

Martin Leso¹

Koncept Železnice 4.0. - vize digitální železnice v ČR

Klíčová slova

Digitalizace železnice, ETCS, GSM-R, FRMCS, Inteligentní systémy na železnici

Keywords

Railway digitalization, ETCS, GSM-R, FRMCS, Intelligent transportation systems on Railway

Anotace

Příspěvek prezentuje nový alternativní přístup k modernizaci technologií řízení a zabezpečení na železniční síti v ČR, označovaný jako „Koncept Železnice 4.0“. Presentovaný koncept je založen na komplexním zavedení digitálních technologií, které naplňují vizi Inteligentních dopravních systémů na železnici (ITS-R). Příspěvek popisuje architekturu a základní komponenty systému založeném na distribuovaných technologiích s centralizací logických prvků. Příspěvek rovněž zasazuje danou problematiku do kontextu současného vývoje v problematice zavádění systému ETCS v ČR.

Abstract

The paper presents a new alternative approach to the modernization of control and safety technologies on the railway network in the Czech Republic, referred to as the "Railway 4.0 Concept". The presented concept is based on the comprehensive introduction of digital technologies that fulfill the vision of Intelligent Transport Systems on Railways (ITS-R). The paper describes the architecture and basic components of a system based on distributed technologies with centralization of logical elements. The paper also places the issue in the context of current developments in the implementation of ETCS in the Czech Republic.

1. Úvod

V současné době probíhá, nejenom na české železnici, dlouho připravované a očekávané zavádění systému ERTMS/ETCS. Tato technologie přináší zejména zvýšení bezpečnosti na straně kontroly pohybu kolejových vozidel, tedy eliminace chyby strojvedoucího. Systém ERTMS/ETCS však nelze vnímat pouze jako systém pro zvýšení bezpečnosti, nebo jako plnění požadavku EU na zavedení jednotného systému vlakového zabezpečovače, jakožto jednoho z interoperabilních požadavků. O technologii ERTMS/ETCS lze jednoznačně hovořit jako o základním prvku umožňující změnu v přístup k efektivnějšímu využití železničního systému a jeho zavádění nesmí sledovat výhradně parametr bezpečnosti, ale musí jeho zavedení vést také ke zvýšení kapacity a využitelnosti železnice pro dopravní systém ČR. Otázkou dnes proto není, zda takový systém zavádět, nýbrž jakým způsobem tyto nové

¹ doc. Ing. Martin Leso, Ph.D., nar. 1976, je absolventem ČVUT v Praze, Fakulty dopravní, v roce 2000 v oboru Automatizace v dopravě a telekomunikacích, titul Ing., v roce 2005 na ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Inženýrská informatika v dopravě, Postgraduální studium, titul Ph.D., v roce 2012 ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Habilitační řízení v oboru Inženýrská informatika v dopravě a telekomunikacích, titul doc.

technologie zavádět, aby měli skutečný přínos pro funkci železnice i celkové dopravy v ČR.

2. Historie vzniku konceptu Železnice 4.0.

Koncept Železnice 4.0. vznikl jako technologické rozpracování vize „Inteligentní dopravní systémy na železnici“ (ITS-R)², která byla definována v rámci pracovní skupiny SDT. Vize ITS-R³ definovala základní vizi rozvoje technologií na železnici. Ta by měla jednoznačně směřovat ke konceptu inteligentních vozidel, tedy vozidel, která budou díky palubním technologiím ETCS, ATO, GSM-R/FRMCS, 4G/5G umožňovat plné zabezpečení jejich jízdy, včetně automatizace a optimalizace jejich jízdy. Zároveň budou umožňovat jejich plnohodnotné zapojení do dopravně logistických systémů jak v nákladní, tak také v osobní dopravě. V neposlední řadě budou také poskytovat služby cestujícím v podobě hlasové a datové komunikace. Tomuto konceptu inteligentních vozidel se však musí přizpůsobit především infrastrukturní část těchto technologií, která musí poskytovat adekvátní technologie v podobě zejména radiových sítí a odpovídající úrovní technologií řízení vlaku ETCS vycházející minimálně z aplikační úrovně 2 s možností využití aplikační úrovně 3.

V současné době není otázkou, zda tato vize inteligentních dopravních systémů bude realizována. Současné celosvětové trendy, vycházející ze stávající úrovně technologií a obecně se zvyšujících požadavků na vyšší využitelnost železnice, tento směr jednoznačně potvrzují. Podobné projekty zabývající se otázkou komplexní digitalizace a modernizace železnice lze nalézt ve většině sousedních států EU. V SRN lze uvést projekt Digitales Stellwerk⁴, který je součástí komplexního plánu na digitální železnici⁵. Obdobným programem se zabývají tradičně Švýcarské dráhy SBB⁶ v projektu SmartRail4.0. Komplexní program zavádění systému ETCS a GSM-R již v současné době realizují Norské železnice Bane NOR⁷.

Hlavní otázkou týkající se modernizace železnice v ČR by tedy měla být spíše diskuse nad způsobem, jak tuto nutnou generační a komplexní obměnu technologií dnes zvládnout v dostatečně krátkém čase, za přiměřeně vynaložených finančních prostředků tak, abychom výhod, které tyto technologie bezesporu přinášejí, mohli využít co nejdříve. Cílem a hodnotícími kritérii modernizačních strategií by tedy mělo být především zvýšení využitelnosti železnice z pohledu požadavků na rychlost, kapacitu infrastruktury i přesnost a dostupnost železnice, umožňující efektivní zapojení do integrovaných dopravních systémů v celé ČR. Parametr bezpečnosti, který je v souvislosti se systémem ETCS nejlépe spojován, je v tomto kontextu komplexního

² Vize ITS-R byla v roce 2016 zavedena do strategických materiálů MDČR v rámci Implemetačního plánu k Akčnímu plánu rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050) jako projekt č. 63, ŽD-20, Pilotní ověření technologie ITS-R – etapa 0

<https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Strategie/ITS/Implemetacni-plan-k-Akcni-mu-planu-rozvoje-intelige?returl=/Dokumenty/Strategie/ITS>

³ http://www.sdt.cz/dokumenty/2015_Pozicni_dokument_SDT_rozvoj_ITS_na_zeleznici.pdf

⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/Digitales_Stellwerk

⁵ <https://digitale-schiene-deutschland.de/en>

⁶ <https://www.smartrail40.ch/>

⁷ <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/ertms/>

přístupu potřebné vnímat jako nutnou a neopominutelnou podmínku, která je přirozenou součástí zaváděných technologií.

