

ZAŁĄCZNIK NR 3

do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

AUTOREFERAT

przedstawiający opis dorobku
stanowiącego przedmiot postępowania habilitacyjnego oraz
działalności naukowo-badawczej,
zawodowej i dydaktycznej

DR INŻ. GRZEGORZ WANDZIK

Politechnika Śląska w Gliwicach
Wydział Budownictwa
Katedra Inżynierii Budowlanej

Gliwice 2018

Spis treści

1. Dane osobowe	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe	3
2.1. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	3
2.2. Uprawnienia zawodowe	3
3. Przebieg zatrudnienia w jednostkach naukowych	4
4. Osiągnięcie wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14.03.2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016r., poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2017 poz. 1789)	5
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	5
4.2. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników	5
4.3. Podsumowanie – wskazanie głównych osiągnięć	23
5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze świadczące o istotnej aktywności habilitanta	24
5.1. Działalność naukowo–badawcza	24
5.2. Podsumowanie działalności naukowo–badawczej	30
6. Pozostałe osiągnięcia dydaktyczne i inżynierskie	30
6.1. Działalność dydaktyczna	30
6.2. Działalność inżynierska	31

1. DANE OSOBOWE

Dr inż. Grzegorz Wandzik

Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Katedra Inżynierii Budowlanej,
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 5,
e-mail: Grzegorz.Wandzik@polsl.pl
tel. (32) 237-15-98, (32) 237-22-88,
tel. kom.: 509-806-665

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE

2.1. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Tytuł zawodowy: **Magister inżynier budownictwa**
Data nadania: 8.05.1988
Jednostka: Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach
Specjalność: konstrukcyjno-budowlana
Specjalizacja: budownictwo przemysłowe
Temat pracy: **Program komputerowy na obliczanie ugięć belek żelbetowych**
Promotor: Doc. dr inż. Zdzisław Sulimowski
Recenzent: Dr inż. Ryszard Kliszczewicz

Stopień naukowy: **Doktor nauk technicznych**
Dyscyplina: Budownictwo
Data nadania: 21.06.2000
Jednostka: Rada Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach
Temat rozprawy: **Numeryczna symulacja przebiecia płyty żelbetowej**
Promotor: Prof. dr hab. inż. Stanisław Majewski, Politechnika Śląska
Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Michał Knauff, Politechnika Warszawska
Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Starosolski, Politechnika Śląska
Wyróżnienie: Praca obroniona z wyróżnieniem

2.2. Uprawnienia zawodowe

Rodzaj: **Uprawnienia budowlane bez ograniczeń do projektowania w specjalności konstrukcyjno-budowlanej**
Data nadania: 9.12.2002
Jednostka: Wojewoda Śląski
Nr uprawnień: 573/02

3. PRZEBIEG ZATRUDNIENIA W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

- 15.08.1988r. - 30.09.1998r. Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa, Katedra Inżynierii Budowlanej (Instytut Konstrukcji Budowlanych), na stanowisku **asystenta** (w pierwszym roku zatrudnienia na stanowisku asystenta-stażysty).
- 1.10.1998r. - 30.09.2000r. Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa, Katedra Inżynierii Budowlanej, na stanowisku **wykładowcy**.
- 1.10.2000r. – 30.09.2015r. Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa, Katedra Inżynierii Budowlanej, na stanowisku **adiunkta**.
- 1.10.2015r. – do teraz Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa, Katedra Inżynierii Budowlanej, na stanowisku **starszego wykładowcy**.

4. OSIĄGNIĘCIE WYNIKAJĄCE Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14.03.2003R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (Dz. U. 2016R., POZ. 882 ZE ZM. W Dz. U. z 2017 POZ. 1789)

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Monografia habilitacyjna

Autor: Wandzik Grzegorz

Tytuł: **Wpływ deformacji górniczych terenu na słupy linii elektroenergetycznych**

Seria: Monografie nr 711

Numer ISBN: ISBN-978-83-7880-531-1

Wydawnictwo: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2018, 298 s.

Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Andrzej MACHOWSKI, Politechnika Krakowska

Prof. dr hab. inż. Szymon PAŁKOWSKI, Politechnika Koszalińska

Finansowanie: Rektorski Grant Habilitacyjny, Politechnika Śląska: RGH 03/060/RGH16/0030

4.2. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników

A. Cel naukowy

Podjęcie tematyki wpływu deformacji górniczych terenu na słupy linii elektroenergetycznych związane jest z istniejącymi potrzebami w tym zakresie. Stosowane aktualnie wytyczne zostały opracowane w latach 80. i 90. poprzedniego stulecia i bazują na istniejących w tamtych czasach ograniczonych możliwościach obliczeniowych. Postawiłem przed sobą zadanie opracowania metod kompleksowej analizy linii elektroenergetycznych (z ich zaimplementowaniem w programie komputerowym) dostosowujących ich obliczenia (projektowanie i ocenę stanu) do współczesnych standardów postępowania. Wynikiem tych prac jest możliwość oceny stanu całego układu mechanicznego składającego się z przewodów, izolatorów i słupów w dowolnym stadium przejścia niecki obniżeniowej (charakterystycznej dla ciągłych deformacji górniczych podłoża). Jednym z osiągniętych rezultatów jest więc także możliwość określania oddziaływań przewodów na słupy (niezbędnych dla konstruktora budowlanego). Ze względu na specyfikę problemu i małą liczbę źródeł literaturowych dotyczących tego problemu, wszystkie przedstawione w monografii koncepcje mają charakter autorski. Niektóre z nich są własnymi pomysłami dostosowującymi znane metody numeryczne do rozwiązania postawionego zadania.

W monografii skoncentrowałem się na kwestii oddziaływań między przewodami a konstrukcjami wsporczymi, będącej zagadnieniem charakterystycznym dla linii elektroenergetycznych.

B. Osiągnięty wynik

Efektami wykonanych prac są:

- monografia,
- program komputerowy SWN 2015.

Wymienione dwa elementy należy rozpatrywać łącznie. W kontekście wykonanych badań naukowych, program SWN 2015 można traktować jako samodzielnie stworzone stanowisko badawcze, które posłużyło do przeprowadzenia zaplanowanych eksperymentów. Z drugiej strony, jest on trwałym narzędziem, za pomocą którego mogą zostać zrealizowane inne analizy z tego zakresu.

Monografia jest poświęcona następującym zagadnieniom:

- ogólnemu omówieniu problematyki szkód górniczych, ze szczególnym uwzględnieniem ich wpływu na linie elektroenergetyczne,
- skrótowemu przedstawieniu dotychczas stosowanego podejścia do określania oddziaływań przewodów na słupy linii elektroenergetycznych objętych wpływami deformacji terenu,
- przedstawieniu numerycznej metody obliczeń jednoprzęsłowych odcinków ciągów poddanych przemieszczeniom punktów zawieszenia,
- wieloparametrowej analizie wrażliwości jednoprzęsłowych odcinków ciągów (przewodów) na wymuszone przemieszczenia (z rozbiciem na ich wartość i kierunek),
- ocenie zmian sztywności przewodów oraz kształtu linii zwisania spowodowanych przemieszczeniami punktów zawieszenia,
- zagadnieniu geometrycznego odwzorowania linii elektroenergetycznych (przewodów, izolatorów i słupów) oraz ich kinematyki na deformującym się podłożu,
- rozwiązaniu geometrycznie nieliniowego problemu poszukiwania równowagi wieloprzęsłowych odcinków ciągów z wykorzystaniem metod numerycznych,
- wariantowaniu sposobu rozwiązania problemu wskazanego w poprzednim punkcie,
- analizie efektywności metod numerycznych stosowanych w implementacji komputerowej do rozwiązania nieliniowego zagadnienia mechaniki wieloprzęsłowych układów ciągów,
- analizie wpływu wybranych czynników na zachowanie wieloprzęsłowych sekcji linii elektroenergetycznych,
- przedstawieniu przykładowych symulacji przejścia górniczej niecki osiadań i następującymi z tego powodu zmianami oddziaływań przewodów na słupy odporowe i przelotowe,
- omówieniu zagadnień równoczesności oddziaływań przewodów na słupy i naporu gruntu na fundamenty w kontekście tworzenia kombinacji tych oddziaływań,
- zagadnieniu interakcji zachodzącej między przewodami a konstrukcjami wsporczymi,
- rozwiązaniu zagadnienia współpracy wieloprzęsłowych układów ciągów (przewodów) ze słupami linii elektroenergetycznych modelowanymi za pomocą superelementów,
- ocenie znaczenia podatności słupów na poprawność ustalania oddziaływań przewodów na konstrukcje wsporcze,

- optymalizacji algorytmu obliczeniowego pod względem jego efektywności i niezawodności,
- opisowi możliwości programu SWN 2015.

Drugim elementem, wymienionym jako efekt prac nad monografią, jest program komputerowy SWN 2015. Ze względu na fakt, że algorytm programu bazuje na metodach numerycznych (m in. ze względu na nieliniowość zachowania przewodów, złożoność geometrii i kinematyki układu oraz znaczną liczbę współzależnych czynników) nie uzyskuje się zamkniętego rozwiązania dostosowanego do bezpośredniego zastosowania. Nie podaję więc (za wyjątkiem rozdziału 2) gotowych zależności algebraicznych o charakterze „inżynierskim”. Tę lukę wypełnia autorski program komputerowy, będącym narzędziem pozwalającym na różnorodne obliczenia i analizy linii o dowolnych geometrii i wymuszonych przemieszczeniach (liniowych i kątowych).

Oprócz programu SWN 2015 opracowałem dodatkowy moduł SWN 2015 - szkody (sprzężony z SWN 2015) umożliwiający generowanie danych na temat deformacji terenu w punktach usytuowania konstrukcji wsporczych. Są one potrzebne do zautomatyzowania procesu symulacji stanu przemieszczeń wszystkich słupów w dowolnym położeniu odcinka linii w stosunku do elementarnej górniczej niecki terenu. W sytuacjach bardziej złożonego kształtu niecki źródłem danych może być specjalistyczny program przeznaczony do prognozowania deformacji powierzchni terenu.

Kolejność rozdziałów monografii związana jest ze stopniem złożoności problemu – od przewodów jedoprzęsłowych (rozdziały 3 i 4), poprzez przewody w układach wieloprzęsłowych zawieszonych na niepodatnych słupach (rozdziały 5 i 6), aż po układy kilku wieloprzęsłowych sekcji naciągowych obliczane z uwzględnieniem podatności słupów. Oprócz omówienia metod obliczeniowych, w pracy zaprezentowałem wyniki różnego rodzaju analiz i symulacji. Wszystkie te obliczenia zostały wykonane za pomocą autorskiego programu.

C. Interdyscyplinarność

Osiągnięcie postawionego celu wymagało powiązania wiedzy kilku specjalności inżynierskich: energetyki, projektowania konstrukcji budowlanych, mechaniki konstrukcji, geotechniki i informatyki.

D. Możliwość praktycznego wykorzystania

Bodźcem do podjęcia tematyki były nie tylko dotychczasowe moje zainteresowania naukowe, ale także istniejące potrzeby rynku (projektantów, operatorów odpowiedzialnych za utrzymanie sieci, zakładów górniczych i ekspertów odpowiedzialnych za ocenę konsekwencji wydobywania kopalin). O istnieniu tych potrzeb przekonałem się wykonując prace naukowo-badawcze na zlecenie firm projektowych i zakładów górniczych (informacje na temat niektórych z tych prac zamieściłem w punkcie 6.2. autoreferatu i w wykazie – załącznik 5, II/F).

W związku z tym widzę następujące perspektywy praktycznego wykorzystania informacji zawartych w monografii programu SWN 2015:

- jako źródła wiedzy inżynierskiej na temat wpływu górniczych deformacji terenu (tej tematyce nie jest poświęcona żadna ogólnodostępna monografia),
- jako źródła metod projektowania linii elektroenergetycznych (przez zaadaptowanie zaproponowanych przeze mnie metod obliczeniowych),
- jako podstawę oceny odporności istniejących linii elektroenergetycznych (zarówno słupów, jak i przewodów i osprzętu) na prognozowane deformacje górnicze terenu,
- jako źródła oceny stopnia zagrożenia elementów linii elektroenergetycznej, wykazującej symptomy ujawniania się wpływów szkód górniczych (np. wychylonych izolatorów na słupach przelotowych),
- jako narzędzia do monitorowania stanu linii elektroenergetycznych – z wykorzystaniem prognoz lub pomiarów deformacji górniczych terenu.

Ze względu na praktyczne aspekty problemu, zdecydowałem się w monografii na nieco szersze (niż w monografiach *stricte* naukowych) omówienie zagadnień geometrycznego odwzorowania kinematyki układu z wykorzystaniem zapisu macierzowego oraz zastosowań metod numerycznych do rozwiązywania zagadnienia mechaniki cięgien.

