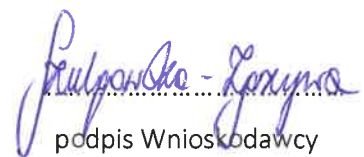


Autoreferat

dr inż. Małgorzata Szulgowska-Zgrzywa
Politechnika Wroclawska
Wydział Inżynierii Środowiska
Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza


podpis Wnioskodawcy

I. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

W 1998 roku, uzyskując dyplom maturalny, ukończyłam edukację w I Liceum Ogólnokształcącym we Wrocławiu w klasie o profilu matematyczno-informatycznym. W tym samym roku rozpoczęłam studia na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Ukończyłam je uzyskując tytuł mgr inż. w 2003 roku na specjalizacji Klimatyzacja, Ciepłownictwo i Instalacje Sanitarne z oceną bardzo dobrą. Edukację kontynuowałam na studiach doktoranckich, a swoje umiejętności naukowe rozwijałam pod opieką dr hab. Jana Danielewicza, prof. PWr. Pracę doktorską zatytułowaną *Budowa modeli kolektorów słonecznych na podstawie badań w warunkach naturalnych* obroniłam w 2007 roku.

II. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

W 2007 roku, zaraz po obronie pracy doktorskiej rozpoczęłam pracę na stanowisku asystenta na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej.

Po dwóch latach, w 2009 roku awansowałam na stanowisko adiunkta na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Pozostaję na tym stanowisku nieprzerwanie do dnia dzisiejszego, a jedyną przerwą w pracy był półroczny urlop macierzyński.

III. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

Tytuł: Miesięczna efektywność energetyczna systemów z pompami ciepła powietrze/woda.

Autor: Małgorzata Szulgowska-Zgrzywa.

Wydawnictwo: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2019.

Recenzenci wydawniczy:

dr hab. inż. Jan Danielewicz, prof. PWr; prof. dr hab. inż. Robert Sekret.

Opis pracy

Tematem przewodnim pracy są metody stosowane do analizy efektywności energetycznej pomp ciepła powietrze/woda. Wybór tych urządzeń jako tematu badań wynika ze znaczącego poziomu skomplikowania ich doboru i analizy pracy, a także poważnych konsekwencji niewłaściwych decyzji podjętych na etapie projektowania tego typu systemów grzewczych. Równie ważnym powodem wyboru pomp ciepła powietrze/woda jako tematu pracy badawczej jest fakt, iż wykorzystują one energię odnawialną, a ciągły rozwój tej technologii grzewczej poprzez kontynuowanie prac nad zwiększaniem ich efektywności energetycznej sprawia, że są one ważnym czynnikiem pozwalającym na ograniczenie negatywnego wpływu człowieka na środowisko naturalne. W pracy przedstawiono systematykę dostępnych metod do analizy pracy tych urządzeń w kontekście zgodności z krokiem czasowym analizy efektywności energetycznej budynków, która jest obecnie ważnym elementem procesu projektowego. Typowy krok czasowy symulacji energetycznych budynków to krok miesięczny lub godzinowy. Dokładność modeli godzinowych jest wysoka. Uwzględniają one (lub mogą uwzględnić) większość parametrów wpływających na zapotrzebowanie na energię do ogrzewania dla analizowanego bu-

dynku. Dokładność modeli miesięcznych do obliczania zapotrzebowania na energię w budynkach jest nieco niższa, ale są one w powszechnym zastosowaniu. Obliczenia te są podstawą procesu certyfikacji energetycznej budynków w Polsce. Uzupełnieniem analizy efektywności energetycznej budynku powinna być analiza efektywności systemów do dystrybucji energii w obiekcie. Przegląd dostępnych metod obliczeniowych wykazał, że obecnie do wyników obliczeń energetycznych obiektu wykonanych w kroku miesięcznym przypisywana jest wartość SCOP pompy ciepła wynikająca z szacunków w kroku rocznym lub temperaturowym. Nie jest to właściwe postępowanie, gdyż kroki czasowe poszczególnych modeli powinny być do siebie dostosowane, a brak informacji o zmianach efektywności pompy ciepła powietrze/woda w ciągu roku uniemożliwia diagnozowanie zmian profilu zapotrzebowania na energię końcową w budynku. Jednym z wielu przykładów, kiedy informacja ta będzie niezbędna, jest planowanie współpracy tych urządzeń z układami ogniw fotowoltaicznych.

