

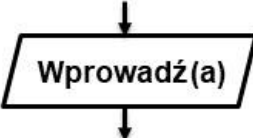
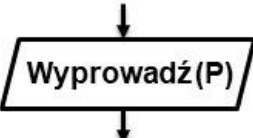
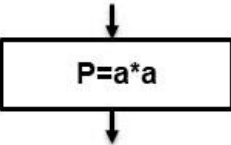
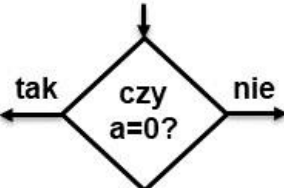
Odnawialne Źródła Energii, projekt

Dr inż. Tomasz Hałon

Tomasz.halon@pwr.edu.pl

D2, 9d

Przypomnienie zagadnień automatyki

Nazwa bloku	Reprezentacja graficzna	Opis
Początek algorytmu		Rozpoczęcie algorytmu, wychodzi z niego jedno połączenie. W schemacie występuje tylko raz.
Zakończenie algorytmu		Zakończenie algorytmu, wchodzi do niego jedno połączenie. Może występować wiele razy.
Wprowadzanie danych (blok wejścia)		Wprowadzanie danych, jedno połączenie wchodzące i jedno wychodzące. Schemat może zawierać wiele takich bloków.
Wyprowadzanie wyników (blok wyjścia)		Wyprowadzenie wyników, jedno połączenie wychodzące i jedno przychodzące. Schemat może zawierać wiele takich bloków.
Wykonywanie działań (blok operacyjny)		Wykonywanie operacji np. obliczeń, posiada jedno połączenie wychodzące i jedno przychodzące. W jednym bloku można wykonać kilka operacji. Schemat może zawierać wiele tego typu bloków.
Sprawdzanie warunków (blok decyzyjny lub warunkowy)		Podjęcie decyzji, sprawdzanie warunków. Posiada jedno połączenie przychodzące i dwa wychodzące: TAK gdy warunek jest spełniony i NIE gdy warunek nie jest spełniony. Schemat może posiadać wiele takich bloków
Łącznik		Łącznik stosujemy gdy schemat występuje w kilku częściach. Numer umieszczony w bloku powinien być taki sam na obu łączonych przez nas częściach.
Połączenie		Połączenie bloków. Linia prosta lub łamana zakończona strzałką. Może łączyć bloki oraz dochodzić do innych połączeń.

Możliwe konfiguracje

- **Brak magazynów:** tylko pompa ciepła i instalacja PV podłączone do sieci (nadwyżki energii oddawane do sieci, deficyty pokrywane z sieci). Sterowanie ogranicza się do decyzji, kiedy pompa ciepła ma pracować, by wykorzystać energię słoneczną.
- **Magazyn ciepła:** pompa ciepła z zasobnikiem ciepłej wody lub buforem wody grzewczej. Możliwość gromadzenia nadwyżek PV w postaci ciepła – np. dogrzanie wody w bojlerze lub podłogówki powyżej standardowej temperatury, co stanowi formę magazynowania energii bez pogorszenia komfortu. Również **inercja cieplna budynku może pełnić rolę magazynu**: podniesienie temperatury w pomieszczeniach o ok. 1°C w słonecznym okresie dnia jest praktycznie nieodczuwalne, a pozwala zmagazynować trochę energii w konstrukcji budynku
- **Magazyn energii elektrycznej** (bateria): system wyposażony w domowy magazyn energii elektrycznej. Nadwyżki z PV mogą zasilać baterię, a pompa ciepła może z niej korzystać gdy słońca nie ma. Zwiększa to elastyczność pracy – pompa ciepła może działać wieczorem czy w nocy na energii zgromadzonej w dzień.
- **Magazyny mieszane:** bufor ciepła i bateria. Maksymalna samodzielność – nadwyżka energii może być kierowana tam, gdzie jest najefektywniej wykorzystana (ciepło lub prąd). Przykład: w okresie letnim nadwyżka PV może ładować bojler z CWU do wyższej temperatury oraz zasilać klimatyzację (jeśli pompa ciepła działa w trybie chłodzenia), a resztę magazynować w baterii na wieczór.
- *Różne typy pomp ciepła i PV: powietrzna PC pracuje efektywniej w słoneczny dzień zimą, bo powietrze jest cieplejsze, a gruntowa ma bardziej stabilne źródło, co wpływa na strategię sterowania.*

