

# Projekt RegioSAT

Zvýšení bezpečnosti železničního provozu na vedlejších tratích s využitím družicových systémů (GNSS)



TEXT: **ING. MICHAL PAVEL, ING. KAREL VESELÝ, PHD., ING. LUBOR BAŽANT, PHD.** | FOTO: **AUTOŘI ČLÁNKU, ING. VÁCLAV ŠAFÁŘ (VÚGTK)**

Na přelomu let 2013 a 2014 vypsaló Ministerstvo dopravy ČR prostřednictvím Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci programu BETA veřejnou zakázku „TB0200MD051 – Zvýšení bezpečnosti železničního provozu na vedlejších tratích s využitím družicových systémů (GNSS)“. Dle zadání mělo řešení zakázky spočívat v návrhu principu zabezpečení využívajícího informace z GNSS, primárně určeného pro regionální tratě, kde neexistuje zabezpečení konvenčními systémy. Důležitou součástí zadání byl i požadavek analyzovat a navrhnout změny a úpravy národní legislativy tak, aby se nový systém nevymykal ustanovením zákonů či vyhlášek. Cílem bylo i zajištění vazby na další řídicí a informační systémy. Nakonec měla proběhnout demonstrace funkčnosti takového řešení.



## Úvod

Vítězem veřejné soutěže, a tedy i řešitelem veřejné zakázky, se stala společnost AŽD Praha, která projekt realizovala v období od července 2014 do prosince 2016 v rámci úkolu technického rozvoje s akronymem RegioSAT. K řešení projektu si přizvala dva subdodavatele: Západočeskou univerzitu v Plzni (ZČU) a Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK).

V dalším textu se zaměříme zejména na technickou stránku projektu, nikoli na legislativní, finanční či další otázky.

## Základní přístup k řešení projektu RegioSAT

K řešení veřejné zakázky, tj. ke komplexnímu návrhu zabezpečovacího zařízení (ZZ) pro regionální tratě, bylo možné přistoupit dvěma způsoby:

1. Vyvinout zcela nový koncept zabezpečovacího zařízení pro regionální tratě.
2. Vhodným způsobem rozvinout stávající možný způsob zabezpečení regionálních tratí s pomocí zabezpečovacího zařízení Radioblok verze RB0+ a povýšit tak verzi RB0+ na verzi RB1.

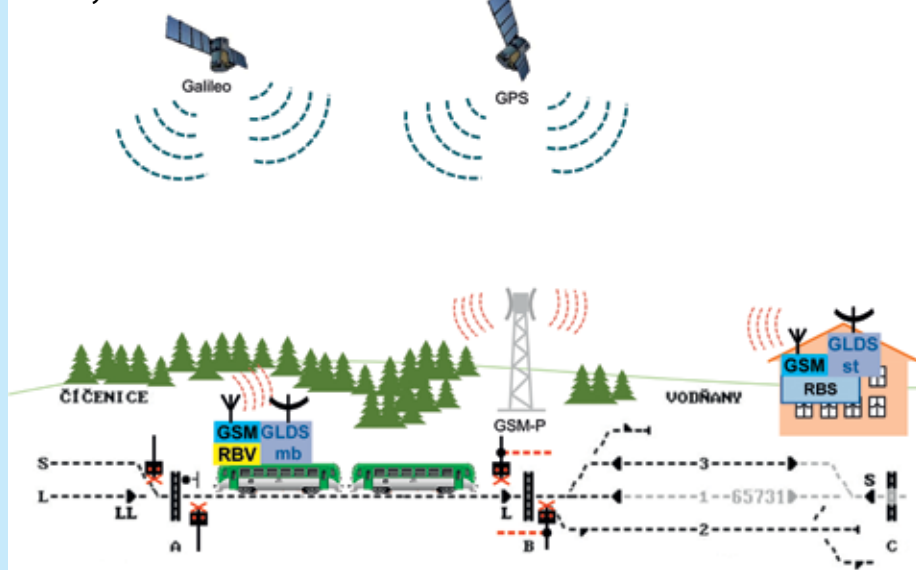
Nejen z důvodu časového a finančního omezení řešení projektu RegioSAT, ale i z důvodu přesvědčení, že zabezpečení regionálních tratí prostřednictvím systému Radioblok je efektivní způsob zvyšování bezpečnosti provozu na regionálních tratích, byl zvolen druhý způsob řešení. Tedy inovace stávajícího systému Radiobloku, tzv. verze RB0+ (popis RB0+ viz např. [1]), kterou AŽD Praha vyrábí a prodává pod obchodním označením RBA-10, na verzi RB1. Tato inovace byla v rámci prací na projektu RegioSAT realizována ve dvou paralelně probíhajících krocích:

- návrh nového subsystému GLDS (GNSS Location Determination Subsystem), který rozšiřuje původní funkční architekturu Radiobloku RB0+ a který slouží k určení bezpečného odhadu polohy a rychlosti železničního vozidla na trati,
- návrh nových funkcionalit, realizovaných především ve vozidlové části Radiobloku RB1, využívajících výstupu GLDS, tedy bezpečného odhadu polohy a rychlosti drážního vozidla.

