

**Aerodynamika napowietrznych linii elektroenergetycznych z
uwzględnieniem innych wpływów środowiskowych / Andrzej Flaga,
Łukasz Flaga. – Kraków, 2020**

Spis treści

Przedmowa	7
1. Wstęp	9
2. Ogólna charakterystyka napowietrznych sieci elektroenergetycznych	11
2.1. Informacje wstępne	11
2.2. Przewody fazowe i odgromowe	16
2.3. Izolatory i łańcuchy izolatorów	23
2.4. Słupy	27
2.5. Tłumiki drgań	30
3. Oblodzenia atmosferyczne	33
3.1. Ogólna klasyfikacja zjawisk związanych z oblodzeniem atmosferycznym	33
3.2. Oblodzenie opadowe marznącym deszczem	35
3.3. Oblodzenie opadowe suchym śniegiem	37
3.4. Oblodzenie opadowe mokrym śniegiem	37
3.5. Oblodzenie w chmurach	38
3.6. Oblodzenie szronem	39
3.7. Właściwości fizyczne różnych postaci oblodzenia i parametry meteorologiczne towarzyszące narastaniu oblodzenia	39
3.8. Studium przypadku klęski oblodzenia w południowej Polsce w styczniu 2010 r.	40
3.8.1. Krótki opis zdarzenia i warunków pogodowych	40
3.8.2. Analiza rodzajów oblodzenia	42
3.8.3. Dokumentacja fotograficzna	45
4. Rodzaje drgań przewodów elektroenergetycznych spowodowane wiatrem	51
4.1. Uwagi wstępne	51
4.2. Wzbudzenie wirowe	52
4.3. Galopowanie w śladzie aerodynamicznym - drgania odcinkowe	54
4.4. Galopowanie	55
5. Wybrane zagadnienia normalizacji oddziaływań środowiskowych na napowietrzne linie elektroenergetyczne	57
5.1. Klasyfikacja podstawowa oddziaływań i ich kombinacji	57
5.2. Główne czynniki uwzględniane w normalizacji oddziaływania wiatru	58

5.3. Główne czynniki uwzględniane w normalizacji obciążenia oblodzeniem	58
5.4. Postanowienia i rekomendacje wybranych dokumentów normalizacyjnych	59
5.4.1. Dokument normalizacyjny PN-EN 50341-3-22 [N18] z 2010 r. oraz dokumenty normalizacyjne z nim związane [N1, N2, N15, N16]	59
5.4.2. Dokument normalizacyjny International Electrotechnical Commission 60826 IEC 2010 [N4]	74
6. Stanowisko pomiarowe - tunel aerodynamiczny Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej (LIW PK)	91
6.1. Ogólna charakterystyka stanowiska pomiarowego	91
6.2. Pomiar prędkości przepływu	94
6.3. Pomiar sił i momentów aerodynamicznych	95
6.4. Pomiar przemieszczeń prętów	98
7. Modele przewodów linii elektroenergetycznych badane w tunelu aerodynamicznym	101
7.1. Uwagi wstępne	101
7.2. Modele sekcyjne nieruchome (sztywne) przeznaczone do badań na poziomej aerodynamicznej wadze tensometrycznej	104
7.3. Modele sekcyjne aeroelastyczne (sztywne, podparte sprężyscie na końcach) przeznaczone do badań drgań wiązki przewodów spowodowanych turbulencją napływającego powietrza i sprzężeń aeroelastycznych układu: drgające przewody-wiatr	109
8. Badania w tunelu aerodynamicznym modeli sekcyjnych nieruchomych	113
8.1. Przedmiot i cel badań oraz założenia wstępne	113
8.2. Warunki wiatrowe	115
8.3. Opis przeprowadzonych badań modeli aerodynamicznych i ich wyniki	116
8.4. Analiza wyników badań	118
9. Kryteria podobieństwa dla modelu sekcyjnego wiązki trzech przewodów linii elektroenergetycznych przy ich drganiach aeroelastycznych	121
9.1. Podstawowe cechy modelu sekcyjnego przewodu linii napowietrznej	121
9.2. Zbiory współrzędnych i parametrów geometrycznych określających położenie punktów i geometrię wyjściową zagadnienia	125
9.3. Zbiory najważniejszych wielkości fizycznych i geometrycznych (zmiennych niezależnych i zależnych oraz parametrów), które należy uwzględnić w opisie i badaniach analizowanego zagadnienia	125
9.4. Baza wymiarowa i kryteria podobieństwa dla pozostałych wielkości fizycznych i geometrycznych	127
9.5. Skale podobieństwa analizowanego zagadnienia i problemy ich spełnienia	128