Strategie sterowania

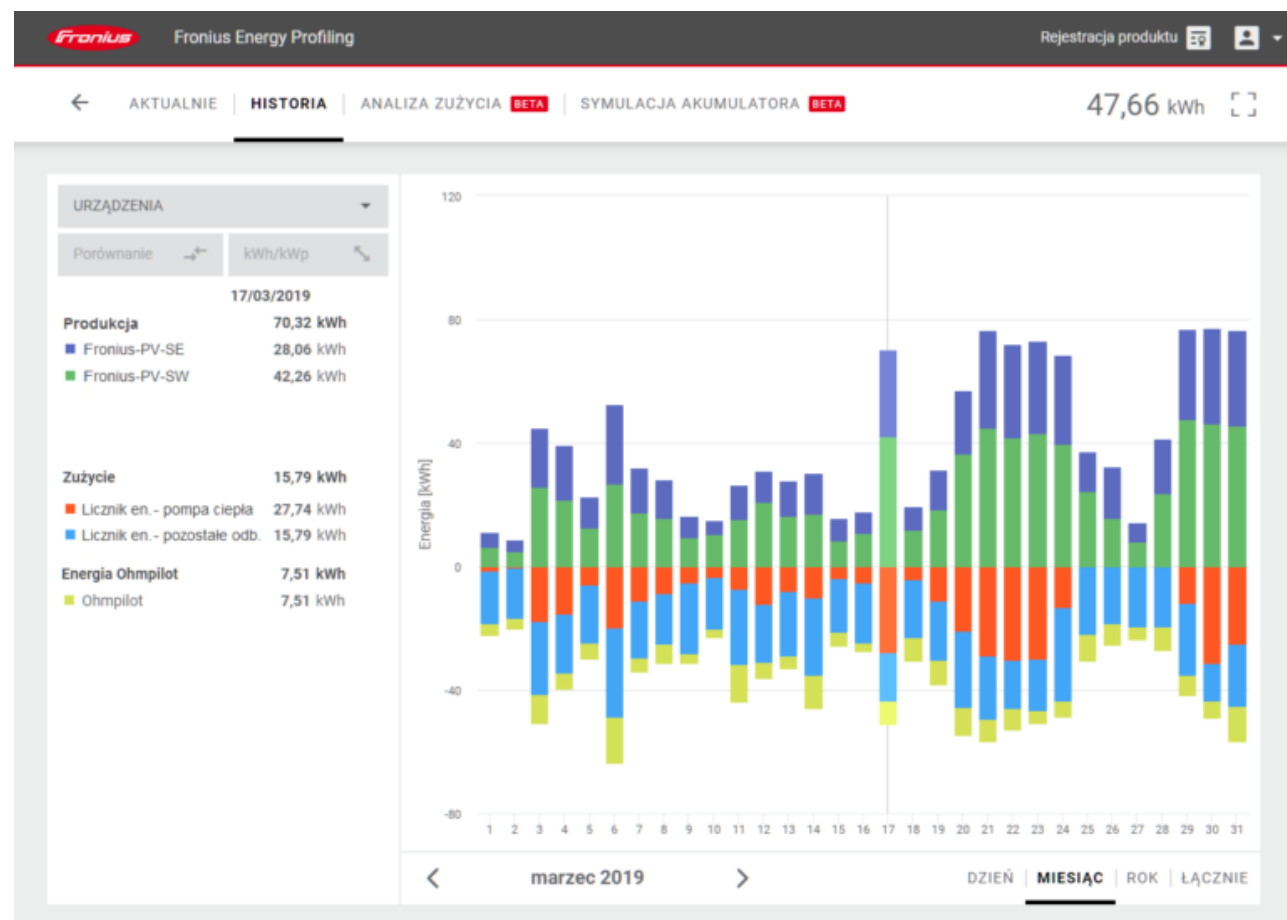
- **Cel sterowania:** Maksymalizacja zużycia własnej energii z PV (autokonsumpcja) przy jednoczesnym utrzymaniu komfortu termicznego i efektywnej pracy pompy ciepła.
- **Priorytety:**
- Pokrycie bieżących potrzeb cieplnych budynku przy użyciu dostępnej energii PV (gdy świeci słońce).
- Magazynowanie nadwyżek – jeśli PV produkuje więcej energii niż aktualnie zużywa pompa ciepła i inne urządzenia, to nadwyżkę kierujemy: najpierw do magazynu ciepła (np. dogrzanie wody, budynku) do dopuszczalnych limitów, a potem do magazynu elektrycznego (jeśli jest dostępny). Celem jest zminimalizowanie oddawania energii do sieci.
- Ograniczenie poboru z sieci – w miarę możliwości pompa ciepła powinna unikać pracy na drogiej energii z sieci w szczytowych godzinach wieczornych, jeśli wcześniej zmagazynowano ciepło lub energię z PV. (Wyjątek: gdy magazyny są puste, a jest potrzeba grzewcza – komfort ma wyższy priorytet, więc pompa i tak musi pracować).
- Bezpieczeństwo i żywotność – unikanie częstego włączania/wyłączania sprężarki (ograniczenie cykli pracy), przestrzeganie minimalnych czasów pracy i postoju, kontrola maksymalnych temperatur bufora (by nie przegrzać wody) oraz zapobieganie niepożądanemu uruchamianiu pompy w warunkach skrajnych (np. ogrzewanie domu przy 40°C na zewnątrz tylko dlatego, że jest nadwyżka PV)