V souvislosti se začleněním subsystému GLDS do ZZ Radioblok je třeba pro úplnost poznamenat, že i stávající verze Radiobloku RB0+ využívá polohové informace z přijímače GNSS. Tyto informace však nejsou bezpečné (viz dále) a jsou využívány jen jako záložní způsob ke kontrole činnosti strojvedoucího (ke kontrole překročení rozsahu povolení k jízdě, kontrole zadávané polohy aj.).

Výhodou řešení a i jistým potvrzením dobře zvolené koncepce Radiobloku RB0/1 byla

Obr. 1 Fyzická architektura RB1



skutečnost, že pro dané funkcionality nebylo třeba inovovat stacionární část systému – centrálu RBS. Nicméně pro další připravované funkce, jakými je např. přenos augmentačních údajů, přenos a zobrazení informace o případném poruchovém stavu PZZ na vozidlo nebo o dočasných rychlostních omezeních na trati, projde RBS softwarovou inovací. Navržená fyzická architektura systému je na obr. 1. Síťová architektura na obr. 2.

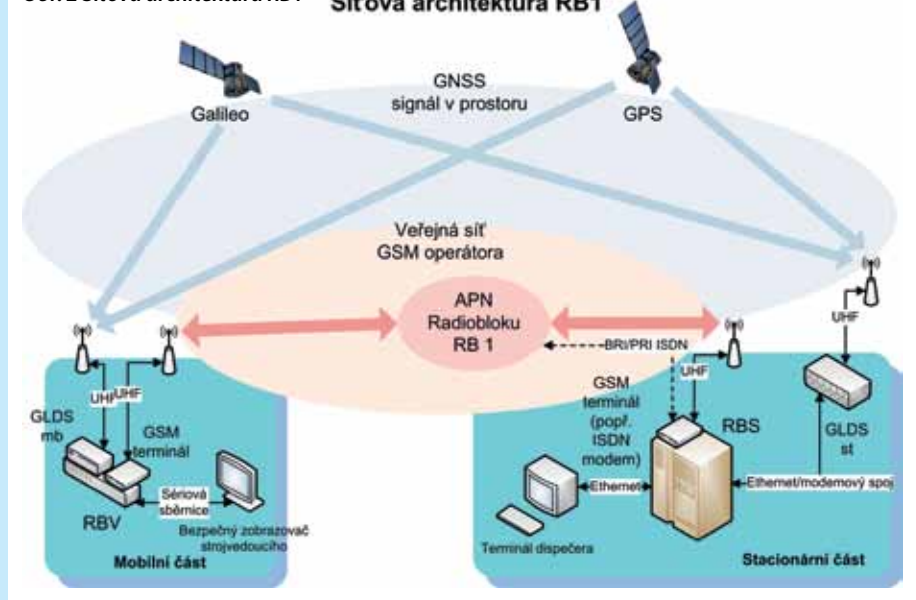
## Subsystém GLDS

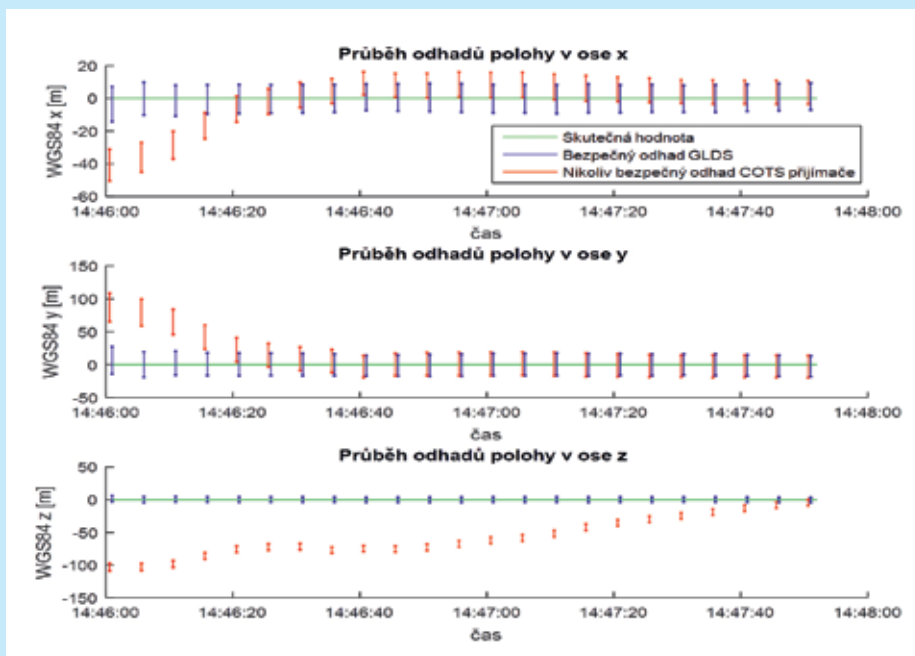
Jak zde bylo již napsáno, ZZ RB1 předpokládá znalost bezpečného odhadu polohy a rychlosti vozidla. Bezpečným odhadem se přitom myslí oblast (dle potřeby 1D/2D/3D), pro kterou za všech okolností platí, že skutečná

