

Petr Nachtigall¹, Erik Tischer²

Možnosti zavedení automatického provozu pražského metra B

Klíčová slova: *metro, automatický provoz, CBTC, úroveň automatizace*

Úvod

S postupem příprav na budování nové trasy metra D se také začaly na akademické půdě objevovat myšlenky na technicko-technologické aspekty této nové trasy. Poprvé by mělo být užito bezpilotní soupravy a také provozní koncept či trasování v centru města nebylo ještě zcela uzavřeno. Proto se na Dopravní fakultě Jana Pernera, Univerzity Pardubice zrodila diplomová práce [9], která měla za cíl nasimulovat různé provozní koncepty na této nové trase včetně technických opatření pro provoz bezpilotních souprav a vlivu ETCS L3 na kapacitu trati. Bohužel vzhledem k nedostatku vstupních údajů, nebylo možné tuto diplomovou práci napsat v této podobě. Jako náhradní řešení bylo zvoleno ověření funkčnosti SW Opentrack pro provoz metra a také simulace zabezpečovacího zařízení ETCS L3 na trase C metra. V tomto článku je shrnuta první část výzkumu, která v úvodu definuje a analyzuje různé bezpilotní provozy metra ve světě a dále se pak věnuje aplikaci vybrané technologie na trasu linky metra B. Autoři připravují druhou část článku, která se již bude zabývat především simulací stávajícího provozu a přechodem na ETCS L3 a jeho dopady na špičkový interval a přepravní kapacitu.

1 Automatický provoz metra

Automatický provoz představuje provoz vlaků s vlastním pohonem po vyhrazené vodící dráze bez strojvedoucího nebo zcela bezobslužně. Provoz vlaků bez strojvedoucího³ je takový druh provozu, při kterém jsou ve vlaku přítomní zaměstnanci, kteří nejsou zodpovědní za řízení vlaku ani za sledování trati před vlakem. Provozní personál v těchto případech odpovídá za bezpečný výstup a nástup cestujících, případně za bezpečné vypravení vlaku ze stanice. Dále je možné rozlišit vlaky bez obsluhy⁴, což je takový druh provozu, při kterém není ve vlaku přítomen žádný personál a za všechny funkce zodpovídá technické zařízení [1].

¹ Petr Nachtigall, Ing., Ph.D., 1982, Univerzita Pardubice, doktorské (Univerzita Pardubice, Technologie a management v dopravě a telekomunikacích, Pardubice), technologie železniční a městské dopravy, Katedra technologie a řízení dopravy.

² Erik Tischer, Ing., 1992, Univerzita Pardubice, magisterské (Univerzita Pardubice, Dopravní inženýrství a spoje, Pardubice), doktorand, Univerzita Pardubice.

³ DTO – Driverless Train Operation

⁴ UTO – Unattended Train Operation

1.1 Stupně automatizace

V systémech městských drah se rozlišuje celkem pět stupňů automatizace⁵. Jednotlivé stupně přesně definují, které základní funkce plní (zodpovídá za ně) provozní personál a které systém řízení městské dopravy s vyhrazenou vodící dráhou⁶. Tabulkové vyjádření základních funkcí pro jednotlivé stupně automatizace je uvedeno v tabulce 1. Červeně jsou označeny funkce provozního personálu, zeleně EG-TMS.

Tabulka 1: Stupně automatizace

Základní funkce provozu vlaku		Provoz vlaku podle rozhledu	Neautomatizovaný provoz	Poloautomatizovaný provoz	Provoz vlaku bez strojvedoucího	Provoz vlaku bez obsluhy
		GoA0	GoA1	GoA2	GoA3	GoA4
Zajištění bezpečné jízdy vlaku	Zabezpečení jízdní cesty					
	Zajištění bezpečného rozestupu vlaků					
	Zajištění bezpečné rychlosti					
Řízení vlaku	Zrychlování a brzdění		Provozní personál nebo částečně UGTMS			
Dohled nad vodící dráhou	Zabránění střetu s překážkami					
	Zabránění střetu s osobami v kolejisti					
Dohled nad pohybem cestujících	Otevírání dveří pro cestující					
	Zabránění úrazům osob mezi vozy nebo v nástupním prostoru					
	Zajištění podmínek pro bezpečný rozjezd					
Provozování vlaku	Uvádění vlaku do provozu a odstavování z provozu					
	Dohled nad stavem vlaku					
Zajištění detekce a řešení nouzových situací	Detekce ohně/kouře a detekce vykojení, detekce roztržení vlaku, nouzová signalizace cestujících					UGTMS nebo personál v OCC

Zdroj: [1] s úpravou autorů

Kromě těchto základních funkcí může systém vykonávat i jiné funkce, které jsou však nepovinné a nemají vliv na jeho kategorizaci. Zařazení jednotlivých nepovinných funkcí je plně v kompetenci provozovatele dráhy a dopravce [2]. Zároveň norma IEC 62290 definuje čtyři základní stupně automatizace GoA1 až GoA4. V českých technických normách jsou tyto normy uvedeny jako ČSN EN 62267 (Drážní zařízení – automatizovaná městská doprava s vyhrazenou vodící dráhou – Bezpečnostní požadavky), ČSN EN 62290 – 1 (Drážní zařízení - Systémy řízení městské dopravy s vyhrazenou vodící dráhou - Část 1: Systémové principy a základní pojmy) a ČSN EN 62290 – 2 (Drážní zařízení - Systémy řízení městské dopravy s vyhrazenou vodící dráhou a příkazové/kontrolní systémy - Část 2: Specifikace funkčních požadavků). Systémy se stupněm automatizace GoA0 – GoA2 se z hlediska členění v této práci považují za konvenční systémy provozu a stupně GoA3 – GoA4 se považují za automatické systémy provozu. Z hlediska vybavení tratě není nutné, aby všechny její části byly vybaveny zařízením, které mají shodný stupeň automatizace. Rozsah zabezpečení však musí být vždy na nejvyšším možném stupni z pohledu vzájemného vybavení tratí a vozidel. Jednotlivé stupně automatizace musí být tedy vzájemně zcela kompatibilní [2].

⁵ GoA – Grade of Automation

⁶ UGTMS – Urban Guided Transport Management and Control System

Provoz vlaku podle rozhledu (GoA0) – při řízení vlaku podle rozhledu má strojvedoucí plnou odpovědnost za bezpečnou jízdu vlaku. Strojvedoucí není kontrolován žádným technickým zařízením. Za bezpečnost a plynulost provozování dráhy a drážní dopravy odpovídá provozní personál. U tohoto stupně automatizace provozu může být zřízeno vlakové, staniční a traťové zabezpečovací zařízení, ale není to podmínkou [2].

Neautomatizovaný provoz vlaku (GoA1) – při neautomatizovaném provozu vlaku je strojvedoucí v přední části vozidla a sleduje trať před vlakem. Zrychlování a brzdění vlaku provádí strojvedoucí, který řídí vlak podle návěstí viditelných návěstidel, případně podle návěstí předávaných na stanoviště strojvedoucího. Strojvedoucí vede vlak pod dohledem vlakového zabezpečovače. Tento vlakový zabezpečovač může být bodový, liniový nebo semiliniový a provádí dohled v rozsahu své specifikace. Jedná se o dohled v oblasti kontroly bdělosti, kontroly rychlosti vlaku a kontroly dodržování návěstí. Za bezpečný odjezd vlaku ze stanice v tomto případě odpovídá v plném rozsahu provozní personál a to včetně zavírání dveří vlaku [2].