Przykłady strategii 1/4

- **Tylko PV i pompa** (bez magazynów): Strategia główna to przesunięcie obciążenia (load shifting) – pompa ciepła powinna pracować maksymalnie w godzinach produkcji PV. Przykładowo: ogrzewanie domu zimą – zamiast załączać się dopiero nad ranem (gdy zimno, ale brak słońca), pompa może dogrzać dom po południu poprzedniego dnia, wykorzystując słońce, i pozwolić nieco spaść temperaturze w nocy. Latem przygotowanie ciepłej wody użytkowej może odbyć się w godzinach 10-15, gdy świeci słońce, zamiast np. o 6 rano.
- **PV + magazyn ciepła**: w słoneczne dni wykorzystać pompę ciepła do naładowania magazynu ciepła. Np. gdy czujnik wskazuje, że bojler CWU ma 45°C (minimalny wymagany), a jest nadprodukcja PV, to podnieść temperaturę w bojlerze do np. 55-60°C (bezpieczny maks) aby zmagazynować energię. Podobnie z buforem ogrzewania podłogowego – zwiększyć temperaturę w obiegu o kilka stopni (lub załączyć grzanie podłogi wcześniej niż zwykle). Warunek: nie przekraczać dopuszczalnych limitów i nie powodować dyskomfortu (zbyt ciepło w domu). Taka strategia znacząco zwiększa stopień wykorzystania własnej energii

Dygresja

Wiele nowych pomp ciepła posiada system Smart Grid Ready (SG Ready) - wejście sterujące umożliwiające przełączanie trybu pracy w reakcji na sygnał zewnętrzny (np. sygnał z falownika PV lub od operatora)



Przykłady strategii 2/4

- *PV + magazyn elektryczny:*
 - **Priorytet komfortu/ciepła:** Najpierw zabezpiecz potrzeby cieplne – uruchom pompę ciepła gdy jest słońce (lub z baterii wieczorem) tak, by dom był ciepły i woda gorąca. Dopiero nadwyżki ponad moc potrzebną pompie kieruj do ładowania baterii. Ten tryb zapewnia, że komfort cieplny nie cierpi i maksymalnie wykorzystujemy PV do ogrzewania, a **bateria ładuje się tylko z resztek**.
 - **Priorytet magazynu prądu:** Utrzymuj pracę pompy ciepła na minimalnym poziomie (tylko bieżące potrzeby), a całą wolną energię z PV najpierw ładuj do baterii, by móc ją wykorzystać później także do innych celów (oświetlenie, elektronika, itp.). Pompa ciepła może zostać uruchomiona z baterii po zachodzie słońca, jeśli magazyn zgromadził dość energii. Taka strategia może mieć sens, gdy bateria jest duża i uniwersalna, albo gdy zależy nam na zasilaniu innych urządzeń nocą. **Uwaga:** Trzeba tu świadomie zarządzać, by bateria nie rozładowała się całkowicie na ogrzewanie, zostawiając budynek bez ciepła nad ranem – stąd konieczność zabezpieczenia minimalnych poziomów na potrzeby grzewcze.

Przykłady strategii 3/4

- *PV + oba magazyny*: **Strategia hybrydowa** – najbardziej złożona logika, łącząca powyższe. Przykładowy priorytet: (a) zaspokój bieżące ogrzewanie/chłodzenie, (b) nadwyżki kieruj do ładowania magazynu ciepła, aż osiągnie maksimum (bojler/zbiornik), (c) pozostałe nadwyżki kieruj do baterii aż do pełna, (d) gdy oba magazyny pełne – ostatnią opcją jest oddanie energii do sieci. W sytuacji deficytu: najpierw wykorzystuj energię z baterii do zasilania pompy (o ile opłacalne), a gdy się wyczerpie lub w sytuacjach szczytowego zapotrzebowania – pobierz brakującą energię z sieci. Ta sekwencja minimalizuje import z sieci, ale wymaga zaawansowanego **systemu zarządzania energią** w domu, który monitoruje stany na bieżąco.

