

Streszczenie w języku polskim pracy doktorskiej pt.: „*Model of energetic cooperation between electrical vehicles and solar office building*” (Model współpracy samochodu elektrycznego z solarnym biurowcem)

Magdalena Jurasz

Streszczenie

Na świecie obserwuje się rosnące zapotrzebowanie na energię. Energię zarówno elektryczną, ciepłą jak i tę „zmagazynowaną” w paliwach wykorzystywanych na potrzeby transportu. Rozwój gospodarki (aczkolwiek z coraz silniejszymi trendami związanymi z szeroko rozumianym rozwojem zrównoważonym) pociąga za sobą rosnącą presję działalności człowieka na środowisko naturalne. Poprzez fakt, iż cywilizacja jest fragmentem całego ekosystemu planety Ziemia coraz częściej dostrzegamy, że każda nasza akcja pociąga za sobą reakcję. Znamiennym tego przykładem są zmiany klimatu. Zmiany, które chociaż obserwowane od milionów lat, to na przestrzeni ostatnich dwóch wieków uznaje się za będące w znacznej mierze efektem antropogenicznych emisji dwutlenku węgla do atmosfery i towarzyszącym im efektem cieplarnianym. Efekt ten prowadzi do wzrostu temperatur powietrza oraz coraz większej liczby ekstremalnych zjawisk pogodowych.

Globalny konsensus co do przyczyn zmian klimatu jest osiągnięty ze zmienną skutecznością, którego analiza wykracza coraz częściej poza ramy debaty nauk ścisłych. Należy jednak uznać, że chociaż zgoda co do przyczyn globalnego ocieplenia klimatu pozostaje nieosiągnięta, to jego skutki obserwujemy już dzisiaj. Coraz częściej raportuje się rosnącą liczbę gwałtownych zjawisk pogodowych dotyczących pożarów, tornad, huraganów, powodzi czy też susz.

Jak przekłada się to na funkcjonowanie gospodarki globalnej? Zmienność warunków, w których funkcjonuje dany system, poza granice dla których ten system został zaprojektowany powoduje, iż ciężko jest przewidzieć jego zachowanie/reakcję. Może się zdarzyć, iż system nie będzie w stanie funkcjonować lub osiągnie tylko część swojej oczekiwanej wydajności.

Poprzez system możemy rozumieć tutaj fragmenty gospodarki realizujące z góry założone funkcje. Na przykład system energetyczny (czyli układ elektrowni, sieci przesyłowych, magazynów energii, odbiorców oraz różnych rozwiązań technicznych) został tak zaprojektowany, by zaspakajać w każdej chwili zapotrzebowanie odbiorców na energię elektryczną. Jeśli w środowisku funkcjonowania systemu wystąpią zjawiska ekstremalne, takie

na które system nie został przygotowany (np. ze względu na zbyt duże koszty utrzymywania niezawodności) dojść może do sytuacji, w której nastąpi przerwa w dostawie energii elektrycznej.

Jednym z rozwiązań, które ma przeciwdziałać skutkom globalnego ocieplenia klimatu jest rozwój odnawialnych źródeł energii. Ponieważ cechują się one niewielką lub bliską zeru emisyjnością CO₂ docelowo mogą pozwolić na zatrzymanie postępującego wzrostu temperatur. Jednakże, ich rozwój w ramach wielu systemów energetycznych nie jest sprawą oczywistą.

Biorąc pod uwagę powyższe akapity należy podkreślić, że prezentowana rozprawa doktorska tematycznie dotyczy trzech kluczowych sektorów gospodarki. Mianowicie energetyki, transportu oraz budownictwa. Ze względu na rozmiar tych sektorów ich dogłębna analiza w pojedynczej rozprawie doktorskiej nie jest możliwa. Z tego też względu sektory te w rozprawie reprezentowane są poprzez odpowiednio fotowoltaikę (sektor energetyki), samochody elektryczne (transport) oraz budynki biurowe (budownictwo). W rozprawie analizę przeprowadzono z perspektywy polskiej. Wybór elementów poszczególnych sektorów jest podyktowany faktem, iż:

- Budownictwo odgrywa znaczącą rolę w krajowym (co jest również trendem światowym) kształtowaniu się profilu oraz finalnego zapotrzebowania na energię elektryczną oraz ciepłą.
- W polskich miastach obserwuje się dynamiczny rozwój budownictwa biurowego, co bezpośrednio przekłada się na profil lokalnego oraz krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną.
- W ramach funkcjonowania polskiego systemu energetycznego w sposób dynamiczny wzrasta rola energetyki odnawialnej w postaci systemów fotowoltaicznych. Sytuacja ta ma miejsce na skutek rosnących cen energii elektrycznej oraz krajowych programów wspierających rozwój takich systemów pozyskiwania energii.
- Obserwowany jest powolny wzrost liczby samochodów elektrycznych w ramach krajowej floty samochodowej. Należy jednak podkreślić, iż obecnie jest to w skali globalnej niewiele znaczący ułamek. Jednak lokalnie można spodziewać się znacznego wpływu ładowania samochodów elektrycznych na funkcjonowanie systemu energetycznego.

Wspólna płaszczyzna, na której znajdują się te trzy sektory gospodarki to budynek biurowy wyposażony we własną instalację fotowoltaiczną oraz stację ładowania samochodów

elektrycznych będących częścią floty samochodów najemcy budynku biurowego. W rozprawie budynek biurowy „generuje” zapotrzebowanie na energię elektryczną (zużycie wynika z realizowanych w budynku procesów). Zapotrzebowanie to cechuje się swoistym dobowym, tygodniowym oraz rocznym profilem. Instalacja fotowoltaiczna może pokryć część tego zapotrzebowania, a uzysk jej energii w sposób korzystny koreluje z zapotrzebowaniem na energię elektryczną w dni o wysokiej temperaturze (gdy konieczne jest wykorzystanie klimatyzacji). Budynek należy, bądź jest wynajmowany przez organizację, której część pracowników posiada samochody elektryczne (lub jest to flota firmowa). Samochody te po przyjeździe pracowników do pracy są podłączane do stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Ich ładowanie wpływa na profil zapotrzebowania na energię elektryczną w budynku. Samochody elektryczne stanowią jednocześnie czasowo dostępny magazyn energii elektrycznej.

By szczegółowo przeanalizować pracę takiego układu zaproponowano w modelowaniu podejście krokowe. Mianowicie na wstępie zaproponowano model najprostszego układu, do którego następnie dodawano kolejne elementy. W rezultacie zaprezentowano następujące modele:

- Punkt odniesienia - model mający na celu odwzorowanie najczęściej występującego przypadku, czyli budynek biurowy bezpośrednio połączony z siecią energetyczną, bez instalacji fotowoltaicznej ani stacji ładowania samochodów elektrycznych. W modelu tym skupiono się głównie na analizie kosztu zakupu energii w ramach różnych jej taryf.
- Model zmodyfikowany, w którym rozważono możliwość wykorzystania instalacji fotowoltaicznej. Uwzględniono koszt pozyskania energii z systemu PV.
- Model budynku biurowego ze stacją ładowania samochodów elektrycznych, ale bez instalacji fotowoltaicznej. Pobór energii odbywa się wyłącznie z sieci.
- Model budynku biurowego wyposażanego w instalację fotowoltaiczną oraz stację ładowania samochodów elektrycznych. Przepływ energii pomiędzy samochodami elektrycznymi a budynkiem (stacją ładowania) odbywa się jednokierunkowo – wyłącznie ładowanie.
- Model finalny, w którym umożliwiono przepływ energii z samochodów elektrycznych do budynku biurowego.

Na potrzeby symulacji oraz optymalizacji zaproponowane powyżej modele zaimplementowano w środowisku arkusza kalkulacyjnego MS Excel oraz Matlab. By rozwiązać problem

optymalizacji liniowej wykorzystano ogólnie dostępny dodatek do programu MS Excel w postaci *Open Solver* oraz akademicką licencję solwera *Gurobi*, oraz programowanie liniowe w środowisku Matlab (kod w załączniku). Modelowanie oparto o dane historyczne dotyczące zapotrzebowania na energię elektryczną oraz warunki atmosferyczne (nasłonecznienie, temperatura). Dokładna lokalizacja budynku biurowego (poza wskazaniem na miasto Kraków) nie może zostać ujawniona.

