



**26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOLĎAJOVÝCH
VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko**

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.1.29>

ATO – AUTOMATICKÁ JAZDA VLAKU

ATO – AUTOMATIC TRAIN OPERATION

Ivan KOZYNETS, Peter JAKUBÍK *)

1 ÚVOD

V súčasnosti čelíme mnohým výzvam a problémom v oblasti koľajových vozidiel, ktoré majú významný dopad na našu spoločnosť a dopravný systém.

Jedným z najdôležitejších problémov je staré a zastarané vybavenie koľajových vozidiel. Mnohé vlaky a iné druhy koľajových vozidiel majú dlhú prevádzkovú dobu a nedostatok investícií do ich modernizácie viedol k vzniku viacerých problémov.

Ďalším problémom je nedostatočná kapacita koľajových vozidiel. S rastúcim počtom cestujúcich sa stretávame s preplnenými vlakmi a nedostatočným počtom vozidiel na uspokojenie dopytu.

Ďalším zásadným problémom je bezpečnosť koľajových vozidiel. Aj napriek významnému pokroku v oblasti bezpečnosti, sa stále vyskytujú nehody a incidenty, ktoré môžu mať vážne následky.

Problémom súčasných koľajových vozidiel je aj nedostatočná interoperabilita. V rámci Európy a iných častí sveta existuje mnoho rozdielnych koľajových systémov a štandardov, čo obmedzuje prepojenie a efektívne využívanie koľajovej dopravy.

Zároveň je dôležité spomenúť aj nedostatočné investície do výskumu a vývoja v oblasti koľajových vozidiel. Inovácie a nové technológie môžu priniesť významné zlepšenia v efektívnosti, bezpečnosti a udržateľnosti týchto vozidiel.

Automatická jazda vlaku (ATO), je technologický systém navrhnutý na riadenie a ovládanie vlakov bez potreby prítomnosti vodiča v kabíne. Táto technológia využíva rôzne senzory, ako sú kamery, radar a GPS, spolu s pokročilými algoritmi a softvérom, aby umožnila vlakom bezpečne sa pohybovať po tratiach a dodržiavať jazdné plány.

Je dôležité poznamenať, že implementácia automatickej jazdy vlaku si vyžaduje dôkladné plánovanie, testovanie a zabezpečenie. Bezpečnosť je kľúčovým aspektom a preto sú vytvorené prísne normy a predpisy, ktoré musia byť splnené.

V súčasnosti je automatická jazda vlaku čoraz viac skúmaná a implementovaná vo viacerých krajinách po celom svete. Niektoré systémy ATO už fungujú úspešne na vybraných trasách a prinášajú významné výhody v oblasti bezpečnosti, kapacity a efektívnosti dopravy.

*) **Ing. Ivan KOZYNETS**, Siemens Mobility, s. r. o. J. M. Hurbana 21, 010 01 ŽILINA, Slovensko., e-mail: ivan.kozynets@siemens.com, 4 roky pracuje na pozícii testera ETCS (On-Board Unit).

Ing. Peter JAKUBÍK, Siemens Mobility, s. r. o. J. M. Hurbana 21, 010 01 ŽILINA, Slovensko., e-mail: peter.jakubik@siemens.com, ATO vývojár (Trackside Unit).

2 STUPNE AUTOMATIZÁCIE ATO

UITP Medzinárodná asociácia verejnej dopravy v 2014 roku stanovila štandard pre železničné aplikácie - Systémy riadenia/ovládania a manažovania mestskej a verejnej dopravy.

Štandard definuje 5 úrovní/(Grades of Automation) alebo teda správnejšie 5 stupňov automatizácie od GoA0 najnižšieho urovná až po GoA4 - najvyšší.

GoA 0 je úroveň pri ktorom rušňovodič nesie plnú zodpovednosť za vlak, jeho riadenie, prevádzku. V tejto úrovni vlastne nemáme žiadnu automatizáciu, ale tento stupeň automatizácie zdefinujeme pre správne ponímanie všetkých stupňov automatizácie.

