

Dopravní sál FD - železniční laboratoř pro výuku i výzkum

Doc. Ing. Martin Leso, Ph.D.¹

Ing. Dušan Kamenický²

Ing. Petr Koutecký³

Ing. Adam Hlubuček⁴

¹K620 Ústav dopravní telematiky; Konviktská 20, Praha 1, 110 00; leso@fd.cvut.cz

²K620 Ústav dopravní telematiky; Konviktská 20, Praha 1, 110 00; kamendus@fd.cvut.cz

³K620 Ústav dopravní telematiky; Konviktská 20, Praha 1, 110 00; koutepe1@fd.cvut.cz

⁴K620 Ústav dopravní telematiky; Konviktská 20, Praha 1, 110 00; hlubuada@fd.cvut.cz

Abstrakt Dopravní sál Fakulty dopravní (DSFD) je významnou pomůckou pro výuku problematiky řízení a zabezpečení železničního provozu na ČVUT, Fakultě dopravní. DSFD byl vybudován v rámci studentského projektu v letech 2000 až 2013, další rozvoj a modernizace však probíhá doposud. V rámci provozu se studenti přímo podílejí na vývoji, výrobě, instalaci i provozu technologie použité v DSFD. Jsou zde prezentovány současné technologie řízení a zabezpečení identické s technologiemi v reálném provozu. Jsou zde instalovány technologie elektromechanických, reléových i elektronických zabezpečovacích zařízení společně s programovou nadstavbou pro operativní řízení provozu (grafikon vlakové dopravy, elektronický deník). Jako simulaci železničního provozu je v DSFD instalováno modelové kolejiště ve velikosti H0. Všechna vozidla jsou vybavena vlastním elektronickým systémem s bezdrátovým obousměrným přenosem dat, který umožňuje samočinnou jízdu vozidel bez nutnosti manuálního řízení každého vozidla. DSFD se rovněž využívá jako vývojové pracoviště, v rámci kterého se navrhuje a ověřují principy nových přístupů k řešení problematiky řízení a zabezpečení železničního provozu. V současné době se jedná zejména o implementaci evropského systému řízení a zabezpečení ERTMS/ETCS realizované jak v modelovém kolejišti, tak zároveň v simulátoru kolejového vozidla. Probíhá zde rovněž výzkum automatického řízení provozu, který by měl umožnit plynulejší, spolehlivější a intenzivnější provoz na železnici. DSFD se v neposlední řadě také aktivně využívá k propagaci Fakulty dopravní v rámci řady exkurzí pro odbornou i laickou veřejnost.

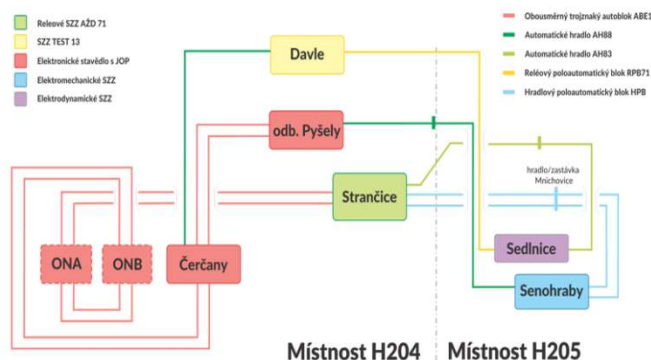
Klíčová slova Kolejová doprava, Řízení a zabezpečení železniční dopravy, ERTMS/ETCS