Przykłady strategii 4/4

- *Integracja z taryfami i sygnałami zewnętrznymi:* sterowanie może brać pod uwagę również **taryfy energetyczne** i sygnały z sieci (DSM – demand side management). SG Ready powstała z myślą o sterowaniu taryfowym przez operatora: pompa ciepła może być blokowana w szczycie drogiej energii lub włączana przy nadmiarze tańszej energii w systemie.
- W przyszłości możliwa jest automatyczna współpraca z dynamicznymi cenami energii (uruchamianie pompy przy niskich cenach godzinowych, wyłączanie przy wysokich).

Przykład

- Dom jednorodzinny, 5 kW PV na dachu, pompa ciepła powietrze-woda o mocy 7 kW z inwerterem (modulowana), ogrzewanie podłogowe + zbiornik CWU 300 L, brak baterii. Założenia: zimowy dzień słoneczny, zapotrzebowanie na ciepło ciągłe (utrzymanie 21°C w domu, CWU 55°C)

Przykład

- Wejścia (sensory, dane): moc bieżąca PV (z falownika lub licznika), kierunek przepływu mocy (import/eksport z sieci), temperatura wewnętrzna budynku, temperatura zasobnika CWU, ewentualnie prognoza pogody lub harmonogram taryf.
- Wyjścia: sygnał włączenia pompy ciepła lub zadana moc/tryb pracy, ewentualnie sygnały do zaworów (przełączenie ogrzewanie vs CWU), sygnał do grzałki elektrycznej (jeśli jest dodatkowa) lub do baterii.

Przykład

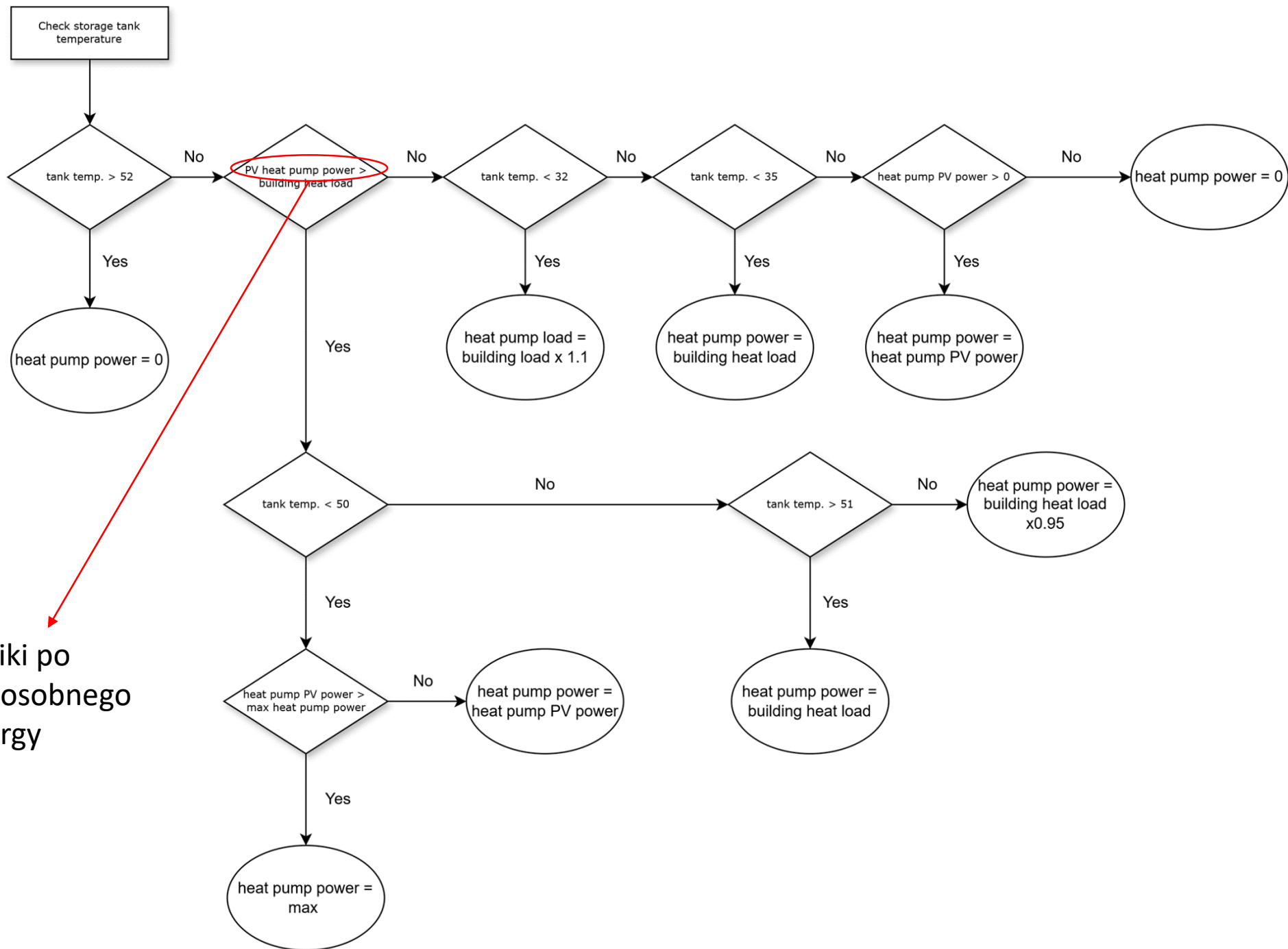
Logika:

- **Sprawdź bilans mocy:** jeśli $P_{PV} > P_{house}$ (nadwyżka mocy PV) i jednocześnie np. temperatura CWU $< max_zadana$, to załącz tryb podgrzewania CWU (podnieś temperaturę docelową CWU o $X^{\circ}C$ powyżej normalnej).
- **Else if** nadwyżka PV i CWU już ciepła, a temperatura w domu $<$ górny limit (np. $22^{\circ}C$), to podnieś nastawę ogrzewania podłogowego o $Y^{\circ}C$ (aby zmagazynować ciepło w budynku).
- **Else if** nie ma nadwyżki PV ($P_{PV} < P_{house}$) i jednocześnie nie jest to pora krytyczna dla komfortu, to można obniżyć lub wyłączyć pompę na chwilę (o ile temperatura w domu jest w akceptowalnym zakresie) – oszczędzając energię z sieci.
- **W przeciwnym wypadku** (brak nadwyżki, a trzeba grzać bo spada temperatura poniżej komfortu) – pompa ciepła pracuje normalnie, pobierając brakującą energię z sieci (lub z baterii, gdyby była).
- **Dodatkowe warunki:** histerezy czasowe (np. sygnał nadwyżki musi trwać min. 5 minut, by załączyć pompę – uniknie to włączania/wyłączania na każdą chmurę), zabezpieczenia (np. gdy osiągnięto $60^{\circ}C$ w bojlerze, nie grzej dalej; gdy w domu $22^{\circ}C$, nie przegrzewaj więcej).

Przykład

- **Wyjście** (działanie): w zależności od powyższych warunków – ustawienie pompy ciepła w odpowiedni tryb. W naszym przykładzie, w słoneczne południe: system wykrywa nadprodukcję 2 kW, kieruje ją do podgrzania CWU z 55°C do 60°C. Gdy bojler osiągnie 60°C, wciąż jest nadwyżka PV ~1 kW, więc sterownik podnosi o 1°C temperaturę zasilania podłogówki (aby magazynować ciepło w wylewce). Po 15:00 PV spada – sterownik przywraca standardowe nastawy (CWU 55°C, ogrzewanie 21°C) i pompa może się wyłączyć na pewien czas, korzystając ze zmagazynowanego ciepła. Wieczorem, gdy temperatura w domu zacznie spadać, pompa ciepła włączy się ponownie (nawet jeśli będzie to energia z sieci, jednak dzięki wcześniejszemu magazynowaniu będzie tego mniej).

Przykład



Wymaga istnienia logiki po stronie falownika lub osobnego kontrolera EMS – Energy Management System

Inne pytania

- Co w sytuacji, gdy pojawi się nagłe zapotrzebowanie na CWU wieczorem? (np. kąpiel) – czy algorytm to przewidział?
- Jak można by wykorzystać prognozę pogody w logice?
- Co jeśli instalacja PV jest mała i nigdy nie ma dużej nadwyżki?
- *Fail-safe*: co jeśli sterownik PV da sygnał ciągły “grzej” – czy pompa ma zabezpieczenie przed przegrzaniem? Co jeśli zabraknie komunikacji – czy pompa wraca do normalnego trybu? Takie scenariusze awaryjne trzeba przewidzieć.
- Proste sterowanie SG Ready może być niewystarczające w pewnych sytuacjach - daje tylko sygnał “włącz/wyłącz” bez inteligencji – np. może włączyć pompę ciepła przy nadwyżce nawet, gdy ciepło nie jest potrzebne, marnując energię – trzeba wziąć pod uwagę zapotrzebowanie.