Pri úrovni automatizácie GoA1 tak isto ako pri GoA0 je vlak riadený rušňovodičom, ovláda plyn, brzdy, dvere, dáva pozornosť na trať, inak povedané deteguje prekážky a voľnosť trati, ale v prípade GoA1 do vlaku už pridávame systém ETCS, ktorý zabezpečuje funkciu diagnostiky: vlaku, jeho senzorov/zariadení. Tak isto pri zabezpečenej trati sa pridáva funkcia Interlocking-u, ktorá kontroluje obsadenosť trati. ETCS je zariadenie, ktoré bezpečne reaguje v prípade chýb, ktoré boli spôsobené ľudským faktorom alebo nesprávnosťami respektíve poruchami zariadení vo vlaku. Tak isto potom v tomto stupni môže byť pridané na palube zariadenie DAS (Driver advisory system), ktoré odporúča rušňovodičovi najefektívnejšiu alebo najvhodnejšiu rýchlosť pre jeho vlak na danom úseku trati. V prípade ak Driver Advisory systém na rádio pripojenie na TMS (Traffic management system) vie dostávať najaktuálnejšie stavy obsadenosti trati podľa nich vie meniť svoje odporúčania. Napríklad: ak popredu idúci vlak z nejakého dôvodu mešká, odporúčanie rušňovodičovi bude: nepridávať viac rýchlosť, ale pokračovať jazdu vlaku so svojou vlastnou kinetickou silou.

Pri úrovni automatizácie GoA2 má vlak zariadenie, ktoré sa nazýva ATO (Automatická prevádzka vlaku - Automatic train operation) pri podmienke zabezpečenia trati ETCS balizami a rádio pokrytiu po celej trati. Rušňovodič vie spustiť automatickú prevádzku vlaku, to znamená že za zrýchlenie/brzdenie, zastavovanie vlaku v stanici (s definovanou presnosťou), otváranie dverí na správnej strane - bude zodpovedať ATO. Rušňovodič sa nachádza vo vlaku pre jeho monitorovanie, teda monitorovania trati a jej voľnosti, no a pre prípad núdzových situácií.

Pri úrovni automatizácie GoA3 už nepotrebujeme rušňovodiča na palube, ale potrebujeme dispečera alebo teda zodpovedný personál v stanici, spravidla pri tomto stupni má stanica svoje dvere, ktoré sa vlastne otvárajú na zodpovednosti dispečera. Vlak príde do stanice, otvorí svoje dvere a dispečer otvorí dvere v stanici. Dôležitým rozdielom v tejto úrovni je detekcia prekážok a voľnosti trati. Je to možné pomocou rôznych vyvinutých technológií, senzorov, radarov, LIDAR kamier alebo kamery, video streamu, ktoré spracuje umelá inteligencia a rozpozna objekty na trati.

Pri úrovni automatizácie GoA4 personál nie je potrebný na bezpečnú prevádzku vlaku. Vlak je zodpovedný za jazdu teda: rýchlosť, brzdy, otváranie a zatváranie dverí, detekcia prekážok, centrálny/automaticky dispečing a najdôležitejšie v prípade kolízií alebo núdzových situácií, sa celý systém vie správať bezpečne a vyriešiť ju samostatne.

3 ZÁKLADY INFORMÁCIE O ATO

Základom Automatic train operation alebo skráteno ERTMS/ATO sú skúsenosti z metra, kde automaticky riadené vlaky sú bežným štandardom už niekoľko rokov. Technológia z metra je ale proprietárna pre daného výrobcu a pre nasadenie v mainline musí byť štandardizovaná.

Štandardizáciu pre ATO zastrešuje „European Union Agency for Railways“ ktorá úzko spolupracuje s rôznymi spoločnosťami pôsobiacimi v železničnom sektore, vrátane manažérov železničnej infraštruktúry, prevádzkovateľov železníc a výrobcov železničných

zariadení a technológií. Agentúra podporuje spoluprácu a zdieľanie znalostí a postupov pri vytváraní ATO špecifikácie. Aktuálny stav (Jún/2023): ATO špecifikácia prešla posledným kolom pripomienkovania a po formálnom schválení bude zverejnená ako TSI 2023.

