętrzna	320
A6.1.2.	Nośność wewnętrzna	321
A6.1.3.	Zbrojenie kolumn nr 1, 2, 7 i 8	323
A6.1.4.	Wyboczenie	326
A6.2.	Czapki	326

A6.3.	Zbrojenie dolne	328
A6.3.1.	Sprawdzenie wyężenia geosiatki	328
A6.3.2.	Ułożenie geosiatki przy krawędziach nasypu	329
A6.3.3.	Schemat ułożenia zbrojenia dolnego	330
A7.	Stateczność ogólna nasypu na wzmocnionym podłożu	332

B. Posadzka przemysłowa na podłożu wzmocnionym kolumnami DSM 333

B1.	Dane wyjściowe i założenia	333
B2.	Zakres obliczeń projektowych	336
B3.	Podłoże bez wzmocnienia kolumnami DSM	337
B3.1.	Głębokość strefy wpływu	337
B3.2.	Osiadanie posadzki dla schematów obciążenia P1 i P2	338
B3.3.	Osiadanie posadzki dla schematów obciążenia P3 i P4	341
B3.4.	Nośność środkowej stopy fundamentowej	342
B4.	Komórka elementarna posadzki	344
B4.1.	Geometria i obciążenia	344
B4.2.	Osiadanie posadzki i naprężenia w kolumnie DSM	345
B4.2.1.	Metoda analityczna LTM (p. Z6.5)	345
B4.2.2.	Model MES-OS	349
B5.	Podłoże wzmocnione kolumnami DSM	351
B5.1.	Model MES-3D	351
B5.2.	Osiadanie i nachylenie posadzki	352
B5.3.	Naprężenia w kolumnach DSM	353
B5.4.	Potrzebna wytrzymałość cementogruntu na ściskanie	354
B5.5.	Naprężenia rozciągające w płycie posadzki	355
B6.	Projektowanie i ocena wytrzymałości cementogruntu	357
B6.1.	Projektowanie cementogruntu	357
B6.2.	Ocena wytrzymałości cementogruntu	359

Literatura 362