

INFORMATYCZNY SYSTEM ZARZĄDZANIA BUDYNKIEM – OBSŁUGA PROCESU ŁADOWANIA AKUMULATORA POJAZDU ELEKTRYCZNEGO ORAZ OPTIMALIZACJA ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

1. ZAKRES PROJEKTOWANEGO SYSTEMU

Projektowany na potrzeby projektu Dom 2020 informatyczny system zarządzania (SIZ) prezentowanym budynkiem stanowi swoisty łącznik, umożliwiając kompleksowe zarządzanie instalacjami oraz odbiorami z poziomu jednego, intuicyjnego panelu dotykowego zainstalowanego w budynku.

W projektowaniu systemów informatycznych wyróżnia się dwa typy wymagań. Pierwszy, wymagania funkcjonalne, to zbiór funkcji jakie powinien spełniać powstały system. Funkcjonalności te, w większości określane są na podstawie analizy potrzeb użytkownika końcowego, jednakże pewna ich część wynika z zasad użytkowania systemu oraz bezpieczeństwa przechowywanych w nim danych. Drugi typ wymagań stanowią wymagania нефункционалне, inaczej zwane sprzętowymi. Definiują one parametry sprzętu, na którym będzie zainstalowany system.

Wśród głównych wymagań funkcjonalnych projektowanego SIZ odnoszących się do potrzeb użytkownika końcowego – mieszkańca budynku należą:

- zarządzanie wybranymi funkcjami zainstalowanych w budynku instalacji tj. rekuperator, zbiornik na deszczówkę, sterowanie chłodzeniem ogniw fotowoltaicznych za pomocą obiegu glikolu, zbiornik CWU, rolety czy kominek
- zarządzanie odbiorami, klasyfikującymi się jako odpowiednie do zdalnego zarządzania bez poczucia dyskomfortu u mieszkańców
- optymalizacja poziomu zużycia energii elektrycznej. Proces optymalizacji zużycia energii elektrycznej rozpoczyna się od zbierania danych dotyczących krzywej zapotrzebowania na energię mieszkańców budynku. Na podstawie zebranych danych, SIZ ustala średnie poziomy zużycia w dni powszednie, świąteczne oraz z uwzględnieniem pory roku. Porównanie otrzymanych krzywych z mocą otrzymywaną z zainstalowanych w budynku OZE pozwoli na wykrycie okresów szczytowego zapotrzebowania, które wymagają dodatkowego poboru energii elektrycznej z sieci. Sterowanie częścią odbiorów pozwoli na „złagodzenie” krzywej obciążeń tak, aby zminimalizować pobór energii z sieci. Natomiast w trakcie zbierania danych, przed wyznaczeniem krzywych średniego zapotrzebowania, możliwe jest ograniczanie zużycia energii elektrycznej za pomocą sterowania odbiorami oraz informowania mieszkańców o okresach, w których cena energii jest wysoka oraz niska
- komunikacja z „inteligentnym” licznikiem zainstalowanym w budynku
- monitorowanie podstawowych parametrów tj. temperatura i wilgotność powietrza, poziom tlenu węgla, dwutlenku węgla
- wykrywanie stanów awaryjnych
- obsługa procesu ładowania pojazdu elektrycznego
- zarządzanie monitoringiem otoczenia za pomocą kamer
- łączenie się z SIZ za pomocą Internetu (i połączenia szyfrowanego SSL) umożliwiające zarządzanie budynkiem z dowolnego miejsca
- „tryb wakacyjny” obejmujący sterowanie wybranymi instalacjami oraz oświetleniem podczas wyjazdu mieszkańców. Dodatkowo możliwość łączenia się z SIZ za pomocą Internetu gwarantuje monitoring (czujniki i kamery) budynku podczas nieobecności mieszkańców.

Wśród wymagań wynikających z zasad użytkowania systemu oraz bezpieczeństwa przechowywanych w nim danych wymienić można m.in.: inicjalizację (pierwsze

uruchomienie) systemu, procedury logowania obejmujące weryfikację haseł czy obsługę kont użytkowników.

W kolejnych podrozdziałach opisane zostaną funkcje realizowane przez system w ramach wymagań funkcjonalnych. Dla logicznego uporządkowania procesów, wymagania te zebrano w zbiory: inicjalizacja systemu, obsługa kont użytkownika, zarządzanie odbiorami, zarządzanie instalacjami, obsługa pojazdu elektrycznego oraz optymalizacja zużycia energii elektrycznej.

W końcowej części rozdziału zostaną zaprezentowane wymagania нефункционалне zalecane dla projektowanego systemu.

2. WYMAGANIA FUNKCJONALNE

Wymagania funkcjonalne, oprócz szczegółowego opisu, zilustrowane zostały za pomocą diagramów przypadków użycia oraz diagramów czynności wykonanych w notacji UML. Diagramy przypadków użycia [15] stosowane są do definiowania funkcjonalności analizowanego i projektowanego systemu jak również sposobów interakcji użytkownik – system. Innymi słowy, jest to graficzna prezentacja obejmująca przypadki użycia, aktorów oraz relacje występujące pomiędzy nimi. Pod pojęciem aktora należy rozumieć zestaw ról odgrywanych przez użytkowników końcowych projektowanego systemu w czasie wykonywania danego przypadku użycia. Jednakże aktorem może być nie tylko człowiek – użytkownik systemu, lecz również odbiór czy czas, np. określony dzień miesiąca. Diagram czynności [15] koncentruje się natomiast na dynamicznym aspekcie systemu, ilustrując sekwencję czynności i akcji oraz przepływy sterowania i danych realizowanych w procesach systemowych. Przepływy mogą mieć charakter sekwencyjny lub współbieżny. Diagramy czynności prezentują scenariusze przypadków użycia za pomocą sekwencji warunków – pętli, które mogą prowadzić do wykonania różnych zestawów akcji w zależności od otrzymanych danych wejściowych. Połączenie tych dwóch rodzajów diagramów umożliwi dokładne zrozumienie projektowanych procesów.

