



Projekt INZNAK: aktywne znaki drogowe

Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki,

Akademia Górniczo-Hutnicza, Siled sp. z o. o., Microsystem sp. z o. o.

SYNTETYCZNY OPIS DOTYCHCZASOWYCH WYNIKÓW

Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka
Nr projektu: POIR.04.01.04-00-0089/16



Inteligentny znak drogowy

W Politechnice Gdańskiej, na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, we współpracy z Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie i dwiema firmami z województwa pomorskiego (Siled sp. z o. o. i Microsystems sp. z o. o.) od 2017 r. realizowany jest projekt badawczy pt.: „INZNAK - Inteligentne znaki drogowy do adaptacyjnego sterowania ruchem pojazdów, komunikujące się w technologii V2X”. Projekt jest dofinansowywany przez NCBR w ramach programu „Projekty aplikacyjne” POIR 4.1.4 (nr POIR.04.01.04-00-0089/16).

Opracowywany inteligentny znak drogowy komunikuje prędkość obliczoną w odniesieniu do informacji otrzymanych z ciągu podobnych znaków o zmiennej treści, rozmieszczonych wzdłuż odcinka autostrady, połączonych ze sobą za pośrednictwem sieci bezprzewodowej, opcjonalnie z możliwością wykorzystania zdalnego zarządzania tym systemem. Szczególną cechą znaków drogowych jest możliwość ich działania autonomicznego, gdyż komunikowane przez znaki ograniczenie prędkości jest wynikiem dokonywanych przez nie pomiarów ruchu drogowego. Zalecana prędkość jazdy jest komunikowana poprzez jej wyświetlanie na znaku o zmiennej treści, jak również jest przekazywana bezprzewodowo do pojazdów wyposażonych w interfejs V2X (interfejs do systemu komunikacji elektronicznej: pojazd-infrastruktura). Schemat ilustrujący sposób komunikowania się inteligentnych znaków przedstawiono na rys. 1.

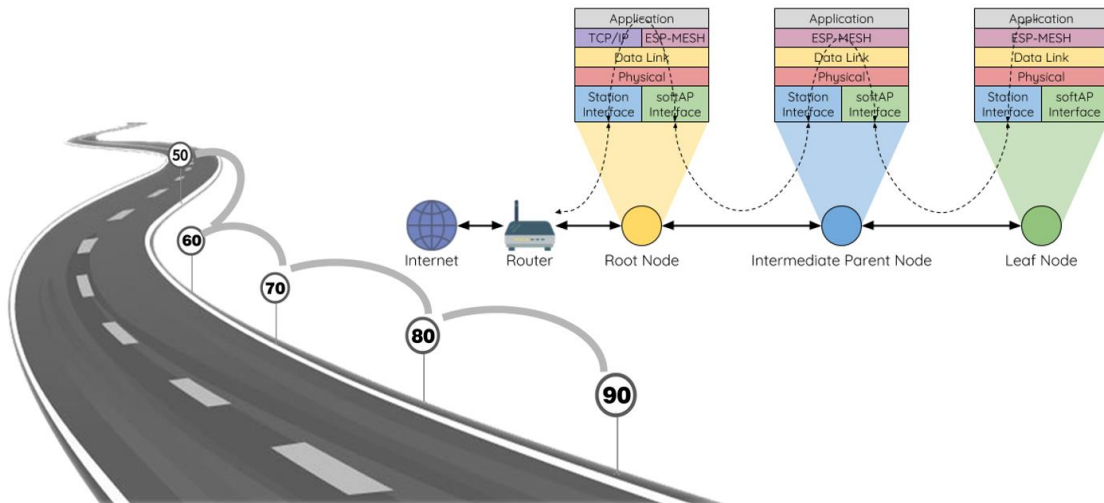
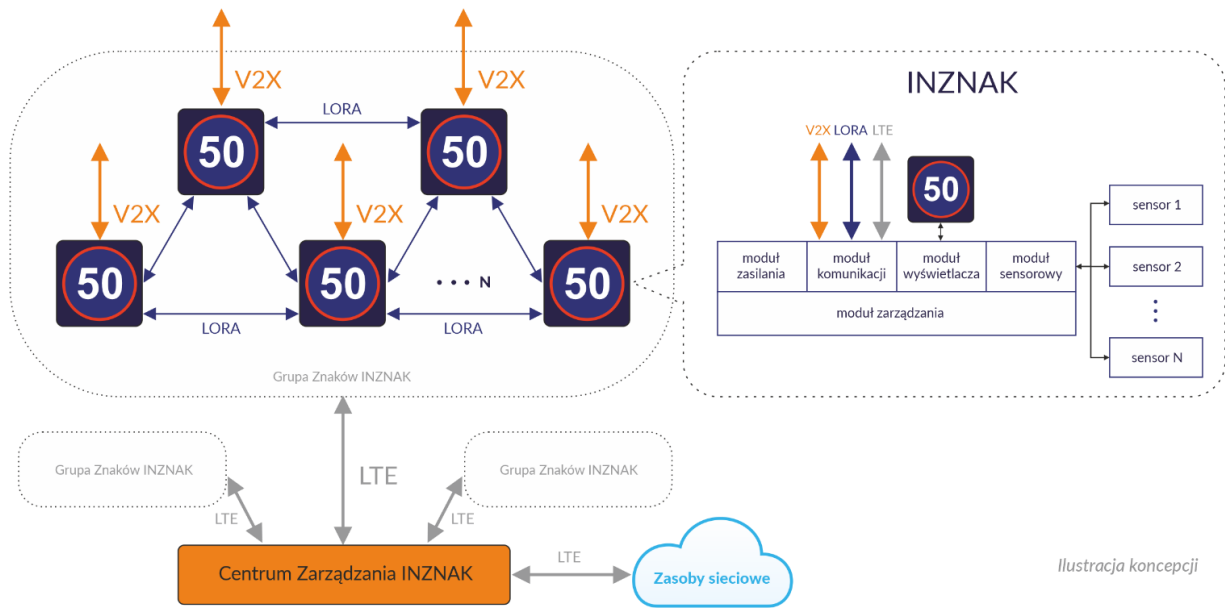
Rozwój konstrukcji aktywnych znaków drogowych wymagał rozwiązania szeregu problemów badawczych i technicznych, takich jak:

- efektywne i niezależne od warunków pogodowych szacowanie parametrów ruchu;
- metoda obliczania zalecanych prędkości dla różnych sytuacji drogowych z uwzględnieniem topologii drogi;
- budowa niezawodnej sieci bezprzewodowej;
- badanie innowacyjnych wyświetlaczy i autonomicznych urządzeń zasilających;
- przeprowadzenie testów prototypów w warunkach rzeczywistego ruchu drogowego.

