

AIS RW.E2

Analityczny model zarządzania i monitorowania (AIS.AM)

Dotyczy produktu: AIS.AM Analityczny model zarządzania energią i monitorowania

2020.06.26

© 2019 Instytut Nauki i Techniki Stipendium. All rights reserved.

Spis treści

1. Wstęp	3
1.1. Schemat ideowy rozwiązań	4
2. Problematyka monitorowania oraz zarządzania	6
2.1. Monitorowanie i agregowanie danych	8
2.1.1. Komunikacja (transmisja danych).....	8
2.1.2. Założenia monitorowania systemu	12
2.1.3. Algorytmy monitorowania	12
2.2. Cechy protokołów komunikacji	13
2.3. Zasady harmonogramowania i blokowania transmisji danych.....	13
2.4. Zarządzanie i sterowanie	14
2.4.1. Założenia zarządzania i sterowania systemem.....	14
2.4.2. Konstrukcja sterownika oraz oprogramowania sterującego:	14
2.4.3. Zarządzanie energią.....	15
2.4.4. Sterowanie komponentami systemu	17
2.4.5. Algorytmy systemu zarządzania i sterowania	18
3. Badania i wymagania modelu na bazie przejścia dla pieszych.....	19
3.1. Wymagania dla systemu oraz sterownika AIS.	19
3.2. Założenia dla architektury sterownika.....	22
3.3. Priorytetyzacja i wagi parametrów	22



Fundusze Europejskie
Program Regionalny



Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



3.4.	Inteligentne Systemy Transportowe.....	24
3.4.1.	Systemy sterowania ruchem	25
3.5.	Meteorologia drogowa a bezpieczeństwo ruchu	26
3.5.1.	Wpływ zjawisk pogodowych na bezpieczeństwo ruchu	27
3.5.2.	Klasyfikacja regionalnych kompleksów pogodowych a bezpieczeństwo ruchu drogowego	28
3.6.	Systemy drogowej informacji pogodowej RWIS (ang. Road Weather Information System)	30
3.6.1.	Systemy meteorologii drogowej o zasięgu lokalnym	31
3.6.2.	Systemy meteorologii drogowej o zasięgu regionalnym.....	33
3.7.	Inteligentne przejście dla pieszych – podstawowe wymagania	35
4.	Analiza algorytmów.....	36
4.1.	Zasada optymalizacji algorytmów	36
4.2.	Klasyfikacja procesu prognozowania ze względu na różne kryteria	37
4.2.1.	Ziarnistość danych	37
4.2.2.	Rozmiar badanego systemu	37
4.2.3.	Horyzont czasowy prognozy.....	37
4.2.4.	Metody i algorytmy predykcji.....	38
4.3.	Metody i algorytmy wykorzystywane w prognozowaniu	38
4.3.1.	Metody naiwne	38
4.3.2.	Modele autoregresji i średniej ruchomej	38
4.3.3.	Warunkowe modele heteroskedastyczne	39
4.3.4.	Modele wygładzania wykładniczego	39
4.3.5.	Modele regresyjne	39
4.3.6.	Teoria chaosu deterministycznego.....	40
4.3.7.	Sztuczne sieci neuronowe	40
4.3.8.	Drzewa regresyjne.....	40
4.3.9.	Logika rozmyta	40
4.3.10.	Regresja wektorów nośnych	41
5.	Uniwersalność sterownika	41
6.	Podsumowanie.....	42
7.	Bibliografia	42
8.	Załączniki.....	44

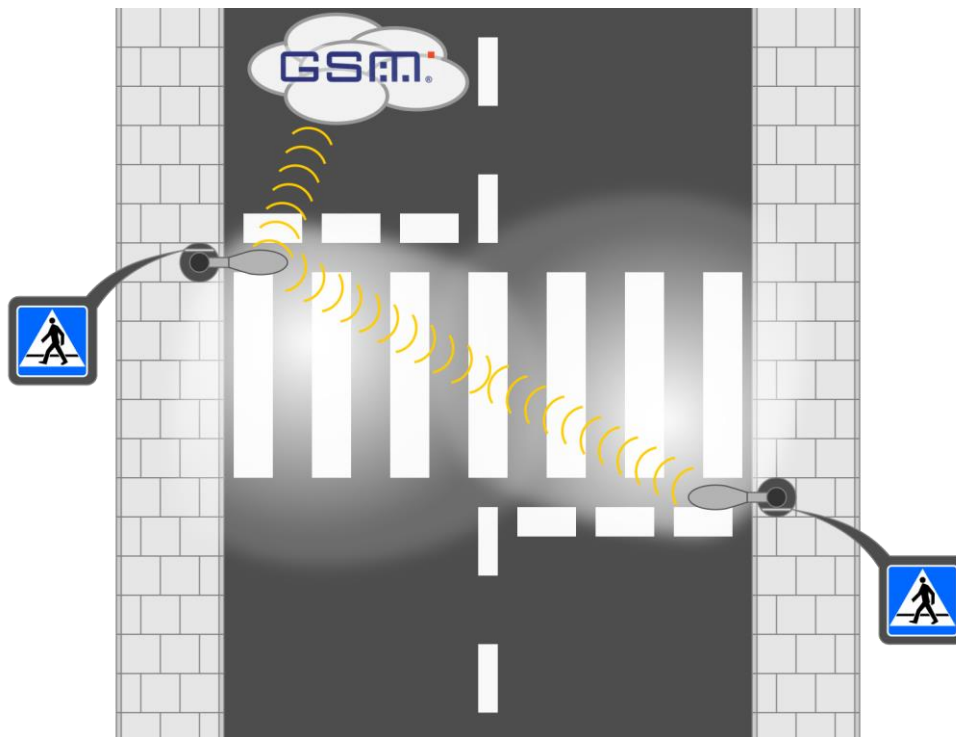
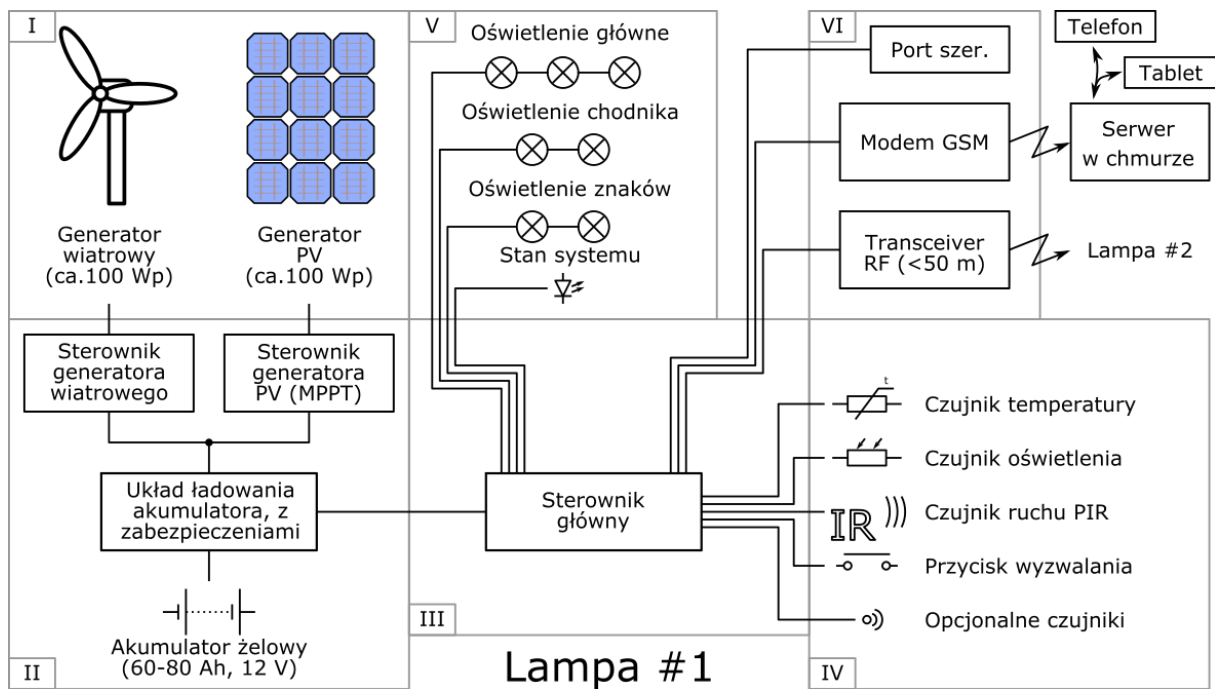
1. Wstęp

Niniejszy dokument stanowi analityczny model zarządzania energią i monitorowania. Istotą zagadnienia technologicznego analitycznego modelu jest zbudowanie fundamentalnych rozwiązań architektonicznych i algorytmów obliczeniowych na potrzeby sterowania działaniem systemu AIS oraz skutecznego i wiarygodnego jego monitorowania.

Projekt zakłada badania w zakresie:

- inteligentnego systemu sterowania zapewniającego najwyższy możliwy poziom bezpieczeństwa przy jednoczesnym najbardziej efektywnym wykorzystaniu zapasów energii,
- efektywnej energetycznie konstrukcji zespołu elementów składowych całego ekosystemu,
- wydajnego i niezawodnego systemu transmisji danych uwzględniającego ograniczone zasoby energetyczne dostępne dla systemu sterowania.
- Analityczny model projektowany jest z uwzględnieniem:
- charakterystyki procesów generowania energii w ogniwach fotowoltaicznych oraz prądnicy wiatrowej,
- charakterystyki oraz modelu monitorowania warunków pogodowych,
- specyfiki oraz charakterystyki energetycznej zastosowanego procesora układowego odpowiedzialnego za sterowanie oraz innych komponentów składających się na Autonomiczny sterownik inteligentnego przejścia drogowego,
- specyfiki algorytmów, a w szczególności ich parametry wejściowe, wrażliwość obliczeniową, poziom złożoności obliczeniowej,
- wyjściowych założeń technicznych i technologicznych przyjęte dla infrastruktury przejścia, w tym dla urządzeń generujących energię wiatrową i słoneczną, elementów oświetleniowych i konstrukcyjnych.

1.1. Schemat ideowy rozwiązania



Legenda (opis komponentów ABI tworzących infrastrukturę przejścia dla pieszych):

- I. Układ pozyskiwania energii
 - a. Generator wiatrowy (szacowana moc generatora: 100 Wp)
 - b. Generator fotowoltaiczny PV (szacowana moc generatora: 100 Wp)
- II. Układ zasilania
 - a. Sterownik WMCT generatora wiatrowego
 - b. Sterownik MPPT generatora PV
 - c. Układ ładowania akumulatora z zabezpieczeniami (przeładowanie, głębokie rozładowanie)
 - d. Akumulator żelowy (szacowane parametry akumulatora: 60-80 Ah @ 12 V)
- III. Sterownik główny (zużycie energii < 5 W)
 - a. Sterowanie sekcjami oświetlenia głównego przejścia dla pieszych
 - b. Sterowanie oświetleniem chodnika
 - c. Sterowanie oświetleniem znaków D-6 i A-16
 - d. Sterowanie natężeniem oświetlenia (0–100%)
 - e. Pomiar pozyskanej energii (moc, prąd, napięcie)
 - f. Pomiar zużytej energii
 - g. Odbieranie i przetwarzanie sygnałów z czujników
 - h. Zegar czasu rzeczywistego/zegar astronomiczny
 - i. Komunikacja z drugą latarnią (Lampa #2)
 - j. Komunikacja z serwerem (modem GSM)
- IV. Czujniki
 - a. Czujnik ruchu PIR
 - b. Czujnik oświetlenia
 - c. Czujnik temperatury
 - d. Przycisk wyzwalania
 - e. Czujniki opcjonalne
 - i. Detektor pojazdów/osób
 - ii. Stacja klimatyczna (pomiar opadów, ciśnienia, nasłonecznienia, prędkości wiatru, etc.)
- V. Oświetlenie
 - a. Oświetlenie głównego przejścia dla pieszych, sekcje 1..n (10x 1.5 W = 15 W)
 - b. Oświetlenie chodnika (5x 1 W = 5 W)
 - c. Oświetlenie znaków D-6 i A-16 (2x 2.5 W = 5 W)
 - d. Sygnalizacja stanu systemu (LED)
- VI. Moduł komunikacji
 - a. Modem GSM
 - b. Transceiwer RF krótkiego zasięgu (433/866 MHz, 2.4 GHz, max. 50 m, IEEE 802.15.4)
 - c. Interfejs EIA RS232/USB (diagnostyka, konfiguracja, odczyt parametrów, 115200 kbit/s)

2. Problematyka monitorowania oraz zarządzania

Monitorowanie stanowi bardzo ważny aspekt środowiska systemu niezależnie od specyfiki oraz jego przeznaczenia. Odpowiada za kontrolowanie w trybie ciągłym poszczególnych zasobów. Jest to kluczowe jeśli istnieje potrzeba zachowania ciągłego, bezpiecznego i bezawaryjnego działania. Wyróżnić można trzy rodzaje monitorowania:

- z nadzorem (człowiek lub maszyna dokonuje analizy obserwowanego materiału)
- bez nadzoru (materiał obserwacyjny jest gromadzony w formie zapisu)
- mieszany (materiał jest nadzorowany i gromadzony)

Ponadto monitorowanie dzieli się na operacyjne oraz planistyczne. Pierwsze z nich umożliwia zarządzanie awariami, konfiguracją oraz bezpieczeństwem. Drugie zaś zajmuje się zapewnieniem zarządzania optymalizacją, wydajnością, rozliczaniem oraz rozwojem.

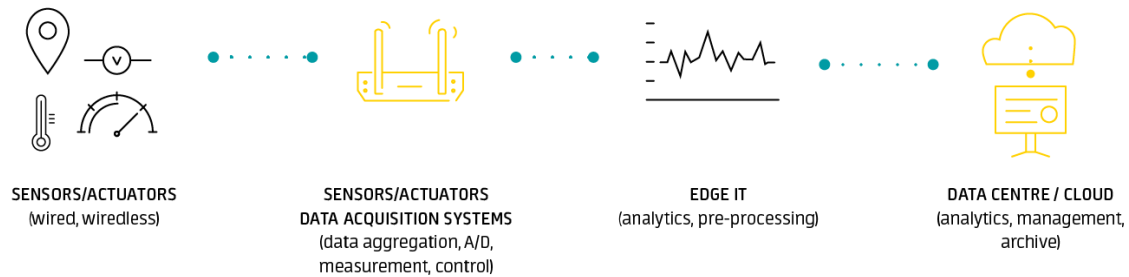
Zarządzanie awariami realizuje wczesne wykrywanie problemów oraz podejmowanie odpowiednich działań w celu ich wyizolowania i usunięcia. Zarządzanie konfiguracją to nadzór nad konfiguracją poszczególnych elementów środowiska jako całości oraz ewentualne jego zmiany. Zmiana konfiguracji to podstawowa technika określania i naprawy awarii, stąd ściśle powiązanie z zarządzaniem awariami. Zarządzanie bezpieczeństwem obejmuje wykrywanie oraz powiadamianie o wszelkich naruszeniach bezpieczeństwa. Bezpieczeństwo w tym zakresie posiada bardzo szerokie znaczenie. Nie ogranicza się jedynie do wykrywania nieuprawnionego dostępu, ale do wszystkich możliwych zagrożeń, które blokują operacyjność systemu. Zarządzanie wydajnością oraz rozliczaniem to w rzeczywistości optymalizacja dopasowania obciążenia posiadanych zasobów względem ich nieprzerwanej, skutecznej i bezpiecznej pracy. Zarządzanie zmianami umożliwia zbieranie danych do planowania rozwoju oraz utrzymania systemu. Ważnym elementem monitorowania jest budowanie bazy wiedzy. Dane historyczne zapewniają wiele możliwości przewidywania zachowań środowiska. Możliwe jest implementowanie algorytmów statystycznych, analitycznych oraz sztucznej inteligencji jak sieci neuronowe czy choćby algorytmy genetyczne.

W rozważaniach nad modelem zarządzania energią najbardziej odpowiednim rodzajem monitorowania jest rodzaj mieszany. Realizując przy tym aspekty operacyjne i planistyczne rozwiązanie zapewnia kompleksowe podejście do zarządzania systemem i poszczególnymi jego elementami czyli całym ekosystemem.