Koncept Železnice 4.0. vznikl v rámci působení autora tohoto článku v Bezpečnostní komisi MDČR, která byla založena ministrem dopravy ČR doc. Ing. Karlem Havlíčkem, Ph.D. MBA v 7/2020 v reakci na tragickou nehodu v žst. Pernink. V rámci jednání byla představena MDČR-O130 vize implementace systému ETCS a GSM-R na tratě a vozidla do roku 2040. Z uvedeného materiálu⁸ je zřejmé, že do roku 2040 by měly být vybaveny všechny tratě v ČR systémem ETCS a GSM-R. Na tuto politickou poptávku, akcentující zejména požadavek na zvýšení bezpečnosti celé železniční sítě ČR, vznikl návrh řešení této problematiky ze strany odborníků ze Správy železnic, státní organizace (dále jen „SŽ“). Návrh⁹ předpokládá možnosti řešení prostřednictvím komplexní modernizace některých významnějších tratí (určených většinou také pro elektrifikaci) technologií ETCS v aplikační úrovni 2, na méně vytížených tratích navrhuje realizaci formou oprav stávajících zabezpečovacích zařízení a jejich doplňováním ETCS v aplikační úrovni L1, případně na nejméně vytížených regionálních tratích zjednodušenými variantami ETCS L1 LS a ETCS L1 STOP. V případě ETCS L1 verzí se rovněž nezavádí traťové rádio GSM-R, naopak se prakticky rozšiřuje funkční využití systému analogového rádia typu TRS, které je instalováno z důvodu opravy stávajících rádií typu SRV. Tyto zjednodušené varianty řešení však reagují pouze na požadavek na urychlenou realizaci bezpečnostní funkce zamezující vlakům v neoprávněném projetí návěsti zakazující jízdu vlaku. Nelze je však považovat za technologie, které by umožnili vyšší využitelnost železnice včetně nových technologií, jak definuje koncept ITS-R.

Koncept Železnice 4.0. přináší alternativní návrh možnosti komplexního přístupu zavádění digitálních technologií naplňující vizi ITS-R na celé železniční síti v ČR, respektující jak požadavky zvýšení bezpečnosti železničního provozu, tak požadavky na vyšší využitelnost a zapojitelnost železnice pro dopravní systému ČR. Tento příspěvek se věnuje základnímu popisu architektury a klíčových komponent tohoto konceptu. Při zvládnutí problematiky komplexního pojetí obměny technologií, lze předpokládat, že celosíťové zavedení těchto technologií může být zvládnutelné v dostatečně krátkém čase i za přiměřených ekonomických nákladů.

3. Aspekty zavádění moderních technologií na železnici v ČR

Při zavádění nových technologií založených na systémech ETCS a GSM-R/FRMCS je nutné si uvědomit, že zavádění systému ETCS, který řeší v principu výhradně zabezpečení jízdy vlaku, ve funkci vlakového zabezpečovacího zařízení mající jak traťovou, tak mobilní část, je přímo závislé na technologiích infrastrukturních zabezpečovacích zařízení. Tato zařízení nejsou součástí systému ETCS, nepodléhají tedy interoperabilním specifikacím a musí být řešeny specificky každým správcem

⁸ <https://www.mdcz.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Bezpecnostni-komise-Hlavni-i-lokalni-trati-jiz-zn>

⁹ Návrh zavádění systému ETCS v ČR je dnes presentován dokumentem „PLÁN moderního zabezpečení české železnice“

infrastruktury. Tyto technologie tak mohou tvořit podstatnou část investic do infrastruktury, na kterou bude možné navázat technologie ETCS. Z podstaty funkce systému ETCS, existují aplikační podmínky (funkční a bezpečnostní) podmiňující na jaké infrastrukturní zabezpečovací zařízení je možné či vhodné systém ETCS aplikovat. Při stanovení koncepce modernizace je proto nutné se nejprve zabývat otázkou výchozího stavu v ČR. Bohužel ani v bezpečnostní komisi MDČR nebyly zástupci Správy železnic, s.o. detailní informace o současných parametrech infrastrukturních technologií poskytnuty. Proto je nutné tuto oblast popsat spíše principiálně v kontextu dosavadního přístupu k modernizaci těchto technologií.

Z dosavadních veřejně dostupných informací a zkušeností autora článku, je možné konstatovat, že dlouhodobě je v ČR tradičně masivně investováno do technologií řízení a zabezpečení především na koridorových sítích cca. 1500km, které mají význam jako páteřní železniční systém zahrnutý do sítě TEN-T. Přesto se na této části infrastruktury vyskytují systémy s datem vzniku na přelomu 19. a 20. století, konkrétně se jedná o elektromechanická zabezpečovací zařízení. Rovněž je na řadě železničních stanic i traťových úsecích instalováno traťové zabezpečovací zařízení reléové technologie, která byla instalována od 50. let 20. století. Implementace systému ETCS, v aplikační úrovni 2, která je na koridorových sítích preferována, však vyžaduje výměnu těchto starých technologií, protože navázání systému ETCS na ně by bylo příliš komplikované, a v některých aspektech i z bezpečnostních důvodů nerealizovatelné. Navázání systému ETCS na novější technologie elektronických stavědel, instalovaných na přelomu milénia může být rovněž komplikované z důvodu morálního zastarání a nepřipravenosti technologie k navázání na systém ETCS. Konkrétně se jedná například o jádra elektronických a hybridních stavědel, u kterých se vyžaduje datová komunikace s Radioblokovou ústřednou (RBC) a dostatečný výpočetní výkon. Protože tyto technologie mají v současné době více jak 20 let aktivního života za sebou, a jsou již technicky i morálně zastaralé, realizuje se v současné době jejich obměna za nové elektronické systémy, které umožňují napojení na systém ETCS. Je evidentní, že modernizace infrastruktury a zabezpečovacích zařízení není jednoduchá, obtížně se řeší v rozsahu koridorových tratí, přičemž je velmi časově i finančně náročná.

