Dokumentacja narzędzia ZefirLib dla Samorządów

Wstęp

Cel dokumentu

Celem dokumentu jest wyjaśnienie architektury i filozofii modelowania transformacji energetycznej w jednostkach samorządu terytorialnego przez narzędzie ZefirLib dla Samorządów, oraz opis poszczególnych kroków procesu realizowanego przez to narzędzie.

Dokument przeznaczony jest dla użytkowników narzędzia ZefirLib dla Samorządów.

Zakres

W części „ZefirLib dla Samorządów: Architektura i filozofia modelowania transformacji energetycznej w jednostkach samorządu terytorialnego” dokument opisuje następujące zagadnienia:

- Kontekst strategiczny i geneza narzędzia ZefirLib dla Samorządów
- Na jakie potrzeby odpowiada ZefirLib dla Samorządów z perspektywy JST
- Opis działania narzędzia ZefirLib dla Samorządów
- Koszyki technologiczne
- Przykład zastosowania koszyków technologicznych
- Horyzont czasowy i rozdzielczość czasowa
- Scenariusze i uwarunkowania systemowe
- Charakter wyników i ich wartość dla samorządów
- Ograniczenia i odpowiedzialne użycie
- Podsumowanie
- Przegląd procesu

W części „Instrukcja obsługi” dokument podaje instrukcję instalacji i uruchamiania narzędzia.

W częściach „Etap I: Preprocessing danych wykonywany przez narzędzie DataFusion” i „Etap II: Optymalizacja i postprocessing wykonywane przez narzędzie ZefirOptiFlow” dokument opisuje działanie narzędzia jako proces realizowany w dwóch etapach:

I. Preprocessing danych wejściowych
II. Obliczenia optymalnego miksu energetycznego dla jednostek samorządu terytorialnego z postprocessingiem wyników optymalizacji.

W części „Załączniki” znajdują się odnośniki do załączników do dokumentacji, w których znajdują się szczegółowe opisy niektórych zagadnień.

Definicje i skróty

- **BBOX** – *bounding box*, prostokąt ograniczający fragment mapy
- **BDOT10k** – Baza Danych Obiektów Topograficznych. BDOT10k jest to wektorowa baza danych zarządzania przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii i udostępniona za darmo w ramach usługi Geoportal. Zawiera m.in. następujące cechy budynków:
    - funkcja ogólna oraz szczegółowa
    - powierzchnia obrysu,
    - liczba kondygnacji,
    - stan użytkowania obiektu,
    - współrzędne geometrii w przestrzeni.
- **CAPEX** – wydatki kapitałowe (*capital expenditures*)
- **CEEB** – Centralna Ewidencja Emisyjności Budynków. Baza danych zarządzana przez Główny Urząd Nadzoru Budowlanego. Dane dostępne są w dwóch raportach tabelarycznych. Tabele zawierają następujące cechy budynków:
    - adres
    - liczba
    - rodzaj
    - klasa oraz przeznaczenie źródeł ciepła
    - funkcja budynku
- **CO2** – dwutlenek węgla
- **COP** – współczynnik wydajności (*coefficient of performance*). Kluczowy wskaźnik efektywności pompy ciepła, który określa stosunek ilości wytworzonego ciepła do zużytej energii elektrycznej.
- **DHTML** – dynamiczny HTML; technologia tworzenia interaktywnych stron internetowych
- **ETS** – Europejski System Handlu Emisjami
- **JST** – Jednostka Samorządu Terytorialnego
- **KIUT** – Krajowa Integracja Uzbrojenia Terenu. Usługa prezentacji zbiorczych danych uzbrojenia terenu pochodzących bezpośrednio z jednostek szczebla powiatowego. Zawiera jedynie dane jednostek, które dysponują usługą Web Map Service (międzynarodowy standard udostępniania danych przestrzennych) o odpowiednich parametrach i zdecydowały się włączyć ją do usługi zbiorczej Krajowa Integracja Uzbrojenia Terenu. Dane przedstawione są w formie wycinka mapy, na którym odpowiednim kolorem, w zależności od warstwy, oznaczono wystąpienia sieci w określonym BBOX. Dostępne warstwy to:
    - Sieć wodociągowa
    - Sieć kanalizacyjna
    - Sieć ciepłownicza
    - Sieć gazowa
    - Sieć telekomunikacyjna

    - Sieć elektroenergetyczna
    - Sieć niezidentyfikowana
    - Sieć specjalna
- **KSE** – krajowy system elektroenergetyczny
- **OPEX** – koszty operacyjne (*operating expenses*)
- **OZE** – odnawialne źródła energii
- **PRG** – Państwowy Rejestr Granic. Referencyjna baza danych zarządzana przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii i udostępniona za darmo w ramach usługi Geoportal. Dane z tej bazy zawierają informacje o adresach. Są one wyrażone w postaci geometrii punktu, który posiada atrybut nazwy ulicy z numerem budynku.
- **TERC** – system identyfikatorów i nazw jednostek podziału terytorialnego w ramach krajowego rejestru urzędowego podziału terytorialnego kraju (TERYT).