E. Powiązanie z dotychczasową działalnością badawczo-naukową i inżynierską

Monografia stanowi kontynuację i rozwinięcie mojej dotychczasowej działalności naukowej i inżynierskiej. Do wcześniejszych obszarów moich zainteresowań, które przyczyniły się do zainteresowania się tą tematyką można zaliczyć:

- zagadnienia projektowania i analizy konstrukcji wsporczych linii elektroenergetycznych (współautorstwo dwóch monografii wydanych nakładem PWN, opiniowanie polskiego załącznika krajowego PN-EN 50341-2-22:2016 do „europejskiej” normy projektowania linii elektroenergetycznych PN-EN 50341-1:2013, opiniowanie Standardów Technicznych projektowania elektroenergetycznych linii przesyłowych wysokich napięć w inwestycjach Polskich Sieci Elektroenergetycznych PSE SA),
- zagadnienia analizy wpływu deformacji górniczych terenu na obiekty budowlane i metody zabezpieczania budowli przed tymi wpływami (analizy teoretyczne z wykorzystaniem nieliniowych modeli materiałowych, prace eksperckie i publikacje z tego zakresu),
- zagadnienia nieliniowej analizy konstrukcji budowlanych za pomocą MES (współautorstwo systemu MAFEM3D i publikacje z tego zakresu),
- zastosowania informatyki w budownictwie i komputerowe modelowanie konstrukcji (wieloletnie doświadczenia związane z tworzeniem oprogramowania, publikacje z tego zakresu).

Podczas prac nad monografią wykorzystywałem swoje doświadczenia związane z każdą z wymienionych wyżej dziedzin.

F. Porównanie zaproponowanych metod z dotychczasowym podejściem do rozwiązania problemu

Jak wcześniej wspomniałem, główny nacisk w monografii położony został na określanie oddziaływań specyficznych dla słupów linii elektroenergetycznych, tj. sił oddziaływania przewodów na konstrukcje wsporcze. Nie prowadziłem analiz związanych z określaniem naporu gruntu na fundamenty. W tym zakresie zacytowałem propozycje ze źródeł obcych (np. instrukcji ITB) odnoszące się do fundamentów innych obiektów budowlanych (np. hal stalowych).

Dotychczas stosowane podejście do wyznaczania sił oddziaływania przewodów na konstrukcje wsporcze linii elektroenergetycznych polega na:

- sprowadzeniu wieloprzęstowej sekcji naciągowej do pojedynczego przęsła o rozpiętości zastępczej (tzw. rozpiętości równoważnej),
- przyjęciu odkształcenia zastępczego ($\varepsilon = \Delta a/a_0$) wynikającego ze zmiany odległości między punktami zawieszenia przewodów na słupach odporowych w sekcji naciągowej – odkształcenie ε jest najczęściej przyjmowane na podstawie maksymalnej wartości odkształcenia poziomego terenu pomnożonej przez współczynnik korekcyjny uwzględniający wpływ długości sekcji naciągowej,
- traktowaniu założonego odkształcenia $\varepsilon = \Delta a/a_0$ analogicznie do wpływu zmian temperatury i wprowadzeniu go jako dodatkowego składnika do równania stanów (podstawowego równania służącego do określania składowej poziomej siły naciągu H i zależnych od niej wielkości mimośrodów przęsła m , strzałki zwisu f itd.),
- posługiwaniu się przybliżonym opisem krzywej zwisu cięgna za pomocą paraboli 2. stopnia,
- stosowaniu algebraicznych metod rozwiązania równania stanów (możliwego wyłącznie przy opisie krzywej zwisu za pomocą paraboli),
- niezależnym rozpatrywaniu poszczególnych sekcji (przęseł zastępczych) w najniekorzystniejszych dla nich położeniach, bez szerszego spojrzenia na położenia pośrednie,
- pomijaniu interakcji zachodzącej między przewodami a słupami (ze względu na brak efektywnych narzędzi do tego typu analiz).

Najczęściej stosowanym przez projektantów podejściem profilaktycznym jest przyjmowanie większych zwisów montażowych, jako formy kompensacji przewidywanych zmian odległości między punktami zawieszenia przewodów w sekcji (zluźnienia przewodu).

Przyjęcie wymienionych wyżej założeń skutkuje:

- brakiem możliwości odwzorowania dokładnej geometrii przęsła w sekcji (np. różnych rozpiętości i spadów przęsła),
- brakiem możliwości indywidualnego rozpatrywania układu przemieszczeń przypisanego do wszystkich słupów w sekcji (w tym słupów przelotowych),

- trudnością z wiarygodnym odwzorowaniem przemieszczeń pionowych (osiadania terenu),
- możliwością uzyskania wyłącznie jednej, uśrednionej wartości składowej poziomej H siły naciągu przewodu w całej sekcji,
- przyjęciem założenia o pełnym wyrównaniu siły naciągu H we wszystkich przęsłach sekcji (gdyby tak było, to izolatory na słupach przelotowych nie odchyłyby się od pionu),
- brakiem możliwości oceny wpływu takich czynników jak: długości izolatorów przewodów fazowych lub zawiesi przewodów odgromowych na słupach przelotowych (szczególnie istotne przy krótkich zawiesiach),
- brakiem możliwości określania oddziaływania przewodów na słupy przelotowe (efekt dwóch poprzednich założeń),
- brakiem możliwości dokładnego odwzorowania krzywej zwisania za pomocą linii łańcuchowej (ze względu na trudności z rozwiązaniem równania stanów metodami algebraicznymi),
- brakiem realnych możliwości uwzględniania interakcji przewodów ze słupami; trudność wynika z konieczności równoczesnego rozpatrywania wszystkich przewodów w kilku sąsiadujących sekcjach naciągowych.

Zaproponowane przeze mnie sposób odwzorowania kinematyki całego układu mechanicznego oraz opracowane metody prowadzenia obliczeń pozwalają na eliminację wszystkich wymienionych mankamentów. Automatyzacja obliczeń (uzyskana dzięki komputerowej implementacji algorytmów) pozwala na prowadzenie symulacji różnych ustawień linii względem niecki terenu oraz analizę parametryczną (np. ze zróżnicowanym jednego lub kilku parametrów, np. naciągu montażowego).

G. Wybrane elementy monografii

Poniżej opisałem ogólnie kilka wybranych zagadnień z monografii. Są one przykładami ilustrującymi poruszaną tematykę. Dążąc do skrócenia tekstu autoreferatu, poszczególne zagadnienia omówiłem w sposób wrywkowy, pomijając niektóre informacje. W niektórych sytuacjach, dla zrozumienia opisanych kwestii, konieczne może być sięgnięcie do oryginalnych fragmentów monografii (wskazanych każdorazowo).

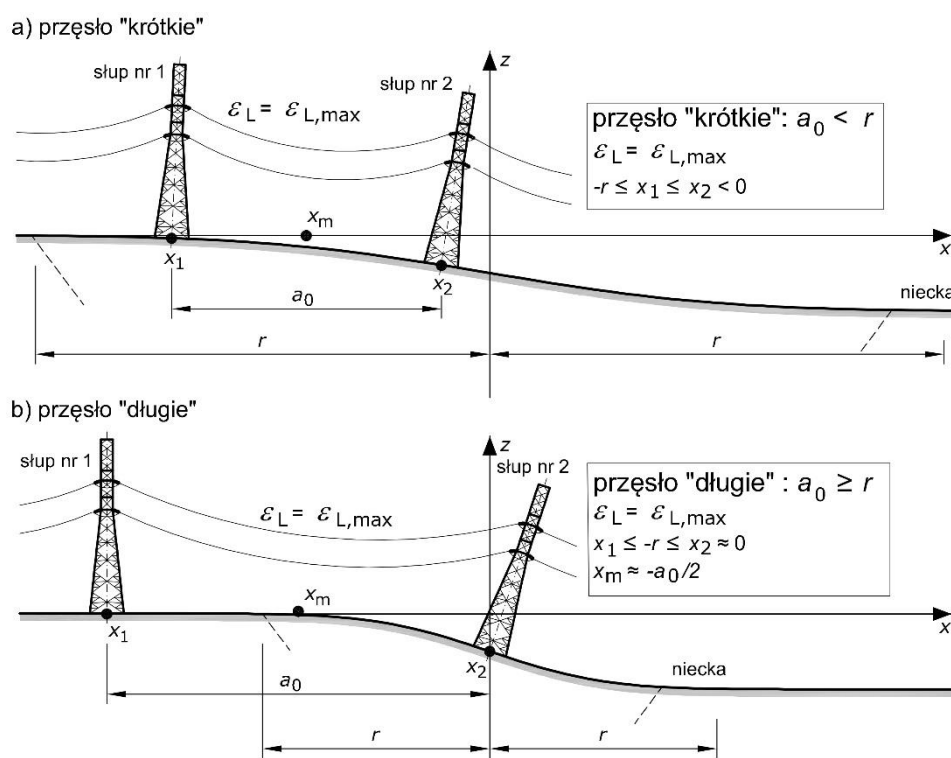
G1. Odształcenie cięgiwy przewodu i najniekorzystniejsza lokalizacja sekcji naciągowej (przęsła zastępczego) względem niecki górniczej terenu

Rozdział 2. monografii jest głównie poświęcony zilustrowaniu specyfiki oddziaływań deformacji górniczych terenu na słupy linii elektroenergetycznych (w tym głównie różnic w stosunku do obiektów kubaturowych). Jedną z istotnych różnic jest duża odległość między połączonymi ze sobą konstrukcjami wsporczyymi.

W tym fragmencie monografii nawiązano (ze względów ilustracyjnych) do wspomnianych wcześniej uproszczonych metod postępowania. Wprowadzono pojęcia *maksymalnego* i *minimalnego*

odkształcenia cięgiwy przewodu ($\varepsilon_{L,\max}$ i $\varepsilon_{L,\min}$) określające względną zmianę odległości między punktami jego zawieszenia. Pozwalają one zastąpić typowe wskaźniki deformacji terenu (w tym przypadku odkształcenie poziome terenu) wielkością przydatną i lepiej dostosowaną do oceny zachowania odcinka linii elektroenergetycznej metodami uproszczonymi.

Wyprowadzenie ujednoczonych wzorów na *ekstremalne odkształcenie cięgiwy przewodu* i *najniekorzystniejsze położenie przęsa* wymagało wprowadzenia pojęcia *długości względnej przęsa* (sekcji) $\lambda_r = a_0/r$. Z tym pojęciem związany był wprowadzony przeze mnie podział przęsa (sekcji naciągowych) na długie i krótkie (patrz rys. 1). Wielkości a_0 i r oznaczają odpowiednio rzeczywistą długość przęsa (sekcji naciągowej) i promień zasięgu wpływów głównych (opisujący kształt niecki osiadań).



Rys. 1. Przęsa krótkie i długie – oznaczenia na potrzeby uproszczonych zależności

Ostatecznie do obliczania ekstremalnych odkształceń cięgiwy przewodu ε_L dla przęsa o dowolnej rozpiętości względnej zaproponowałem zależność uwzględniającą maksymalne odkształcenie poziome terenu ε_{\max} :

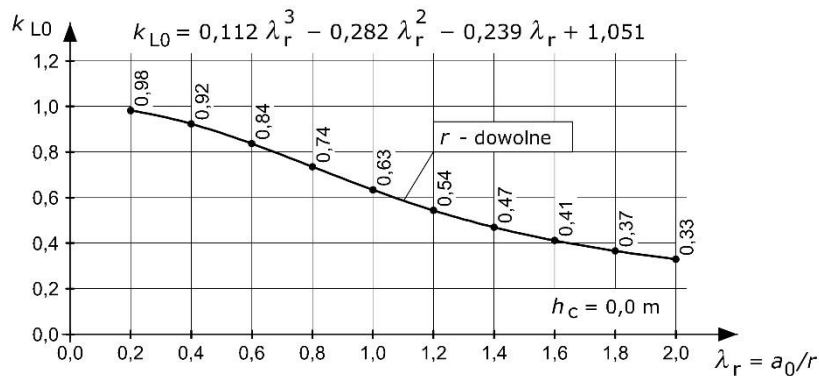
$$\varepsilon_{L,\max}(\lambda_r, h_c) = k_{L0}(\lambda_r) k_h(h_c) \varepsilon_{\max}, \quad \varepsilon_{L,\min}(\lambda_r, h_c) = -\varepsilon_{\max}, \quad (1)$$

w której rozdzielony został wpływ długości przęsa (wyrażony współczynnikiem k_{L0}) i wpływ wysokości zawieszenia przewodów h_c (wyrażony współczynnikiem k_h).

$$k_{L0}(\lambda_r) = 0,112\lambda_r^3 - 0,282\lambda_r^2 - 0,239\lambda_r + 1,051, \quad (2)$$

$$k_h = 1 + h_c/B. \quad (3)$$

Określenie współczynnika k_{L0} zostało poprzedzone obliczeniami symulacyjnymi wykonanymi dla pręseł o różnych rozpiętościach a_0 i dla niecek o różnych promieniach zasięgu wpływów głównych r . Wynikami każdego z tych obliczeń były odkształcenia cięciwy. Zaproponowana zależność określająca współczynnik k_{L0} została uzyskana przez aproksymację wielomianową wyników obliczeń symulacyjnych. Zmienność współczynnika k_{L0} wyrażającego redukcję odkształceń $\varepsilon_{L,max}$ wynikającą z długości pręśla (sekcji) odniesionej do promienia zasięgu wpływów głównych przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Zmienność współczynnika k_{L0} w funkcji $\lambda_r = a_0/r$

Do opisu kształtu krawędzi niecki posługiwałem się teorią Budryka-Knothego (zakładającą proporcjonalność przemieszczenia poziomego u i nachylenia T powiązanych współczynnikiem odkształcenia terenu $B = 0,4r$).