V ČR je však v současné době provozováno cca. 9700 km tratí. Na značné části mimokoridorových tratí dosud neproběhla žádná systematická a komplexní obměna zabezpečovacích technologií. Řada z nich se doposud modernizovala z důvodu nedostatku finančních prostředků z výzisku snesených z koridorů. Přesto má řada celostátních i regionálních tratí, na kterých většinou také proběhla nutná komplexní modernizace infrastruktury, instalováno nové elektronické zabezpečovací zařízení. Některá elektronická zabezpečovací zařízení se rovněž instalují v rámci oprav dosluhujících zabezpečovacích zařízení. Přesto lze konstatovat, že většina mimokoridorových tratí (celostátních a především regionálních) v ČR, je zatížena značnou historickou podinvestovaností do technologií řízení a zabezpečení, kde se nacházejí zařízení mechanická a elektromechanická z přelomu 19. a 20. století i reléová. 1700 km regionálních tratí není vybaveno žádným zabezpečovacím zařízením a provoz na nich je řízen podle předpisu pro zjednodušené řízení drážní dopravy SŽ D3 s minimem infrastrukturních technologií.

Je tedy zásadní strategickou otázkou, jakým způsobem v dostatečně krátkém čase a co nejvíce efektivně zavést nové technologie, které umožní rozšíření nových technologií ETCS a GSM-R na celou železniční síť v ČR. Klíčovou otázkou zcela určitě také je, zda se i na málo vytižené regionální tratě, se současnou intenzitou dopravy v rádech jednotek až desítek vlaků denně „vyplatí“ instalovat relativně drahé technologie, a zda by neměly být aplikovány technologie jednodušší a levnější. V této souvislosti je nutné si uvědomit, že hlavní rolí železnice v území má být především realizace páteřní dopravy, která tvoří v území jedinečný alternativní dopravní systém k silniční síti, umožňující zajistit jak osobní dopravu, tak také převoz těžkých nákladů. Vybudování a provozování této železniční infrastruktury přináší poměrně vysoké náklady jak na straně správce infrastruktury, tak také u dopravců drážních vozidel. Je proto nutné se zamyslet nad otázkou efektivního využívání této infrastruktury a zvážit, zda neexistencí zabezpečovacího zařízení není značně (nepatříčně) omezeno využívání této infrastruktury a instalací zjednodušených technologií zabezpečovacích zařízení nedojde k žádnému zásadnímu navýšení možnosti jejího využívání, jak co se týče kapacity (nabídka potenciálu), tak i rychlosti. To vše může způsobit znehodnocení investic do infrastruktury i drážních vozidel. Následně tento stav nutně vyvolá zvýšené investice a externí náklady na vyšší využívání silniční sítě, takže úspory v podobě zrušení či omezení železniční dopravy rozhodně úsporu z pohledu státu či krajů přinést nemohou. Přitom intenzivnější využití železniční dopravy je v současné době jednoznačně definováno v dlouhodobých politikách jak v ČR, tak i v EU. Obyvatelé ČR v současné době vyhledávají ze socioekonomických i environmentálních důvodů bydlení mimo velká města, a je zřejmé, že kolejová doprava může zajistit udržitelný způsob propojení venkovských a městských aglomerací. V oblasti nákladní dopravy, lze v následujících letech očekávat rovněž zvýšení poptávky po lokálních nákladních výkonech v souvislosti se svozem komunálního odpadu, případně jednotlivých kusových zásilkách. Proto je nutné vnímat investice do železnice v kontextu dopravních potřeb celé ČR, nikoliv separátně jako řešení pouze otázky bezpečnosti či zavedení interoperabilního systému ETCS. Zavedení nových technologií i na regionální tratě může přinést potenciál zvýšení rychlosti i využitelnosti i na takových, dosud málo využívaných tratích. Nutným předpokladem ale je, aby doprava na takových tratích byla realizována jako celkový dopravní koncept, kde regionální železnice bude tvořit rychlou a kapacitní páteř dopravního systému regionu.

Specifickým problémem v ČR mohou být v této souvislosti regionální tratě, které se ve zvýšené míře potýkají s velkým počtem přejezdů v hustotě až cca. 1 přejezd na 1 km. Kromě problému bezpečnosti (střet silničního a drážního vozidla), tvoří přejezdy často také omezení rychlosti drážních vozidel, a tím tak omezují využitelnost železnice. V rámci bezpečnostní komise MDČR byl rovněž zadán úkol komplexního řešení bezpečnosti na přejezdech. Prakticky to znamená, že bylo vytipováno k realizaci přejezdovým zabezpečovacím zařízením cca. 150 přejezdů / ročně, které se realizují typickým řešením se samostatným ostrovním přejezdovým zabezpečovacím zařízením. Instalace takových přejezdových zařízení je poměrně nákladná, pohybuje se v částkách kolem 10mil Kč / instalaci, a ve většině případů na konkrétní regionální tratích nevede ke zvýšení traťových rychlostí, mimo jiné i z důvodu existence dalších přejezdů s nedostatečnou úrovní zabezpečení limitující následně rychlost vlaků.

Z uvedeného popisu výchozího stavu současných technologií a dosavadního způsobu jejich obměny je zjevné, že zavádění nových technologií ETCS a GSM-R/FRMCS v prostředí současné železnice v ČR je neobyčejně složitým problémem, a je tak velkou technickou i ekonomickou výzvou, kterou bude nutné v následujících letech urychleně realizovat. Koncept Železnice 4.0. přináší alternativní komplexní přístup k řešení této otázky, reflektující současný výchozí stav technologií v ČR vycházející ze současných moderních trendů v oboru zabezpečovacích zařízení a komunikací.

