



AŽD Praha s.r.o.

AUTONOMNÍ PROVOZ

Technologie pro provozování autonomních vlaků



Ing. Et Ing. Petr Stříteský
Ing. Michal Novák

Výzkum & Vývoj, AŽD Praha s.r.o.

ČVTSS, Praha, duben 2026

Autonomní doprava - specifika

■ Silniční doprava

- 2D pohyb
- Samostatný systém
- V budoucnu komunikace mezi vozidly, s infrastrukturou (C-DAS)

■ Železnice

- 1D pohyb
- Vyšší nároky na bezpečnost a certifikace
- Komplexní systém

■ Letectví

- 3D pohyb
- Nejvyšší nároky na bezpečnost
- Nejdelší historie automatizace řízení
- Při nastalé chybě či incidentu je obtížné zastavit a čekat na vyřešení 😊



Úvodem...

- V roce 2019 začal v AŽD výzkum a vývoj autonomních technologií
- V dubnu 2025 byl na lince Kopidlno – Dolní Bousov zahájen autonomní provoz s cestujícími



ATO v prostředí ČR - Historie

- 1960 – začátek výzkumu v oblasti automatizace řízení kolejových hnacích vozidel
- 1970 – automatická regulace rychlosti (**ARR**) vč. brzdění + energetická optimalizace
- 1980 – cílové brzdění (**CB**) (nasazení v pražském metru „C“, testování na železnici)
 - Vývoj a testování optimalizátoru spotřeby trakční energie (později **OJV** - optimalizátor jízdy vlaku)
- 1990 – přechod k digitálnímu řízení
 - Přechod výzkumu a vývoje pod komerční společnost AŽD Praha, s.r.o.
 - 1991 testování systému **AVV** (ARR + CB + OJV) – automatizované vedení vlaku na lokomotivě 163.034
 - 1993 komerční nasazení **AVV** na jednotkách ř. 470



ATO v prostředí ČR - Současnost

- Systém CRV&AVV AŽD Praha – konkrétní implementace systému ATO GoA2
- Orientace vlaku na trati prostřednictvím magnetických či geodetických informačních bodů
- Systémem je vybaveno přibližně **600 vozidel** dopravců ČD a.s. a dalších
 - řady 471, 380, 961, 163/362, 750.7, 660, 842, nově např. 847
- Přibližně **1500 km tratí** vybaveno informačními body **MIB-6** (magnetické IB mezi kolejnicemi)
- Dalších přibližně **1500km** tratí vybaveno informačními body **GIB** (lokalizace pomocí GPS)
- Probíhající integrace s ETCS
 - **AVV over ETCS** – integrace stávajícího AVV pro lokalizaci prostřednictvím balíz ETCS a jízdu pod jeho dohledem
 - **ATO over ETCS** – evropská interoperabilní implementace systémů ATO do ETCS prostřednictvím standardizovaných komunikačních rozhraní, umožňující přechod až do úrovně GoA3 či GoA4



© Tomáš Pelech



Grade of Automation (GoA) – stupně automatizace

	Grade of Automation	Train supervision	Train control	Supervision of area in front of train	Closing the door	Permission to depart from station
	GoA0	Train driver	Train driver	Train driver	Train driver	Train driver
	GoA1	System	Train driver	Train driver	Train driver	Train driver
Přes 30 let komerčního provozu v ČR →	GoA2	System	System	Train driver	Train driver	Train driver
Kopidlanka 2025 →	GoA3	System	System	System	responsible operators	responsible operators
Cíl do budoucna vyžadující změny legislativy →	GoA4	System	System	System	System	System

