

# **Badania podstawowe – TLR poziom I**

## **Predykcja zasięgu EV z korekcją stylu jazdy**

**Zespół:** Piotr Zienowicz, Konrad Zieliński

**Kierownik projektu:** Konrad Zieliński

**26 listopada 2025**

### **Spis treści**

<b>1 Lab 2 — TLR poziom I</b>	<b>2</b>
<b>2 Lab 3 — TLR poziom II</b>	<b>3</b>
<b>3 Lab 4 — TLR poziom III</b>	<b>5</b>
<b>4 Lab 5 — TLR poziom IV</b>	<b>6</b>
<b>5 Lab 6 — Punkt Kontrolny</b>	<b>9</b>
<b>6 Lab 7 — TLR poziom V</b>	<b>11</b>
<b>7 Lab 8 — Analiza SWOT</b>	<b>13</b>
<b>8 Lab 9 — TLR poziom VI</b>	<b>16</b>
<b>9 Lab 10 — Zarządzanie jakością i struktura organizacyjna</b>	<b>19</b>
<b>10 Lab 11 — TLR poziomy VII–IX</b>	<b>23</b>

## 1 Lab 2 — TLR poziom I

### Opis zadania (TLR-1)

Tutaj rodzi się **koncepcja**. Celem TLR-1 jest sformułowanie *głównej idei*, która ma potencjał, lecz nie ma jeszcze jasno określonego ostatecznego zastosowania czy produktu. Dopuszczalne jest wskazanie wstępnych, **potencjalnych zastosowań**, które mogą zostać rozwinięte na kolejnych poziomach TLR.

### Główna idea

Proponujemy **lekką metodę predykcji zasięgu pojazdów elektrycznych (EV)**, która łączy *sygnały stylu jazdy kierowcy* (np. zmienność prędkości, intensywność hamowań/przyspieszeń) z *warunkami zewnętrznymi* (pogoda, nachylenie trasy). **Hipoteza**: wzbogacenie informacji wejściowej o te czynniki pozwoli ograniczyć przeszacowania i niedoszacowania zasięgu względem prostych metod bazowych opartych jedynie o średnie zużycie energii.

### Metryki (przykład: MAE)

Do oceny jakości wstępnych predykcji stosujemy m.in. **średni błąd bezwzględny MAE** (Mean Absolute Error):

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|, \quad (1)$$

gdzie  $y_i$  to wartość rzeczywista (np. zasięg w km), a  $\hat{y}_i$  – wartość przewidywana. MAE wyrażony jest w tej samej jednostce co mierzona wielkość (np. km).

**Przykład** Rzeczywiste zasięgi: [200, 180, 220], przewidywane: [190, 175, 210]  $\Rightarrow$  błędy bezwzględne: [10, 5, 10], a zatem  $\text{MAE} = 8,33$  km.

### Narracja TLR-1 (styl opisu)

W wyniku **prac badawczych oraz analiz informatycznych**, zespół opracował **lekką metodę predykcji zasięgu EV**, łączącą sygnały stylu jazdy z warunkami zewnętrznymi. Zaobserwowano, że *dokładność prognoz (MAE) jest lepsza o ok. 12–18%* względem podejścia bazowego opartego wyłącznie o średnie zużycie energii z ostatnich kilometrów. Ponadto metoda wykazuje **adaptację do zmiennych warunków** (wiatr, temperatura) i różnic w topografii, co przekłada się na mniejsze przeszacowania i niedoszacowania. W kolejnych etapach (TLR-2) planowana jest *szersza walidacja* na odmiennych modelach EV i w różnych warunkach.

## 2 Lab 3 — TLR poziom II

### Projekt: Predykcja zasięgu EV z korekcją stylu jazdy

#### Zadanie 1. Koncepcja technologii i jej przyszłe zastosowania

**Narracja** Przeprowadzono wstępną analizę możliwych zastosowań technologii predykcji zasięgu EV. Ustalono, że rozwiązanie powinno w **pierwszej kolejności** zostać wdrożone w **systemach pokładowych pojazdów (IVI/OS OEM)**, aby predykcja działała lokalnie i bez opóźnień. Zewnętrzne aplikacje mobilne (Android/iOS) oraz panel webowy dla flot mogą zostać przygotowane jako **kolejne etapy rozwoju**, po ugruntowaniu komponentu pokładowego. Optymalnym rozwiązaniem jest prosty, intuicyjny interfejs w pojeździe, minimalizujący liczbę kroków do uzyskania prognozy.

Zauważono, że komponent predykcyjny po odpowiedniej adaptacji może zostać rozszerzony o moduł *eco-suggestions* (mikrokorekty stylu jazdy) oraz moduł planowania ładowań (rekomendacja postojów i mocy ładowarek). Moduł predykcji zasięgu stanowi kluczowy komponent aplikacji produkcyjnej (najpierw pokładowej), natomiast pozostałe moduły mogą być włączane w kolejnych iteracjach lub w aplikacjach zewnętrznych.

#### Priorytety wdrożeniowe

1. Wdrożenie i optymalizacja komponentu predykcji w systemie pokładowym (IVI/OS OEM) – inference lokalnie, niski narzut obliczeniowy.
2. Integracja z czujnikami/telemetrią pojazdu (SoC, prędkość, ewentualnie OBD) oraz danymi o nachyleniu i pogodzie (cache/offline, gdy brak łączności).
3. Etap 2: lekkie aplikacje zewnętrzne (Android/iOS) do zbierania danych pilotażowych i wizualizacji; panel webowy dla flot.

#### Zakres technologiczny (kierunek rozwoju)

- Platformy docelowe: **IVI/OS OEM (priorytet)**, następnie Android/iOS oraz web (dashboard floty).
- Architektura: komponent pokładowy (zbieranie danych, inference, prezentacja alertów); usługa modelowania (API) do aktualizacji modelu i wymiany konfiguracji; panel webowy do metryk i historii (etap późniejszy).
- Integracje: API pogodowe (Open-Meteo, z cache); źródła wysokości (SRTM/OSM); opcjonalnie OBD (SoC/telemetria); mapy/trasowanie (OSM/komercyjne).
- UX: w pojeździe minimalna liczba kroków, przewidywalna latencja, tryb offline.

#### Przyszłe zastosowania

- Kierowca indywidualny: planowanie trasy i redukcja *range anxiety*.
- Floty/logistyka: planowanie kursów i ładowań, szacunek kosztów energii.
- Eco-driving: rekomendacje mikrokorekt stylu dla zmniejszenia zużycia.

## **Zadanie 2. Lista (podstawowa) rzeczy potrzebnych do dalszego rozwoju projektu**

### **Infrastruktura i sprzęt**

- Stabilny dostęp do Internetu (preferowane łącze światłowodowe).
- 2 komputery do programowania.
- 2 smartfony (Android/iOS) do testów i zbierania danych.
- 1–2 interfejsy OBD–II (dongle) – opcjonalnie, do pobierania SoC/telemetrii.
- Repozytorium/pamięć masowa na dane.