W wyniku powyższego, w rozprawie postawiono tezę, że modelowanie efektywności energetycznej systemu pompy ciepła powietrze/woda w kroku miesięcznym może spełnić kryterium odpowiedniej dokładności analiz, dostarczając precyzyjnej informacji o zmianach efektywności urządzenia w ciągu roku, zapewniając jednocześnie krótki czas wykonywania obliczeń i pozwalając na dostosowanie się do powszechnie stosowanego kroku obliczeniowego przy wyznaczaniu zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynków.

W celu znalezienia rozwiązania potwierdzającego powyższą tezę przeanalizowano szereg problemów związanych z metodami analizy efektywności energetycznej pomp ciepła powietrze/woda. Zakres wykonanych prac oraz wnioski z nich wynikające opisano poniżej.

W celu określenia jakości danych wejściowych do modelu miesięcznej efektywności pomp ciepła powietrze/woda pracujących w trybie ogrzewania budynku, przeanalizowano wpływ dokładności odwzorowania profilu obciążenia cieplnego i dokładności współczynnika opisującego wpływ obciążenia częściowego pompy ciepła na wyniki symulacji pracy tych urządzeń. Wykorzystano do tego algorytm do obliczania efektywności energetycznej pomp ciepła w kroku godzinowym. Model ten wykorzystuje trzy różne mechanizmy do obliczania wpływu obciążenia częściowego na efektywność energetyczną pomp ciepła i umożliwia obliczenia dla różnych profili obciążenia cieplnego. Dysponując danymi pomiarowymi rzeczywistego systemu, dokonano kalibracji współczynników determinujących wpływ obciążenia częściowego na efektywność układu, sprawdzając, która z metod pozwala uzyskać najlepszą dokładność. Wykazano, że wśród rozważanych najlepszą metodą modelowania wpływu obciążenia częściowego na efektywność energetyczną pompy ciepła powietrze/woda jest zastosowanie funkcji logarytmicznej, oraz że dokładność parametru przyjmowanego do określenia wpływu obciążenia cieplnego ma istotne znaczenie dla wyników symulacji. Stwierdzono też, że wystarczającą dokładność zapewnia zastosowanie w symulacjach efektywności energetycznej pomp ciepła powietrze/woda profili obciążenia cieplnego tworzonych w oparciu o miesięczne wartości zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku. Model miesięcznej efektywności energetycznej pompy ciepła powietrze/woda działającej w trybie ogrzewania budynku skonstruowano przy założeniu, iż podział każdego miesiąca na obszary różniące się sposobem eksploatacji urządzenia umożliwia obliczanie efektywności reprezentatywnej w każdym z nich. Dzięki znajomości udziałów poszczególnych obszarów w zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania budynku możliwe jest precyzyjne określenie efektywności urządzenia w danym miesiącu. Model efektywności energetycznej systemów grzewczych z pompami ciepła powietrze/woda w miesięcznym kroku obliczeniowym tworzony był z wykorzystaniem symulacji godzinowych. Proces kalibracji parametrów modelu z zastosowaniem estymacji nieliniowej (z wykorzystaniem pakietu *Statistica*) wspomagało łącznie 1838 przypadków. Każdy przypadek to wyniki symulacji dla pojedynczego miesiąca we wszystkich obszarach pracy urządzenia. Na potrzeby modelu konieczne było opracowanie funkcji opisujących zmiany obciążenia cieplnego budynku i przewidywanego profilu występowania temperatur powietrza zewnętrznego