Poloautomatizovaný provoz vlaku (GoA2) – při poloautomatizovaném provozu vykonává strojvedoucí pouze dohled nad bezpečnou jízdu vlaku. Strojvedoucí sleduje trať před sebou a může vlak zastavit v případě hrozícího nebezpečí. Zrychlování a brzdění je prováděno automatizovaně, stejně jako dohled nad povolenou rychlostí vlaku. Za bezpečný odjezd vlaku ze stanice je odpovědný provozní personál. Za bezpečné zavírání dveří může být odpovědný provozní personál nebo probíhá automatizovaně [2].

Provoz vlaku bez strojvedoucího – GoA3 – u tohoto stupně automatizace není v přední části vlaku přítomen žádný zaměstnanec, který by pohledem kontroloval trať a v případě nebezpečí vlak zastavil. Bezpečná jízda vlaku je zcela závislá na bezchybné funkci zabezpečovacího zařízení, které hlídá volnost a bezpečnost tratě. Ve vlaku však musí být přítomen provozní personál, který provádí kontrolu vlaku. V závislosti na volitelných funkcích v tomto stupni automatizace může odpovídat za bezpečný odjezd vlaku, za zavření dveří, za kontrolu stavu vlaku a bezpečnost cestujících. Tento zaměstnanec je však zejména odpovědný za řešení nouzových situací při mimořádnostech a případných poruchách systému [2].

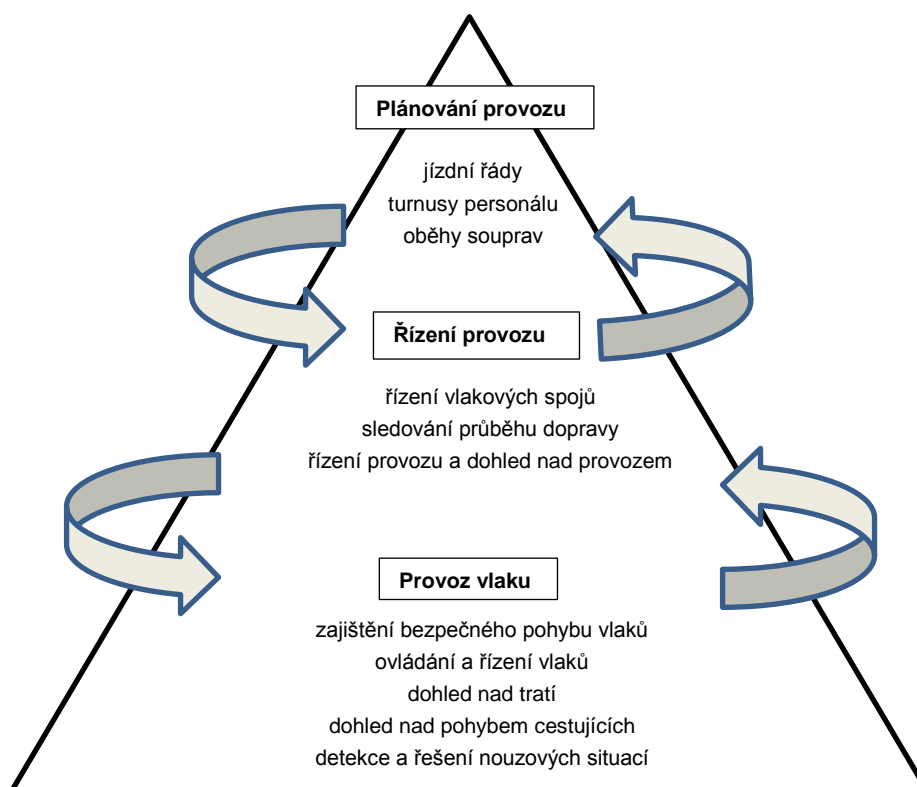
Bezobslužný provoz vlaku (GoA4) – u tohoto stupně automatizace jsou na rozdíl od stupně GoA3 vyžadována další opatření, protože ve vlaku není přítomen žádný provozní personál. Celý systém musí být proto vybaven bezpečnou detekcí pro ohlášení nebezpečných podmínek a nouzových situací. Při vzniku nebezpečné situace, která vyžaduje zásah provozního personálu, musí být tento personál automaticky informován a následně učinit opatření k nápravě tohoto stavu [2].

1.2 Organizace provozu metra

Pro provoz městské dopravy s vyhrazenou vodící dráhou, tedy i metra obecně platí základní hierarchie. Tato hierarchie určuje jednotlivé stupně organizace provozu a je znázorněna na obrázku 1. Na jednotlivé části systému jsou specifikovány volitelné a povinné systémové požadavky, které se liší podle stupně automatizace.

Řízení provozu na všech stupních automatizace je prováděno ze střediska pro řízení provozu⁷.

Pro automatizovaný provoz je nezbytné mít přesně definované oblast spadající do řízení UGTMS. Na hranicích této oblasti nebo přímo v oblasti musí mít zařízení možnost kontroly vlakového zařízení, tak aby před začátkem provozu vlaku byla dostupná informace o bezchybném fungování vlakové části zařízení. Toto testování musí být realizováno tak, aby nebylo nutné zastavení vlaku při vjezdu nebo výjezdu z oblasti. V oblast řízené UGTMS už musí být dostupné všechny funkce v závislosti na daném stupni automatizace. Jízdy vlaků nevybavených vlakovou částí zařízení jsou provozovány náhradním způsobem a řídí se vnitřními předpisy provozovatele dráhy [3].



Obrázek 1: Schéma organizace provozu metra (Zdroj: [3] s úpravou autorů)

Pro systémy UGTMS je přípustné automatické i manuální stavění jízdnicích cest. Jízdni cesty se staví s ohledem na trasování vlaků nebo provozní potřeby. Aby byla zajištěna bezpečná jízdni cesta, musí být povolení k pohybu vlaku vydáno až po postavení jízdni cesty a provedení závěru jízdni cesty. K rušení závěru jízdni cesty dochází samočinně nebo ručně po zjištění, že celý vlak opustil rozhodné prvky postavené jízdni cesty [3].

Dalším důležitým prvkem bezpečnosti je zajištění bezpečného pohybu vlaků jsou návrhové a provozní hodnoty intervalů, které určuje provozovatel dráhy. Návrhový interval je ovlivněn směrovým a výškovým uspořádáním stanic a tratí, dobou pobytu,

⁷ OCC – Operations Control Centre

trakční charakteristikou vlaků, uspořádáním obrátových stanic a reakční dobou strojvedoucího (u stupňů automatizace GoA0 – GoA2). Systém UGTMS potom zajišťuje bezpečný pohyb vlaků v síti ve stanoveném intervalu. Bezpečné rozestupy vlaků mohou být zajištěny pevnými nebo pohyblivými prostorovými oddíly. Pro každý následný vlak je na základě pozice konce předcházejícího vlaku stanovena absolutní hranice povolení k pohybu [3].