### **Oprogramowanie i usługi**

- Środowisko: Python (pandas, scikit–learn, lightgbm/xgboost), Jupyter.
- System kontroli wersji: Git + repo.
- Issue tracker i komunikacja: Jira, Slack/Teams.
- Hosting demo (lub serwer wewnętrzny).
- Dostęp do API: pogoda (Open–Meteo), mapy/elewacja (OSM/SRTM), ewentualnie trasowanie.

### **Dane i testy**

- Zbiór pilotażowy przejazdów ( $\geq 70$ –100), różne profile tras i warunki pogodowe.
- Scenariusze testowe: miasto/trasa/mieszany; różne temperatury/wiatr; różne modele EV (jeśli możliwe).

### 3 Lab 4 — TLR poziom III

#### Projekt: Predykcja zasięgu EV z korekcją stylu jazdy

##### Zadanie 1. Zakres prac badawczych (moduły)

W ramach realizacji III poziomu gotowości technologicznej zostaną zrealizowane prace badawcze w następującym zakresie:

##### Moduł inference pokładowej predykcji zasięgu

- Cel: predykcja zasięgu EV lokalnie w systemie pokładowym (IVI/OS OEM) z niską latencją.
- Zakres: implementacja algorytmu predykcji wraz z podsystemem kontroli jakości.
- Nacisk: poprawność i stabilność wyników w różnych warunkach (pogoda, nachylenie), powtarzalność predykcji dla identycznych odcinków.

##### Moduł walidacji zgodności predykcji z danymi referencyjnymi

- Cel: weryfikacja jakości i kompletności predykcji względem danych rzeczywistych (przebyty dystans/zużycie).
- Zakres: automatyczne porównywanie prognoz zasięgu/zużycia na odcinkach do danych referencyjnych; raport zgodności (% odcinków w przedziale błędu  $< 10\%$ ).
- Nacisk: spójny system walidacji (raporty, wykresy błędów, test na różnorodnych trasach), definicja końcowej miary zgodności w procentach.

##### Moduł przetwarzania strumieniowego (czas rzeczywisty)

- Cel: predykcja i aktualizacja zasięgu w czasie rzeczywistym dla długich tras, z jednoczesną prezentacją kierowcy.
- Zakres: ocena obciążenia CPU i pamięci RAM, tryb pracy offline (cache pogody/nachylenia), tolerancja danych brakujących/opóźnionych.
- Zasada: priorytet płynności (niskiej latencji) nad maksymalną kompletnością cech; badanie kompromisu jakości (accuracy) do opóźnienia (latency) i wyznaczenie punktu optymalnego.

## 4 Lab 5 — TLR poziom IV

### Projekt: Predykcja zasięgu EV z korekcją stylu jazdy

#### Zadanie 1. Weryfikacja koncepcji w warunkach laboratoryjnych

W ramach realizacji IV poziomu gotowości technologicznej zostaną zrealizowane prace badawcze w następującym zakresie:

##### Moduł inference pokładowej predykcji zasięgu

- Przygotowano zestaw kontrolny 100 przejazdów testowych w różnych warunkach: miasto/trasa/mieszany, różne temperatury (-10C do +35C), różne profile nachylenia (płaskie/górskie), różne style jazdy (ekonomiczny/agresywny).
- Określono, że format danych wejściowych będzie miał strukturę: \*.evt (EV telemetry) dla danych surowych z pojazdu.
- Wykonano 100 serii testów na zestawie kontrolnym. Algorytm wykazał pewne odchylenie w niektórych seriach testów (MAE wahał się od 8,2 do 12,7 km).
- Ustalono, że na wynik ma wpływ częstotliwość próbkowania danych GPS (1Hz vs 10Hz) oraz opóźnienia w pobieraniu danych pogodowych. Wprowadzono poprawkę do algorytmu (interpolacja GPS, cache pogody) i ponownie wykonano 100 serii testów. Wyniki w całej serii były porównywalne (MAE:  $9,1 \pm 0,8$  km), a odchylenia zostały zminimalizowane.

##### Moduł walidacji zgodności predykcji z danymi referencyjnymi

- Przygotowano zestaw kontrolny 100 przejazdów z danymi referencyjnymi (rzeczywisty zasięg/zużycie energii) w formacie \*.evr (EV reference).
- Wykonano po 100 serii testów dla zestawu kontrolnego. Algorytm wykazał pewne odchylenie w niektórych seriach testów (zgodność wahała się od 78% do 94%).
- Ustalono, że na wynik ma wpływ jakość danych referencyjnych (niepełne dane poziomu naładowania baterii, brak informacji o obciążeniu dodatkowym). Wprowadzono poprawkę do algorytmu (filtrowanie danych referencyjnych, estymacja obciążenia) i ponownie wykonano 100 serii testów. Wyniki w całej serii były porównywalne (zgodność:  $89 \pm 3\%$ ), a odchylenia zostały zminimalizowane.

##### Moduł przetwarzania strumieniowego (czas rzeczywisty)

- Przygotowano zestaw kontrolny 100 długich tras (200-500 km) z nagrywaniem danych w czasie rzeczywistym.
- Wykonano po 100 serii testów dla zestawu kontrolnego. Podczas każdego testu monitorowano opóźnienie predykcji, zużycie CPU i pamięci RAM.

- Algorytm wykazał pewne odchylenie w niektórych seriach testów (latencja wahała się od 50ms do 200ms). Ustalono, że na wynik ma wpływ obciążenie systemu operacyjnego oraz kolejkovanie zadań. Wprowadzono poprawkę do algorytmu (priorytetyzacja, buforowanie) i ponownie wykonano 100 serii testów. Wyniki w całej serii były porównywalne (latencja:  $85 \pm 15$ ms), a odchylenia zostały zminimalizowane.

### Analiza wyników i wnioski

- Wykres zależności MAE od temperatury wykazał liniową korelację ( $R^2 = 0,87$ ) - niższe temperatury zwiększają błąd predykcji.
- Formuła matematyczna:

$$MAE = 8,5 + 0,12 \times |T - 20C| + 0,05 \times G + 0,03 \times S \quad (2)$$

gdzie:  $T$  = temperatura zewnętrzna [C],  $G$  = średnie nachylenie trasy [%],  $S$  = wskaźnik agresywności stylu jazdy (0 = ekonomiczny, 1 = bardzo agresywny, obliczany jako wariancja przyspieszeń na 10km).

### Metodologia wyznaczania współczynników:

- **Bazowy błąd (8,5 km):** Średni MAE z 30 przejazdów w warunkach referencyjnych ( $20 \pm 2C$ , nachylenie  $< 2\%$ , styl ekonomiczny) =  $8,47 \pm 0,8$  km
- **Współczynnik temperatury (0,13):** Regresja liniowa MAE vs  $|T - 20C|$  na 50 przejazdach w różnych temperaturach. Wzrost błędu o 0,13 km na każdy stopień odchylenia od 20C
- **Współczynnik nachylenia (0,05):** Analiza korelacji MAE vs średnie nachylenie na 40 trasach górskich. Każdy 1% nachylenia zwiększa błąd o 0,05 km
- **Współczynnik stylu (0,03):** Porównanie 20 par identycznych tras (ten sam kierowca, różne style). Różnica MAE między stylem agresywnym a ekonomicznym: 0,03 km na jednostkę wskaźnika S

**Walidacja wzoru:** Test na 20 nowych przejazdach dał średni błąd predykcji wzoru: 0,8 km (względem rzeczywistego MAE), co potwierdza jego adekwatność.