4. Popis konceptu Železnice 4.0.

Koncept železnice 4.0. přináší návrh možného technologického řešení, které vychází ze současných poznatků digitální technologie a reflektuje vývoj v této oblasti v zahraničí. Architektura Železnice 4.0. je vyobrazena na obr. 1. Architekturu je možné rozdělit do následujících skupin technologií, které tvoří ucelené prvky systému:

- **Liniové přenosové a napájecí sítě** – tvoří je zejména optické komunikační a metalické napájecí kabely, které tak tvoří páteřní infrastrukturu
- **Hlasová a datová komunikace** – zajišťuje datové a hlasové komunikační spojení s palubními technologiemi, personálem i cestujícími na palubě vlaku
- **Objektové kontroléry** – univerzální programovatelný prvek, zajišťující vykonání vstupně/výstupních povelů řízených integrálním zabezpečovacím zařízením
- **Integrální zabezpečovací zařízení** – centralizovaná logika všech funkcí řízení a zabezpečení, principiálně integrující funkci PZZ, TZZ, SZZ, RBC
- **Nadřazené operativní a dispečerské řízení dopravy** – navázání na systémy umožňující dálkové řízení provozu a správu technologií

4.1. Liniové přenosové a napájecí sítě

Vytvoření základní infrastruktury, umožňující přenos řídicích a diagnostických informací a napájení technologií elektrickou energií, je klíčovou součástí realizace digitálních technologií.

Železnice je liniový systém, a vyžaduje řešení těchto technologií po celé své délce, jinak nebude schopna zajistit funkčnost systému, jak je definováno ve vizi ITS-R. Jedná se proto o rozsáhlé, a tudíž investičně a provozně značně nákladné technologie. V současné době zaváděná digitální technologie se bez kvalitních liniových sítí neobejde. Je proto nutné, aby tyto sítě byly projektovány s maximální synergií s realizací infrastrukturních technologií, aby vynaložené investiční náklady byly co nejlépe využity.

Při dlouhodobém koncepčním plánování modernizace technologií na všech železničních tratích v ČR lze předpokládat, že dosavadní kabelové trasy jsou, nebo v nejbližší době budou muset, být osazeny optickými kabely kolem všech tratí, neboť dosavadní stav traťové kabelizace je ve většině případů tvořen zastaralými sdělovacími kabely, které z podstaty své konstrukce bývají mnohdy na konci své životnosti a nevyplácí se je opravovat. V současné době je již standardem, že podél železničních tratí se pokládají optické přenosové sítě – optické kabely. Optické trasy díky svým vlastnostem (cena, kvalita datového přenosu) jsou dnes nepostradatelnou součástí řešení zabezpečovací a sdělovací techniky. Proto je koncept Železnice 4.0. založen právě na vybudování těchto páteřních datových tras podél všech tratí, formou mnohavláknových optických kabelů. Optické datové spoje slouží k datovému napojení objektových kontrolérů (OCx), BTS-R systému GSM-R, BTS-P veřejných operátorů, případně pro další telematické technologie (kamery, detektory obsazenosti překážek, radiové majáky, atd.), které pro své fungování vyžadují získávat/poskytovat železničnímu systému příslušná data.

Koncept Železnice 4.0. navrhuje realizaci distribuovaných technologií, proto v každém místě umístění venkovní technologie (přejezd, výhybka, návěstidlo, přestavník, snímač počítače náprav) bude vyveden příslušný počet optických vláken pro napojení těchto komponent prostřednictvím objektového kontroléru. Součástí liniové přenosové sítě bude soustava datových přenosových prvků (průmyslové switche), jejichž prostřednictvím se zrealizuje bezpečná a spolehlivá přenosová vrstva v mezistaničním, tak traťovém úseku.

Optická vlákna je možné využít také pro další funkce převážně diagnostického charakteru. Velmi diskutovanou a v pilotních projektech ověřovanou aplikací je v současné době diagnostika závad infrastruktury (typicky lom kolejí či další defekty), případně detekce poruch kolejových vozidel (typicky plochá kola). Optická vlákna lze rovněž využívat jako prvky pro diagnostiku a monitorování pádu skal či stromů na železniční svršek, případně jako ochranný perimetrický systém pro střežení objektů dráhy před vstupem neoprávněných osob.

Jako další součást liniových tras, navrhuje koncept Železnice 4.0. doplnění těchto tras také o elektrické napájecí vedení. To by mělo sloužit k napájení elektrickou energií všech venkovních prvků a technologií. Zejména se jedná o objektové kontroléry



Obr. 2 Příklad datového switche firmy Westermo

a jimi ovládané periferie zabezpečovacích zařízení. Rovněž elektrické napájení je nutné zajistit také pro poskytnutí dostatečné podpory technologiím radiových přenosových systému BTS-R či veřejných operátorů BTS-P. Současné řešení napájení vnějších technologií je řešeno převážně napojením na rozvod lokální veřejné energetické soustavy. Za tímto účelem se musí být často budovány dlouhé napájecí trasy obsahující samostatné napájecí vedení, zřízen podružný odběr, a z důvodu spolehlivosti zdroje musí každý objekt mít záložní elektrický akumulátor s příslušnou technologií nabíječů, případně klimatizace a vyhřívání. Koncept Železnice 4.0. přichází z možností řešení liniového napájení traťovým kabelem¹⁰, které je vedeno ve výkopu společně s optickými trasami v celém mezistaničním úseku. Oproti dosavadním řešením, koncept Železnice 4.0. předpokládá využití rozvodu 400V DC. Tato technologie napájení je v současné době velmi rozšířena v systémech fotovoltaických elektráren a elektromobilů. Předpokladem takového přístupu je použití nízkopříkonových technologií, zejména objektových kontrolérů a jejich ovládaných periférií. Mezi nízkopříkonové technologie lze považovat také samostatné BTS jak sítě GSM-R nebo veřejných operátorů, které bez ovládacích a přenosových periférií nepřesahují příkon 150W až 300W. Samotné objektové kontroléry a přenosové prvky ve většině případů nepřesahují rovněž příkon do 300W. Dimenze takových napájecích sítí musí být detailně stanovena na základě množství jednotlivých napájených objektů. Podle toho se stanoví počet a umístění napájecích a záložních zdrojů UPS.