w każdym miesiącu. W przypadku pierwszej funkcji, przyjęto założenie o liniowym przebiegu zmian zapotrzebowania na moc grzewczą w każdym z miesięcy, a jako wartość wejściową wykorzystano miesięczne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania budynku. W wyniku, opracowano prostą i skuteczną metodę tworzenia indywidualnych profili obciążenia cieplnego dla każdego miesiąca w roku. W przypadku drugiej funkcji założono, iż częstości występowania danej temperatury zewnętrznej w miesiącu są zbliżone do rozkładu normalnego. Założenie to dotyczy sytuacji, gdy analiza wykonywana będzie dla statystycznych danych klimatycznych z szerokiego okresu, a nie dla danych z konkretnego roku. Wprowadzenie do obliczeń takiej funkcji umożliwiło zmianę kroku obliczeniowego z godzinowego czy temperaturowego na miesięczny. Model częstości występowania temperatury tworzony był dla danych klimatycznych 13 miast zlokalizowanych w Polsce. Dane klimatyczne (z lat 1961–1990) pobrano z bazy programu *Meteonorm*. Z zastosowaniem estymacji nieliniowej (z wykorzystaniem pakietu *Statistica*) dobrano parametry *funkcji częstości temperatury*, która na podstawie temperatur: minimalnej, maksymalnej i średniej powietrza zewnętrznego w danym miesiącu, pozwala przybliżyć czas pracy urządzenia w każdym z nich. Dla sprawdzenia poprawności odpowiedzi uzyskiwanych przy jej zastosowaniu przeprowadzono weryfikację na innych danych klimatycznych. Sprawdzone jej odpowiedzi między innymi dla kilku miast europejskich: Kopenhagi, Mediolanu, Brukseli i Budapesztu. Dokładność odpowiedzi badanej funkcji w każdym przypadku była wysoka. Odchylenia linii trendu obrazujących korelację pomiędzy wynikami dla *funkcji częstości temperatury* a dokładnymi obliczeniami od przekątnej oznaczającej idealne dopasowanie nie przekraczały 7%. Dokonano sprawdzenia zaproponowanego modelu miesięcznego względem wyników dla modeli obliczanych w kroku godzinowym i temperaturowym, oceniając tym samym dokładność uzyskiwanych rezultatów. Sprawdzano miesięczne wartości *SCOP*, miesięczne zapotrzebowania na energię elektryczną do zasilania pompy ciepła i na energię konieczną do dostarczenia z dodatkowego źródła energii. Stwierdzono, że różnice pomiędzy wynikami symulacji z wykorzystaniem opracowanego modelu miesięcznego a wynikami z symulacji godzinowych dla większości przypadków nie przekraczają 5%. W związku z tym postulat dokładności tego modelu uznano za spełniony.

W celu określenia jakości danych wejściowych do modelu miesięcznej efektywności pomp ciepła powietrze/woda pracujących w trybie przygotowania ciepłej wody użytkowej, przedyskutowano wpływ dokładności odwzorowania profilu obciążenia cieplnego na wyniki symulacji pracy tych urządzeń. Wykorzystano do tego algorytm do obliczania efektywności energetycznej pompy ciepła w kroku godzinowym. Algorytm umożliwia analizę dla różnych profili zapotrzebowania na energię do przygotowania c.w.u. i dla różnych stopni akumulacyjności układu. Poprzez ocenę błędów wyników modelowania dla różnych sposobów profilowania zapotrzebowania na energię do przygotowania c.w.u. względem wyników dla profilu rzeczywistego oceniono, jakie uproszczenia są dopuszczalne w procesie symulacji efektywności energetycznej pomp ciepła powietrze/woda. Wykazano, że uwzględnienie zmian profilu godzinowego jest ważne, ale zdecydowanie ważniejsze jest uwzględnienie miesięcznych zmian w zużyciu c.w.u. i temperaturze wody zimnej oraz wpływu układu akumulacji na chwilową moc grzewczą wymaganą po stronie źródła ciepła. Stwierdzono, że duże znaczenie dla dokładności wyników symulacji ma możliwość uwzględniania założeń odnośnie dopuszczalnego czasu ładowania zasobnika c.w.u. i sterowania pracą układu grzewczego wspomagającego pracę pompy ciepła powietrze/woda. Na potrzeby skonstruowania modelu miesięcznej efektywności energetycznej pompy ciepła powietrze/woda działającej w trybie przygotowania c.w.u., podobnie jak dla trybu ogrzewania, zastosowano podział każdego miesiąca na obszary różniące się sposobem eksploatacji urządzenia i obliczanie efektywności reprezentatywnej w każdym z nich. Dzięki znajomości udziałów poszczególnych obszarów w zapotrzebowaniu na energię do przygotowania c.w.u. możliwe jest precyzyjne określenie efektywności całego systemu w danym miesiącu. Do obliczania tych udziałów wykorzystano *funkcję częstości temperatury*. W celu uzyskania wymaganej precyzji opracowano metodę obliczania reprezentatywnej mocy grzewczej

układu. Dokonano sprawdzenia wyników uzyskiwanych z wykorzystaniem modelu miesięcznego względem wyników z modeli obliczanych w kroku godzinowym i temperaturowym, oceniając tym samym dokładność uzyskiwanych rezultatów. Stwierdzono, że uproszczenie profilu zapotrzebowania na energię do przygotowania c.w.u. na uwzględniający zmiany jedynie w kroku miesięcznym, a nie godzinowym jest dopuszczalne, natomiast powstające na poziomie wyników miesięcznych błędy są akceptowalne (poniżej 5% względem symulacji w kroku godzinowym). Symulacje z wykorzystaniem opracowanego modelu miesięcznego dają bardzo dobre rezultaty w postaci poprawnej miesięcznej wartości *SCOP*, miesięcznego zapotrzebowania na energię elektryczną do zasilania pompy ciepła i energii koniecznej do dostarczenia z dodatkowego źródła energii. W związku z tym postulat dokładności tego modelu został spełniony.