ZefirLib dla Samorządów: Architektura i filozofia modelowania transformacji energetycznej w jednostkach samorządu terytorialnego

Kontekst strategiczny i geneza narzędzia ZefirLib dla Samorządów

W obliczu przyspieszającej transformacji energetycznej ciężar odpowiedzialności za planowanie i wdrażanie zmian przesuwają się z poziomu centralnego na poziom lokalny. Jednostki Samorządu Terytorialnego (JST), Klastry Energii oraz Spółdzielnie Energetyczne stają przed wyzwaniem nie tylko zarządzania bieżącym zużyciem, ale zaprojektowania długoterminowej ścieżki dekarbonizacji, która uwzględnia specyfikę lokalnych zasobów i odbiorców.

Istniejące na rynku narzędzia o podobnym profilu działania, choć zaawansowane, często nie uwzględniają specyficznych potrzeb planowania na poziomie JST (poziom mezoskalowy ulokowany pomiędzy mikroskalą pojedynczego budynku a makroskalą reprezentowaną przez poziom krajowy). Narzędzie ZefirLib dla Samorządów zostało zaprojektowane, aby wypełnić tę lukę: Oferuje ono zintegrowane środowisko do symulacji i optymalizacji lokalnych systemów energetycznych w ujęciu wielosektorowym. Narzędzie to łączy wieloletni horyzont transformacji z obrazem pracy lokalnego systemu energetycznego w skali godzin, w tym – ze sprzężeniami sektorów (*power-to-heat*, *power-to-cold*) i rosnącą rolą energetyki rozproszonej.

Na jakie potrzeby odpowiada ZefirLib dla Samorządów z perspektywy JST

Transformacja lokalnego systemu energetycznego dotyczy równocześnie trzech sfer: zmian po stronie podaży (jakie źródła, gdzie i w jakiej kolejności rozwijać), zmian po stronie popytu

(jak, w jakim tempie i w jakich grupach odbiorców wymieniać technologie końcowe), oraz zarządzania sprzężeniami między nośnikami (np. jak elektryfikacja ogrzewnictwa wpływa na profile obciążeń sieci elektroenergetycznej i potrzebę magazynowania energii). W istniejących dotychczas narzędziach służących do przewidywania optymalnego rozwoju systemów energetycznych brakowało jednak rozwiązania, które w skali JST związałoby te perspektywy w jeden spójny, model uwzględniający wiele nośników energii, z realistycznym opisem zachowań technologii końcowych u odbiorców.

ZefirLib dla Samorządów wypełnia tę lukę. Daje gminom, powiatom i miastom odpowiedź na pytania typu: które technologie grzewcze (pompy ciepła, kotły gazowe/biomasowe, przyłącza do sieci ciepłowniczej) rozwijać i w jakich proporcjach; jaki jest uzasadniony kosztowo i emisyjnie rozwój fotowoltaiki i budynkowych magazynów energii; jak elektryfikacja ogrzewnictwa, tj. indywidualnych źródeł ciepła (*power-to-heat*) przełoży się na lokalne szczyty poboru prądu; oraz jak kształtować tempo transformacji, aby poruszać się ramach dostępnego budżetu inwestycyjnego (o ile jego górne ograniczenia zostaną zadane) i w założonej ścieżce redukcji emisji.

Opis działania narzędzia ZefirLib dla Samorządów

ZefirLib dla Samorządów buduje i rozwiązuje matematyczny model optymalizacyjny, który odwzorowuje lokalny system energetyczny w wysokiej rozdzielczości czasowej w horyzoncie wieloletnim.

Dwiema podstawowymi jednostkami modelu są „obszar bilansowania” i „agregat odbiorców”.

Obszar bilansowania to rodzaj węzła wiążącego podaż i popyt na energię, przypisanego do jednego nośnika energii, np. elektryczności, ciepła niskotemperaturowego, ciepła wysokotemperaturowego, czy chłodu (transport ciepła na zewnątrz budynku jest modelowany jako „dostarczenie do budynku chłodu”, mierzone w jednostkach energii). Do takiego obszaru bilansowania można podłączyć źródła (lokalne lub systemowe) i magazyny odpowiedniego nośnika energii, ale także technologie pasywne takie jak termomodernizacja.

Przepływ energii między obszarami bilansowania odbywa się przez „linie”. Linie służą do reprezentacji przepływów energii na poziomie ogólniejszym niż fizyczne elementy, takie jak sieć przesyłowa. Co ważne – każda linia ma nadany kierunek przepływu między obszarami bilansowania, które łączy. Przykładowa linia nie związana z elektroenergetyką to połączenie służące do przesyłu ciepła pomiędzy obszarem bilansowania z termomodernizacją a obszarem bilansowania z magazynem ciepła i innymi aktywnymi technologiami grzewczymi – w takim kierunku, żeby technologia pasywna (termomodernizacja) nie mogła być użyta do ładowania magazynu. Istotne, że nawet w przypadku linii związanych z energią elektryczną nie możemy ich zinterpretować fizycznie – nadal mamy ustalony kierunek przepływu (zatem aby mieć możliwość przepływu energii w obie strony, potrzebne są dwie linie) i nie

modelujemy rozpływu prądu w sieci zgodnie z prawami obwodów elektrycznych. Możemy natomiast zadać ustaloną opłatę za taki przesył czy też wprowadzić stałą wartość procentową strat.