Należy równocześnie pamiętać, iż czytelność prezentowanych diagramów wymusza pominięcie części mniej istotnych funkcji, które zostały jednakże ujęte w opisie. Na przykład, większość wykonywanych czynności może być w każdej chwili anulowana przez użytkownika. Umieszczenie pytania „Czy anulowano?” po każdej akcji w diagramie czynności znacznie zmniejszyłoby jego czytelność.

Wybrane fragmenty procesów zostały dodatkowo opatrzone projektem interfejsu graficznego¹.

2.1. OBSŁUGA POJAZDU ELEKTRYCZNEGO

Pomimo iż pojazdy elektryczne w Polsce nie są jeszcze upowszechnione, koncepcja projektu Dom 2020 zakłada wprowadzenie do budynku nowoczesnych technologii oczekiwanych w przyszłości. Z tego powodu projektowany system informatyczny obejmuje w swojej funkcjonalności obsługę pojazdów elektrycznych.

Proces ładowania pojazdu elektrycznego wymaga wykorzystania urządzenia zasilającego, konektora oraz przewodu elektrycznego a czas ładowania oraz ilość energii potrzebnej do naładowania baterii są uzależnione od:

- pojemności baterii,
- poziomu naładowania baterii,
- wydajności baterii,
- wydajności ładowarki,

– średniej liczby przejeżdżanych w ciągu dnia kilometrów [20].

Wyróżnia się kilka trybów ładowania pojazdów elektrycznych: domowy, publiczny i szybki / ultra-szybki. Projektowana funkcjonalność systemu odnosi się do pierwszej ze wskazanych kategorii wyróżniającej się następującymi regułami [21]:

- parametry zasilania: jedna faza, prąd zmienny, 110/220 V_{rms} i 50/60 Hz,
- pojazd jest ładowany z reguły przez całą noc,
- metoda wydajna, proces ładowania odbywa się w okresie niskiego zapotrzebowania na energię elektryczną,
- stacja do ładowania umieszczona w garażu, przed domem lub wmontowana w ścianę budynku.

Baterie pojazdów elektrycznych mogą być postrzegane jako urządzenia magazynujące nadwyżki wyprodukowanej energii. Technologia Vehicle-to-grid (V2G) uznawana jest za jedną z kluczowych technologii integrujących odnawialne źródła energii w sieciach inteligentnych [22]. Pojazdy elektryczne są zaparkowane średnio przez 92% czasu w ciągu dnia. Ta dostępność czyni je pożądanymi urządzeniami magazynującymi. Idea V2G polega na wykorzystaniu akumulatorów pojazdów elektrycznych jako urządzeń magazynujących energię elektryczną i wykorzystanie jej w okresach niedoboru. Koncepcja V2G wymaga implementacji systemu agregującego szereg pojazdów elektrycznych, ponieważ korzyść z zastosowania pojedynczego pojazdu jako magazynu energii jest mniejsza niż z zastosowania zespołu pojazdów. Pociąga to za sobą wprowadzenie technologii ICT w postaci: inteligentnych liczników, oprogramowania, interfejsów czy aplikacji przeznaczonych dla użytkownika końcowego.