Zařízení na všech stupních automatizace kontrolují dodržení bezpečné rychlosti. Hranice bezpečné rychlosti se stanovují pomocí statického a dynamického rychlostního profilu. Statický rychlostní profil tvoří maximální rychlost a hranice povolení k pohybu. Dynamický rychlostní profil je vypočten na základě statického rychlostního profilu a modelu bezpečného brzdění. Model bezpečného brzdění musí zohledňovat veličiny, jako jsou nepřesnost zjištění polohy, délka vlaku, odchylku měření rychlosti, reakční dobu, dobu reakce nouzové brzdy. Vlak pohybující se v řízené oblasti nesmí překročit stanovený dynamický rychlostní profil, čímž je zabezpečeno, že vlak nepřekročí stanovenou hranici povolení k pohybu [3].

V oblasti řízené UGTMS lze provozovat i vlak, který není vybaven, popřípadě má nefunkční vlakovou část systému. V omezeném režimu však UGTMS musí zajistit bezpečnost provozu při co nejmenší závislosti na lidském činiteli a dodržování dopravních předpisů [3].

1.3 Funkce pro provoz vlaku

V této kapitole jsou popsány základní funkce, které se vztahují k provozu vlaku a jeho bezpečnému pohybu po síti provozované v automatickém režimu. Jednotlivé prvky jsou základními bezpečnostními kameny systému.

Zajištění bezpečné jízdy vlaku – základním předpokladem pro bezpečný pohyb vlaku je postavení a zabezpečení požadované jízdní cesty. Musí být proveden její závěr a následně vydáno povolení k pohybu vlaku. Důležitým specifikem, z hlediska provozování vlaku je především nutnost automatického zjištění polohy vlaku při jeho vstupu do oblasti nebo při jeho aktivaci na provozované síti. Dále musí být známa orientace vlaku, poloha čela a konce vlaku. Pokud nejsou tyto informace k dispozici z důvodu poruchy systému, musí dojít k zastavení provozu na dotčeném úseku nouzovým zabrzděním ohrožených vlaků. Systém v těchto případech automaticky vytváří ochranný úsek, do kterého nesmí být vpuštěn žádný vlak. Vlak může být lokalizován i pomocí záložního systému (pokud je zřízen), v tomto případě se jízda organizuje v pevných prostorových oddílech, kdy pro zajištění volnosti oddílu musí být splněna úplná bloková podmínka. Pokud není dostupná žádná funkce UGTMS, ani nelze jiným technickým zařízením zajistit volnost a správné postavení jízdní cesty, musí být provoz organizován dle dopravních předpisů provozovatele dráhy. Systém musí být dále schopen rozpoznat nedovolenou jízdu vlaku (např. ujetí vlaku). V případě jakékoliv takové události musí být systémem neprodleně spuštěna nouzová brzda dotčeného vlaku [3].

Řízení vlaku – automatické vlaky jsou řízeny pomocí jízdního rychlostního profilu. Tento profil je vytvořen s ohledem na kulturu cestování a energetickou zátěž, vždy však platí, že musí být přizpůsoben dynamickému rychlostnímu profilu. Jízdní rychlostní profil dále vychází z dat o infrastruktuře, o parametrech vozidel a kritických

provozních parametrech. Kritické provozní parametry se vztahují k pobytu vlaku ve stanicích a na manipulačních kolejích. Jízdní profil se musí automaticky měnit při změně vstupních parametrů výpočtu [3]. Pro každý vlak musí být vytvořena trasa vlaku, která obsahuje i všechny údaje o zastavení. Tato trasa se však může operativně měnit a jízdní profil se tomu musí přizpůsobit. Vlak musí zastavit ve všech určených stanicích a musí být zřízena možnost jeho zadržení ve stanici na základě pokynu personálu OCC [3].

Dohled nad vodící dráhou – zařízení na trati nebo na vozidlech musí zajistit, aby nemohlo dojít ke střetu vlaku s překážkami, tj. s předměty nebo s osobami v průjezdném průřezu. Pokud zařízení zaznamená překážku v průjezdném průřezu, musí být v okolí této překážky vytvořen ochranný úsek. Dále je tuto informaci nutné zobrazit v OCC. Takový ochranný úsek lze zrušit pouze bezpečným povelům personálu po zjištění, že trať je volná. Zároveň, pokud vlakové zařízení zjistí výskyt překážky, musí být vlak automaticky zastaven a může být uveden do pohybu až po bezpečném pokynu obsluhy z OCC [3]. Jestliže je systém vybaven prvky s žádostí o nouzové zastavení vlaku cestujícími nebo provozním personálem musí být stanice vybaveny zařízením pro aktivaci nouzového zastavení. Kromě zastavení vlaku rovněž dojde k vytvoření ochranného úseku do doby jeho bezpečného zrušení personálem OCC [1]. Dohled nad nástupištními kolejemi může být proveden pomocí čidel, která detekují překážku v kolejišti. Ve většině případů se však u systému AUGT používají nástupištní stěny. V takovém případě musí být pro bezpečný vjezd vlaku do stanice kontrolováno uzavření a zajištění těchto dveří. Pokud dojde k narušení systému a neautorizovanému otevření dveří (včetně dveří, které nejsou určeny pro cestující) musí dojít k zastavení vlaku vjíždějícího do oblasti a k vytvoření ochranného úseku, který může být zrušen pouze bezpečným povelům z OCC [3]. Pokud probíhá údržba infrastruktury, popřípadě jiné práce v provozované koleji, musí systém umožňovat vytvoření tzv. bezpečného pracovního úseku. Tento pracovní úsek se do systému vkládá manuálně prostřednictvím pracovníka OCC, který je také oprávněn, po uvolnění kolejiště, tento pracovní úsek zrušit. Vjezd vlaků do pracovního úseku může být povolen pouze bezpečným povelům z OCC a to pro každý případ zvlášť [3].

Dohled nad pohybem cestujících – požadavek na dohled nad pohybem cestujících musí být splněn minimálně při nástupu a výstupu cestujících, kde zároveň hrozí největší riziko ohrožení bezpečnosti. Pro bezpečný výstup a nástup cestujících je nutné splnění bezpečnostních podmínek. Základní podmínkou je zjištění bezpečného zastavení a zajištění vlaku proti pohybu na určeném místě. Dále musí být otevřeny dveře pouze na správné straně vlaku. Pokud je systém vybaven nástupištními dveřmi, musí být zaručeno, že se tyto dveře otevrou až po bezpečném zastavení a zajištění vlaku. Jestliže je délka vlaku menší než délka nástupiště, musí být otevřeny pouze ty dveře, které umožňují nástup do vozidla. K zavírání dveří dochází podle stanového jízdního řádu nebo podle minimální stanovené délky pobytu ve stanici. Pokud nastane čas odjezdu, systém vydá požadavek na zavření dveří. Toto zavírání dveří může být volitelně doplněno akustickou nebo optickou signalizací. Zavírání dveří vlaku a nástupištních dveří, musí být synchronizováno tak, aby byl všem cestujícím umožněn bezpečný nástup a výstup z vozidla. Pokud je zabezpečení realizováno pomocí detekčních prvků, nesmí být indikováno vniknutí osoby do bezpečného pásma [3].