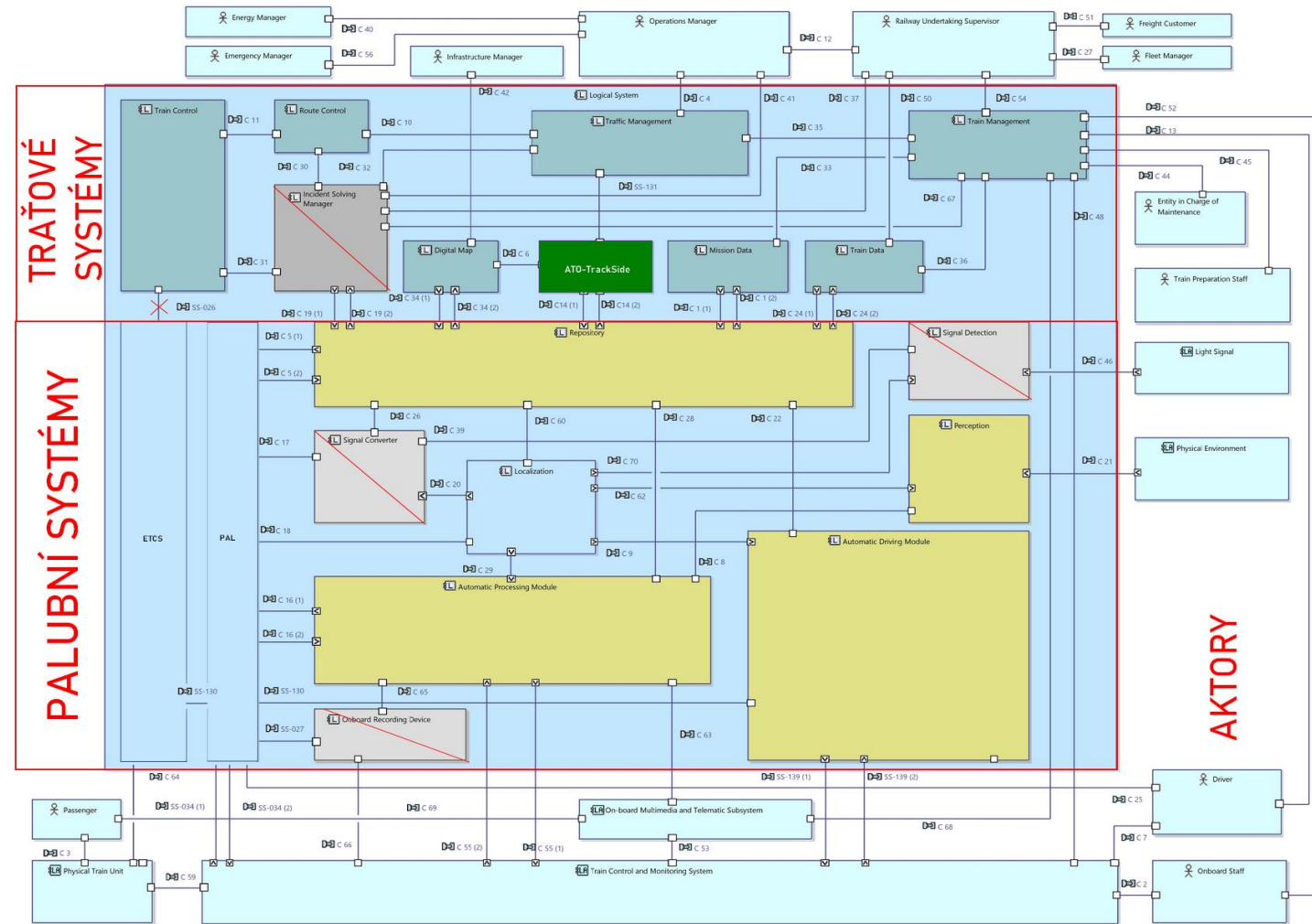
Responsibility: ■ System ■ Train driver/responsible operators

Klíčové vlastnosti

- Plně autonomní vedení vlaku díky Automatic Driving Module (GoA3/4 ERTMS/ATO-0B)
- Souprava: EDITA + BDtax (010)
- Hnací vozidlo vybavené detekčním systémem PERception - „detektor překážek“
- Pod plným dohledem ETCS L2 od výchozí do cílové stanice
- Přenos popisu infrastruktury a jízdního řádu v reálném čase díky ERTMS/ATO-TS přes GSM-R
- Pokročilá lokalizace prostřednictvím ETCS a GNSS
- Všechny systémy pracují pod evropskými specifikacemi X2R-4 and ERJU R2DATO
- Strojvedoucí prozatím přítomen na stanovišti z důvodu legislativy
- Vlečný vůz vybaven interaktivním videopřenosem pro cestující s vizuálním výstupem detekčních systémů