hodnota se v této oblasti nachází s předem definovanou, nebo vyšší pravděpodobností. To je důvod, proč o této hodnotě hovoříme jen jako o odhadu, ať už polohy či rychlosti. Je to i v souladu s pravděpodobnostním chápáním úrovně integrity bezpečnosti na základě intenzit nebezpečných poruch dle ČSN EN 50129.

Většina běžných uživatelů GNSS přijímačů má zkušenost (např. díky silniční navigaci), že GNSS přijímače, obvykle přijímající signál systému GPS, poskytují poměrně přesné a většinou platné údaje o poloze a rychlosti. Nabízí se tak otázka, proč je nutné za účelem získání bezpečných odhadů polohy a rychlosti vozidla vyvíjet samostatný subsystém GLDS a není možné využít odhady poskytované přímo přijímačem. Kromě zdůvodnění, že tyto přijímače

Obr. 2 Síťová architektura RB1





Obr. 3 Porovnání výsledků algoritmu AŽD a klasického COTS přijímače

nebyly vyvinuty dle železničních standardů, lze argumentovat i praktickými měřeními. I během řešení projektu RegioSAT byly často zaznamenány případy, kdy se odhad polohy vozidla poskytovaný komerčním přijímačem odchyloval od skutečné polohy vozidla i o několik set metrů, přičemž přijímač o této

skutečnosti nijak neinformoval a dále se tvářil, že poskytované odhady jsou s přesností jednotek, maximálně desítek metrů (viz obr. 3). Je zřejmé, že využití takovýchto chybných odhadů při řízení provozu na železniční trati by mohlo vést k hazardním situacím. Právě tyto skutečnosti jsou důvodem, proč je nutné

při návrhu bezpečného GLDS vyvinout vlastní algoritmy pro bezpečný výpočet odhadu polohy a rychlosti.

Výzkum a vývoj subsystému GLDS a bezpečných algoritmů nezačal v AŽD Praha až s řešením projektu RegioSAT, ale probíhá kontinuálně od roku 2006, a to ve spolupráci se ZČU v Plzni. Vývoj je převážně kryt z vlastních zdrojů AŽD Praha, nicméně v minulých letech probíhala spolupráce i v rámci projektu SafeLOC, kterého se účastnilo také ČVUT v Praze, a který byl podpořen v programu ALFA Technologické agentury ČR (TA01030124).

Při tomto vývoji je postupováno systematicky s respektováním bezpečnostních požadavků evropských železničních standardů, přičemž jedním z prvních kroků bylo vytvoření analýzy rizika (AR) použití GNSS v železničním prostředí při výpočtu bezpečného odhadu polohy a rychlosti lokátorem vhodným pro železniční ZZ. Při této AR bylo identifikováno cca 60 událostí, které mají potenciál způsobit chybný odhad polohy/rychlosti přijímače (tzn., že odhad získaný s využitím GNSS není bezpečný). Pro každou událost bylo následně navrženo několik opatření, která jsou vhodným způsobem ve vyvíjených algoritmech zakomponována. Důsledkem AR je i rozdělení GLDS na mobilní (GLDSmb) a stacionární (GLDSst) část subsystému GLDS se známou polohou (viz obr. 1). Platí totiž, že některé události identifikované v AR je možné v reálných



Obr. 4 Funkční vzorek RBV RegioSAT



podmínkách snáze detekovat s využitím znalosti přesné polohy přijímače na stacionární části a o jejich existenci mobilní část GLDSmb pouze informovat (jedná se o tzv. lokální augmentaci). Nehledě na to, že GLDSst bude mít vybránu dobrou polohu bez zastínění družic okolím, s garancí příjmu signálu EGNOS a s ověřenými dalšími vlivy, zejména úrovní vícecestného šíření (příklad analýzy vlivu vícecestného šíření signálu GPS viz obr. 8).