Pokud jsou dveře uzavřeny a není žádný požadavek, který by nedovolil odjezd vlaku, může vlak ze stanice odjet v čase daném jízdním řádem. U stupně automatizace GoA3 může povel k odjezdu vydat přímo provozní pracovník, u stupně GoA4 je pokyn odjezdu vlaku vydáván automaticky [1].

1.4 Funkce pro řízení a dohled nad provozem

Další důležitou součástí automatizovaného provozu jsou funkce systému nezbytné pro bezpečné a plynulé provozování dráhy a drážní dopravy v automatickém režimu. Pro řízení provozu je nezbytné zajistit komplexní přehled personálu v OCC nad všemi rozhodnými funkcemi systému.

Řízení vlakových spojů – systémy UGTMS, v závislosti na stupni automatizace, požadují funkce pro řízení jednotlivých vlakových spojů tak, aby byla splněna uvažovaná přepravní poptávka. Systém musí být vytvořen tak, aby minimalizoval odchylky od běžného provozu, a to i v případě provozních mimořádností. Pro stupně GoA3 a GoA4 je nutná implementace funkce systémového vytváření tras vlaků v souladu s jízdním řádem a správné přiřazení trasy konkrétnímu spoji v závislosti na jeho dispozicích. Konkrétní přiřazení spoje k trase může být provedeno pomocí ručního zadání z OCC nebo automaticky. Každý vlak s přiřazenou trasou musí mít jedinečné identifikační číslo. Systém musí umožňovat ruční úpravu všech parametrů trasy v případě nutnosti [3]. Každá trasa se skládá z množiny jízdních cest. Tyto jízdní cesty jsou pro automatický provoz stavěny zcela automaticky. Obsluha v OCC však musí mít vždy možnost postavit jízdní cestu ručně. Jízdní cesta musí být postavena v dostatečném časovém předstihu, aby nedošlo k narušení trasy vlaku a případným zpožděním. Postavení jízdní cesty je systémem vyvoláno na základě údajů, jež jsou obsaženy v trase vlaku. Systém musí vnitřní logikou bránit postavení takové cesty, při které by došlo k vzájemnému blokování vlaků. V případě nedostupnosti vybrané jízdní cesty musí být jízda vlaku řešena jeho odklonem [3].

Dohled nad provozováním drážní dopravy – systém musí umožňovat nepřetržitý dohled nad všemi vlaky v provozované oblasti a musí být schopen předávat informace obsluhujícímu personálu. Základní informací jsou informace o poloze komunikujících vlaků. Při použití náhradního systému řízení pomocí traťových oddílů musí systém informovat o jejich obsazení nekomunikujícím vlakem. UGTMS musí vést automatickou dopravní dokumentaci o průběhu řízení drážní dopravy. Všechna vlaková a traťová zabezpečovací zařízení, jejichž funkce má vliv na bezpečnost a plynulost provozování drážní dopravy musí být pod dohledem systému a musí být detekován jejich okamžitý stav. Informace o poruchách a mimořádnostech musí být přednostně předána k HMI provozu. Při předávání informací musí být jednoznačně stanovena důležitost informace tak, aby byla přednostně zobrazena informace s vyšší závažností [3].

Funkce pro rozhraní HMI – systém musí zajišťovat bezpečnou komunikaci mezi provozem v řízené oblasti a OCC. Personál v OCC musí mít přehled nad stavem všech prvků zapojených do systému UGTMS, které přímo souvisí z bezpečností a plynulostí provozu. Z tohoto přehledu mohou být vynechány pouze funkce související s údržbou systému, jejichž činnost je kontrolována na místní úrovni. Systém musí být schopen bezpečně zpracovat a předat všechny povely vydané řídicím personálem z OCC [3].

Informační systémy pro cestující a dohled nad cestujícími – systém UGTMS může být vybaven hlasovým nebo audiovizuálním informačním systémem. Z hlediska bezpečnosti cestujících musí být zařízení schopné zprostředkovat hlasový hovor mezi cestujícím a personálem OCC, pomocí nouzových komunikačních zařízení (ve vlaku, na nástupišti). Pokud je UGTMS propojeno s vnějším systémem monitorování cestujících musí být tento systém vybaven tak, aby v případě detekce nebezpečné situace zobrazil v OCC záběr z kamer umístěných v dotčeném místě [3].

2 Možnosti zavedení automatického provozu na trase metra B

Zavedení automatického provozu na již provozované trase je komplikovaný problém. Jedná se o strategické rozhodnutí, které vyžaduje komplexní změnu organizace řízení provozu. Musí být zpracována podrobná rozhodovací analýza, kde budou zhodnoceny všechny výhody a nevýhody modernizace zabezpečovacího zařízení (dále jen ZZ). Dále musí být zpracována analýza rizik, kde budou zhodnocena všechna rizika vyplývající ze změny stupně automatizace a z toho plynoucího přechodu části odpovědnosti z provozního personálu na technické zařízení.

Trasa B je v současné době vybavena kolejovými obvody a vlakovým ZZ ARS, které nepřetržitě kontroluje rychlost vlaku. Linka B je tedy vybavena zařízením, které splňuje kritéria pro stupeň automatizace GoA1. Přechod na automatizovaný provoz by znamenal rozsáhlou úpravu staničního, traťového i vlakového ZZ. Zároveň by musela být provedena úprava dispečerského pracoviště tak, aby z něj bylo možné kontrolovat všechny požadované funkce pro automatizovaný provoz.

Výhody a nevýhody přechodu na automatický provoz – přechod na automatizovaný provoz vlaků na trase B by si vyžádal mnoho změn oproti současnému konceptu provozu. Nicméně se to jeví, jako zajímavá alternativa při přechodu na zcela nový systém. Je možné zvolit kombinaci, která je v článku označena jako GoA2+. Zde je předpoklad provozu současných souprav se strojvedoucími pod dohledem ATO a navíc se zde nabízí využít technologii CBTC v kombinaci s dílčími částmi ETCS, které je v ČR technicky dostupné. Tento mezikrok kombinuje výhody moderních ZZ (moving block ETCS L3) a současné technologie (strojvedoucí vs. Bezpečnostní stěny ve stanicích). Použití ETCS by dovoľovalo zkrátit provozní intervaly a zejména pak minimální interval. To má přímý dopad na kapacitu celého systému metra, který se již dnes pohybuje na hranici své provozní kapacity. Tato úprava však neřeší další návazné části systému metra jako kapacita nástupišť, eskalátorů, označovačů, atd. Toto by bylo nutné řešit separátně, nicméně v přímé souvislosti s úpravami provozu metra. I zde může napomoci simulace v podobě teorie hromadné obsluhy. V tabulce 2 je shrnuta varianta výhod a nevýhod využití tohoto mezistupně GoA2+. Tento systém předpokládá stávající infrastrukturu v kombinaci s dohledem nad soupravami pomocí ETCS L3, tedy pohyblivých oddílů. Ověření parametrů, které se týkají možnosti navýšení přepravní kapacity a minimalizace provozních intervalů jsou otázkou simulace. Tato byla také provedena, nicméně není součástí tohoto článku.

Tabulka 2: Přechod na GoA2+

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none">• Zvýšení bezpečnosti provozu vyloučením nebo omezením rizika pochybení lidského činitele,• zvýšení flexibility systému,• zvýšení cestovního komfortu,• možnost navýšení přepravní kapacity.	<ul style="list-style-type: none">• Investiční náklady,• nutnost změn v provozních předpisech provozovatele dráhy.