10. Badania w tunelu aerodynamicznym modeli sekcyjnych aeroelastycznych	131
10.1. Szczegółowy opis modelu aeroelastycznego	131
10.2. Opis przeprowadzonych badań modeli aeroelastycznych i ich wyniki	134
10.3. Analiza wyników badań modeli aeroelastycznych	136
10.4. Podsumowanie badań aeroelastycznych	137
11. Badanie kształtu konturu przekroju poprzecznego oblodzenia przewodów elektroenergetycznych metodą fotogrametryczną z wykorzystaniem drona	139
11.1. Koncepcja metody badawczej	139
11.2. Oprzyrządowanie drona i aparatura pomiarowa	141
11.3. Metoda fotogrametrii wykorzystana w badaniach	143
11.4. Badania terenowe	145
11.5. Wnioski końcowe	146
12. Model użytkowy oddziaływań środowiskowych na przewody napowietrznych linii elektroenergetycznych oraz jego wykorzystanie w modelowaniu numerycznym i obliczeniach statycznych tych przewodów	149
12.1. Informacje wstępne	149
12.2. Opis problemu dla pierwszego kroku iteracyjnego ($j = 1$)	155
12.3. Opis problemu dla drugiego kroku iteracyjnego ($j = 2$)	175
12.4. Opis problemu dla trzeciego kroku iteracyjnego ($j = 3$)	178
12.5. Uzasadnienie metody belkowych sił poprzecznych przy cięgnach ukośnych z oddziaływaniem przestrzennym	179
12.6. Krzywa przestrzennego zwisu cięgna/przewodu w różnych układach współrzędnych	184
12.7. Przypadek przęsła z izolatorami naciągającym i podwieszającym	187
12.8. Przypadek przęsła z izolatorami naciągającymi	189
12.9. Algorytm programu do obliczeń oddziaływań środowiskowych na przewody napowietrznych linii EE	191
12.10. Instrukcja użytkownika programu do obliczeń oddziaływań środowiskowych na przewody napowietrznych linii EE	192
12.11. Przykłady obliczeń przewodów napowietrznych linii EE poddanych oddziaływaniom środowiskowym za pomocą programu	196
13. Oddziaływanie dynamiczne wiatru spowodowane turbulencją atmosferyczną na linie elektroenergetyczne	205
13.1. Struktura wiatrów silnych w warstwie przyziemnej	205
13.1.1. Wstęp	205
13.1.2. Właściwości powietrza	206
13.1.3. Prędkość wiatru	207
13.1.4. Prędkość charakterystyczna wiatru - makrorejonizacja wiatrowa	209
13.1.5. Pionowy profil wiatru i kategorie chropowatości terenu	210

13.1.6. Ciśnienie prędkości wiatru i współczynnik ekspozycji	215
13.1.7. Parametry fluktuacji prędkości wiatru	216
13.2. Ustalenia Eurokodu PN-EN 1991-1-4:2008 [N17] w zakresie struktury i parametrów charakteryzujących wiatr w warstwie przyziemnej	220
13.3. Modelowanie turbulenta oddziaływania wiatru (buffetingu) wg teorii quasi-ustalonej	226
13.3.1. Model ze sprzężeniami aerodynamicznymi	226
13.3.2. Model bez sprzężeń aerodynamicznych	238
13.3.3. Przykład obliczeń aerodynamicznych trójprzęsłowej napowietrznej linii elektroenergetycznej [R5, 100]	239
14. Zakończenie	257
Bibliografia	258
Oferta badań modelowych w tunelu aerodynamicznym, symulacji, obliczeń i analiz studialnych oddziaływania wiatru na budynki, ich elementy, otoczenie oraz komfort przechodniów i użytkowników	269

oprac. BPK