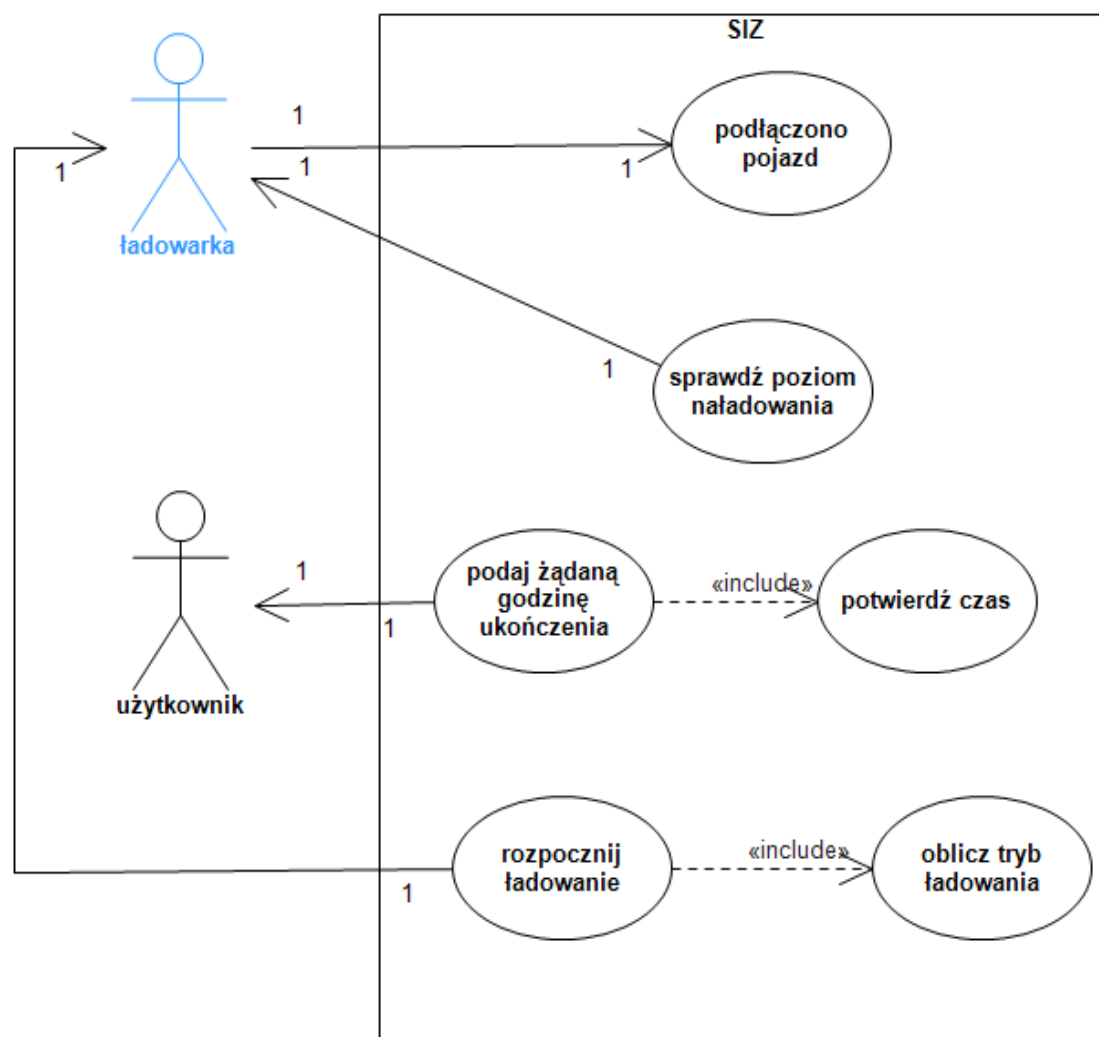
Zastosowanie koncepcji V2G w pojedynczym gospodarstwie domowym dla celów omawianego projektu wymaga dokonania pewnych uproszczeń. Nie zakłada się bowiem agregacji szeregu pojazdów lecz wykorzystanie akumulatora pojazdu jako alternatywne źródło energii dla pojedynczego gospodarstwa domowego.

SIZ obejmuje zatem dwa aspekty obsługi pojazdu elektrycznego: ładowanie akumulatora oraz proces kontrolowanego rozładowywania go wykorzystujący technologię V2G.

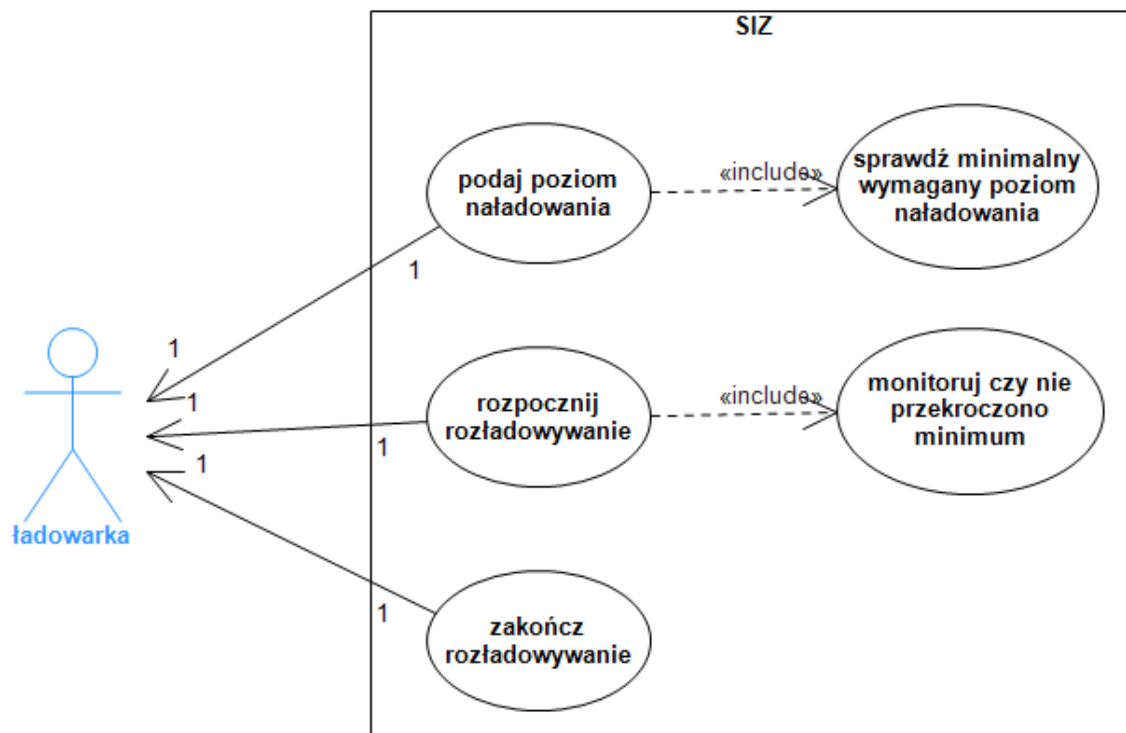
Z chwilą podłączenia pojazdu do urządzenia ładującego do SIZ przesyłane są informacje dotyczące: aktualnego poziomu naładowania oraz wskazanej przez użytkownika godziny, o której chce ponownie skorzystać z pojazdu. Na podstawie informacji o aktualnym poziomie naładowania system oszacowuje ile czasu wymaga pełne naładowanie baterii. Wyznaczona godzina zakończenia procesu ładowania służy natomiast do ustalenia jego trybu: w przypadku gdy pojazd zostanie naładowany szybciej niż wskazał użytkownik, możliwe jest przesunięcie procesu ładowania na godziny o mniejszym zapotrzebowaniu na energię elektryczną tak, by uniknąć pobierania energii z sieci i wykorzystać energię wytworzoną z zainstalowanych w budynku OZE. Gdy wskazanego „luzu” czasowego nie ma, proces ładowania musi rozpocząć się natychmiast.