W ostatnim rozdziale pracy opisano algorytm modelu zintegrowanego do analizy miesięcznej efektywności systemu z pompą ciepła powietrze/woda. Model ten umożliwi dobór i analizę pracy pompy ciepła powietrze/woda na potrzeby ogrzewania i jednocześnie przygotowania ciepłej wody użytkowej. Zaproponowany model analizy miesięcznej efektywności pompy ciepła powietrze/woda, dając podobne rezultaty w zakresie dokładności co model obliczany w kroku godzinowym, zmniejsza ilość koniecznych przeliczeń z 8760 do 12 wierszy. Proces obliczeń wymaga, aby dla każdego z tych wierszy ocenić 7 stanów pracy pompy ciepła, lecz – nawet uwzględniając te dodatkowe przeliczenia – stanowi to 84 kroki obliczeniowe zamiast 8760. Podobną do wyników modelu miesięcznego dokładność można uzyskać wykonując obliczenia w kroku temperaturowym, pod warunkiem przeprowadzenia ich indywidualnie dla każdego miesiąca. Wymaga to opracowania 12 krzywych klimatycznych i około 40 wierszy przeliczeń dla każdego z nich, co daje łącznie 480 wierszy, pomijając wcześniejsze przygotowanie danych klimatycznych. Podstawowe dane wejściowe do zaproponowanego modelu to: minimalna, maksymalna i średnia temperatura powietrza zewnętrznego w miesiącu, miesięczne wartości zapotrzebowania na energię od przygotowania c.w.u. i ogrzewania budynku oraz dane o pojemności zasobnika c.w.u. i charakterystyce pompy ciepła powietrze/woda. Dane te są powszechnie dostępne. W związku z tym postulat krótkiego czasu obliczeń i dostępności danych wejściowych został spełniony.

Model zintegrowany umożliwia ocenę poprawności doboru pompy ciepła powietrze/woda. Diagnostyka ta jest wspomagana obliczonym udziałem pracy grzałki elektrycznej (lub innego alternatywnego źródła ciepła) oraz udziałem strat energii związanych z pracą pompy ciepła powietrze/woda w obszarze regulacji w trybie on/off w potrzebach grzewczych budynku. W wyniku tego ocenie podlega zarówno niedowymiarowanie, jak i przewymiarowanie urządzenia. Stwierdza się, że jest to dokładniejsza metoda doboru mocy grzewczej pompy ciepła niż wykonywana w oparciu o jeden profil obciążenia cieplnego i jedną wartość punktu biwalentnego. Zaproponowany model uwzględnia problem obliczania dodatku mocy wymaganego ze względu na układ przygotowania c.w.u. W pierwszym kroku obliczeniowym szacowany jest czas pracy urządzenia w trybie przygotowania c.w.u., który może być sprawdzany i korygowany przez projektanta, a następnie względem niego ustalana jest wymagana moc grzewcza pompy ciepła w taki sposób, aby w dostępnym czasie dostarczyć wymaganą energię cieplną do budynku. Przypadek pojawienia się deficytu mocy objawia się wzrostem udziału dodatkowego źródła energii. Wszystkie te obliczenia wykonywane są dla każdego miesiąca w roku, dając możliwość sprawdzenia efektywności urządzenia w każdym z nich. Możliwość sprawdzenia strat energii wynikających zarówno z przewymiarowania, jak i z niedowymiarowania pozwala optymalizować dobór mocy pompy ciepła powietrze/woda do potrzeb grzewczych budynku w zadanych warunkach klimatycznych. W procesie doboru pompy ciepła model uwzględnia zarówno wartość mocy grzewczej urządzenia, jak i wartość COP urządzenia pracującego pod obciążeniem częściowym, dzięki czemu poprawiona została precyzja tego procesu.

Opracowany model pozwala na wykonanie obliczeń na statystycznych danych klimatycznych. Nie jest jednak właściwy do przeprowadzania analiz prowadzonych na danych z konkretnego sezonu grzewczego. Opracowana funkcja częstości temperatury została zweryfikowana na podstawie danych statystycznych z okresów dziesięcioletnich oraz dłuższych i dla takich gwarantuje dobrą zgodność odpowiedzi z obliczeniami prowadzonymi na szczegółowych danych klimatycznych.