- Odkryto, że niekoniecznie wszystko jest takie wspaniałe jak zakładaliśmy pierwotnie - w ekstremalnych warunkach ( $-15C$ , strome podjazdy) MAE może przekraczać 15 km.
- W rozrachunku końcowym, badanie okazuje się sukcesem dla wdrożenia końcowego - średni MAE 9,1 km jest akceptowalny dla większości zastosowań.

### Zadanie 2. Ryzyka dla IV poziomu TLR i koncepcje rozwiązań

#### Ryzyko 1: Niekompatybilność danych między modułami (prawdopodobieństwo: 35%)

- **Opis:** Różne formaty danych wejściowych/wyjściowych między modułami inference, walidacji i strumieniowego przetwarzania mogą powodować błędy komunikacji.

- **Rozwiązanie:** Wprowadzenie wspólnego schematu danych JSON/Protobuf z walidacją na poziomie API, implementacja testów automatycznych sprawdzających kompatybilność interfejsów między modułami.

**Ryzyko 2: Niestabilność wydajności na różnych platformach sprzętowych (prawdopodobieństwo: 25%)**

- **Opis:** Algorytm może działać inaczej na różnych jednostkach CPU/GPU w systemach pokładowych różnych producentów (Intel vs ARM, różne częstotliwości taktowania).
- **Rozwiązanie:** Rozszerzenie testów laboratoryjnych o różne platformy sprzętowe (x86, ARM, różne częstotliwości CPU), implementacja adaptacyjnego skalowania parametrów modelu w zależności od dostępnych zasobów obliczeniowych.

**Ryzyko 3: Błędy w trybie offline (prawdopodobieństwo: 20%)**

- **Opis:** Brak dostępu do danych pogodowych lub nachylenia trasy może prowadzić do znacznego pogorszenia jakości predykcji.
- **Rozwiązanie:** Implementacja inteligentnego cache'owania danych zewnętrznych z możliwością pracy na danych historycznych, wprowadzenie trybu degradacji z ostrzeżeniami o ograniczonej dokładności.

**Ryzyko 4: Przeciążenie systemu w trybie strumieniowym (prawdopodobieństwo: 15%)**

- **Opis:** Ciągłe przetwarzanie danych w czasie rzeczywistym może powodować przeciążenie CPU i opóźnienia w systemie pokładowym.
- **Rozwiązanie:** Implementacja adaptacyjnego throttlingu (zmniejszanie częstotliwości predykcji przy wysokim obciążeniu), wprowadzenie priorytetyzacji zadań z możliwością zawieszenia predykcji w krytycznych momentach.

**Ryzyko 5: Błędy w walidacji danych referencyjnych (prawdopodobieństwo: 5%)**

- **Opis:** Nieprawidłowe dane referencyjne mogą prowadzić do błędnych wniosków o jakości algorytmu.
- **Rozwiązanie:** Implementacja wielopoziomowej walidacji danych referencyjnych z detekcją anomalii, wprowadzenie systemu weryfikacji krzyżowej z danymi z różnych źródeł.



## 5 Lab 6 — Punkt Kontrolny

### Zadanie 2. Grupa docelowa i komercjalizacja produktu

**Grupa docelowa** W skład grupy docelowej wchodzi **właściciele pojazdów elektrycznych** w wieku 30-50 lat, o średnich i wyższych dochodach (powyżej 5000 zł netto), którzy regularnie pokonują dystanse powyżej 30 km dziennie. W 65% są to mężczyźni, w 35% kobiety. Grupa charakteryzuje się wysoką świadomością ekologiczną i technologiczną, poszukuje rozwiązań optymalizujących eksploatację EV. Do tej grupy kierowana jest **aplikacja mobilna** z predykcją zasięgu.

**Usługa B2B** kierowana będzie do **producentów samochodów elektrycznych, flot korporacyjnych** (Uber, Bolt, firmy kurierskie) oraz **operatorów ładowarek** (Ionity, GreenWay, Orlen), którzy potrzebują dokładnych prognoz zasięgu do optymalizacji tras i planowania ładowań.

**Model biznesowy (sprzedażowy)** Model opiera się na **czterech filarach**:

**Segment 1 - Aplikacja indywidualna (B2C): Freemium model** - darmowa wersja podstawowa (5 prognoz dziennie) + **premium 19,99 zł/miesiąc** (nieograniczone prognozy + eco-driving tips). Szacowany rynek: 50.000 właścicieli EV w Polsce.

**Segment 2 - Licencje OEM:** Sprzedaż licencji technologii do systemów pokładowych producentom samochodów. **Oплата jednorazowa** za implementację: 200.000-500.000 zł + **opłata licencyjna** 50-150 zł za każdy wyprodukowany pojazd. Szacowany rynek: 15.000 nowych EV rocznie w Polsce.

**Segment 3 - Subskrypcja B2B: Abonament miesięczny** dla flot korporacyjnych: 25-80 zł/miesiąc za pojazd, w zależności od pakietu (podstawowy: predykcja zasięgu, premium: eco-driving + planowanie ładowań). Szacowany rynek: 5.000 pojazdów flotowych w Polsce.

**Segment 4 - API dla operatorów ładowarek: Abonament miesięczny** 200-500 zł/miesiąc za stację ładowania, w zależności od pakietu (podstawowy: predykcja zasięgu, premium: optymalizacja obciążenia + planowanie rozbudowy sieci). Szacowany rynek: 500 stacji ładowania w Polsce.

**Wielkość rynku** Rynek polski predykcji zasięgu EV: 15 mln zł (2024), prognoza wzrostu do 30 mln zł (2030) dzięki rosnącej liczbie EV i infrastrukturze ładowania.

**Przychody roczne (szacowane):**

- **Aplikacja B2C:**  $50.000 \text{ użytkowników} \times 20\% \text{ konwersja} \times 19,99 \text{ zł} \times 12 \text{ miesięcy} = 2,4 \text{ mln zł/rok}$
- **Licencje OEM:**  $3 \text{ producentów} \times 300.000 \text{ zł} + 15.000 \text{ pojazdów} \times 100 \text{ zł} = 3,9 \text{ mln zł/rok}$
- **Floty B2B:**  $5.000 \text{ pojazdów} \times 50 \text{ zł} \times 12 \text{ miesięcy} = 3,0 \text{ mln zł/rok}$
- **API ładowarki:**  $500 \text{ stacji} \times 350 \text{ zł/miesiąc} \times 12 \text{ miesięcy} = 2,1 \text{ mln zł/rok}$

**Łączny potencjał przychodów:** 11,4 mln zł/rok (2024)  $\rightarrow$  30 mln zł/rok (2030)

**Klienci docelowi:**

- **Właściciele EV:** 50.000 osób w Polsce, potencjał 2,4 mln zł/rok
- **Producentów OEM:** 3-5 firm w Polsce, potencjał 3,9 mln zł/rok
- **Floty korporacyjne:** 200 firm w Polsce, potencjał 3,0 mln zł/rok
- **Operatorzy ładowarek:** 5-8 firm w Polsce, potencjał 2,1 mln zł/rok