Zdroj: autoři

V tabulce 3 je provedeno srovnání výhod a nevýhod přechodu na plně automatizovaný provoz v GoA4.

Tabulka 4: Přechod na GoA4

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none">• Zvýšení přesnosti spojů,• zvýšení bezpečnosti provozu vyloučením nebo omezením rizika pochybení lidského činitele,• zvýšení flexibility systému,• zvýšení cestovního komfortu,• možnost navýšení přepravní kapacity,• minimalizace provozních intervalů,• snížení spotřeby trakční energie,• úspora provozního personálu.	<ul style="list-style-type: none">• Investiční náklady trať,• Investiční náklady stanic,• nutnost modernizace technického zařízení tratě i vlaků,• komplikované zajištění normálního provozu v přechodové fázi,• nutnost úpravy právních norem (zákon o dráhách),• nutnost změn v provozních předpisech provozovatele dráhy.

Zdroj: autoři

Požadavky pro přechod na automatizovaný provoz – základním předpokladem pro přechod na automatizovaný provoz je spolehlivé nahrazení úlohy strojvedoucího, případně dalších provozních zaměstnanců, technickým zařízením. Na stupni automatizace GoA1 se technické zařízení omezuje na ZZ, které kontroluje bezpečnost a volnost vodící dráhy, na zjištění bezpečné rychlosti a bezpečného rozestupu vlaků. Za bezpečnost vedení vlaku, provoz vlaku, sledování pohybu cestujících a řešení nouzových situací je však odpovědný provozní personál. Při

změně stupně automatizace na GoA4 dochází k přechodu těchto funkcí na technické zařízení. Pro funkci stavění jízdních cest a sekundární detekci volnosti a neporušenosti koleje lze využít i stávající technické zařízení, které je však zcela nutné zapojit do systému UGTMS. Další funkce pro zajištění automatického provozu je však nutné řešit zcela novým technickým zařízením. Technické zařízení musí obsahovat funkce pro řízení vlaku, jeho bezpečné zrychlování a brzdění a také funkce pro sledování volnosti a sjízdnosti jízdní dráhy. Významným prvkem vzhledem k bezpečnosti cestujících jsou funkce, které zajišťují jejich bezpečný pohyb. Jsou to funkce, které zajišťují bezpečné otevírání a zavírání dveří a zařízení, detekci pádu cestujících do prostoru mezi vozy a nástupiště a funkce, které dovolí odjezd vlaku ze stanice, až když je bezpečně ukončen výstup a nástup cestujících. Z hlediska provozování vlaku je nutné zajistit jeho automatické uvádění do provozu a odstavení z provozu a neustálá kontrola stavu vlaku a všech jeho funkčních technických celků nezbytných pro bezpečnost a plynulost provozu. Pro celkovou bezpečnost provozu jsou nutné funkce, které zajišťují bezpečné zjištění jakékoliv nebezpečné situace. Podle povahy situace musí systém umožňovat buď její vyřešení na dálku z OCC nebo alespoň předání informace o nutnosti zásahu provozního personálu. Podrobný přehled funkcí pro automatický provoz je uveden v kapitole 1.3.

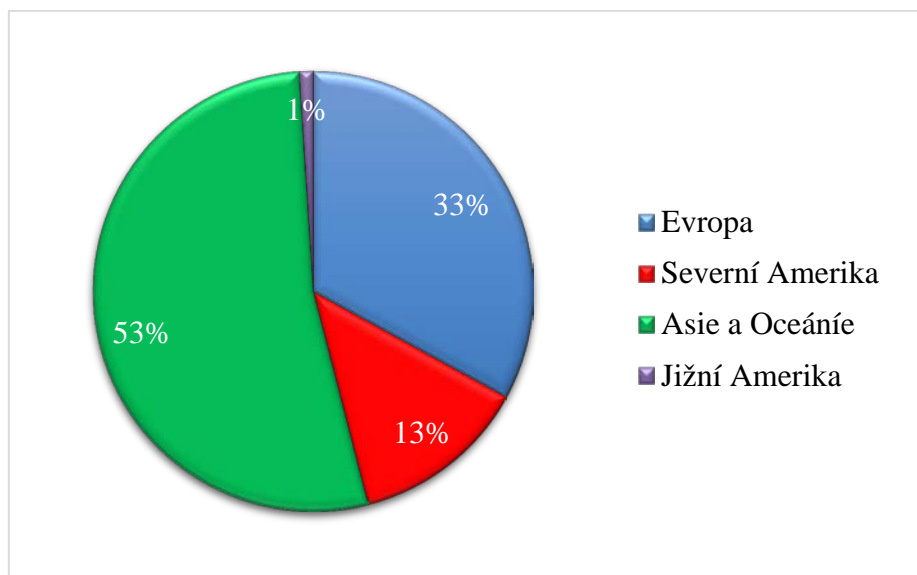
Popis přechodového procesu při zavádění automatického provozu – trasa B je jednou z páteřních linek městské hromadné dopravy v Praze. Z toho vyplývá, že její vyloučení z provozu po dobu přechodu na automatický provoz by přineslo řadu komplikací pro celý dopravní systém. Existují tři základní možnosti řešení přechodového stavu při modernizaci stávající tratě [1]:

- 1) Kompletní uzavření stávající tratě a její znovuotevření až po dokončení přestavby.
- 2) Pokračování provozu s cestujícími se stávajícím zařízením během prací na novém zařízení. Testovací jízdy by byly vykonávány mimo provozní dobu nebo v oblastech s vyloučeným provozem pro přepravu cestujících.
- 3) Pokračování provozu s cestujícími se stávajícím zařízením během prací na novém zařízení. Testovací jízdy by byly vykonávány za provozu tak, aby byl co nejméně omezen rozsah provozu (např. ve vlakových přestávkách).

Harmonogram prací a podmínky pro přechodový proces musí být odsouhlaseny dodavatelem zařízení, provozovatelem dráhy a orgánem pro otázky bezpečnosti (Dražním úřadem). Musí být bezpodmínečně zajištěno, aby zkušební jízdy vlaků provozovaných v automatickém režimu bez konečného schválení neohrozily probíhající provoz s cestujícími. Z těchto důvodů musí být provedena analýza rizik zahrnující všechny uvažované nebezpečné situace, které mohou nastat v rámci přechodového procesu. Práce provozního personálu musí být rovněž specifikována pro každý krok přestavby. Zároveň mohou být provoznímu personálu svěřeny dočasná bezpečnostní opatření, která budou platná pouze pro vybrané fáze přechodového procesu.