Kluczowym warunkiem, który model optymalizacyjny wymusza w każdym kroku czasowym i w każdym obszarze bilansowania, jest równanie bilansu: suma dopływów (generacja energii, przyjmowanie z innych obszarów bilansowania, rozładowanie magazynów, konwersja) równa się sumie odpływów (pokrycie zapotrzebowania, oddawanie od innych obszarów bilansowania, ładowanie magazynów, straty). Jednocześnie jednak bilans musi być spełniony przy zachowaniu innych warunków – ograniczeń na zużycie paliwa, moce zainstalowane, generację energii i jej zmiany w czasie, udział poszczególnych technologii itp.

Istotnym dla interakcji między popytem a podażą mechanizmem w modelu optymalizacyjnym jest agregacja odbiorców w grupy o podobnym charakterze zużycia i funkcji (np. domy jednorodzinne, mieszkania w zabudowie wielorodzinnej, szkoły, biura, handel). Każdy agregat odbiorców ma przypisany znormalizowany profil godzinowy, roczne zużycie przypadające na odbiorcę oraz liczbę odbiorców. Dla ciepła i chłodu popyt może być zadany zewnętrznie (np. z audytów) lub wyprowadzony jako funkcja temperatury zewnętrznej, co lepiej oddaje sezonowość.

Koszyki technologiczne

Najważniejszą innowacją ZefirLib dla Samorządów są lokalne koszyki technologiczne. Są to zbiory obszarów bilansowania i przyłączonych do nich technologii, które reprezentują konkretną konfigurację u typowego odbiorcy — można je traktować jako „mały system energetyczny” dla danego typu budynku. Przykładowy koszyk może zawierać: fotowoltaikę na dachu, pompę ciepła z określonym COP, magazyn ciepła oraz przyłącze do sieci elektroenergetycznej. Inny koszyk może opisywać klienta ciepłowniczego (przyłącze do ciepłownictwa systemowego, ewentualnie magazyn ciepła w odpowiednim obszarze bilansowania) lub klasyczny układ kocioł gazowy + przyłącze do sieci elektrycznej.

Każdy koszyk ma określony udział w agregacie odbiorców. Mówi on, jaki odsetek odbiorców w danej grupie korzysta z tej konfiguracji technologii. Suma udziałów koszyków w agregacie wynosi 100%. Udziały koszyków można kształtować w czasie: narzucać wartości brzegowe (minimalną/maksymalną w danym roku), a także tempo zmian rok do roku. Dzięki temu ZefirLib dla Samorządów pozwala planować i ograniczać tempo elektryfikacji lub dekarbonizacji tak, by było ono wykonalne inwestycyjnie i społecznie. Ten sam mechanizm umożliwia analizę zjawisk, których inne narzędzia nie odwzorowują: częściowe „odłączanie” się odbiorców od systemu ciepłowniczego lub sieci elektroenergetycznej (np. przejście na autokonsumpcję z fotowoltaiką i magazynem energii), obniżenie parametru temperaturowego w sieci ciepłowniczej, lub wprowadzanie warunków lokalnych (limity mocy urządzeń

przypadające na odbiorcę, minimalny udział ogrzewania niskotemperaturowego w nowych budynkach).

Przykład zastosowania koszyków technologicznych

Wyobraźmy sobie koszyk technologiczny obejmujący dwa obszary bilansowania — elektryczny i cieplny. Do elektrycznego obszaru bilansowania podłączone są panele fotowoltaiczne i przyłącze do sieci KSE; do cieplnego obszaru bilansowania — pompa ciepła i magazyn ciepła. Między obszarami bilansowania mamy konwerter – pompę ciepła: aby wytworzyć 1 MWh ciepła, musi ona pobrać 1/COP MWh prądu (gdzie COP może zależeć od temperatury). W każdej godzinie model decyduje, ile ciepła wytworzyć (i kiedy je zmagazynować), biorąc pod uwagę godzinowe ceny prądu, koszty pracy i ograniczenia mocy, tak by pokryć popyt cieplny agregatu. W dni słoneczne część prądu dostarcza fotowoltaika; w mroźne noce koszty rosną, więc opłaca się zawczasu „naładować" magazyn ciepła. Jeśli dla danego agregatu odbiorców istnieje równolegle inny koszyk, w którym źródłem ciepła jest kocioł gazowy, model porówna rozwiązania i może utrzymywać mieszany zestaw koszyków (np. 60% zestawu stanowiłby koszyk z pompą ciepła, a 40% — koszyk z kotłem gazowym), przewidując określone tempo migracji pomiędzy tymi proporcjami w kolejnych latach.