ERTMS/ATO poskytuje súbor non-safety funkcií týkajúcich sa riadenia rýchlosti, presného zastavenia, otvárania a zatvárania dverí a ďalších funkcií tradične vykonávaných rušňovodičom. Bezpečnosť prevádzky je stále zabezpečená systémom ETCS s ohľadom na rýchlosť a bezpečnú brzdnú vzdialenosť. Systém ATO musí byť bezpečne integrovaný do vlakového vozidla, čím sa zabezpečí, že funkcie vykonávané systémom ATO (napr. ATO pravidlá jazdy) namiesto vodiča dosahujú prinajmenšom rovnakú úroveň bezpečnosti, keď ich vykonáva vodič.

4 ZÁKLADNÉ ČASTI NORMY ATO

ATO systém sa skladá z traťovej časti ATO-trackside a vlakovej časti ATO-Onboard. Norma ATO TSI 2023 špecifikuje požiadavky pre obe časti, vrátane end-to-end bezpečnosti prenosu informácií.

Traťová časť ATO (ATO-Trackside)

Úlohou traťovej časti je komunikácia so systémom riadenia dopravy (traffic management system), ktorý poskytuje aktuálne informácie o cestovnom poriadku a pohybe vlakov (TMS systém takisto deteguje a rieši konflikty). Tieto informácie sa posielajú na ATO-TS systém, ktorý ich posiela vlakovej časti. ATO-TS má informáciu, ktoré vlaky sú práve v ATO móde pripojené do systému a vie optimalizovať na ktorý vlak bude poslaná aká informácia. Pri zmene informácii od systému riadenia dopravy, ATO-TS vyhodnotí túto informáciu a prepošle ju vlakovej časti.

ATO-TS obsahuje statické projektovanie trate, ako gradienty, balízy, statické rýchlostné profily a ďalšie informácie ktoré popisujú profil trate. Tieto informácie sú zdieľané všetkými vlakmi. Dynamické dáta prijaté zo systému riadenia dopravy poprípade iných riadiacich systémov obsahujú traťové úseky, ktorými pôjde vlak, časové informácie príchodu a odchodu vlaku, miesto zastavenia vlaku a ďalšie informácie. Dynamické dáta sú adresné pre jednu jazdu vlaku.

Vlaková časť ATO (ATO-Onboard)

Úlohou vlakovej časti je vyhodnocovať ATO správy prijaté z ATO-TS, porovnávať ich s ETCS, vyrátať optimálny jazdný profil a následne ho poslať riadiacej jednotke vlaku. Aplikačné rozhrania medzi ATO-Onboard, ETCS, riadiacim systémom vlaku sú definované špecifickými UNISIG normami

Stručný prehľad ATO noriem:

- SUBSET-126, definícia správ, ktoré sa vymieňajú medzi ATO-TS a ATO-OB
- SUBSET-125, definícia požiadaviek pre ATO-TS a ATO-OB
- SUBSET-130, aplikačná vrstva komunikácie medzi ATO-OB a ETCS-onboard
- SUBSET-146, end-to-end bezpečnosť ktorej základom je PKI-public key infrastructure
- Subsety (napr. SUBSET-111) ktoré definujú integračné a interoperability testy. Cieľom je interoperabilita výrobcov pre rôzne kombinácie ETCS, ATO-TS a ATO-OB

5 VÝHODY ATO

ATO prináša výhody aj zákazníčkovi aj pasažierom. Prvou výhodou pre zákazníčka je zvýšená prepravná kapacita na existujúcej infraštruktúre. Vybudovanie novej trate pre zvýšenie kapacity je veľkým problémom. Vo veľkých mestách trať pre Metra, S-bahnu, U-bahnu často krát vedú cez centrum, cez existujúce infraštruktúry mesta napríklad mosty,

elektrinu, vodu, internetové optické siete, okolo historických budov a pod. To znamená, že tie zemné úseky sú drahé, komplikované na vybudovanie a niekedy nie sú možné na použitie (napríklad v prípade ak rozšírenie trate vedie k zničeniu historického miesta, budovy a pod.).