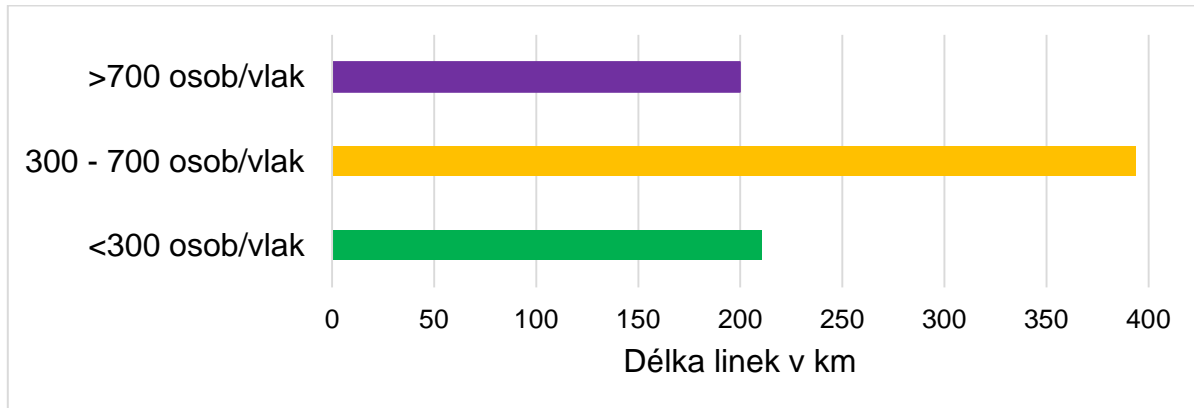
3 Automatické provozy metra ve světě

Automatizace městských rychlodrah je jednoznačně celosvětovým trendem. Vzhledem k tomuto faktu je tato kapitola věnována trendu automatizace metra ve světě, včetně konkrétních příkladů jejího použití. V kapitole jsou popsány jednotlivé provozy automatického metra s důrazem na základní parametry trati, zabezpečovací zařízení (ZZ) a provozované soupravy. V červnu roku 2016 bylo ve světě v provozu celkem 55 linek automatického metra ve 37 městech. Vlastní síť metra má celkem 157 měst, z čehož vyplývá, že alespoň jednu linku automatického metra můžeme najít ve 23 % měst provozujících metro. Celková délka tratí automatického metra je 803 km, což znamená nárůst o 14,2 % oproti roku 2014. Podle projektů má být do roku 2025 v provozu 2300 km tratí automatického metra. Největší podíl linek s automatickým provozem můžeme najít v Severní Americe, v Evropě a jihovýchodní Asii, jak je vidět na obrázku 2 [4].



Obrázek 2: Podíl délky tratí automatického metra ve světě (Zdroj: [4] s úpravou autorů)

Mezi země s největším podílem automatických linek metra patří Francie, Jižní Korea, Singapur a Spojené arabské emiráty. Města s největší délkou automatizovaných linek metra jsou: Singapur (93 km), Dubaj (80 km) a Vancouver (63 km) [4]. Automatický provoz byl nejdříve prověřen na tratích metra s kapacitou jednoho vlaku menší než 300 osob. První automatické metro bylo otevřeno ve francouzském Lille v roce 1983 [5]. Postupně se začal tento systém uplatňovat i v systémech metra se střední kapacitou souprav (300 – 700 osob) a v systémech s velkou kapacitou souprav (vyšší než 700 osob). Zastoupení linek metra podle kapacity souprav je znázorněno na obrázku 3.

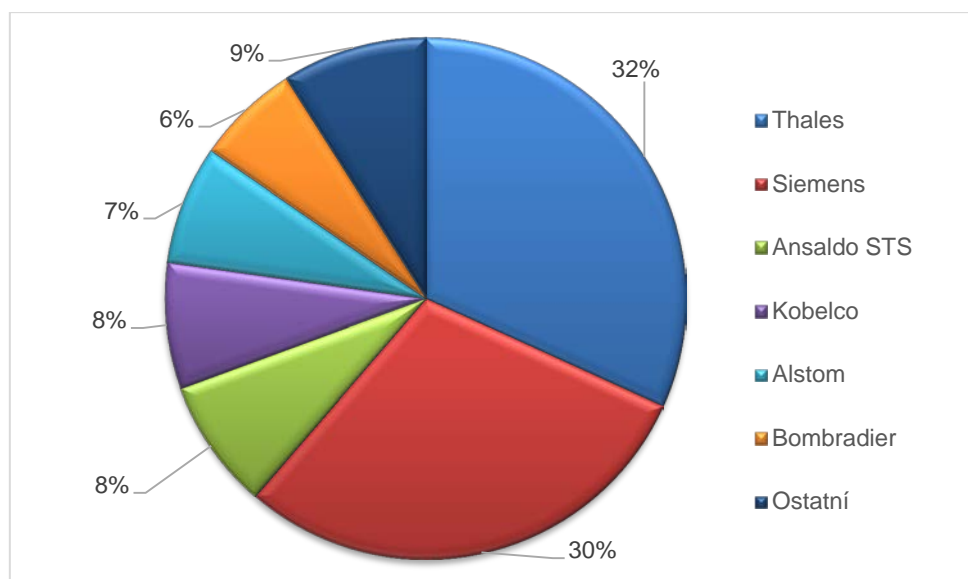


Obrázek 3: Délky linek podle kapacity souprav (Zdroj: [4] s úpravou autorů)

Po více než třicet letech od zahájení provozu první linky automatického metra dochází v poslední dekádě k výraznému nárůstu podílu automatických linek metra ve světě. K nejmasivnějšímu rozvoji této technologie dochází zejména v Evropě a střední a jihovýchodní Asii. Největší množství projektů automatického metra se v současné době plánuje v Číně. V této kapitole jsou dále popsány vybrané evropské linky automatického metra, o kterých existuje dostatek relevantních informačních zdrojů pro jejich podrobné popsání. Důraz je kladen především na provozní ukazatele, použitá vozidla a typ ZZ.

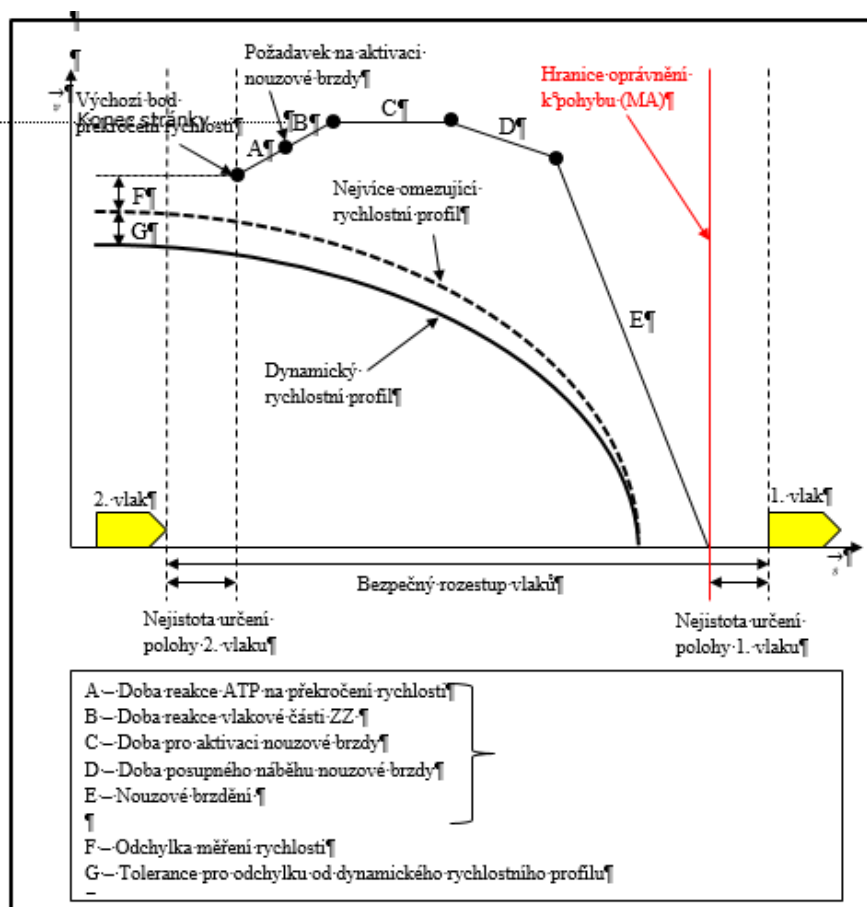
4 Zabezpečovací zařízení pro automatické metro