Vyvíjené algoritmy přitom byly a jsou průběžně testovány, aby byla ověřována správnost návrhu a jeho programová realizace. K těmto testům jsou využívána jak reálná, tak uměle vygenerovaná simulační GNSS data. Zatímco reálná data jsou sbírána v reálném provozu, k tvorbě simulačních dat je využíván GPS model Ivan, který byl za tímto účelem v AŽD Praha vyvinut. Tento model umožňuje na základě zadaných efemerid generovat konstelace družic pro různé dny a různé polohy GPS přijímače. Dále umožňuje na základě vlastních algoritmů zohlednit vlivy troposféry, ionosféry a šumu, které v reálném prostředí signály od družic negativně ovlivňují. V neposlední řadě pak umožňuje i zohlednit případný pohyb GPS přijímače a změny ve výhledu na oblohu (resp. stínění oblohy) v průběhu pohybu přijímače. Programová implementace vyvíjených algoritmů je navíc ověřována i tím, že algoritmy jsou nezávisle programovány na dvou pracovištích (ZTE-VAV VP03 a ZČU) a výstupy programů jsou následně porovnávány. Algoritmy jsou připravovány i pro evropský systém Galileo a to tak, aby v okamžiku jeho plné provozní způsobilosti bylo možné zejména pro zvýšení pohotovosti GLDS přijímat a zpracovávat i jeho signály.

Pro zajímavost a porovnání je na obrázku 3 průběh (po dobu 115 vteřin) bezpečného odhadu polohy vozidla stojícího v danou chvíli v dopravně Strunkovice (na trati Čičenice–Volary, kde je nasazen Radioblok RBO+, resp. RBA-10). Je zobrazen průběh vypočítaný subsystémem GLDS (modré úsečky), průběh odhadu polohy počítaného komerčním GPS přijímačem (červené úsečky) a skutečná hodnota odhadované veličiny (zelená úsečka).<sup>1</sup> Z grafu je patrné, že zatímco bezpečný odhad počítaný subsystémem GLDS skutečnou hodnotu obsahuje vždy, odhad poskytovaný přijímačem nikoliv (přijímač se choval tak, jako by vozidlo do skutečné pozice teprve přijždělo)<sup>2</sup>. Perioda poskytování odhadu byla z důvodu čitelnosti grafu zvolena 5 sekund.

Je dlužno zdůraznit, že toto know-how je dlouhodobě rozvíjeno v AŽD Praha a v ZČU a zůstává intelektuálním vlastnictvím obou partnerů. Na rozdíl od principů řízení a zabezpečení Radioblokem RBO+ a RB1, které jsou (a v případě RB1 patrně budou) definovány předpisem SŽDC D4 a jsou tedy veřejně dostupné.

## Návrh nových funkcionalit a způsob jejich využití

Druhým krokem inovace Radiobloku verze RBO+ byl návrh nových funkcionalit a návrh způsobu jejich začlenění do RBO+. Při identifikaci nových funkcionalit byl přitom současně kladen důraz na to, aby byl v nové verzi RB1 dále eliminován vliv lidského faktoru na bezpečnost provozu a na to, aby nová verze Radiobloku ještě více podporovala strojvedoucího při řízení – stala se o další stupeň komfortnější. Při zohlednění těchto dvou požadavků a zohlednění skutečnosti, že díky GLDS je v RB1 k dispozici bezpečný odhad polohy a rychlosti, bylo k realizaci identifikováno 9 funkcionalit. Mezi nejdůležitější z nich patří:

- automatická odhláška (RB1 bez zásahu<sup>3</sup> strojvedoucího vykoná odhlášku po projetí konce vlaku pozicí zadního námezničku),
- kontrola projetí cíle povolení<sup>4</sup> (je-li projetí identifikováno, je vyvolána nouzová brzda),
- zobrazení informace o maximální povolené rychlosti a předvěstěné rychlosti (v souladu se statickým jízdním profilem tratě) v daném místě vlaku na trati,
- kontrola aktuální rychlosti (je-li rychlost překračována déle, než je předem definovaná doba, dojde k vyvolání nouzové brzdy),
- správa kompaktnosti vlaku (vlakové soupravy se rozlišují na kompaktní a svěšované) umožňující také kontrolovat stav integrity vlaku, pokud jej souprava či systém umí detekovat.

