

# SPIS TREŚCI

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| OD AUTORA .....                                                                                             | 7  |
| WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SYMBOLI I OZNACZEŃ .....                                                                 | 11 |
| 1. WPROWADZENIE .....                                                                                       | 15 |
| 1.1. Motywacja .....                                                                                        | 15 |
| 1.2. Cel i przedmiot pracy oraz założenia projektu badawczego .....                                         | 17 |
| 2. CHARAKTERYSTYKA TECHNOLOGICZNA PALI PRZEMIESZCZENIOWYCH WKRĘCANYCH .....                                 | 18 |
| 2.1. Pale „Atlas” .....                                                                                     | 19 |
| 2.2. Pale „Omega” .....                                                                                     | 21 |
| 2.3. Pale SDP .....                                                                                         | 22 |
| 2.4. Pale „De Waal” .....                                                                                   | 23 |
| 2.5. Inne technologie pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                                             | 24 |
| 3. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z WYKONYWANIEM I BADANIAM PALI PRZEMIESZCZENIOWYCH WKRĘCANYCH W POLSCE ..... | 25 |
| 3.1. Pierwsze zastosowanie pali „Atlas” w Polsce .....                                                      | 25 |
| 3.2. Pale „Atlas” jako fundament budynku dydaktycznego Politechniki Gdańskiej .....                         | 27 |
| 3.3. Pale FDP jako fundament budynku biurowego Grupy Lotos w Gdańsku .....                                  | 30 |
| 3.4. Wnioski z doświadczeń z palami przemieszczeniowymi wkręcanyymi w Polsce .....                          | 33 |
| 4. BADANIA I ANALIZY ZAGRANICZNE DOTYCZĄCE PALI PRZEMIESZCZENIOWYCH WKRĘCANYCH .....                        | 36 |
| 4.1. Badania, analizy i metoda obliczeniowa Bustamante’go i Ganeselli’ego .....                             | 36 |
| 4.2. Badania belgijskie .....                                                                               | 40 |
| 4.2.1. Projekt badawczy w Limelette .....                                                                   | 41 |
| 4.2.2. Belgijska metoda projektowania pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                             | 48 |
| 4.3. Badania i analizy amerykańskie .....                                                                   | 49 |
| 4.3.1. Badania i metoda obliczeniowa NeSmitha .....                                                         | 49 |
| 4.3.2. Analizy numeryczne Basu i Prezzi .....                                                               | 53 |
| 4.4. Podsumowanie wyników badań i analiz zagranicznych .....                                                | 59 |
| 5. WŁASNE BADANIA MODELOWE .....                                                                            | 60 |
| 5.1. Cel i przedmiot własnych badań modelowych .....                                                        | 60 |
| 5.2. Opis procedury badań modelowych pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                              | 61 |
| 5.2.1. Modele świrdrów do wykonywania pali .....                                                            | 61 |
| 5.2.2. Stanowisko badawcze .....                                                                            | 61 |
| 5.2.3. Ośrodek gruntowy – przygotowanie i badania .....                                                     | 62 |
| 5.2.4. Wykonywanie modeli pali w gruncie .....                                                              | 68 |
| 5.2.5. Badania zaprawy do modeli pali .....                                                                 | 70 |
| 5.2.6. Tensometryczny system pomiarowy .....                                                                | 71 |
| 5.2.7. Badania nośności modeli pali .....                                                                   | 73 |
| 5.3. Wyniki badań modelowych pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                                      | 75 |
| 5.4. Analiza wyników badań modelowych .....                                                                 | 88 |
| 5.4.1. Sondowania statyczne i opory wkręcania świrdrów .....                                                | 88 |
| 5.4.2. Analiza wyników badań nośności modeli pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                      | 88 |
| 5.4.3. Opory jednostkowe gruntu $t_s$ i $q_b$ badanych modeli pali wkręcanych .....                         | 90 |
| 5.4.4. Opory jednostkowe gruntu $t_s$ i $q_b$ w relacji do oporów stożka sondy wciskanej $q_c$ ...          | 92 |
| 5.5. Porównawcze badania modelowe pali wierconych i pali CFA .....                                          | 99 |