ATO spolu z ETCS umožňuje skrátenie následného medzičasu (headway), to znamená, že viacej vlakov môžu ísť tou istou traťou z menším rozstupom medzi sebou. Napríklad v Londýne na projekte Thameslink, ktorý tiež má SMO, v centre mesta, takzvanej „core area“ vlaky idú za sebou s odstupom v 300 m.

Dôležitou výhodou je vylepšená stabilita a presnosť rozvrhu v reálnom čase. To je v dôsledku toho, že jazdné správanie je dôslednejšie, presnejšie a predvídateľnejšie. To všetko prináša ďalšie výhody: úspora energie, zníženie mechanického používania a nižšieho hluku. Kolegovia DB nahlásili šetrenie energie v 33% v porovnaní s prevádzkou bežného vlaku. Tak isto je zatiaľ nezmeraná výhoda opotrebenia mechanických súčiastok, brzdy, kolesá, motory, súčiastky súvisiace s nápravou, ich zotieranie a opotrebenie je menšie. V dôsledku máme ďalšiu výhodu a to je komfort cestujúcich.

Tieto všetky výhody sú od ATO v dôsledku jeho optimalizovanej jazdnej stratégie.

V neposlednom rade výhoda je aj pre budúce zvýšenie stupňov automatizácie do GoA3 a GoA4, nakoľko už je otestovaná existujúca infraštruktúra, nainštalované ETCS balízy s traťou a rádio konektivita.

Zvýšenie transportnej kapacity skrátením následného medzičasu

Akonáhle sú na ATO-Onboard splnené podmienky pre riadenie vlaku a rušňovodič potvrdí automatické riadenie, preberie riadenie vlaku ATO-Onboard. Riadiaca páka je v neutrálnej polohe a vlak riadi ATO-Onboard.

- **Presné riadenie rýchlosti:** Systém ATO využíva presné algoritmy riadenia rýchlosti, ktoré umožňujú vlakom jazdiť konzistentnými rýchlosťami a udržiavať špecifickú vzdialenosť od seba. Elimináciou ľudského faktora a variácií vo vlakovej prevádzke môže ATO dosiahnuť kratšie následné medzičasy v porovnaní s manuálnym riadením vlaku.
- **Vylepšené zrýchlenie a spomalenie:** Systém ATO optimalizuje vzory zrýchlenia a spomalenia vlaku, pričom zohľadňuje faktory, ako je hmotnosť vlaku, stav trate a aspekty signalizácie. Táto optimalizácia umožňuje vlakom efektívnejšie dosahovať a udržiavať požadovanú rýchlosť, čím sa skraca čas potrebný na zrýchlenie a spomalenie. Vďaka tomu môžu vlaky bezpečne premávať s kratšími následnými medzičasmi.
- **Vylepšená koordinácia brzd:** Systém ATO koordinuje brzdenie medzi vlakmi, aby zabezpečili plynulé a účinné brzdenie bez ohrozenia bezpečnosti. Presným načasovaním a koordináciou brzdných manévrov umožňuje ATO vlakom znížiť rýchlosť a efektívnejšie skrátiť medzery, čo umožňuje tesnejšie rozjazdy pri zachovaní bezpečnostných rezerv.
- **Konzistentná a predvídateľná prevádzka:** Systém ATO poskytuje konzistentnú a predvídateľnú prevádzku vlaku, čím sa minimalizujú odchýlky v správaní vlakov, ktoré môžu viesť k predĺženiu rozjazdu. Udržiavaním konštantných rýchlostí, dodržiavaním vopred definovaných cestovných poriadkov a optimalizáciou pohybov vlakov ATO znižuje potrebu nadmerných rozstupov medzi vlakmi, čím umožňuje kratšie medzičasy.
- **Vylepšené riadenie dopravy:** ATO je možné integrovať s centralizovanými systémami riadenia dopravy, čo umožňuje lepšiu koordináciu a optimalizáciu pohybu vlakov. Dynamickým prispôbovaním vlakových poriadkov, trás a rýchlostných profilov môže ATO optimalizovať využitie dostupnej kapacity trate pri zachovaní prevádzkovej efektívnosti a bezpečnosti.