Po identifikaci a detailním návrhu nových funkcionalit bylo nutné stanovit, jakým způsobem mají být tyto funkcionality začleněny do nového ZZ RB1. Vzhledem k tomu, že všechny jsou založeny na znalosti bezpečného odhadu polohy a rychlosti stanoveného aktuálně pouze z informací poskytováných GNSS, není možné předpokládat, že funkcionality budou dostupné v každém okamžiku jízdy vlaku. V železničním prostředí samozřejmě není možné zajistit nepřetržitý příjem GNSS signálů (přítomnost tunelů, hustého zalesnění atd.). Další důvod nemožnosti předpokladu trvalé pohotovosti funkcionalit je například ten, že v některých situacích, i když jsou signály GNSS dostupné, opatření proti poruchám v GNSS zakomponovaná v subsystému GLDS vyhodnotí, že tyto signály není možné k výpočtu bezpečných odhadů použít. Aby vyvíjené ZZ RB1 mohlo bezpečně fungovat i v situacích, kdy není bezpečný odhad polohy nebo rychlosti k dispozici, a nejsou tak k dispozici ani nově navržené funkcionality, byl přijat následující způsob fungování ZZ RB1:

- Jsou-li v RBV (vozidlová část Radiobloku) dostupné bezpečné odhady polohy a rychlosti, realizuje RB1 všechny funkcionality převzaté z verze RBO+ a rovněž všechny nově navržené funkcionality pro verzi RB1.
- V opačném případě funguje RB1 v tzv.



Obr. 5 Geodetické zaměrování tratě

degradovaném módu, což znamená, že RBV funguje stejně jako ve verzi RBO+.

- O tom, v jakém módu Radioblok aktuálně pracuje, je strojvedce informován na BEZOJ (BEzpečná ZObrázovací Jednotka) prostřednictvím zobrazování údaje o aktuálně povolené maximální a předvěstěné rychlosti. Pracuje-li RB1 v nedegradovaném módu, je tato informace zobrazena. V degradovaném módu pak tato informace zobrazena není a je zobrazován mód jízdy PJ<sup>5</sup> (toto je zobrazováno i v původní verzi RBO+).

Tato specifikace nových funkcionalit bude veřejnou specifikací a měla by se stát východiskem pro specifikace jak nového výrobku, tak inovace předpisu SŽDC D4.

## Bezpečná mapa tratě

Již z názvů jednotlivých funkcionalit je patrné, že při jejich vykonávání musí být vyhodnocována vzájemná poloha vozidla vyjádřená bezpečným odhadem a poloha některých klíčových bodů železniční tratě. Mezi tyto klíčové body patří například pozice hranic dopraven