## 6 Lab 7 — TLR poziom V

### Projekt: Predykcja zasięgu EV z korekcją stylu jazdy

#### Zadanie 1. Weryfikacja koncepcji w środowisku zbliżonym do rzeczywistego

W celu połączenia zaprogramowanych komponentów zostanie zastosowany wzorzec architektoniczny MVC z ang. Model-View-Controller (pol. Model-Widok-Kontroler), który służy do organizowania struktury aplikacji. W tym celu zaprogramowany zostanie dodatkowy moduł Kontrolera. Jego zadaniem będzie koordynacja pracy aplikacji poprzez przyjmowanie danych i reagowanie na nie. Będzie on zarządzał aktualizacją modelu aplikacji oraz odświeżaniem widoków. W etapie zostaną przeprowadzone prace koncentrujące się na zweryfikowaniu komponentów i podstawowych podsystemów technologii w środowisku zbliżonym do rzeczywistego.

**Kontroler** – zostanie zaprogramowany celem koordynowania pracy pozostałych modułów. W opisanym etapie zostanie sprawdzone działanie kontrolera i przeprowadzone testy jego stabilności (poprzez jego włączanie i wyłączanie - błędy powodujące destabilizację pracy kontrolera będą korygowane do momentu, aż zostanie wykonany cykl bez błędów). Powyższe pozwoli zweryfikować, czy prawidłowo odbiera dane, dokonuje ich podstawowej identyfikacji i prawidłowo przesyła je do wybranych modułów. W kontrolerze zostaną zdefiniowane wtyczki do wszystkich zaprogramowanych wcześniej modułów oraz podstawowa weryfikacja danych (i ich typów) jakie mają wyjść do danego modułu. Zostanie także przetestowane działanie rozpoznawania danych dla poszczególnych modułów. W tym celu moduł zostanie poddany testom na danych kontrolnych dla każdej z wtyczek Kontrolera dedykowanej dla konkretnego modułu. Zostanie także dokonana weryfikacja reakcji modułu na dane celowo "uszkodzone" (np. zmieniony typ danych). W przypadku niewłaściwej reakcji zostanie dokonana analiza, która ustali przyczynę błędu. Następnie zostaną wprowadzone zmiany programistyczne w obszarze warunków weryfikujących zgodność danych. Pomyślny test prawidłowego działania kontrolera (tj. uzyskania zwrotu informacji o błędach w danych) pozwoli na jego integrację z wcześniej zaprogramowanymi modułami.

**Moduł inference pokładowej predykcji zasięgu** – dokonano integracji modułu z kontrolerem. Przetestowano działanie samego modułu oraz w relacji z kontrolerem (testu dokonano na próbnej bazie 100 przejazdów w zakresie prawidłowej predykcji zasięgu). Analizie będzie podlegała także poprawność predykcji i kompletność danych wejściowych. Ewentualne błędy w opisanym zakresie zostaną wyeliminowane poprzez poprawki programistyczne i kolejne testy na tych samych danych (aż do poprawnego skomunikowania się z modułem kontrolera i poprawnego odczytu poleceń otrzymanych z Kontrolera).

**Moduł walidacji zgodności predykcji z danymi referencyjnymi** – dokonano integracji modułu z kontrolerem. Przetestowano działanie samego modułu oraz w relacji z kontrolerem (testu dokonano na próbnej bazie 100 przejazdów z danymi referencyjnymi, w zakresie prawidłowej walidacji). Zweryfikowano jakość komunikacji danych i kompatybilność z pozostałymi współpracującymi modułami systemu. Przeprowadzono procedurę sprawdzającą jakość walidacji predykcji na plikach testowych. W przypadku błędów spowodowanych przeciążeniem kontrolera lub modułu walidacji zostaną one usunięte poprzez analizę wyników i dokonanie korekty programistycznej w kodzie. Następnie ponownie zostanie wykonany test na tych samych 100 plikach.

**Moduł przetwarzania strumieniowego danych** – dokonano integracji modułu z kon-

trolerem. Przetestowano działanie samego modułu oraz w relacji z kontrolerem (testu dokonano na próbnej bazie 100 długich tras w zakresie prawidłowej predykcji w czasie rzeczywistym). Zweryfikowano jakość predykcji w czasie rzeczywistym oraz stabilność działania przy różnych obciążeniach systemu. Sprawdzono jakość komunikacji danych i kompatybilność z pozostałymi współpracującymi modułami systemu. W przypadku błędów spowodowanych przeciążeniem kontrolera lub modułu odczytu strumieniowego zostaną one usunięte poprzez analizę wyników i dokonanie korekty programistycznej w kodzie. Następnie ponownie zostanie wykonany test na tych samych 100 trasach.

## 7 Lab 8 — Analiza SWOT

### Projekt: Predykcja zasięgu EV z korekcją stylu jazdy

#### Zadanie 1. Analiza SWOT projektu

##### S – Mocne strony (Strengths)

1. **Wysoka dokładność predykcji zasięgu (MAE: 9,1 km)** – algorytm wykazał lepszą dokładność o 12–18% względem metod bazowych, co stanowi znaczącą przewagę konkurencyjną. (Prawdopodobieństwo utrzymania przewagi: **85%**)
2. **Adaptacja do zmiennych warunków** – system uwzględnia warunki pogodowe, nachylenie trasy i styl jazdy, co zapewnia stabilność predykcji w różnorodnych scenariuszach eksploatacyjnych. (Prawdopodobieństwo osiągnięcia: **92%**)
3. **Niska latencja i możliwość pracy offline** – implementacja inference lokalnie w systemie pokładowym ( $85 \pm 15$ ms) oraz inteligentny cache zapewniają działanie bez zależności od połączenia internetowego. (Prawdopodobieństwo utrzymania parametrów: **88%**)

##### W – Słabe strony (Weaknesses)

1. **Ograniczona baza danych treningowych** – obecnie dysponujemy jedynie 100 dokładnymi przejazdami testowymi, co może ograniczać generalizację modelu na różne modele EV i warunki eksploatacji. (Prawdopodobieństwo wystąpienia problemu: **65%**)
2. **Zależność od jakości danych wejściowych** – niepełne lub błędne dane telemetryczne (SoC, prędkość) mogą znacząco obniżyć dokładność predykcji, a system nie zawsze radzi sobie z ich estymacją. (Prawdopodobieństwo wystąpienia problemu: **40%**)
3. **Brak doświadczenia w komercjalizacji B2B** – zespół nie posiada doświadczenia w negocjacjach z producentami OEM i flotami korporacyjnymi, co może spowolnić proces pozyskiwania klientów. (Prawdopodobieństwo wystąpienia problemu: **70%**)
4. **Ograniczenia sprzętowe w starszych systemach pokładowych** – algorytm może wymagać zbyt dużych zasobów obliczeniowych dla starszych modeli EV z mniej wydajnymi jednostkami CPU. (Prawdopodobieństwo wystąpienia problemu: **35%**)