Odpowiednio i solidnie zaprojektowana architektura projektowego ekosystemu musi spełniać złożone cele. Wynikająca z tego wydajność i możliwość zastosowania systemu w dużej mierze zależy od jakości rozwiniętej infrastruktury. Choć każdy system IoT jest inny to podstawa jego architektury, a także ogólny proces przetwarzania danych jest podobny. Przede wszystkim taki ekosystem składa się z „rzeczy” tj. obiektów i komponentów, które za pomocą wbudowanych czujników i elementów wykonawczych są w stanie analizować otoczenie i gromadzić informacje, które są następnie przekazywane do bram komunikacyjnych. Kolejny etap składa się z systemów akwizycji danych i bram komunikacyjnych. Ich zadaniem jest zbieranie ogromnej liczby nieprzetworzonych danych, które to przekształcają w strumienie cyfrowe, filtrują i przetwarzają tak aby były

gotowe do analizy. Następną warstwę reprezentują urządzenia brzegowe odpowiedzialne za dalsze przetwarzanie i ulepszoną analizę danych. Na tym etapie mogą zostać użyte technologie wzbogacania danych, uczenia maszynowego i wnioskowania. Dane są przenoszone do centrów danych, które mogą być oparte na chmurze lub zainstalowane lokalnie. Tutaj dane są przechowywane, zarządzane i analizowane dogłębnie w celu uzyskania praktycznych informacji.

Są to szczegółowo opisane cztery warstwy architektury:



- Agregacja i akwizycja danych – dostarczanie danych tj. informacji z każdego elementu i komponentu w ekosystemie stanowi podstawę rozważań nad środowiskiem. Aby wykryć parametry fizyczne w świecie zewnętrznym lub w samym komponencie, potrzebne są ogólnie rozumiane czujniki. Mogą być one osadzone w samych urządzeniach lub zaimplementowane jako samodzielne obiekty do pomiaru i gromadzenia danych telemetrycznych. Na przykład odpowiedzialne za pomiar parametrów, takich jak temperatura, wilgotność powietrza lub ekspozycja na światło słoneczne. Niezbędnym elementem ekosystemu są komponenty zwrotne np.: siłowniki. Pracujące we współpracy z czujnikami, mogą przekształcać dane generowane przez inteligentne obiekty w działania fizyczne. Na podstawie danych wejściowych dostarczonych przez czujniki system analizuje sytuację w czasie rzeczywistym i nakazuje odpowiednie zachowanie. Ważne jest również to, że połączone obiekty powinny nie tylko być w stanie komunikować się dwukierunkowo z odpowiadającymi im bramami lub systemami akwizycji danych, ale także być w stanie rozpoznawać się i rozmawiać ze sobą w celu gromadzenia i udostępniania informacji oraz współpracy w czasie rzeczywistym w celu wykorzystania wartości całego ekosystemu. W szczególności w przypadku urządzeń o ograniczonych zasobach (np.: baterijny skończony budżet energetyczny oraz przepustowość komunikacyjna) jest to trudne zadanie, ponieważ taka komunikacja wymaga dużej mocy obliczeniowej i zużywa cenną energii. Właśnie dlatego ważna jest solidna architektura umożliwiająca skuteczne zarządzanie urządzeniami tylko wtedy, gdy wykorzystuje dopasowane, bezpieczne i lekkie protokoły komunikacyjne.
- Urządzenia brzegowe – mimo, że urządzenia te nie stanowią obowiązkowego elementu każdego ekosystemu to jednak mogą przynieść znaczące korzyści. W przypadku ograniczonej dostępności i szybkości przesyłania danych systemy brzegowe mogą zapewnić krótsze czasy reakcji i większą

elastyczność przetwarzania i analizy danych. Ponieważ infrastruktura brzegowa może być zlokalizowana bliżej źródła danych pod względem fizycznym, łatwiej i szybciej może ona współdziałać w czasie rzeczywistym. Takie rozwiązanie zapewniać może niemalże dane wyjściowe w postaci już wstępnie obrobionej. Może zaistnieć taki przypadek w którym przesyłane są wyłącznie większe fragmenty danych, które do przetworzenia wymagają mocy chmury. Takie rozwiązanie zwiększa bezpieczeństwo oraz zmniejsza zużycie energii i przepustowości co przekłada się na wydajniejsze wykorzystanie zasobów.

- Centrum danych - w przeciwieństwie do rozwiązań krawędziowych, centrum danych lub system oparty na chmurze jest zaprojektowany do przechowywania, przetwarzania i analizowania ogromnych ilości danych w celu głębszego wglądu za pomocą potężnych mechanizmów analizy danych i mechanizmów uczenia maszynowego, których systemy brzegowe nigdy nie byłyby w stanie obsłużyć. Chmura, jeśli jest wyposażona w odpowiednie rozwiązania dla aplikacji użytkownika, może zapewnić opcje analizy biznesowej i prezentacji, które pomagają ludziom wchodzić w interakcje z systemem, kontrolować i monitorować go oraz podejmować świadome decyzje na podstawie raportów, pulpitu nawigacyjnego i danych wyświetlanych w czasie rzeczywistym.

2.1. Monitorowanie i agregowanie danych

Zdolność sterownika do gromadzenia i analizowania danych, które można przekształcać w informacje, a także podejmować na ich podstawie decyzje stanowi niewątpliwie jedno z kluczowych zagadnień projektu. Pochodną tego zagadnienia jest również zdolność inteligentnego zarządzania infrastrukturą fizyczną w tym optymalizowanie gospodarki energetycznej. Aby zapewnić wysokie możliwości obliczeniowe, a także dużą pojemność pamięci potrzebne jest zastosowanie technik przetwarzania w chmurze. Chmura zapewnić może również komunikację, zarządzanie i monitorowanie licznych zespołów urządzeń oraz programów.

2.1.1. Komunikacja (transmisja danych)

Transmisja danych jest niezwykle ważna w przedmiotowych badaniach. Zapewnia ona zamodelowanie energooszczędnych protokołów transmisji danych oraz zasad w modelu działania. Przyczynia się to bezpośrednio do tego by w końcowych rozwiązaniach można było wykonać jak najwięcej możliwie najniższym kosztem zasobów energetycznych. Oczywiście wiele czynników wpływa na funkcjonowanie, bezpieczeństwo i niezawodność komunikacji. Dzięki niej możliwe jest zapewnienie monitorowania, wykrywanie anomalii eksploatacyjnych, a w konsekwencji zapewnienie niezawodności rozwiązania. Innowacyjne protokoły komunikacyjne otwierają zupełnie nowe możliwości monitorowania podsystemów oraz parametrów środowiskowych w miejscach, gdzie jest ograniczony dostęp do sieci energetycznej. Innowacyjność gwarantuje, że w pierwszej kolejności zmagazynowana energia wykorzystywana jest na potrzeby o najwyższym priorytecie, a w okresie niekorzystnych warunków energetycznych komunikacja jest ograniczona lub wstrzymana.

2.1.1.1. Praca w chmurze

Zastosowanie chmury IoT ma znaczący wpływ na wydajność obsługiwanych systemów w grupie oraz każdego z osobna. Inteligentne rozwiązania mogą dostosować się do wewnętrznych i zewnętrznych zmian środowiskowych bez ingerencji człowieka w celu zapewnienia użyteczności, niezawodności, komfortu i bezpieczeństwa z uwzględnieniem wymagań energetycznych. Stały monitoring sensoryczny generuje duże ilości danych, które po odpowiedniej analizie mogą oferować usługi powiadamiania w przypadku awarii lub krytycznych sytuacji. Projektowane środowisko wykorzystując różnorodne czujniki i inteligentne urządzenia może być samokonfigurowalne oraz sterowane zdalnie, a wykorzystanie chmury umożliwi rozszerzenie możliwości systemu oraz poszczególnych jego komponentów. Zdalne sterowanie ma szczególne znaczenie w kontekście dostosowywania elementów w czasie rzeczywistym poprawiając wydajność systemu i minimalizując jego obciążenie.

Koncepcja wdrożenia rozwiązania chmury jest równie złożona co funkcjonalna. Należy dokładnie przeanalizować składowe systemu oraz chmury by stanowiło to skuteczną architekturę realizującą przedmiotowe zagadnienia.

Chmura IoT składa się z kilku kluczowych komponentów, z których każdy składa się z wielu serwerów wykonujących różne zadania. Serwery są tworzone jako maszyny wirtualne (VM) wykorzystujące technologię wirtualizacji. Działają tak by funkcjonować niezależnie od siebie. Za pomocą tak zaprojektowanej infrastruktury można skonfigurować usługi równoważenia obciążenia, bazy danych oraz serwery aplikacji. W rozważaniu architektury chmury należy zauważyć:

- Zasoby wirtualne – zastosowanie wirtualizacji zapewnia realne i optymalne wykorzystanie dostępnych zasobów. Potrzeba wirtualizacji wynika to z tego, iż zasoby sprzętowe maszyny fizycznej (m.in. procesor, RAM, zasoby dyskowe) często nie są w pełni wykorzystywane co przekłada się na marnotrawstwo zasobów. Dzięki wirtualizacji oprogramowanie „nadzorcy” działa na maszynie fizycznej jako warstwa abstrakcyjna w celu zarządzania zasobami oraz ich dynamicznego przydzielania. Należy nadmienić, że rozwiązanie nie tylko wpływa na optymalizację wykorzystania posiadanych zasobów, ale również zapewnia wysoką wydajność przy stosunkowo niskich kosztach. W zakresie wirtualizacji godnym uwagi jest rozwiązanie oparte na konteneryzacji. Szersze rozważania w tym zakresie zostały opisane w dokumencie „20190814 AIS RW.E1 Środowisko kontenerowe”.
- Serwery aplikacyjne – to jeden z ważniejszych elementów chmury odpowiadający za serwowanie usług biznesowych. Serwery aplikacyjne do działania wymagają odpowiedniego środowiska do uruchamiania oprogramowania w oparciu o określone protokoły aplikacji. Tradycyjna chmura oparta jest zwykle na protokole HTTP w trybie żądanie-odpowiedź za pośrednictwem połączeń TCP z klientami. Po ustanowieniu połączeń serwer HTTP nasłuchuje na określonych portach na żądania by móc na nie zareagować i odpowiedzieć. Jednak dla rozwiązań chmury związanych z IoT powstały dedykowane protokoły. Potrzeba taka wynika wprost z ograniczonych zasobów obliczeniowych, komunikacyjnych i energetycznych poszczególnych komponentów. Przykładowym dedykowanym

protokołem dla projektowej chmury jest protokół MQTT. Został on zaprojektowany dla urządzeń IoT o ograniczonych zasobach jako lekki protokół transportu komunikatów, który działa w trybie publikowania i subskrybowania. Oznacza to, że gdy jeden klient opublikuje wiadomość na określony temat, pozostali klienci, którzy subskrybują ten sam temat, otrzymają tę wiadomość.

- Bazy danych – w zależności od potrzeb używanych aplikacji i komponentów możliwe jest zapotrzebowanie w zakresie przechowywania danych. Typ bazy danych jest determinowany konkretnymi wymaganiami realizowanych zagadnień. Mogą to być struktury relacyjne, nierelacyjne, grafowe, dokumentowe i inne. Mimo, że najbardziej popularnymi bazami danych są bazy SQL. Język SQL został zaprojektowany dla relacyjnych baz danych, które mogą przechowywać dane w postaci tabel dwuwymiarowych. Jednak wydajność baz danych SQL stanowi wąskie gardło we wdrażaniu aplikacji IoT w czasie rzeczywistym. W związku z tym proponowanym rozwiązaniem są bazy danych NoSQL.
- Równoważenie obciążenia - ze względu na dużą liczbę komponentów wchodzących w ekosystem analizowanego środowiska w którym przesyłana jest ogromna liczba komunikatów niezbędne jest równoważenie obciążenia. W przeciwnym wypadku niektóre serwery mogą zostać nadmiernie obciążone co przełożyć się może na opóźnienia lub nawet odrzucenie żądań. W tym czasie inne serwery mogą pozostawać bezczynne, co powoduje znaczne marnowanie zasobów. Dlatego równoważenie obciążenia jest niezbędne dla równomiernego rozłożenia obciążenia i uzyskania pełnego wykorzystania wszystkich dostępnych zasobów. Dokładna analiza zapewnienia HA (wysokiej dostępności) została przedstawiona w dokumencie „20190814 AIS RW.E1 Wysoka dostępność”.

2.1.1.2. Bezpieczeństwo i niezawodność

Konieczność opracowania dedykowanych protokołów komunikacyjnych wynika z dużej niepewności warunków zasilania całego systemu. Z uwagi na brak gwarancji dostatecznej ilości energii, protokoły komunikacyjne muszą minimalizować zużycie energii. Cecha ta uzyskiwana jest poprzez optymalizację złożoności obliczeniowej wymaganej do przeprowadzenia transmisji. Ponadto optymalizowana jest ilość danych koniecznych dla zapewnienia bezpiecznej i niezawodnej transmisji (tzw. optymalizacja "overhead").

Jednocześnie protokoły komunikacyjne zapewniają możliwość sterowania procesem transmisji danych tak, aby interaktywnie uzależniać "intensywność" wykorzystania zasobów systemu przez funkcję komunikacyjną tak, aby w sytuacji konieczności obniżenia zużycia energii transmitowane były tylko najistotniejsze dane lub alternatywnie została wstrzymana transmisja danych.

Protokoły muszą charakteryzować się odpornością na zakłócenia oraz niezależnością od konfiguracji sieciowej (konfiguracji firewall'i, a w szczególności protokołów NAT). Wysoki poziom bezpieczeństwa transmisji danych zapewniany jest poprzez zaimplementowaną w protokołach transmisyjnych funkcjonalność tworzenia bezpiecznego, bezpośredniego kanału transmisji.

Rozważania w zakresie bezpieczeństwa oprogramowania zostały przedstawione w dokumencie „20190814 AIS RW.E1 Wymagania bezpieczeństwa”.

2.1.1.3. Energooszczędność

W połączeniu z inteligentnymi algorytmami zarządzającymi zużyciem energii, w projektowanym systemie transmisja musi odbywać się szybko i mieć miejsce tylko wtedy, gdy poziom zapasu energii na to pozwala.

Dokładna analiza protokołów pod kątem energooszczędności została przedstawiona w dokumencie „20190328 AIS RW.E1 Analiza stosu protokołów stosowanych w systemach IoT”.

2.1.1.4. Centrum monitorowania

Niewątpliwie zastosowanie monitoringu w infrastrukturze systemu to przede wszystkim zwiększenie roli mechanizmów analizy i automatyzacji procesów, a także wykorzystanie technologii IoT i uczenia maszynowego do zwiększenia niezawodności i efektywności działania składowych całego środowiska. Centrum monitorowania oprócz klasycznych funkcji związanych z samym monitorowaniem parametrów środowiskowych takich jak; temperatura, zasilanie, wykorzystanie pamięci masowej, czy też kontrola dostępu, wykorzystywane jest do inteligentnego sterowania działaniem elementów całego systemu i zwiększenia jego efektywności. Kluczową rolę odgrywa oprogramowanie, które pozwala nie tylko na agregowanie oraz archiwizowanie informacji i na ich podstawie generowanie komunikatów, ale również na zaawansowaną analizę oraz zautomatyzowaną reakcję na występujące zdarzenia. Wykorzystanie technologii IoT w centrach danych i serwerowniach umożliwia zwiększenie ich efektywności (np. zmniejszenie zużycia energii), automatyzację niektórych typowych działań (zmniejszenie zaangażowania pracowników w wykonywanie standardowych czynności) lub przewidywanie potencjalnych awarii, zanim wystąpią (analityka i uczenie maszynowe), a w efekcie zwiększenie niezawodności oraz zmniejszenie kosztów utrzymania infrastruktury.

Rozwój technologii IoT doprowadził do pojawienia się koncepcji centrów danych, w których większość zadań związanych z konfiguracją serwerów, pamięci masowych i urządzeń sieciowych jest realizowana programowo. Działanie systemu jest na bieżąco optymalizowane i dopasowywane do aktualnej sytuacji. Koncepcja taka jest związana z rozwojem różnego rodzaju technologii programowego sterowania:

- sieciami (SDN),
- pamięciami masowymi (SDS),
- infrastrukturą (IoT).

Wdrażanie takich rozwiązań nie jest jednak proste. Wymaga m.in. korelacji danych pochodzących z różnych źródeł, zarówno czujników kontrolujących parametry fizyczne, jak i sensorów mierzących wydajność aplikacji, bieżące obciążenia oraz przewidywane ich zmiany.

Jednym z ważnych problemów wykorzystania IoT jest brak standaryzacji. Na rynku dostępnych jest wiele modeli mniej lub bardziej inteligentnych czujników, ale wykorzystują one różne, czasami firmowe formaty danych i przemysłowe protokoły do transmisji danych, takie jak: Modbus, SNMP i wiele innych.