Horyzont czasowy i rozdzielczość czasowa

ZefirLib dla Samorządów wykonuje obliczenia w rozdzielczości godzinowej, ponieważ to jedyna skala, która pozwala wiarygodnie ocenić interakcje między fotowoltaiką, pompami ciepła, magazynami ciepła i energii elektrycznej oraz pogodą, a także zbadać skutki elektryfikacji ogrzewnictwa oraz zwiększenia sektora świadczenia usług komfortu cieplnego w lecie (klimatyzacja). Jednocześnie jednak narzędzie rozwiązuje problem w horyzoncie wieloletnim, aby wyznaczyć nie tylko stan docelowy, ale również ścieżkę dojścia do niego. Aby zredukować czas obliczeniowy, zastosowano reprezentatywną próbkę godzinową (4 wybrane tygodnie z reprezentatywnego roku klimatycznego, po jednym tygodniu na porę roku) oraz próbkowanie co 5 lat, skalując wyniki tak, aby były one reprezentatywne dla pełnego okresu.

Scenariusze i uwarunkowania systemowe

Przebieg transformacji energetycznej zależy od uwarunkowań kosztowych, regulacyjnych i infrastrukturalnych. ZefirLib dla Samorządów umożliwia ich jawne odwzorowanie i zmianę w scenariuszach. Po stronie podaży można zadać: limity dostępności paliw (np. biomasa, gaz), trajektorie kosztów CAPEX i OPEX technologii, profile godzinowe cen energii i profile

roczne cen paliw, koszty emisji (koszty ETS, opłaty środowiskowe). Można nałożyć ograniczenia przyrostowe (maksymalne/minimalne przyrosty mocy w roku przypadające na technologię) oraz ilościowe (górne/dolne limity mocy w danym roku), a także globalne ograniczenia emisyjne (np. redukcja CO2 o X% względem roku bazowego do określonego roku). Po stronie popytu model bierze pod uwagę wielkość i strukturę odbiorców, profile godzinowe zapotrzebowania na energię (płaskie lub zależne od temperatury), jak również narzucone ścieżki udziałów koszyków technologicznych i ich maksymalne tempa zmian. Dodatkowo można wprowadzać pośrednie ograniczenia dystrybucyjne (limity mocy/energii na wybranych obszarach bilansowania lub dla agregatów), co pozwala testować, czy i w jakim stopniu lokalne źródła i magazyny redukują szczyty obciążeń.

Charakter wyników i ich wartość dla samorządów

ZefirLib dla Samorządów dostarcza wyników w formie możliwej do bezpośredniego wykorzystania w dokumentach strategicznych i inwestycyjnych. Wygenerowany raport końcowy w formie interaktywnej strony internetowej prezentuje: roczne ścieżki udziałów koszyków technologicznych w poszczególnych agregatach, moce zainstalowane i generację energii w badanych sektorach (np. elektryczność, ciepło, chłód), profile generacji oraz zestawienie kosztów w rozbiciu na kategorie (CAPEX, OPEX, koszty paliw) i dane o emisjach CO2. Narzędzie umożliwia przeprowadzenie analizy scenariuszowej poprzez uruchomienie obliczeń i porównanie przez Użytkownika wygenerowanych wizualizacji wyników dla różnych zestawów danych wejściowych. Scenariusze wyrażone w formie różnych zestawów danych wejściowych — np. zmiany kosztów ETS, taryf, programów dotacyjnych — można badać wprost, obserwując ich wpływ na wybór technologii i koszty systemu. Co szczególnie ważne dla współpracy jednostek samorządu terytorialnego z operatorem systemu dystrybucyjnego oraz lokalnymi spółkami ciepłowniczymi, ZefirLib dla Samorządów pozwala sprawdzić, jak lokalna autokonsumpcja energii z fotowoltaiki i magazyny ciepła ograniczają szczyty obciążenia, a więc potencjalne koszty sieciowe.

Ograniczenia i odpowiedzialne użycie

Jak każde narzędzie symulujące rzeczywistość, model optymalizacyjny wykorzystywany w ZefirLib dla Samorządów zawiera uproszczenia, zatem jego wyniki są przybliżone. Wobec tego przy decyzjach o inwestycjach wskazana jest dalsza weryfikacja wyników w narzędziach specjalistycznych oraz analizy z punktu widzenia poszczególnych uczestników rynku.

Obecna wersja modelu optymalizacyjnego PyZefir wykorzystywanego w ZefirLib dla Samorządów podlega uproszczeniom i ograniczeniom opisanym w załączniku Model

optymalizacyjny PyZefir: Ograniczenia. Model jest sukcesywnie rozwijany i planujemy jego ulepszenia.

Podsumowanie

ZefirLib dla Samorządów to narzędzie pomagające przełożyć plany osiągnięcia neutralności klimatycznej na konkretne decyzje inwestycyjne i regulacyjne na poziomie gminy lub miasta. Poprzez optymalizację kosztów w symulowanych scenariuszach wskaże ono docelowy miks energetyczny oraz ułoży ekonomicznie racjonalną ścieżkę dojścia do takiego celu, uwzględniającą lokalne uwarunkowania i polityki publiczne.