Według analogicznych zasad wyprowadzony został wzór pozwalający określić najniekorzystniejsze (ze względu na wartość wskaźnika ε_L) położenie pręśla w stosunku do krawędzi niecki. Położenie to jest definiowane przez względną współrzędną środka pręśla x_m/r .

Ten sposób postępowania nawiązuje do podejścia tradycyjnego. Pozwala on zobrazować znaczenie długości sekcji i przede wszystkim wprowadzić odkształcenie cięciwy jako wskaźnik charakteryzujący kategorię terenu górniczego w powiązaniu z długością sekcji, wysokością zawieszenia przewodu i zasięgiem krawędzi niecki (głębokością eksploatacji). Przykładowe wartości takich wskaźników dla II i III kategorii terenu górniczego zestawiono w tabelicy 2.2 (w monografii).

G2. Zachowanie odcinka linii elektroenergetycznej poddanego deformacjom terenu

Słupy linii elektroenergetycznych objęte wpływem górniczych deformacji terenu podlegają przemieszczeniom liniowym i kątowym wymuszonym przez ruchy terenu. W wyniku tego dochodzi do zmiany położenia w przestrzeni poszczególnych punktów zawieszenia izolatorów na słupach. Dalszą konsekwencją tych ruchów są zmiany położenia punktów zawieszenia przewodów, zmiany odległości między końcami każdego z nich (określane indywidualnie dla każdego) i ostatecznie zmiany sił naciągu. Związek między siłą a przemieszczeniami końców (odkształceniem) przewodu jest silnie

nieliniowy, a jego charakter zależy od kilku czynników (m in. zwisu montażowego przewodu, rodzaju przewodu, spadu przęsła, wartości i kierunku przemieszczenia).

Wszystkie wymienione elementy (przewody, izolatory, słupy i fundamenty) tworzą jeden układ mechaniczny poddany wymuszonym przemieszczeniom. Charakteryzuje się on dużą zdolnością kompensacji tych przemieszczeń uzyskiwaną dzięki redukcji zwisów przewodów, wychyleniu izolatorów przelotowych i ugięciom słupów.

Zadaniem wymagającym rozwiązania jest znalezienie nowego położenia równowagi, tj. kątów wychylenia izolatorów (w płaszczyźnie i z płaszczyzny linii) oraz nowego położenia w przestrzeni punktów zawieszenia przewodów. Przy uwzględnianiu podatności słupów dochodzą jeszcze przemieszczenia punktów zawieszenia izolatorów wynikające z ugięcia trzonu słupa, poprzeczników i wieżyczek odgromowych. W celu znalezienia rozwiązania problemu należało podjąć decyzję w dwóch podstawowych kwestiach dotyczących:

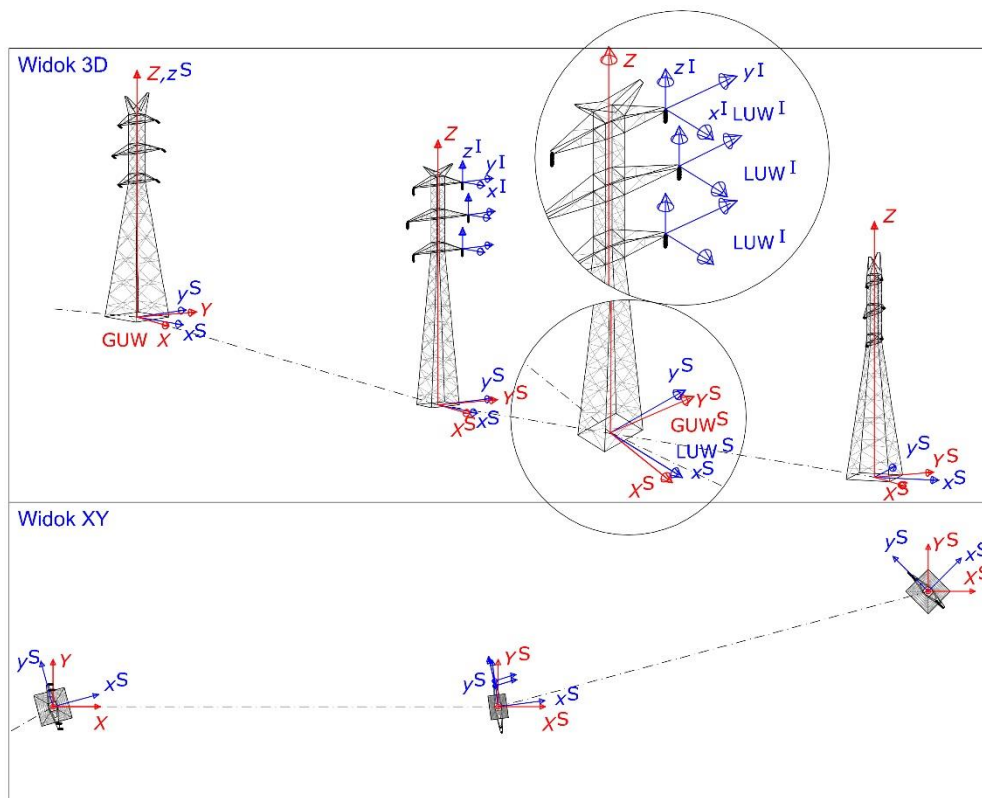
- A. Sposobu geometrycznego odwzorowania położenia wszystkich elementów układu (przewodów, izolatorów i słupów) oraz ich kinematyki wynikającej z:
- ruchów terenu (przemieszczeń i obrotów),
 - odkształceń słupów (ugięć trzonu i poprzeczników),
 - obrotów izolatorów,
 - zmiany kształtu linii zwisania przewodów.
- B. Skutecznych i efektywnych metod poszukiwania równowagi statycznej całego układu.

G3. Geometryczne odwzorowanie układu przewody – izolatory – słupy – (fundamenty)

Opis zachowania odcinka linii elektroenergetycznej wymaga w niektórych przypadkach równoczesnej analizy nawet kilku sekcji naciągowych. Wszystkie elementy wchodzące w ich skład są wzajemnie powiązane, stąd konieczne jest przyjęcie spójnego sposobu odwzorowania ich położenia. Ze względu na możliwość wystąpienia dowolnych ruchów terenu i zmianę kierunku linii na słupach odporowo-naroznych musi być to odwzorowanie w pełni przestrzenne.

Do odwzorowania kinematyki układu zastosowano współrzędne i przekształcenia jednorodne. W tym zapisie położenie punktu w przestrzeni definiuje wektor 4-elementowy (liczba elementów o 1 większa niż wymiar odwzorowywanej przestrzeni), a przekształcenia odwzorowywane są za pomocą macierzy jednorodnych o wymiarach 4x4. Pozwala to sprowadzić obroty i przesunięcia oraz transformacje układu współrzędnych do pojedynczej operacji mnożenia macierzowego. Jest to szczególnie istotne ze względu na składanie różnego rodzaju ruchów odbywających się w różnych kierunkach i względem różnych osi. Rezygnacja z odwzorowania macierzowego wiązałaby się z dużymi trudnościami z utrzymaniem spójności odwzorowania kinematyki układu. Całość schematu odwzorowania tworzy system układów współrzędnych (układu globalnego GUW, jego lokalnych kopii

oraz układów lokalnych LUW) powiązanych z różnymi podzespołami układu mechanicznego. System układów współrzędnych ułatwia wprowadzanie danych, analizę kinematyki układu i wyznaczanie jego równowagi. Przykład oznaczeń układów współrzędnych na krótkim odcinku linii zilustrowano na rysunku nr 3.



Rys. 3. Odzworowanie geometryczne odcinka linii

Współrzędne i przekształcenia jednorodne są uznaną techniką stosowaną w geometrii komputerowej i robotyce. Były również przykłady stosowania ich w budownictwie (w monografii M. Salamaka) do opisu ruchu brył mostu na terenach deformacji górniczych. Przyjętą notacją oraz wykazy stosowanych macierzy (wraz z zasadami ich tworzenia i wykorzystywania) opisano szczegółowo w podpunkcie 5.2 monografii.

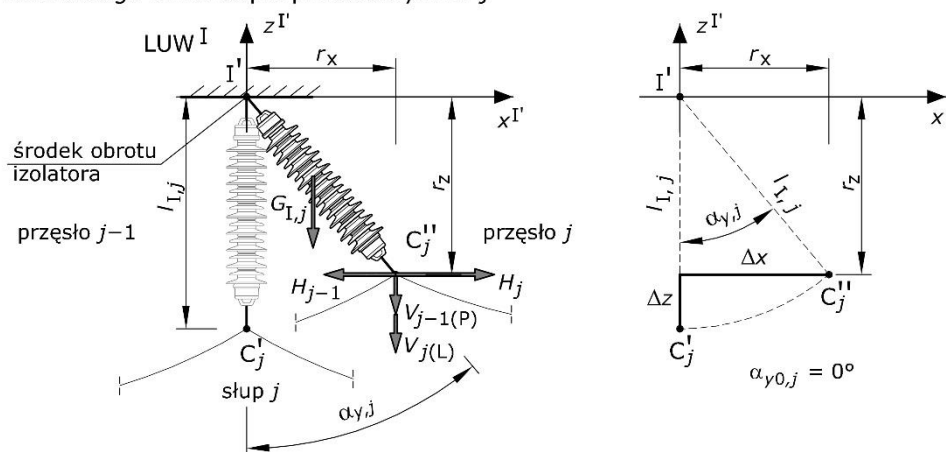
G4. Konceptje poszukiwania równowagi statycznej układu

Zaproponowana przeze mnie koncepcja określania równowagi statycznej układu ma strukturę hierarchiczną. Polega ona na rozbiciu problemu na zadania prostsze, określane w monografii mianem *poziomów obliczeń*. Wszystkie operacje, w ramach każdego z poziomów, wykonywane są z użyciem metod numerycznych (całkowanie, znajdowanie pierwiastków równań nieliniowych, rozwiązywanie układów równań liniowych). Choć w obliczeniach są wykorzystywane powszechnie znane metody numeryczne, to jednak w pełni autorskie są koncepcje ich sprzężenia w całym procesie obliczeniowym.

W hierarchicznej strukturze można wyróżnić następujące poziomy obliczeń:

- poziom 1. – ustalenie kształtu krzywej zwisania i siły naciągu dla pojedynczego odcinka przewodu poddanego zadany (założonym) przemieszczeniom końców,
- poziom 2. – ustalenie równowagi (zerowania niezrównoważonego momentu) w obrębie pojedynczego izolatora polegające na wyznaczeniu kąta jego wychylenia i związanych z nim zmian położenia końców przewodu w dwóch przyległych do tego izolatora przęsłach (patrz rysunek nr 4),

Równowaga sił na słupie przelotowym nr j



Rys. 4. Równowaga sił na izolatorze przelotowym

- poziom 3. – ustalenie równowagi pojedynczego przewodu w całej sekcji (wyznaczenie kątów wychylenia wszystkich izolatorów podtrzymujących przewód w układzie wieloprzęsłowym),
- poziom 4. – ustalenie interakcji między słupami a przewodami (zgodności sił naciągu przewodów i ugięć słupów w punktach zawieszenia izolatorów na słupach) w pojedynczej sekcji naciągowej; taka zgodność musi zostać uzyskana jednocześnie dla wszystkich słupów w kilku sąsiadujących ze sobą sekcjach naciągowych (złożenie kilku obliczeń poziomu 4.).

W ramach pojedynczego przebiegu obliczeń poziomu n wykonywanych jest wiele obliczeń zaliczonych do poziomów o niższej hierarchii. Aby można było uznać obliczenia poziomu n za zakończone, to należy również uzyskać zakładaną zgodność obliczeń niższych poziomów związanych z tym elementem (np. rozważając równowagę izolatora na słupie nr 2 w obliczeniach poziomu 2. należy uzyskać zadawalającą zgodność ustalania kształtu krzywych zwisu w odcinkach przewodów przylegających do tego izolatora).