2.1.2. Założenia monitorowania systemu

Aby zrealizować kompleksowo zagadnienie monitorowania niezbędne jest stałe weryfikowanie ekosystemu pod kątem niezawodnościowym w zakresach:

- działania systemu (w tym sygnalizowanie sabotażu/wandalizmu) oraz komunikacji (transmisji danych),
- układu zasilania i pozyskiwania energii (np.: generator wiatrowy oraz PV),
- zużycia energii,
- sensorów/czujników,
- poszczególnych komponentów końcowych (np.: oświetlenia).

Centrum monitorowania przesyła do sterownika zespół parametrów dla algorytmów sterownika, który po każdorazowym wczytaniu danych funkcjonuje dalej autonomicznie (nie wymaga stałego połączenia z centrum monitorowania). Brak stałego połączenia przekłada się bezpośrednio na oszczędności energii. Jest to jedno z podstawowych założeń systemu tj. harmonogramowanie transmisji danych pomiędzy pojedynczymi przejściami drogowymi, a systemem monitorowania do aktualnych i prognozowanych warunków ładowania akumulatorów. Zapobiega to sytuacji, gdy przy niekorzystnych warunkach środowiskowych w określonym czasie, sterownik zużywa cenną energię na komunikację z centrum zarządzania i monitorowania. Dlatego właśnie w przypadku niekorzystnych warunków atmosferycznych i niekorzystnej prognozy pogody sterowniki nie będą się komunikować z centrum, lub komunikacja będzie występowała bardzo rzadko. Taka komunikacja określana jest mianem „leniwej”. W przypadku, gdy niekorzystne warunki miną, sterowniki zaczną się komunikować oraz przesyłać „zaległe” dane monitorujące. Należy zauważyć, że w takim przypadku algorytmy wyznaczające prognozy oraz dopasowujące do nich sterowanie poszczególnymi komponentami, będą musiały jak najszybciej przetworzyć zaległą ilość danych. Uczenie inteligentnych algorytmów to proces o bardzo dużej złożoności obliczeniowej. Szczególnie, gdy liczba danych wejściowych jest stosunkowo duża. System monitorowania musi zatem być w stanie poradzić sobie z tak nieregularnym rozkładem obciążenia w czasie. Ponadto, ważne jest, aby jak najszybciej przeanalizować dane i przygotować nowe zestawy parametrów dla poszczególnych przejść.

Istotnym aspektem jest również to, że rozwiązanie umożliwia gromadzenie statystyk na bazie pozyskiwanych danych. Statystyki środowiskowe pozwalają na przewidywanie i prognozowanie zdarzeń lub zachowań. Stanowią potencjalny wkład dla mechanizmów uczenia maszynowego np.: algorytmów genetycznych.

Kosztowne energetycznie procesy „uczenia się” inteligentnych algorytmów realizowane są w centrum monitorowania; sterownik realizuje jedynie algorytmy wymagające niewielkich nakładów energii. Takie, które nie wymagają wysokiej mocy obliczeniowej, a czas ich wykonania jest stosunkowo krótki.

2.1.3. Algorytmy monitorowania

Zadaniem inteligentnych algorytmów monitorowania jest prognozowanie i optymalizacja sposobu wykorzystania dostępnego zapasu energii tak, aby funkcje systemu działały nieprzerwanie. Na przykład w sytuacji niskiego poziomu naładowania akumulatorów i jednocześnie niekorzystnych prognoz pogody, najbardziej energochłonne

Projekt pt. „Prace rozwojowe oraz testy w warunkach rzeczywistych autonomicznego i inteligentnego sterownika” nr Umowy z Województwem Łódzkim, w imieniu którego działa Centrum Obsługi Przedsiębiorcy: **RPLD.01.02.02-10-0006/18-00** realizowany w ramach Poddziałania I.2.2 Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Łódzkiego na lata 2014-2020 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

funkcje systemu, czyli komunikacja z centrum przetwarzania danych, mogą być uruchamiane rzadziej lub w ograniczonym zakresie (przesłane zostaną dane z monitorowania z dokładnością godzinową zamiast standardowej minutowej).

Algorytmy monitorowania muszą uwzględniać:

- historyczne dane środowiskowe i systemowe np. o natężeniu ruchu pieszych,
- historyczne dane o skuteczności ładowania akumulatorów,
- historyczne dane o obciążeniu energetycznym systemem,
- prognozowane warunki pogodowe - uwzględnianie prognozy pogody przekazywanej z centralnego systemu monitorowania za pomocą opracowanego wysoko wydajnego pod względem energetycznym protokołu transmisji umożliwi sterowanie natężeniem oświetlenia. Znając prognozę pogody system przewiduje przyszłe zasoby energetyczne i odpowiednio zarządza swoim działaniem: wiedząc, że będzie duże nasłonecznienie/duży wiatr system działa w pełni, z kolei wiedząc, że w najbliższym czasie zasoby energetyczne będą mniejsze bądź żadne, system wyłącza niekrytyczne komponenty – np. zbieranie danych pogodowych czy monitorowanie natężenia ruchu w celu podtrzymywania funkcji krytycznej: oświetlenia przejścia,
- aktualne warunki środowiskowe i systemowe.

Badania nad algorytmami monitorowania uwzględniają:

- wykrywanie anomalii w danych (z sensorów) przesyłanych na bieżąco i podejmowanie działań, a w konsekwencji zmiany zapotrzebowania na energię elektryczną,
- prognozowanie zużycia energii w czasie, w całym ekosystemie, na bazie historii zużycia energii elektrycznej,
- prognozowanie zapotrzebowania zużycia energii w czasie na bazie prognoz pogody, przekładające się na wcześniejsze uruchomienia trybów oszczędności.

2.2. Cechy protokołów komunikacji

1. Minimalizacja ilości przesyłanych danych.
2. Optymalizacja złożoności obliczeniowej wymaganej do przeprowadzenia transmisji.
3. Optymalizacja ilości danych koniecznych dla zapewnienia bezpiecznej i niezawodnej transmisji (tzw. optymalizacja "overhead").
4. Tworzenie bezpiecznego, bezpośredniego kanału transmisji.

2.3. Zasady harmonogramowania i blokowania transmisji danych

1. W sytuacji, gdy zmagazynowana energia będzie niewystarczająca dla realizacji funkcji wszystkich podzespołów o najwyższym poziomie ważności, system automatycznie powinien wprowadzić „leniwą” komunikację z centralnym systemem monitorującym.

2. W sytuacji, gdy zmagazynowana energia będzie niewystarczająca dla realizacji funkcji pozostałych, o kolejnym poziomie ważności, podzespołów, system automatycznie powinien wstrzymać komunikację z centralnym systemem monitorującym.
3. W sytuacji, gdy zapas energii spadnie poniżej określonego poziomu dodatkowo może nastąpić wyłączenie komunikacji krótkiego zasięgu między redundantnym komponentem np.: między dwoma systemami oświetlenia w ramach jednego przejścia dla pieszych.
4. Gdy warunki pogodowe umożliwią naładowanie akumulatorów, stopniowo funkcjonalność systemu będzie zwiększana.

2.4. Zarządzanie i sterowanie

Funkcjonalność zarządzania oraz sterowania to strategiczna cecha sterownika. Pozwala ona na rozważne zarządzanie systemem i jego komponentami końcowymi. Dzięki temu możliwe jest sterowanie funkcjonalnościami tak by zapewnić operacyjność priorytetowych funkcji systemu w przypadku deficytów energii elektrycznej.

2.4.1. Założenia zarządzania i sterowania systemem

- Minimalizacja ilości przesyłanych danych
- Minimalizacja złożoności obliczeniowej
- Zapewnienie wydajności obliczeniowej
- Integracja w konstrukcji systemu wielu funkcji oraz urządzeń i modułów
- Dynamiczne dostosowywanie parametrów działania podsystemów ładowania akumulatorów oraz dystrybucji energii, przy jednoczesnej minimalizacji procesów obliczeniowych realizowanych przez sterownik

2.4.2. Konstrukcja sterownika oraz oprogramowania sterującego:

W konstrukcji sterownika oraz oprogramowania należy uwzględnić:

- charakterystyki procesów generowania energii w ogniwach fotowoltaicznych oraz generatorze wiatrowym,
- specyfikę oraz charakterystykę energetyczną zastosowanych układów (mikrokontrolera), systemu operacyjnego czasu rzeczywistego odpowiedzialnego za sterowanie oraz innych komponentów składających się na Autonomiczny sterownik,
- charakterystykę, model, zużycie energii oraz sterowaniem elementami końcowymi,
- charakterystyki oraz model monitorowania warunków pogodowych,
- specyfikę oraz charakterystykę energetyczną zastosowanego osprzętu oraz czujników.

Architektura sterownika musi pozwalać na łatwe dołączanie dodatkowych modułów pozwalających na zdalną diagnostykę urządzenia, pomiar i rejestrację kluczowych parametrów systemu, warunków klimatycznych oraz drogowych.

Lista wybranych parametrów:

- pozyskana energia z generatora wiatrowego i PV (pomiar energii: 0-3 kWh, pomiar napięcia: 0-30 V, pomiar prądu: 0-10 A, pomiar mocy: 0-300 W),
- energia wykorzystana do pracy sterowników oraz podukładów systemu (moc w zakresie: 0-5 W, energia: 0-250 Wh),
- energia wykorzystana do oświetlenia przejścia dla pieszych, chodnika oraz znaków (moc w zakresie: 0-50 W, energia: 0-1 kWh),
- bilans energii oraz energia zgromadzona w akumulatorach (0-3 kWh),
- parametry klimatyczne (temperatura -40...+59,9 °C, dokładność ± 1 °C, ± 2 °C w całym zakresie, ciśnienie 300-1099 hPa ± 2 hPa, wilgotność: 1-99 % ± 1 %, opady 0-999,9/0-9999 mm $\pm 0,5$ mm, prędkość wiatru: 0-50 m/s $\pm 0,1$ m/s, kierunek wiatru, rozdzielczość: 22,5 °, nasłonecznienie: 0-3150 W/m², zanieczyszczenie powietrza: pyły zawieszone PM1, PM2.5, PM10 w zakresach odpowiednio: 0.3-1.0; 1.0-2.5; 2.5-10 μm , rozdzielczość: 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zanieczyszczenia: NO₂, SO₂, O₃, CO, C₆H₆-)
- ruch pieszych oraz samochodów w okolicach przejścia dla pieszych.

Zebrane parametry zostaną przesłane przy pomocy modemu GSM oraz zgromadzone w zewnętrznej bazie danych. Pozwoli to na monitorowanie stanu rozproszonych systemów oraz analizę pracy poszczególnych podsystemów, co umożliwi zrozumienie potrzeb energetycznych oraz lepsze dobranie parametrów, mocy generatorów oraz pojemności akumulatorów.

Sterownik główny dokonuje pomiaru wartości chwilowych, uśrednionych w zadanym okresie czasu, minimalnych i maksymalnych oraz przechowuje w nieulotnej pamięci (FLASH) krótkoterminową historię pomiarów. Długoterminowa historia (limit nie jest ograniczony czasowo) oraz szczegółowa analiza danych dostępna jest po stronie centrum monitorowania.

2.4.3. Zarządzanie energią

Badania w zakresie projektu koncentrują się na pozyskiwaniu maksymalnej ilości energii w skrajnie niekorzystnych warunkach, a także optymalizacji zużycia energii dla priorytetów funkcjonalnych w zadanych okresach czasu.

Charakterystyka zagadnienia energetycznego:

- brak zasilania z sieci energetycznej
- optymalne wykorzystanie budżetu energetycznego – sterowanie użyciem komponentów systemu
- dedykowane komponenty końcowe zapewniające optymalną wydajność przy niskim poborze prądu
- dedykowane komponenty sterujące pracą układów ładowania

- dedykowane komponenty sterujące pozyskiwaniem, przetwarzaniem, dystrybucją i magazynowaniem energii elektrycznej z prądnicy wiatrowej oraz z panelu fotowoltaicznego (PV)
- dedykowane protokoły oraz urządzenia do transmisji danych i synchronizacji komponentów końcowych takich jak lampy oświetlające przejście drogowe
- dedykowane sensory analizy środowiska
- priorytetyzowanie funkcji i komponentów systemu w kontekście wykorzystania energii

Charakterystyka procesów generowania energii w ogniwach fotowoltaicznych.

Założona w projekcie optymalizacja czasu podtrzymania akumulatorowego podstawowych funkcji systemu wymaga ładowania akumulatorów w warunkach o niewielkim nasłonecznieniu (poniżej 50 W/m²) oraz realizacji postawionych celów sterownikom PV:

- śledzenie maksymalnego punktu pracy MPPT (Max Power Point Tracking),
- dopasowanie impedancji układu do napięcia ogniwa fotowoltaicznego w celu ładowania akumulatora,
- zabezpieczenia nadprądowe i przepięciowe oraz przed odwrotnym przepływem prądu.

Charakterystyka procesów generowania energii w prądnicy wiatrowej.

Analogicznie jak w przypadku procesów generowania energii w ogniwach fotowoltaicznych, charakterystyka generowania energii w prądnicy wiatrowej wymaga ładowania akumulatorów w nieprzyjanych warunkach, niskiej szybkości wiatru tj. poniżej 1 m/s. Stąd konieczne jest:

- zastosowanie specjalizowanego generatora wiatrowego,
- uwzględnienie w systemie sterowania m.in. śledzenia maksymalnego punktu pracy generatora wiatrowego WMCT (Wind Max Current Tracking),
- dopasowanie impedancji obciążenia do napięcia generowanego przez turbinę wiatrową,
- podwyższenie napięcia w przypadku pracy generatora z niewielką szybkością,
- zabezpieczenia nadprądowe i przed nadmiernym wzrostem napięcia w przypadku bardzo silnego wiatru,
- odpowiednie zaprojektowanie łopat generatora wiatrowego oraz alternatora pozwalające na pracę przy niewielkich prędkościach wiatru.

Założona adaptacyjność pracy systemu pod kątem priorytetyzacji funkcjonalności pociąga za sobą konieczność przeprowadzenia złożonych obliczeniowo operacji. Szczególnie w zakresie algorytmów inteligentnie dopasowujących parametry pracy systemu do aktualnych i prognozowanych warunków środowiskowych. Wraz ze złożonością obliczeniową tych operacji rośnie również zapotrzebowanie energetyczne. Sterownik musi podjąć decyzję czy podejmowane przez niego próby optymalizacji nie poniosą za sobą większego zużycia energii niż pozostawienie działania bez podejmowania czynności lub alternatywnie przekazanie obliczeń do centrum monitorowania.

Głównym celem sterownika jest efektywne pozyskiwanie, przekształcanie, gromadzenie oraz inteligentne zarządzanie budżetem energii w celu maksymalizacji wydłużenia czasu pracy w nieprzyjanych warunkach. Podsystem zarządzania zasilaniem zapewnia automatyczne sterowaniem zużycia energii (priorytetyzując przy tym funkcjonalności) tak, aby zapewnić optymalny poziom operacyjności.

Zarządzanie budżetem energetycznym ma za zadanie nie tylko optymalizować proces pozyskiwania energii, ale również optymalizować zużycie energii przez czujniki, elementy komunikacyjne oraz inne odbiorniki energii.

Co więcej, podsystemy zarządzania zasilaniem systemu zintegrowane są z inteligentnymi, samouczącymi się algorytmami prognozowania i bilansowania energii elektrycznej pochodzącej z panelu PV oraz generatora wiatrowego. Zapewnia to uwzględnienie nie tylko aktualnego stanu zasilania z generatorów, ale również prognozowanych warunków atmosferycznych (np. prognozowane zachmurzenie oraz brak wiatru wskazuje, że panel i generator wiatrowy nie zapewnią energii, więc należy dostosować parametry systemu tak, aby bardziej ekonomicznie wykorzystać energię zgromadzoną w akumulatorach.

Warto zauważyć że, niezawodność transmisji danych nie może wpływać negatywnie na konsumpcję zapasów energii. Transmisja danych musi odbywać się w sposób energooszczędny. Ponadto częstotliwość / intensywność transmisji powinna być dostosowywana do możliwości energetycznych całego systemu. A innowacyjne algorytmy gwarantują, że w pierwszej kolejności zmagazynowana energia wykorzystywana jest na potrzeby o najwyższym priorytecie.