Przegląd procesu

Proces wykonywany przez narzędzie ZefirLib dla Samorządów realizowany jest sekwencyjnie, z punktami wymagającymi interwencji manualnej:

- Etap I: Preprocessing danych wykonywany przez narzędzie DataFusion
  - Krok 1 – Pobranie danych z zewnętrznych otwartych źródeł i połączenie danymi CEEB
  - Krok 2 – Losowanie próby budynków
  - Krok 3 (manualny) – Inwentaryzacja wizualna
  - Krok 4 – Agregacja odbiorców
  - Krok 5 – Konfiguracja wyników dla danej JST
  - Krok 6 (manualny, opcjonalny) – Ręczna modyfikacja udostępnionych pól pliku konfiguratora modelu PyZefir
- Etap II: Optymalizacja i postprocessing wykonywane przez narzędzie ZefirOptiFlow
  - Krok 7 – Parser
  - Krok 8 – Optymalizacja za pomocą modelu PyZefir
  - Krok 9 – Wstępne przetwarzanie wyników
  - Krok 10 – Generator raportu

Schemat wizualny procesu znajduje się w pliku: Schemat wizualny procesu

---

Instrukcja obsługi

Narzędzie ZefirLib dla Samorządów składa się z dwóch paczek. Każda z paczek musi zostać osobno zainstalowana.

- Narzędzie DataFusion, realizujące Etap I: Preprocessing, działa w pojemniku Docker.
- Narzędzie ZefirOptiFlow, realizujące Etap II: Optymalizacja i postprocessing, jest pakietem Python.

Poniżej opisane są instalacja i uruchamianie tych paczek.

Instalacja i uruchamianie narzędzia DataFusion realizującego Etap I: Preprocessing

- Wymagania:
  - System: Linux, macOS, Windows, WSL
  - Pobrany pakiet ZefirLib dla Samorządów
  - Docker
- W celu skonfigurowania instalacji pakietu należy wejść do katalogu, w którym został zapisany i wykonać komendę z linii poleceń:

```
cp template.env .env
```

- W celu zainstalowania pakietu i jednoczesnego uruchomienia programu należy w katalogu projektu wykonać komendę z linii poleceń:

```
make docker-gui
```

- Komenda ta otwiera interfejs graficzny, w którym użytkownik
  - wprowadza potrzebne informacje,
  - uruchamia proces pobierania danych z zewnętrznych źródeł,
  - uruchamia proces agregacji odbiorców.
- W ten sposób program wykonuje proces składający się z 7 kroków (krok 1 – krok 7 opisane poniżej w rozdziale „Etap I: Preprocessing danych wykonywany przez narzędzie DataFusion”).
- Efektem działania narzędzia DataFusion jest plik **Konfigurator_JST.xlsx**. Opcjonalnie, może on być ręcznie modyfikowany przez użytkownika (krok 8).
- Alternatywne sposoby instalacji i uruchamiania, zależne od konfiguracji systemu użytkownika (np. z linii poleceń bez interfejsu graficznego), opisane są w załączniku DataFusion: Instalacja, uruchamianie i obsługa interfejsu.

Instalacja i uruchamianie narzędzia ZefirOptiFlow realizującego etap II: Optymalizacja i postprocessing

- Wymagania:

    - System Linux.
    - Pobrany pakiet ZefirLib dla Samorządów
    - Obecność solvera do rozwiązywania zadań optymalizacyjnych metodą programowania liniowego. W obecnej wersji optymalizator PyZefir skonfigurowany jest, aby używać licencyjnego solvera **Gurobi**.
    - Pozostałe wymagania dotyczące oprogramowania koniecznego do instalacji opisane są w załączniku ZefirOptiFlow: Instalacja i uruchamianie.
- Aby zainstalować pakiet, należy wejść do katalogu, w którym został zapisany i uruchomić komendy z linii poleceń:

```
bash setup_environment.sh
source .venv/bin/activate
```

- W celu uruchomienia programu należy w katalogu projektu wykonać z linii poleceń komendę z odpowiednimi opcjami (są one opisane w załączniku ZefirOptiFlow: Instalacja i uruchamianie:

```
run_bulk \
  --model <path_to_model_dir> \
  --config_file <path_to_Konfigurator_JST.xlsx> \
  --output <path_to_output_dir> \
  --config_sheet_name <config_sheet_name> \
  --graph-config <path_to_graph_config.json> \
  --template <path_to_template>
```

- Komenda ta wykonuje proces składający się z czterech kroków (krok 9 – krok 12) opisanych poniżej w rozdziale „Etap II: Optymalizacja i postprocessing”.