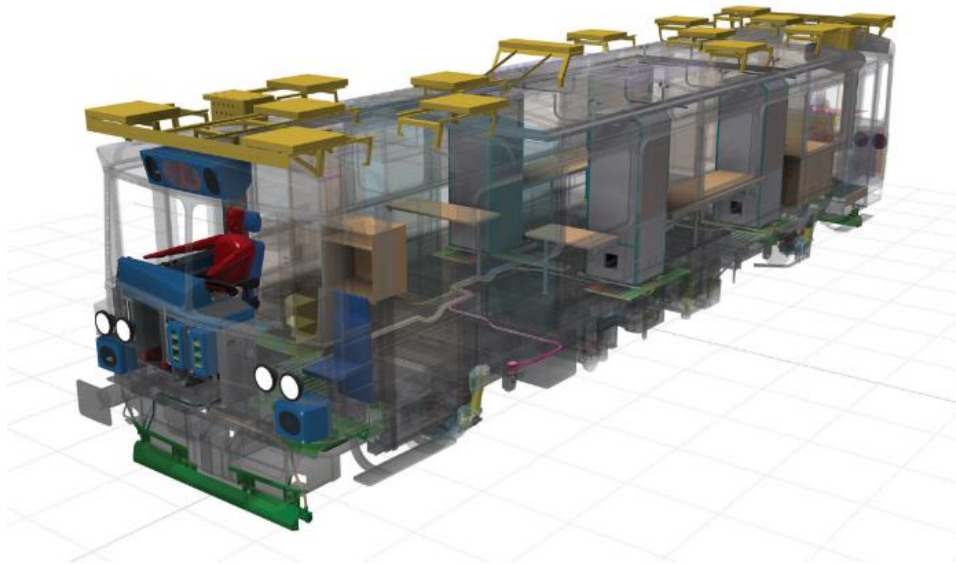


Systemové schéma autonomní železnice GoA 3+



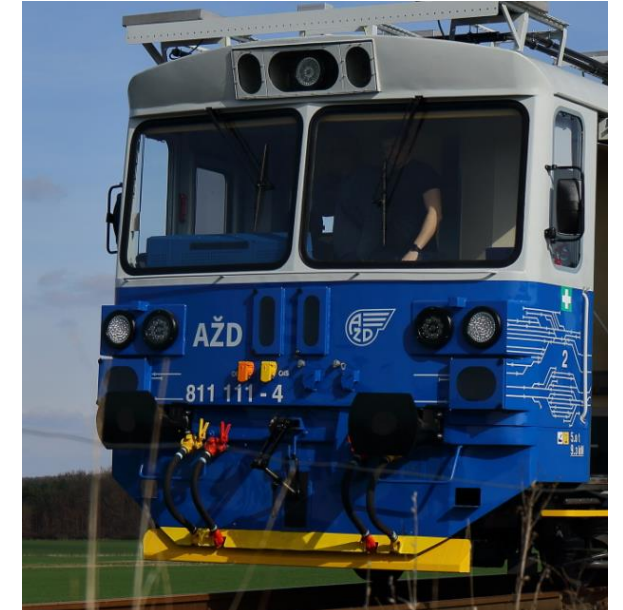
Výzkumné hnací vozidlo „EDITA“ 811.111-4

- Experimental Driverless vehicle for Innovation and Technologies of AZD
- Dokončeno 2024 kompletní rekonstrukcí MV ř. 810 (1976)
- Stavěno specificky pro výzkum, vývoj a testování autonomních vozidlových technologií
- Senzorické komponenty vestavěny do skříně vozidla
- Neslouží pro cestující – pojízdná vývojová laboratoř + skříně pro technologie



Změny EDITy vůči MV ETCS 851 (9 165.001)

- Výchozí stav
- Interní architektura → ERJU architektura (nové moduly)
- Vylepšení SW řešení PER – zvýšení robustnosti – nezávislé thready





EDITA 811.111-4



1 Řídicí systém

CRV/AVV: Centrální regulátor vozidla / Automatické vedení vlaku
PTSM: Protismykový regulátor
ModuRail: Řídicí jednotka spalovacího motoru TEDOM

2 ETCS se čtečkou balíz AŽD

ETCS Level 2: European Train Control System Level 2 – Jednotný evropský zabezpečovací systém v úrovni 2
EVC: European Vital Computer – Centrální jednotka ETCS
BTM: Balise Transmission Module – Přenosový modul komunikačního kanálu balíže
GSM-R: Global System for Mobile Communications – Railway – Digitální rádiový systém pro železniční aplikace

3 Detekce překážek

GNSS: Global Navigation Satellite System – Globální navigační satelitní systém
GSM-R

4 ETCS se čtečkou balíz CAF Signalling

ETCS Level 2
EVC
BTM
GSM-R
JRU: Junidical Recording Units – Záznamník dat/událostí
TGR: Rychloměr
KBS: Kontrola bdělosti strojvedoucího

5 Kamery

6 Lidary

7 Balízková anténa CAF Signalling

8 Balízková anténa AŽD

9 Snímače otáček kol

10 Dopplerův radar

11 Antény

A Řídicí pult A

B Řídicí pult B

Palubní systémy

Automatic Driving Module (ADM) – GoA 3/4 ATO

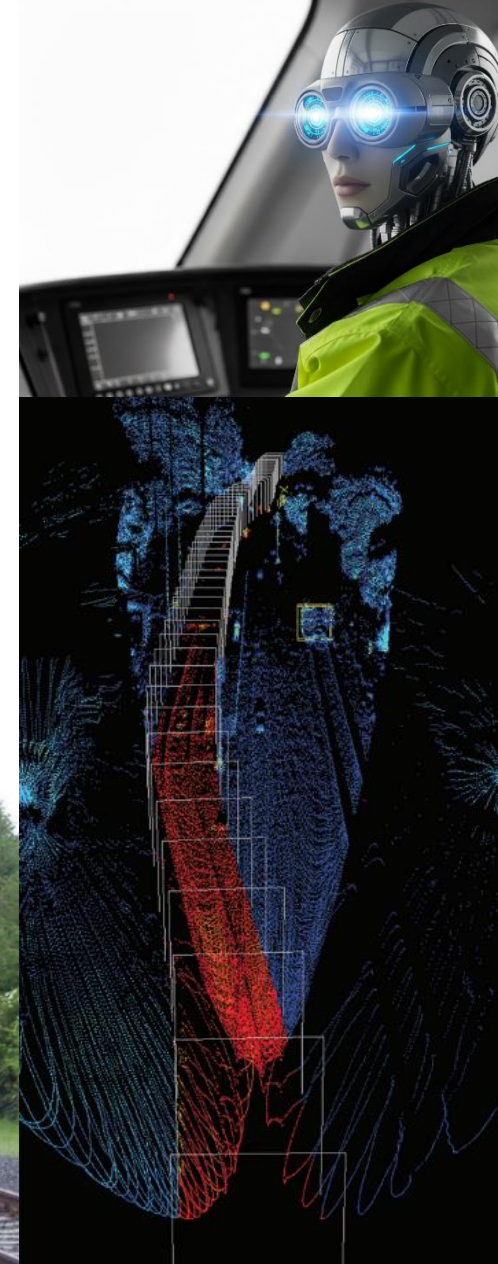
- „Nahrazuje ruce strojvedoucího“
- Rozšíření GoA 2 interoperabilního ERTMS/ATO („ATO over ETCS“) TSI2023 o podporu plně autonomního provozu
- Regulace trakce a brzdy, cílové brzdění a zastavení vč. reakce na překážku
- Živé GSM-R spojení mezi palubní a traťovou částí (ERTMS Subset-126)
- Datová komunikace s PAL & ETCS-OBU (ERTMS Subset-130)
- Datová komunikace s vozidlem - TCMS (CAN nebo ERTMS Subset-139)
- Datová komunikace s autonomními GoA 3/4 systémy (X2R-4 and R2DATO specs)