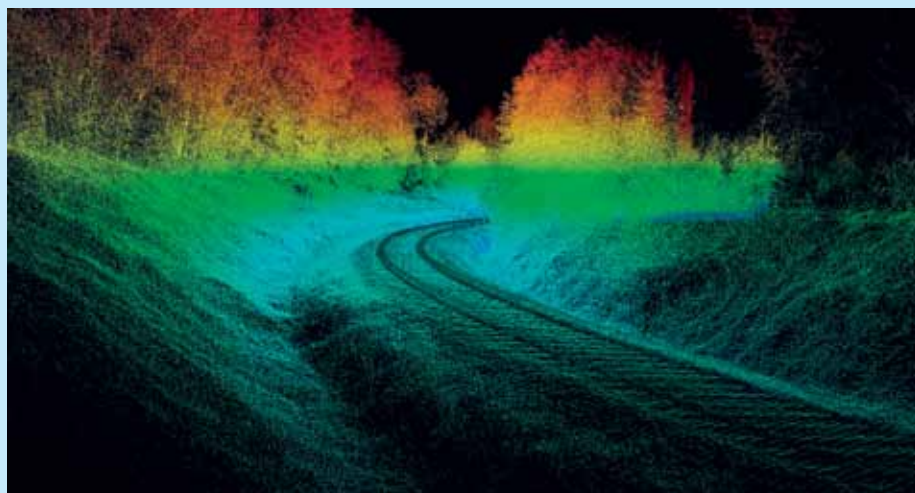




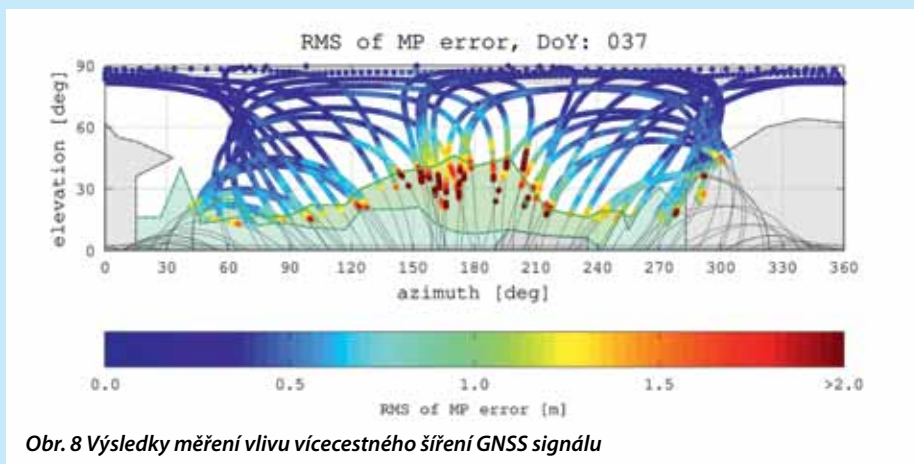
Obr. 6 Skenování tratě laserovým skenerem na střeše speciálního měřicího vozu

a námezníků, pozice návěstí vztahujících se k rychlosti podél tratě (rychlostník, návěsti „začátek pomalé jízdy“ a „konec pomalé jízdy“ atd.), pozice předvěstníků omezení rychlosti, atd. Za účelem zaměření poloh těchto klíčových bodů byla v rámci řešení projektu RegioSAT ve spolupráci s VÚGTK navržena metodika tvorby bezpečné mapy tratě, která definuje způsob jejich zaměření s požadovanou přesností a bezpečností/integritou<sup>6</sup>. Vzhledem k tomu, že metodika řeší nejen přesnost, ale právě i integritu bezpečnosti, byla v průběhu řešení projektu RegioSAT vypracována i její analýza rizika.

Množina zaměřených pozic všech potřebných klíčových bodů spolu s informacemi o povolených a předvěstěných rychlostech v jednotlivých místech tratě tvoří základ mapy



Obr. 7 Jeden z výstupů skenování tratě laserovým skenerem



Obr. 8 Výsledky měření vlivu vícecestného šíření GNSS signálu

tratě. Kromě dvou zde uvedených informací je navíc pro potřeby GLDS mapa tratě dále rozšířena o mapu osy koleje, která je využívána při výpočtu bezpečných odhadů polohy a rychlosti vlaku.

V průběhu vývoje a návrhu metodiky zaměřování tratě byla také věnována pozornost vlivům vícecestného (multipath – MP) šíření satelitního signálu k přijímači. Vícecestné šíření signálu je další z nebezpečných událostí, které ovlivňují výpočet polohy falešnými informacemi. Byly navrženy postupy a provedena řada měření k jejich detekci a kvantifikaci. Některé výstupy z těchto analýz ilustruje obr. 8. Na základě těchto výsledků se připravují postupy k eliminaci jejich vlivu na trati.



S využitím navržené metodiky tvorby bezpečné mapy tratě byla zaměřena železniční trať číslo 197 Čičenice–Volary a vytvořena její mapa, která byla následně uložena do funkčního vzorku RB1. Postup zaměřování a rekonstrukce tratě ve spolupráci s pracovníky VÚGTK ilustrují obrázky 5 až 7.

### Testy a oficiální demonstrace vyvíjeného ZZ RB1

Po dokončení prací souvisejících s vývojem subsystému GLDS, návrhem nových funkcionalit a návrhem metodiky tvorby bezpečné mapy tratě bylo přistoupeno k praktické realizaci dosažených výzkumně-vývojových výsledků. Výsledkem této realizace byl vznik funkčního vzorku (FV) RBV části Radiobloku verze RB1 (viz obr. 4), ve kterém jsou implementovány jak původní funkcionality Radiobloku verze RB0+, tak právě i mobilní část subsystému GLDS a nově navržené funkcionality RB1.

Po vytvoření FV RB1 a mapy tratě č. 197 následovalo testování FV RB1, a to jak v silničním prostředí, tak na zaměřené trati Čičenice–Volary (viz obr. 9). Cílem tohoto testování bylo ověřit nejen správnou funkci GLDS a jednotlivých funkcionalit, ale i ověřit, že ovládání a chování RB1 bude pro strojvedoucího intuitivní. Vzhledem k tomu, že všechny prováděné



Obr. 9 Ověřování systému na silnici

testy proběhly úspěšně, byla pracovištěm VP03 připravena finální demonstrace (prezentace) FV RB1 pro zástupce Ministerstva dopravy ČR, tedy pro zadavatele veřejné zakázky. Tato demonstrace se uskutečnila