1. Koncept Dopravního sálu Fakulty dopravní

Dopravní sál Fakulty dopravní (DSFD) je specializovanou laboratoří ČVUT FD na problematiku řízení a zabezpečení železničního provozu. DSFD od roku 2000 vznikl a je dále řešen v rámci studentského projektu „20X1SS - Dopravní sál Fakulty dopravní“. V rámci projektu studenti přímo realizují veškeré technologie zabezpečovacích a řídicích systémů. Instalované technologie umožňují identické ovládání zabezpečovacích a řídicích systémů jako ve skutečném provozu. Z finančních a prostorových důvodů nejsou v dopravní síle umístěna celá železniční zabezpečovací zařízení. Jsou zde instalovány části převzaté ze skutečných zabezpečovacích zařízení, zejména ovládací prvky, se kterými přichází do kontaktu obsluha (JOP, řídicí pulty). Ostatní části reálných zabezpečovacích zařízení, které tvoří například vnitřní logiku jednotlivých staničních a traťových zabezpečovacích zařízení, jsou simulovány pomocí mikrokontrolérů a specifického programového vybavení. Protože se jedná o simulaci funkce zabezpečovacího zařízení, je požadována věrnost a úplnost ovládání, není však požadována bezpečná funkce „fail-safe“ jako u

skutečných zabezpečovacích zařízení. Tato skutečnost má vliv především na úsporu prostoru a finančních nároků řešení projektu.

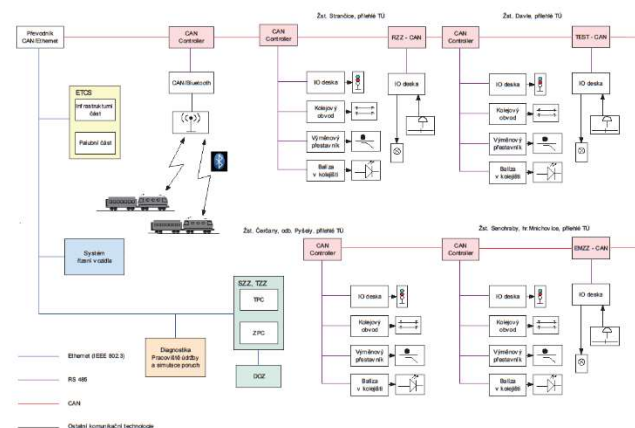
Simulace reálného provozu vozového parku je realizována instalací modelového kolejiště. Takto zvolené řešení simulace provozu zdůrazňuje reálnost ovládání oproti pouhé virtuální počítačové simulaci. Zvolená koncepce provozu reálných modelových vozidel umožňuje simulovat a předvádět také funkce nových technologií známých pod pojmem ERTMS/ETCS.



Obr. 1 Schéma kolejiště DSFD

1.1 Řídicí systém DSFD

Celkově je v dopravní síle instalováno kolejiště o délce cca. 150m kolejí, které je realizováno jako dvě tratě (hlavní a regionální) se sedmi stanicemi. Stanice jsou řízeny buď lokálními zabezpečovacími zařízeními, nebo může být provoz celého kolejiště řízen centrálně z dispečerského pracoviště (CDP) s využitím jednotného obslužného pracoviště (JOP). Pro zajištění plynulého provozu modelových vozidel obsahuje kolejiště dvě odstavná skrytá nádraží (ONA, ONB) umožňující otáčení a odstavení vozidel.



Obr. 2. Architektura řídicího systému DSFD

Kolejiště je vybaveno vlastními elektronickými moduly umožňující stavění výhybek (elektromotorický přestavník), svícení návěstidel a detekci obsazenosti infrastruktury (kolejové obvody). Všechny řídicí moduly jsou propojeny páteří sběrníci typu CAN-BUS, která zajišťuje datovou komunikaci se všemi moduly a řídicími částmi. Řídicí systém obsahuje rovněž diagnostický systém, který umožňuje kromě diagnostiky rovněž funkce nezávislého nastavování poruch infrastrukturních prvků (návěstidla, kolejové obvody, přestavníky). Pro umožnění lokalizace polohy vozidel jsou v infrastruktuře instalovány lokalizační prvky tzv. balízy, které umožňují každému vlaku zjistit konkrétní identifikační číslo tohoto prvku v daném místě kolejiště. Přenos informace z balízy na vozidlo probíhá na principu Infrared. Mezi řídicím počítačem a vozidlem dochází k periodické obousměrné datové komunikaci s využitím technologie Bluetooth. Směrem z vozidla jsou přenášeny informace o aktuální poloze vlaku (ID poslední přečtené balízy, odometrie – počet otáček motoru, směr jízdy vozidla). Na vozidlo se vysílají povely o požadovaném směru a rychlosti jízdy. Zvolená koncepce řízení vozidel umožňuje plně automatický provoz bez nutnosti manuálního řízení vozidel s výjimkou posunů, při kterých je nutné vozidlo řídit manuálně. Tento přístup rovněž umožňuje předvedení principu řízení vozidel s technologií ERTMS/ETCS, jejichž principy se postupně v DSFD zavádějí.