Volba této technologie se jeví výhodná zejména z následujících důvodů:

- Napájecí napětí 400V DC nevyžaduje speciální kabely, technologie rozvodů, jištění a ochran lze využít z obdobných, dnes běžně realizovaných staveb např. fotovoltaických systémů nebo elektromobilů.
- Zálohování napájení lze výhodně realizovat v objektech železničních stanic, kde ve většině případů není problém s přípojkou na veřejný elektrický rozvod.
- Napájecí napětí 400V DC napětí vede k možnosti využít relativně levnějších a masově vyráběných DC měničů a dobíječů
- Použití DC rozvodu umožňuje připojení posilujících napájecích zdrojů kdekoliv po napájecí trase, čímž se zvyšuje akceptovatelný příkon technologií

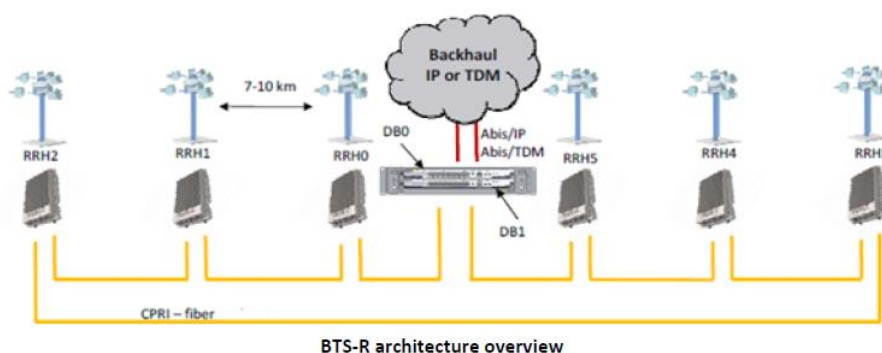
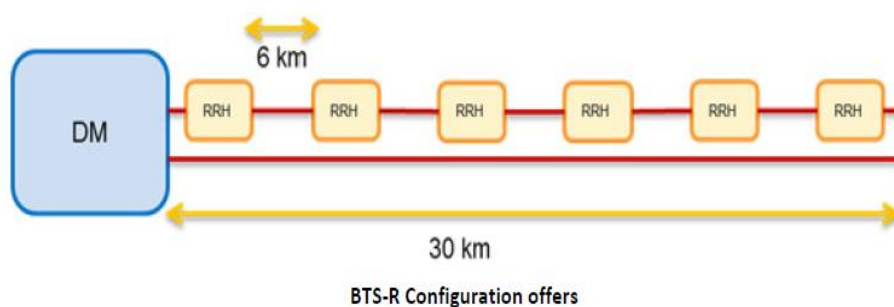
Z pohledu nákladů na pořízení a provoz liniových sítí je vhodné, aby takové trasy byly budovány nikoliv pouze za účelem technologických systémů železnice, ale tyto sítě umožňovali sdílení kabelových tras, například pro internet v území či pokrytí území veřejnými operátory. Současné optické kabely umožňují velký počet optických vláken, za přiměřené ceny. V porovnání ceny zemních prací výkopů a pokládky kabelů (cena lidské práce a mechanizace) je cena optického kabelu zanedbatelná. Je proto žádoucí, pokládat dostatečně vysoké množství kabelů a optických vláken. Železnice je atraktivní pro pokládku optických tras pro komerční účely pokrytí území datovými službami. Zejména regionální tratě mohou umožnit levnější a snazší možnost

¹⁰ Takové řešení je známo ze starších koridorových technologií, kde traťový napájecí systém byl realizován vedením 6kV/75Hz a řešil jak napájení kolejových obvodů, tak také decentralizovaných zabezpečovacích technologií, jako byl především automatický blok nebo přejezdy. Toto bylo však velmi drahé a komplikované řešení.

zavedení datových kabelů do tzv. bílých míst ČR, než v případě vedení optických kabelů volnou krajinou s nutností řešení velkého množství vlastníků pozemků. Pro železnici tak investice do výstavby a provozování takových sítí může být, za podmínky jednoznačně nastavených legislativních a ekonomických pravidel, potenciálně zisková.

4.2. Hlasová a datová komunikace

Koncept Železnice 4.0 zavádí princip komplexního pokrytí všech tratí datovými a hlasovými přenosy mobilního rádia, jakožto základního prostředku pro bezpečné řízení železničního provozu. Pro řízení a zabezpečení železnice se v současné době buduje systém GSM-R, který v následujících letech (cca. po roce 2030) bude postupně nahrazován systémem FRMCS. Koncept Železnice 4.0. předpokládá, že systém GSM-R (v budoucnu také FRMCS) bude řešen systémem distribuovaných technologií, který je založen na principu zobrazeném na obrázku 2. Ve vhodném objektu infrastruktury, např. ve stanici, bude instalována jednotka tzv. Digital Module (DM), která umožňuje po optickém kabelu řídit dalších až 6 vzdálených vysílačů tzv. Radio Remote Head (RRH), které tvoří základnovou stanici BTS-R. Maximální vzdálenost, kterou lze takto jedním DM modulem ovládat je do 30km. Tato vzdálenost může ve většině případů koncových regionálních tratí plně postačovat, i když z praktického hlediska bude na řadě tratí nutné počet RRH a DM modulů zvýšit z důvodu očekávatelného horšího pokrytí území šířením radiového signálu. Napájení RRH by bylo výhradně z liniového napájecího kabelu. V případě zajištění dostatečného zálohování tohoto napájení, lze uvažovat také o eliminaci lokálních bateriových prvků, což instalaci dále zjednoduší a zlevní.