Zadania te, realizowane począwszy od 2017 r., zostaną sfinalizowane do końca 2020 r.

Komunikacja w systemie Inteligentnych Znaków Drogowych

- Rozproszona i skalowalna budowa systemu inteligentnych znaków
- Komunikacja wielopłaszczyznowa:
- Wymiana danych Centrum Zarządzania INZNAK – grupą znaków
- Wymiana danych znak <—> znak
- Wymiana danych z pojazdami w standardach V2X

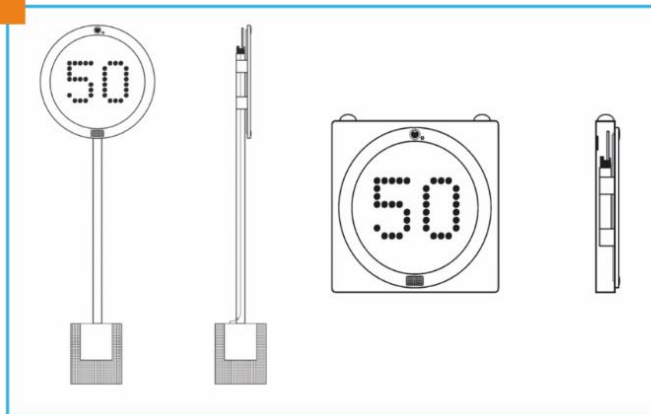


Rysunek 1

Rysunek 2 Schemat ilustrujący przepływ informacji w systemie INZNAK oraz (poniżej) topologia dwukierunkowej sieci typu mesh wraz z jej wizualizacją drogową

Warianty i scenariusze zastosowania systemu

Jak pokazano na rys. 2, aktywne znaki drogowe konstruowane są w wersji wolnostojącej, przeznaczonej do montażu na słupach na poboczu jezdni oraz w wersji przeznaczonej do zawieszenia na bramownicach.



"Wolnostojący inteligentny znak drogowy"

Prawo ochronne U. Pat. RP nr 70132

"Wiszący inteligentny znak drogowy"

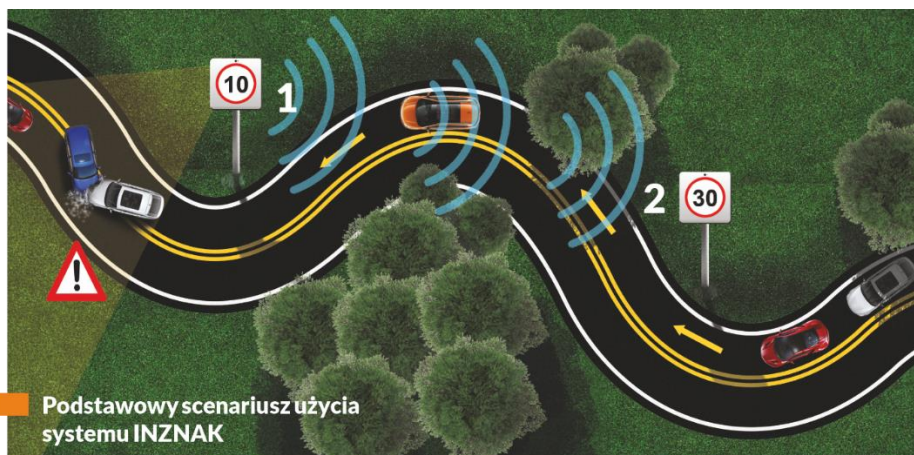
Prawo ochronne U. Pat. RP nr 70133



Rysunek 3 Warianty wykonania aktywnych znaków: znak wolnostojący i znak wiszący. Z prawej strony zamieszczono ilustrację sposobu rozmieszczenia znaków wolnostojących do celu zapobiegania kolizjom wynikającym ze spiętrzenia się ruchu drogowego.

Główny cel: zapobieganie stłoczeniom i wynikającym z tego kolizjom pojazdów w ruchu drogowym na autostradach i na drogach szybkiego ruchu

Oprócz określonego powyżej celu głównego (scenariusz związany z tym celem ilustruje górna część rys. 3), możliwe jest wykorzystanie opracowanych inteligentnych znaków również w szeregu innych sytuacjach drogowych, pokazanych przykładowo w dolnej części rysunku. System inteligentnych znaków drogowych stanowi ponadto (prawdopodobnie jedyny skonstruowany do tej pory) techniczny środek detekcji tzw. „jazdy na zderzaku”, której penalizacja jest aktualnie w toku legislacji.



