



SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów	11
1. WSTĘP	19
2. OBCIĄŻENIA SPOWODOWANE WYBUCHEM	23
2.1. Wprowadzenie	23
2.2. Proces wybuchu i zjawiska podmuchowej fali uderzeniowej	23
2.3. Równowartość TNT	29
2.4. Odległość materiału wybuchowego od obiektu. Efekt skali podczas wybuchu	30
2.5. Określanie obciążeń spowodowanych wybuchową falą uderzeniową działających na budowle nadziemne i ich elementy	31
2.5.1. Ogólna charakterystyka obciążeń spowodowanych falą uderzeniową	31
2.5.2. Właściwości fali odbitej	32
2.5.3. Określanie ciśnienia dynamicznego i nadciśnienia fali odbitej	32
2.5.4. Obciążenia wybuchem zewnętrznym budowli nadziemnych	34
2.6. Budowle poddane działaniu obciążeń wywołanych wybuchem wewnętrznym	37
2.7. Obciążenie wybuchem wewnętrznym gazów palnych	40
2.8. Porównanie obciążeń wybuchowych i sejsmicznych	41
3. ZACHOWANIE SIĘ ELEMENTÓW BETONOWYCH BUDOWLI OCHRONNYCH PODDANYCH DZIAŁANIU MIEJSCOWEMU BOMB I POCISKÓW	45
3.1. Efekty uderzenia pocisku lub bomby w budowlę betonową	45
3.2. Konwencjonalne środki rażenia (rodzaje pocisków i bomb) oraz zdolność ich wnikania w przegrody konstrukcyjne	47
3.2.1. Rodzaje środków rażenia	47
3.2.2. Ogólna charakterystyka bomb i pocisków	48
3.2.3. Zdolność wnikania bomb lotniczych i pocisków w beton i inne materiały	56
3.2.4. Określenie grubości betonowych ścian osłonowych ze względu na przebicie	63
3.2.5. Określenie grubości betonowych ścian osłonowych ze względu na odpryskiwanie ..	63
3.2.6. Określenie głębokości wnikania odłamków w beton	64
3.3. Stanowisko do badań laboratoryjnych efektów uderzenia pocisku	66
4. OBCIĄŻENIA SPOWODOWANE UDERZENIEM	67
4.1. Uwagi ogólne i rodzaje obciążeń udarowych	67

4.2. Obciążenie udarowe spowodowane uderzeniem samolotu i uderzeniem szczątkami samolotu lub fragmentami budynku	67
4.2.1. Obciążenie udarowe spowodowane uderzeniem samolotu	67
4.2.2. Obciążenie udarowe spowodowane uderzeniem spadających szczątków samolotu lub gruzu	72
5. OBCIĄŻENIA DZIAŁAJĄCE NA BUDOWLE ZAGŁĘBIONE	77
5.1. Płytko zagłębione budowle poddane działaniu obciążeń udarowych	77
5.1.1. Wprowadzenie	77
5.1.2. Mechanizm odciążenia płyty stropowej	78
5.1.3. Modelowanie płytko zagłębionych budowli	78
5.1.4. Obciążenie wybuchem płytko zagłębionej budowli	79
5.1.5. Obciążenie płyty przeciwuuderzeniowej spadającym ciężarem	82
5.1.6. Zjawisko dynamicznej interakcji ośrodka gruntowego i konstrukcji	83
5.1.7. Modele odpowiedzi budowli zagłębionej	85
5.2. Parcie dynamiczne gruntu działające na zagłębioną konstrukcję cylindryczną (silos) poddaną działaniu obciążeń impulsowych	89
5.2.1. Wprowadzenie	89
5.2.2. Teoria Veletsosa–Younana do określania dynamicznego parcia gruntu na konstrukcję cylindryczną	90
5.2.3. Rozkład parcia normalnego i stycznego działającego na konstrukcję cylindryczną według Veletsosa–Younana	94
5.2.4. Badania doświadczalne parcia dynamicznego działającego na zagłębiony silos spowodowanego wybuchem podziemnym	94