Palubní systémy

Perception Module (PER)

- „Nahrazuje oči strojvedoucího“
- Sada senzorů + vyhodnocovací modul
- Vyhodnocuje volnost trati před vlakem, detekuje překážky
- Vyhodnocování - Deep learning, neuronové sítě, rozpoznávání obrazu
- Sensory: Sada videokamer, LiDARy, termokamera, sonické, atd.



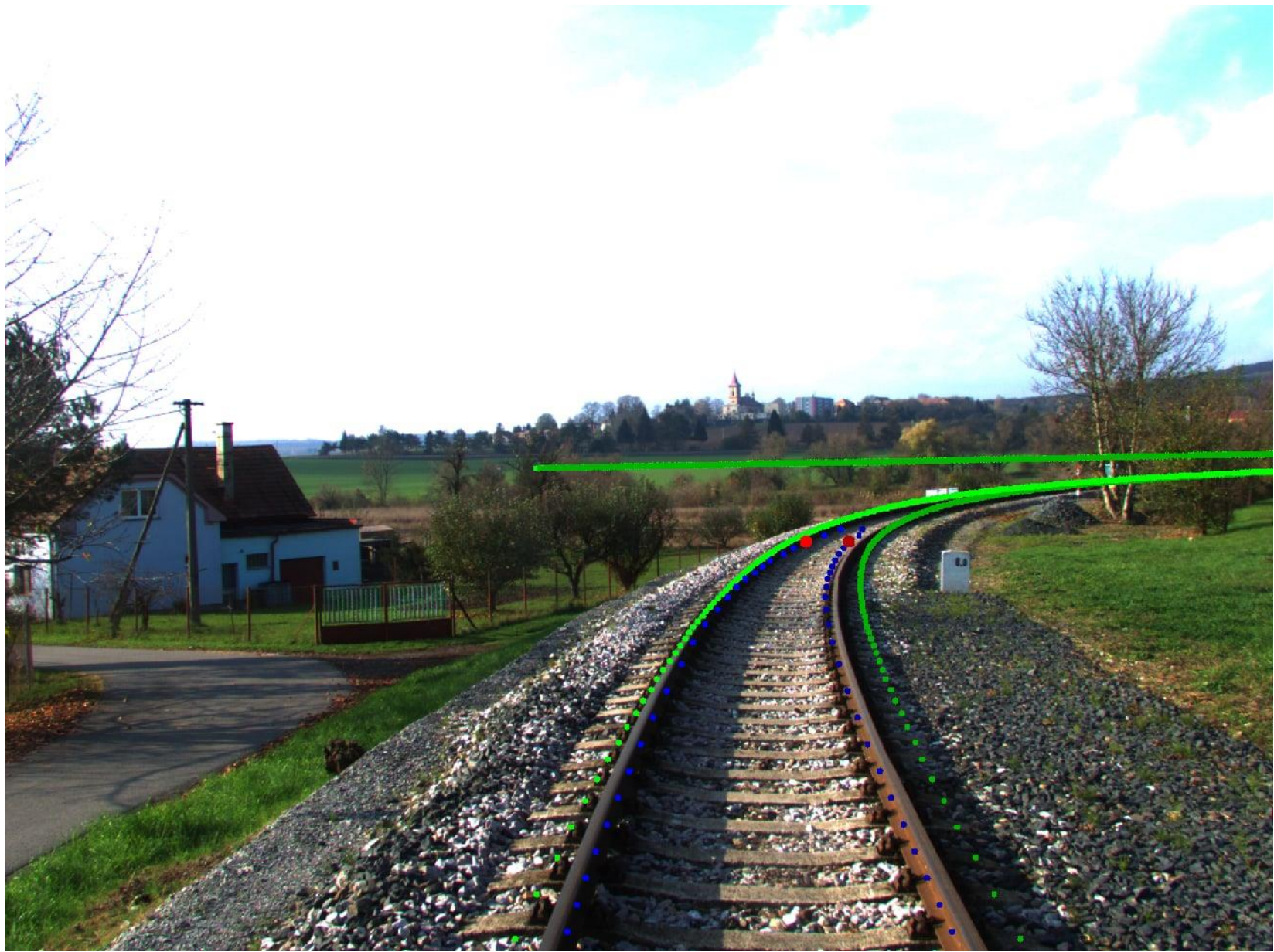
Reakce na překážku

Vlak automaticky (bez zásahu strojvedoucího) zastavil před automobilem na přejezdu. Strojvedoucí je v kabině pouze pro případ dohledu (mj. i z legislativních důvodů)

Diagnostická obrazovka ATO over ETCS indikuje spolehlivé zastavení 26m před překážkou.