Podstawowy scenariusz użycia systemu INZNAK



Wyrzedzanie w martwej strefie, zator za zakrętem



Przeszkody w warunkach niskiej widoczności



Sugestie objazdów

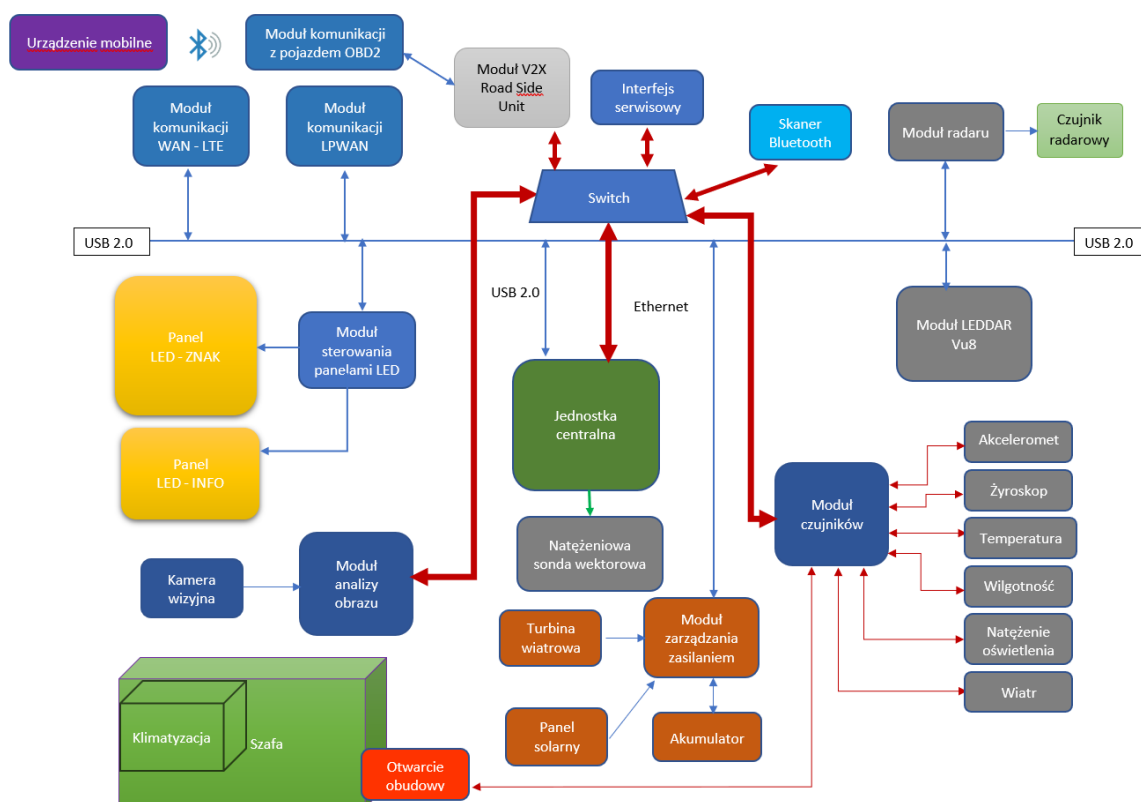
Rysunek 4 Scenariusze zastosowania systemu inteligentnych aktywnych znaków drogowych o zmiennej treści

Instalacje testowe

Skonstruowane urządzenia badawcze zawierają następujące podzespoły:

- czujniki radarowe: mikrofalowy (ulepszony w ramach projektu), lidarowy i akustyczny (skonstruowany w ramach projektu)
- skaner urządzeń Bluetooth (skonstruowany w ramach projektu)
- stacja pogodowa – do pomiaru temperatury, ciśnienia i wilgotności
- czujnik opadów
- czujnik natężenia oświetlenia
- czujnik temperatury wnętrza autonomicznego znaku
- router Wi-Fi, modem LTE i modem LoRaWAN
- modem V2X
- mikrokomputer Raspberry Pi, służący do obsługi czujników
- mikrokomputer Jetson, z wbudowaną kartą graficzną do przetwarzania obrazu
- mikrokomputer Kontron, służący do zarządzania pracą aktywnego znaku, w tym przesyłaniem informacji do serwera

Schemat blokowy układu elektronicznego autonomicznego znaku drogowego pokazano na rys. 4, zaś fotografię wnętrza modelu badawczego zamieszczono na rys. 5.



Rysunek 5 Schemat blokowy układu elektronicznego autonomicznego znaku drogowego

a)

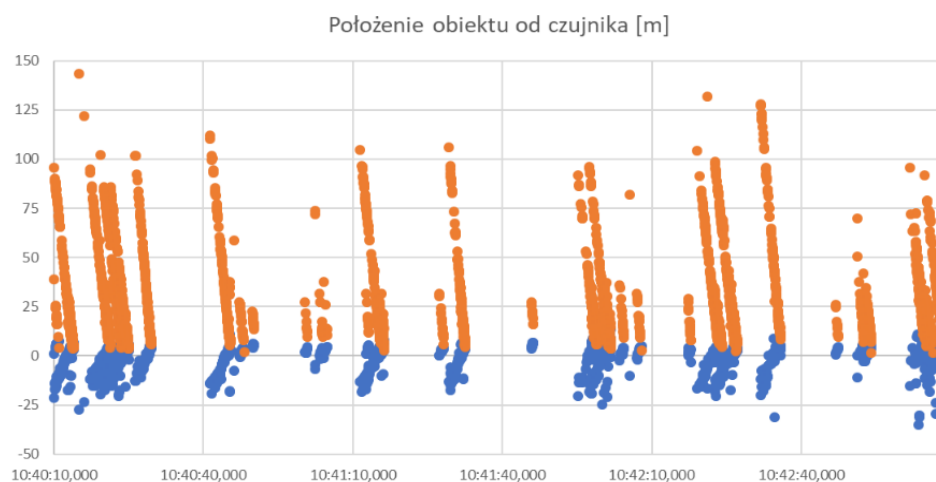


b)



Rysunek 5 Fotografie wnętrza jednej z wersji doświadczalnego modelu Inteligentnego Znak Drogowy (a) testowanej przy drodze szybkiego ruchu (b)

W toku prac badawczo eksperymentalnych w znacznym stopniu udoskonalono dopplerowski radar mikrofalowy, wprowadzając algorytm przetwarzania sygnałów eliminujący szумы i pasożytnicze echa, dzięki czemu możliwy jest bardziej precyzyjny pomiar prędkości pojazdów (rys. 6) [1][2][5].