1.2 Typy zabezpečovacích zařízení v DSFD

V DSFD jsou použita typická zabezpečovací zařízení, která jsou dnes běžně používána na síti SŽDC. Je možné tedy simulovat reálný provoz a obsluhu těchto systémů v souladu se skutečnými předpisy a zvyklostmi reálného provozu.

Ze staničních zabezpečovacích zařízení jsou v rámci DSFD zastoupeny:

1. Elektromechanické zabezpečovací zařízení s klasickým uspořádáním (řídicí přístroj RANK na stanovišti výpravčího, bubnový přístroj a stavědlový přístroj vzor 5007 na stavědlech) v žst. Senohraby;
2. Elektrodynamické zabezpečovací zařízení v žst. Sedlnice;
3. Reléové zabezpečovací zařízení typu AŽD71 cestového typu s tlačítkovým ovládacím v žst. Strančice;
4. Reléové zabezpečovací zařízení typu TEST13 v žst. Davle;
5. Elektronické zabezpečovací zařízení s jednotným obslužným pracovištěm (JOP), kterým je řízena žst. Čerčany, odbočka Pyšely a obě odstavná nádraží ONA a ONB.

Jednotlivé mezistaniční úseky jsou vybaveny také typickými traťovými zabezpečovacími zařízeními:

1. Tríznačný obousměrný automatický blok;
2. Poloautomatický blok;
3. Automatické hradlo;



Obr. 4 Reléové zabezpečovací zařízení



Obr. 3 Elektromechanické zabezpečovací zařízení



Obr. 5 Jednotné obslužné pracoviště (JOP) elektronického zabezpečovacího zařízení



Obr. 6 Pohled na pracoviště centrálního dispečerského pracoviště

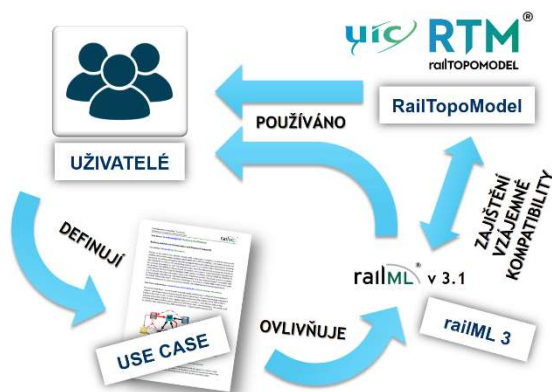
2. Výzkum v Dopravním sále Fakulty dopravní

Prostředí DSFD dále slouží také pro výzkum nových technologií řízení a zabezpečení provozu na železnici. Koncepce DSFD byla již od počátku svého vývoje (cca. rok 2000) řešena s výhledem na možnost realizace technologií zaměřených na tzv. „Inteligentní dopravní systémy“. Hlavním předpokladem těchto systémů je zvládnutí systému přímého řízení pohybu vlaku (uzavřená řídicí smyčka). To znamená, že všechny vlaky musí být vybavena palubní technologií pro řízení vlaků a poskytování informací o vlaku (zejména přesná poloha a celistvost soupravy). Infrastruktura musí být pokryta bezdrátovým přenosovým systémem

zajišťující „on-line“ komunikaci s vlaky a řídicí ústřednou. Tyto předpoklady umožňují realizaci zcela nových přístupů k řešení problematiky zajištění bezpečného pohybu vlaků a realizace automatizačních a optimalizačních procesů vedoucích k vyšší využitelnosti (spolehlivost a kapacita) železniční dopravy než bylo dosud možné. V DSFD jsou proto realizovány projekty, které mají za cíl vývoj a následné ověření v laboratorních podmínkách principů inteligentních systémů na železnici. V následujícím textu jsou uvedeny základní komponenty ITS-R, které jsou vyvíjeny a ověřovány v prostředí DSFD.