2.4.4. Sterowanie komponentami systemu

Zarządzanie komponentami systemu wiąże się z priorytetyzacją jego funkcji. Co przekłada się na sterowanie poszczególnymi elementami, tj. użycia w czasie, wydajności, czy też ograniczenia wykorzystania w przypadkach zagrożenia operacyjności lub całkowitego odłączenia.

Sterowanie systemem w kontekście budżetu energetycznego określić można poniższymi zagadnieniami monitorowania i zarządzania:

- Adaptacja parametrów autonomicznego sterownika.
 - Odbieranie i przetwarzanie sygnałów z czujników
- Dynamiczne dostosowywanie parametrów działania podsystemów ładowania akumulatorów.
 - Pomiar pozyskanej energii (moc, prąd, napięcie)
- Dynamiczne dostosowywanie parametrów dystrybucji energii.
 - Pomiar zużytej energii
- Zapewnienie priorytetu bezpieczeństwa.
 - Komunikat o awarii lub przewidywanym rozładowaniu akumulatora
 - Priorytet bezawaryjnego działania systemu infrastruktury (np.: przejścia drogowego)

- Optymalizacja zużycia energii i jej pozyskiwania (z uwzględnieniem niekorzystnych warunków środowiskowych)
- Sterowanie komponentami końcowymi.

Ważnym zagadnieniem sterowania jest to, że sterownik musi podejmować decyzję czy:

1. optymalne jest spożytkowanie energii by przeprowadzić obliczenia w sterowniku,
2. optymalne jest spożytkowanie energii by przesyłać oraz odbierać dane z centrum monitorowania.
3. optymalne jest spożytkowanie energii na funkcje o określonym priorytecie.

2.4.5. Algorytmy systemu zarządzania i sterowania

Zagadnieniem omawianym w tym rozdziale jest charakterystyka algorytmów służących do optymalizacji wykorzystania budżetu energetycznego przez poszczególne elementy osprzętu. Analiza opiera się na algorytmach bilansujących i optymalizujących zużycie energii pod kątem operacyjności komponentów końcowych oraz nieprzerwanego działania całego systemu. Z uwagi na złożony proces optymalizacji konieczne będzie prowadzenie optymalizacji wielokryterialnej, system musi uwzględniać pogodzenie dwóch przeciwstawnych wymagań: minimalizacji zużycia energii oraz jednoczesnej gotowości do wykorzystania pełnej lub częściowej jego wydajności. Optymalizacja bazuje na stałych oraz na zmiennych losowych. Ważnym elementem komplikującym zagadnienie optymalizacji jest konieczność zastosowania sposobu optymalizacji pozwalającego na zmianę wymiaru funkcji celu w trakcie procesu optymalizacji. Projektując rozwiązanie niezwykle ważne jest również by bilansować zyski i straty. Mianowicie, algorytmy nie mogą stanowić większego obciążenia energetycznego niż oszczędności, które mogą przynieść.

Badania nad algorytmami zarządzania i sterowania uwzględniają:

- optymalizację zużycia energii elektrycznej opartej na zmieniającym się poziomie naładowania akumulatora oraz posiadanych predykcji w zakresie jego planowanego ładowania i rozładowania,
- optymalizację względem wag poszczególnych funkcjonalności i ich konsumpcji energii elektrycznej, innymi słowy bilans zysków i strat.

Zagadnienia badane w analizie algorytmów:

- parametry wejściowe,
- wrażliwość obliczeniowa,
- poziom złożoności obliczeniowej,
- optymalizacja wielokryterialna,
- minimalizacja zużycia energii, a pełna wydajność urządzeń w systemie,
- zmienne losowe,
- wartości stałe,
- zmiana wymiaru funkcji,
- algorytmy samomodyfikujące i uczące się,

- priorytetyzacja / wagi,
- algorytmy strumieniowego przetwarzania danych,
- mechanizmy non-blocking I/O z uwzględnieniem sprzężenia zwrotnego (backpressure),
- implementacja inteligentnych algorytmów w postaci obliczeń rozproszonych,
- elastyczne mechanizmy przydzielania mocy obliczeniowej, dynamicznego skalowania, wirtualizacji na poziomie systemu operacyjnego.

3. Badania i wymagania modelu na bazie przejścia dla pieszych.

Projektując inteligentny system sterowania oświetleniem drogowym przeanalizowano jego cechy tak by niósł za sobą jak najwięcej korzyści przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia zasobów. Rozwiązanie charakteryzuje się efektywnym wykorzystaniem dostępnej, zmagazynowanej i ograniczonej energii elektrycznej. W tym także możliwości monitorowania ruchu drogowego oraz parametrów środowiskowych w miejscach gdzie nie ma dostępnego zasilania z sieci energetycznej. Taki system musi również posiadać cechy bezpieczeństwa i niezawodności. Dotyczy to zarówno poszczególnych komponentów jak i całego systemu oraz komunikacji w jego zakresie. Zintegrowana konstrukcja w przejściu dla pieszych funkcji monitoringu i zarządzania ruchem drogowym, a także funkcji monitoringu środowiska (warunków atmosferycznych, poziomu zanieczyszczeń, smogu) niesie wiele korzyści. Głównymi są optymalizacja zużycia budżetu energetycznego, obniżenie kosztów produkcji, dostaw oraz utrzymania, czy też wdrożenie urządzeń brzegowych umożliwiających podejmowanie prostych decyzji lub ewentualne przekazywanie komunikatów do centrum monitorowania w celu zarządzania zbiorem całego ekosystemu wdrożonych pomniejszych środowisk przejść dla pieszych. Takie rozwiązania wprowadzają wiele możliwości takich jak powiadomienia o możliwych anomaliach np.: wypadkach drogowych.

3.1. Wymagania dla systemu oraz sterownika AIS.

System AIS dzięki inteligentnemu sterownikowi i nowoczesnym źródłom światła typu LED umożliwi optymalizowanie doboru parametrów oświetlenia zapewniając maksymalną jasność przy minimalnym zużyciu energii zmagazynowanej w akumulatorze. Zainstalowanie opraw LED-owych i doposażenie ich w system sterowania pozwoli uzyskać wymierne korzyści przekładające się na oszczędności wykorzystania zasobów. By to mogło się ziszczyć muszą być spełnione wymagania:

- Energia pozyskiwana wyłącznie ze źródeł odnawialnych: generator fotowoltaiczny i wiatrowy. Inteligentny sterownik musi pozwalać na akumulowanie energii słonecznej i wiatrowej przy niesprzyjających parametrach (słaby wiatr, zachmurzone niebo, temperatura poniżej 0°C)
- Wymagane parametry pracy generatorów oraz układów przetwarzania energii:
 - Fotowoltaiczny – moc panelu od 70 do 300 Wp, pozyskiwanie i przetwarzania energii dla nasłonecznienia powyżej 50 W/m².
 - Wiatrowy – moc generatora 70-300 Wp, pozyskiwanie energii dla wiatru >1 m/s oraz napięcie generatora >1 V.

- Zebrana energia powinna być magazynowana w akumulatorach w celu późniejszego wykorzystania – min. przez 4 doby w przypadku, gdy warunki klimatyczne uniemożliwiają pozyskanie energii. Szacowana pojemność akumulatorów 60-80 Ah (720-960 Wh).
- Szacuje się zapotrzebowanie na energię elektryczną w ciągu jednej doby na ok. 180 Wh:
 - Oświetlenie: 60 Wh (3 godziny w ciągu doby, 15 W + 5 W na godzinę).
 - Zasilanie układu sterowania, czujników: 120 Wh (24 godziny, 5 W godzinę).
- System powinien wykrywać ruch na przejściu dla pieszych oraz chodniku. Oświetlenie powinno zostać uruchomione na czas potrzebny na przejście na drugą stronę jezdni. Istnieje możliwość inteligentnej detekcji kierunku ruchu pieszego oraz sekwencyjnego sterowania oświetleniem oraz jego natężeniem.
- System powinien umożliwić uruchomienie oświetlenia po przyścisnięciu przycisku przez pieszego.
- System musi reagować na zmieniające się warunki pogodowe regulując natężeniem oświetlenia.
- Metoda sterowania oświetleniem oraz parametry systemu sterowania konfigurowalne poprzez zdalny kanał dostępu.
- Zdalne monitorowanie stanu technicznego systemu i jego diagnostyka.
- Pomiar parametrów klimatycznych.
- Możliwe warianty systemu:
 - System podstawowy – złożony z 2 latarni Master oraz Slave.
 - System z modułem diagnostyczno-monitorującym – konfiguracja systemu, pomiar pozyskanej oraz zużytej energii z wykorzystaniem modemu GSM oraz zewnętrznego serwera.
 - System z układem pomiaru ruchu pieszego lub samochodowego – możliwość dołączenia dodatkowych czujników mierzących natężenie ruchu, np. kamera cyfrowa. Dane udostępniane są przy pomocy modemu GSM/LTE.
 - System ze stacją klimatyczną – możliwości dołączenia dodatkowych czujników mierzących natężenie oświetlenia, prędkość wiatru, opady, temperaturę, etc. Dane udostępniane są przy pomocy modemu GSM/LTE.
- Uśrednione zużycie energii przez moduł komunikacji z centrum monitorowania: <3W,
- Narzut protokołów na ilość transmitowanych danych (overhead): co najwyżej 64 bajty,
- MTU (Maximum Transfer Unit): co najmniej 500 bajtów.
- System musi posiadać centrum monitorowania i zarządzania, stanowiące jeden zbiorczy punkt zarządzania wszystkimi instalacjami AIS. Jednocześnie informatyczny system centrum pełni również funkcję scentralizowanego monitorowania wszystkich instalacji AIS zarówno w aspekcie monitorowania:
 - niezawodnościowych parametrów działania poszczególnych instalacji,
 - parametrów energetycznych na potrzeby dostosowywania i optymalizacji sposobu funkcjonowania sterowników tak, aby zapewnić najwyższy poziom bezpieczeństwa pieszego,
 - parametrów ruchu drogowego, warunków atmosferycznych oraz parametrów środowiskowych.

- Implementacja protokołów w aplikacjach centrum mają wspomagać przeprowadzanie złożonych obliczeniowo operacji dostosowywania i optymalizacji parametrów sterujących poszczególnymi infrastrukturami przejść dla pieszych.

- **Bezpieczeństwo:**

Zagwarantowanie bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych poprzez:

- oświetlenie przejścia dla pieszych,
- oświetlenie okolic przejścia dla pieszych,
- sygnalizacja obecności pieszego dla kierowcy nadjeżdżającego pojazdu.

Wymaga to zastosowania autonomicznych urządzeń, które mogą być zainstalowane w lokalizacjach bez dostępu do energii sieci elektrycznej.

- **Autonomiczność:**

Autonomiczność rozumiana jako niezależność od dostępu zasilania z sieci energetycznej. Zestaw urządzeń (dwa słupy oświetleniowo-sygnalizacyjne z osprzętem), w ramach których instalowany będzie autonomiczny, inteligentny sterownik, muszą być w pełni niezależne od dostępności sieciowego źródła zasilania.

- **Integracja wielu funkcji w jednym produkcie:**

Integracja w rozumieniu połączenia funkcjonalności obsługi infrastruktury bezpieczeństwa ruchu drogowego (oświetlenie przejścia dla pieszych), monitorowania i zarządzania ruchem drogowym oraz monitorowania aspektów środowiskowych.

Sterowanie ruchem drogowym wymaga monitorowania czynników związanych z samym ruchem drogowym. Przekłada się to na analizowanie informacji nt. ilości osób korzystających z przejścia dla pieszych oraz rozkład godzinowy ruchu pieszych. Pozwoli to na dostosowanie mocy generatorów, pojemności akumulatorów oraz konstrukcji samego urządzenia w zależności od ruchu pieszego w danej lokalizacji oraz warunków klimatycznych.

- **Sterowanie komponentami przejścia dla pieszych:**

- Sterowanie sekcjami oświetlenia głównego przejścia dla pieszych
- Sterowanie oświetleniem chodnika
- Sterowanie oświetleniem znaków
- Sterowanie natężeniem oświetlenia (0–100%)
- Komunikacja z drugą latarnią

- Monitorowane parametry ruchu drogowego oraz warunków atmosferycznych obejmują (łącznie z rozkładem danych wartości w czasie) m.in.:

- przepływ pieszych przez przejście drogowe,

- przepływ samochodów przecinających przejście drogowe,
 - nasłonecznienie,
 - siła i kierunek wiatru,
 - energia pozyskiwana z generatorów,
 - poziom hałasu,
 - temperatura,
 - opady,
 - widoczność,
 - zanieczyszczenia powietrza / smog.
- Monitorowanie stanu pracy wszystkich podzespołów/osprzętu systemu oraz samego sterownika.
 - Modułowa konstrukcja oraz innowacyjna architektura sterownika i oprogramowania pozwalają na dowolną rozbudowę systemu o nowe funkcje. Zastosowane mogą być dowolne technologie urządzeń monitorujących ruch i parametry środowiska, pod warunkiem dostosowania ich do dedykowanego sposobu bilansowania zużycia energii.
 - Funkcje monitorowania nie obniżają efektywności działania komponentów odpowiedzialnych za oświetlenie i sygnalizację ostrzegawczą przejścia drogowego.

3.2. Założenia dla architektury sterownika.

- pozyskana energia z generatora wiatrowego i PV (pomiar energii: 0-3 kWh, pomiar napięcia: 0-30 V, pomiar prądu: 0-10 A, pomiar mocy: 0-300 W),
- energia wykorzystana do pracy sterowników oraz podukładów systemu (moc w zakresie: 0-5 W, energia: 0-250 Wh),
- energia wykorzystana do oświetlenia przejścia dla pieszych, chodnika oraz znaków (moc w zakresie: 0-50 W, energia: 0-1 kWh),
- bilans energii oraz energia zgromadzona w akumulatorach (0-3 kWh),
- parametry klimatyczne (temperatura -40...+59,9 °C, dokładność ± 1 °C, ± 2 °C w całym zakresie, ciśnienie 300-1099 hPa ± 2 hPa, wilgotność: 1-99 % ± 1 %, opady 0-999,9/0-9999 mm $\pm 0,5$ mm, prędkość wiatru: 0-50 m/s $\pm 0,1$ m/s, kierunek wiatru, rozdzielczość: 22,5 °, nasłonecznienie: 0-3150 W/m², zanieczyszczenie powietrza: pyły zawieszone PM1, PM2.5, PM10 w zakresach odpowiednio: 0.3-1.0; 1.0-2.5; 2.5-10 μm , rozdzielczość: 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zanieczyszczenia: NO₂, SO₂, O₃, CO, C₆H₆-)
- ruch pieszych oraz samochodów w okolicach przejścia dla pieszych.

3.3. Priorytetyzacja i wagi parametrów

- I. Waga 1 krytyczna:
 - a. Sterowanie oświetleniem znaków D-6 i A-16
- II. Waga 2:
 - a. Sterowanie sekcjami oświetlenia głównego przejścia dla pieszych

- b. Sterownie natężeniem oświetlenia (0–100%)
 - c. Sygnalizacja stanu systemu (LED)
 - d. Pomiar pozyskanej energii (moc, prąd, napięcie)
 - e. Optymalizacja zużycia energii na poziomie lokalnym sterownika i jego komponentów.
 - f. Awaryjna komunikacja - Komunikat o awarii lub przewidywanym rozładowaniu akumulatora
 - g. Awaryjna komunikacja – Zdalna konfiguracja
- III. Waga 3:
- a. Komunikacja krótkiego zasięgu
 - b. Przycisk wyzwalania oświetlenia
- IV. Waga 4:
- a. Sterowanie oświetleniem chodnika
 - b. Odbieranie i przetwarzanie sygnałów z czujników:
 - i. Pomiar zużytej energii
 - ii. Czujnik oświetlenia
 - iii. Czujnik temperatury
 - iv. Detektor ruchu PIR
- V. Waga 5:
- a. Komunikacja z centrum monitorowania (wstrzymanie, leniwa transmisja, normalna transmisja).
Dotyczy to zarówno wysyłania jak i odbierania danych, komunikatów, procedur.
 - b. Optymalizacja i prognozowanie zużycia energii na poziomie centrum monitorowania.
 - c. Odbieranie i przetwarzanie sygnałów z czujników :
 - i. Detektor pojazdów/osób
 - ii. Stacja klimatyczna:
 - 1. nasłonecznienie,
 - 2. ciśnienie,
 - 3. siła i kierunek wiatru,
 - 4. poziom hałasu,
 - 5. temperatura,
 - 6. opady,
 - 7. widoczność,
 - 8. zanieczyszczenia powietrza / smog.