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.5.1. Przebieg badań modelowych pali .....                                                                                               | 100 |
| 5.5.2. Wyniki badań modelowych pali .....                                                                                                 | 101 |
| 5.6. Analiza porównawcza wyników badań modelowych pali wierconych i pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                             | 110 |
| 5.7. Wnioski z własnych badań modelowych pali .....                                                                                       | 111 |
| 6. WŁASNE BADANIA TERENOWE .....                                                                                                          | 113 |
| 6.1. Procedura badawcza .....                                                                                                             | 113 |
| 6.1.1. System pomiarowy .....                                                                                                             | 115 |
| 6.1.2. Próbné obciążenia pali .....                                                                                                       | 118 |
| 6.1.3. Interpretacja pomiarów odkształceń trzonów pali .....                                                                              | 119 |
| 6.1.4. Określenie sposobu przekazywania obciążeń przez pal na podłoże gruntowe .....                                                      | 121 |
| 6.1.5. Problemy z interpretacją wyników pomiarów ekstensometrycznych .....                                                                | 122 |
| 6.2. Wyniki badań na poszczególnych poletkach doświadczalnych .....                                                                       | 125 |
| 6.2.1. Poletka doświadczalne „Obwodnica Południowa Gdańska” .....                                                                         | 125 |
| 6.2.2. Poletko doświadczalne „Pruszcz Gdański” .....                                                                                      | 138 |
| 6.2.3. Poletka doświadczalne „Małdyty” .....                                                                                              | 146 |
| 6.3. Analiza wyników badań terenowych pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                                                           | 155 |
| 6.3.1. Ogólne spostrzeżenia dotyczące wyników badań .....                                                                                 | 155 |
| 6.3.2. Opory jednostkowe $t_s$ i $q_b$ gruntów niespoistych współpracujących z palami przemieszczeniowymi wkręcany .....                  | 156 |
| 6.3.3. Zależność oporów $t_s$ i $q_b$ gruntów niespoistych od oporów stożka $q_c$ sondy CPT .....                                         | 157 |
| 6.4. Wnioski z wykonanych badań terenowych pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                                                      | 161 |
| 7. ANALIZY OBLICZENIOWE .....                                                                                                             | 162 |
| 7.1. Odzworowanie charakterystyk pracy pali przemieszczeniowych wkręcanych metodą funkcji transformacyjnych .....                         | 162 |
| 7.1.1. Podstawowe założenia metody funkcji transformacyjnych .....                                                                        | 162 |
| 7.1.2. Wyznaczenie funkcji transformacyjnych pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                                                    | 164 |
| 7.1.3. Weryfikacja metody funkcji transformacyjnych wynikami badań terenowych pali .....                                                  | 170 |
| 7.2. Analizy numeryczne .....                                                                                                             | 174 |
| 7.2.1. Przyjęty sposób i przebieg procesu modelowania .....                                                                               | 175 |
| 7.2.2. Zastosowane modele gruntu .....                                                                                                    | 178 |
| 7.2.3. Zjawisko dylatacji w gruncie niespoistym .....                                                                                     | 181 |
| 7.2.4. Testowanie metody modelowania i procedury obliczeniowej .....                                                                      | 183 |
| 7.2.5. Weryfikacja wyników obliczeń numerycznych wynikami badań terenowych pali .....                                                     | 194 |
| 7.2.6. Wnioski z analiz numerycznych .....                                                                                                | 201 |
| 7.3. Analiza oporów wkręcania świdrów przemieszczeniowych w podłoże gruntowe .....                                                        | 203 |
| 7.3.1. Analiza oporów wkręcania świdrów w badaniach modelowych .....                                                                      | 203 |
| 7.3.2. Analiza oporów wkręcania świdrów w badaniach terenowych .....                                                                      | 211 |
| 7.3.3. Prognozowanie oporów wkręcania świdrów w podłoże gruntowe na podstawie wyników sondowań CPT .....                                  | 214 |
| 8. PROPOZYCJE DOTYCZĄCE OBLICZANIA I PROJEKTOWANIA PALI PRZEMIESZCZENIOWYCH WKREČANYCH .....                                              | 221 |
| 8.1. Ogólne wytyczne Eurokodu 7 dotyczące projektowania i obliczania nośności pali .....                                                  | 221 |
| 8.2. Propozycja klasycznego podejścia do obliczania nośności pali przemieszczeniowych wkręcanych, zgodnego z Eurokodem 7 .....            | 222 |
| 8.2.1. Nośność graniczna pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                                                                        | 222 |
| 8.2.2. Współczynniki korelacyjne $\xi_3$ i $\xi_4$ .....                                                                                  | 224 |
| 8.2.3. Współczynniki częściowe $\gamma_s$ i $\gamma_b$ .....                                                                              | 224 |
| 8.3. Weryfikacja proponowanej metody obliczeniowej wynikami badań terenowych .....                                                        | 226 |
| 8.4. Propozycja metody obliczania nośności i osiadań pali przemieszczeniowych wkręcanych z wykorzystaniem funkcji transformacyjnych ..... | 230 |
| 8.4.1. Współczynniki korelacyjne $\xi_3$ i $\xi_4$ i częściowe $\gamma_b$ i $\gamma_s$ .....                                              | 231 |

---

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.5. Prognozowanie oporów wkręcania świdrów pali przemieszczeniowych wkręcanych .....                    | 232 |
| 8.6. Szacowanie nośności pali przemieszczeniowych wkręcanych na podstawie oporów wkręcania świdrów ..... | 233 |
| 8.6.1. Propozycja metody obliczeniowej .....                                                             | 233 |
| 8.6.2. Przykłady obliczeniowe .....                                                                      | 236 |
| 8.7. Projektowanie pali przemieszczeniowych wkręcanych z wykorzystaniem MES .....                        | 239 |
| 9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE .....                                                                  | 241 |
| BIBLIOGRAFIA .....                                                                                       | 244 |
| Streszczenie w języku polskim .....                                                                      | 249 |
| Streszczenie w języku angielskim .....                                                                   | 250 |