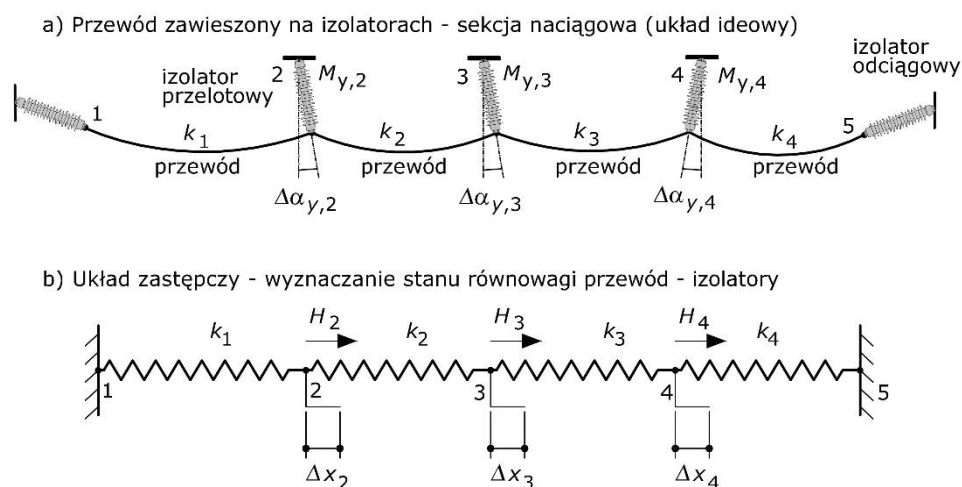
Stanowiącą sedno obliczeń **poziomu 1.** metodę ustalenia kształtu krzywej zwisania pojedynczego odcinka przewodu opisano w podpunkcie 3.4.2 monografii. Dla znanych (lub zakładanych podczas procesu poszukiwania kąta wychylenia izolatora w obliczeniach poziomu 2.) zmian położenia, nowy kształt krzywej zwisania przewodu określa się wykorzystując zgodność jego długości pierwotnych (w stanie beznaprężeniowym) w dwóch stanach – w fazie montażowej i po wystąpieniu dowolnych

przemieszczeń punktów zawieszenia. Przykład liczbowy przybliżający zasadę tych obliczeń pokazany został w punkcie 3.5 monografii.

Rozważano trzy warianty metod, w których **poziomy obliczeń 2. i 3.** były rozdzielone. Metody te zostały zaklasyfikowane do grupy A i nazwane przeze mnie metodami *kolejnego równoważenia pojedynczych węzłów*. Opisy funkcjonowania tych metod przedstawiłem w podpunktach 5.4.2 i 5.5.2 monografii. Zaproponowałem również jedną metodę, w której równowaga wieloprzęsłowego odcinka przewodu na wszystkich izolatorach następowało jednocześnie. Metoda ta została zaliczona do grupy B i jest określana mianem metody *jednoczesnego równoważenia wszystkich węzłów* – podpunkt 5.5.4 monografii. Ze względu na nieliniowość zachowania przewodów i izolatorów, we wszystkich metodach obliczenia wykonywane są z użyciem algorytmów iteracyjnych lub iteracyjno-przyrostowych.

W metodach grupy A, w danym etapie poszukiwana jest równowaga układu izolator + dwa sąsiadujące z nim przewody (przy zamrożonym stanie wszystkich innych punktów układu). Za stan równowagi takiego wycinka układu uznaje się sytuację, gdy moment sił względem punktu zawieszenia izolatora na słupie jest równy zero (bliski zera w metodach numerycznych). Różnice między wariantami metod grupy A związane są ze stosowanymi metodami numerycznymi (bisekcji lub sieciowych) oraz kryterium zerowania momentów (*pełnego zerowania* lub *powolnego tłumienia*). Ze szczegółami autorskich koncepcji można zapoznać się w wymienionych wyżej podpunktach monografii.

W metodzie B (podpunkt 5.5.6) wieloprzęsłowy układ składający się z przewodu połączony z izolatorami zostało odwzorowany jak układ szeregowo połączonych sprężyn o wymuszonych przemieszczeniach punktów węzłowych. Wykorzystano analogię tych dwóch układów (koncepcję ilustruje rysunek nr 5).



Rys. 5. Koncepcja poszukiwania równowagi w metodzie grupy B

W rozpatrywanym w monografii układzie niewiadomymi są kąty obrotu izolatorów (a nie przemieszczenia liniowe węzłów), a sztywnościami zmiany momentów odpowiadające minimalnej zmianie kąta obrotu (zamiast zmiany siły odpowiadające przemieszczeniu liniowemu). Przy określaniu sztywności $\Delta M/\Delta \alpha$ uwzględnia się zmiany sił w przewodach wywołane zmianą położenia ich końców wynikające z obrotu rozpatrywanego izolatora.

Po ustaleniu macierzy sztywności \mathbf{K} znalezienie niewiadomych kątów wychylenia izolatorów metodą B sprowadza się do rozwiązania układu równań w postaci:

$$\mathbf{K} \cdot \Delta \alpha_y = \mathbf{M}_y, \quad (4)$$

gdzie:

\mathbf{K} – macierz sztywności przewodu w sekcji:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & 0 & 0 & 0 \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & 0 & 0 \\ 0 & K_{32} & K_{33} & K_{34} & 0 \\ 0 & 0 & K_{43} & K_{44} & K_{45} \\ 0 & 0 & 0 & K_{54} & K_{55} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$\Delta \alpha_y$ – wektor niewiadomych przyrostów kątów wychylenia izolatorów (w danej iteracji),

\mathbf{M}_y – wektor niezrównoważonych momentów obliczonych względem punktu zawieszenia izolatora (dla rozpatrywanego przyrostu kątów wychylenia izolatorów).

Wyrazy macierzy sztywności \mathbf{K} są obliczane przez sumowanie sztywności poszczególnych elementów (przewodów i izolatorów) zbiegających się w węzle – podobnie jak na etapie agregacji w metodzie elementów skończonych. Na opór stawiany obrotowi pojedynczego izolatora składają się zmiany sił w przewodach i opór związany z przewyciężeniem ciężaru samego izolatora. Te siły, mnożone przez odpowiednie ramiona dają poszukiwane sztywności k służące do wyznaczenia elementów macierzy \mathbf{K} . Sztywności „sprężyn” reprezentujących przewody są zależne od rozpatrywanego stanu (aktualnego kąta wychylenia rozpatrywanego izolatora i położenia punktów zawieszenia przewodów na obydwu jego przeciwległych końcach – wpływ pośredni sąsiednich izolatorów). Zmienna sztywność sprężyn (przewodów z izolatorami) zależna od aktualnie rozpatrywanego kąta jego wychylenia wymusza konieczność prowadzenia obliczeń iteracyjno-przyrostowych (m. in. kilkukrotnego wyznaczania sztywności i przyrostów kątów wychylenia).

G5. Testowanie metod

W ramach prac testowano niezawodność i efektywność metod. Testy przeprowadzono dla sekcji naciągowych różniących się liczbą pręseł i ich konfiguracją. Rozważano wpływ kilku czynników na czas uzyskania rozwiązania. W ten sposób oceniano kombinacje parametrów – łącznie rozpatrywano 288 kombinacji różnych wartości 6 parametrów (takich jak: rodzaj metody, liczba przedziałów

całkowania przy określaniu długości pierwotnej przewodu, kryteriów zbieżności obliczeń poszczególnych poziomów, wartość współczynnika tłumienia itp.). Stanowiło to podstawę oceny efektywności zaproponowanych metod i znaczenia testowanych parametrów.

Przeprowadzone testy efektywności były jednocześnie testami niezawodności algorytmu. Udało się w ten sposób znaleźć kilka słabych punktów, a następnie przez modyfikację algorytmu je wyeliminować, poprawiając niezawodność funkcjonowania programu. Źródłem błędów były zwykle znane wady niektórych metod numerycznych (np. małe nachylenie siecznej przy poszukiwaniu pierwiastków metodą siecznych). Trzeba było te usterki zdiagnozować i w warunkach charakterystycznych dla analizy ciągłych znaleźć metody ich eliminacji (np. przez odpowiednie przyjmowanie wartości początkowych w obliczeniach numerycznych).

Testowanie efektywności metod zostało przeprowadzone w odpowiedzi na rosnący czas trwania coraz bardziej złożonych obliczeń. Szczególnie istotna jest efektywność metody w przypadku symulacji zachowania układu kilku sekcji naciągowych w setkach możliwych położeniach z uwzględnieniem interakcji zachodzącej między słupami a przewodami.

Omówienie testów, znaczenie przyjmowanych parametrów metody, informacje na temat eliminacji usterek oraz wypływające z tych analiz wnioski zostały zebrane w punkcie 5.5.3 monografii.

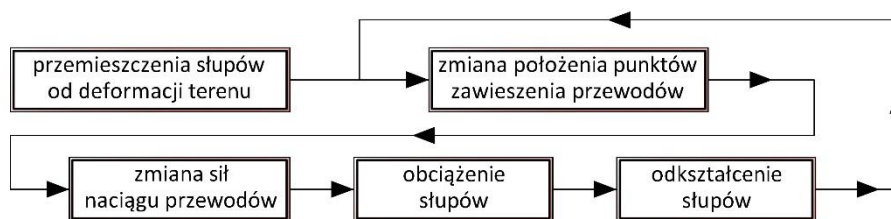
G6. Interakcja przewody – słupy (fundamenty)

W obliczeniach poziomu 3. rozpatruje się pojedynczy przewód w wieloprzęstłowej sekcji naciągowej przy przyjęciu założenia, że punkty zawieszenia podtrzymujących go izolatorów nie zmieniają swojego położenia po wystąpieniu przemieszczeń wynikających z ruchów terenu. Przy tym założeniu konstrukcja wsporcza traktowana jest jak bryła sztywna wyłącznie „transmitująca” deformacje terenu na poziom zawieszenia izolatorów. Efektem tego jest jednokierunkowość relacji przyczynowo-skutkowej, w której przyczyną jest ruch słupów, a skutkiem zmiana sił w przewodach (rys. 6). Powyższe założenie o jednokierunkowości bardzo ułatwia obliczenia, jednak ich wynik obciążony jest błędem wynikającym z tego założenia.



Rys. 6. Uproszczona relacja pomiędzy wymuszonymi przemieszczeniami słupa i oddziaływaniami przewodów

W rzeczywistości relacja między przyczynami i skutkami jest dwukierunkowa, a słupy są w nich zarówno źródłem zmiany sił w przewodach (w wyniku przemieszczeń), jak i źródłem kompensacji (na skutek odkształceń zachodzących w wyniku zmiany tych sił) – patrz schemat – rys. 7.



Rys. 7. Relacja pomiędzy wymuszonymi przemieszczeniami słupa i oddziaływaniami przewodów przy uwzględnieniu podatności słupów

W wyniku działania sił naciągu przewodów dochodzi do zginania i skręcania trzonu słupa oraz zginania jego poprzeczników. Następuje więc wzajemna interakcja nie tylko między pojedynczym przewodem i słupem, ale również między przewodami poszczególnych faz i torów.

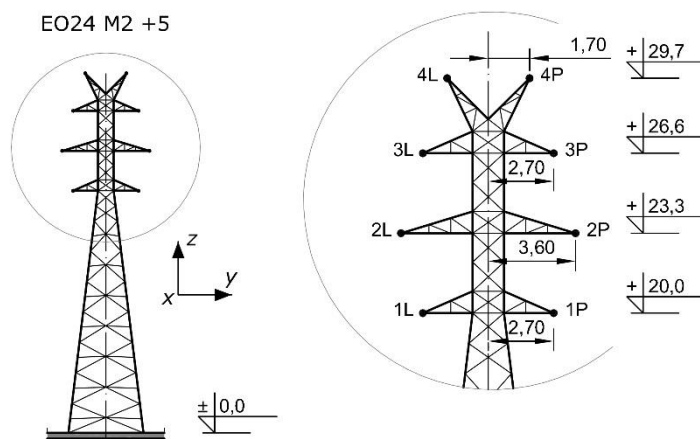
Za uwzględnianiem podatności słupów w obliczeniach linii elektroenergetycznych w terenach górniczych przemawia kilka argumentów, z których można wymienić:

- znaczną nierównomierność obciążeń działających na słupy (prowadzącą do relatywnie dużego ugięcia słupów w płaszczyźnie równoległej do kierunku linii),
- dużą czułość przewodów nawet na niewielkie zmiany położenia punktów zawieszenia – szczególnie przy silnym naprężeniu przewodów (przy ich małym zwisie),
- proporcjonalnie duże przemieszczenia wynikające z deformacji terenu pochodzenia górniczego.

Należy zwrócić uwagę, że układy oddziaływań stowarzyszone z deformacjami terenu są wyraźnie inne niż typowe układy normowe i stąd sugestia o uwzględnianiu odkształceń słupa jest moim zdaniem jak najbardziej uzasadniona.

Kolejnym problemem, wymagającym rozwiązania było zaproponowanie metody zintegrowania obliczeń statycznych wieloprzęsłowych układów cięgien ze statyką słupów. Bezpośrednie odwzorowanie odcinka linii elektroenergetycznej (kilku sekcji naciągowych) z podatnymi słupami wiązałoby się z koniecznością tworzenia modeli w skład których wchodziłoby kilkanaście słupów (składających się z kilkuset prętów każdy) i wykonywaniu iteracyjnych obliczeń (ze względu na nieliniowość zachowania układu przewodów i izolatorów w sekcji).