Obr. 3 Architektura distribuované technologie GSM-R, zdroj Kontron Transportation s.r.o.

Toto řešení umožňuje minimalizaci technologie v infrastruktuře oproti současnému stavu realizace GSM-R technologie na koridorové síti, kde každá BTS obsahovala veškeré přenosové prvky, akumulátory zdroje a klimatizaci. Takto budované pokrytí tratí systémem GSM-R bude standartním způsobem integrováno do již vybudované GSM-R sítě, jejíž kapacita je dostačující k pokrytí všech tratí v ČR. V případě instalace systému GSM-R (FRMCS) lze synergicky využít technologií (liniové přenosové a datové sítě, sloupy, rozvaděče) také pro pokrytí tratě a přilehlého území signálem veřejných operátorů. Předpokládá se, že tato technologie bude realizována také distribuovanou technologií, nevyžadující lokální drahé a náročné technologie.

4.3. Objektové kontroléry

Objektový kontrolér zajišťuje funkci realizaci vstupně/výstupního rozhraní k vnějším technologiím (přejezdník, závora, návěstidlo, přestavník atd..). na základě datové komunikace s integrálním zabezpečovacím zařízením. Jedná se v principu o tzv. chytrou periférii, která realizuje převod datových zpráv na fyzické vstupy/výstupy. Objektový kontrolér může obsahovat také základní logické a diagnostické funkce. Pro připojení specifických technologií (např. ovládání světel výstražníku PZZ, počítače náprav, elektromotor závory nebo přestavníku), může být v objektovém kontroléru umístěno specifické ovládací rozhraní, přizpůsobené požadavkům vnějších technologií. Z pohledu železničního zabezpečovacího zařízení se jedná o technologii, která musí splňovat požadavky na elektronické zabezpečovací zařízení umístěné ve venkovním prostředí, splňující požadavky na bezpečnost elektronických systémů s HW i SW řešením na úrovni SIL=4. Technologie samotných objektových kontrolérů musí vyhovovat podmínkám venkovního prostředí, protože bude umístěn ve venkovní skříni na trati.

Objektový kontrolér je vhodné koncipovat jako zařízení, které je univerzální a nezávislé na konkrétních výrobcích. Obecně se pro taková zařízení používá označení COTS (commercial off-the-shelf – „použití jak je“) případně MOTS (modifiable off-the-shelf – „modifikovatelný zákazníkem“). Jedná se tedy o produkty, které jsou nabízeny větším množstvím výrobců jako komerční, masově vyráběné. V současném technologickém rozvoji týkající se zejména automatizace a robotizace průmyslu, známo rovněž jako Průmysl 4.0., se trh s takovými produkty silně rozvíjí a lze předpokládat, že bude zahrnovat také výrobce produktů splňujících drážní požadavky. Komunikační rozhraní mezi OC a IZZ by rovněž mělo být uživatelsky otevřené (vlastník/provozovatel by měl mít k němu plnou dokumentaci). Tím by měla být zajištěna možnost nezávislosti dodavatelů technologie OC. V současné době se takovéto obecné specifikaci věnuje například evropská iniciativa EULYNX¹¹, která



Obr. 4 Příklad objektového kontroléru firmy HIMatrix

¹¹ <https://www.eulynx.eu/>

združuje 13 manažerů infrastruktury za účelem standardizace rozhraní a prvků signalizačních systémů.

4.4. Integrální zabezpečovací zařízení

Integrální zabezpečovací zařízení slouží k realizaci všech logických funkcí nutných k řízení a zabezpečení železničního provozu. Současné technologie předpokládají instalaci klasických zabezpečovacích zařízení, jako jsou PZZ – přejezdová zabezpečovací zařízení, TZZ – traťová zabezpečovací zařízení, SZZ – staniční zabezpečovací zařízení do lokálních objektů (většinou reléové místnosti ve staničních objektech), kde je veškerá technologie soustředěna a napojena kabeláží k vnějším prvkům.

Koncept Železnice 4.0. je založen na distribuované technologii objektových kontrolérů s centralizací logických funkcí do jednoho centra. Pracuje tak s tzv. integrálním zabezpečovacím zařízením, které koncentruje všechny logické funkce. Jedná se tedy o univerzální výpočetní HW, který je vybaven specifickým SW, integrující funkce PZZ, SZZ, TZZ. Musí rovněž integrovat funkce RBC systému ETCS v aplikační úrovni L2, případně L3. Protože IZZ bude využívat technologie ETCS aplikační úrovně L2 nebo L3, umožňující prostřednictvím systému GSM-R přechod k přímému řízení vozidel (na rozdíl od dosavadního způsobu řízení vozidel prostřednictvím návěstidel, který využívá rovněž systém ETCS v aplikační úrovni L1), můžeme v RBC aplikovat pokročilejší přístupy

řízení jízdy vlaků, kdy je vlakům umožněno odjíždět na trať v přímých „následech“ s dynamicky přidělovaným oprávněním k jízdě podle reálných podmínek pohybu vlaků, bez nutnosti vyčkávat na uvolnění celého mezistaničního oddílu nebo dlouhého traťového úseku. Toho lze docílit buď vybavením infrastruktury větším množstvím počítačů náprav¹², a nebo zavedením funkce RBC tzv. „plovoucího bloku“ v rámci ETCS aplikační úrovně L3. Přínos ETCS aplikační úrovně L3 umožní realizovat tuto funkci řízení vlaků s minimem infrastrukturních detekčních prvků, a rovněž efektivněji v rámci tzv. „flexibilního řízení provozu“, bez omezení infrastrukturními technologiemi detekčních prvků. ETCS aplikační úroveň L3 vyžaduje navíc kontrolu integrity vlaku¹³, což může přinést investiční i provozní úsporu na straně infrastruktury, za cenu



Obr. 5. Příklad HW počítače využitelného pro funkci IZZ do firmy HIMatrix

¹² typicky po 200m zejména na zhlaví stanic a před vjezdem do stanic

¹³ Požadavky na kontrolu integrity vlaku, je řešena v TSI Subsetu 026-3v360 v kap. 3.6.5.2 a může být zajištěna technickými prostředky na vlaku (vlak typu ucelená jednotka je nedělitelný, a nebo je vlak vybaven technologií detekce konce vlaku) nebo obsluhujícím zaměstnancem.

navýšení vybavenosti zejména nákladních vlaků¹⁴. Podmínkou však je, aby byl zaveden výhradní provoz s vlaky vybavenými ETCS a kontinuální pokrytí trati systémem GSM-R / FRMCS.