Korzystanie z zasobów akumulatora w przypadku niedoboru energii elektrycznej również rozpoczyna się od podłączenia pojazdu do urządzenia ładującego. System oszacowuje zdolność akumulatora pojazdu do zasilenia domowej sieci na podstawie danych o aktualnym i dopuszczalnym minimalnym poziomie naładowania. Jeżeli aktualny poziom naładowania przewyższa dopuszczalne minimum rozładowywanie może być rozpoczęte. Proces ten jest monitorowany i zostaje zakończony z chwilą osiągnięcia punktu granicznego.

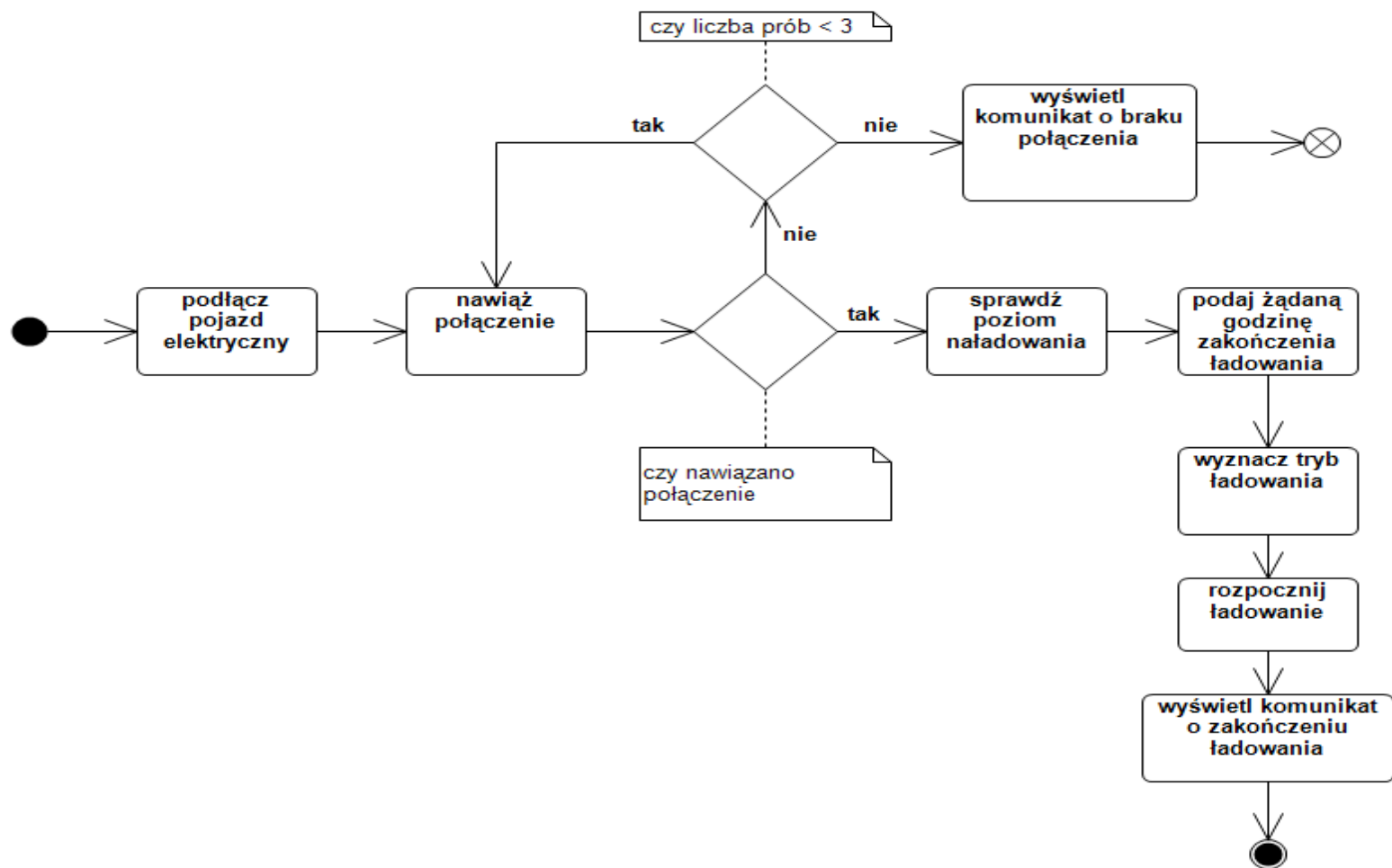
Opisane funkcje zostały zilustrowane na czterech poniższych diagramach (Rysunki numer 1, 2, 3, 4) oraz interfejsie graficznym (Rysunek numer 5).