W programie SWN 2015 zastosowano rozwiązanie, w którym słupy są modelowane za pomocą superelementów. Ich zachowanie jest sprowadzone, do najistotniejszych z punktu widzenia rozważanego zagadnienia, węzłów znajdujących się w miejscach zawieszenia izolatorów. Wdrożenie koncepcji przetestowano na typowym słupie mocnym dwutorowej linii 110 kV o symbolu EO24 M2+5 (dokumentacja do testów została mi udostępniona przez Energoprojekt Kraków). Dzięki temu założeniu słupy linii dwutorowej odwzorowywane są za pomocą relatywnie małej macierzy podatności C_{sup} o wymiarach 24x24 (8 węzłów o 3. stopniach swobody każdy), a ich interakcja z przewodami stanowi obliczenia zakwalifikowane do poziomu 4. Rozmieszczenie węzłów superelementu odwzorowującego słup EO24 M2+5 pokazano na rysunku nr 8.



Rys. 8. Lokalizacja węzłów superelementu stosowanego przy określaniu interakcji między przewodami a słupami

Uzyskanie rozwiązania obliczeń poziomu 4. wiąże się ponownie z prowadzeniem obliczeń iteracyjnych (aż do uzyskania zgodności ugięć słupa reprezentowanymi przez przemieszczenia wspomnianych wcześniej węzłów) z siłami wywołującymi te przemieszczenia. Zadanie realizowane jest przez kontrolę zgodności przemieszczeń wszystkich węzłów na początku i na końcu danej iteracji poziomu 4.

$$\sum_{s=1}^m \left(\sum_{i=1}^n |f_i - f_{i(P)}| \right) \leq \delta_{\Sigma f}, \quad (6)$$

gdzie (pełny opis – podpunkt 7.3.1 monografii):

$f_{i(P)}$ – założone na początku danej iteracji $iter4$ ugięcie całkowite węzła i ,

f_i – ugięcie całkowite węzła i uzyskane w etapie E iteracji $iter4$ (po zweryfikowaniu oddziaływań przewodów na słupy),

$\delta_{\Sigma f}$ – maksymalna różnica ugięć na początku i końcu iteracji.

Wspomniane wyżej ugięcia słupa na początku iteracji $f_{i(P)}$ są podstawą weryfikowania wartości sił w przewodach (w układzie wieloprzęsłowym), a ugięcia na końcu iteracji f_i są efektem działania tych sił (ugięciami słupa reprezentowanymi przez przemieszczenia węzłów superelementu).

Wykorzystywana w obliczeniach macierz podatności superelementu \mathbf{C}_{sup} może być określana na podstawie wyników obliczeń pełnego modelu pojedynczego słupa. Źródłem współczynników, będących elementami macierzy \mathbf{C}_{sup} są wtedy przemieszczenia punktów węzłowych (punktów zawieszenia izolatorów) wynikające z przyłożenia sił jednostkowych w tych węzłach. Wyznaczenie macierzy podatności dla danego typu (odmiany) słupa wykonywane jest jednokrotnie. Staje się ona jego charakterystyką i w innych obliczeniach nie musi być ponownie wyznaczana. Oczywiście zastosowanie superelementów powoduje, że z definicji zachowanie słupa traktowane jest jako liniowe (fizycznie i geometrycznie).

Pełny opis przebiegu tych obliczeń i przyjętych rozwiązań autorskich przedstawiono w podpunkcie 7.3.1.

G7. Przykłady, symulacje, analizy parametryczne

Jak wcześniej wspomniałem, zastosowanie metod numerycznych pozwala na rozwiązanie problemów o dużym stopniu złożoności, jednak nie daje gotowych rozwiązań w postaci ogólnej. Uważam, że próba poszukiwania zależności algebraicznych (np. za pomocą funkcji aproksymujących wyniki obliczeń numerycznych) byłoby działaniem nieuzasadnionym i stosunkowo trudnym (żmudnym). Moim zdaniem do rozwiązywania dowolnego problemu z omawianego zakresu (dla znanych danych wejściowych) powinien służyć odpowiednio dostosowany program komputerowy. W związku z tym zdecydowałem się na zamieszczenie w monografii:

- przykładów – przybliżających zasady funkcjonowania metod obliczeniowych,
- symulacji – pokazujących możliwość analizy stanu odcinka linii przy przemieszczającej się niecce górniczej,
- analiz parametrycznych – pokazujących możliwość uzyskiwania porównywalnych zestawów wyników dla wielokrotnie powtarzanych (automatycznie) analiz dla kilku różnych wartości wybranego parametru; przykładem takiej analizy parametrycznej może być określanie maksymalnej siły naciągu przewodu dla różnych zwisów montażowych.

W tym celu, w monografii, zdecydowałem się omówienie możliwości programu SWN 2015. Poświęciłem temu rozdział nr 8.

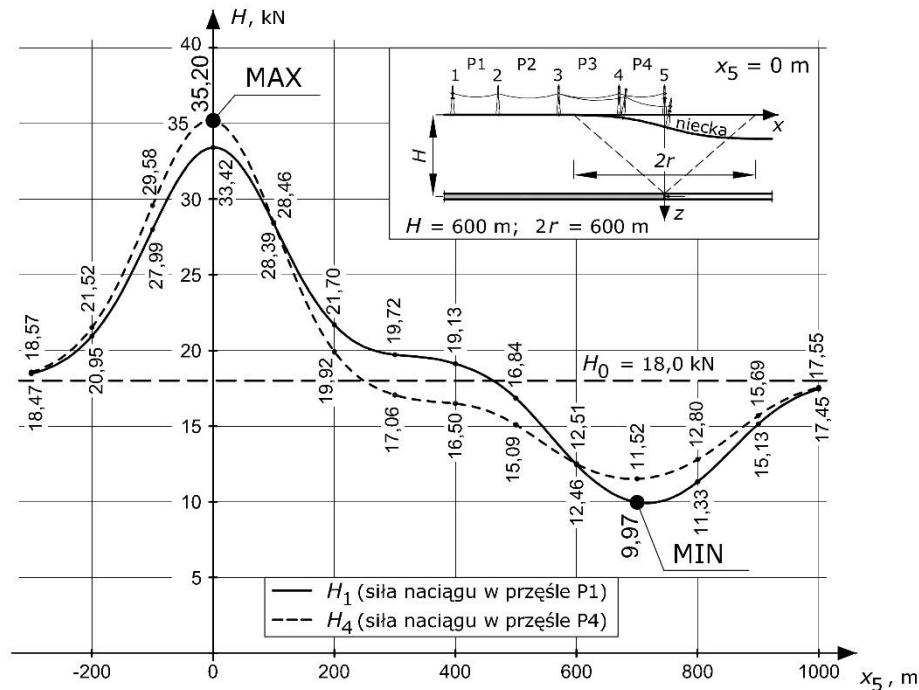
W celu przybliżenia zasad funkcjonowania autorskich metod obliczeniowych, w monografii zamieszczono trzy **przykłady**:

- numerycznego wyznaczania kształtu linii zwisania pojedynczego ciężna poddanego przemieszczeniom punktów zawieszenia (przykład 3.1 – podpunkt 3.5 monografii) – obliczenia poziomu 1.,
- numerycznego wyznaczania równowagi przewodu w układzie wieloprzęstowym metodą A1 (przykład 5.1 – podpunkt 5.4 monografii) – obliczenia poziomu 2. i 3.,
- uwzględniania podatności słupów w obliczeniach (przykład 7.1 – podpunkt 7.4 monografii) – obliczenia poziomu 4.; ze względu na obszerność podano i przeanalizowano tylko wybrane wyniki tych obliczeń.

Moim zdaniem, przykłady są najprzystępniejszą formę zapoznania się z zasadami funkcjonowania przyjętych metod.

W monografii zademonstrowano wyniki kilku **obliczeń symulacyjnych**. Jednym z takich przykładów jest analiza sił naciągu przewodu w dwóch skrajnych przęstach (przęsta P1 i P4) sekcji 4-przęstowej (siły H_1 i H_4). Powtórzenie obliczeń dla 151 kolejnych pozycji sekcji naciągowej

względem przemieszczającej się niecki pozwoliło uzyskać rozkłady zmienności wymienionych sił w funkcji położenia sekcji (rys. 9 – kompletny opis w podpunkcie 6.3 monografii). Położenie sekcji naciągowej względem frontu eksploatacji określone jest przez współrzędną x_5 charakteryzującą usytuowanie skrajnego słupa nr 5 tej sekcji.

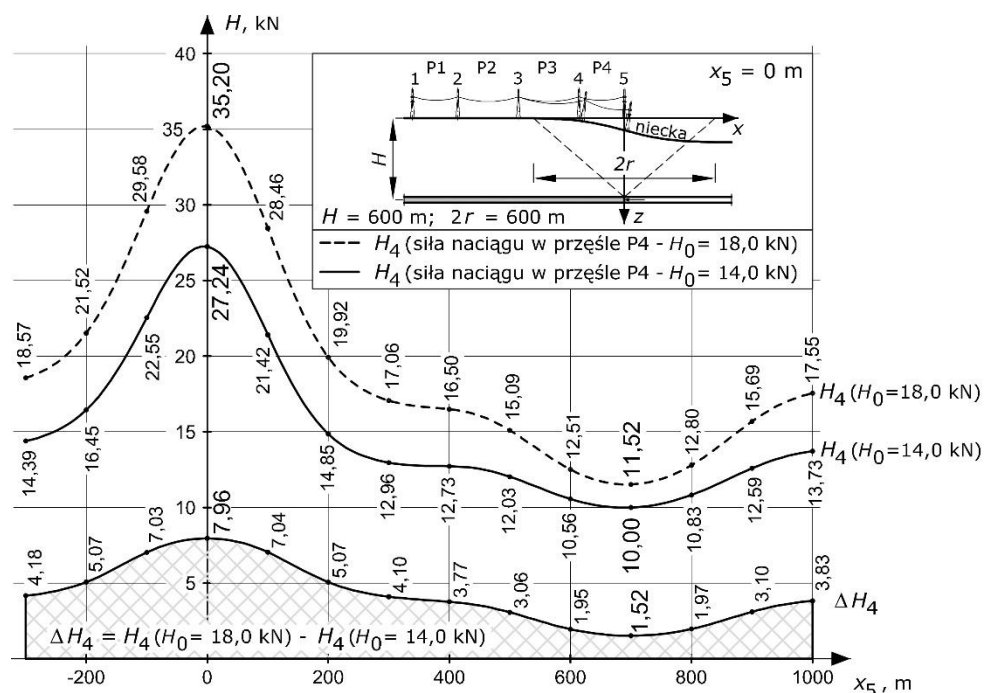


Rys. 9. Składowe H siły naciągu w skrajnych przęsłach sekcji wieloprzęsłowej w funkcji jej położenia

Innym elementem monografii prezentującym możliwości obliczeniowe programu SWN 2015 są **analizy parametryczne**. Liczne analizy parametryczne zostały zamieszczone w rozdziale 4. monografii. Ilustrują one wrażliwość cięgien (zmianę siły naciągu H , zmianę rozdziału reakcji V na słupy, zmianę mimośrodowość cięgna m) związaną z wymuszonymi przemieszczeniami (ich kierunkiem i wartościami).

Z kolei w rozdziale 6. zamieszczono wyniki analiz parametrycznych dla sekcji wieloprzęsłowych. Za ich pomocą oceniano znaczenie takich charakterystyk linii elektroenergetycznej jak: zwisu montażowego przewodu, długości przęseł, liczby przęseł (całkowitej długości sekcji), konfiguracji sekcji, długości i ciężaru izolatorów itp. Liczba takich analiz mogłaby być większa, a ograniczeniem była wyłącznie objętość monografii. Na rysunku 10. pokazano jedną z takich analiz odnoszących się do wpływu założonego zwisu montażowego (naciągu początkowego przewodu) na późniejsze zachowanie sekcji 4-przęsłowej podczas przechodzenia niecki górniczej. Tego typu obliczenia pozwalają szybko ocenić skuteczność takiego zabiegu profilaktycznego. Analiza parametryczna może być więc wykorzystywana do indywidualnego doboru warunków początkowych pod kątem zabezpieczenia różnych elementów linii (słupów, ale także przewodów i izolatorów) przed prognozowanymi deformacjami terenu. Rysunek nr 10 przedstawia wyłącznie przebieg zmienności siły naciągu w jednym przewodzie po jednej stronie słupa (z pominięciem wpływu podatności słupa).

W monografii pokazano również wyniki obliczeń, których efektem są siły przykładane do słupa (wynik równoczesnego rozpatrywania drugiej sekcji przylegającej do słupa lub kilku sekcji w przypadku uwzględnienia podatności słupów).