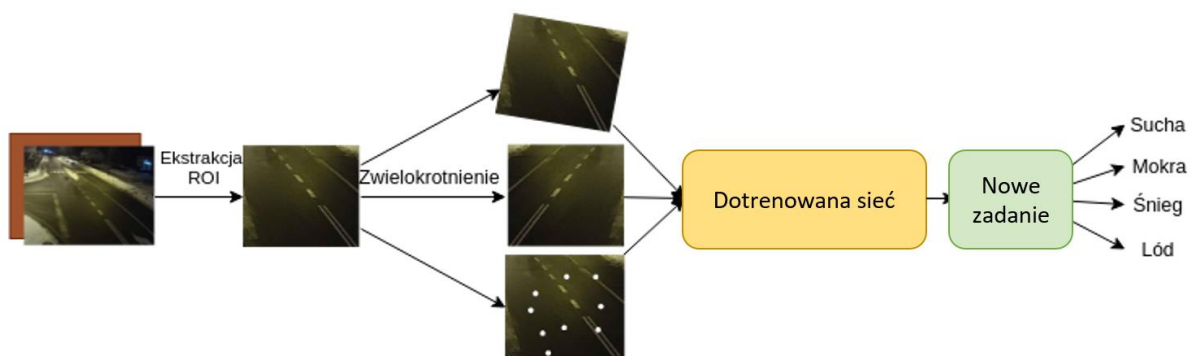
Rysunek 6 Przykładowe wyniki uzyskane podczas testów ulepszonego czujnika Dopplera przy drodze szybkiego ruchu. Oś pionowa jest wyskalowana w metrach i reprezentuje odległość pojazdów od czujnika, a na osi poziomej są odnotowane momenty czasowe uchwycenia przez czujnik kolejnych przejeżdżających pojazdów.

Ponadto, wynaleziono i skonstruowano oryginalny czujnik akustyczny (rys. 7), który umożliwia zarówno pomiar prędkości pojazdów, jak i śledzenie ich ruchu oraz ułatwia ich klasyfikowanie rodzajowe. Istotą rozwiązania czujnika jest jego sposób kalibracji, której przeprowadzenie jest niezbędne do uzyskania precyzyjnych wskazań natężenia dźwięku [1][2][3][4][5][8][9].



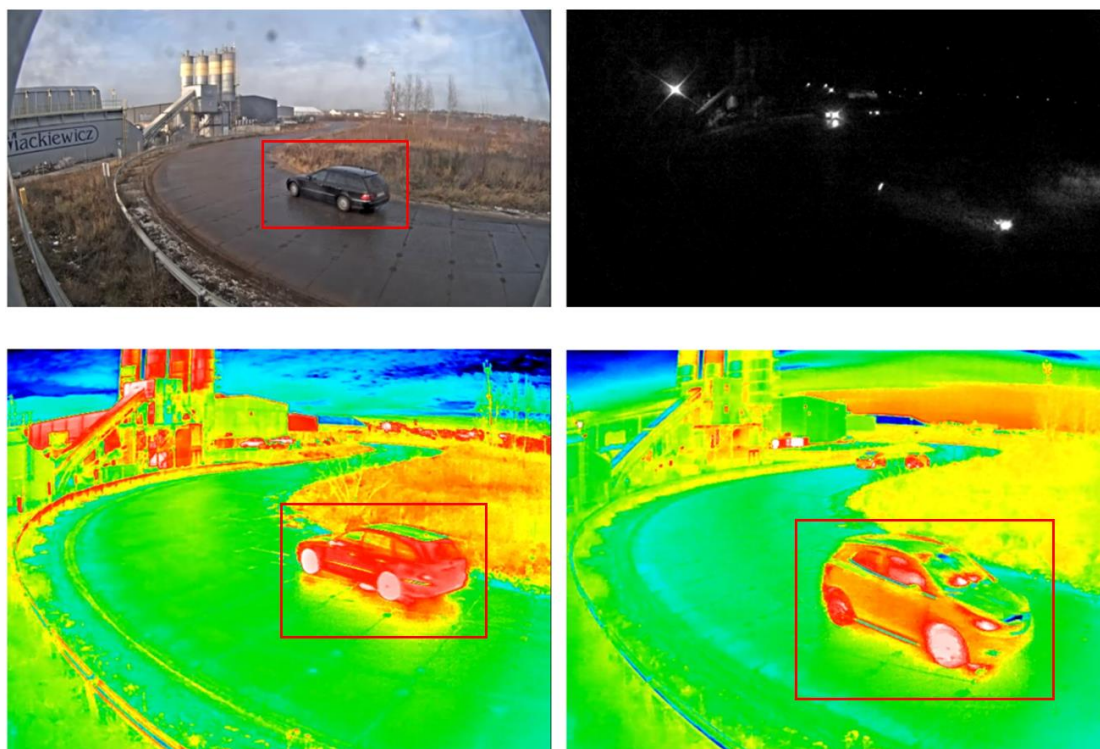
Rysunek 7 Akustyczny czujnik wektorowy: (a) kostka mikrofonowa (powiększenie), (b) kostka zamocowana w osłonie, (c) czujnik zamontowany na zewnątrz obudowy demonstratora Inteligentnego Znaku Drogowego.

Korzystając z tego, że na obudowie urządzenia została zamocowana kamera wizyjna, opracowano i wypróbowano kilka inteligentnych metod przetwarzania obrazu, które są przydatne do określania bezpiecznej prędkości w aktualnie panujących warunkach drogowych. Sztuczna sieć neuronowa została dotrenowana co celu wykrywania stanu nawierzchni jezdni na podstawie analizy obrazu (jak rys. 8), zapewniając skuteczność automatycznej klasyfikacji na poziomie ponad 97% [6][11].



Rysunek 8 Schemat koncepcyjny neuronowego algorytmu wykrywania stanu nawierzchni drogi

Nowatorskim przedsięwzięciem eksperymentalnym jest ponadto zastosowanie głęboko uczonej sztucznej sieci neuronowej do celu przekształcania obrazu rejestrowanego w świetle widzialnym (za pomocą zwykłej kamery RGB) w obrazy podobne do otrzymywanych z kamer termowizyjnych (rys. 9) [7]. Eksperymenty te prowadzono równolegle z pracami nad zastosowaniem nowego typu sieci neuronowych do analizy obrazu ruchu drogowego, których metodykę wyjaśnia artykuł opublikowany w 2020 r. w czasopiśmie Applied Science [12].