Należy podkreślić szerokie możliwości praktycznego zastosowania wyników obliczeń uzyskiwanych z zastosowaniem opracowanego modelu miesięcznej efektywności pomp ciepła powietrze/woda. Model umożliwia precyzyjny dobór urządzenia do potrzeb grzewczych obiektu i daje możliwość diagnostyki poprawności pracy pompy ciepła w przeciągu roku. Wyniki te mogą być szczególnie przydatne do analizy pracy pomp ciepła w układach biwalentnych, gdzie precyzyjna informacja o deficycie energii w każdym miesiącu pozwala lepiej zaplanować współpracę obu systemów. Model umożliwia lepsze planowanie współpracy pomp ciepła powietrze/woda z ogniwami fotowoltaicznymi, która jest kluczowa w koncepcji budynków zeroenergetycznych i dla planowania współpracy tych urządzeń z siecią elektroenergetyczną. Dodatkowo należy podkreślić, że model umożliwia precyzyjne planowanie kosztów eksploatacji na przestrzeni roku.

IV. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Statystyka dorobku naukowego

W załączniku nr 3 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki” zamieściłam opis bibliograficzny wszystkich publikacji z całego okresu zatrudnienia w Politechnice Wrocławskiej. W swoim dorobku zgromadziłam łącznie 64 prace, 47 z nich to prace opublikowane. Poniżej przedstawiłam statystyki mojego dorobku naukowego, a w dalszej części omówiłam moje zainteresowania i osiągnięcia naukowe (w porządku chronologicznym), umieszczając stosowne odwołania do wykazu dorobku naukowego zawartego w załączniku nr 3.

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora (lata 2003 – 2007) w dorobku zgromadziłam łącznie 12 prac. Spośród nich, 8 zostało opublikowanych. Po uzyskaniu stopnia doktora (lata 2008 – 2019) w dorobku zgromadziłam łącznie 52 prace. Spośród nich opublikowałam 39. Szczegółowe informacje zawiera tabela 1.

Tabela 1. Szczegółowa klasyfikacja publikacji

Rodzaj publikacji	Lata 2003 - 2007	Lata 2008 - 2019	Łącznie
Rozdziały w monografiach	0	11	11
Artykuły z IF	1	6	7
Artykuły inne	3	13	16
Referaty konferencyjne indeksowane w Web of Science	1	7	8
Referaty konferencyjne	3	2	5
Raporty SPR	2	8	10
Raporty PRE	2	5	7
Opublikowane	8	39	47
Nieopublikowane	4	13	17
Łącznie	12	52	64

Całkowity dorobek (zgodnie z listą MNiSW) opublikowanych artykułów wynosi łącznie 445 punktów, w tym 248 punktów za artykuły w czasopiśmie z IF. Na okres po uzyskaniu stopnia doktora przypada 420 punktów, w tym 235 punktów za artykuły w czasopiśmie z IF. Suma-

ryczny IF wynosi 22,481, w tym 21,854 po uzyskaniu stopnia doktora. Wskaźniki bibliometryczne (liczba prac, liczba cytowań, indeks Hirscha) mojego dorobku naukowego zestawione zostały w tabeli 2.

Tabela 2. Wskaźniki bibliometryczne w zależności od bazy danych

Baza	Liczba prac	Liczba cytowań	Indeks Hirscha
Web of Science	14	73	4
Scopus	14	93	4
Google Scholar	29	148	6

Okres przed uzyskaniem stopnia doktora (lata 2003–2007)

W latach 2003 - 2007, czyli przed uzyskaniem stopnia doktora moje zainteresowania naukowe dotyczyły następujących tematów:

- (1) energetyka słoneczna, badania parametrów opisujących efektywność kolektorów słonecznych, modelowanie natężenia promieniowania słonecznego i wpływ struktury promieniowania słonecznego na efektywności kolektorów słonecznych;
- (2) efektywność energetyczna i audyt energetyczny budynków.

Ad 1. W latach 2003 – 2007 zajmowałam się zagadnieniami wykorzystania energii promieniowania słonecznego w budownictwie, w szczególności poprzez wykorzystanie do tego celu kolektorów słonecznych (E25). Prowadziłam badania nad wpływem struktury promieniowania słonecznego na efektywność tych urządzeń (F7) oraz nad metodami wyznaczania parametrów pracy kolektorów słonecznych w warunkach quasi-dynamicznych (E26,A7,L5,L6). Efektem tych prac badawczych była obroniona w roku 2007 rozprawa doktorska.