26. 10. 2016 na trati Čičenice–Volary s využitím měřicího vozu AŽD Praha. Demonstrace FV RB1 proběhla během dvou jízd pojmenovaných „Zodpovědná jízda strojvedoucího“ a „Nezodpovědná jízda strojvedoucího“, při



Obr. 10 Radiobloková centrála a zobrazovač jízdních stavů na palubě měřicího vozu





Obr. 11 Příprava demonstrace na měřicím voze AŽD Praha ve stanici Čičenice

kterých bylo předvedeno fungování všech nových funkcionalit. Ukázáno přitom bylo, jak název jízdy napovídá, chování Radiobloku RB1 jak při dodržování drážních předpisů, tak při jejich porušování. Bylo a je možné konstatovat, že stejně jako testování FV RB1, tak i demonstrační jízdy proběhly úspěšně. Došlo tak například k jednomu z prvních veřejných předvedení vyvolání nouzové brzdy zabezpečovacím zařízením vyvíjeným v AŽD Praha v situaci, kdy strojvůdce překračuje maximální povolenou rychlost v daném úseku. Průběh demonstračních jízd ilustrují obrázky 10 až 13.

### Závěr

Více informací o dosažených výsledcích (detailní popis navrhovaných funkcionalit, návrh legislativních změn, informace o dosažených přesnostech bezpečných odhadů a další) je možné nalézt v oficiálních výstupech projektu RegioSAT. Projekt byl realizován v rámci veřejné zakázky TB0200MD051 díky 100 % podpoře z programu BETA Technologické agentury České republiky. Nicméně je vhodné podotknout, že náklady na straně AŽD Praha částečně překročily hrazené výdaje a byly pokryty vlastními zdroji firmy. To jsme



Obr. 12 Demonstrační jízda na palubě měřicího vozu

ostatně očekávali, neboť limitní cena zakázky od počátku neumožňovala podat návrh projektu s reálnějšími náklady bez případného omezení náplně a cílů projektu.

Na základě zhodnocení dosažených výsledků a reakcí strojvedoucích účastníků se testování FV a demonstračních jízd lze konstatovat, že výsledky potvrdily smysluplnost navrženého konceptu nového ZZ RB1, vhodnost jeho dovedení do stupně prototypu potřebného ke schválení a pro opakovanou následnou výrobu. Aktuálně je plánováno, že vyvíjené ZZ RB1 bude testováno na jedné z tratí nově koupených AŽD Praha (Dolní Bousov–Kopidlno). I výsledky těchto testů budou při dalším vývoji systému RB1 využity.

Stojí za zdůraznění, že Radioblok RB1 zůstává i přes přidání modul GLDS stále relativně velmi levným řešením pro zvýšení bezpečnosti na regionálních tratích, přičemž přidává zásadní krok ke zvýšení bezpečnosti, která v některých směrech překonává

i vlastnosti klasického vlakového zabezpečovače typu LS pro hlavní tratě. Poskytuje přitom nadále základní výhody systému Radioblok RB0+, jako jsou snadná a rychlá montáž na vozidla nebo rychlá instalace centrály RBS pro dispečerské řízení bez nutnosti venkovní kabelizace. I vazba na komunikační systém veřejného operátora GSM nevyžaduje kabelové napojení, natož nákup, instalaci a provozování speciálního komunikačního systému.