2.1 Datový popis infrastruktury

Pro realizaci inteligentního systému řízení železničního provozu jsou klíčové informace popisující dopravní cestu, po které se vlaky pohybují. Tato informace zahrnuje nejenom koleje, ale rovněž všechny objekty, případně také tok informací, důležitých pro obsluhu dopravní cesty, jízdy vlaků ale i přepravu zboží a cestujících. V první řadě je v DSFD realizován systematický popis železniční infrastruktury a tvorba souvisejícího víceúčelového datového modelu, který bude sloužit pro realizaci automatizovaného řízení a zabezpečení železniční dopravy (technologie typu ETCS a automatického vedení vlaku). Model je založen na principech členění kolejiště aplikovaných v současnosti v ČR, zároveň však reflektuje logiku mezinárodní metodiky UIC RailTopoModel. Jako rozhraní pro komunikaci mezi modelem a navazujícími aplikacemi se předpokládá využití railML® verze 3. Železniční značkovací jazyk railML® 3 je vyvíjen na základě RailTopoModelu v rámci nezávislého konsorcia railML.org, jedním z jehož členů je i ČVUT-FD. Naše pracoviště DSFD se v současnosti aktivně podílí na vývoji schématu infrastruktura, který má předpoklady stát se Evropským železničním standardem pro datový popis železnice. Výsledkem těchto aktivit by měla být mj. specifikace tzv. „use case“ Dopravního sálu FD, která bude reálně ověřena právě v prostředí železničního systému DSFD.



Obr. 7 Metodiky UIC RailTopoModel a railML

2.2 Systém řízení a zabezpečení „inteligentních vozidel“

V DSFD se realizuje technologie známá pod označením ERTMS/ETCS, která je v současné době uplatňována na skutečné železnici v Evropě i po celém světě. Unikátem DSFD je postupná implementace všech aplikačních úrovní řízení železničního provozu (Aplikační úroveň 1, 2 i 3) tak, aby bylo možné následně demonstrovat výhody a nevýhody jednotlivých řešení. Velkou principiální výzvou je zejména realizace aplikační úrovně 3, která již zcela využívá vlastností „inteligentních vozidel“ s minimalizací vybavenosti infrastruktury. Využívá se plně přímé datové komunikaci vlaku s infrastrukturní částí, kdy je povolení k jízdě (či další doplňkové informace, jako nejvyšší dovolená rychlost apod.)

předáváno na vlak výhradně datově bez dosavadního způsobu prostřednictvím návěstidel rozmístěných kolem tratě na pevně daných místech. Kromě toho, že pohyb vlaku je tedy plně pod „on-line“ kontrolou, lze tento přístup s výhodou využít pro tzv. „flexibilní řízení“ provozu tak, že lze oprávnění k jízdě (délka úseku, kam může vlak pokračovat v jízdě) měnit dynamicky podle dopravní situace a pohybu dalších vozidel. Tím lze maximálně využít kapacitu železniční infrastruktury. Společně s nasazením dalších prostředků operativního řízení provozu lze tak i výrazně zvýšit spolehlivost řízení železnice. Hlavním přínosem tohoto řešení je rovněž výrazná minimalizace drahých a náročných technologií v infrastruktuře. Musí však být vyřešeny všechny otázky bezpečného a spolehlivého řízení provozu za všech předvídaných okolností, včetně řešení poruchových stavů. Zvládnutí právě těchto provozních a bezpečnostních pravidel se dnes jeví jako klíčové k reálnému nasazení této technologie. V prostředí DSFD lze většinu těchto okolností bezpečně zkoušet.