Etap I: Preprocessing danych wykonywany przez narzędzie DataFusion

---

Krok 1 – Pobranie danych z zewnętrznych otwartych źródeł i połączenie danymi CEEB

W tym kroku następuje automatyczne pobranie danych z usług oferowanych przez Geoportal: BDOT10k, PRG (adresy) oraz KIUT. Dwa pierwsze źródła są w postaci wektorowej, natomiast KIUT jest pozyskiwany jako raster w postaci wielu BBOX-ów z obszaru JST. Następnie dane są łączone w jeden zbiór na podstawie odległości euklidesowej. Z tego względu nie zawsze geometrii budynku może zostać przyporządkowany właściwy adres. Następnie odbywa się połączenie z danymi CEEB na podstawie adresów – w przypadkach

jednoznacznych (1:1) bezpośrednio, a w pozostałych przypadkach – na bazie wyznaczonej miary podobieństwa wyrazów (nazwy ulic). Po połączeniu następuje określenie struktury źródeł ciepła w budynku na bazie przyjętych założeń o tym, które urządzenie grzewcze jest wykorzystywane z większym prawdopodobieństwem.

Wejście

- Kod TERC (kod identyfikujący JST z systemu eTERYT)
- Pliki CEEB: Klasy i urządzenia (informacje o klasach kotłów na paliwo stałe oraz informacje o urządzeniach grzewczych w podanych adresach)

Działania

1. Otwarcie interfejsu i wypełnienie pól z kodem TERC i ścieżkami do plików CEEB. Możliwa jest ręczna zmiana tych wartości bezpośrednio w plikach konfiguracyjnych DataFusion znajdujących się w katalogu **configs/.**
2. Pobranie danych z rejestrów:
    - BDOT10k,
    - KIUT,
    - PRG.
3. Pobranie danych z plików CEEB
4. Zapis danych w lokalnej bazie danych.

Wyjście

- Lokalna baza danych (BDOT10k+KIUT+PRG+CEEB).
- Opcjonalnie: plik **building_report.xlsx** zawierający dane pobrane w kroku 2.

Krok 2 – Losowanie próby budynków

W tym kroku losowana jest automatycznie próba budynków do inwentaryzacji. Schematem losowania jest losowanie warstwowe w obrębie rodzaju budynku. Dodatkowo, dzięki algorytmowi zrównoważonego losowania równoważone są źródła ciepła (*multiway stratification*) oraz współrzędne geograficzne (w celu równomiernego losowania w przestrzeni). W celu zmniejszenia wariancji estymatora (całkowite zużycie ciepła) wykorzystano losowanie proporcjonalne do wielkości (powierzchnia użytkowa budynków).

Wejście

- Rozszerzona lokalna baza danych (BDOT10k+KIUT+PRG+CEEB).

Działania

- Losowanie budynków do inwentaryzacji wizualnej.

Wyjście

- Plik Excel z próbą budynków wylosowanych do inwentaryzacji wizualnej (**inwentaryzacja_wizualna.xlsx**).

Krok 3 (manualny) – Inwentaryzacja wizualna

W tym kroku użytkownik dokonuje ręcznie inwentaryzacji wizualnej wylosowanych budynków. Instrukcja wypełniania pliku **inwentaryzacja_wizualna.xlsx** znajduje się w załączniku Inwentaryzacja wizualna. W wyniku ręcznej inwentaryzacji powstają pliki ze szczegółowo opisaną próbą budynków. Jest to krok manualny, w którym następuje zatrzymanie działanie programu a po jego zakończeniu program należy ponownie uruchomić.

Wejście

- Plik Excel z próbą budynków wylosowanych do inwentaryzacji wizualnej (**inwentaryzacja_wizualna.xlsx**)

Działania (manualnie)

- Wykonanie kilku kopii pliku **inwentaryzacja_wizualna.xlsx** dla kilku osób wykonujących inwentaryzację. Każda z kopii ma tę samą strukturę, ale będzie wypełniana ręcznie innymi danymi. Każda z kopii może mieć dowolną nazwę. Tutaj dla przykładu przyjmujemy nazwy: **inwentaryzacja_wizualna_uzup_*.xlsx**, gdzie * jest liczbą.
- Ocena parametrów wylosowanych budynków na podstawie Google Street View:
  - ocieplenie,
  - dach,
  - okna,
  - inne cechy istotne energetycznie.
- Wpisanie ocenionych parametrów do plików **inwentaryzacja_wizualna_uzup_*.xlsx**.

Wyjście

- Folder z zestawem plików Excel **inwentaryzacja_wizualna_uzup_*.xlsx** ze szczegółowo opisaną próbą budynków.

Krok 4 – Agregacja odbiorców

Celem tego automatycznego kroku jest stworzenie agregatów odbiorców, czyli tabeli, która zawiera informacje o powierzchni, zapotrzebowaniu na ciepło (CO i CWU) oraz strukturze źródeł ciepła z podziałem na rodzaj budynku i klasę zapotrzebowania na ciepło. Te wartości są oszacowywane za pomocą estymatora kalibracyjnego. W obecnej wersji obliczany jest tylko estymator punktowy.