Rysunek 9 Podgląd na syntetyczne mapy cieplne (widoczne u dołu) generowane przez sztuczną sieć neuronową na podstawie rzeczywistych obrazów z kamery RGB (pokazanych u góry) i na detekcję pojazdów w mapach cieplnych

Plany rozwojowe

- Istotną cechą IZD w toku opracowywania jest zapewnienie funkcjonalności komunikacji z pojazdami, które wyposażone będą w modemy V2X (eksperymenty w tym zakresie zilustrowano na rys. 10)

- Przy autostradach i odległych od obszarów zurbanizowanych odcinkach dróg szybkiego ruchu występują braki dostępu do energii elektrycznej, co powoduje konieczność korzystania z odnawialnych źródeł zasilania
- Wyzwaniem wymagającym wsparcia organizacyjnego ze strony Zarządców Dróg są testy drogowe autonomicznych znaków

Aby sprostać powyższym wyzwaniom, zaimplementowano technologię V2X do komunikacji znaków z infrastrukturą drogową oraz z przejeżdżającymi pojazdami. Celem pracy było wykonanie oprogramowania dla RSU (ang. Roadside Unit) i OBU (ang. On-Board Unit) pozwalającego na przesyłanie komunikatów V2X pomiędzy urządzeniami podłączonymi do nich. Możliwe jest więc nadawanie i odbieranie komunikatów DENM i CAM przez komputer będący częścią Inteligentnego Znak Drogowy, można również zestawić połączenie z komputerem samochodowym pojazdu, wtedy przesyłane są informacje o np. o aktualnej prędkości, czy o uruchomionych systemach pokładowych. Zaimplementowane w trakcie trwania etapu oprogramowanie przetestowano w ruchu drogowym z wykorzystaniem rzeczywistego auta, które nadawało informacje do odbiornika zlokalizowanego przy drodze. Na rysunku 10 zamieszczono fotografię pojazdu z zamontowanym urządzeniem OBU. Przeprowadzone testy wykazały poprawne działanie wykonanego oprogramowania i możliwość wykorzystania technologii V2X w demonstratorze inteligentnego znaku.



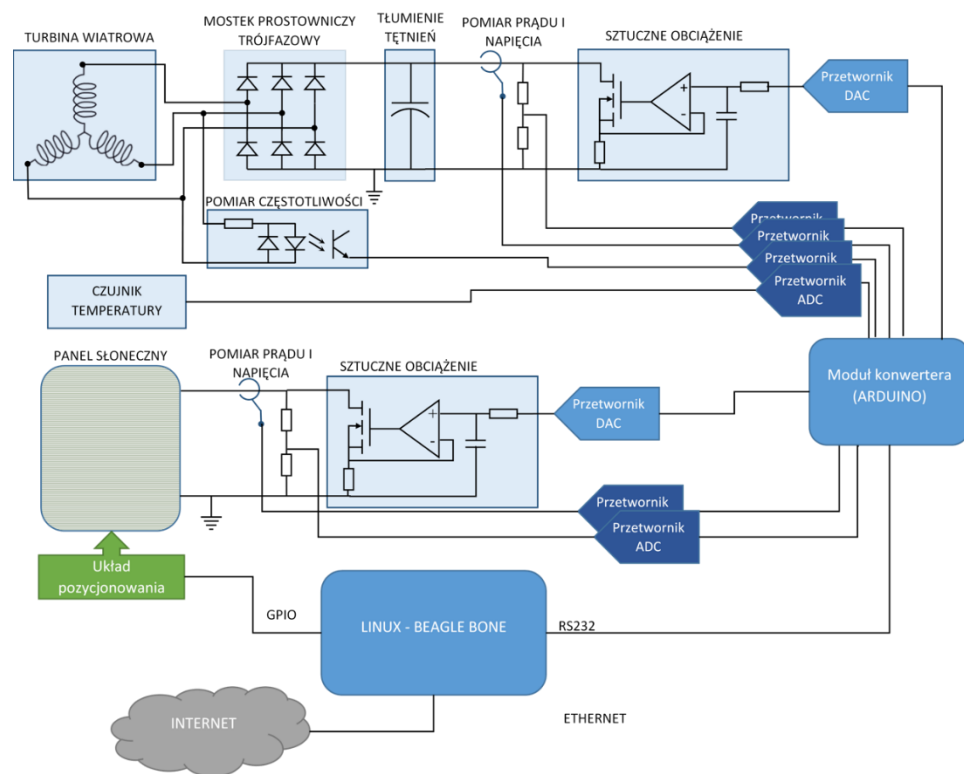
Rysunek 10 Przygotowanie do testów drogowych systemu komunikacji V2X (w jednej z wersji)

Stanowisko do badania systemów autonomicznego zasilania powstało u wykonawcy projektu SILED i składa się z następujących głównych elementów:

- turbina wiatrowa
- panelu solarny
- układ pozycjonowania panelu solarnego
- sztuczne obciążenie
- przetworniki pomiarowe
- rejestrator danych