Rys. 10. Składowe H_4 siły naciągu w skrajnym przęśle sekcji 4-przęsłowej w funkcji jej położenia względem wieży (dla dwóch różnych naciągów montażowych $H_0 = 14$ i $H_0 = 18$ kN)

4.3. Podsumowanie – wskazanie głównych osiągnięć

Podsumowując skrótowo zawartość monografii chciałbym wyszczególnić jej elementy, które uznaję za nowatorskie:

1. unikalny charakter tematyki łączącej elementy różnych dziedzin działalności inżynierskiej i nie będącej wcześniej obiektem tak szerokiego opracowania,
2. nowatorskie podejście do analizy konstrukcji wsporczych linii elektroenergetycznych przez uwzględnienie interakcji zachodzącej między wszystkimi elementami składowymi (przewodami, izolatorami, słupami i fundamentami),
3. stosowanie spójnego podejścia wykorzystującego współrzędne i przekształcenia jednorodne do odwzorowania geometrii i kinematyki całego układu mechanicznego linii elektroenergetycznej złożonego z przewodów, izolatorów i słupów (fundamentów),
4. opracowanie i wdrożenie autorskich koncepcji poszukiwania stanu równowagi elementów linii elektroenergetycznej z wykorzystaniem metod numerycznych wraz z wariantowaniem metod pod kątem uzyskania większej efektywności algorytmu i zapewnieniem jego niezawodności,

5. opracowanie i praktyczne wdrożenie koncepcji stosowania superelementów do odwzorowania zachowania słupów w analizie stanu kilku sekcji linii elektroenergetycznej,
6. przygotowanie oprogramowania (programów SWN 2015 i SWN 2015 – szkody) dającego możliwość wszechstronnej analizy wpływu deformacji górniczych na linie elektroenergetyczne o dowolnej konfiguracji,
7. unowocześnienie i urealnienie sposobu określania oddziaływań przewodów na słupy linii elektroenergetycznych z zastosowaniem metod numerycznych,
8. opracowaniem podejścia do analizy linii elektroenergetycznych w terenach górniczych deformacji terenu z wykorzystaniem metod numerycznych, dającego możliwość jego dalszej relatywnie prostej rozbudowy (np. uwzględniającej zjawiska reologiczne – pełzanie przewodów),
9. wskazanie współzależności między różnymi typami oddziaływań na słupy (oddziaływań przewodów, oddziaływań gruntu na fundamenty, powiązania z innymi oddziaływaniami klimatycznymi),
10. przeprowadzenie licznych analiz parametrycznych pozwalających ocenić znaczenie wybranych wielkości charakteryzujących odcinek linii elektroenergetycznej (długość sekcji naciągowej, liczby przęseł i ich rozpiętości, naciągu początkowego przewodu, długości izolatorów, podatności słupów, położenia sekcji względem niecki itp.).

5. POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE ŚWIADCZĄCE O ISTOTNEJ AKTYWNOŚCI HABILITANTA

5.1. Działalność naukowo-badawcza

Problematyką projektowania konstrukcji wsporczych linii elektroenergetycznych zajmuję się intensywnie przez 10 ostatnich lat. Przedłożona monografia jest trzecią z tego zakresu. Dwie wcześniejsze (opublikowane przez Wydawnictwo Naukowe PWN) powstały w zespole autorskim Mendera, Szojda, Wandzik i dotyczyły różnorodnych problemów związanych z projektowaniem linii elektroenergetycznych.

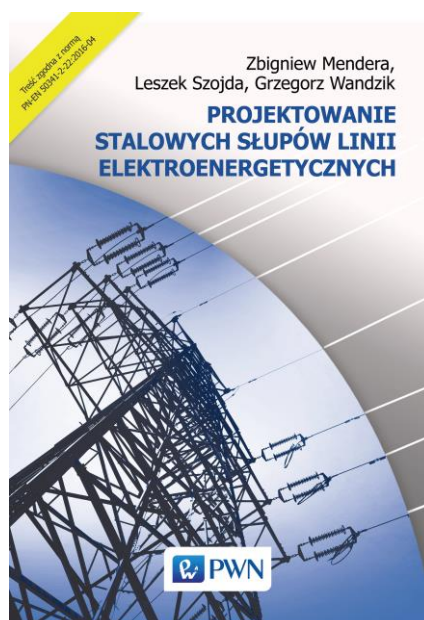
Tematyką linii elektroenergetycznych zainteresował mnie Pan Prof. Zbigniew Mendera, proponując w 2008 roku wspólną pracę nad pierwszą ze wskazanych monografii. Moje wcześniejsze doświadczenia wynikały głównie z działalności eksperckiej dotyczącej konstrukcji wieżowych i słupów linii elektroenergetycznych.

Impulsem do przygotowania pierwszej z tych książek (*Stalowe konstrukcje wsporcze napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia*, wydana w 2012 roku) było wdrażanie rozbudowanego systemu norm europejskich. Moim zdaniem odpowiadało ono oczekiwaniom projektantów zajmujących się tymi zagadnieniami. Jednym z podstawowych wyzwań była świadoma interpretacja słabo zintegrowanego systemu norm (normy do projektowania linii elektro-



WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN

nergetycznych nie należą do systemu Eurokodów) i zaproponowanie metod postępowania, które pozwalałyby spełniać ogólnikowe wymagania tych norm. Kilkuletnia praca obejmowała przegląd zagadnień odnoszących się do tej problematyki, np. określania oddziaływań klimatycznych, uwzględniania efektów dynamicznych, dostosowania i dyskusji nieściślejszych zasad stosowania częściowych współczynników bezpieczeństwa, metod obliczania cięgien, analizy metod wymiarowania elementów kratowych konstrukcji stalowych, zasad określania właściwości gruntu i konsekwencji wyboru metod projektowania fundamentów. Wymierną trudność stanowiła konieczność zintegrowania i interpretacji informacji z kilku dziedzin działalności inżynierskiej w okresie, w którym znajomość norm europejskich była stosunkowo słaba. Brałem udział w pracach nad wszystkimi rozdziałami monografii (rozdziałów 1-4 z prof. Menderą, rozdziału 5 z dr Szojdą, co wzmiankowane jest w przedmowie do książki). Jednym z elementów mojej pracy było opracowanie zagadnienia analizy cięgien z użyciem metod numerycznych (wyłącznie do oddziaływań grawitacyjnych). Listę moich osiągnięć związanych z pracą nad tą monografią zamieściłem w wykazie (załącznik nr 5, II/E). Mój wkład pracy nad tą publikacją oszacowany został na 40% (Umowa Autorska zawarta z PWN).



Druga monografia z tego cyklu zatytułowana była **Projektowanie stalowych słupów linii elektroenergetycznych** i wydana została nakładem PWN na początku 2017 roku. Impulsem do jej opracowania była aktualizacja zestawu norm do projektowania linii elektroenergetycznych wprowadzająca wiele istotnych zmian w tym zakresie. Szkielet tej monografii stanowiła wcześniejsza praca, jednak konieczność aktualizacji została wykorzystana do równoczesnego istotnego poszerzenia jej zakresu. Pomimo wycofania części pracy dotyczącej wpływu szkód górniczych (podjąłem decyzję o przygotowaniu niezależnej monografii na ten temat) objętość monografii wzrosła z 269 do 419 stron. Całość prac związanych z aktualizacją, poszerzeniem zakresu jest mojego autorstwa. Ze względu na wykorzystanie w tej publikacji fragmentów pierwszej monografii zespół autorski pozostał bez zmian, jednak mój udział został w niej oszacowany na 80% (potwierdzony Umową Autorską zawartą z PWN).

Nowymi elementami mojego autorstwa w monografii z 2017 roku były:

- nowy rozdział dotyczący niezawodności konstrukcji wsporczych (poziomy niezawodności, konstrukcje tymczasowe, koordynacja nośności, stany graniczne w ujęciu norm energetycznych z odniesieniem do Eurokodów – wskazanie podobieństw, różnic oraz sprzeczności),
- opisanie zasad uwzględniania nieliniowości geometrycznej w obliczeniach przewodów i słupów pełnościennych (rurowych),
- wskazanie różnic w stosowaniu współczynników częściowych do oddziaływań i ich efektów,
- poszerzenie informacji i dodanie licznych rozważań i komentarzy na temat zasad określania oddziaływania wiatru (wyjaśnieniu genealogii stosowanych metod, porównaniu zasad określania oddziaływań do wcześniejszej normy i Eurokodów, analizy wpływu w zależności od kąta natarcia wiatru w kontekście wartości oddziaływań i zachowania konstrukcji wsporczych itp.),
- poszerzenie informacji na temat obciążenia oblodzeniem,
- rozbudowanie fragmentu poświęconego kombinacjom oddziaływań oblodzenia i wiatru (wraz z analizą dotyczącą znaczenia tych kombinacji),
- rozszerzenie opisów odnoszących się do zasad wymiarowania elementów konstrukcji stalowych (uporządkowania zasad dotyczących ustalania smukłości efektywnych prętów, przeprowadzeniu analiz wyjaśniających wpływ smukłości na nośność prętów ściskanych, opracowaniu podpunktów na temat połączeń śrubowych, drugorzędnych prętów skratowania, nośności na rozerwanie blokowe),
- podpunkt dotyczący projektowania słupów pełnościennych (technologie wytwarzania i montażu, zasad wykonywania obliczeń statycznych, metod kontroli stanów granicznych nośności, klasyfikacji przekrojów i kontroli ugięć, zebrania informacji na temat połączeń teleskopowych),
- wyprowadzenie zależności służących do obliczania charakterystyk geometrycznych cienkościennych przekrojów wielokątnych oraz współczynników redukcyjnych stosowanych do uwzględniania wpływu niestateczności miejscowej ścianek przy ściskaniu i zginaniu przekroju,
- rozbudowanie rozdziału na temat typizacji konstrukcji wsporczych o najnowsze modele słupów,
- rozszerzenie informacji na temat projektowania fundamentów (m in. podanie alternatywnych metod określania nośności na wyciąganie fundamentów z komentarzami dotyczącymi genealogii propozycji),
- opracowanie podpunktu na temat projektowania fundamentów płytowych,
- opracowanie podpunktu dotyczącego zasad konstruowania i obliczania połączenia słupa z fundamentem,

- wykonaniem przykładowych obliczeń słupa i fundamentu według znowelizowanych zasad normowych (wprowadzenie poziomów niezawodności, zmiana zasad określania oddziaływań i ich kombinacji itp.).

Autorstwo dwóch wymienionych wyżej monografii zaowocowało:

- zaproszeniami do udziału w konferencjach tematycznych (Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji 2012, Projektowanie Linii Elektroenergetycznych 2015),
- zleceniami na opracowanie opinii do norm i wytycznych projektowania linii elektroenergetycznych o ogólnopolskim zasięgu (załącznika krajowego PN-EN 50341-2-22:2016 i Standardów Projektowania Linii Elektroenergetycznych dla PSE) – patrz załącznik 5, II/F,
- zleceniem na opracowanie ekspertyzy po poważnej katastrofie słupa energetycznego,
- zaproszeniem do udziału w roli eksperta w dwóch aktualnie rozpoczętych projektach POIR finansowanych przez NCBiR – patrz załącznik 5, II/J.

Duża część mojej aktywności naukowo-badawczej związana jest z łączeniem zagadnień dotyczących konstrukcji budowlanych z informatyką. Ten typ działalności odpowiada moim zainteresowaniom i zdominował moją wieloletnią pracę:

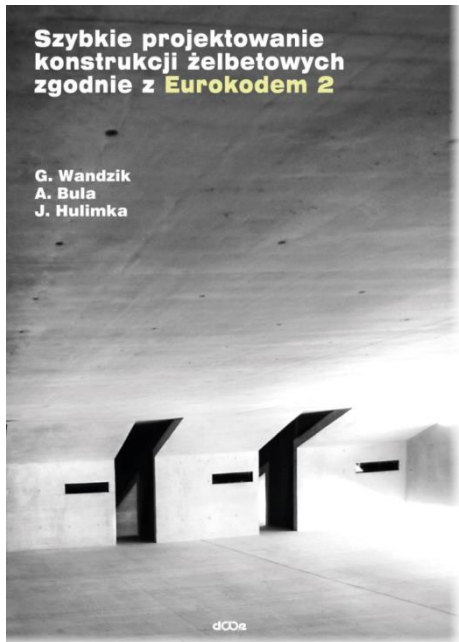
- dydaktyczną (przedmioty związane z informatyką, modelowaniem komputerowym – załącznik 5, III/I),
- naukową (udział w tworzeniu oprogramowania MES do nieliniowej analizy konstrukcji żelbetowych, murowych i współpracy konstrukcji z podłożem) i
- inżynierską (opinie powiązane z modelowaniem i analizą komputerową konstrukcji budowlanych, w tym z zastosowaniem własnych programów w działalności ekspertyzowej i doradczej – podpunkt 6.2 autoreferatu).