Wejście

- Rozszerzona lokalna baza danych (BDOT10k+KIUT+PRG+CEEB).
- Folder z zestawem plików Excel **inwentaryzacja_wizualna_uzup_*.xlsx** ze szczegółowo opisaną próbą budynków.

Działania

1. Przypisanie zapotrzebowania przypadającego na m² do próbek zinwentaryzowanych.
2. Kalibracja i oszacowanie powierzchni ogrzewanej.
3. Obliczenie agregatów odbiorców: powierzchnia użytkowa w m^2 oraz struktura urządzeń zapewniających ciepło (obliczona na bazie powierzchni) z podziałem na klasę zapotrzebowania oraz typ budynku.

Wyjście

- Tabela w bazie danych z opisem agregatów odbiorców

Krok 5 – Konfiguracja wyników dla danej JST

Celem tego kroku jest przygotowanie bazowej parametryzacji modelu. Tworzony jest plik **Konfigurator_JST.xlsx**, który zawiera podstawowe, odpowiednio przeliczone dane wejściowe. W skład danych wchodzą dane dotyczące: liczby obiektów (modelowych), mocy zainstalowanych w systemie centralnym, cen oraz dostępności paliw, kosztów emisji, ograniczeń rozwoju budynków, kosztów odsprzedaży energii, kosztów operacyjnych i zamortyzowanych kosztów inwestycyjnych.

Wejście

- Tabela w bazie danych z opisem agregatów odbiorców
- Plik szablonu konfiguracji danej JST **Konfigurator_JST.xlsx**

Działania

1. Do pliku szablonu **Konfigurator_JST.xlsx** dodawana jest tabela z agregatami odbiorców jako osobna zakładka
2. Łączenie typu budynków INNE w 1 agregat odbiorców
3. Sumowanie zapotrzebowania na CWU i CO
4. Przeliczenia zapotrzebowania dla budynku modelowego
5. Korekta liczby budynków i powierzchni
6. Zapisanie wyników agregacji odbiorców rozszerzonych o parametry modelu

Wyjście

- Plik Excel – konfigurator modelu PyZefir uzupełniony o dane budynkowe dla wybranej JST (**Konfigurator_JST.xlsx**)

Krok 6 (manualny, opcjonalny) – Ręczna modyfikacja parametrów modelu PyZefir

W tym kroku możliwa jest ręczna edycja wygenerowanej konfiguracji. Pozwala ona osiągnięcie wyższego stopnia odwzorowania oraz uwzględnienie dodatkowych ograniczeń dot. rozwoju budynków, paliw, emisji lub technologii. Przygotowany plik **Konfigurator_JST.xlsx** pozwala na zmianę wybranych parametrów oraz automatycznie przelicza i koryguje strukturę wejściową modelu. W pliku znajduje się słowniczek służący jako instrukcja jego wypełniania.

Wejście

- Plik Excel – konfigurator modelu PyZefir uzupełniony o dane budynkowe dla wybranej JST (**Konfigurator_JST.xlsx**)

Działania (manualnie)

- Opcjonalna ręczna modyfikacja udostępnionych do edycji parametrów modelu.

Wyjście

- Plik Excel – konfigurator modelu PyZefir uzupełniony o dane budynkowe dla wybranej JST oraz zmiany wprowadzone przez użytkownika (**Konfigurator_JST.xlsx**).

Etap II: Optymalizacja i postprocessing wykonywane przez narzędzie ZefirOptiFlow

Krok 7 – Parser danych

W tym kroku użytkownik uruchamia narzędzie ZefirOptiFlow za pomocą komendy `bash scripts/run_all.sh` . (Uruchomienie jest możliwe po uprzedniej konfiguracji ścieżki do katalogu, w którym znajduje się plik **Konfigurator_JST.xlsx oraz** po wejściu do katalogu, w którym zainstalowana jest paczka ZefirOptiFlow, patrz rozdział „Instalacja”.)

W tym kroku dane z pliku konfiguracyjnego **Konfigurator_JST.xlsx** są automatycznie przepisywane na format wejściowy programu optymalizacyjnego PyZefir. W wyniku powstają pliki wejściowe dla optymalizatora PyZefir.

Wejście

- Plik Excel – konfigurator modelu PyZefir uzupełniony o dane budynkowe dla wybranej JST oraz zmiany wprowadzone przez użytkownika (**Konfigurator_JST.xlsx**).

Działania

- Konwersja danych z pliku **Konfigurator_JST.xlsx** do formatu plików wejściowych programu optymalizacyjnego PyZefir.

Wyjście

- Zestaw plików wejściowych do programu optymalizacyjnego PyZefir (pliki ***.xlsx** i ***.csv**).

Krok 8 – Optymalizacja za pomocą programu PyZefir

W tym kroku wykonywane są automatycznie obliczenia optymalnego miksu energetycznego dla JST. Szerszy opis modelu optymalizacyjnego PyZefir znajduje się w załączniku Model optymalizacyjny PyZefir: Zarys opisu matematycznego. W wyniku powstają pliki z optymalnymi wartościami zmiennych oraz rocznymi wkładami do CAPEX-ów.