Obr. 8 Zobrazení brzdných křivek jízdy vlaků pod dohledem systému ETCS v úrovni 3 (flexibilní řízení provozu s pohyblivým blokem)

2.3 Systém automatizace a optimalizace řízení železničního provozu

V návaznosti na oba předchozí projekty se v DSFD realizuje systém umožňující automatizace postupů řízení a IT podporu v jednotlivých fázích řízení provozu. Cílem tohoto projektu je zavést takový automatizační a řídicí systém, který umožní zcela autonomní pohyb všech vlaků na kolejišti. Vlaky se budou pohybovat pouze na základě zadání grafikonu vlakové dopravy bez nutnosti manuálního stavění vlakové cesty pro každý vlak a řešení konfliktů mezi způzděnými vlaky. Kromě předávání požadavků na postavení vlakové cesty v daný čas bude systém provádět optimalizaci řízení provozu tak, aby byl splněn grafikon vlakových cest podle zadaných kritérií.



Obr. 9 Struktura úrovní systému řízení železniční dopravy

Daná úloha spočívá v nutnosti aplikace „inteligentních“ algoritmů, které „vypočítají“ v dostatečném časovém předstihu optimální řešení konfliktů v jízdách vlaků a udržováním vlaků v požadovaných časových polohách. Projekt realizuje v současné době nové přístupy podle evropských trendů, kdy proces řízení železnice je rozdělen do tří úrovní – strategické, operativní a přímé. Strategické řízení se zaměřuje na dlouhodobé plánování a přidělování tras v grafikonu vlakové dopravy (GVD). Operativní řízení pak zajišťuje řešení konfliktů v jízdách vlaků, vzniklých

vlivem nepředpokládaných odchylek od naplánovaného GVD. V koordinaci s jednotlivými dopravci vydává dispozice v řádu hodin až minut před samotnou jízdou vlaku. Přímé řízení pak tvoří činnosti pro zabezpečení jízdy vlaků a posunu – ovlivňování prvků infrastruktury obsluhou zabezpečovacího zařízení. V rámci výzkumných činností v DSFD byla navržena architektura a procesy řízení provozu. Jsou vyvíjeny aplikace pro podporu jednotlivých úrovní řízení – automatizované stavění cest v rámci přímého řízení a optimalizace provozu (zahrnující predikci jízdy vlaku, automatickou detekci konfliktů a návrh optimálního řešení) v rámci operativního řízení.



Obr. 10 Grafikon vlakových cest s predikcí jízdy vlaků a detekcí konfliktních cest.

2.4 Simulátor kolejového vozidla

V DSFD se v současné době realizuje simulátor kolejového vozidla. Hlavní zaměření tohoto simulátoru je určeno pro simulaci a školení řízení kolejového vozidla s národními (LS) a interoperabilními (ETCS) vlakovými zabezpečovacími systémy. Předmětem školení strojvedoucích by měl být zejména nácvik a upevnění postupů ovládání řídicích, automatizačních, zabezpečovacích a informačních systémů za běžných provozních situací i za nestandardních nouzových či kritických situací. Simulátor má rovněž umožnit výrazným způsobem zvýšit efektivitu

školení a zácvičení na nové technologie ERTMS/ETCS, která zavádí jinou filozofii řízení a kontroly jízdy vozidla oproti současnému stavu. Filozofie kontroly jízdy vozidla pod dohledem systému ERTMS/ETCS je založena na periodické kontrole dodržení rychlosti i velikosti odrychlení (vyjádřeno dynamickým rychlostním profilem - brzdovou křivkou), což vyžaduje od strojvedoucího zvýšené soustředění a rozdělení koncentrace mezi pohled na trať a další ovládací prvky vozidla a displej DMI zobrazující informace nutné k bezpečnému vedení kolejového vozidla. Proto koncepce simulátoru kolejových vozidel v DSFD bude konstruována jako plný simulátor včetně kinematické pohybové plošiny. Tím by mělo být dosaženo velmi realistického vjemu strojvedoucího při řízení kolejového vozidla.



Obr. 11 Kokpit simulátoru kolejových vozidel (zdroj: Škoda Transportation, a.s.)

3. Závěr

V příspěvku byla prezentována laboratoř DSFD, její koncepce, použité technologie i rozsah a záměr činnosti které se v laboratoři realizují. DSFD má za cíl poskytovat velmi technologicky vyspělé prostředí nejenom pro výuku a prezentaci stávajících technologií v oblasti řízení a zabezpečení na železnici, ale umožňovat také výzkum a ověřování nových přístupů v této oblasti.