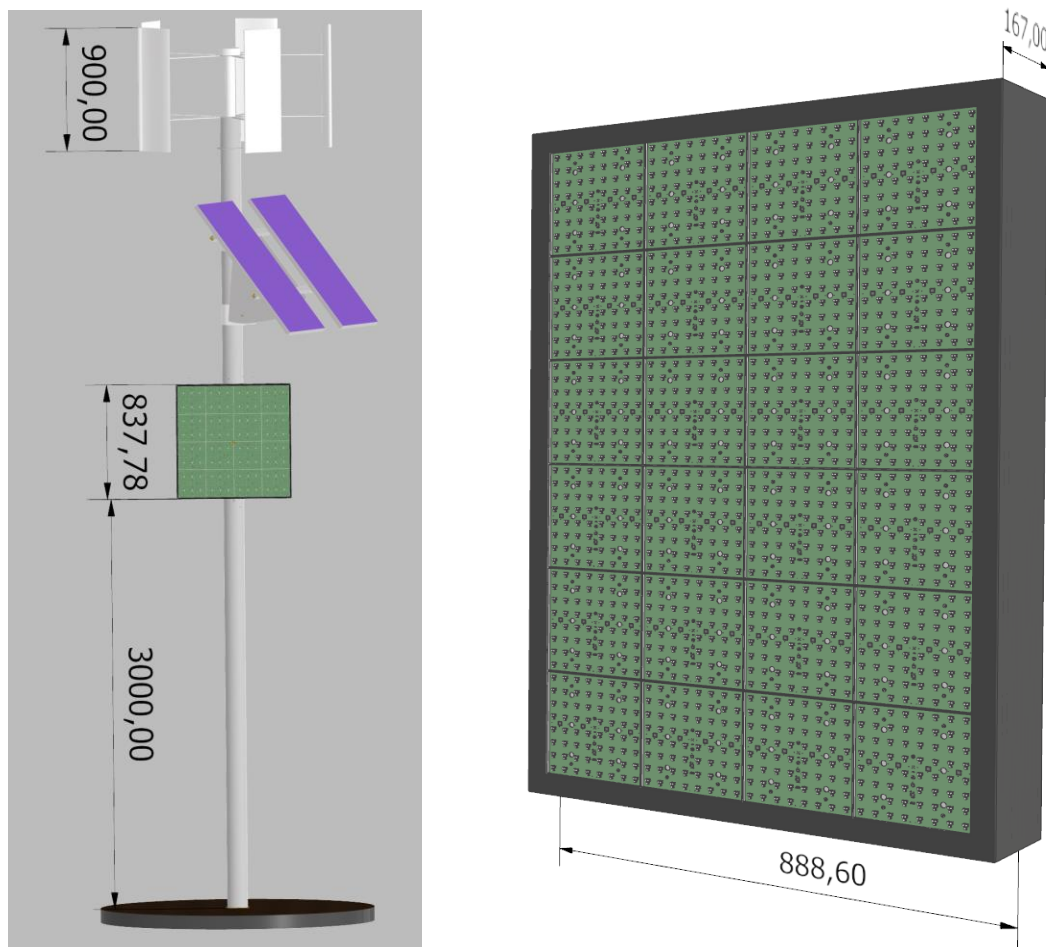
Schemat blokowy zbudowanego stanowiska znajduje się na rysunku 11, na którym pokazano również widok instalacji pilotażowej. Dla zmaksymalizowania korzyści płynących ze stosowania odnawialnych źródeł energii, w tym przypadku paneli solarnych, opracowano układ pozycjonowania

paneli fotowoltaicznych względem słońca. Układ ten podąża w trakcie doby za słońcem, ustawiając panele w taki sposób, aby zmaksymalizować ilość promieni słonecznych padających na układ. W tym celu opracowano i zaimplementowano algorytm, w którym do wyliczenia pozycji wykorzystano metodę opisaną w fundamentalnym artykule z dziedziny astronomii „Low-precision formulae for planetary positions”, van Flandern, T. C.; Pulkkinen, K. F., *Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 41, Nov. 1979, p. 391-411.



Rysunek 11 Schemat blokowy układu do badania systemów zasilania Inteligentnych Znaków Drogowych (a) oraz schemat układu mechanicznego do pozycjonowania panelu solarnego i widok instalacji testowej (b)

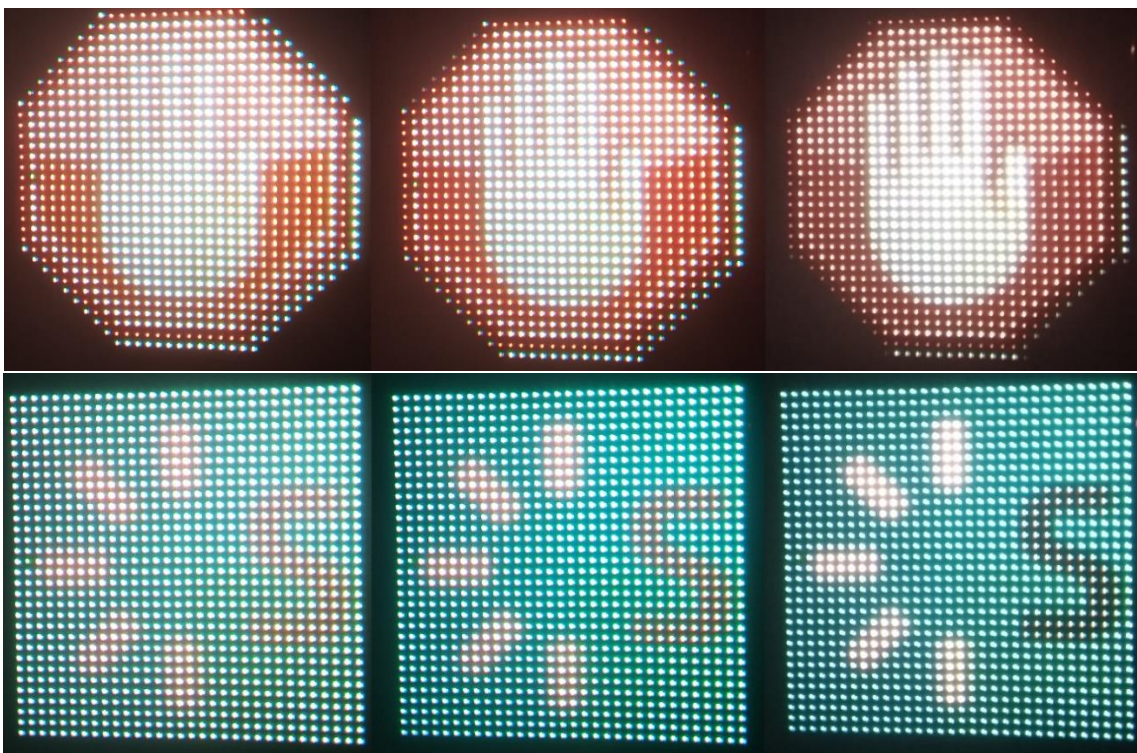
Istotnym elementem znaku o zmiennej treści jest wyświetlacz, który pozwala na wyświetlanie zarówno treści znaków drogowych, jak i innych treści np. komunikatów tekstowych. Pojedynczy panel LED jest modułem szczelnym (IP67), wykonanym w technologii zalania czarnym silikonem, stanowiącym jednocześnie maskę. Modułowość paneli pozwala na elastyczne dobieranie wielkości znaku, więc możliwe jest stosowanie innego rodzaju wyświetlacza dla demonstratora wolnostojącego, jak i wiszącego na bramownicy. Do wyświetlacza zostało opracowane oprogramowanie, które integruje wyświetlacz z jednostką sterującą demonstratora. Na rysunku 12 przedstawiono przykładowy sposób umocowania wyświetlacza, zaś na rys. 13 i 14 zilustrowano zagadnienia związane z optymalizacją wyświetlania. Fotografie wyświetlacza, pokazującego przykładową treść wyświetlaną przez znak (STOP) zamieszczono na rys. 15.