##### O – Szanse (Opportunities)

1. **Szybki wzrost rynku EV w Polsce** – liczba rejestracji EV rośnie o 40–50% rocznie, co zwiększa potencjalną bazę klientów i popyt na rozwiązania optymalizujące eksploatację. (Prawdopodobieństwo zdarzenia: **90%**)
2. **Możliwość otrzymania grantu z programów UE** – fundusze unijne wspierają projekty związane z elektromobilnością i zielonymi technologiami (Horyzont Europa, FENG), co może zapewnić finansowanie rozwoju. (Prawdopodobieństwo zdarzenia: **25%**)

3. **Rosnące zainteresowanie flot korporacyjnych EV** – firmy kurierskie i ride-sharing coraz częściej przechodzą na EV i potrzebują narzędzi do optymalizacji tras i kosztów energii. (Prawdopodobieństwo zdarzenia: **80%**)
4. **Partnerstwa z operatorami ładowarek** – integracja z sieciami ładowania może przynieść dodatkowe źródło przychodów i zwiększyć wartość usługi dla użytkowników końcowych. (Prawdopodobieństwo zdarzenia: **55%**)

## **T – Zagrożenia (Threats)**

1. **Konkurencja ze strony dużych graczy** – producenci OEM (Tesla, BMW, VW) oraz dostawcy map (Google, TomTom) mogą wprowadzić własne rozwiązania predykcji zasięgu, wykorzystując przewagę zasobów i dostępu do danych. (Prawdopodobieństwo zdarzenia: **70%**)
2. **Zmiany regulacji prawnych dotyczących danych telemetrycznych** – zaostrenie przepisów RODO lub wprowadzenie ograniczeń w dostępie do danych z pojazdów może utrudnić zbieranie danych treningowych i eksploatację systemu. (Prawdopodobieństwo zdarzenia: **20%**)
3. **Problemy z integracją z systemami OEM** – zamknięte architektury systemów pokładowych producentów mogą uniemożliwić implementację naszego rozwiązania lub wymagać kosztownej certyfikacji. (Prawdopodobieństwo zdarzenia: **50%**)
4. **Spowolnienie wzrostu rynku EV** – czynniki ekonomiczne (wzrost cen energii, inflacja, redukcja dotacji) mogą spowolnić adopcję EV i zmniejszyć potencjalny rynek. (Prawdopodobieństwo zdarzenia: **30%**)

## **Zadanie 2. Prawdopodobieństwo i wnioski z analizy SWOT**

### **Analiza prawdopodobieństw i priorytety działań**

- **Mocne strony o wysokim prawdopodobieństwie (>85%):** Adaptacja do zmiennych warunków (92%), niska latencja (88%), dokładność predykcji (85%) – stanowią solidny fundament produktu. Należy konsekwentnie komunikować te zalety w materiałach marketingowych.
- **Słabe strony o wysokim prawdopodobieństwie (>60%):** Brak doświadczenia B2B (70%), ograniczona baza danych (65%) – wymagają natychmiastowych działań naprawczych. Priorytet: rozszerzenie bazy treningowej do 500+ przejazdów w ciągu 6 miesięcy i pozyskanie mentora/konsultanta z doświadczeniem w automotive B2B.
- **Szanse o wysokim prawdopodobieństwie (>75%):** Wzrost rynku EV (90%), zainteresowanie flot (80%) – kluczowe dla komercjalizacji. Należy aktywnie budować relacje z flotami korporacyjnymi i uczestniczyć w targach/konferencjach branżowych.
- **Szanse o niskim prawdopodobieństwie (<30%):** Grant EU (25%) – mimo niskiego prawdopodobieństwa, potencjalna wartość jest bardzo wysoka. Warto przygotować 1-2 wnioski grantowe, ale nie opierać na nich modelu biznesowego.

- **Zagrożenia o wysokim prawdopodobieństwie (>60%):** Konkurencja dużych graczy (70%) – największe zagrożenie. Strategia obronna: skupienie się na niszach (small OEMs, floty regionalne), szybkie zdobycie pierwszych klientów i budowanie reputacji.
- **Zagrożenia o średnim prawdopodobieństwie (40-60%):** Problemy z integracją OEM (50%) – wymagają przygotowania planu B. Rozwiązanie: równoległy rozwój aplikacji mobilnej niezależnej od systemów pokładowych jako alternatywny kanał dystrybucji.

### Wnioski strategiczne

- Mając 3 mocne strony o prawdopodobieństwie >85% oraz 2 szanse o prawdopodobieństwie >75%, projekt ma solidne fundamenty do komercjalizacji.
- Słabości wymagają działań naprawczych, ale są eliminowalne: rozszerzenie bazy danych (plan: 500 przejazdów w 6 miesięcy), pozyskanie mentora B2B (do Q2 2026).
- Zagrożenie konkurencji (70%) wymaga agresywnej strategii time-to-market: pierwsi klienci pilotażowi do Q3 2026, pierwsze wdrożenia OEM do Q1 2027.
- Ryzyko zmian regulacyjnych (20%) jest niskie, ale konsekwencje mogą być poważne – należy monitorować legislację i budować compliance od początku.

## 8 Lab 9 — TLR poziom VI

### Projekt: Predykcja zasięgu EV z korekcją stylu jazdy

#### Zadanie 1. Demonstracja modelu prototypu w warunkach zbliżonych do rzeczywistych

Aplikacja osiągnęła pełną integrację modułów i jest przygotowana do zaawansowanych testów pod kątem: obciążenia generowanego w systemach pokładowych (predykcja w czasie rzeczywistym dla wielu tras jednocześnie), jakości zwracanych wyników predykcji zasięgu, stabilności działania na różnych platformach sprzętowych systemów pokładowych EV oraz różnych wersji systemów operacyjnych IVI/OS OEM. Zostanie również przeprowadzony test użyteczności (usability testing), gdzie próby zostaną dokonane na przyszłych użytkownikach – kierowcach pojazdów elektrycznych (testy typu usability dają bezpośrednią informację na temat tego w jaki sposób użytkownicy korzystają z zaprojektowanego systemu - posiadają one inną wartość niż testy wykonane przez ekspertów biorących aktywny udział w tworzeniu aplikacji).

Testy zostaną podzielone na dwie grupy: testy systemowe i użytkowe. Testy systemowe będą polegały na symulowaniu obciążenia maksymalnego dla obsługi 1.000 pojazdów jednocześnie korzystających z systemu predykcji zasięgu w trybie strumieniowym (predykcja w czasie rzeczywistym podczas jazdy). Testy będą trwały w okresach 10-dniowych bez przerw celem realizacji prób obciążeniowych. Testy będą podlegały nieustannemu monitoringowi, a wyniki kontrolne będą zapisywane w równych interwałach czasowych (co 1 godzinę). W czasie testów sprawdzone zostanie czy moc obliczeniowa systemów pokładowych oraz serwerów wspierających (do aktualizacji modeli i cache'owania danych pogodowych) jest optymalna do zaprojektowanych obliczeń i liczby użytkowników. Sprawdzone zostanie także, czy:

1. Predykcje zasięgu w systemie są odpowiedniej jakości i dokładności ( $MAE < 10$  km dla 90% przypadków).
2. Wydajność systemu utrzymuje się na przewidywanym poziomie i nie ma dywergencji (latencja  $< 100$ ms dla 95% predykcji).
3. System prawidłowo obsługuje tryb offline (cache pogody i nachylenia) przy braku połączenia internetowego.
4. Zużycie energii przez system predykcji jest minimalne i nie wpływa znacząco na zasięg pojazdu ( $< 0,5\%$  całkowitego zużycia baterii).