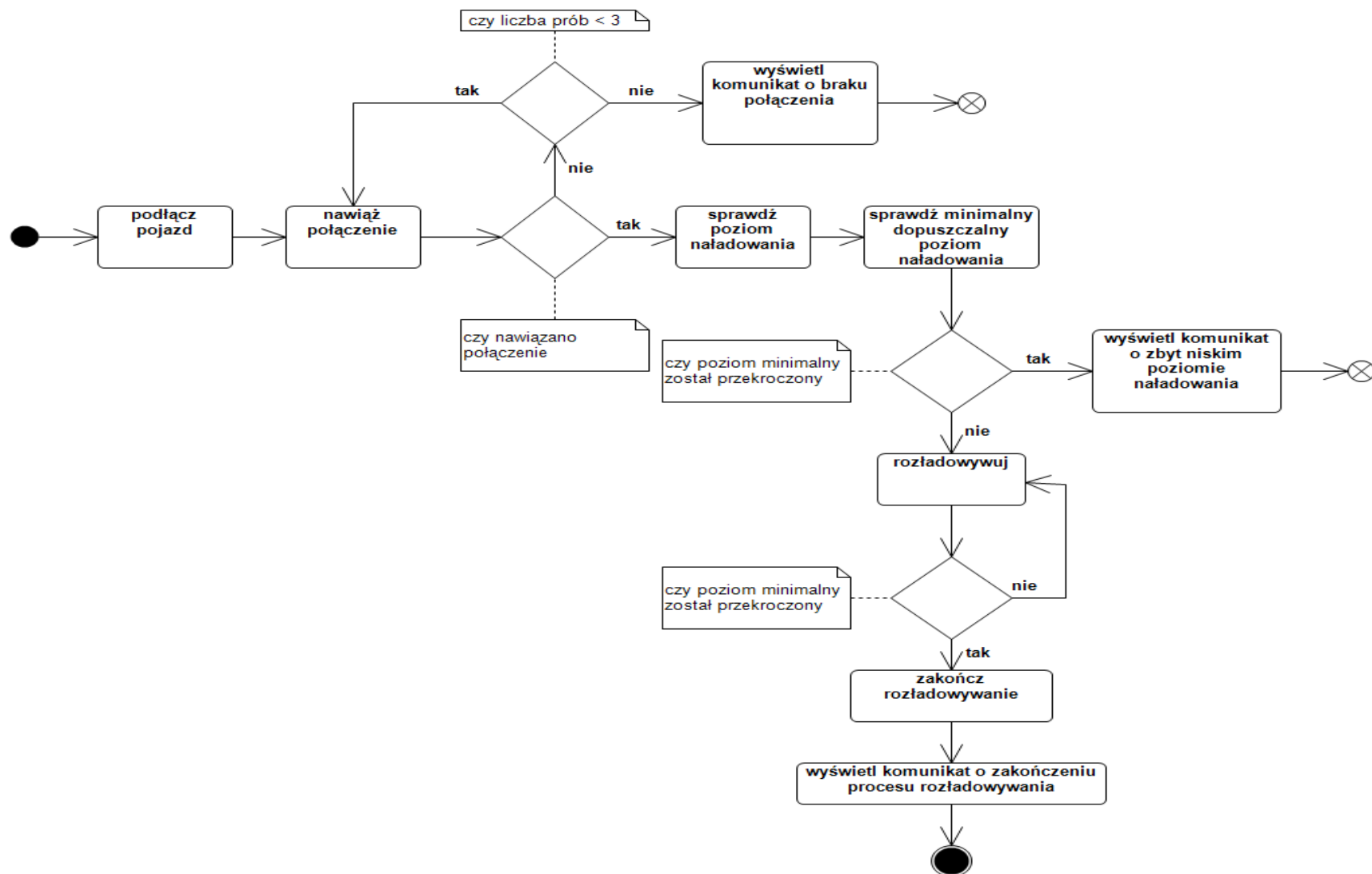
Rysunek numer 1. Diagram przypadków użycia – sterowanie procesem ładowania akumulatora pojazdu elektrycznego.
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek numer 2. Diagram przypadków użycia – sterowanie procesem rozładowywania akumulatora pojazdu elektrycznego (V2G).
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek numer 3. Diagram czynności – sterowanie procesem ładowania akumulatora pojazdu elektrycznego.
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek numer 4. Diagram czynności – sterowanie procesem rozładowywania akumulatora pojazdu elektrycznego (V2G).
 Źródło: opracowanie własne.



Rysunek numer 5. Diagram czynności – sterowanie procesem ładowania akumulatora pojazdu elektrycznego.
Źródło: opracowanie własne.

2.2. OPTIMALIZACJA ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Zagadnienie optymalizacji zużycia energii elektrycznej ma na celu dążenie do zaspokajania popytu mieszkańców na energię za pomocą źródeł OZE zainstalowanych w budynku przy jednoczesnej minimalizacji poboru energii z sieci. U źródła procesu leży założenie wspomniane w podrozdziale dotyczącym zarządzania odbiorami stwierdzające, iż część odbiorów może być zdalnie sterowana w określonym zakresie bez wywołania poczucia dyskomfortu u mieszkańców. Z tego powodu proces optymalizacji rozpoczyna się już pośrednio na etapie budowy harmonogramu kiedy system próbuje tak ustalić plan uruchomień aby został on w jak największej części pokryty za pomocą energii wytworzonej z OZE przy jednoczesnym zachowaniu ram czasowych wskazanych przez użytkownika.