Rysunek 12 Konstrukcja mechaniczna a) autonomicznego znaku b) modułowego wyświetlacza. **Moduły zostały skonstruowane i skomunikowane w taki sposób, w taki sposób, że możliwe jest złożenie z nich powierzchni wyświetlającej o dowolnym wynikowym kształcie.**



Rysunek 13 Podgląd na wykres chromatyczności po korekcji kolorów RGB, wygenerowany w trakcie prac badawczych nad opracowaniem panelu LED

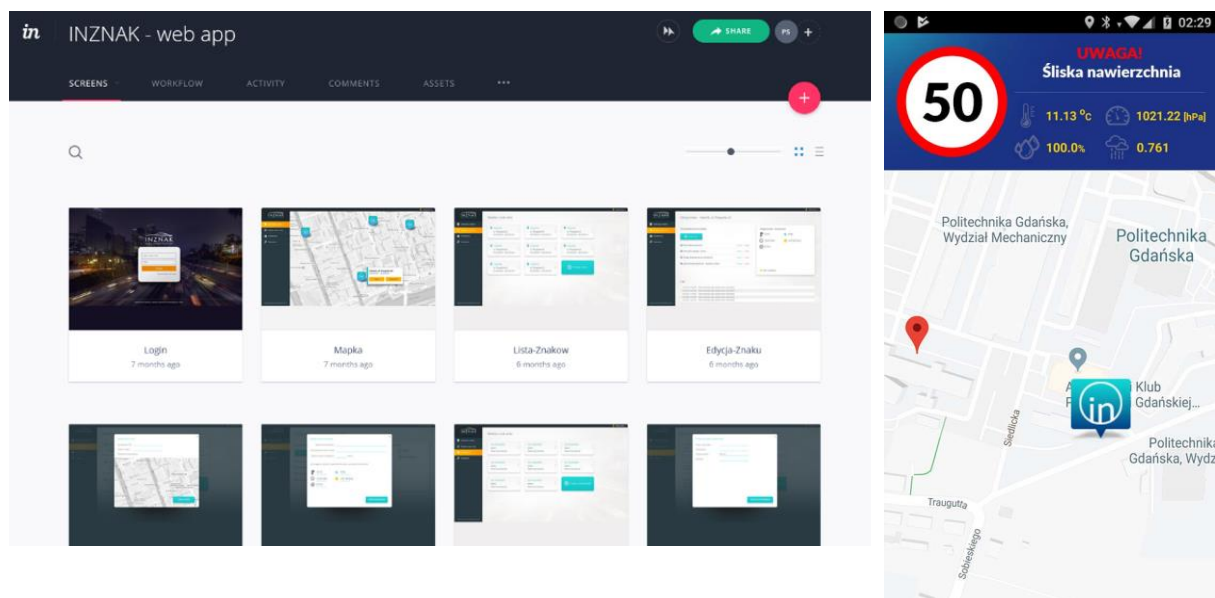


Rysunek 14 Podgląd na wyświetlany obraz w pełnym słońcu przed zastosowaniem (lewy) i po zastosowaniu korekt obrazu wyświetlanego przez panel LED w wersji umiarkowanej (środkowy) i w wersji pełnej (prawy).



Rysunek 15 Wyświetlacz wytworzony dla potrzeb demonstratora technologicznego. Na tylnym planie widać elementy skonstruowanej instalacji autonomicznego zasilania: samopozycjonujący się panel solarny i turbinę wiatrową.

Zdalne zarządzanie systemem inteligentnych znaków drogowych przez operatora wymagało opracowania aplikacji webowej do tego celu oraz rozwiązania umożliwiającego przejęcie kontroli nad znakiem drogowym za pomocą aplikacji mobilnej (rys. 16). Aplikacje te wykorzystują zasoby map cyfrowych [10].



Rysunek 16 Strony internetowe aplikacji operatora systemu (z lewej strony rysunku) b) okno aplikacji mobilnej użytkownika (widoczne po prawej stronie rysunku)

Podsumowanie

Ideę autonomicznych, komunikujących się znaków drogowych zrealizowano w postaci demonstratorów technologicznych (znak stojący, bramownicowy i mobilny). W toku realizacji projektu opracowano i przebadano eksperymentalnie szereg rozwiązań składających się na prototypowy system autonomicznych znaków drogowych. Demonstratory w wersji produkcyjnej, które powstają na ostatnim etapie projektu są efektem ewolucji w oparciu o liczne modele pośrednie. W związku z tym wcześniej konstruowano, uruchamiano i badano eksperymentalnie kilkanaście modeli inteligentnego znaku w różnych wariantach ich wyposażenia i oprogramowania. Niektóre opracowane rozwiązania mają charakter oryginalnych nowych technologii, jak np. radar akustyczny, ulepszony czujnik dopplerowski, zastosowanie sztucznej inteligencji do detekcji stopnia śliskości nawierzchni oraz do monitorowania ruchu drogowego w obrazie wizyjnym i w obrazie termowizyjnym, który jest uzyskiwany z tradycyjnej kamery wizyjnej.