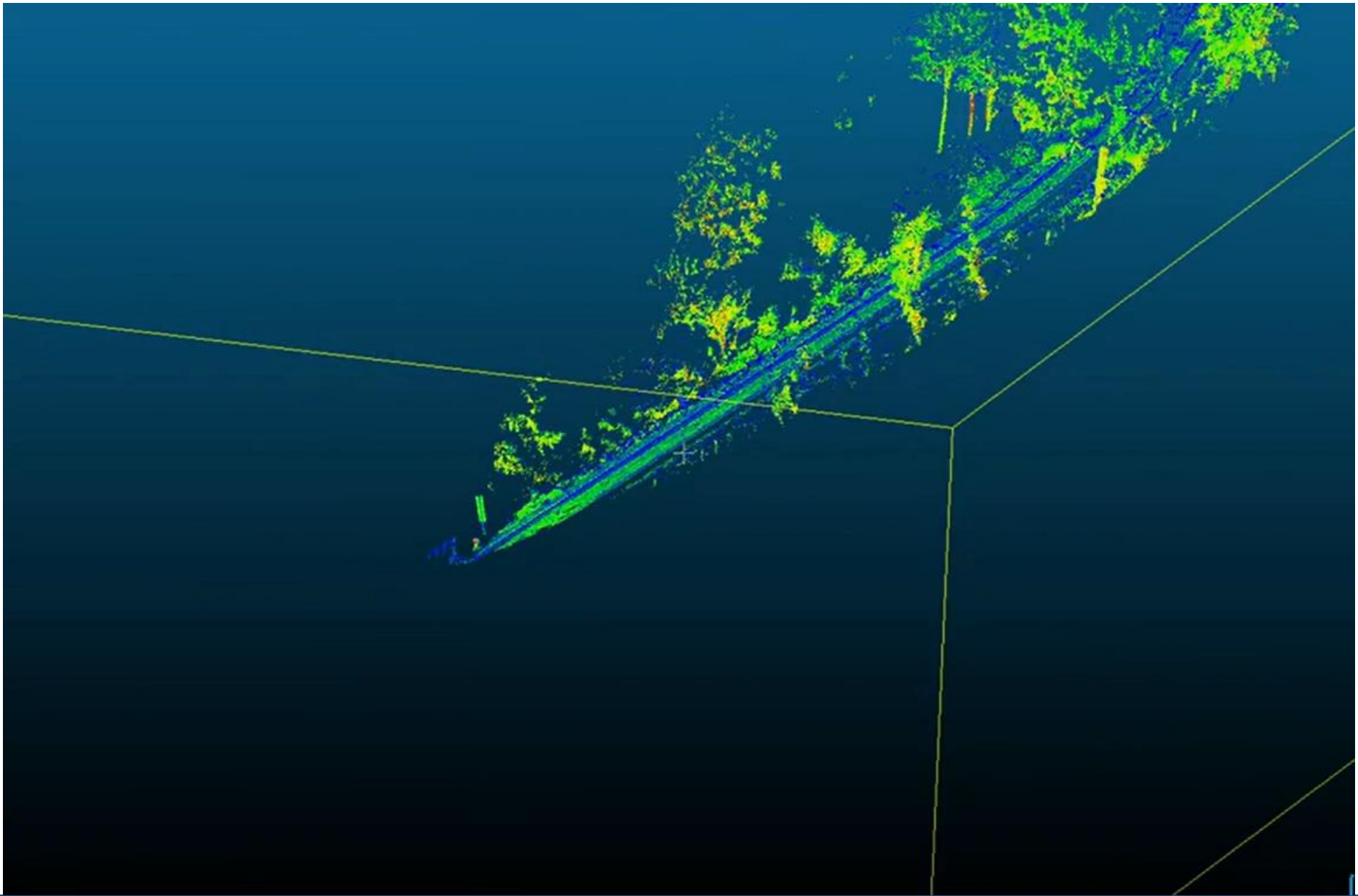
Vyhodnocení překážky a nouzové zastavení indikuje také grafický výstup senzorů.