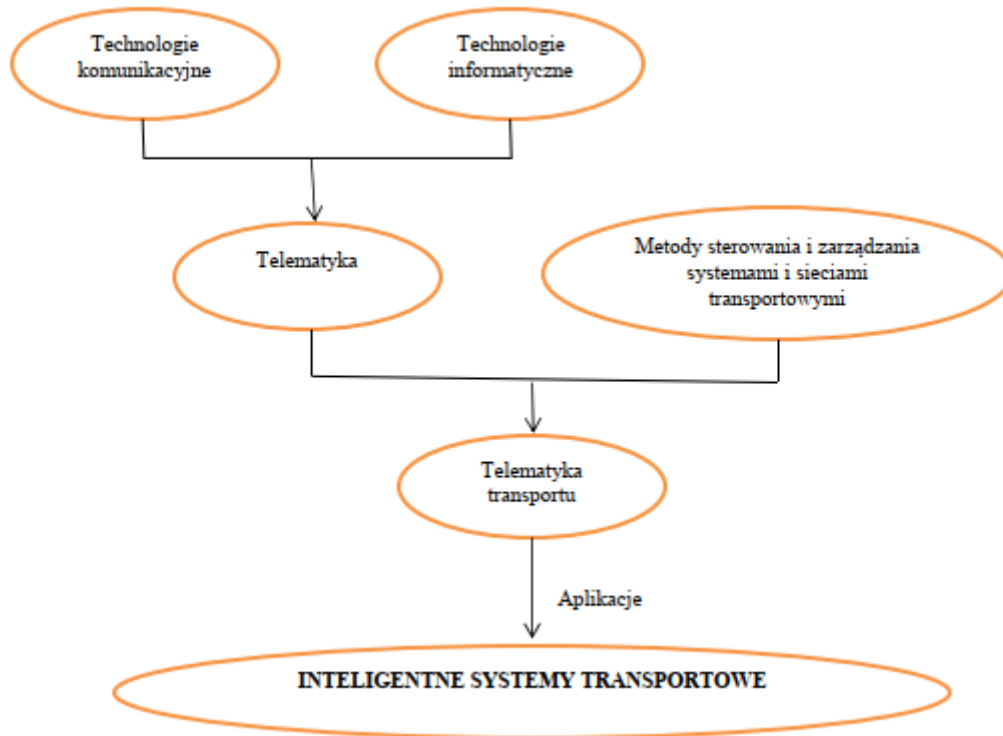
3.4. Inteligentne Systemy Transportowe

Na obszarach zurbanizowanych o znacznej gęstości infrastruktury drogowej rozwiązywanie problemów transportowych poprzez dalsze inwestowanie w infrastrukturę jest działaniem, które nie przynosi oczekiwanych efektów, ponieważ każda rezerwa przepustowości układów drogowych i ulicznych uzyskana wskutek rozbudowy infrastruktury, jest natychmiast wykorzystywana.

W tej sytuacji powstały nowe koncepcje rozwiązań, mających sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu społeczeństwa na transport. Jedną z nich są Inteligentne Systemy Transportu (ITS), które stanowią szeroki zbiór różnorodnych technologii stosowanych w transporcie w celu ochrony życia uczestników ruchu, zwiększenia efektywności systemu transportowego oraz ochrony zasobów środowiska naturalnego. Pozwalają również na lepsze informowanie różnych użytkowników ruchu drogowego oraz zapewniają bezpieczniejsze, bardziej skoordynowane i „inteligentniejsze” korzystanie z sieci transportowych.

ITS łączą w sobie telekomunikację oraz technologie informatyczne z inżynierią transportu w celu planowania, projektowania, obsługi, utrzymywania i zarządzania systemami transportu. Zastosowanie technologii informatycznych oraz komunikacyjnych w sektorze transportu drogowego i jego interfejsów z innymi rodzajami transportu przyczynia się do zwiększenia efektywności całego ekosystemu transportowego.

Stosowanie inteligentnych systemów transportowych niesie za sobą również korzyści w postaci szansy na widoczną poprawę bezpieczeństwa na drogach. Pozytywnym czynnikiem, wpływającym na bezpieczeństwo przejazdów jest stosowanie systemów pomiarowych. Systemy te mają za zadanie dostarczać informacje odnośnie aktualnej sytuacji na drogach. Najbardziej powszechnymi urządzeniami infrastruktury transportowej są zmienne tablice informacyjne, zawierające powiadomienia o stanie nawierzchni, warunkach atmosferycznych, temperaturze oraz występujących zagrożeniach. Obecnie bardzo popularne stało się również montowanie znaków drogowych zmiennej treści - w zależności od występujących okoliczności.



Rys. Składowe Inteligentnych Systemów Transportowych. Telematyka Transportu

Zarządzanie ruchem drogowym z wykorzystaniem ITS dzieli się na dwa podsystemy:

1. Zarządzanie ruchem ulicznym.
2. Zarządzanie ruchem na trasach szybkiego ruchu (DSR), który wykorzystuje systemy sterowania ruchem na węzłach, systemy zarządzania ruchem na odcinkach międzywęzłowych DSR i zarządzania ruchem w korytarzu DRS.

W zarządzaniu ruchem miejskim najczęściej stosuje się:

- systemy zarządzania ruchem w sieci ulic,
- systemy automatycznego nadzoru nad ruchem,
- systemy automatycznego pobierania opłat.

3.4.1. Systemy sterowania ruchem

Systemy sterowania ruchem, najczęściej wprowadzane w dużych aglomeracjach miejskich, mają za zadanie zapewnić sprawny ruch na odcinkach o dużej przepustowości. Składają się z sieci kamer, rozproszonych na danym terenie wraz z tzw. pętlami indukcyjnymi, zatopionymi w asfalcie (służącymi do liczenia przejeżdżających pojazdów i mierzenia natężenia ruchu na danym odcinku). Wszystkie zebrane dane przesyłane są do operatora, który na ich podstawie tworzy odpowiednie oprogramowanie. Oprogramowanie to przesyłane jest do urzędzenia, które między innymi, kieruje sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniach miast w taki sposób aby, nie narażać uczestników ruchu drogowego na utrudnienia. Oprócz tego system dodatkowo pełni rolę doradcy dla

kierowcy, informując go o obowiązujących ograniczeniach prędkości, aktualnych warunkach atmosferycznych oraz pokazując najlepszą drogą objazdu.

Systemy sterowania ruchem za pomocą sygnalizacji świetlnej, pozwalające na dostosowywanie jej parametrów do obciążenia ruchem w sieci ulic, mogą uwzględniać także priorytety dla pojazdów transportu zbiorowego lub pojazdów uprzywilejowanych. Nie należy zapominać o sterowaniu ruchem pieszym na przejściach przez ulicę (sygnalizacja wzbudzana przyciskiem lub automatyczna detekcja pieszego). Ponadto nowoczesna technika stosowana w zaawansowanych systemach zarządzania ruchem pozwala na monitoring stanu zanieczyszczenia powietrza w danym obszarze. W razie przekroczenia poziomu dopuszczalnego stężenia spalin lub w przypadku wyczerpywania limitu wolnych miejsc postojowych, możliwe jest zamknięcie danego obszaru dla ruchu indywidualnego. Istotnym aspektem zarządzania bezpieczeństwem ruchu jest nadzór prędkości i postępowania zgodnie z zasadami ruchu drogowego. Zastosowanie znajdują tutaj kamery nadzoru, identyfikujące kierowców łamiących przepisy.

System sterowania ruchem w złych warunkach atmosferycznych ma celu minimalizowanie wpływu tych warunków na ruch wzdłuż drogi szybkiego ruchu, poprzez informowanie o zaistniałych warunkach ruchu oraz dostosowanie do nich prędkości pojazdów. Ponadto szybkie wykrycie lub lokalne przewidzenie złych warunków atmosferycznych poprawia skuteczność i szybkość działania służb utrzymania drogi. Działanie systemu podzielić należy na dwa etapy - w pierwszym następuje wykrycie złych warunków meteorologicznych, w drugim sterowanie ruchem. Obecne techniki monitorowania stanu atmosfery oraz nawierzchni pozwalają na osiągnięcie wysokiej skuteczności i niezawodności dokonywanego pomiaru. Każda stacja monitoringu warunków meteorologicznych może mierzyć takie parametry stanu atmosfery, które pozwolą na wykrycie temperatury przy nawierzchni jezdni, temperatury i wilgotności powietrza, gołoledzi, mgły, silnych opadów deszczu i śniegu oraz silnych wiatrów.

3.5. Meteorologia drogowa a bezpieczeństwo ruchu

Celem stosowania systemów meteorologii drogowej jest minimalizacja ujemnego wpływu zjawisk pogodowych na warunki jazdy i bezpieczeństwo ruchu drogowego, a także optymalizacja działań związanych z profilaktyką zimową.

Do zadań systemów - meteorologii drogowej należy:

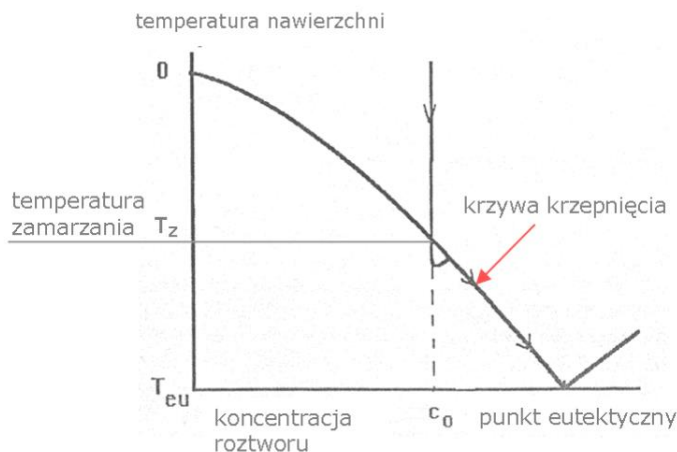
- informowanie o aktualnych warunkach pogodowych związanych ze stanem nawierzchni drogi i jej otoczenia,
- wczesne ostrzeżenie o możliwości wystąpienia gołoledzi lub innych zjawisk pogodowych, wpływających niekorzystnie na warunki jazdy i bezpieczeństwo ruchu drogowego,
- wspomaganie efektywnego planowania i optymalizacji działań utrzymania zimowego, przy wykorzystaniu zaawansowanych modeli prognozowania temperatury i stanu nawierzchni,
- sugerowanie działań o charakterze profilaktycznym oraz monitorowanie ich skuteczności.

3.5.1. Wpływ zjawisk pogodowych na bezpieczeństwo ruchu

Do niebezpiecznych zjawisk pogodowych, wywierających bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego, zaliczyć można:

- gołoledź,
- szadź,
- opad atmosferyczny,
- ograniczoną widoczność,
- intensywne podmuchy wiatru,
- a także lokalne anomalie pogodowe, rozumiane jako raptowne zmiany warunków pogodowych o zasięgu lokalnym, bardzo niebezpieczne dla ruchu drogowego.

Pojawienie się szadzi lub gołoledzi prowadzi do znacznego wydłużenia drogi hamowania pojazdu, na skutek zmniejszenia współczynnika tarcia opon samochodu o nawierzchnię jezdni. Zjawiska te powodują gwałtowne zmniejszenie bezpieczeństwa jazdy i prowadzą do zwiększenia liczby kolizji i wypadków drogowych. Powodem powstawania gołoledzi jest wytrącanie się kryształków lodu z mieszaniny wody, środka chemicznego odladzającego i innych zanieczyszczeń pokrywających nawierzchnię jezdni, pod wpływem obniżania się jej temperatury. Powodem osadzania się szadzi jest kondensacja pary wodnej na zimnej nawierzchni drogi w warunkach zrównania się temperatury powietrza z temperaturą punktu rosy. Przeciwdziałanie niebezpiecznym skutkom tych zjawisk polega zwykle na pokrywaniu nawierzchni drogi warstwą soli lub jej wodnego roztworu, co prowadzi do obniżenia temperatury zamarzania, a więc do czasowego oddalenia niebezpieczeństwa gołoledzi.



Rys. 1. Krzywa krzepnięcia roztworu środka chemicznego pokrywającego nawierzchnię jezdni

Zjawisko powstawania gołoledzi, rozumiane jako proces formowania lodu na nawierzchni drogi, jest zjawiskiem złożonym i trwającym w czasie. Czas ten zależy przede wszystkim od szybkości zmian temperatury nawierzchni. Gwałtowne stygnięcie nawierzchni zdecydowanie przyspiesza powstawanie gołoledzi. Szczegółowa analiza zjawiska pozwala jednak zauważyć, że obniżanie się temperatury nawierzchni poniżej wartości T_z , prowadzi do

chwilowego zwiększenia stężenia roztworu, na skutek tego, że w początkowej fazie zjawiska z roztworu wytrącają się kryształki lodu formowane z czystej chemicznie wody. W rezultacie objętość wody w roztworze ulega zmniejszeniu, co prowadzi do stopniowego zwiększania stężenia roztworu. Zjawisko to, tzw. *undercooling*, przebiega do chwili całkowitego wykrystalizowania się lodu, formowanego w końcowej fazie procesu także z tej części roztworu, która zawiera środek chemiczny. W konsekwencji zjawisko gołoledzi powstaje nieco później niż moment osiągnięcia temperatury T_z . Przyjęcie T_z za wartość temperatury zamrażania wydaje się jednak rozwiązaniem optymalnym, pozwalającym na kontrolowanie przebiegu zjawiska.

Moment przejścia temperatury nawierzchni przez zero nie powinien być uznawany za wyznacznik niebezpieczeństwa gołoledzi. Dlatego efektywne wykorzystanie systemów meteorologii drogowej zależy nie tylko od znajomości wartości temperatury nawierzchni, ale w sposób niezwykle istotny - także od umiejętności właściwej oceny stanu nawierzchni oraz możliwości zapewnienia ciągłości monitorowania ilości i koncentracji środków chemicznych odladzających, stosowanych w profilaktyce zimowej.

Opad atmosferyczny wpływa na zmniejszenie bezpieczeństwa jazdy poprzez ograniczenie widoczności drogi oraz redukcję ogólnej percepcji kierowców. Intensywne opady powodują zmniejszenie przyczepności kół pojazdu do mokrego podłoża oraz powstawanie strug wody tryskających spod kół pojazdów, co jest szczególnie niebezpieczne na nawierzchniach skoleinowanych. W warunkach zimowych, opad atmosferyczny powoduje bezpośrednie zagrożenie gołoledzią, a także zmniejsza skuteczność stosowanej profilaktyki zimowej, w efekcie wypukiwania środków chemicznych odladzających, pokrywających nawierzchnię jezdni.

Częstą przyczyną ograniczenia widoczności jest zjawisko mgły, tym niebezpieczniejsze, im ograniczone swym zasięgiem do lokalnych odcinków dróg, przebiegających najczęściej w sąsiedztwie rzek lub zbiorników wodnych.

Gwałtowne podmuchy wiatru, szczególnie z kierunków bocznych do kierunku jazdy, utrudniają kierowanie pojazdem i mogą prowadzić do utraty kontroli nad samochodem, stwarzając zagrożenie dla prowadzącego pojazd, a także dla innych uczestników ruchu.

3.5.2. Klasyfikacja regionalnych kompleksów pogodowych a bezpieczeństwo ruchu drogowego

Do wyróżnienia kompleksów pogodowych o określonym wpływie na warunki jazdy – korzystnych, niekorzystnych i niebezpiecznych – wzięto pod uwagę współwystępowanie i współdziałanie poszczególnych elementów i zjawisk meteorologicznych w sezonie wiosenno–letnim i jesienno–zimowym.

Podstawą wydzielenia tych kompleksów stało się ich bezpośrednie oddziaływanie na warunki jazdy. Dodatkowe kryterium stanowi temperatura powietrza (średnia dobową temperaturę powietrza, temperaturę minimalną i maksymalną), widzialność pozioma, także występowanie opadu (rodzaj opadu, liczba dni z opadem 10 mm/dobę), wiatru o określonych prędkościach oraz prawdopodobieństwo pojawienia się niekorzystnych zjawisk atmosferycznych (mgła, gołoledź, burza).