5.2.4.1. Silos badawczy i program badań	95
5.2.4.2. Wyniki badań i ich analiza	96
5.3. Parcie dynamiczne gruntu działające na ścianę oporową poddaną działaniu obciążeń impulsowych	100
5.3.1. Wprowadzenie	100
5.3.2. Metoda Mononobe–Okabe	100
5.3.3. Parcie dynamiczne gruntu działające na ścianę oporową poddaną działaniu obciążeń impulsowych według teorii Veletsosa–Younana	102
5.3.4. Badania doświadczalne dynamicznego parcia gruntu działającego na ścianę oporową spowodowanego wybuchem podziemnym	105
5.3.4.1. Opis stanowiska badawczego	105
5.3.4.2. Wyniki badań	106
6. ZACHOWANIE SIĘ STALI I BETONU W WARUNKACH OBCIĄŻENIA DYNAMICZNEGO	109
6.1. Wprowadzenie	109
6.2. Przegląd statycznych i dynamicznych właściwości stalowych prętów zbrojeniowych	109
6.2.1. Właściwości statyczne	109
6.2.2. Właściwości dynamiczne	110

6.3. Zachowanie się betonu pod wpływem obciążenia dynamicznego	111
6.3.1. Uwagi wstępne	111
6.3.2. Zachowanie się betonu przy obciążeniu statycznym	113
6.3.2.1. Beton poddany jednoosiowemu ściskaniu	113
6.3.2.2. Beton poddany wieloosiowemu ściskaniu	114
6.3.3. Prędkość odkształcania i jej wpływ na właściwości mechaniczne betonu poddanego działaniu dynamicznego obciążenia ściskającego	118
6.3.3.1. Wpływ prędkości odkształcania na moduł Younga	118
6.3.3.2. Badania dynamicznych odpowiedzi w warunkach jednoosiowego obciążenia	119
6.3.3.3. Efekt wielkości próbek betonowych w badaniach przy dużych prędkościach obciążania	121
6.3.3.4. Charakterystyka metod badawczych	122
6.3.3.5. Badania dynamicznych odpowiedzi betonu ściskanego w warunkach wieloosiowego stanu naprężenia	128
6.3.4. Wpływ prędkości odkształcania betonu na wytrzymałość dynamiczną betonu jednoosiowo rozciąganego	130
6.3.5. Wpływ prędkości odkształcania betonu na wytrzymałość dynamiczną betonu rozciąganego w przestrzennym stanie naprężenia	133
6.3.6. Wpływ prędkości odkształcania betonu na nośność żelbetowych elementów zginanych	134
6.3.7. Wpływ prędkości odkształcania betonu na wytrzymałość dynamiczną słupów żelbetowych	137
7. PROJEKTOWANIE ŻELBETOWYCH BUDOWLI SZKIELETOWYCH PODDANYCH DZIAŁANIU OBCIĄŻEŃ SPOWODOWANYCH WYBUCEM	141
7.1. Wprowadzenie	141
7.2. Wymagania stawiane budowlom o konstrukcji żelbetowej projektowanych na obciążenia wybuchowe	141
7.2.1. Wymagania ogólne	141
7.2.2. Parametry stosowane w projektowaniu budowli ochronnych	142
7.2.3. Ciągłość i jej znaczenie w przetrwaniu konstrukcji poddanej działaniu obciążenia wybuchowego	143
7.2.4. Charakterystyka ogólna nośnych ustrojów konstrukcyjnych	146
7.2.4.1. Rodzaje nośnych ustrojów konstrukcyjnych	146
7.2.4.2. Przepony poziome	146
7.2.4.3. Ustroje ścienne	147
7.2.4.4. Ustroje ramowe	151
7.2.4.5. Elementy niekonstrukcyjne	155
7.2.5. Ukształtowanie budowli	155
7.2.5.1. Nieregularności w ukształtowaniu budowli	155
7.2.5.2. Nieciągłość pionowa. Słabe i miękkie piętra	155
7.2.5.3. Nieregularności geometryczne i masy	157