PERCEPTION systém – Senzory

2 x LIDAR	Kamera 16 mm	Kamera 50 mm	GNSS
2 x 400 000 bodů/s	vysoké rozlišení	vysoké rozlišení	GPS, GLONASS, GALILEO
FOV 14,5° x 16,2°	f = 16 mm	f = 50 mm	Septentrio Mosaic-T
dosah až 500 m	dohled cca 200 m	dohled cca 400 m	VP03





Palubní systémy

Automatic Train Protection (ATP)

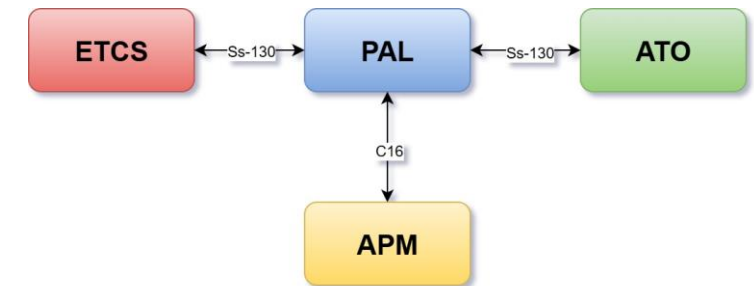
- „Zabezpečovač“ autonomního vlaku
- Veškeré funkce související s bezpečností musí být realizovány přes zabezpečovač
- ETCS + detektor studeného pohybu + monitoring celistvosti vlaku + PAL
- ETCS v současných specifikacích (TSI 23) pokrývá maximálně pouze stupeň automatizace GoA2 – vyžaduje interakci se strojvedoucím
- Předpokládá se další vývoj ETCS vedoucí k podpoře autonomního provozu
- Příklady
 - Automatizace zadání vlakových dat, test brzdy, nastavení, přechody mezi módy a úrovněmi atp.
 - Nutnost integrace vstupů od GoA4 systémů do MA, rychlostních profilů a křivek ETCS
- Pro doplnění v současnosti chybějících funkcí -> modul PAL



Palubní systémy

Protection Adaptation Layer (PAL)

- ETCS v současných specifikacích (TSI 23) pokrývá maximálně pouze stupeň automatizace GoA2 – vyžaduje interakci se strojvedoucím
- PAL, vnořený do rozhraní mezi ETCS a ATO slouží k doplnění (v současnosti chybějících) funkcí pro podporu autonomního provozu
- Všechny bezpečnostně relevantní funkce – např. reakce vlaku na překážku na trati musí být realizovány prostřednictvím zabezpečovače
- Funkce PAL:
 - Přepočet MA a MRSP na základě vstupů od autonomních systémů (APM)
 - Např. brzdění na překážku je tak realizováno prostřednictvím ATO stejným způsobem, jako k návěsti Stůj!
 - ATO tak v současnosti netuší, k jakému „druhu konce MA“ brzdí – dlouhodobě kritizováno ze strany AŽD
 - Poskytování informací od ETCS a ATO směrem k autonomním systémům



Další palubní systémy

▪ APM – Automatic Processing Module

- „Nahrazuje mozek (rozhodovací část) strojvedoucího“
- Řídí průběh „mise“ – tj. posloupnosti úkolů pro daný den / směnu / službu
- Dohlíží na stav a funkci ostatních systémů
- Nahrazuje vstupy, které v nižších stupních automatizace poskytuje strojvedoucí

▪ REP – Repository

- „Nahrazuje paměť strojvedoucího“
- Palubní datové úložiště a komunikační modul pro palubní systémy jako ADM, APM či ATP