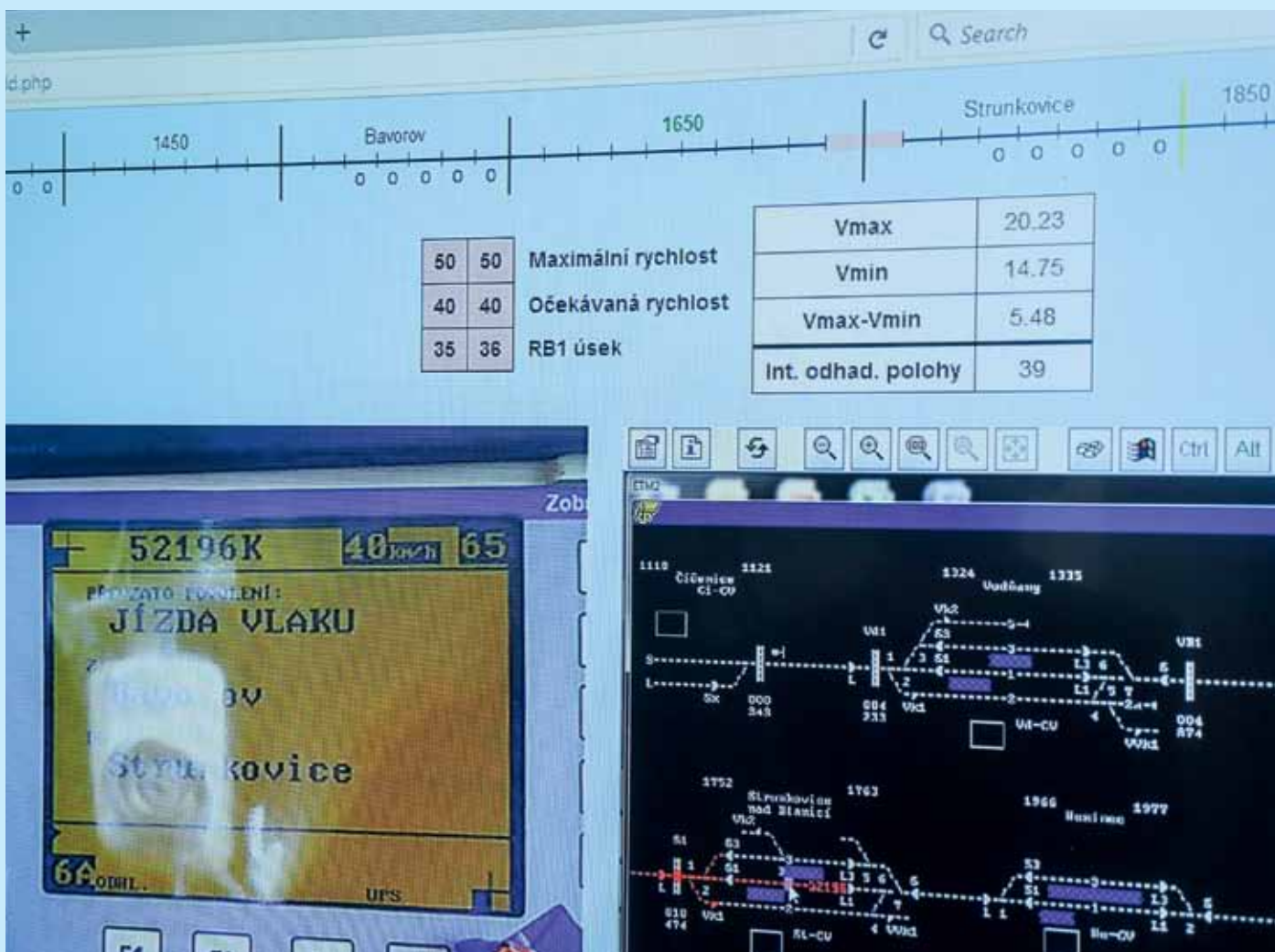
RB1 přidává další stupeň automatizace činnosti strojvedoucího, který ho osvobozuje od některých úkonů a současně poskytuje bezpečnou kontrolu projetí cíle povolení i překročení rychlosti. Tímto je splněna podmínka pro další zvyšování traťových rychlostí i na regionálních drahách a jedná se i o další krok k ještě vyšší automatizaci řízení jízdy na těchto tratích.

#### POUŽITÁ LITERATURA

Frýbort, F. Racionalizace železničních tratí v ČR – Radioblok. *Železnice* 2005; str. 185–189.

#### POZNÁMKY

- 1 Odhady jsou vykresleny zvlášť pro každou osu koordinačního systému WGS84. Samotný odhad je v každém časovém okamžiku pro každou osu představován intervalem – na grafu je interval pro každý časový okamžik vyjádřen jako úsečka, označující hodnoty, které do odhadu/intervalu náleží.
- 2 Důvodem je, že komerční přijímač při výpočtu odhadu polohy používá pro vlak nevhodný model pohybu.
- 3 V dopravních, kde končí aktuální povolení k jízdě, je odhláška vykonávána s podporou strojvedoucího (avšak jednodušeji než v RB0+), vysvětlení však již překračuje rozsah tohoto článku.
- 4 Tato funkcionální je realizována i v RB0+. V RB1 je nově realizována s využitím bezpečného odhadu polohy.
- 5 Jedná se o mód jízdy „Povolení k jízdě“.
- 6 Integrita bezpečnosti je potřebná proto, že mapa tratě má přímý dopad na bezpečnost celého vyvíjeného ZZ (je využívána v nových funkcionalitách).



Obr. 13 Obrazovka demonstrátoru s polohou vlaku na trati, návěstěnou a skutečnou rychlostí v mezích určených GLDS. Vlevo dole kamerou nasnímaná obrazovka pro strojvedoucího (BEZOJ), vpravo pak část replikované obrazovky dispečera