7.3. Obliczanie i konstruowanie ram żelbetowych poddanych działaniu obciążeń wybuchowych	158
7.3.1. Uwagi wstępne	158
7.3.2. Projektowanie żelbetowych ustrojów ramowych	159
7.3.2.1. Modelowanie żelbetowych elementów ramy budowli	159
7.3.2.2. Prawdopodobne siły poprzeczne i momenty	160
7.3.2.3. Zasady zbrojenia rygli żelbetowych	162
7.3.2.4. Zasady zbrojenia słupów żelbetowych	165
7.3.2.5. Przepisy ACI 318 dotyczące zbrojenia poprzecznego	169
7.3.2.6. Projektowanie węzłów rygiel-słup	171
7.4. Zachowanie się fundamentów żelbetowych poddanych działaniu obciążeń wybuchowych	176
7.5. Podobieństwo modelowe w dynamicznych badaniach konstrukcji żelbetowych	178
7.5.1. Dynamiczne parametry podobieństwa	178
7.5.2. Kryteria podobieństwa	180
8. UKSZTAŁTOWANIE ŚCIAN BUDOWLI OCHRONNYCH	183
8.1. Ściany jednowarstwowe	183
8.1.1. Ściany z betonu zwykłego	183
8.1.2. Ściany z betonu lekkiego	183
8.2. Ściany wielowarstwowe	184
8.2.1. Ściany trójwarstwowe	184
8.2.2. Ściana o strukturze miętko-twardej	185
8.3. Ściany powłokowe zakrzywione	186
9. PRZYKŁADY ROZWIĄZAŃ BETONOWYCH BUDOWLI OCHRONNYCH	189
9.1. Nadziemne i płytko zagłębione budowle ochronne	189
9.1.1. Schrony	189
9.1.2. Budynek i zbiornik reaktora atomowego oraz budynek do składania paliwa wypalonego	194
9.1.3. Hangary i schrony lotnicze	195
9.2. Podziemne budowle ochronne	198
9.2.1. Schron szybowy na pociski rakietowe oraz tunel komunikacyjny	198
9.2.2. Zbiorniki na paliwo wydrążone w skale	200
9.2.3. Hala wystawowa w dużym wydrążeniu skalnym na zboczu góry	200
10. PROJEKTOWANIE ARCHITEKTONICZNE BUDYNKÓW CYWILNYCH I ICH OTOCZENIA ZE WZGLĘDU NA OGRANICZENIE EFEKTÓW ATAKÓW TERRORYSTYCZNYCH	203
10.1. Wprowadzenie	203
10.2. Lokalizacja budynku i jego rozplanowanie	203
10.2.1. Strefa ochronna (buforowa)	206
10.2.2. Bariery samochodowe antytaranowe	208
10.2.2.1. Bariery obwodowe bierne	210
10.2.2.2. Bariery obwodowe czynne (ruchome)	210

10.3. Projektowanie architektoniczne budynku ze względu na zmniejszenie efektów wybuchu ..	211
10.3.1. Obudowa zewnętrzna i ukształtowanie bryły budynku	211
10.3.2. Ukształtowanie bryły budynku	213
10.3.3. Rozplanowanie przestrzenne	213
10.3.4. Wyposażenie budynku	214
10.3.5. Przeszkody stosowane do zabezpieczenia przed obserwacją lub ostrzeliwaniem budynku	216
11. OCENA USZKODZEŃ BUDOWLI SPOWODOWANYCH DZIAŁANIEM OBCIĄŻENIA WYBUCHOWEGO	217
11.1. Analityczne modelowanie rozprzestrzeniania się fal naprężeniowych w konstrukcjach żelbetowych i ich uszkodzeń spowodowanych obciążeniami dynamicznymi	217
11.1.1. Wprowadzenie	217
11.1.2. Rozprzestrzenianie się fal w konstrukcjach	218
11.1.3. Strukturalny model uszkodzenia	220
11.1.4. Globalny wskaźnik uszkodzenia	223
11.2. Klasyfikacja i kryteria oceny uszkodzeń elementów konstrukcyjnych budowli spowodowanych wybuchem	224
12. POSTĘPUJĄCE ZAWALENIE SIĘ BUDOWLI	227
12.1. Wprowadzenie	227
12.2. Zalecenia projektowe ze względu na postępujące zawalenie	227