Efektivnější řízení provozu lze rovněž docílit také masivním zavedením systému ATO¹⁵, který umožní dále optimalizovat rychlost vlaků s pozitivním efektem maximálního vytížení infrastruktury, stabilizace provozu a významných energetických úspor. Pro zvýšení kapacity zejména na jednokolejných tratích lze, při využívání výše uvedených technologií a principu řízení provozu, zřizovat cca. 2km dlouhé výhybny s dvěma kolejemi např. v mezistaničním úseku, čímž lze velmi efektivně zajistit tzv. „letmé křižování“ vlaků. Tyto moderní přístupy řízení, podmíněné zavedením technologií ETCS v aplikační úrovni L2 nebo L3 společně s GSM-R / FRMCS, umožňují výrazně zvýšit kapacitu infrastruktury a rychlost vlaků jak na koridorových tratích, tak také na jednokolejných tratích oproti současnému stavu.,

Koncepce IZZ by měla umožňovat snadnou SW konfiguraci systému tak, aby v případě změny konfigurace SW (typicky připojení další řízené oblasti nebo modifikaci stávající) bylo možné změnit pouze příslušnou část konfigurace SW, která bude následně přezkoušena bez ovlivnění zbylé funkční části IZZ. Dle poznatků ze zahraničí, lze IZZ pojímat také jako tzv. „cloudové“ řešení, které může poskytovat velmi vysoký výpočetní i datový prostor a velmi vysokou dostupnost a spolehlivost řešení. Je samozřejmé, že požadavky na tuto část zabezpečovacího zařízení budou rovněž pro HW i SW funkce na úrovni SIL=4, a je bezpodmínečně nutné zajistit rovněž adekvátní ochranu celého počítačového řešení proti kybernetickým útokům.

4.5. Nadřazené operativní a dispečerské řízení dopravy

Nadřazené operativní a dispečerské technologie slouží k řízení provozu na dané trati nebo v oblasti, kde bude nasazena distribuovaná technologie dle konceptu Železnice 4.0. Předpokládá se, že bude využíváno současných přístupů a technologií, které jsou dnes budovány a provozovány v rámci pracovišť Centrálního dispečerského pracoviště. Nicméně s ohledem na předpoklad využití také technologie ETCS aplikační úrovně L2 nebo L3, lze předpokládat, že i tato technologie bude přizpůsobena pro tyto nové možnosti řízení železniční dopravy. Rovněž lze předpokládat, že bude využíváno také nadřazených technologií pro automatizaci jízdy vozidel (systémy ATO), které by měly být zakomponovány do této části systému operativního řízení provozu. Lze tak očekávat rovněž podstatný vývoj v této oblasti.

5. Praktická implementace technologií podle konceptu Železnice 4.0.

Při implementaci distribuovaných technologií s centralizací logických funkcí dle konceptu Železnice 4.0. se při výstavbě musí postupovat nejprve od vybudování páteřní liniové infrastruktury, zahrnující jak optické, tak napájecí kabely. Při budování

¹⁴ Systémy konce vlaků jsou ve světě zavedeny pod názvem „End of Train Device“ (EOD) nebo End of Train (EOT) a je provozován masivně například na systému Canadian Pacific Railway v USA. V EU tento systém není dosud jednotně specifikován.

¹⁵ ATO – Automatic train operation – systém automatického navádění vlaků na optimální jízdní trajektorii. Systém je v současné době připraven ke schválení v rámci nových TSI Subsetů.

této síti by měla být již známa poloha venkovních prvků v kolejišti, kde budou optická i napájecí vedení vyvedena do objektových kontrolérů a místa výstavby BTS radiových sítí. Tato základní infrastruktura proto musí být vystavěna tak robustně a dostatečnou rozvahou, aby jí případné další úpravy svršku nenarušily, a umožnily její bezchybnou funkci i v případě postupné modernizace infrastruktury. V dalším kroku budou budovány lokální objektové kontroléry. Jejich výstavba není příliš náročná, neboť se jedná o průmyslovou technologii, kterou lze umístit do průmyslových rozvaděčů pro venkovní instalaci. Budou budovány rovněž sloupy pro instalaci BTS pro GSM-R a GSM veřejných operátorů.

Velkou výhodou realizace distribuovaných technologií lze spatřovat zejména při řešení problematiky zabezpečení přejezdů, které jsou významným zdrojem nebezpečí i zpomalení provozu na regionálních tratích. Koncept Železnice 4.0. prakticky umožňuje vybavit každý přejezd adekvátní úrovní vnějších prvků, které mohou zajistit zabezpečení přejezdu dle legislativních požadavků. Přínosem tohoto řešení je, kromě zvýšení bezpečnosti, především možnost jízdy vlaků maximální traťovou rychlostí bez omezení vyplývající dnes z nedostatečné úrovně zabezpečení přejezdů, a to na celém traťovém úseku. Přitom investiční i provozní náklady na vybudování takového zabezpečení přejezdu bude lokálně výrazně nižší, protože náklady na většinu funkcí realizovaných doposud lokálně v místě přejezdu (logika přejezdu, napájení a datová komunikace, atd.) jsou již řešeny prostřednictvím liniových komunikačních a napájecích sítí a centralizaci logických funkcí v IZZ.