Łączenie informatyki z zagadnieniami analizy i modelowania konstrukcji wiązało się z ciągłym doskonaleniem swojej wiedzy z zakresu dynamicznie rozwijających się dziedzin: informatyki oraz języków i technik programowania. W okresie swojej pracy samodzielnie opanowałem (w mniejszym lub większym stopniu) kilka języków programowania, takich jak: Basic, Turbo Pascal, Fortran, AutoLisp, Delphi (Object Pascal), VBA (Visual Basic for Applications) i Visual C#.

Tematyka analizy komputerowej przewija się w mojej działalności już od pracy dyplomowej (napisanej pod kierunkiem doc. dr inż. Zdzisława Sulimowskiego), aż po dzień dzisiejszy (program SWN 2015, będący elementem monografii).

Swój udział, choć niewielki, miałem w opracowaniu jednego z pierwszych w Polsce systemów komputerowych do analizy statycznej konstrukcji prętowych o nazwie MAPRET. Jestem również współautorem systemu komputerowego MAFEM3D do nieliniowej analizy MES. Głównym autorem i pomysłodawcą obydwu wymienionych systemów był prof. Stanisław Majewski, z którym współpraca

była dla mnie zaszczytem. Jestem również autorem niekomercyjnego programu do kontroli stanów granicznych elementów żelbetowych o nazwie ŻelbetEC2. Informacje na temat własnego udziału i zastosowań wymienionych programów zestawilem w załączniku 5, III/Q.



Program ŻelbetEC2 został dostosowany do przygotowania monografii (we współpracy z J. Hulimką i A. Bułą) pt. **Szybkie projektowanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2** wydanej w 2017 roku w Dolnośląskim Wydawnictwie Edukacyjnym (mój udział 60%). Głównym elementem tej pozycji są tablice umożliwiające szybką i bezpośrednią kontrolę stanów granicznych nośności i użyteczności elementów żelbetowych. Opracowanie tablic wiązało się z koniecznością wprowadzenia kilku oryginalnych koncepcji, do których można zaliczyć (wymienione poniżej są mojego autorstwa):

- zdefiniowanie pojęcia *granicznego momentu zginającego* ze względu na warunek stanu granicznego zarysowania (momentu, któremu odpowiada osiągnięcie założonej granicznej szerokości rozwarcia rysy),
- zdefiniowanie tzw. *granicznych rozpiętości bazowych* przy kontroli ugięć (pozwalających szybko wyeliminować przypadki, w których kontrola ugięć nie będzie warunkiem decydującym, a w innych sytuacjach pozwalającej maksymalnie skrócić czas potrzebny na sprawdzenie warunku SGU,
- scalenia kontroli ugięć i zarysowania,
- wprowadzenie pojęcia *długości krytycznej* (zamiast siły krytycznej) wykorzystywanej do szybkiego szacowania efektów drugiego rzędu przy projektowaniu elementów ściskanych,
- przygotowanie (bazujących na metodach numerycznych) krzywych interakcji (N, M) przy kontroli zarysowania przekrojów mimośrodowo ściskanych i rozciąganych,
- określanie maksymalnej granicznej siły V_{Rd} przy ścinaniu, uzyskiwanej dzięki poszukiwaniu takiego kąta nachylenia krzyżulców ściskanych ϑ , dla którego mniejsza z wartości $V_{Rd,max}$ i $V_{Rd,s}$ osiąga maksimum.

Wskazanie tych kilku wdrożonych koncepcji pokazuje, że przygotowanie monografii nie polegało wyłącznie na wielokrotnym przeliczeniu prostych przypadków wytrzymałościowych, lecz było oryginalnym podejściem do zagadnienia kontroli stanów granicznych elementów żelbetowych.

Tematyka komputerowego modelowania konstrukcji żelbetowych jest również przedmiotem kilku referatów na konferencjach, np. na cyklicznych konferencjach *Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures* AMCM w latach 2005 i 2008.

Powstanie książki *Szybkie projektowanie konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2* poprzedzone było moimi wcześniejszymi pracami z tej tematyki. W latach 2012-2013 opublikowałem w czasopiśmie *Materiały Budowlane* cykl artykułów pod ogólnym tytułem Eurokody w praktyce, dotyczącym projektowania konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2. Cały cykl składał się z 15 artykułów. Zawierały one wyjaśnienia dotyczące teoretycznych podstaw projektowania według Eurokodu 2 w nawiązaniu do normy PN-B-03264:2002 (z wyjaśnieniem różnic w zasadach podejścia i wpływu tych zmian na projektowanie). Cykl został opracowany na zamówienie zespołu redakcyjnego czasopisma *Materiały Budowlane*. Byłem odpowiedzialny za dobór tematyki artykułów i koordynację prac zespołu w składzie: S. Dawczyński, M. Górski, R. Krzywoń, G. Wandzik. Łącznie przygotowałem 7 artykułów (6 samodzielnie, 1 z R. Krzywoniem). Pozostałe 8 artykułów (autorstwa pozostałych członków zespołu) było przeze mnie weryfikowanych. Wykaz artykułów zamieściłem w załączniku 5, II/E.

Przez długi okres mojej pracy (lata 1995 – 2008) zajmowałem się nieliniową analizą konstrukcji żelbetowych i murowych z zastosowaniem systemu MAFEM, a potem MAFEM3D. Moja działalność była związana z takimi zagadnieniami jak: rozbudowa modeli materiałowych betonu/ cegły/ muru/ gruntu, zasad modelowania zbrojenia elementów żelbetowych (zbrojenie rozmyte i zlokalizowane), modelowania współpracy betonu ze stalą (uwzględnianie zjawisk takich jak: *dowel action* i *aggregate interlock*).

Działalność w tym zakresie toczyła się dwutorowo – część aktywności dotyczyła modyfikacji i implementacji modeli materiałowych w systemie MAFEM3D, a część wykonywaniu symulacji badań laboratoryjnych i prowadzeniu analiz konstrukcji betonowych i murowych (np. współpracy z deformującym się podłożem w terenie podlegającym górniczym deformacjom terenu lub analizie skuteczności wzmocnień zabezpieczających przed tymi wpływami). Wyniki związane z obydwooma nurtami tej działalności były źródłem publikacji w czasopismach i na konferencjach. Wybrane z tych publikacji zostały zestawione w załączniku 5, II/E i załączniku 6. Doświadczenia związane z tą częścią mojej działalności wykorzystałem podczas prac nad monografią (wpływ górniczych deformacji terenu na budowę, metody nieliniowej analizy konstrukcji itp.).

W latach 2012-2014 zaangażowany byłem (jako główny wykonawca) w realizację projektu dotyczącego betonów konstrukcyjnych na kruszywach z recyklingu (w ramach Projektu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka – POIG). Zajmowałem się statystyczną analizą laboratoryjnych badań właściwości tych betonów oraz elementów próbnych z tych betonów). Przedmiotem badań były także analizy teoretyczne dotyczące wpływu tych właściwości na zachowanie elementów konstrukcyjnych. Efektem tych prac były przygotowane przeze mnie raporty (załącznik 5, pkt. III/A).

5.2. Podsumowanie działalności naukowo–badawczej

Zestawienie osiągnięć publikacyjnych i naukowych

Kategoria	Liczba	IF	M*
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	-	-	-
Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR	23		62
przed uzyskaniem stopnia doktora	4	-	-
po uzyskaniu stopnia doktora	19	-	62
Monografia	4	-	100
Suma	27	-	162
Udział w projektach naukowych jako wykonawca/główny wykonawca	7		
przed uzyskaniem stopnia doktora	2		
po uzyskaniu stopnia doktora	5		
Sumaryczna liczba wystąpień na konferencjach międzynarodowych i krajowych	42		
przed uzyskaniem stopnia doktora	16		
po uzyskaniu stopnia doktora	26		
Web of Science – liczba prac	1		
Web of Science – liczba cytowań	2		
Scopus – liczba prac	0		
Google Scholar – liczba cytowań	20		
Google Scholar – h index	2		
Sumaryczna liczba cytowań	22		
Indeks Hirscha	0		

* M – liczba punktów według Rozporządzenia Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (obliczona dla publikacji przygotowanych w latach 2012-2018)

6. POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA DYDAKTYCZNE I INŻYNIERSKIE

6.1. Działalność dydaktyczna

Będąc zatrudnionym na stanowisku adiunkta, a później starszego wykładowcy w Katedrze Inżynierii Budowlanej, prowadziłem zajęcia dydaktyczne w formie wykładów, ćwiczeń projektowych i zajęć laboratoryjnych na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach oraz Centrum Kształcenia Inżynierów w Rybniku.

Od ponad 15 lat prowadzę **wykłady, zajęcia projektowe, laboratoryjne i seminaryjne – zarówno w języku polskim, jak i w języku angielskim**. Od samego początku byłem zaangażowany w uruchamianie studiów w języku angielskim na Wydziale Budownictwa (w latach 2000 – 2005). Część działań w tym zakresie odbywała się w ramach projektu *Tempus*. W pierwszym okresie były to indywidualne zajęcia dla studentów przyjeżdżających na Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej w ramach programu Erasmus. Od ponad 10 lat są to regularne zajęcia na I i II stopniu studiów o specjalności konstrukcje budowlane. W 2004 roku za tę działalność otrzymałem nagrodę zespołową II stopnia nadaną przez Rektora Politechniki Śląskiej.

W okresie kilkunastu lat pracy przygotowałem i prowadziłem **sześć wykładów w języku angielskim** o bardzo różnorodnej tematyce (podstawy projektowania konstrukcji budowlanych, konstrukcje betonowe, zaawansowane metody komputerowe, zaawansowane modelowanie materiałów konstrukcyjnych) oraz związane z tymi wykładami zajęcia projektowe i laboratoryjne. Do wszystkich zajęć wykładowych i niektórych zajęć projektowych i laboratoryjnych przygotowałem materiały dydaktyczne, rozpowszechniane wśród studentów na zasadzie materiałów powielanych. Wszystkie z nich mają charakter opracowań autorskich. Listę prowadzonych wykładów zamieściłem w załączniku 5, podpunkt III/l.

W trakcie swojej pracy na Politechnice Śląskiej byłem **promotorem łącznie 79 prac dyplomowych** (31 inżynierskich i 48 magisterskich, w tym 17 prac dyplomowych w języku angielskim) z zakresu projektowania i analizy konstrukcji budowlanych.

6.2. Działalność inżynierska

W okresie mojej pracy w Politechnice Śląskiej byłem wykonawcą i współautorem około 100 ekspertyz i projektów o różnorodnej tematyce. Duża część z nich została wykonana w zespole pracowników Katedry Inżynierii Budowlanej kierowanym przez prof. Andrzeja Ajdukiewicza.

Wiele z tych ekspertyz miało charakter naukowo-badawczy. Nierzadko dotyczyły one indywidualnych problemów, do których wyjaśnienia potrzebna była zarówno wiedza techniczna, jak i teoretyczna. Wielokrotnie dotyczyły one obiektów o istotnym znaczeniu.

W swojej działalności ekspertyzowej mogę wyróżnić następujące obszary swojej aktywności (w części związane z tematyką przedłożonej monografii):

- ekspertyzy obiektów przemysłowych,
- ekspertyzy obiektów budowlanych uszkodzonych na skutek górniczych deformacji terenu,
- ocena odporności budynków i infrastruktury technicznej na wpływ prognozowanych górniczych deformacji terenu,
- ekspertyzy konstrukcji wsporczych linii elektroenergetycznych.

Występujące problemy oraz metody diagnozowania przyczyn, naprawy itp. były przedmiotem referatów na konferencjach tematycznych (np. na konferencji *Awarie Budowlane*). Poniżej ograniczyłem się do przedstawienia wykazu prac inżynierskich, potwierdzającego moją aktywność na tym polu. Chcąc ograniczyć objętość tego podpunktu zdecydowałem się zamieścić jedynie istotniejsze prace z tego zakresu i usunąć komentarze dotyczące zakresu prac.