Klasyfikacja kompleksów pogodowych:

A – zespół kompleksów kształtujący bezpieczne warunki poruszania się po drogach, bez konieczności wzmożenia koncentracji uwagi (stały, dobry stan nawierzchni)

A1 – optymalne warunki termiczne, brak zjawisk wpływających niekorzystnie na podróż

A2 – korzystne warunki termiczne, brak zjawisk wpływających niekorzystnie na podróż

B – zespół kompleksów pogodowych kształtujący uciążliwe warunki na drodze (częsta zmiana warunków jazdy ze względu na występowanie określonych zjawisk pogodowych)

B1 – korzystne warunki termiczne, możliwość wystąpienia opadów

B2 – korzystne warunki termiczne, występowanie zjawisk wpływających niekorzystnie na warunki jazdy (burze, gołoledź)

B3 – półrocze ciepłe: korzystne warunki termiczne, występowanie mgieł; półrocze chłodne: niekorzystne warunki termiczne (duże amplitudy dobowe), opady

C – zespół kompleksów kształtujący niebezpieczne dla kierowców warunki jazdy

C1 – stosunkowo korzystne warunki termiczne, występowanie zjawisk wpływających niekorzystnie na warunki jazdy (mgły, burze)

C2 – półrocze ciepłe: dni gorące, parne, wpływające niekorzystnie na samopoczucie i koncentrację kierowców; półrocze chłodne: stałe warunki termiczne, występowanie niebezpiecznych dla kierowców zjawisk pogodowych (mgła, gołoledź, porywy wiatru)

C3 – niekorzystne warunki termiczne, występowanie niebezpiecznych dla kierowców zjawisk pogodowych (mgła, gołoledź, porywy wiatru)

Tab. 1. Charakterystyka kompleksów pogodowych w sezonie wiosenno- letnim

kryterium	A		B			C		
	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3
średnia dobowa temperatura	>15°C	10 - 15°C	↑ 10°C	↑ 10°C	>15°C	5-15°C	>15°C	<5°C
temperatura min.	-	-	-	-	-	-	-	<0°C
temperatura maks.	<25°C	<25°C	<25°C	<0°C	<25°C	<25°C	↑ 25°C	>0°C
opad	r<10 mm	r<10 mm	r<10 mm	r↑ 10mm	-	deszcz		mieszany
prędkość wiatru	<4 ms ⁻¹	<4 ms ⁻¹	<7 ms ⁻¹	<7 ms ⁻¹	0-4 ms ⁻¹	↑ 4 ms ⁻¹	0 ms ⁻¹	↑ 10 ms ⁻¹
widzialność	>20 km	>20 km	1-20 km	<4 km	<1 km	<1 km	-	<1 km
inne zjawiska	brak	brak	brak	burze	wilgotna jezdnia	burze	-	-

Tab. 2. Charakterystyka kompleksów pogodowych w sezonie jesienno-zimowym

kryterium	A		B			C		
	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3
średnia dobowa temperatura	>0°C	<0°C	>0°C	<0°C	>0°C	>0°C	<0°C	>0°C
temperatura min.	>0°C	-	>0°C	-	<0°C	>0°C	-	<0°C
temperatura maks.	-	<0°C	-	<0°C	-	-	<0°C	-
opad	brak	brak	deszcz	śnieg	mieszany	deszcz	śnieg	mieszany
prędkość wiatru	<4 ms ⁻¹	<4 ms ⁻¹	<4 ms ⁻¹	<4 ms ⁻¹	<4 ms ⁻¹	<4 ms ⁻¹	≥ 4 ms ⁻¹	<4 ms ⁻¹
widzialność	>10 km	>10 km	1-10 km	1-10 km	1-10 km	<1 km	<1 km	<1 km
inne zjawiska	brak	brak	brak	goleleź	-	-	goleleź	szron

3.6. Systemy drogowej informacji pogodowej RWIS (ang. Road Weather Information System)

Systemy drogowej informacji pogodowej RWIS (ang. *Road Weather Information System*) wykorzystywane są zarówno do wspomagania decyzji podejmowanych w zakresie działań związanych z utrzymaniem dróg jak i dostarczania informacji do systemów sterowania ruchem drogowym oraz informowania użytkowników sieci transportowej. RWIS stanowią złożone struktury wyposażone w czujniki i urządzenia rejestrujące parametry meteorologiczne, systemy transmisji danych, urządzenia służące do przetwarzania oraz przechowywania informacji a także systemy generowania drogowych prognoz i alarmów pogodowych.

System RWIS zawiera trzy zasadnicze komponenty:

- czujniki stacjonarne/mobilne do pomiaru poszczególnych parametrów meteorologicznych,
- modele i inne zaawansowane systemy przetwarzania do generowania predykcji pogodowej i przekazywania informacji,
- platformy udostępniania informacji.

Dodatkowo, w odniesieniu do zagadnienia predykcji warunków pogodowych, wyspecyfikowano dwa horyzonty czasowe prognozy: predykcję krótkoterminową (do 4 godzin) oraz długoterminową (do tygodnia).

Przedmiotem prognozy krótkoterminowej jest temperatura powietrza oraz nawierzchni, zachmurzenie, opad, kierunek i prędkość wiatru oraz stan nawierzchni dla obszarów sieci o zróżnicowanej charakterystyce zmienności warunków pogodowych (autostrady, mosty, odcinki zacienione).

Ze względu na złożoność zjawisk zachodzących w obszarze nawierzchni drogi w poszczególnych lokalizacjach, jak i szeregu czynników oddziałujących na zmiany temperatury nawierzchni, klasyczne modele przewidywania pogody nie znajdują bezpośredniego zastosowania do predykcji warunków panujących na nawierzchni drogi. Bazują one bowiem na wynikach pomiarów realizowanych punktowo w miejscach zazwyczaj znacznie odległych od sieci drogowej (stacjach meteorologicznych, masztach pomiarowych) i niekoniecznie odwzorowują zjawiska zachodzące na powierzchni drogi.

3.6.1. Systemy meteorologii drogowej o zasięgu lokalnym

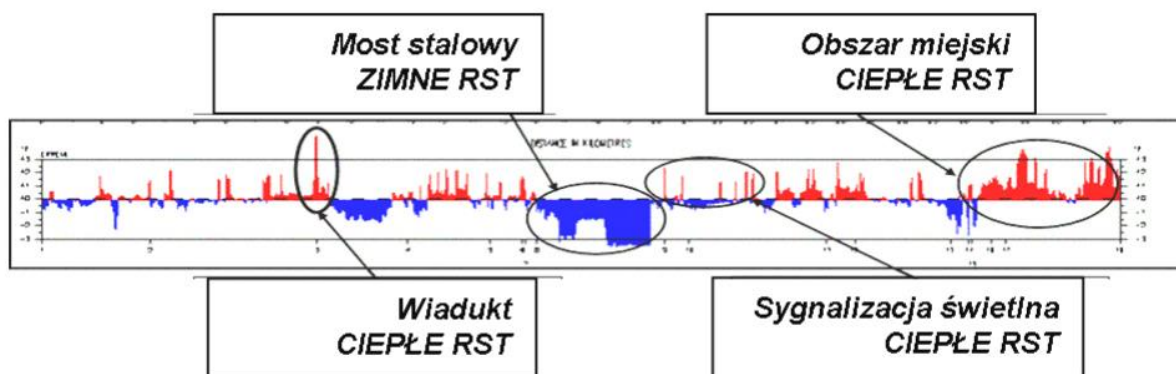
Instalowane przy drogach elektroniczne tablice pomiaru temperatur nawierzchni i powietrza w żadnym wypadku nie powinny być uznawane za środki poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Informowanie kierowców o temperaturach jezdni i powietrza jest działaniem daleko niewystarczającym dla utrzymania bezpieczeństwa ruchu, a przez to nieskutecznym środkiem jego poprawy. Niebezpieczne skutki może spowodować przerzucanie na kierujących pojazdami decyzji o dostosowaniu prędkości pojazdów do warunków jazdy, bazując wyłącznie na informacji o wartości temperatur jezdni i powietrza. Złożoność zjawisk meteorologicznych, a przede wszystkim zmienność przestrzenna charakterystyki termicznej nawierzchni powodują, że powstające w opinii kierujących oceny warunków jazdy mogą okazać się bardzo mylące.

Temperatura nawierzchni w wybranym punkcie drogi podlega nieustannym wahaniom. Zmiany te wynikają ze stopnia nasłonecznienia nawierzchni, a więc od pory doby, pory roku, stanu zachmurzenia, siły i kierunku wiatru, opadu atmosferycznego, a także natężenia ruchu kołowego.

Na wartość temperatury nawierzchni w wybranym punkcie drogi wpływ wywierają również czynniki geofizyczne, takie jak: położenie geograficzne, topografia terenu, sąsiedztwo budynków, drzew, krzewów oraz innych obiektów, stanowiących barierę dla promieniowania cieplnego, sąsiedztwo rzek i zbiorników wodnych.

Oczywista zmienność czynników geofizycznych wzdłuż przebiegu drogi powoduje, że wahania temperatury nawierzchni wykazują charakter przestrzenny, a ich amplituda może w specyficznych warunkach pogodowych osiągać nawet kilkanaście stopni Celsjusza na 20-30 kilometrowym odcinku sieci drogowej.

Na rysunku pokazano przykładową charakterystykę termiczną nawierzchni drogi, uzyskaną w wyniku liniowych pomiarów temperatury nawierzchni. Kolorem czerwonym oznaczono wartości temperatur powyżej średniej uzyskanej dla ruty pomiarowej, kolorem niebieskim – wartości temperatur poniżej średniej.



Rys. 2. Przykład charakterystyki termicznej nawierzchni drogi

Wspomniane powyżej czynniki powodują występowanie odcinków sieci drogowej szczególnie podatnych na zjawisko gołoledzi (odcinki „zimne”), ale także występowanie odcinków „ciepłych”, w których w identycznych warunkach pogodowych, zagrożenie gołoledzią ma charakter drugorzędny lub nawet marginalny. Znajomość

charakterystyki termicznej nawierzchni prowadzić więc może do istotnego zwiększenia efektywności logistyki profilaktyki zimowej, a w efekcie - do podniesienia poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Identyfikacja i klasyfikacja odcinków dróg o różnych właściwościach termicznych nie jest jednak możliwa bez wykonania odpowiednich pomiarów oraz opracowania map termicznych nawierzchni.

Współczesna profilaktyka zimowa polega na wczesnym reagowaniu na możliwość wystąpienia zagrożeń pogodowych, dostosowaniu funkcjonowania urządzeń bezpieczeństwa ruchu do zmieniającej się sytuacji pogodowej oraz szybkim podejmowaniu działań profilaktycznych o sugerowanej logistyce. Działania te przynieść mogą znaczną redukcję kosztów utrzymania zimowego, wzrost bezpieczeństwa ruchu i utrzymanie drożności szlaków komunikacyjnych, a w konsekwencji zmniejszenie kosztów związanych z likwidacją kolizji i wypadków drogowych oraz kosztów wynikających z opóźnień w przewozach ładunków i osób, a także istotne ograniczenie dewastacji środowiska naturalnego.

Do monitorowania warunków pogodowych wykorzystywane są czujniki stanu nawierzchni, czujniki opadu atmosferycznego oraz czujniki widoczności. Do oddziaływania na ruch drogowy wykorzystywane są elektroniczne znaki zmiennej treści, przeznaczone do dynamicznego ograniczania prędkości oraz ostrzegania kierowców o niebezpiecznych warunkach jazdy.

Tabela. Przykładowy algorytm dynamicznego ograniczania prędkości jazdy

Pora doby	Widoczność	Stan opadu	Stan nawierzchni	Ograniczenie prędkości
noc	powyżej 300 m	brak opadu, lekki opad, umiarkowany opad	brak zagrożeń	90
dzień				70
dzień/noc	pomiędzy 100 i 300 m	dowolny	brak zagrożeń lub ostrzeżenie o śliskiej nawierzchni	50
	powyżej 100 m	ulewa lub śnieżyca		
		dowolny	dowolny	alarm śliskiej nawierzchni
	poniżej 100 m	dowolny	dowolny	

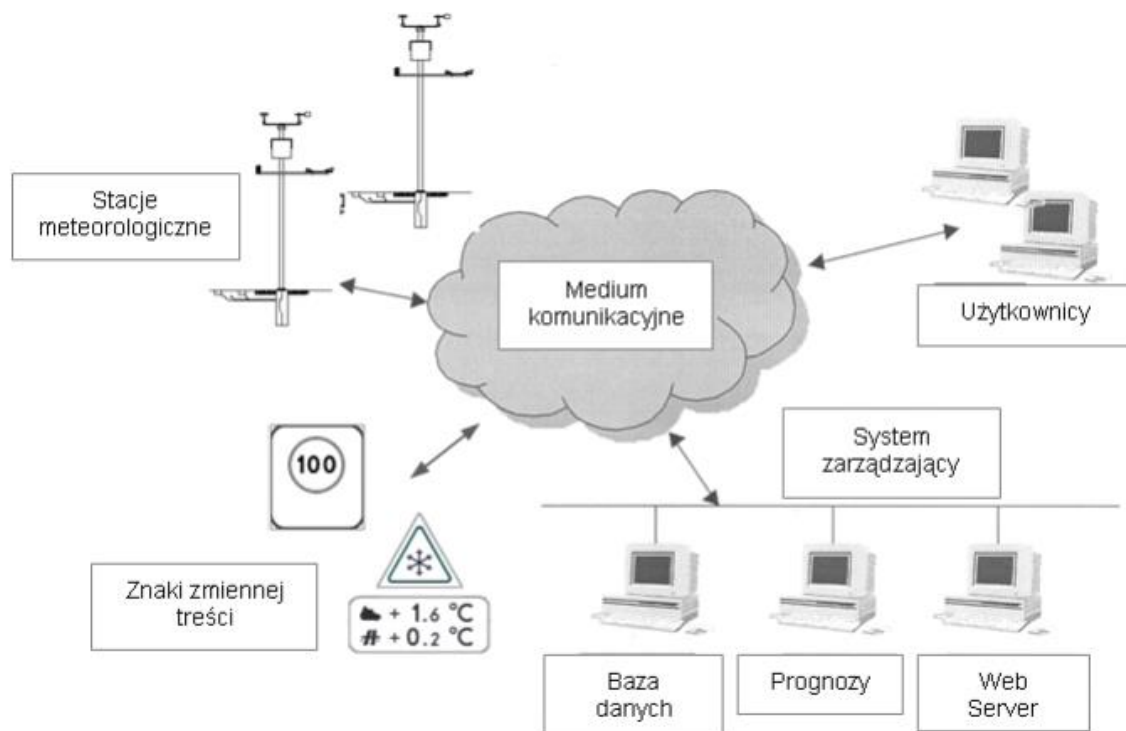
Tabela zawiera algorytm wyboru ograniczenia prędkości w zależności od warunków pogodowych, jako przykład zastosowania efektywnego środka poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego o oddziaływaniu lokalnym. W warstwie pomiarowej system powinien wykorzystywać bezinwazyjny, optyczny czujnik stanu nawierzchni oraz czujnik widoczności.

Lokalne systemy meteorologii drogowej winny być ukierunkowane na potrzebę zwiększenia bezpieczeństwa ruchu w miejscach szczególnie narażonych na oddziaływanie niebezpiecznych zjawisk pogodowych. Lokalizacja tego typu systemów powinna wynikać z charakterystyki termicznej nawierzchni, powiązanej z lokalnymi uwarunkowaniami istniejącej sieci drogowej, z uwzględnieniem niebezpiecznych łuków, skrzyżowań lub innych miejsc o niekorzystnej statystyce kolizji i wypadków drogowych. Podstawowym zadaniem tego typu systemów

winno być, poza ostrzeganiem kierujących o możliwych ograniczeniach bezpieczeństwa jazdy, także dynamiczne dostosowanie ograniczenia prędkości do warunków pogodowych.

3.6.2. Systemy meteorologii drogowej o zasięgu regionalnym

Zadaniem systemów osłony meteorologicznej jest całoroczne wspomaganie procesu utrzymania bezpieczeństwa ruchu na autostradach, drogach szybkiego ruchu oraz pozostałych obszarach sieci drogowej w aspekcie regionalnym, ze szczególnym ukierunkowaniem na kompleksowe wspomaganie profilaktyki zimowej. Często systemy meteorologii drogowej wykorzystywane są jako elementy zintegrowanych systemów zarządzania ruchem, jako platforma monitorowania warunków pogodowych oraz wydajne narzędzie ostrzegania i prognozowania niebezpiecznych zjawisk pogodowych.



Rys. 3. Architektura systemu regionalnej osłony meteorologicznej.