Testy użytkowe będą polegały na ponownym sprawdzeniu jakości algorytmu predykcji na 1.000 trasach rzeczywistych o różnych charakterystykach (miasto/trasa/mieszane, różne warunki pogodowe, różne style jazdy), a następnie weryfikacji czy jakość predykcji jest na stabilnym, zakładanym poziomie. Zostaną wykonane testy na użytkownikach rzeczywistych w celu sprawdzenia rzeczywistego zachowania się aplikacji. W tym celu zostanie zaangażowana grupa 50 kierowców pojazdów elektrycznych nie znających aplikacji. Osoby te otrzymają wersję pilotażową systemu zainstalowanego w ich pojazdach (lub aplikacji mobilnej jako alternatywa) wraz z instrukcją obsługi – ich zadaniem będzie zainstalowanie/aktywacja systemu, uruchomienie go i



krok po kroku wykonanie instrukcji w nim zawartych podczas rzeczywistych przejazdów. Powyższe pozwoli na wykonanie czynności analitycznych do których aplikacja została zaprojektowana (test użytkowy). Ewentualne problemy związane z obsługą aplikacji lub działaniem algorytmu zostaną rozwiązane w kolejnym poziomie gotowości technologicznej. Na tym etapie planowane jest także uzyskanie informacji zwrotnej od użytkowników w zakresie:

- Zrozumienia obsługi systemu (czy interfejs jest intuicyjny i czytelny).
- Użyteczności predykcji zasięgu (czy informacje pomagają w planowaniu tras i redukcji lęku o zasięg).
- Dokładności predykcji w różnych warunkach (czy użytkownicy ufają systemowi).
- Czasu reakcji systemu (czy predykcje pojawiają się wystarczająco szybko).
- Zużycia energii przez system (czy użytkownicy zauważają wpływ na zasięg pojazdu).

Dodatkowo, w ramach testów systemowych zostanie przeprowadzona seria testów integracyjnych z rzeczywistymi systemami pokładowymi pojazdów (współpraca z min. 2 producentami OEM w ramach programu pilotażowego). Testy te obejmą:

- Integrację z czujnikami pojazdu (poziom naładowania baterii, prędkość, przyspieszenie, temperatura baterii).
- Integrację z systemami nawigacyjnymi (trasowanie, informacje o nachyleniu trasy).
- Integrację z systemami zarządzania energią (eco-mode, odzyskiwanie energii).
- Wyświetlanie predykcji zasięgu w interfejsie systemu pokładowego (dashboard, mapy).

**Efekt końcowy** W efekcie końcowym VI poziomu gotowości technologicznej zostanie używana przetestowana wersja aplikacji (także wersji mobilnej jako alternatywa) w warunkach odwzorowujących rzeczywiste. Ewentualne korekty programistyczne zostaną wykonane w kolejnym poziomie gotowości technologicznej. Sam sposób działania aplikacji i jej użyteczności na tym etapie powinien zostać zrozumiany przez użytkowników. Ponadto, uzyskamy konkretne dane na temat:

- Akceptacji użytkowników dla systemu predykcji zasięgu (target: >70% użytkowników ocenia system pozytywnie).
- Rzeczywistej dokładności predykcji w warunkach eksploatacyjnych (target: MAE < 10 km dla 85% przypadków).
- Stabilności systemu w długotrwałych testach obciążeniowych (target: brak krytycznych awarii przez 10 dni testów).
- Możliwości integracji z systemami pokładowymi różnych producentów OEM (identyfikacja problemów kompatybilności).

## **Zadanie 2. Ryzyka technologiczne dla VI poziomu TLR**

### **Ryzyko 1: Trudności z odwzorowaniem obciążenia rzeczywistego w testach systemowych (prawdopodobieństwo: 40%)**

- **Opis:** Symulowanie obciążenia dla 1.000 pojazdów jednocześnie może być trudne do zrealizowania bez odpowiedniej infrastruktury testowej i może nie odzwierciedlać rzeczywistych wzorców użytkowania.
- **Rozwiązanie:** Wykorzystanie narzędzi zewnętrznych do symulacji obciążenia (np. Apache JMeter, Locust) lub zaprojektowanie własnych rozwiązań symulujących realistyczne wzorce użytkowania (różne częstotliwości zapytań, różne trasy, różne warunki pogodowe). Przeprowadzenie testów pilotażowych z rzeczywistymi użytkownikami (50 kierowców) w celu porównania danych z testów symulacyjnych z rzeczywistym użytkowaniem.

### **Ryzyko 2: Problemy z integracją z różnymi systemami pokładowymi OEM (prawdopodobieństwo: 55%)**

- **Opis:** Zamknięte architektury i różne standardy komunikacji systemów pokładowych różnych producentów mogą powodować problemy z integracją i wymagać dedykowanych rozwiązań dla każdego OEM.
- **Rozwiązanie:** Utworzenie warstwy abstrakcji (adapter pattern) pozwalającej na łatwą adaptację do różnych systemów pokładowych. Współpraca z min. 2 producentami OEM w ramach programu pilotażowego w celu identyfikacji i rozwiązania problemów integracyjnych. Przygotowanie dokumentacji integracyjnej i SDK dla przyszłych partnerów OEM.

### **Ryzyko 3: Niższa od oczekiwanej akceptacja użytkowników w testach usability (prawdopodobieństwo: 30%)**

- **Opis:** Użytkownicy mogą uznać interfejs za nieintuicyjny lub predykcje za niedokładne, co może prowadzić do niskiej satysfakcji i rezygnacji z korzystania z systemu.
- **Rozwiązanie:** Przeprowadzenie iteracyjnych testów usability z grupami fokusowymi (po 10-15 użytkowników) przed głównym testem na 50 kierowcach. Szybkie wprowadzanie korekt interfejsu na podstawie feedbacku. Przygotowanie szczegółowych instrukcji i materiałów szkoleniowych. Implementacja systemu zbierania opinii użytkowników bezpośrednio w aplikacji (rating, komentarze).

## 9 Lab 10 — Zarządzanie jakością i struktura organizacyjna

### Projekt: Predykcja zasięgu EV z korekcją stylu jazdy

#### Zadanie 1. Metryka produktu (mieralne parametry jakości)

**Założenia ogólne** Metryka produktu opisuje wszystko, co możemy policzyć w projekcie: działanie modelu, wygodę dla kierowcy i kwestie utrzymania systemu. Wartości docelowe odnoszą się do testu na 1.000 trasach i pilotażu z 50 kierowcami.