Wejście

- Zestaw plików wejściowych do programu optymalizacyjnego PyZefir (pliki ***.xlsx** i ***.csv**).

Działania

- Wyliczenie optymalnego miksu energetycznego dla JST: Rozwiązanie problemu optymalizacji liniowej z punktu widzenia centralnego planisty z funkcją celu będącą sumą wszystkich kosztów funkcjonowania systemu energetycznego JST (CAPEX, OPEX, koszty zmienne w tym koszty paliwa, emisji i prądu z KSE), zarówno na poziomie technologii miejskich (ciepłownictwo, duże OZE), jak i poszczególnych agregatów odbiorców.

Wyjście

- Pliki z optymalnymi wartościami zmiennych oraz rocznymi wkładami do CAPEX-ów (pliki ***.xlsx** i ***.csv**)

Krok 9 – Wstępne przetwarzanie wyników

W tym kroku automatycznie przetwarzane są dane wyjściowe z programu optymalizacyjnego Zefir na potrzeby stworzenia wizualizacji wyników. W wyniku działania programu Plotter korzystającego z biblioteki Zefir Analytics powstają pliki z danymi do wykresów oraz proste wykresy.

Wejście

- Pliki z optymalnymi wartościami zmiennych oraz rocznymi wkładami do CAPEX-ów (pliki ***.xlsx** i ***.csv**)

Działania

- Generowanie tabel (pliki Excel) z danymi wynikowymi na potrzeby wizualizacji.
- Generowanie prostych wykresów przeglądowo-diagnostycznych.

Wyjście

- Wykresy przeglądowo-diagnostyczne (pliki ***.png**) oraz dane źródłowe do wizualizacji (pliki ***.xlsx**)

Krok 10 – Generator raportu

W tym kroku automatycznie generowany jest interaktywny raport w postaci DHTML, który można oglądać w przeglądarce internetowej. Raport zawiera koszty w rozbiciu na różne kategorie (CAPEX/OPEX/koszty zmienne/energia elektryczna z KSE) i różne typy urządzeń, całoroczną generację w rozbiciu na typ energii (ciepło/energia elektryczna), oraz wizualizacje godzinowe punktów pracy urządzeń w rozbiciu na typ energii.

Wejście

- Dane źródłowe do wizualizacji (pliki ***.xlsx**)

Działania

- Wykresy są składane w raport w postaci DHTML.
    - Wykresy dla ciepła i energii elektrycznej:
        - Zapotrzebowanie w rozbiciu na typy budynków
        - Moc zainstalowana w źródłach lokalnych
        - Moc zainstalowana w źródłach centralnych
        - Całkowita roczna generacja źródeł lokalnych
        - Całkowita roczna generacja źródeł centralnych
    - Wykresy rocznego zużycia paliw
    - Wykresy rocznych emisji zanieczyszczeń
    - Wykresy godzinowe generacji – dla ciepła i energii elektrycznej, na poziomie centralnym i lokalnym, w stanie obecnym i docelowym
    - Wykresy kosztowe
        - całkowite koszty, w rozbiciu na kategorie
        - Koszty roczne w rozbiciu na kategorie
        - Roczne koszty CAPEX + OPEX + paliwo + emisja w rozbiciu na kategorie urządzeń
    - Wykresy frakcji poszczególnych koszyków dla poszczególnych typów budynków

Wyjście

- Interaktywny raport w postaci DHTML

Załączniki

- Przybliżenia i uproszczenia zastosowane w modelu optymalizacyjnym PyZefir używanym przez narzędzie ZefirLib dla Samorządów – Model optymalizacyjny PyZefir: Ograniczenia
- Instalacja i uruchamianie narzędzia DataFusion realizującego Etap I: Preprocessing – DataFusion: Instalacja, uruchamianie i obsługa interfejsu
- Instalacja i uruchamianie narzędzia ZefirOptiFlow realizującego Etap II: Optymalizacja i postprocessing – ZefirOptiFlow: Instalacja i uruchamianie
- Szczegółowy opis Kroku 3 – Inwentaryzacja wizualna: Inwentaryzacja wizualna
- Szczegółowy opis Kroku 8 – optymalizacja za pomocą modelu PyZefir: Model optymalizacyjny PyZefir: Zarys opisu matematycznego
- Schemat wizualny procesu

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Nauka dla Społeczeństwa II” nr projektu NdS-II/SN/0073/2023/01 kwota dofinansowania 1 500 000 zł całkowita wartość projektu 1 500 000 zł.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



NAUKA DLA
SPOŁECZEŃSTWA





DOFINANSOWANO ZE ŚRODKÓW BUDŻETU PAŃSTWA

NAUKA DLA SPOŁECZEŃSTWA II

ZefirLib - narzędzie „open-source" do planowania transformacji energetycznej

DOFINANSOWANIE **1 500 000 zł**
CAŁKOWITA WARTOŚĆ **1 500 000 zł**

DATA PODPISANIA UMOWY
LUTY 2024