12.3. Przykład postępującego zawalenia się budynku żelbetowego spowodowanego wybuchem	234
12.4. Czynniki ryzyka wpływające na postępujące zawalenie budowli i zapobieganie postępującemu jej zawaleniu się	239
12.4.1. Czynniki ryzyka wpływające na postępujące zawalenie budowli	239
12.4.2. Zapobieganie postępującemu zawaleniu się budowli. Wtórny ustrój nośny. Mechanizmy zapobiegające postępującemu zawaleniu	239
13. TRADYCYJNE SPOSOBY NAPRAW I WZMACNIANIA USZKODZONYCH ŻELBETOWYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH	243
13.1. Wprowadzenie	243
13.2. Materiały i technologia napraw	244
13.3. Naprawa powierzchniowa elementów uszkodzonych	245
13.4. Naprawa i wzmocnienie żelbetowych elementów konstrukcyjnych	250
13.4.1. Naprawa i wzmocnienie płyt i belek	250
13.4.1.1. Zszywanie płyt i belek klamrami	250
13.4.1.2. Naprawa belek nagwintowanymi prętami (chomątami) i żelbetowymi opaskami	250
13.4.2. Wzmocnianie słupów opaskami (gorsetami) stalowymi i żelbetowymi	252
14. MODYFIKACJA USTROJÓW KONSTRUKCYJNYCH ZAGROŻONYCH POSTĘPUJĄCYM ZAWALENIEM Z ZASTOSOWANIEM MATERIAŁÓW KOMOPOZYTOWYCH FRP	257
14.1. Rodzaje materiałów kompozytowych FRP	257

14.2. Technologia wzmacniania elementów konstrukcyjnych materiałami kompozytowymi FRP i ich właściwości	259
14.2.1. Uwagi ogólne	259
14.2.2. Metody utwardzania matrycy żywicznej	259
14.2.3. Właściwości mechaniczne materiałów kompozytowych FRP	260
14.2.4. Wymagania w odniesieniu do podłoża w zastosowaniach FRP	260
14.2.5. Przepuszczalność pary wodnej przez oplot z FRP	264
14.3. Wzmacnianie/modyfikacja żelbetowych elementów konstrukcyjnych	264
14.3.1. Metodologia wzmacniania/modyfikacji konstrukcji przy zastosowaniu materiałów kompozytowych FRP	264
14.3.2. Wzmacnianie/modyfikacja słupów żelbetowych materiałami kompozytowymi FRP	266
14.3.2.1. Mechanizm uszkodzenia słupów żelbetowych poddanych działaniu obciążenia poziomego	266
14.3.2.2. Metody wzmacniania słupów	268
14.3.2.3. Wzmacnianie opaskami nawijanymi i taśmami podłużnymi FRP	269
14.3.2.4. Wzmacnianie prętami FRP płytko zagłębionymi (NSM) w betonowym przekroju słupa	272
14.3.3. Zastosowanie sprężonych włókien FRP do wzmacniania/modyfikacji elementów konstrukcyjnych	273
14.3.4. Wzmacnianie belek materiałami kompozytowymi FRP	275
14.4. Obliczanie nośności i ciągliwości słupów wzmacnianych materiałami kompozytowymi ..	277
14.4.1. Uwagi wstępne	277
14.4.2. Nośność słupów wzmacnianych materiałami kompozytowymi FRP	278
14.4.2.1. Obliczanie elementów ściskanych według Wanga [360]	278
14.4.2.2. Wytrzymałość na ściskanie betonu w trójosiowym stanie naprężenia ...	280
14.4.2.3. Określenie poziomego parcia działającego na opaskę FRP	281
14.4.2.4. Obliczanie elementów ściskanych według fib [95]	282
14.4.3. Wymiarowanie opasek (koszułek) FRP	283
14.4.3.1. Słupy okrągłe	283
14.4.3.2. Słupy prostokątne	288
14.4.3.3. Opaski zwiększające nośność łączenia na zakład prętów zbrojeniowych ..	291
LITERATURA	293