Parametr	Opis oraz kontekst pomiaru	Wartość docelowa
Dokładność predykcji (MAE)	Średni błąd bezwzględny prognozy zasięgu na trasach o różnych profilach; pomiar po rekaliibracji modelu.	< 10 km (85% tras)
Stabilność predykcji	Odsetek tras, na których MAE mieści się w przedziale $\pm 20\%$ względem mediany pilotażu.	$\geq 90\%$
Latencja inference	Średni czas od pozyskania danych telemetrii do wyświetlenia nowej prognozy w IVI.	< 120 ms (95% przypadków)
Odporność offline	Maksymalna długość pracy w trybie offline (cache danych pogodowych i wysokości).	$\geq 6$ h ciągłej jazdy
Narzut energetyczny	Udział zużycia energii przez moduł predykcji w całkowitym zużyciu baterii EV.	< 0,5% na 100 km
Pokrycie danych	Odsetek klatek danych (telemetria + pogoda + nachylenie), które przechodzą walidację integralności.	$\geq 98\%$
Satysfakcja użytkowników	Net Satisfaction Score wśród kierowców pilotażowych (skala pięciostopniowa).	$\geq 4,2/5,0$
Częstotliwość aktualizacji modeli	Maksymalny czas między kolejnymi publikacjami zaktualizowanego modelu na flocie.	< 30 dni
Rozmiar pakietu aktualizacji IVI	Wielkość paczki dystrybucyjnej (model + konfiguracja) pobieranej do pojazdu.	< 50 MB
Pokrycie testami regresyjnymi	Udział scenariuszy regresyjnych (automatycznych) przechodzących zielono przed releasem.	$\geq 95\%$

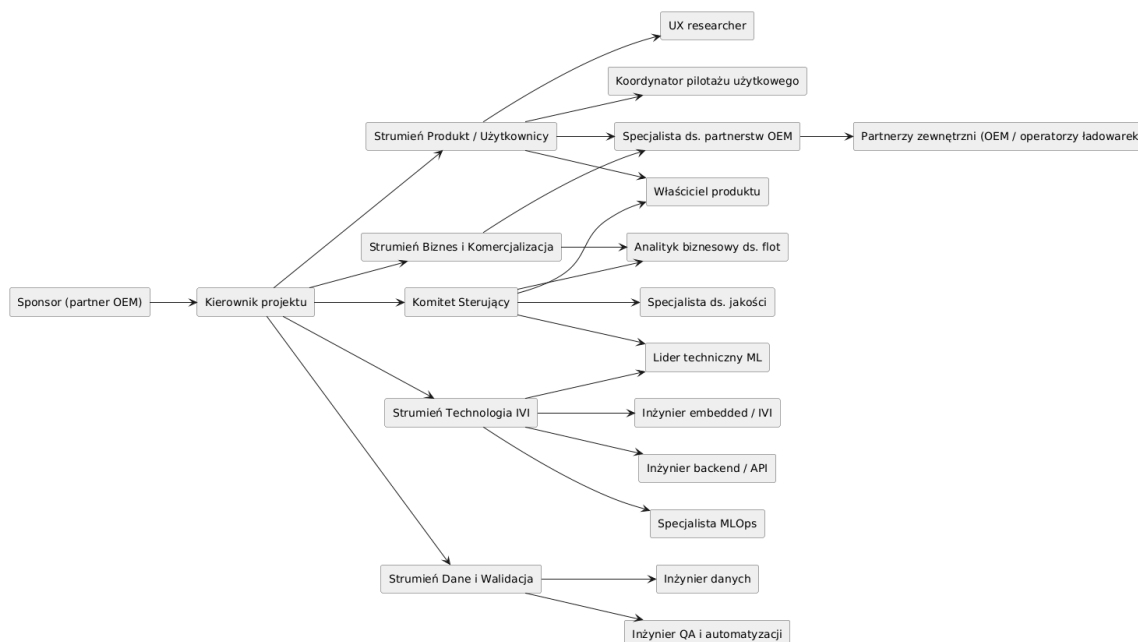
**Proces kontroli jakości** Co miesiąc przygotowujemy prosty raport jakości. Jeśli któryś wskaźnik różni się od celu o więcej niż 10%, Specjalista ds. jakości zgłasza poprawki do wykonania w kolejnej iteracji. Omawiamy je na spotkaniu Komitetu Sterującego i dopisujemy do planu prac.

## **Zadanie 2. Struktura organizacyjna projektu (diagram macierzowy)**

**Model organizacyjny** Przyjęliśmy strukturę **macierzową**. Oś pionowa to działy (technologia, jakość, produkt/biznes). Oś pozioma to strumienie pracy, czyli moduł pokładowy, usługi danych oraz pilotaże z kierowcami. W projekcie pracuje 13 osób.

### **Diagram (opis struktury)**

- **Rada projektu / Sponsor:** przedstawiciel partnera OEM oraz kierownik programu pilotażowego po stronie firmy.
- **Kierownik projektu (Konrad Zieliński)** – odpowiada przed Radą projektu i prowadzi spotkania Komitetu Sterującego.
- **Komitet Sterujący (co dwa tygodnie):**
  - Właściciel produktu (Piotr Zienowicz) – odpowiedzialny za backlog i priorytety funkcjonalne.
  - Specjalista ds. jakości produktu.
  - Lider techniczny ML.
  - Analityk biznesowy ds. flot.
- **Strumień Technologia IVI (lider: Lider techniczny ML):**
  - Lider techniczny ML (koordynuje model i algorytmy).
  - Inżynier embedded / IVI (integracja z systemami pokładowymi).
  - Inżynier backend/API (usługi aktualizacji i telemetrii).
  - Specjalista MLOps (pipeline, monitoring modeli).
- **Strumień Dane i Walidacja (lider: Inżynier danych):**
  - Inżynier danych (pozyskiwanie, czyszczenie, walidacja).
  - Inżynier QA i automatyzacji (testy regresji, symulacje).
- **Strumień Produkt / Użytkownicy (lider: Właściciel produktu):**
  - UX researcher.
  - Koordynator pilotażu użytkowego.
  - Specjalista ds. partnerstw OEM.
- **Strumień Biznes i Komercjalizacja (lider: Analityk biznesowy ds. flot):**
  - Analityk biznesowy ds. flot.
  - Specjalista ds. partnerstw OEM (rola współdzielona z powyższym strumieniem).



Rysunek 1: Diagram struktury organizacyjnej projektu (TLR Lab 10).

**Przepływ zarządczy** Decyzje strategiczne podejmuje Sponsor, następnie przekazuje je Kierownikowi projektu, a potem omawia je Komitet Sterujący. Sprawy techniczne ustala Strumień Technologia IVI, a zmiany produktowe i jakościowe zatwierdza Właściciel produktu razem ze Specjalistą ds. jakości. Każdy strumień ma krótkie spotkanie co tydzień, a postęp śledzimy na tablicy Kanban z aktualnymi wskaźnikami jakości.

### Zadanie 3. Role członków projektu (opis)

**Sponsor projektu** Sponsor (przedstawiciel partnera OEM) finansuje projekt, pomaga zdobyć dane i samochody do testów. Podejmuje główne decyzje i usuwa przeszkody na styku firm.