Nejpoužívanějším zařízením pro automatický provoz metra je v současnosti ZZ typu CBTC, kterým je zabezpečeno přibližně 68 % z celkové délky linek automatického metra ve světě. Největším dodavatelem CBTC je firma Thales, kterou těsně následuje firma Siemens [4]. Podíl jednotlivých výrobců CBTC podle délky linek, pro které bylo ZZ dodáno je znázorněno v grafu na obrázku 4.



Obrázek 4: Podíl výrobců CBTC podle délky linek (Zdroj: [4])

Zařízení CBTC bylo vyvinuto především pro vysokokapacitní kolejovou dopravu. Toto zařízení je velmi vhodné pro segregované tratě, po kterých jezdí vlaky se stejnými nebo velmi podobnými parametry a pro tratě, kde je nízké riziko ohrožení dopravy vnějšími vlivy (např. povětrnostními podmínkami, nedovoleným pohybem osob, atd.). Z výše uvedeného je patrné, že mezi vhodné tratě pro implementaci CBTC patří tratě metra, popřípadě tratě jiných segregovaných městských a příměstských drah. Systém CBTC se odlišuje od konvenčních zabezpečovacích systémů především možností provozu vlaků v pohyblivých prostorových oddílech. Konvenční zabezpečovací systémy používají pro řízení dopravy návěstní systém s traťovými nebo vozidlovými návěstidly a pro detekci polohy vlaku kolejové obvody nebo počítače náprav. Z tohoto důvodu u nich není možný provoz v pohyblivých prostorových oddílech, ale pouze v pevných prostorových oddílech vymezených návěstidly nebo jednotlivými kolejovými úseky. Systém CBTC tento problém řeší přímou komunikací mezi vlakovou a traťovou částí zabezpečovacího zařízení. Palubní část CBTC dokáže s vysokou přesností určit přesnou polohu vlaku na trati a zároveň poskytnout podrobná data o stavu vlaku. Systémy CBTC proto mohou umožňovat provoz v pohyblivých prostorových oddílech, čímž snižují vzdálenost mezi následnými vlaky na trati. Vzdálenost mezi následnými vlaky se u těchto systémů určuje podle polohy konce předcházejícího vlaku, zábrzdne vzdálenosti následujícího vlaku a bezpečnostní rezervy. Pro takto vypočtenou vzdálenost systém udělí tzv. oprávnění k jízdě (*movement authority*) [6]. Obecné schéma pro určování vzdálenosti mezi následnými vlaky je uvedeno na obrázku 5.



Obrázek 5: Schéma určení bezpečného rozestupu vlaků (Zdroj: [7] s úpravou autorů)

Kontrolní systém CBTC má vždy přesnou informaci o poloze a rychlosti vlaku. Na základě těchto informací palubní část zabezpečovacího zařízení vypočte dynamický rychlostní profil s cílem zajistit bezpečný rozestup vlaků. Část zabezpečovacího zařízení, která je zodpovědná za výpočet této křivky a za to, že vlak vypočtenou rychlostní křivku nepřekročí, se nazývá vlakový zabezpečovač – automatic train protection (ATP) [6]. Z hlediska architektury systému jsou systémy CBTC rozděleny na dvě hlavní části: mobilní část umístěnou přímo na vlaku a traťovou část umístěnou na trati a ve stanicích. Systém CBTC musí kontrolovat stav vlaku tak, jako by ho kontroloval a řídil strojvedoucí a navíc kontroluje integritu vlaku a udává svojí přesnou polohu na trati. O tuto činnost se stará subsystém vlakového zabezpečovače (ATP) spolu se systémem automatického provozu vlaku – automatic train operation (ATO) a subsystém automatického dohledu nad vlaky – automatic train supervision (ATS). Subsystém ATS kontroluje všechny vlaky v síti, kontroluje dodržování rychlostních omezení, jízdnicích řádů a funkci informačních systémů. Systém CBTC může kontrolovat i funkce dalších přidružených systémů jako funkci kolejových obvodů, trakčních zařízení a dalších částí infrastruktury [6]. Systém CBTC může fungovat se dvěma základními systémy vzájemného přenosu dat mezi vlakovou a traťovou částí zabezpečovacího zařízení. První možností je instalace rádiové sítě nebo indukčních smyček po celé délce trati. Ekonomičtější variantou je umísťování komunikačních prvků v izolovaných bodech okolo trati, které neustále sledují provoz vlaků [7]. Dalším prvkem, který přináší CBTC je komunikace jednotlivých vlaků mezi sebou, tedy bezpečný rozestup je optimalizován také pomocí provozních informací, které si jednotlivé vlaky vyměňují mezi sebou. Je to princip navádění soupravy do bezkonfliktní trasy, podobně jako je tomu u GTN. Informace o zpoždění vlaku a jeho aktuální rychlosti a velikosti oprávnění k jízdě je předávána také na následující vlak, který tak může optimalizovat svou rychlost. Tento efekt je ještě zesílen použitím moving blocku. Podrobněji je o tomto principu pojednáno v literatuře [10].

Mezinárodní standardy pro systém CBTC – pro systém CBTC jsou definovány dva základní mezinárodní standardy. Jedná se o standard Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 1474.1 a IEC 62290. Norma IEEE 1474.1 byla schválena v roce 2004. Týká se funkčních a výkonnostních požadavků na systémy CBTC. Norma se zabývá především vlastním vlakovým zabezpečovacím zařízením, tedy subsystémem ATP. Funkce ATO a ATS jsou standardem definovány jako volitelné. Norma stanovuje i hlavní bezpečnostní požadavky na systém. Norma se netýká pouze systémů metra, ale i dalších systémů městské drážní dopravy. Další normy IEEE, které se vztahují k CBTC jsou normy: IEEE 1474.2, která definuje standardy uživatelského rozhraní CBTC a IEEE 1474.3 a IEEE 1474.4, které definují standardy pro testování CBTC. Norma IEC 62290 byla schválena v roce 2007. V této normě jsou uvedeny základní pojmy, všeobecné požadavky a popis funkcí kontrolních a řídicích subsystémů CBTC. Když je zmiňováno CBTC, je třeba uvést také souvztažnost vývoje CBTC a systému ERTMS/ETCS. Tyto systémy mají řadu shodných komponent a vztahují se na ně stejné normy, stejně tak jako systémové a bezpečnostní požadavky. V literatuře 9 je popsána funkce CBTC, která je pro potřeby simulace přizpůsobena pomocí ETCS L3. Vývoj komponent ETCS, tak zároveň umožňuje po dílčích úpravách jejich využití v CBTC. Tímto vývojem se u nás zabývá společnost AŽD Praha, s.r.o.