Obok funkcji optycznego komunikowania kierowcom zalecanych prędkości, inteligentny znak drogowy może pełnić ważną rolę terminala systemów łączności pojazdów z infrastrukturą. W zakresie regulacji dotyczących standardów V2X obserwowana jest ostatnio aktywność Komisji Europejskiej, której nowe zalecenia dopuściły technologię 5G jako medium komunikowania się pojazdów pomiędzy sobą, jak również pojazdów z infrastrukturą drogową. W tym kontekście autonomiczny znak drogowy wyposażony w urządzenia V2X tworzy dogodne rozwiązanie do celu stosowania tego typu technologii przy drogach szybkiego ruchu i autostradach.

W zdalnym katalogu udostępnionym przez NCBR pod adresem

<https://cloud.ncbr.gov.pl/index.php/s/Td9tYgJ3Awg3MfH>

umieszczono:

- **41 referatów konferencyjnych**
- **13 artykułów w czasopismach naukowych**
- **80 raportów**
- **5 opracowanych w okresie realizacji projektu wniosków patentowych**
- **prezentację zawierającą 100 slajdów**
- **film ilustrujący w syntetyczny sposób ideę, budowę i badania systemu inteligentnych znaków**

, a także wymagane informacje o aparaturze, osiągniętych wskaźnikach, wnioskach o zmiany i o braku podwykonawstwa.

Z powodu pandemii planowany na 30 czerwca 2020 r. termin zakończenia projektu uległ przesunięciu do 31.12.2020 r. za zgodą NCBR (podpisano w tej sprawie stosowny Aneks).

Wykonawcy projektu, potrzebując wsparcia organizacyjnego ze strony zarządców dróg przy wdrażaniu opracowywanych technologii, zabiegają o współpracę w tym zakresie i podejmują wielostronne działania nakierowane na komercjalizację opracowanych rozwiązań.

Bibliografia

W Bibliografii niniejszego syntetycznego opisu wykorzystano tylko część publikacji, które powstały w ramach projektu. Całościowy wykaz i treść wszystkich publikacji zawarto w załącznikach.

- [1] A. Czyżewski, J. Kotus, P. Szczuko, K. Jamróz, A. Dziech, W. Chmiel, A. Sroczyński, T. Śmiałkowski, P. Hoffmann, Projekt INZNAK: opracowanie inteligentnych znaków drogowych, Polski Kongres Drogowy, V Warmińsko-Mazurskie Forum Drogowe, Ryn, 24-25.09.2018
- [2] Czyżewski, J. Kotus, G. Szwoch, Estimating traffic intensity employing passive acoustic radar and enhanced microwave Doppler radar sensor, *Remote Sensing*, 2019, 1, 110-110, IF 4,118, doi: 10.3390/rs12010110
- [3] Zgłoszenie patentowe, krajowe, P.422287, 20.07.2017, A. Czyżewski, J. Kotus, G. Szwoch, Sonda natężeniowa wraz z układem korekcji i układem kalibracji oraz sposób korekcji i kalibracji tej sondy natężeniowej.
- [4] Zgłoszenie patentowe, krajowe, P.432442, 30.12.2019, A. Czyżewski, J. Kotus, G. Szwoch, Sonda natężeniowa wraz z układem kalibracji oraz sposób kalibracji tej sondy.
- [5a] A. Czyżewski, A. Sroczyński, T. Śmiałkowski, P. Hoffmann, Development of Intelligent Road Signs with V2X Interface for Adaptive Traffic Controlling, MT-ITS2019 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, Kraków, doi: 10.1109/MTITS.2019.8883369, 5-7.06.2019
- [5b] Czyżewski, S. Cygert, G. Szwoch, J. Kotus, D. Weber, M. Szczodrak, D. Koszewski, A. Sroczyński, T. Śmiałkowski, K. Jamroz, W. Kustra, P. Hoffmann, Comparative study on the effectiveness of various types of road traffic intensity detectors, MT-ITS2019 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, Kraków, doi: 10.1109/MTITS.2019.8883354, 5-7.06.2019
- [6] A. Czyżewski, D. Grabowski, Automatyczna ocena śliskości nawierzchni drogowej z wykorzystaniem splotowych sieci neuronowych, XII Polski Kongres ITS, Warszawa, 22.05-23.05.2019
- [7] S. Cygert, A. Czyżewski, Style Transfer for Detecting Vehicles with Thermal Camera, 23rd International Conference on Signal Processing Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications SPA 2019, Poznań, 18-20.09.2019, doi: 10.23919/SPA.2019.8936707,
- [8] J. Kotus, G. Szwoch, Calibration of acoustic vector sensor based on MEMS microphones for DOA estimation, *Applied Acoustics*, 2018, 141, 307-321, IF 2,29, doi: 10.1016/j.apacoust.2018.07.025
- [9] J. Kotus, A. Czyżewski, Counting and tracking vehicles using acoustic vector sensors, 176th Meeting of the Acoustical Society of America and 2018 Acoustics Week in Canada, Victoria, Canada, 05-09.11.2018. *The Journal of the Acoustical Society of America* 144(3):1830-1830, Sept. 2018, doi: 10.1121/1.5068061
- [10] G. Szwoch, Combining Road Network Data from OpenStreetMap with an Authoritative Database, *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 2019, 2, IF 1.29, doi: 10.1061/JTEPBS.0000215
- [11] Grabowski D., Czyżewski A., System for monitoring road slippery based on CCTV cameras and convolutional neural networks, *Journal of Intelligent Information Systems*, 2020 (w druku)
- [12] S. Cygert S., Czyżewski A., Vehicle Detection with Self-Training for Adaptive Video Processing Embedded Platform, *Applied Sciences*, 10(17), pp. 1-16, 08. 2020.