Drogowe stacje meteorologiczne wykorzystywane do prognozowania temperatury i stanu nawierzchni, lokalizowane są na odcinkach sieci drogowej charakteryzujących się stabilnym profilem termicznym. System korzysta także z danych pozyskiwanych ze stacji meteorologicznych, lokalizowanych w strefach szczególnie narażonych na niebezpieczeństwo gołoledzi. Drogowe stacje meteorologiczne dokonują bieżącej oceny stanu nawierzchni, pomiaru temperatury nawierzchni i podłoża, ilości i koncentracji roztworu środków chemicznych odladzających, temperatury i wilgotności powietrza, pomiaru intensywności i klasyfikacji opadu atmosferycznego oraz siły i kierunku wiatru. Uzupełnieniem bazy pomiarowej są czujniki widoczności. Stacje meteorologiczne dostarczają do systemu zarządzającego komplet danych pomiarowych oraz ostrzeżeń pogodowych, przy

wykorzystaniu dostępnych technologii komunikacyjnych, najczęściej łączności radiowej GPRS lub łączy światłowodowych.

Systemy zarządzające odpowiedzialne są za komunikację ze stacjami pomiarowymi, archiwizację danych pomiarowych oraz ich przetwarzanie, głównie w aspekcie prognozowania temperatury i stanu nawierzchni. Prognozy punktowe, wykonywane dla lokalizacji stacji meteorologicznych są następnie ekstrapolowane na całą sieć drogową, przy wykorzystaniu uprzednio opracowanych map termicznych. Prognozy realizowane są z wykorzystaniem modeli prognozowania, opierających zasadę działania na bilansie energetycznym nawierzchni. Do prognozowania długoterminowego konieczne jest zaopatrzenie systemu w prognozy numeryczne takich parametrów meteorologicznych jak: temperatura powietrza, temperatura punktu rosy, stan zachmurzenia, siła i kierunek wiatru. Prognozy te dostarczane są automatycznie przez biura prognoz meteorologicznych.

System zarządzający, na podstawie znajomości aktualnych i prognozowanych warunków pogodowych, jest w stanie samodzielnie podejmować decyzje o zmianie wyświetlanych informacji na znakach zmiennej treści, w szczególności na znakach ograniczenia prędkości, przekazywaniu kierowcom treści informacyjnych za pomocą znaków drogowych ostrzegawczych lub paneli alfanumerycznych, umożliwiających wyświetlanie komunikatów tekstowych.

Odbiorcą informacji pogodowej są także media, policja, służby ratownicze oraz potencjalni użytkownicy dróg, korzystający z sieci Internet. Szczególną kategorią odbiorców informacji pogodowej są służby odpowiedzialne za utrzymanie sieci drogowej, szczególnie w warunkach zimowych. Przetworzona informacja pogodowa pozwala na błyskawiczne podejmowanie decyzji związanych z prowadzeniem profilaktyki zimowej, a wysoka automatyzacja procesów prowadzić może do znacznego usprawnienia procesów logistycznych, a w ich następstwie - do utrzymania bezpieczeństwa ruchu i przejezdności szlaków komunikacyjnych, przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów utrzymania sieci drogowej.

Możliwości współczesnej meteorologii drogowej pozwalają na wdrażanie efektywnych środków poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Działania te podejmowane być mogą zarówno na szczeblu lokalnym, jak i centralnym lub regionalnym. W każdym przypadku wdrażanie systemów meteorologii drogowej winno zostać poprzedzone szczegółową analizą oczekiwanego efektywności w zakresie możliwej do osiągnięcia poprawy poziomu bezpieczeństwa ruchu, z uwzględnieniem ekonomicznych aspektów opłacalności inwestycji. Analizy te winny także brać pod uwagę możliwość wzrostu natężenia ruchu, jako zjawiska implikującego często potrzebę stosowania rozwiązań o charakterze zintegrowanym, łączących w sobie zagadnienia osłony meteorologicznej z problematyką zarządzania ruchem. Niezależnie od skali oddziaływania projektowanych systemów, ich możliwa do osiągnięcia efektywność zależeć będzie zawsze od staranności opracowania materiału projektowego oraz jakości zastosowanych urządzeń i rozwiązań systemowych, a także bez wątpienia od umiejętności identyfikacji potrzeb, możliwości i korzyści wynikających z wdrażanych systemów przez ich przyszłych użytkowników.

3.7. Inteligentne przejście dla pieszych – podstawowe wymagania

Oświetlenie drogowe jest jednym z podstawowych środków zwiększających bezpieczeństwo i wygodę poruszania się wszystkich uczestników ruchu. Szczególne wymagania oświetleniowe powinny dotyczyć miejsc o podwyższonym ryzyku wystąpienia wypadku czy kolizji. Zwykle są to skrzyżowania ruchu samochodowego z ruchem pieszych. Niestety, obowiązujące obecnie normy nie przedstawiają jednoznacznych zaleceń, jak należy oświetlić przejście dla pieszych. Poziom bezpieczeństwa pieszych można zwiększyć znacząco dzięki technologii. Przykładem takiego rozwiązania jest inteligentne przejście dla pieszych.

W odróżnieniu od przejść klasycznych, inteligentne przejście dla pieszych posiada zsynchronizowane ze sobą, pulsujące światła poziome oraz pionowe, które zwiększają widoczność pieszego znajdującego się na przejściu. Może być on widoczny nawet z odległości 800 m co jest niemożliwe w przypadku przejść klasycznych, zwłaszcza podczas trudnych warunków występujących na drodze (deszcz, śnieg czy zmrok).

Pieszy jest identyfikowany podczas zbliżania się do przejścia w czasie rzeczywistym, a po zejściu pieszego z jezdni inteligentny system wyłącza światło ostrzegawcze. Umożliwia to szybszą reakcję kierowcy, który lepiej reaguje na bodziec występujący w danej chwili niż na stale nadawany sygnał ostrzegawczy stosowany przy klasycznych przejściach.

Inteligentne przejścia dla pieszych powinny być projektowane w sposób kompleksowy – wybranie pojedynczych elementów (np. markerów świetlnych) nie wystarczy, aby w pełni zapewnić bezpieczeństwo uczestnikom ruchu. Wyniki analiz potwierdzają, że należy oświetlone przejścia dla pieszych nie tylko może zmniejszyć liczbę ofiar śmiertelnych, lecz przede wszystkim przyczyni się do zmniejszenia ryzyka potrażeń poprzez wyeliminowanie ich przyczyny.

Wyróżnia ona dwa czynniki mające kluczowy wpływ na poprawę bezpieczeństwa na przejściach. Są to możliwość dostrzeżenia przez kierowców samego przejścia oraz osób znajdujących się przed i na przejściu oraz właściwe zachowanie się pieszych w tych strefach.

Z perspektywy kierowcy istotna jest umiejętność szybkiego zidentyfikowania pieszego na jezdni. należy zapewnić kierowcom zbliżającym się do przejścia i następnie to przejście mijającym, odpowiednie warunki adaptacji wzroku do zmiennych warunków oświetleniowych. Stąd dla poprawy bezpieczeństwa ruchu korzystne jest oświetlanie nie tylko strefy samego przejścia, ale również stref jezdni przed i za przejściem. Rozpoznaniu przejścia sprzyja także zróżnicowanie barwy światła z lamp oświetlających strefę przejścia oraz lamp oświetlających drogę.

Jednym z najczęściej powtarzających się błędów przy projektowaniu oświetlenia przejścia dla pieszych jest umieszczenie oprawy oświetleniowej nad osią przejścia. W konsekwencji wyeksponowana jest sama strefa przejścia, gdy tymczasem pieszy wciąż nie jest wystarczająco widoczny.

Przy takim montażu opraw natężenie oświetlenia w płaszczyźnie pionowej, decydującej o uwidocznieniu sylwetki pieszych, jest praktycznie zerowe dla obu kierunków ruchu pojazdów, a więc przechodzień dla kierowcy jest praktycznie niewidoczny, dobrze widoczne jest jedynie samo przejście.

Poprawne rozwiązanie, a więc uzyskanie pozytywnego obrazu pieszego jest możliwe przy wykorzystaniu opraw o asymetrycznym rozsyłe strumienia świetlnego, umieszczonych przed przejściem, z każdego kierunku jazdy. Wszystkie dodatkowe instalacje jak sygnalizacja zintegrowana z uliczną czy też ta, która rozpoznaje zbliżającego się pieszego, są ważne, ale nie mogą zastąpić poprawnego doświetlenia strefy przejścia przez jezdnię

4. Analiza algorytmów

Niniejsze rozważania skupiają się na realizacji algorytmów:

- wykrywania anomalii w danych (z sensorów) przesyłanych na bieżąco i podejmowanie działań, a w konsekwencji zmiany zapotrzebowania na energię elektryczną,
- prognozowania zużycia energii w czasie, w całym ekosystemie, na bazie historii zużycia energii elektrycznej,
- prognozowania zapotrzebowania zużycia energii w czasie na bazie prognoz pogody,
- prognozowania zapotrzebowania zużycia energii w czasie na bazie prognoz powstałych z analizy historycznych danych sensorycznych,
- optymalizacji zużycia energii elektrycznej opartej na zmieniającym się poziomie naładowania akumulatora oraz posiadanych predykcji w zakresie jego planowanego ładowania i rozładowania,
- optymalizacji względem wag poszczególnych funkcjonalności i ich konsumpcji energii elektrycznej, innymi słowy bilans zysków i strat.

Metodologie wykorzystywane w ogólnie pojętej sztucznej inteligencji, takie jak maszyna wektorów nośnych, algorytmy przypadkowego lasu czy sieci neuronowe dostarczają prognozy oparte na „uczących się” modelach. Zbieranie danych dotyczących zużycia energii, przetwarzanie danych z uwzględnieniem brakujących wartości i wyszukiwanie anomalii to kluczowe kroki poprzedzające stworzenie modelu bazującego na algorytmach uczenia maszynowego.

Do dnia dzisiejszego powstało wiele metod opartych na różnych podejściach, spośród których można wyróżnić metody i modele analizy szeregów czasowych takie jak: metody naiwne, metody średniej ruchomej, metody wygładzania wykładniczego, modele tendencji rozwojowej, modele składowej periodycznej, modele autoregresji i średniej ruchomej oraz metody oparte na teorii chaosu deterministycznego. Wraz z dynamicznym rozwojem mocy i szybkości komputerów, skupiono uwagę na metodach wykorzystujących szeroko pojęte algorytmy sztucznej inteligencji, jak na przykład: logika rozmyta, sztuczne sieci neuronowe, k-najbliższych sąsiadów, drzewa regresyjne, lasy losowe, maszyny wektorów wspierających, algorytmy ewolucyjne, systemy ekspertowe, sztuczne systemy immunologiczne, systemy rojowe PSO.

4.1. Zasada optymalizacji algorytmów

Algorytmy muszą prognozować, bilansować oraz optymalizować zużycie energii pod kątem operacyjności i nieprzerwanego działania komponentów systemu zgodnie z wyznaczonymi priorytetami. Wynikiem rozważań są

również sugestie dla dokonywania wyborów między opłacalnością dokonywania optymalizacji i jej kosztem, a wykorzystaniem tej energii na docelowe wykorzystanie końcowe.

4.2. Klasyfikacja procesu prognozowania ze względu na różne kryteria

Prognozowanie jest naukową metodą przewidywania tego, w jaki sposób będą kształtowały się w przyszłości procesy lub zdarzenia. Na kształtowanie się procesów lub zjawisk mają wpływ różne czynniki, które można podzielić na:

- czynniki zewnętrzne (egzogeniczne), na które nie ma się wpływu, a które należy uwzględnić w trakcie prognozowania jako pewne zewnętrzne ograniczenia przebiegu zjawisk i procesów gospodarczych (np. warunki pogodowe, pora dnia),
- czynniki wewnętrzne (endogeniczne).

Złożoność problematyki prognostycznej implikuje podział i klasyfikację stosowanych metod ze względu na:

- ziarnistość danych,
- rozmiar badanego systemu elektroenergetycznego,
- horyzont czasowy prognozy,
- metody i algorytmy predykcji.

4.2.1. Ziarnistość danych

Wyróżnić tu można przede wszystkim zapotrzebowanie minutowe, godzinowe, dobowe, tygodniowe, miesięczne oraz roczne.

4.2.2. Rozmiar badanego systemu

Rozmiar badanego systemu może zmieniać się w szerokich granicach. Biorąc pod uwagę spójny obszar można wyselekcjonować dla niego szereg wielkości opisujących jego dynamikę, strukturę oraz zmienność, a bazując na tych relacjach określić prognozowanie dla różnych wielkości systemów lub ekosystemów:

- pojedynczy system,
- redundany system,
- grupa lokalna systemów,
- grupa globalna systemów.

4.2.3. Horyzont czasowy prognozy

Prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną, można rozpatrywać w kilku różnych horyzontach czasowych:

- prognoza ultrakrótkoterminowa (od kilku sekund do jednej godziny naprzód),
- prognoza krótkoterminowa (do kilkudziesięciu godzin naprzód),
- prognoza średnioterminowa (od kilku do kilkudziesięciu dni naprzód),

- prognoza długoterminowa (od kilku miesięcy do kilkunastu lat naprzód).

Przyjęta klasyfikacja horyzontów prognoz, szczególnie w odniesieniu do prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną, może się różnić w zależności od zastosowań prognozy lub ich wzajemnego uzupełniania się. Najczęściej prognozy ultrakrótkoterminowe są wykorzystywane do sterowania zużyciem, magazynowaniem i agregowaniem energii w celu dokonania bilansu energetycznego. Prognozy krótkoterminowe wykorzystywane są do planowania pracy źródła energii i systemu, który z niego korzysta. Planowanie prac eksploatacyjnych i remontowych w systemie (np. okna serwisowe) jest zwykle oparte na prognozach średnioterminowych. Natomiast prognozy długoterminowe są najczęściej podstawą do planowania rozwoju systemów energetycznych.

4.2.4. Metody i algorytmy predykcji

Niniejszemu zagadnieniu został poświęcony oddzielny podrozdział, skrótowo przedstawiający metody i algorytmy wykorzystywane w prognozowaniu zapotrzebowania na energię elektryczną.

4.3. Metody i algorytmy wykorzystywane w prognozowaniu

Warto podkreślić, iż w literaturze występuje wiele przejrzystych opracowań stworzonych przez polskich badaczy, dotyczących właściwości oraz przydatności metod szeroko pojętej sztucznej inteligencji w różnych zastosowaniach, które posiadają bezpośrednie przełożenie tytułowym zagadnieniu (por. np. [Pawlak i in., 1995], [Polkowski i in., 1998], [Cios i in., 1998], [Grzegorzewski i Hryniewicz, 2000], [Kłopotek, 2001], [Michalewicz i Fogel, 2004], [Duch i in., 2004], [Nalepa i Ligęza, 2005], [Zadrozny i Nowacka, 2009], [Czarnowski i Jędrzejowicz, 2015])

4.3.1. Metody naiwne

Do najprostszych metod prognozowania godzinowego zapotrzebowania na energię elektryczną zaliczyć należy modele naiwne. Naiwna reguła prognostyczna jest następującej postaci: za prognozę wartości zmiennej będącej w fazie g cyklu j , przyjmuje się wartość tej zmiennej w tej samej fazie cyklu $j-1$. W przypadku gdy szereg czasowy zapotrzebowania wykazuje wahania dobowe i tygodniowe, reguła przyjmuje postać:

- prognozowane zapotrzebowanie w chwili g doby j przyjmuje wartość zapotrzebowania w chwili g doby $j-1$ lub
- zapotrzebowania w chwili t doby $j-7$.

Pierwsza reguła jest odpowiednia dla przypadków, gdy przebiegi dla sąsiednich dni są zbliżone, natomiast gdy nie można przyjąć takiego założenia, stosuje się drugą z wyróżnionych reguł.

4.3.2. Modele autoregresji i średniej ruchomej

Modele ARIMA(p,d,q), czyli procesy autoregresji i średniej ruchomej, są bardzo ogólną klasą szeregów czasowych. Ich budowa oparta jest na zjawisku autokorelacji. Mogą być one stosowane do modelowania stacjonarnych

szeregów czasowych lub szeregów niestacjonarnych sprowadzalnych do stacjonarnych. Wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje modeli tej klasy:

- modele autoregresji (AR),
- modele średniej ruchomej (MA),
- modele mieszane autoregresji i średniej ruchomej (ARMA). Symbol „I” użyty w nazwie modelu wskazuje, że szereg czasowy poddany został operacji różnicowania. Do zapisu postaci modelu ARIMA używa się uniwersalnej notacji określającej rząd poszczególnych składowych modelu (autoregresji – p , różnicowania – d , średniej ruchomej – q).