Ad 2. Problematyką efektywności energetycznej budynków i audytem energetycznym zajmuję się nieustannie od rozpoczęcia studiów doktoranckich do dnia dzisiejszego. W okresie przed ukończeniem pracy doktorskiej zainteresowania te miały charakter bardziej praktyczny. Uczestniczyłam w szkoleniach podnosząc swoje kwalifikacje i wykonywałam audyty energetyczne. Byłam współautorem opracowań dotyczących termomodernizacji szpitali we Wrocławiu (m4,m5) i współwykonawcą pilotażowych audytów dotyczących termomodernizacji zabytkowych wrocławskich kamienic (m2). Byłam również współautorem ekspertyzy „Studium wykonalności – alternatywne źródła energii zasobów mieszkaniowych SM Podzamcze w Wałbrzychu” (F8). Zdobyta wiedza pozwoliła mi przygotować dwie publikacje naukowe (E27,L7) z tej dziedziny.

Okres po uzyskaniu stopnia doktora (lata 2008 – 2019)

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałam badania związane z efektywnością energetyczną budynków (2), których zakres przekształcony został do zagadnienia (3), a także rozpoczęłam nowe prace obejmujące wymienione poniżej tematy:

- (3) efektywność energetyczna w budownictwie i budynki blisko-zero-energetyczne;
- (4) problemy projektowania niskoenergetycznych budynków jednorodzinnych w Polsce;
- (5) badania nad wpływem intensywności regeneracji gruntu na wielkość temperatury wokół pionowych odwiertów pomp ciepła solanka/woda;
- (6) modelowanie efektywności energetycznej systemów wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła i wykorzystanie energii słonecznej w układach klimatyzacyjnych;
- (7) wykorzystanie ciepła odpadowego z chłodzenia układów ogniw fotowoltaicznych;
- (8) warunki klimatyczne Polski a wykorzystanie pomp ciepła powietrze/woda do ogrzewania budynków oraz modelowanie efektywności energetycznej tych urządzeń;

- (9) audyt energetyczny, rewitalizacja obszarów zurbanizowanych i badania uwarunkowań ubóstwa energetycznego w miastach.

Ad 3. Prace badawcze dotyczące efektywności energetycznej budynków prowadzę od rozpoczęcia studiów doktoranckich do dnia dzisiejszego. Od roku 2009 zajmuję się wdrażaniem wiedzy na temat efektywności energetycznej, certyfikacji energetycznej oraz audytu energetycznego w Polsce. Prowadziłam szkolenia, zajęcia na studiach podyplomowych oraz prace badawcze w tym temacie. Byłam kierownikiem projektu i współautorem koncepcji architektoniczno-energetycznej innowacyjnego, zero-energetycznego budynku Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Koncepcja ta zyskała duże uznanie, zarówno w Polsce jak i na świecie. Potwierdzeniem tego była nagroda przyznana w konkursie organizowanym przez PLGBC oraz publikacje w międzynarodowych czasopismach i książkach związanych z branżą architektoniczną. Efektem tych prac są również publikacje naukowe (A5,E3,E6,E12,E17,E22,E33). W ostatnich latach temat ten (w obszarze efektywności energetycznej systemów przygotowania ciepłej wody użytkowej) kontynuowałam będąc promotorem pomocniczym pracy doktorskiej, obecnie już dr inż. Agnieszki Chmielewskiej. Ponadto byłam współwykonawcą wielu opracowań związanych z efektywnością energetyczną. Wiedzę swoją przekazywałam studentom w postaci autorskich wykładów (i2,i3) oraz w trakcie obozów i praktyk studenckich, czego efektem są stosowne raporty (j5).