6.2.1. Ekspertyzy obiektów przemysłowych

Duża liczba ekspertyz została wykonana na zlecenie kopalń węgla kamiennego lub spółek zarządzających zakładami wydobywczymi. Zwykle dotyczyły obiektów zlokalizowanych na terenie

kopalń. Kilukrotnie ekspertyzy związane były ze stanem awaryjnym tych obiektów, a ich wyniki decydowały o dalszej eksploatacji lub zakresie wymaganych napraw. Do najważniejszych prac z tego zakresu mogą zaliczyć:

- (1) Ekspertyzę stanu awaryjnego **2-komorowego wolnostojącego żelbetowego zbiornika na węgiel w KWK Cieczott** oraz projekt jego wzmocnienia – prace wykonane w latach 1996 – 1997 (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik),
- (2) Ekspertyzę stanu technicznego **4-komorowego wolnostojącego żelbetowego zbiornika na węgiel w Zakładzie Przeróbczym przy KWK Jankowice** (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik),
- (3) Ekspertyzy stanu technicznego **40 obiektów Zakładu Przeróbczego Kopalni Węgla Kamiennego KWK Zofiówka** w Jastrzębiu Zdroju wykonane w 2002 roku – były to obiekty o bardzo różnym charakterze i konstrukcji (stalowe mosty przenośnikowe, estakady rurociągów, żelbetowe kruszarnia węgla, kruszarnie kamienia, odmulniki promieniowe, zbiorniki węgla – naziemny i podziemny typu szczelinowego, przepompownie) – (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik, S. Dawczyński, M. Kałuża, M. Węglorz),
- (4) Ekspertyzy stanu technicznego **17 obiektów Zakładu Przeróbczego Kopalni Węgla Kamiennego KWK Zofiówka** w Jastrzębiu Zdroju wykonane w 2005 roku – były to obiekty takie jak: kruszarnia, 8-komorowy zbiornik zapasowy, budynek odwadniania (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik, S. Dawczyński, M. Węglorz),
- (5) Ekspertyzy stanu technicznego **zbiorników na węgiel w Zakładzie Przeróbczym KWK Pniówek** wykonane w 2005 roku. Ekspertyzą objęte były m. in. 4-komorowy zbiornik węgla surowego oraz zbiornik załadowczy kamienia (autorzy: L. Szojda, G. Wandzik).
- (6) Ekspertyzy **żelbetowej wieży szybowej Foch II w KWK Knurów** (autorzy: R. Maćkowski, L. Szojda, G. Wandzik).

6.2.2. Ekspertyzy obiektów budowlanych uszkodzonych na skutek górniczych deformacji terenu

Kolejną grupę ekspertyz stanowią zlecenia związane z oceną przyczyn powstania uszkodzeń, stopnia zagrożenia konstrukcji lub obniżenia walorów użytkowych spowodowanych eksploatacją górniczą. Do tej grupy ekspertyz można zaliczyć m. in.:

- (1) Ekspertyzę **czterech czterokondygnacyjnych, wielosegmentowych budynków mieszkalnych** wykonanych w technologii JW-66/P2 (budynki wielopłytowe) zlokalizowanych w Katowicach przy ul. Kijowskiej w obrębie uskoku terenowego aktywowanego eksploatacją górniczą; ekspertyza połączona była z projektem rozbiórki i nadzorem autorskim podczas prac rozbiórkowych dwóch najbardziej uszkodzonych segmentów – prace wykonane w latach 1998 (ekspertyza) – 2001 (nadzór podczas prac rozbiórkowych); (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik),
- (2) Ekspertyzy **dwóch 4-kondygnacyjnych kamienic w centrum Bytomiu** przy ul. Katowickiej i projekt zabezpieczenia jednej z nich – prace wykonane w latach 2005 – 2007 (autorzy: L. Szojda, G. Wandzik) – kamienice **w stanie zagrażającym katastrofą budowlaną**,
- (3) Ocenę stanu technicznego konstrukcji **cylindrycznych zbiorników na wodę i obiektów technicznych GPW S.A. w Katowicach** przy ulicy Wzgórze Wandy uszkodzonych od wpływów dokonanej i zagrożonych od wpływów prognozowanej eksploatacji węgla prowadzonej przez KWK „Murcki-Staszic” – prace prowadzone w latach 2011 – 2013 (autorzy: zespół 7 osób kierowany przez A. Ajdukiewicza),
- (4) Analiza techniczno-ekonomiczna opłacalności napraw szkód górniczych wyrządzonych ruchem zakładu górniczego w **budynku mieszkalnym w Paniówkach** – ekspertyza przygotowana w 2005 roku (autorzy: A. Bartyzel, L. Szojda, G. Wandzik).

6.2.3. Ocena odporności budynków i infrastruktury technicznej na wpływ prognozowanych górniczych deformacji terenu

Do tej grupy można zaliczyć dwa typy aktywności. Pierwszą z nich jest ocena odporności kubaturowych obiektów budowlanych oraz elementów infrastruktury technicznej (w tym linii elektroenergetycznych) na prognozowane deformacje terenu związane z przyszłą eksploatacją węgla.

Drugim typem aktywności inżynierskiej zakwalifikowanej do tej grupy są ekspertyzy, których celem była ocena projektów nowowznoszonych obiektów budowlanych pod kątem zabezpieczenia ich konstrukcji przed wpływem oddziaływań górniczych (zarówno pod kątem ich skuteczności, jak i zasadności ekonomicznej). Do tej grupy można zakwalifikować poniższe prace naukowo-badawcze wykonane w Katedrze Inżynierii Budowlanej:

- (1) Opinię na okoliczność ustalenia rodzaju i rozmiaru szkód górniczych w **budynkach mieszkalnych znajdujących się w Rudzie Śląskiej przy ulicy Łowieckiej ...** wraz ze wskazaniem sposobu dokonania ich naprawy przez podanie rodzaju koniecznych do przeprowadzenia prac – ekspertyza wykonana w 2007 roku na zlecenie sądu (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik),
- (2) Opinię dotyczącą niezbędnego zakresu **zabezpieczeń konstrukcji nowo wznoszonego budynku krytej pływalni w Paniówkach** przed prognozowanymi górniczymi deformacjami podłoża wraz z ustaleniem kosztów wykonania tego zabezpieczenia – ekspertyza wykonana w 2006 roku (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik).

Podobne opracowania przygotowywane były również dla innych obiektów, np. Ośrodka Zdrowia w Gierałtowicach – w 2009 roku, osiedla składającego się z 35 budynków mieszkalnych i 17 garaży w Katowicach przy ulicy Łąkowej – w 2003 roku.

6.2.4. Ekspertyzy konstrukcji wsporczych linii elektroenergetycznych

Do tej grupy prac mogą zaliczyć następujące ekspertyzy:

- (1) Ocena nośności **słupa elektroenergetycznego M52** na stanowisku nr 118 linii Bujaków-Liskowiec w Kępie Winogradzkiej, związana z realizacją inwestycji BT-2952 Kępa Winogradzka – opracowanie wykonane w 2002 roku (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik).
- (2) Ekspertyza stanu technicznego oraz ustalenie przyczyn powstania uszkodzeń **konstrukcji wsporczych napowietrznej rozdzielni 220 kV Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A. w stacji elektroenergetycznej Byczyna** – ekspertyza opracowana w 2007 roku (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik).
- (3) Opinia weryfikacyjna **projektu słupa serii PSK-1/350 typu M1 120B+5** w zakresie obliczeniowym i warsztatowym ... w związku z zaistniałą katastrofą – ekspertyza opracowana w 2014 roku (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik).

6.2.5. Inne ważniejsze prace inżynierskie

Wykonywałem również ekspertyzy i opinie techniczne, które nie kwalifikują się do wymienionych wyżej grup i nie mają bezpośredniego związku z tematyką monografii. Prace dotyczyły obiektów

budowlanych o złożonej konstrukcji. Ich realizacja wiązała się z analizą, często wykraczającą poza standardowe sposoby postępowania. Do wspomnianych prac mogę zaliczyć:

- (1) Ocenę stanu technicznego i projekt naprawy budynku dolnej **stacji wyciągu linowego na Czantorię w Ustroniu** w aspekcie zabudowania stacji bazowej nr BT-2549, 2002 rok (autorzy: A. Ajdukiewicz, L. Szojda, G. Wandzik). Opracowanie dotyczyło ustalenia przyczyn zarysowań występujących w żelbetowym ustroju nośnym stacji i ustalenia czy są one wynikiem zabudowania masztu telefonii komórkowej na dachu obiektu.
- (2) Ocenę stanu technicznego **tarasów zewnętrznych hali widowiskowo-sportowej Spodek w Katowicach** wraz ze schodami wejściowymi i pochylniami po trzydziestoletnim okresie użytkowania, 2008 rok (autorzy: L. Szojda, G. Wandzik). Opracowanie dotyczyło oceny stopnia uszkodzeń i trwałości konstrukcji żelbetowej poddanej długotrwałemu działaniu wody opadowej w kontekście planowanych prac remontowych.
- (3) Opinię dotyczącą oceny technicznej zawartości dwóch ekspertyz projektu **zadaszenia widowni Stadionu Śląskiego w Chorzowie** wykonanych na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego w Katowicach, 2009 rok. Praca wykonana w ramach zespołu utworzonego przez Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN (autorzy: W. Radomski, A. Ajdukiewicz, A. Kliszczewicz, L. Szojda, G. Wandzik). Mój udział dotyczył głównie kwestii obliczeniowych związanych z oddziaływaniami i analizą statyczną (w tym zapewnieniem stateczności) zadaszenia Stadionu Śląskiego o symbolu Saturn 2005.
- (4) Ekspertyza techniczna analiza dokumentacji projektowej **zespołu budynków biurowych firmy Radwar w Warszawie przy ul. Poligonowej 3 i Ostrobramskiej 103** w zakresie stropów w budynku C, stropowych płyt prefabrykowanych w budynkach A i B oraz podstawowych elementów konstrukcji stalowej (belek BS35 i rygli ram DS71) w budynkach A i B. zlecenie: Skanska S.A. Budownictwo Ogólne, 2012 rok (autorzy: A. Ajdukiewicz, G. Wandzik, A. Knoppik-Wróbel).
- (5) Analiza obliczeniowo-projektowa **konstrukcji żelbetowej stropów budynku 9A Dolnośląskiego Centrum Materiałów i Biomateriałów EiT+ Wrocław**, zlecenie Inter-Tech, Wrocław, styczeń 2015. (autorzy: J. Kubica, G. Wandzik). Praca naukowo-badawcza na Politechnice Śląskiej NB-10/RB-6/2015. Praca dotyczyła oceny projektu wielokondygnacyjnego budynku żelbetowego o konstrukcji płytowo-słupowej w kontekście zapewnienia właściwego poziomu bezpieczeństwa.

Udziałałem również konsultacji dotyczących metod projektowania elementów oraz odpowiedzialnych konstrukcji budowlanych. Do tej grupy mogę zaliczyć:

- (1) Konsultacje dotyczące obliczeń i opracowanie algorytmów projektowania elementów z betonu sprężonego. Zlecenie firmy Ergon z Mszczonowa, 2001 r. W ramach zlecenia opracowałem **algorytm projektowania słupów z betonu sprężonego** (autor: G. Wandzik, konsultacje: A. Ajdukiewicz).
- (2) Konsultacje dotyczące algorytmów projektowania elementów z betonu sprężonego. Zlecenie Wytwórni Konstrukcji Betonowych Fabud ze Świętochłowic, 2009 r. (autorzy: R. Krzywoń, G. Wandzik). W ramach zlecenia zajmowałem się konsultacjami i oceną poprawności **algorytmów projektowania belek i płyt TT z betonu sprężonego** i ich zgodności z wytycznymi normy PN-B-03264:2002.
- (3) Konsultacje przy **projektowaniu słupów chłodni kominowej w Elektrowni Jaworzno III w Jaworznie**. Konsultacje dla Biura Studiów i Projektów Chłodni Energetycznych Projchłod, 2015 r. (praca wykonywana samodzielnie). W ramach konsultacji wykonywałem obliczenia dwukierunkowo mimośrodowo ściskanych słupów skośnych o zmiennym przekroju na wysokości (słupy stanowiące podporę powłoki). W pracy wykorzystywałem autorski program komputerowy do wymiarowania elementów żelbetowych ŻelbetEC2. W ramach prac dostosowałem go do

obliczeń słupów dwukierunkowo mimośrodowo ściskanych o dowolnym usytuowaniu zbrojenia w przekroju.

- (4) Konsultacje **projektu stropu rozdzielni 400 kV w technologii GIS (*Gas Insulated Switchgear*) w Bieczynie**. Praca na zlecenie firmy Elektrobudowa Poznań, 2014 r. (konsultacje: L. Szojda, G. Wandzik). Konsultacje dotyczyły sprawdzenia poprawności zapewnienia niezawodności pracy rozdzielni zaprojektowanej w technologii GIS – szczególne wymagania dotyczyły zapewnienia sztywności stropu o rozpiętości przęsła 28,0 m (strop na którym ustawiane były bardzo wrażliwe urządzenia rozdzielni). Dodatkowe zadanie polegało na zabezpieczeniu konstrukcji przed wpływami szkód górniczych i spełnieniu bardzo wysokich wymagań w odniesieniu do przemieszczeń (nachyleń i ugięć stropu, które nie mogły przekraczać 1 cm przy rozpiętości 28,0 m). W obliczeniach wykorzystywałem autorski program komputerowy do wymiarowania elementów żelbetowych.
- (5) Konsultacje i obliczenia sprawdzające związane z określeniem oddziaływań na **rurowe słupy pełnościennie linii elektroenergetycznej** w Radomsku wykonywane w 2017 r. Konsultacje dla firmy Valmont, Siedlce (praca wykonywana samodzielnie). W ramach prac prowadziłem analizy oddziaływań przewodów na słupy (w tym ich wariantowania związanego z różnymi zwisami początkowymi). Do wykonania prac wykorzystywałem autorski program SWN 2015.

Gregorz Wandzik