6 ITS SVETOVÝ KONGRES 2021 V HAMBURGU

Na ITS (Inteligentný Transportný Systém) svetovom kongrese v roku 2021 v meste Hamburg bolo veľa realizovaných projektov v sfére verejnej dopravy. Chceli by sme povedať o dvoch z nich. Jeden z nich je DSH (Digitale Schiene Hamburg) - plne automatický vlak S-Bahnu a druhý je Sensors4Rails - ktorý ukazuje možné riešenie pre stupne GoA3 a GoA4.

Najskôr o projekte Sensors4Rails, ktorý bol spravený spoločnosťami Siemens Mobility, Bosch Engineering, HERE Technologies a Deutsche Bahn. Vďaka novým systémom vnímania na báze senzorov môžu teraz vlaky veľmi presne analyzovať svoje okolie a polohu. To znamená, že môžu pomôcť monitorovať cesty vlakom. V kombinácii s technológiou automatickej prevádzky vlakov (ATO) sú tieto systémy dôležitou súčasťou plne automatizovanej jazdy. Okrem toho sa pri vysokej frekvencii zhromažďujú dôležité prevádzkové údaje, ktoré pomáhajú rýchlejšie odhaliť poruchy a spustiť rýchlejšiu reakciu. Plánovanie j \acute{a} zd vlakov bude optimalizované, vďaka čomu je železničná doprava plynulejšia a spoľahlivejšia. V konečnom dôsledku to zvyšuje kapacitu existujúcich vlakových tratí.

Na určenie polohy vlaku na centimetre sa používajú vysoko presné digitálne HD mapy a moderná satelitná technológia. Vlak sa lokalizuje pomocou orientačných bodov v prostredí trate - ako sú stĺpy nesúce nadzemné káble, hrany nástupišt \acute{a} a iné výrazné predmety. Softvér porovnáva zistené orientačné body s orientačnými bodmi uloženými v HD mape a určuje polohu prostredníctvom globálneho navigačného satelitného systému (GNSS) a geometrie vozidla. Tým sa mapa zmení na „digitálne dvojča“ koľajnice a jej okolia.

7 DIGITALE SCHIENE HAMBURG

DB a Siemens predstavili prvé štyri vybavené ATO vlaky na svetovom kongrese ITS v októbri 2021. Na špeciálne vybavenej 23-kilometrovej trase medzi stanicami Berliner Tor a Bergedorf/Aumühle premával jeden z vlakov na linke S21 vo vysoko automatizovanej osobnej doprave niekoľkokrát denne. Všetky štyri prerobené vlaky radu 474 sú v pravidelnej osobnej prevádzke od septembra 2022. V budúcnosti budú existujúce vozidlá radu 474 a ďalších 64 vozidiel nového radu 490 vybavené „ATO over ETCS“.

Vlak má v sebe funkcionality GoA4 a za to je zodpovedné zariadenie AVVO. AVVO je „Advanced Vital Vehicle Operation“ je v podstate zariadenie, ktoré umožňuje vzdialenému rušňovodičovi „otvoriť“ kabínu, spraviť testy brzd a proces SoM.

Počas testovania väčšina j \acute{a} zd prebiehala v noci, nakoľko cez deň trať bola obsadená hlavnými (bežnými S-Bahn) vlakmi. Hlavným účelom testovania na reálnej trati bolo overenie/prípadne úprava lokalizácie systému automatického riadenia vlaku. Nakoľko systém sa orientuje hlavne podl \acute{a} ETCS balíz, ktoré vlaku odpovedajú pozíciou na trati. Balízu je možné nainštalovať na jeden podval, vzdialenosť medzi ktorými je približne pol metra, následne po prejení balízy ATO zastaví vlak v stanici s tou presnosťou s ktorou je umiestnená balíza. Preto následne po testoch boli informácie o pozíciách upravené, aby ATO zastavilo vlak v presnej pozícii. Povolená presnosť na otváranie dverí v stanici podľa informácie zapísanej v balíze je približne 1 m. Na projekte chceli dosiahnuť presnosť v približne pol metra (kvôli presnosti podvalov), ale z osobnej skúsenosti po úpravách hodnôt v balíze bola dosiahnutá presnosť menej ako 10 cm. Tak isto časť testov zahŕňala v sebe testovanie hmotnosti pasažierov. Vlak bol otestovaný s rôznou referenčnou hmotnosťou s 10 a 20 tonami, čo následne pomohlo upresniť brzdný profil, na koľko čím viac ľudí je na palube, tým skôr musí ATO začať brzdiť, aby potom vlak neminul stanicu (nezastavil neskoro).