Ad 4. Równoległe do powyższych rozwijałam prace nad zagadnieniem efektywności energetycznej budownictwa jednorodzinnego. Badania te prowadzone były we współpracy z Centrum Technologii Energetycznych w Świdnicy. Wynikiem tej współpracy była seria wyjazdów szkoleniowych do Niemiec, Danii i Austrii, które to pozwoliły mi znacznie zwiększyć wiedzę praktyczną w tym temacie. Wiedza ta umożliwiła mi aplikowanie do programu wspierającego współpracę naukowców z przemysłem i realizację 6 miesięcznego stażu 2-osobowego w ramach projektu „Innowacyjny transfer” (Program Operacyjny Kapitał Ludzki, Priorytet VIII Regionalne kadry gospodarki, Działanie 8.2 Transfer wiedzy Poddziałanie 8.2.1 Wsparcie dla współpracy sfery nauki i przedsiębiorstw) realizowanego przez ARI w temacie „Zwiększenie efektywności energetycznej budynków niskoenergetycznych z uwzględnieniem ich lokalizacji na Dolnym Śląsku poprzez zintegrowaną optymalizację rozwiązań architektonicznych, konstrukcyjnych oraz instalacyjnych”. Projekt ten był realizowany we współpracy z dr inż. Łukaszem Nowakiem zatrudnionym w Politechnice Wrocławskiej na Wydziale Budownictwa.

Ad 5. Tematem badawczym, który rozpoczęłam już po zakończeniu pracy doktorskiej były zagadnienia związane z pompami ciepła glikol/woda. Realizację zamierzeń badawczych umożliwiła mi współpraca z CTE w Świdnicy. Zrealizowałam w ich obiekcie autorską koncepcję instalacji badawczej dotyczącą regeneracji systemu dolnego źródła energii pompy ciepła glikol/woda. Wraz z dr inż. Natalią Fidorów-Kaprawy pozyskałyśmy grant w ramach programu rozwoju młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich. Temat naszego projektu to *Badania eksperymentalne i symulacyjne regeneracji gruntu, eksploatowanego jako dolne źródło ciepła dla sprężarkowej pompy ciepła typu solanka-woda przy pomocy sond pionowych, za pomocą kolektorów słonecznych oraz systemu natural cooling*. Projekt ten realizowany był we współpracy z CTE i firmami Viessmann i Aspol. Efektem tych prac są publikacje [A2,A4,E2,E4,E7,F4,L3] w tym dwa w czasopismach z IF. Kontynuacją tych prac był 8 miesięczny staż naukowo-badawczy w Centrum Technologii Energetycznych w Świdnicy. Staż odbywał się w ramach realizacji projektu „Kumulacja kompetencji” organizowanego przez EIT+ i był współfinansowany ze środków europejskiego funduszu społecznego. Aktualnie moje prace badawcze nadal dotyczą zagadnienia związanego z modelowaniem temperatury gruntu w dolnych źródłach pomp ciepła. Jestem też promotorem pomocniczym pracy doktorskiej mgr inż. Eweliny Stefanowicz. Praca ta dotyczy dokładności testów dostarczających dane do analizy pracy i projektowania systemów dolnych źródeł pomp ciepła glikol/woda. Wynikiem tej

współpracy jest szereg publikacji, w których wykazano jak duży wpływ na wyniki symulacji tych układów ma dokładność danych wejściowych (E13,E16,E29,E32).

Ad 6. W trakcie powyższego stażu rozpoczęłam prace nad zagadnieniami efektywności energetycznej systemów wentylacyjnych we współpracy z dr inż. Marią Kostką. Efektem tego było powstanie narzędzia do symulacji efektywności energetycznej systemów wentylacji z odzyskiem ciepła i publikacje (E18,E19,E23,E31). Równoległe podobne badania, pozwalające mi powrócić do zainteresowań z okresu pracy nad rozprawą doktorską, rozwijały się w wyniku realizacji grantu finansowanego przez NCN zatytułowanego *Analiza pracy i badania systemów klimatyzacyjnych wspomaganych energią słoneczną*, którego kierownikiem był dr inż. Dariusz Kwiecień. W badaniach tych odpowiadałam za projekt, pomiary oraz analizę efektywności układu kolektorów słonecznych. Instalacja ta wraz z dwoma zasobnikami miała za zadanie pozyskiwać i gromadzić energię słoneczną w postaci podgrzanej wody, która przekazywana była za pośrednictwem wodnych nagrzewnic do powietrza regenerującego wypełnienie sorpcyjne obrotowego osuszacza powietrza lub do nagrzewnicy nawiewnej w celu podgrzania powietrza kierowanego do pomieszczeń. Przeprowadzone badania układu cieczowych kolektorów słonecznych pozwoliły opisać przybliżone efekty i zalecenia dla eksploatacji i projektowania systemów słonecznych kolektorów cieczowych zasilających systemy SDEC (E1,E5,F2,F3,F5,F6).