▪ LOC – Lokalizace / ASTP – Absolutně bezpečná poloha vlaku

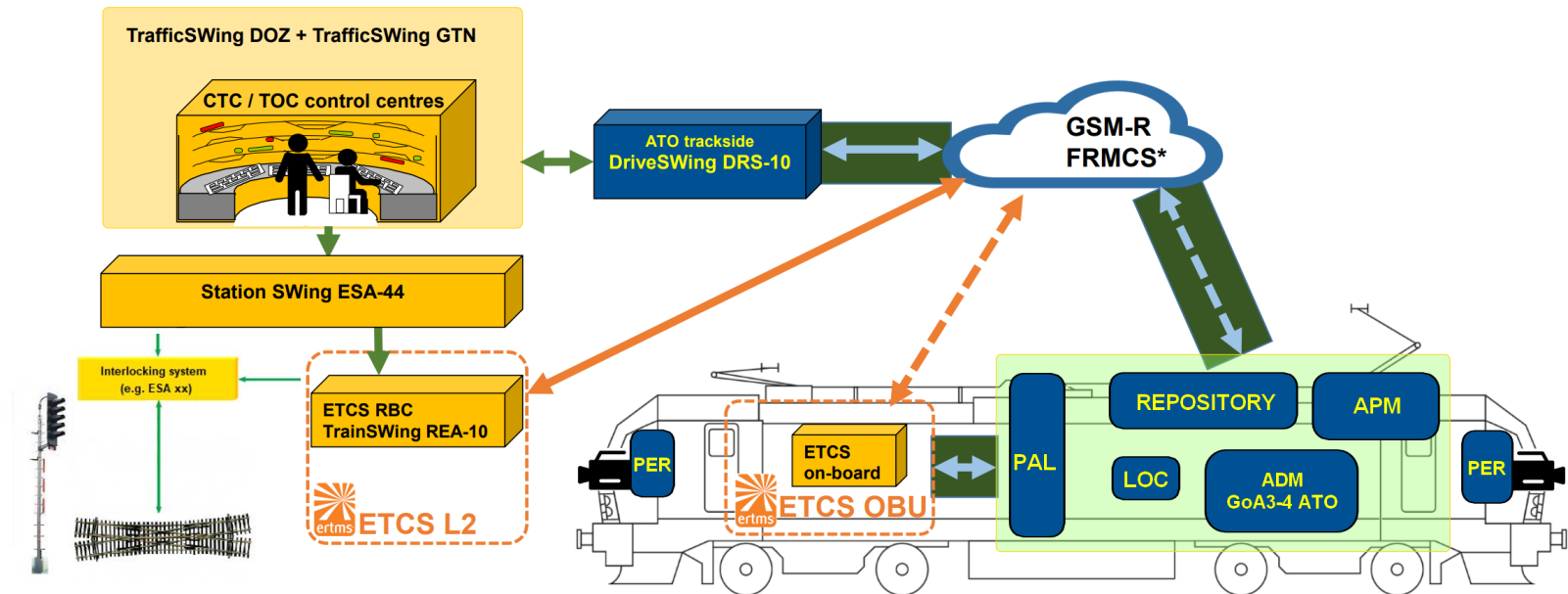
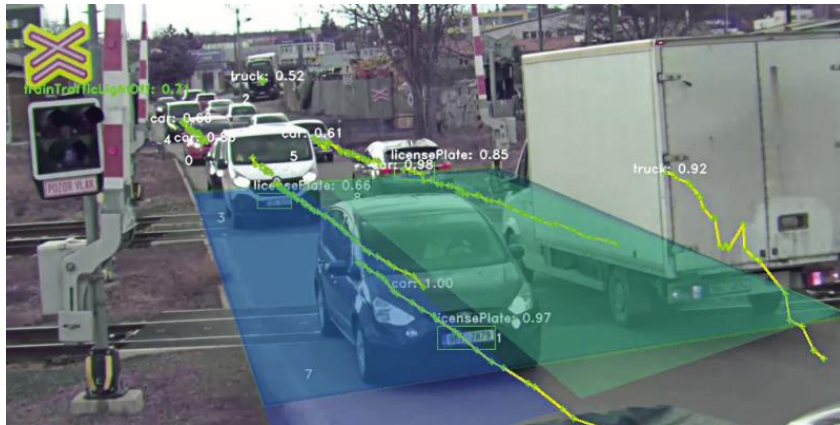
- Provides safe train positioning information by collecting data from various sources e.g. odometry, GPS
- Poskytuje aktuální polohu vlaku co nejpřesnějším a nejbezpečnějším způsobem, i mimo oblast ETCS
- Kombinace vícero zdrojů lokalizace
 - Čtení balíz, odometrie, GNSS + triangulace
 - Poskytuje informaci vždy s maximální možnou (dostupnou) mírou přesnosti
- (ASTP) má nahradit ETCS jakožto zdroj lokalizace pro ostatní systémy – ETCS se stane pouhým konzumentem informace o poloze vlaku



Celý systém je postaven v souladu s aktuálními vývojovými interoperabilními specifikacemi v rámci projektů EU

Traťové systémy

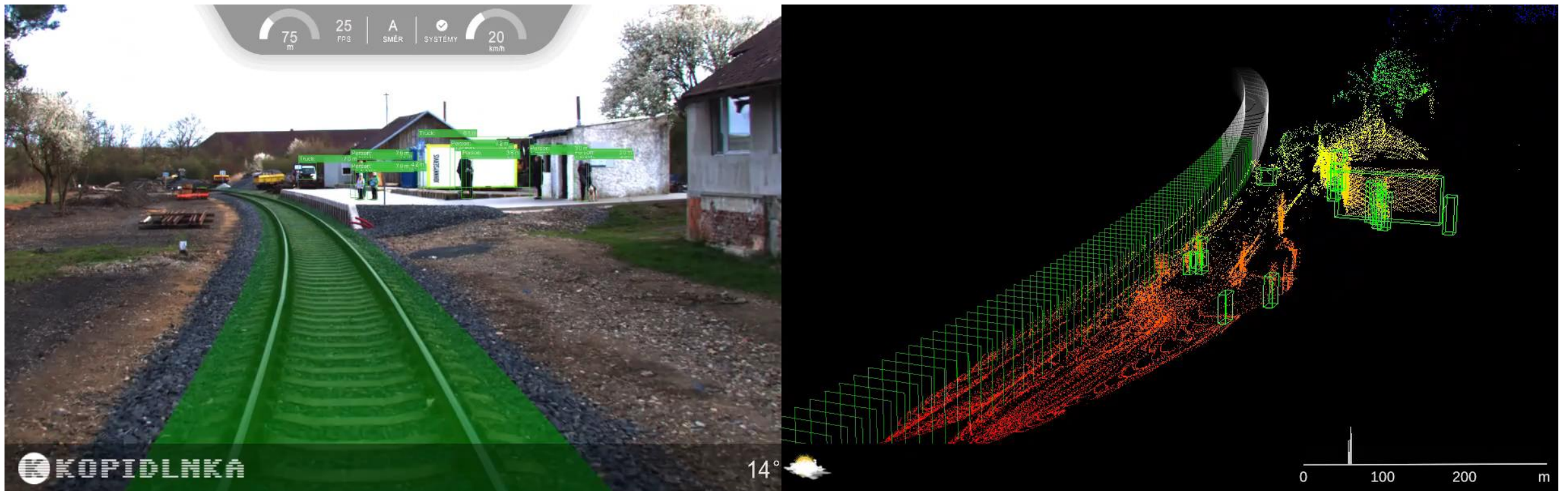
- Autonomní provoz by se neobešel bez masivní podpory traťových systémů:
- ERTMS/ATO Trackside
- ETCS-Trackside (RBC, balízy, interlocking atp.)
- TMS (GTN)
- Elektronické stavědlo
- GSM-R, GPRS, LTE, 5G, WLAN
- Traťové detektory překážek