Jednakże zasadnicza optymalizacja przeprowadzana jest na podstawie danych historycznych dotyczących zużycia energii elektrycznej w ciągu doby / miesiąca. Proces rozpoczyna się od zbierania danych o poborze energii elektrycznej z licznika „inteligentnego”. Dodatkowo gromadzone są dane o uruchomieniach odbiorów zarządzanym przez SIZ tj. pralka, zmywarka, suszarka do ubrań. Na podstawie danych pochodzących z licznika każdego dnia rysowane są krzywe dobowego zużycia energii a raz na miesiąc

również miesięczne. Wykorzystywane one są do sporządzania bieżących raportów dla użytkownika oraz do wyznaczenia tzw. profilu zużycia energii, czyli do sporządzenia krzywej średniego dobowego / miesięcznego zapotrzebowania na energię.

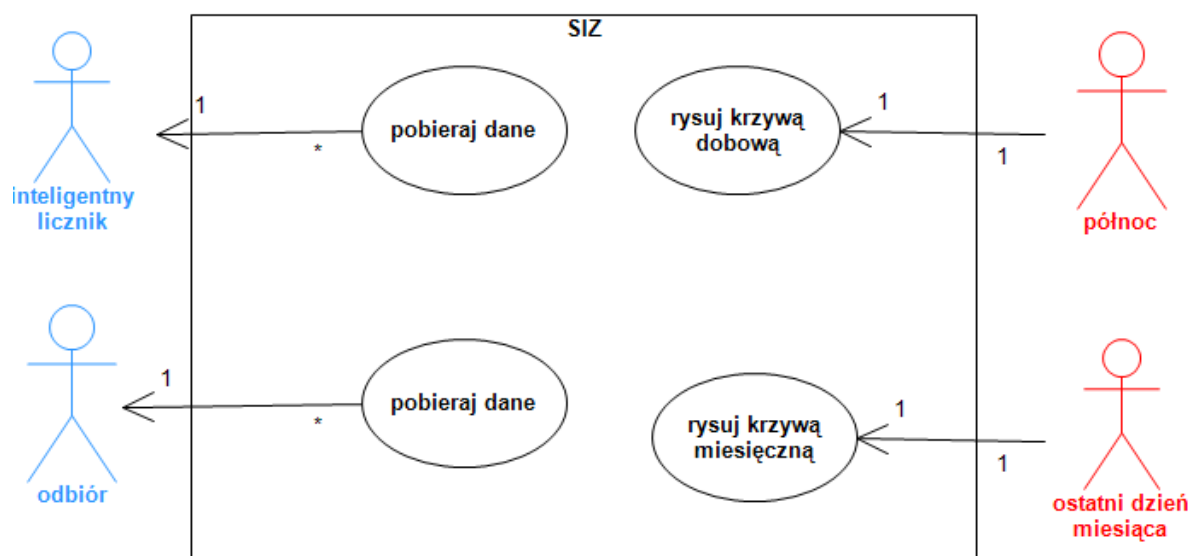
Drugi typ pobieranych danych to informacje o mocy wytwórczej OZE w danym momencie doby. Zainstalowane w budynku odnawialne źródła tj. kominek opalany peletem, turbina wiatrowa czy ogniwo fotowoltaiczne cechują się bowiem niestabilnym trybem pracy uwarunkowanym dostępnością paliwa typu pelet, nasłonecznieniem czy siłą wiatru w danym momencie.

W celu dbania o poczucie komfortu u użytkownika, które mogłoby zostać naruszone w przypadku podejmowania autonomicznych decyzji przez SIZ dotyczących sterowania zużyciem energii, proces optymalizacji przyjmuje charakter raportu oraz wskazań, do których użytkownik może się zastosować bądź też nie.

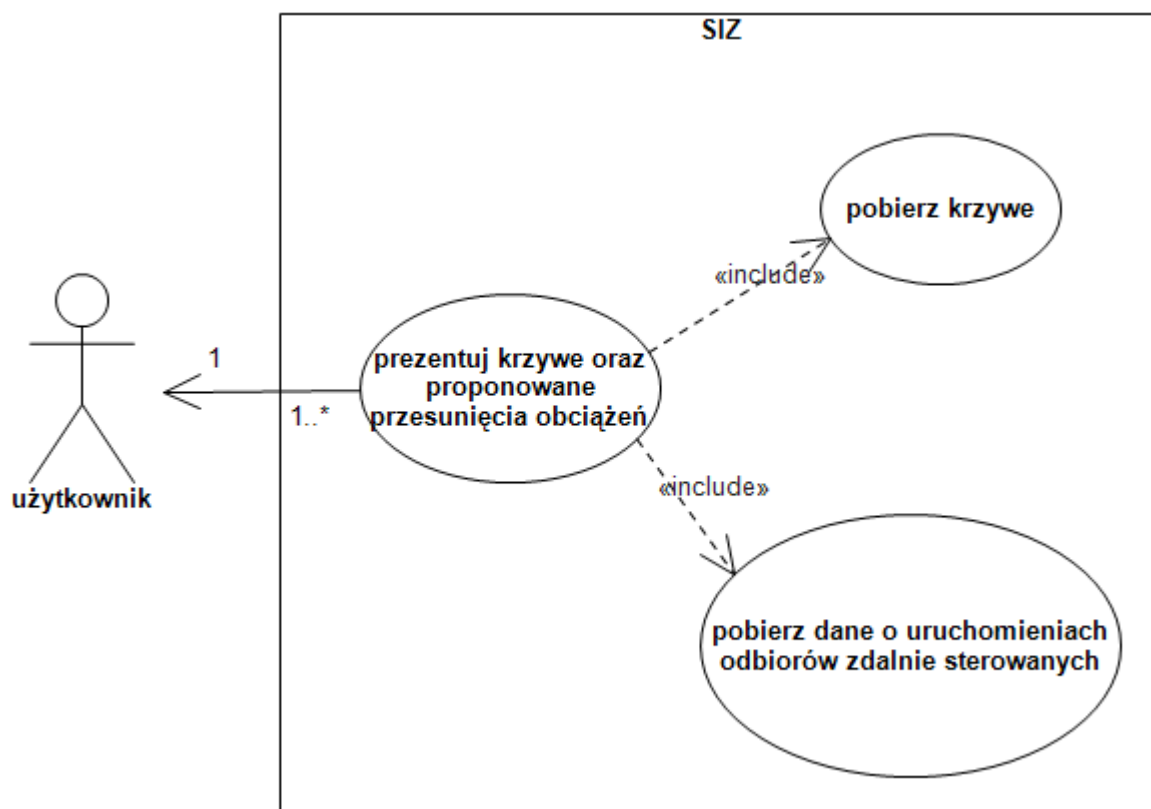
Dane dotyczące zużycia energii w ciągu doby porównywane są z danymi o mocach wytwórczych OZE, co pozwala na wskazanie nadwyżek oraz niedoborów energii. W przypadku gdy system wykryje niedobór, który wymagał dodatkowego poboru energii z sieci, dokona analizy czy w okresie tym były uruchamiane odbiory zarządzane przez niego. Jeżeli tak, wskaże on możliwości przesunąć tak, aby odbiory te (cechujące się z reguły znacznym poborem energii) były uruchamiane w okresach o zapotrzebowaniu niżowym. Podobna analiza wykonywana jest w skali miesiąca.