Ad 7. W latach 2013 – 2016 zajmowałam się problemami wykorzystania ciepła odpadowego z chłodzenia układów ogniw fotowoltaicznych oraz wykorzystaniem rur ciepła w inżynierii środowiska. Prowadziłam badania symulacyjne dotyczące wpływu chłodzenia ogniw PV (z zastosowaniem wymienników z rur ciepła) na ich temperaturę i badania symulacyjne nad sposobem wykorzystania ciepła odpadowego z tych systemów. W pracach tych przydało się moje doświadczenie dotyczące symulacji energetycznych i w dziedzinie energetyki słonecznej. Ta trzy-letnia współpraca z międzynarodowym zespołem badaczy pozwoliła mi uczestniczyć w przygotowaniu kilku publikacji w czasopiśmie z IF (A1,A3,A6).

Ad 8. W trakcie współpracy z CTE w Świdnicy rozwinęłam swoje zainteresowania problemami analizy efektywności energetycznej systemów grzewczych z pompami ciepła powietrze/woda. Z czasem zagadnienie to stało się głównym celem moich badań. Prowadzone przeze mnie prace badawcze dotyczyły modelowania efektywności energetycznej pomp ciepła w kroku miesięcznym. Efektem moich prac jest funkcja statystyczna, dzięki której przybliżony został rozkład częstości występowania temperatur powietrza zewnętrznego. Funkcja ta zintegrowana została z modelem opisującym pracę urządzenia na przestrzeni miesiąca. Badania te zostały szczegółowo opisane w rozprawie habilitacyjnej. Opracowany model korelacyjny przetestowany został na danych wejściowych pozyskiwanych według testów zalecanych przez normę PN-EN 14511. W szeregu publikacji (E14,E20,E21,E28,E30) przygotowanych wraz z mgr inż. Krzysztofem Piechurskim, wykazana została konieczność zastąpienia metody testowania pomp ciepła zalecanej przez PN-EN 14511 metodą quasi-dynamiczną i tym samym zmiany modelu do opisu COP urządzenia. Procedurę tego testu opracować zamierza mgr inż. Krzysztof Piechurski w ramach swojej pracy doktorskiej, której jestem promotorem pomocniczym.

Ad 9. W ostatnich dwóch latach powróciłam do badań związanych z audytem energetycznym. Byłam współautorką kilku opracowań audytów energetycznych dla dużych osiedli mieszkaniowych i kilku obiektów zabytkowych. W wyniku tego moje zainteresowania badawcze ewoluowały do zagadnienia rewitalizacji obszarów zurbanizowanych i badań uwarunkowań ubóstwa energetycznego w miastach. Nawiązałam współpracę z dr inż. arch. Magdaleną Bąborską-Narozny i *Centrum Naukowym Zrównoważonego Kształtowania Środowiska Politechniki Wrocławskiej* (stając się jego członkiem). Rozpoczęłam współpracę z *Wrocławską Rewitalizacją*, co umożliwiło realizację badań pilotażowych dotyczących stanu źródeł ciepła, komfortu cieplnego i postaw mieszkańców wobec planowanych zmian w zakresie sposobu ogrzewania lokali w budynkach. Badania przeprowadzone zostały na próbie ponad 400 lokali mieszkalnych

i usługowych na wybranym kwartale kamienic Przedmieścia Oławskiego we Wrocławiu. Badania zakończyły się opracowaniem raportu zamieszczonego na stronie internetowej *Wrocławskiej Rewitalizacji* (<http://w-r.com.pl/projekty/cieplozimno/>). Obecnie jestem współkierownikiem badań dotowanych przez Urząd Miejski Wrocławia zatytułowanych *Gęstość występowania źródeł ciepła na paliwo stałe a wiek, typologia i funkcja tkanki budowlanej oraz postawy mieszkańców wobec zmian systemu grzewczego w skali miasta Wrocław*. Badania te są w trakcie realizacji i obejmują obszar całego Wrocławia. Ich zakres to analiza danych opisujących wybrane parametry tkanki budowlanej miasta, analiza dostępnych baz danych, w których zgromadzono informacje mogące być pomocne w diagnostyce sposobu ogrzewania lokali mieszkalnych i badania ankietowe na próbie reprezentatywnej dla lokali mieszkalnych znajdujących się w budynkach o znanej funkcji, wieku i typologii. Poprzez badania terenowe zidentyfikowane i ustalone zostaną typy użytkowanych źródeł ciepła na paliwo stałe oraz postawy społeczne mieszkańców (takie jak: zadowolenie z istniejącego sposobu ogrzewania, chęć do zmiany istniejącego systemu, obawy przed wzrostem kosztów ogrzewania).


podpis Wnioskodawcy