Základní komponenty komunikačního rozhraní CBTC – základním pevným prvkem komunikační sítě jsou optické kabely, které mají dostatečnou kapacitu pro přenos veškerých potřebných dat. Konstrukce kabelů musí vykazovat odolnost vůči vnějším vlivům, kam zejména patří: odolnost proti požáru, odolnost proti vlhkosti, odolnost proti kyselinám a alkaloidům a odolnost proti mechanickému poškození. V technických místnostech a kabelových ústřednách, musí být jednotlivé kabely uspořádány podle toho, k jaké funkční skupině patří. Toto opatření je důležité zejména pro snadnější zjišťování závad a poškození a pro snadnější údržbu [8]. Komponenty rádiové sítě jsou další klíčovou součástí tohoto ZZ. Systém CBTC implementuje protokol IEEE 802.11 a/g/p/n (používá se i v běžných sítích WiFi/WLAN). Výhodou tohoto řešení je, že se jedná o otevřený a běžně používaný standard, což umožňuje používat různá technická řešení rádiové sítě, při zachování vzájemné kompatibility. Rádiová síť CBTC pracuje s kmitočty 2,4 GHz nebo 5,8 GHz. Obě tyto frekvence vykazují dobré vlastnosti a potřebný dosah pro provoz v tunelech metra [8]. Pokud je rádiová síť vytvořena prostřednictvím radiomajáků rozmístěných na určených bodech podél trati, komunikuje systém s vlakem pomocí vozidlové antény. Vlaková jednotka si nepřetržitě předává zprávy s traťovou částí. Pokud dojde ke ztrátě signálu nebo k jiné poruše (například nesrozumitelnost zprávy) vlaková jednotka okamžitě zavede rychločinné brzdění. Protože se jedná o ZZ, jsou komunikační větve vedeny po celé délce tratě zdvojeně, přičemž aktivní může být vždy pouze jedna z těchto větví. Kromě redundance jednotlivých částí ZZ jsou tyto části chráněny před přírodními vlivy a mechanickým poškozením [8]. Traťová část zabezpečovacího zařízení se skládá z radiomajáků rozmístěných podle trati ve vzdálenosti od několika desítek metrů do několika stovek metrů tak, aby byla pokryta všechna místa na trati. Vzdálenost radiomajáku je ovlivněna především místními poměry jako například směrové vedení trati a parametry tunelu. Radiomajáky mohou být upevněny na samostatných sloupcích, případně i na jiných vhodných částech vybavení trati [8]. Radiomajáky jsou vzájemně propojeny pomocí zdvojené sítě optických kabelů. Velkou výhodou jejich použití je, vedle velké kapacity, jejich odolnost proti vlivům elektromagnetismu. Další důležitou částí komunikační sítě jsou propojovací konektory s robustní a odolnou konstrukcí. Obvykle se používají typy IP 67/68. Vzájemné uzly komunikační sítě jsou obvykle umístěny v technických místnostech ve stanicích. Radiomajáky jsou kromě portů pro optické kabely vybaveny i přípojkou elektrické energie pro napájení vlastní antény. Anténa radiomajáku musí být dostatečně odolná proti vnějším vlivům, jako jsou: vibrace, požár, tlakové vlny, elektrický výboj, vlhkost, změna teploty a vandalismus [8]. Vlaková část ZZ má stejně jako traťová část redundanci klíčových prvků. Antény vlakové části zabezpečovacího zařízení mohou být zdvojené a jsou připojeny k modemům, které předávají nebo přijímají data do/od vlakového zabezpečovače. Vlakový zabezpečovač včetně kabelů musí být odolný proti veškerým předpokládaným vnějším vlivům [8].

Závěr

Problematika automatického provozu metra (ATO) je moderním trendem v oblasti železniční dopravy. Její využití je zatím zejména v oblasti městských podzemních drah. Tento článek ukazuje možnosti, které má pražské metro při svém rozšiřování o trasu D v oblasti automatického provozu. Jako dílčí část byla řešena i možnost přechodu současného provozu na automatický při úpravě zabezpečovacího zařízení a nových vozidel. Tato varianta se však jeví jako složitá a neefektivní.

Literatura:

- [1] ČSN EN 62267. Drážní zařízení - Automatizovaná městská doprava s vyhrazenou vodící dráhou (AUGT) - Bezpečnostní požadavky. 1. Praha: Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [2] ČSN EN 62290 - 1. Drážní zařízení - Systémy řízení městské dopravy s vyhrazenou vodící dráhou - Část 1: Systémové principy a základní pojmy. 2. Praha: Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [3] ČSN EN 62290 - 2. Drážní zařízení - Systémy řízení městské dopravy s vyhrazenou vodící dráhou - Část 2: Specifikace funkčních požadavků. 2. Praha: Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [4] Statistics Brief: World report on metro automation - July 2016. In: UITP [online]. Brusel: UITP, 2016 [cit. 2016-11-1]. Dostupné z: <http://www.uitp.org/world-report-metroautomation>
- [5] Lille VAL, France. In: Railway-technology.com [online]. Railway Technology [cit. 2016- 11-2]. Dostupné z: http://www.railway-technology.com/projects/lille_val/
- [6] ALESSIO, Ferrari. Product Line Engineering Applied to CBTC Systems Development. In: Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione [online]. Firenze, 2014 [cit. 2016-11- 22]. Dostupné z: http://puma.isti.cnr.it/rmydownload.php?file_name=cnr.isti/cnr.isti/2012- A2-043/2012-A2-043.pdf. 82
- [7] CHEN, R. a J. GUO. Development of the new CBTC system simulation and performance analysis [online]. Southwest Jiaotong , China, 2010 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/114/21448>. School of Information Science & Technology, Southwest Jiaotong University, China.
- [8] CBTC Connectivity Solutions White paper. In: HUBER+SUHNER AG [online]. Pfäffikon, 2011 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: http://www.railwaydirectory.net/company/feature/project_references/hash/a4c286bc338f6eac9e60034c4152aba0/name/White%20Paper%20-%20CBTC%20Connectivity%20Solutions.pdf
- [9] Tischer, Erik. Simulace automatického provozu na trase metra B. Pardubice, 2017. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Petr Nachtigall, Ph.D.
- [10] LINDQVIST, L., JADHAV, R., Application of communication based Moving Block systems on existing metro lines. In: Advanced Train Control Systems [online]. Beijing, 2010 [cit. 2017-09- 18]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=8e0fkqArGUYC&pg=PA44&lpg=PA44&dq=Advanced+Train+Control+Systems+with+press&source=bl&ots=w3k2QHKdNS&sig=kwaEpCNDQgGUc6F5M0HYW0GBkDA&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwiJ_uqF5q7WAhXMQBQKHSZJDM4Q6AEIPzAE#v=onepage&q=Advanced%20Train%20Control%20Systems%20with%20press&f=false

Praha, září 2017

Lektorovali: Ing. Juraj Kanis, PhD.
Železnice Slovenskej republikyIng. Vladimír Kampík
AŽD Praha s.r.o.