Zaprezentowane wyniki analizy optymalizacyjnej mają charakter informacyjny. Użytkownik otrzymuje wskazania, w jaki sposób może zminimalizować pobór energii elektrycznej z sieci. Różnorodne czynniki mogą jednak determinować u użytkownika przedkładanie aktualnego profilu zużycia energii nad możliwości jej oszczędzania, np. częste wykonywanie prania z powodu posiadania małych dzieci, odwiedziny gości, długie godziny pracy itp. Wymuszenie przez SIZ przesunąć pracy odbiorów jest w takiej sytuacji wysoce niepożądane, co uzasadnia przyjęte rozwiązanie.

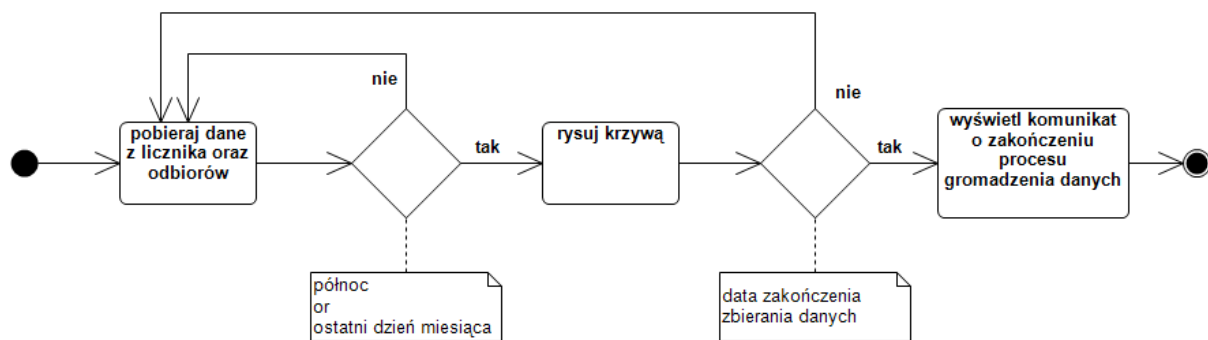
Przebieg procesu optymalizacyjnego obejmujący dwa etapy: gromadzenia danych oraz ich analizy został przedstawiony na poniższych rysunkach (Rysunki numer 6, 7, 8, i 9) oraz na trzech interfejsach graficznych (Rysunki numer 10, 11 i 12).



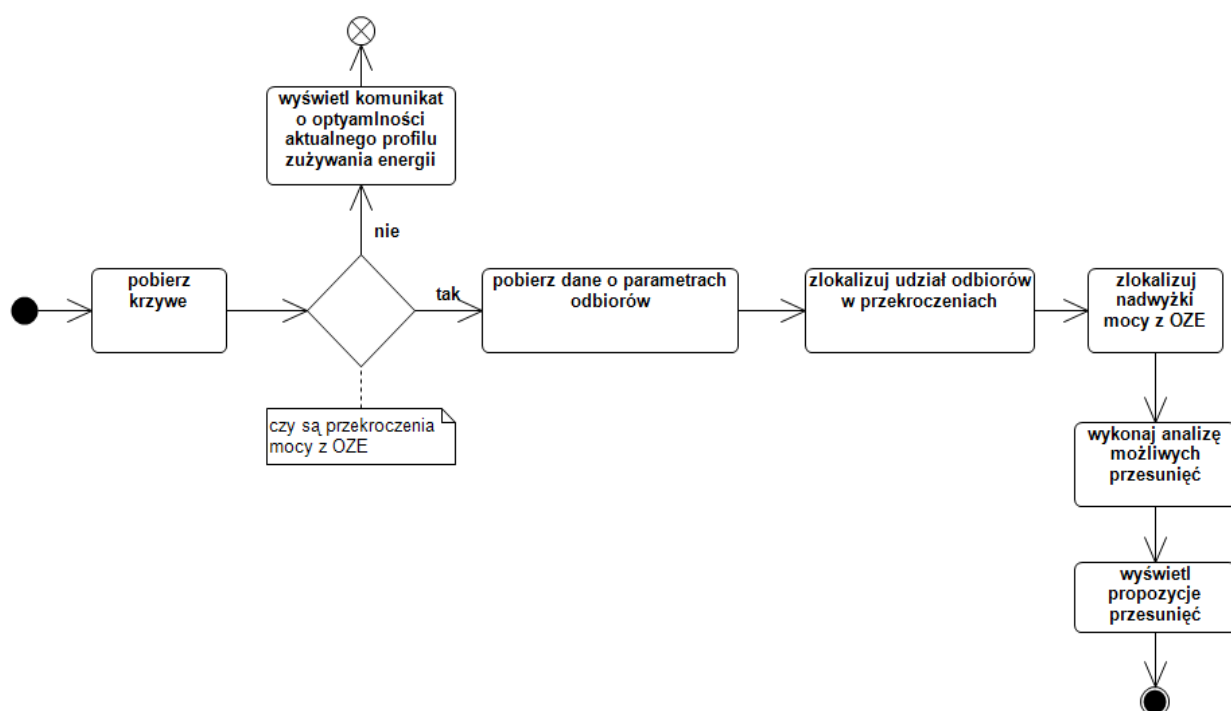
Rysunek numer 6. Diagram przypadków użycia – gromadzenie danych o dobowym / miesięcznym zapotrzebowaniu na energię elektryczną.
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek numer 7. Diagram przypadków użycia – analiza optymalizacyjna.
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek numer 8. Diagram czynności – gromadzenie danych o dobowym / miesięcznym zapotrzebowaniu na energię elektryczną.
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek numer 9. Diagram czynności – analiza optymalizacyjna.
Źródło: opracowanie własne