V neposlední řadě musí být vybudováno také zálohované napájení, které bude přednostně realizováno v objektech, které již mají, nebo umožňují nově zřídit, elektrickou přípojku z veřejné energetické sítě. Objekty ve stanicích toto zpravidla splňují, přičemž by neměl být nutný rozsáhlý zábor vnitřních prostor budov, jak je nutné v případě klasického umístování staničních zabezpečovacích zařízení. Při použití rozvodu o napájecím napětí 400V DC lze v případě nutnosti posilovat vedení i v dalších objektech na tratích, avšak dosavadní výpočty ukazují, že při standardní vzdálenosti stanic do cca. 7km bude postačovat toto traťové napájecí vedení napájet pouze oboustranně ze sousedících staničních objektů. Při dostatečně kvalitní realizaci této sítě lze počítat s velmi vysokou životností minimálně 50 i více let.

Při zapojování objektových kontrolérů na vnější periferie se bude postupovat unifikovaným typovým způsobem, který bude rozpracován pro každý typ vnější periferie. Konečné oživení technologie se realizuje až konfigurací IZZ, kde se přiřadí konkrétní vstupy/výstupy objektových kontrolérů k adresným SW objektům, se kterými dále pracuje SW IZZ. Předpokládá se, že se takto výrazně zjednoduší a zrychlí nejenom projektování těchto technologií, ale rovněž i konečné zapojování a zkoušení celého systému.

Je zřejmé, že s ohledem na rozsah železniční sítě, která musí být v relativně krátké době pokryta systémem ETCS a GSM-R / FRMCS, nelze výstavbu a rozšiřování této technologie spojovat s komplexními modernizačními aktivitami stavební části železnice, která postupuje výrazně pomaleji (z technologických i ekonomických důvodů), než je možné budovat liniovou kabelizaci a výstavbu BTS radiových sítí. Přístup založený na přístupu konceptu Železnice 4.0. naopak umožňuje tímto

postupem výrazně urychlit pokrytí moderní technologií řízení a zabezpečení i těch částí infrastruktury, kde dosud neproběhla těžká střední oprava, či případně komplexní modernizace infrastruktury. Systém s distribuovanými technologiemi má koncepční předpoklady k výrazně adaptivnější a modifikovatelnější schopnosti realizovat změny konfigurace nebo obnovu jednotlivých částí, než je obvyklé v případě statických instalací lokálně centralizovaných. Při změně nebo obměně se totiž realizuje výměna pouze parciální části technologií, přičemž nejnákladnější části, týkající se napájení, datových sítí i centrální logiky zůstávají beze změny, případně projdou změnou parciální konfigurace.

6. Ekonomické parametry konceptu Železnice 4.0.

Náklady na realizaci konceptu Železnice 4.0. byly pro účely projednávání tohoto návrhu v roce 2020 v bezpečnostní komisi MDČR, pracovní skupina infrastruktura, autorem článku zpracovány v podobě odhadu investičních nákladů podle pravidel¹⁶ SFDI. Tento odhad, realizovaný na modelovém příkladu typické regionální trati naznačuje, že náklady na presentovaný komplexní pohled na modernizaci řízení a zabezpečení železnice není výrazně nákladnější, než je v současné době plánováno, a to i v případě aplikace výrazně zjednodušených instalací ETCS L1 LS nebo STOP bez traťového rádia GSM-R. Přitom rozsah technologie, funkcí a využitelnosti železnice je v případě konceptu Železnice 4.0. řešena komplexně na nejvyšší možné úrovni současného poznání s možností pokrýt také budoucí požadavky např. autonomní provoz vlaků bez strojvedoucích. Náklady na zabezpečení tratě se mohou pohybovat rozsahu kolem 5 až 7 mil Kč/km zabezpečení jednokolejné tratě a rámcově tak respektuje předpokládaný objem finančních prostředků definovaných ve vizi MDČR – O130 pro zavádění systému ETCS do roku 2040. Při realizaci této technologie lze navíc předpokládat i nižší provozní náklady. To je dáno jednak použitím vysoce spolehlivých technologií s detailní diagnostikou, a také nižšími provozními náklady se zajištěním spolehlivého a bezpečného napájení a centralizací logických částí systému.

7. Závěr

Presentovaný koncept Železnice 4.0. navrhuje nový alternativní přístup řešení modernizace technologií řízení a zabezpečení na železniční síti ČR, který by měl umožnit komplexní zavedení digitálních technologií na železniční síti v ČR. Koncept Železnice 4.0. je technologickým rozpracováním vize ITS-R, přičemž sleduje nejenom otázku modernizace zabezpečovacích zařízení, zavedení systému ETCS umožňující zvýšení úrovně bezpečnosti železničního provozu v ČR, ale nastavuje také technologické prostředí umožňující zvýšit využitelnost železnice a schopnost vyššího zapojení se do integrovaných dopravních systémů regionů v ČR. Koncept byl projednán na úrovni MDČR a Správou železnic, s.o. v 9/2020. Na základě rozhodnutí Generálního ředitele SŽ Bc. Jiřího Svobody, MBA převzala SŽ nad tímto konceptem Železnice 4.0 oficiální záštitu a bude tento směr dále rozvíjet v rámci společné pracovní

¹⁶ <https://www.sfdi.cz/pravidla-metodiky-a-ceniky/cenove-databaze/> , Sborník pro oceňování železničních staveb ve stupni studie proveditelnosti a záměr projektu

skupiny Železnice 4.0. složené z odborníků SŽ, ČVUT v Praze, Fakulty dopravní a zástupců průmyslu. Pracovní skupina v současné době pracuje na rozpracování tohoto konceptu do úrovně podkladů pro realizační projekt a směřuje k následné realizace pilotního ověření tohoto konceptu na reálné infrastruktuře testovací dráhy Správy železnic.

Lektorovali:

Ing. Radek Dobiáš, Ph.D., Správa železnic

AŽD