Literatúra

[1] [siemens.com](https://www.siemens.com) [2] digitale-schiene-deutschland.de [3] [s-bahn-hamburg.de](https://www.s-bahn-hamburg.de)



Resumé

V súčasnosti sa v oblasti koľajových vozidiel stretávame s rôznymi výzvami. Medzi najdôležitejšie patrí potreba zlepšenia efektívnosti a spoľahlivosti železničnej dopravy, riešenie nedostatku kapacity a zvýšenie bezpečnosti pre cestujúcich. Súčasná vozidlá vyžadujú modernizáciu, aby sa dosiahli tieto ciele a zabezpečila konkurencieschopnosť železničného systému voči iným druhom dopravy. Automatizované riadenie vlakov (ATO) ponúka riešenie týchto problémov a prináša rôzne výhody pre koľajovú dopravu. ATO systémy umožňujú čoraz vyššiu úroveň automatizácie, od čiastočne automatizovaného riadenia až po plne automatickú jazdu vlaku bez prítomnosti rušňovodiča. Tieto systémy využívajú rôzne technológie a senzory na monitorovanie a riadenie pohybu vlaku. Výskum a implementácia ATO systémov sú neoddeliteľnou súčasťou rozvoja moderných železničných systémov. Správne plánovanie, investície do technológií a dodržiavanie noriem a bezpečnostných predpisov sú kľúčové pre úspešné a efektívne zavedenie ATO systémov. Z tohto dôvodu môžeme povedať, že automatizované riadenie vlakov prináša značný prínos pre koľajovú dopravu. Zvýšenie kapacity, skrátenie medzičiasov, zlepšenie presnosti rozvrhu, zvýšená bezpečnosť a stabilnejšia jazda sú len niektoré z výhod, ktoré ATO systémy prinášajú. V budúcnosti môžeme očakávať ďalší rozvoj a zdokonalenie ATO systémov, ako aj ich širšie zavedenie v železničných sieťach. Tieto technológie budú hrať dôležitú úlohu pri vytváraní inteligentných a udržateľných dopravných systémov, ktoré budú spĺňať požiadavky rastúcej mobility a zároveň zabezpečia efektívne využitie koľajových sietí. Automatizované riadenie vlakov sa tak stáva kľúčovým faktorom pre modernizáciu a zlepšenie železničnej dopravy v blízkej aj vzdialenej budúcnosti.

Summary

We are currently facing various challenges in the field of rolling stock. Among the most important are the need to improve efficiency, reliability of rail transport, resolve problem with lack of capacity and increase safety for passengers. Current vehicles require modernization to achieve these goals and to ensure the competitiveness of the rail system against other modes of transport. Automatic train control (ATO) offers a solution to these problems and brings various benefits to rail transport. ATO systems enable an increasingly high level of automation, from partially automated control to fully automatic train driving without the presence of a driver. These systems use various technologies and sensors to monitor and control train movement. Research and implementation of ATO systems are an integral part of the development of modern railway systems. Proper planning, investment in technology and compliance with standards and safety regulations are key to the successful and efficient implementation of ATO systems. For this reason, we can say that automated train control brings a significant benefit to rail transport. Increasing capacity, shortening intermediate times, improving schedule accuracy, increased safety and more stable driving are just some of the benefits that ATO systems bring. In the future, we can expect further development and improvement of ATO systems, as well as their wider introduction in railway networks. These technologies will play an important role in creating intelligent and sustainable transport systems that will meet the demands of increasing mobility and at the same time ensure the efficient use of rail networks. Automated train control thus becomes a key factor for the modernization and improvement of railway transport in the near and distant future.