Rysunek numer 10. Interfejs graficzny – raport dobowy.
Źródło: opracowanie własne



Rysunek numer 11. Interfejs graficzny – raport miesięczny.
Źródło: opracowanie własne



Rysunek numer 12. Interfejs graficzny – raport optymalizacyjny.
Źródło: opracowanie własne

LITERATURA

1. Lugaric L., Krajcar S., Simic Z., "Smart City - Platform for Emergent Phenomena Power System Testbed Simulator", IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11-13, 2010, 2048017
2. Raport Komisji Europejskiej, „ICT for a Low Carbon Economy. Smart Buildings.”, Bruksela, lipiec 2009
3. Rekomendacje Komisji Wspólnot Europejskich „Commission Recommendation of 9.10.2009 on mobilising Information and Communications Technologies to facilitate the transition to an energy-efficient, low-carbon economy”, Bruksela, październik, 2009
4. Raport Komisji Europejskiej „Impacts of Information and Communication Technologies of Energy Efficiency”, Bruksela, wrzesień 2008
5. "Demand Response as a resource for the adequacy and operational reliability of the power systems. Explanatory Note". ETSO, 2007.
6. "Demand Side Response in the National Electricity Market. Case Studies." Energy Users Association of Australia.
7. "Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them." US Departament of Energy
8. Nieuwenhout F., "Flexible electricity grids", Report of Work Package 1, EOS-LT project FLEXIBEL.
9. "Enhancement of Demand Response. FINAL STATUS REPORT", Nordel Demand Response Group, 2006
10. Goldberg M., "Measure Twice, Cut Once", IEEE Power & energy magazine, May/june 2010
11. Brooks A., Lu E., Reicher D., Spirakis Ch., Weihs B., "Demand Dispatch", IEEE Power & energy magazine, May/june 2010
12. Opracowanie modelu stosowania mechanizmów DSR na rynku energii w Polsce, wykonane na zlecenie PSE Operator S.A., Konstancin-Jeziorna 2009
13. Lui T.J., Stirling W., Marcy H.O., "Get smart", IEEE Power & energy magazine, May/june 2010
14. "SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age.", The Climate Group, 2008
15. Wrycza St., Marcinkowski B., Wyrzykowski K., „Język UML 2.0 w modelowaniu systemów informatycznych”, wydawnictwo Helion, 2005
16. Jabłońska M.R., "Rola informatyki w budownictwie energooszczędnym", publikacja powstała w ramach projektu "Bioenergia dla Regionu - Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów", www.bioenergiadlaregionu.eu, Łódź 2011
17. Jabłońska M.R., Zieliński J.S. "Electric vehicles' influence on smart grids", "Aktualne problemy w elektroenergetyce 2011", tom II, Jurata 08-10.06.2011
18. Jabłońska M.R., "Aktualne trendy w badaniach nad reakcją strony popytowej oraz możliwości ich implementacji w warunkach krajowych", Rynek Energii 3(94)/2011, wydawnictwo KAPRINT, Lublin 2011
19. Jabłońska M.R., Adrian Ł., Janicki M., Klimek A., Pawlak J., Tkacz E., Znajdek K., "Dom 2020 - projekt niezależnego energetycznie, inteligentnego domu energooszczędnego", współautorzy: „Dolnośląski Dom Energooszczędny”, Wrocław 2011
20. Turker H., Bacha S., Chatroux D.: Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs) on the French Electric Grid. SG 2048068

21. Aggeler D., Canales F., Zelaya H., Coccia A., Butcher N., Apeldoorn O.: Ultra-Fast DC-Charge Infrastructures for EV-Mobility and Future Smart Grids SG 2006809
22. ICT for Breakthrough Industry Transformation. ICT for a Low Carbon Economy Smart Electricity Distribution Networks. European Commission Information Society and Media, July 2009, 36-39.

ⁱ Opracowanie interfejsów: Marta R. Jabłońska, Jakub Kusztełak