Wahania okresowe występujące w szeregu też stanowią pewien rodzaj niestacjonarności, a w każdym razie są składnikiem regularnym, który powinien zostać wyeliminowany z szeregu przed próbą oszacowania mieszanego modelu autoregresji średniej ruchomej. Wahania regularne eliminuje się poprzez różnicowanie sezonowe, wyliczając $Y_g - Y_{g-s}$, gdzie s jest okresem (długością) wahania regularnego. W modelu ARIMA(p,d,q)(P,D,Q), rząd różnicowania sezonowego oznaczony jest przez parametr D .

4.3.3. Warunkowe modele heteroskedastyczne

Tego typu modele są wykorzystywane do modelowania kształtowania się procesów charakteryzujących się dużą zmiennością (ang. volatility). Zmienność jest mierzona warunkową wariancją. W modelach jednowymiarowych zakłada się, że logarytmy zapotrzebowania nie są niezależne w czasie, choć przyjmuje się występowanie tylko autokorelacji niskich rzędów. Model ARCH(m) zakłada, że odchylenia od wartości przeciętnej zapotrzebowania mogą być objaśnione przez funkcję kwadratową ich wartości opóźnionych. Natomiast w modelu GARCH(m,s) zakłada się, że przy opisie kształtowania się logarytmów zapotrzebowania, główne równanie procesu może być zapisane jako proces ARMA.

4.3.4. Modele wygładzania wykładniczego

Modele Holta-Wintersa należą do najczęściej wykorzystywanych modeli adaptacyjnych (wygładzania wykładniczego) w prognozowaniu zmiennych z wahaniami sezonowymi na podstawie kompletnych szeregów czasowych. Wyróżnia się dwie postaci modelu:

- addytywną,
- multiplikatywną.

Składają się one z trzech równań opisujących kolejno: poziom $l(g)$, przyrost $b(g)$ oraz efekt sezonowy $s(g)$.

4.3.5. Modele regresyjne

Jedną z najstarszych metod stosowanych do prognozowania energii elektrycznej jest model wielorakiej regresji liniowej. W modelu wielorakiej regresji liniowej g -ta realizacja zmiennej objaśnianej Y_g (zapotrzebowanie na energię), jest liniową funkcją wartości p zmiennych objaśniających x_{g1}, \dots, x_{gp} oraz składnika losowego ε_g . Zakłada się, że składnik losowy ε_g ma rozkład normalny o zerowej wartości oczekiwanej i wariancji σ^2 . Parametry

modelu estymuje się przy użyciu metody najmniejszych kwadratów (MNK) polegającej na minimalizacji sumy kwadratów błędów modelu. Podstawą wyboru zmiennych objaśniających jest merytoryczna znajomość prognozowanego zjawiska. Pozwala to na wstępne ustalenie wielkości mających wpływ na zmienną prognozowaną Y_g . Po wstępnym ustaleniu zmiennych objaśniających, które z reguły charakteryzują się pewną nadmiarowością, redukuje się liczbę zmiennych.

4.3.6. Teoria chaosu deterministycznego

W ostatnim dwudziestoleciu pojawiło się wiele opracowań prezentujących przykłady udanego wykorzystania teorii chaosu zdeterminowanego do prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną w długim oraz krótkim okresie. Do tej kategorii należą modele oparte na wymiarze fraktalnym (np. modele predykcji funkcji liniowych, predykcja krokowa procesów wzajemnie podobnych), modele logistyczne (model wg Prigogine'a) oraz modele krzyżowania heurystycznego.

4.3.7. Sztuczne sieci neuronowe

Nieustanna poprawa dokładności prognozy spowodowała skoncentrowanie wysiłku badawczych na uzyskiwaniu coraz lepszego oszacowania wartości oczekiwanej zapotrzebowania na energię. Spośród metod sztucznej inteligencji do prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną najczęściej wykorzystuje się sztuczne sieci neuronowe. Ich zaletą jest zdolność uogólniania wiedzy dla nowych danych, nieznanych wcześniej, a wadą brak zawarcia w nich obiektywnej wiedzy o badanym systemie w jawnej postaci. Stosowane są różne typy sieci neuronowych, także w połączeniu z teorią zbiorów rozmytych. Najwięcej badań dotyczących prognozowania wykorzystuje sieć neuronową typu MLP (ang. Multilayer Perceptron). Ponadto, wykorzystuje się m.in.: sieci neuronowe typu RBF (ang. Radial Base Function) oraz sieć Kohonena (SOM).

4.3.8. Drzewa regresyjne

Zaletą drzew regresyjnych w stosunku do innych metod aproksymacji funkcji, np. sieci neuronowych, jest ich bezpośrednia interpretowalność (czytelne reguły logiczne zaimplementowane w drzewie) oraz możliwość działania nie tylko na zmiennych ilościowych lecz także jakościowych (nominalnych i porządkowych). Dotyczy to zarówno zmiennych wyjściowych, jak i wejściowych. Wadą jest aproksymacja funkcji w sposób dyskretny oraz ograniczenie modelowania lokalnego do hiperprostopadłościanu.

4.3.9. Logika rozmyta

Stosowana jest dość często jako element wspomagający system hybrydowy sztucznej inteligencji do celów prognozowania w elektroenergetyce, w szczególności do prognoz krótkoterminowych (ANFIS, ang. Adaptive Network-based Fuzzy Inference System). Stosowana jest również do budowy rozmytych systemów regułowych, w których najbardziej znanymi modelami rozmytymi są:

- modele Mamdaniego,
- modele Takagi-Sugeno,

- modele relacyjne.

W procesie formułowania rozmytego modelu systemu wyróżnia się:

- rozmywanie (fuzyfikację),
- wnioskowanie rozmyte (inferencję),
- wyostrzanie (defuzyfikację).

Rozmywanie polega na obliczaniu stopni przynależności zmiennych wejściowych do podzbiorów rozmytych. Wnioskowanie rozmyte to z kolei operacja wyznaczania, na podstawie rozmytych zmiennych wejściowych, wartości zmiennych wyjściowych za pomocą zbioru reguł.

4.3.10. Regresja wektorów nośnych

Jednym z intensywnie eksplorowanych narzędzi prognostycznych jest regresja wektorów nośnych (SVR, ang. Support Vector Regression), posiadająca kwadratową funkcję celu, w związku z czym znalezienie ekstremum globalnego nie stanowi większego problemu. Oryginalne dane odwzorowuje się tu nieliniowo za pomocą funkcji jądrowych (np. funkcje liniowe, gaussowskie, wielomianowe) na przestrzeń o większej liczbie wymiarów, gdzie modeluje się je za pomocą regresji liniowej. Rzutowanie na większą liczbę wymiarów nie komplikuje jednak modelu, dzięki czemu SVR w zagadnieniach prognozowania w elektroenergetyce, cechuje wysoki stopień generalizacji.

5. Uniwersalność sterownika

Opracowane na potrzeby przedmiotowego produktu sterowniki pozwolą na dynamiczne dostosowywanie parametrów działania podsystemów ładowania akumulatorów oraz zoptymalizowanej dystrybucji energii, zapewniając przy tym najwyższą operacyjność dla komponentów systemu. Jest to niezwykle funkcjonalne oraz uniwersalne rozwiązanie posiadające zastosowanie w wielu dziedzinach, gdzie niezbędne jest roztropne korzystanie ze zgromadzonej energii elektrycznej. Sterownik dzięki inteligentnemu zarządzaniu energią optymalizuje i zarządza całym ekosystemem nad którym czuwa. Poziom poboru prądu przez odbiorniki systemu jest adaptacyjnie dostosowywany do energii zmagazynowanej, co gwarantuje, że działanie określonych najistotniejszych funkcji nie będzie zakłócony. Dodatkowo, dzięki możliwości komunikacji z systemem centralnym, posiada zdolność do wygenerowania komunikatu (ostrzeżenia) oraz przerwania złożonych obliczeniowo zadań na zdalne skalowalne centrum monitorowania posadowione w chmurze.

Pomimo dużej elastyczności systemu, technologia zapewnia uzyskanie niskiego poboru mocy. Ponadto, dzięki efektywnemu i inteligentnemu zarządzaniu budżetem energetycznym, nawet w sytuacji niedoboru energii uzyskiwanej z odnawialnych źródeł, dodatkowe funkcje sensoryczne oraz monitoring nie zakłócają ciągłości działania podstawowych (priorytetowych) funkcji komponentów i całego ekosystemu rozwiązania.

Wykorzystana rodzina mikrokontrolerów STM32G4 to seria o różnych rozmiarach pamięci, pakietach i urządzeniach peryferyjnych.

6. Podsumowanie

Głównym celem Inteligentnego systemu sterowania jest efektywne wykorzystanie dostępnej, zmagazynowanej energii elektrycznej. Istotą badań analitycznego modelu było wytworzenie fundamentalnych rozwiązań architektonicznych i algorytmów obliczeniowych na potrzeby sterowania oraz monitorowania środowiska systemu. Wykonane prace dotyczyły inteligentnego sterownika zapewniającego najwyższy możliwy poziom bezpieczeństwa przy jednoczesnym najbardziej efektywnym wykorzystaniu zapasów energii. Uwzględniono również wysoką efektywność energetyczną w konstrukcji zespołu elementów składowych całego ekosystemu. Analiza dotyczyła także mechanizmów transmisji danych, jej bezpieczeństwa, wydajności oraz niezawodności, uwzględniając przy tym ograniczone zasoby energetyczne dostępne dla systemu sterowania oraz poszczególnych komponentów ekosystemu.

Niniejszy dokument stanowi zestaw wyników analizy procedur, algorytmów oraz architektury środowiska systemu realizującego postawione cele.

Opracowane cechy środowiska inteligentnego, autonomicznego i uniwersalnego sterownika dowodzą jego wartości dla potencjalnych wdrożeń. W związku z tym rozwiązanie realizuje wymagania jakościowe takie jak; autonomiczność, bezpieczeństwo, zintegrowanie urządzeń brzegowych z sensorami i urządzeniami końcowymi, monitorowanie, optymalizację zużycia wszelkich niezbędnych zasobów (w tym energooszczędność), zarządzanie ekosystemem, niezawodność, innowacyjność i inteligentne podejmowanie decyzji.

Wykorzystana w projekcie rodzina mikrokontrolerów STM32G4 to seria o różnych rozmiarach pamięci, pakietach i urządzeniach peryferyjnych.

7. Bibliografia

1. Agrawal R., Srikant R. (1994) Fast algorithms for mining association rules. In Proc. 20th int. conf. very large data bases, VLDB.
2. Amjady N., Keynia F., Zareipour H. (2010) Short-term load forecast of microgrids by a new bilevel prediction strategy. Smart Grid, IEEE Transactions on.
3. Baczyński D. (2010) Zastosowanie algorytmu optymalizacji rojem cząstek w procesie uczenia sztucznej sieci neuronowej w prognozowaniu krótkoterminowym. Rynek Energii.
4. Bandyopadhyay S., Ganu T., Khadilkar H., Arya V. (2015) Individual and Aggregate Electrical Load Forecasting: One for All and All for One. In Proceedings of the 2015
5. Billewicz K. (2011) Problematyka bezpieczeństwa informatycznego w inteligentnych sieciach. Konferencja APE 2011, T.2.
6. Billewicz K. (2012) Smart metering: inteligentny system pomiarowy. Wydawnictwo Naukowe PWN.
7. Bilski P., Winiecki W. (2014) Analysis of the Artificial Intelligence Methods Applicability to the Non-Intrusive Load Monitoring. NILM 2014.
8. Breiman L. (2001) Random forests. Machine learning.

9. Brockwell P.J., Davis R.A. (2002) Introduction to Time Series and Forecasting (Second Edition). Springer.
10. Bruhns A., Deurveilher G., Roy J.S. (2005) A non-linear regression model for mid-term load forecasting and improvements in seasonality. In Proceedings of the 15th Power Systems Computation Conference.
11. Che J., Wang J., Wang G. (2012) An adaptive fuzzy combination model based on selforganizing map and support vector regression for electric load forecasting. Energy.
12. Cichosz P. (2000) Systemy uczące się. WNT.
13. Cieślak M. (2000) Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania. PWN.
14. Drucker H., Burges C.J., Kaufman L., Smola A.J., Vapnik V. (1997) Support Vector Regression Machines. Advances in neural information processing systems.
15. Dudek G. (2012) Systemy uczące się oparte na podobieństwie obrazów do prognozowania szeregów czasowych obciążeń elektroenergetycznych. Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit.
16. Dudek G. (2014). Prognozowanie krótkoterminowe obciążeń systemów elektroenergetycznych z wykorzystaniem rozmytych drzew regresyjnych. Przegląd Elektrotechniczny,
17. Flasiński M. (2011) Wstęp do sztucznej inteligencji. Wydawnictwo Naukowe PWN.
18. Gajowniczek K., Ząbkowski T. (2014) Short term electricity forecasting using individual smart meter data, Procedia Computer Science, 35, 589–597.
19. Gajowniczek K., Ząbkowski T. (2015a) Data Mining Techniques for Detecting Household Characteristics based on Smart Meter Data, Energies.
20. Gładysz B., Kuchta D. (2008) Application of regression trees in the analysis of electricity load. Badania Operacyjne i Decyzje.
21. [Hart G.W. (1992) Nonintrusive appliance load monitoring. Proceedings of the IEEE.
22. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. (2009) The elements of statistical learning. New York, Springer.
23. Krzyśko M., Wołyński W., Górecki T., Skorzybut M. (2008) Systemy uczące się. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
24. Morzy T. (2013) Eksploracja danych: Metody i algorytmy. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
25. Osowski S. (2002) Sieci neuronowe SVM w zastosowaniu do problemów regresji. Przegląd Elektrotechniczny.
26. Osowski S. (2013) Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. Oficyna Wydawnicza
27. Parol M. (2014) Prognozowanie ultrakrótkoterminowe mocy generowanej w odnawialnych źródłach energii z wykorzystaniem logiki rozmytej. Przegląd Elektrotechniczny.
28. Piotrowski P. (2013) Prognozowanie w elektroenergetyce w różnych horyzontach czasowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
29. Piotrowski P. (2015a) Analiza zastosowań sztucznych sieci neuronowych do krótkoterminowego prognozowania mocy w systemach fotowoltaicznych. Przegląd Elektrotechniczny.
30. Popławski T. (2004) Zastosowanie logiki rozmytej do prognozowania obciążeń dobowych. Prognozowanie w Elektroenergetyce PE 2004, Częstochowa.

31. Popławski T., Dąsal K. (2007) Prognozowanie zapotrzebowania na moc i energię elektryczną metodą rozkładu kanonicznego. *Polityka Energetyczna*.
32. Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L. (1997) Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź.
33. Rutkowski L. (2005) Metody i techniki sztucznej inteligencji. *inteligencja obliczeniowa*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
34. Siwek K., Osowski S. (2009) Prognozowanie obciążeń 24-godzinnych w systemie elektroenergetycznym z użyciem zespołu sieci neuronowych. *Przegląd Elektrotechniczny*,
35. Siwek K., Osowski S., Szupiluk R. (2009) Ensemble neural network approach for accurate load forecasting in a power system. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*.
36. Wilczyński A., Tymorek A. (2010) Rola i cechy systemów informacyjnych w elektroenergetyce. *Rynek energii*.
37. Witkowska D. (2000) Sztuczne sieci neuronowe w analizach ekonomicznych. Wydział Organizacji i Zarządzania Politechnika Łódzka, Łódź.
38. W. (2011) Wpływ czynników atmosferycznych na zmienność zużycia energii elektrycznej. *EKONOMIA I ZARZĄDZANIE*.
39. Ząbkowski T., Gajowniczek K. (2013a) Smart metering and data privacy issues. *Information Systems in Management*.
40. Ząbkowski T., Gajowniczek K. (2013b) Forecasting of individual electricity usage using smart meter data, *Quantitative Methods in Economics*.
41. Ząbkowski T., Gajowniczek K. (2013c) Short term electricity forecasting using smart meter data, In *Proceedings of International Symposium on Theoretical Electrical Engineering*, University of West Bohemia in Pilsen.
42. Zoha A., Gluhak A., Imran M.A., Rajasegarar S. (2012) Non-intrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: A survey. *Sensors*.

8. Załączniki

1. AIS RW.E1 Środowisko kontenerowe
2. AIS RW.E1 Wysoka dostępność
3. AIS RW.E1 Wymagania bezpieczeństwa
4. AIS RW.E4 Podręcznik referencyjny sterownika
5. AIS RW.E4 Aktualizacja firmware w locie (on-the-fly)

Koniec