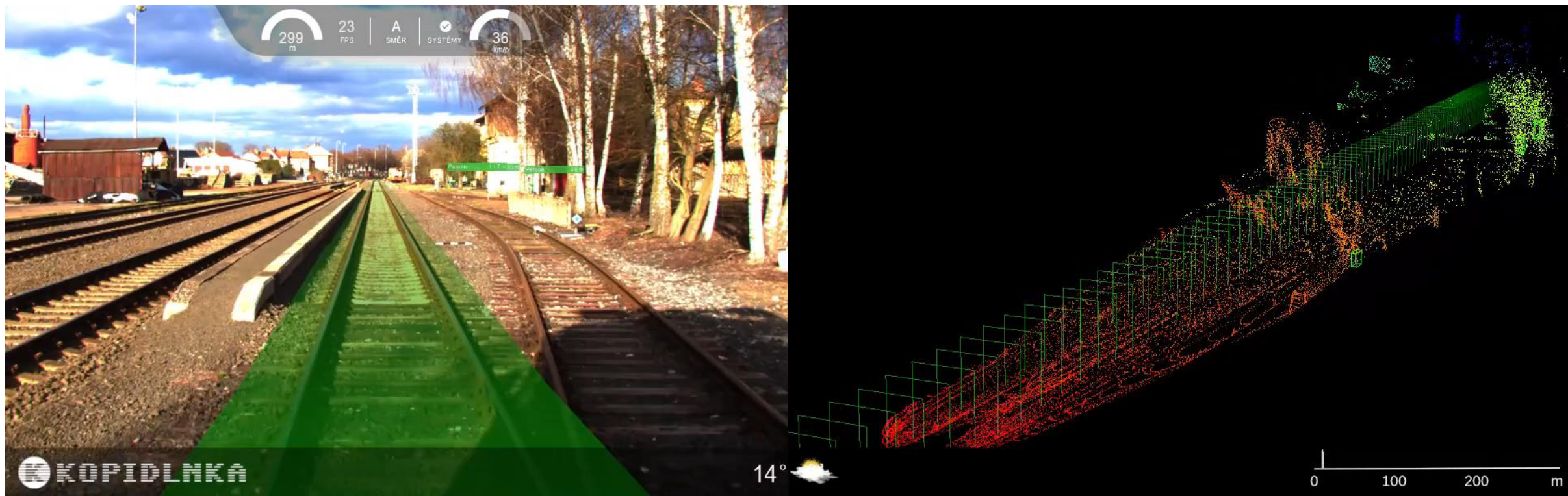
Konstrukční úpravy kolejového vozidla pro GoA3/4

- Architektura obecně předpokládá primárně nová vozidla nad retrofity
- Nelze aplikovat univerzální pravidlo, jak a kam umístit senzorické systémy
- Vozidlo (včetně komponent autonomních systémů) musí vyhovovat platným normám a předpisům
- Obecná specifika autonomních technologií:
 - Prostorová náročnost -> zajištění místa pro instalaci všech systémů uvnitř i vně vozidla
 - + nutnost zamezit nežádoucí interferenci či jiným nežádoucím elektromagnetickým vlivům (nejen) u antén
 - Výpočetní náročnost -> rozpoznání, kategorizace a klasifikace objektů, jejich vzdálenosti (a příp. predikce) vyžaduje moderní výpočetní technologie s vysokým výkonem
 - Energetická náročnost -> vysoká spotřeba energie související s výpočetním výkonem
 - Tepelná náročnost -> nutnost odvádět či efektivně hospodařit s odpadním teplem či zajistit chlazení
- „Chytré“ vozidlo (TCMS) umožňující datově ovládat klíčové ovládací prvky a poskytovat stavové informace

Ukázka streamů ze senzorů



Ukázka streamů ze senzorů



Ekonomický aspekt autonomní železnice?

- Cena technologií
- EU – důraz na využití ETCS
- Provoz autonomního vlaku musí být dohlížen (např. 1:7)
- Pro případ incidentu musí být připraven strojvedoucí schopný vlak vzdáleně nebo na místě přemístit (např. 1:14)
- Přítomnost obsluhy – vlakvedoucího na místě?



Děkuji za pozornost!

Ing. Michal Novák

Novak.Michal2@azd.cz