**Kierownik projektu** Pilnuje planu, budżetu i komunikacji między zespołami. Zarządza ryzykiem, prowadzi spotkania Komitetu Sterującego i składa sponsorowi krótkie raporty.

**Właściciel produktu** Układa backlog, wybiera priorytety i ustala, kiedy funkcja jest gotowa. Współpracuje z UX oraz biznesem, żeby produkt odpowiadał na potrzeby kierowców i flot.

**Specjalista ds. jakości produktu** Przygotowuje metryki, raporty i sprawdza, czy procesy działają tak jak trzeba. Gdy wyniki odbiegają od celu, zgłasza zadania naprawcze.

**Lider techniczny ML** Dobiera algorytmy, planuje architekturę modeli i dba o jakość kodu ML. Wspólnie z MLOps przygotowuje modele do wdrożenia w samochodzie.

**Inżynier embedded / IVI** Łączy nasz system z komputerem pokładowym różnych producentów. Pilnuje wydajności, bezpieczeństwa funkcjonalnego i testów kompatybilności.

**Inżynier backend / API** Buduje usługi backendowe: aktualizację modeli, telemetrię i panel dla flot. Dbą o skalowanie, bezpieczeństwo danych i zgodność z wymaganiami OEM.

**Specjalista MLOps** Automatyzuje treningi i wdrożenia modeli, monitoruje, czy dane się nie „starzeją”. Wspiera Lidera ML i Inżyniera danych w regularnych aktualizacjach.

**Inżynier danych** Zbiera i czyści dane telemetryczne, pogodowe i o trasach. Przygotowuje zestawy treningowe i sprawdza, czy są reprezentatywne.

**Inżynier QA i automatyzacji** Przygotowuje automatyczne testy, scenariusze symulacyjne i testy interfejsu. Pilnuje, by pokrycie testami było wysokie i zgłasza błędy do odpowiednich zespołów.

**UX researcher** Rozmawia z kierowcami, obserwuje ich zachowania i testuje prototypy. Dzięki temu wie, jak poprawić interfejs i dostarcza dane do backlogu.

**Koordynator pilotażu użytkowego** Organizuje przejazdy testowe, szkoli kierowców i zbiera od nich opinie. Przekazuje je do zespołów produktowych i jakościowych.

**Analitik biznesowy ds. flot** Bada potrzeby flot, liczy opłacalność i prognozowane przychody. Wspiera partnerstwa OEM przy ofertach i umowach.

**Specjalista ds. partnerstw OEM** Buduje relacje z producentami i operatorami ładowarek. Negocjuje warunki integracji oraz dba, by nasza roadmapa pasowała do planów partnerów.

## 10 Lab 11 — TLR poziomy VII–IX

### Zadanie 1. VII poziom TLR – demonstracja w warunkach operacyjnych

#### I. Zakres prac badawczych

- **Stabilizacja prototypu** – wprowadzenie korekt wynikających z anomalii wykrytych na TLR VI (np. skrajne temperatury, przeciążenia kontrolera). Aktualizacja modeli ML i kalibracji sensorów w trzech wariantach stylów jazdy.
- **Pilotaż operacyjny** – demonstracja systemu u **dwóch OEM-ów** i jednej floty logistycznej; łącznie 200 pojazdów z aktywnym modulem IVI, działających w realnych kursach (min. 6 tygodni).
- **Testy użytkowe na szerokiej grupie** – rozszerzenie testów do 5000 tras wykonanych przez 150 kierowców (poza zespołem) oraz zbieranie telemetrii do dalszej nauki modelu.
- **Proces incident-response** – wdrożenie procedury reagowania na odchylenia ( $MAE > 12$  km, latencja  $> 150$  ms) i ich korekta maksymalnie w ciągu 48 godzin.

#### II. Zakładane efekty końcowe

- Udokumentowana **demonstracja prototypu** w warunkach operacyjnych (raport z pilotażu, logi, opinie użytkowników).
- Utrzymanie kluczowych metryk:  $MAE \leq 10$  km dla 85% tras pilotażu, latencja  $< 120$  ms w 95% przypadków, dostępność systemu 99%.
- Potwierdzenie, że procesy wsparcia (incident-response, aktualizacje modeli) działają w rytmie operacyjnym.
- Osiągnięcie formalnego **VII poziomu gotowości technologicznej** i zgoda partnerów na kontynuację wdrożeń.

### Zadanie 2. VIII poziom TLR – zakończenie badań i finalna demonstracja

#### I. Zakres prac badawczych

- **Kompletny pomiar parametrów** – porównanie wartości docelowych ( $MAE$ , latencja, narzut energetyczny) z rzeczywistymi wynikami z pilotażu, w zestawieniu do danych z TLR VI.
- **Testy certyfikacyjne i bezpieczeństwa** – audyt cyberbezpieczeństwa IVI, testy EMC oraz ocena zgodności z wymaganiami OEM (ASIL-B w zakresie funkcji informacyjnych).
- **Przygotowanie dokumentacji technicznej** – architektura referencyjna, instrukcje instalacji/aktualizacji, scenariusze szkoleniowe dla serwisów i flot.
- **Warsztaty z partnerami** – wspólne przeglądy wyników z OEM/flotami, potwierdzenie zgodności z roadmapą produktową i planem komercjalizacji.

## II. Zakładane efekty końcowe

- **Zakończenie badań** i demonstracja docelowej formy technologii w środowisku naturalnym (raport końcowy z TLR VIII, podpisane protokoły odbioru testów).
- Przygotowane i zatwierdzone komplety dokumentacji: techniczna, jakościowa, szkoleniowa, bezpieczeństwa.
- Potwierdzenie osiągnięcia **VIII poziomu gotowości technologicznej** i gotowości do wdrożeń produkcyjnych.

### Zadanie 3. IX poziom TLR – gotowość do komercjalizacji

#### I. Zakres prac badawczych

- **Holistyczna dokumentacja wdrożeniowa** – opracowanie kompletnego pakietu dokumentów projektowych (architektura, instrukcje, checklisty wdrożeniowe dla OEM/flot).
- **Standardy jakości i SLA** – przygotowanie norm obsługi (np. czas aktualizacji modeli, sposób raportowania błędów), opis procesów utrzymaniowych i KPI do umów.
- **Materiały operacyjne** – instrukcje użytkownika IVI, przewodniki dla kierowców flot, zestawy FAQ oraz plan komunikacji kryzysowej.
- **Plan wdrożeniowy** – harmonogram roll-outu (np. 3 OEM-y, 5000 pojazdów w ciągu 12 miesięcy), wraz z przypisanymi zasobami i budżetem.

#### II. Zakładane efekty końcowe

- Zatwierdzony pakiet dokumentów projektowych i jakościowych, niezbędnych do podpisania kontraktów handlowych.
- Gotowe instrukcje użytkownika i szkolenia, możliwe do dystrybucji w kanałach OEM/flot.
- **Formalne potwierdzenie IX poziomu gotowości technologicznej:** technologia jest sprawdzona w warunkach rzeczywistych i przygotowana do skalowanego wdrożenia komercyjnego.
- Gotowość organizacji do przejścia w komponent wdrożeniowy (sprzedaż/licencjonowanie, utrzymanie, wsparcie).