Na podstawie przeprowadzonych analiz sformułowano następujące wnioski:

- Taryfa C21 jest taryfą najkorzystniejszą pod względem finansowym dla wybranego budynku biurowego (bez instalacji fotowoltaicznej).
- Wykorzystanie systemu fotowoltaicznego w budynku biurowym może obniżyć koszt jednostki energii o 0,06 PLN/kWh oraz zwiększyć niewrażliwość na wzrost cen energii na rynku.
- Źródło generacji fotowoltaicznej znacząco modyfikuje profil zapotrzebowania budynku biurowego na energię elektryczną. Wynika to z faktu, iż profil generacji PV jest zbliżony do zapotrzebowania budynku biurowego w ujęciu dobowym oraz rocznym. Należy jednak podkreślić, iż w ujęciu tygodniowym przewymiarowany system PV może generować znaczne nadwyżki energii elektrycznej, w szczególności w dni wolne od pracy.
- Z punktu widzenia krajowego systemu energetycznego system PV ma potencjał redukcji obserwowanego szczytu zapotrzebowania na energię elektryczną w budynkach biurowych. Obniżenie zapotrzebowania szczytowego jest szczególnie istotne, jeśli następuje w dni o wysokiej temperaturze, gdy sprawność generatorów konwencjonalnych (które dominują w krajowym systemie energetycznym) jest obniżona.
- Ładowanie floty 50 samochodów elektrycznych w sposób naturalny podnosi koszt energii elektrycznej w budynku biurowym. Całkowity wzrost rocznego kosztu energii kształtuje się na poziomie 2,9% dla taryfy C21 oraz 3,0% dla taryfy C22b.
- Strategia ładowania samochodów elektrycznych powinna być zoptymalizowana w taki sposób, by jej wpływ na obciążenie rezydualne (obciążenie - generacja PV) zostało zminimalizowane. Uproszczona strategia ładowania (tj. ładowanie natychmiast po dotarciu do stacji ładowania) powoduje wzrost porannego szczytu zapotrzebowania na moc elektryczną.

- Strategia ładowania oparta na minimalizacji całkowitego kosztu energii elektrycznej prowadzi do zwiększenia się zmienności krzywej zapotrzebowania na moc elektryczną budynku biurowego z instalacją PV oraz stacją ładowania samochodów elektrycznych.
- Możliwy wzrost cen energii elektrycznej w przyszłości znacznie zwiększa rolę pojazdów elektrycznych jako mobilnych magazynów energii dla budynków biurowych. Oznacza to, że wartość mobilnego magazynowania energii elektrycznej jest większa z punktu widzenia kosztu energii w budynku biurowym. Przy cenach energii elektrycznej sięgających 200% ich poziomu z 2017 r., udział pojazdów elektrycznych w pokryciu obciążenia budynku sięga ponad 2% w skali rocznej.
- Potencjalna przyszła implementacja zaproponowanej koncepcji budynku biurowego z systemem PV oraz stacją ładowania samochodów elektrycznych będzie wymagała systemu wspierającego wzmożony przepływ informacji takich jak: prognoza pogody, prognoza uzysku energii z instalacji PV, prognoza zapotrzebowania na moc elektryczną budynku, prognoza cen energii elektrycznej (jeśli taryfy nie są jej obowiązującym źródłem), oczekiwany stopień naładowania samochodów elektrycznych po dotarciu do stacji ładowania oraz w momencie odjazdu.

Rozprawa jest ustrukturyzowana w następujący sposób:

- Rozdział pierwszy – **Wprowadzenie**, umiejscawia rozprawę w szerszym kontekście obecnych kierunków naukowych i trendów gospodarczych oraz kończy się sformułowaniem hipotezy oraz celów badań.
- Rozdział drugi - **Przegląd literatury**, prezentuje najważniejsze prace związane z tematyką doktoratu oraz podsumowanie dotyczące wkładu rozprawy w stan wiedzy naukowej.
- Rozdział trzeci – **Metody oraz dane**, poświęcony jest sformułowaniu modeli matematycznych opisujących analizowane systemy oraz przedstawia dane wejściowe oraz założenia użyte w symulacjach.
- Rozdział czwarty – **Wyniki**, koncentruje się na prezentacji rezultatów przeprowadzonych symulacji oraz optymalizacji funkcjonowania poszczególnych układów. W rozdziale czwartym można wyróżnić istotny fragment czyli **Dyskusję**, która dedykowana jest pogłębionej i krytycznej analizie otrzymanych wyników z perspektywy ich implementowalności oraz znaczenia.
- Rozdział piąty - to podsumowanie zrealizowanej dysertacji, określenia ograniczeń pracy oraz przyszłych kierunków badań.

Pracę wieńczy spis literatury oraz załącznik w postaci kodu użytego do optymalizacji mocy zainstalowanej w układzie oraz pracy poszczególnych komponentów.

29.06.2020r.

Magdalena Jurek