

# Vědeckotechnický sborník

## Správy železnic, státní organizace

### č. 3/2020

*ISSN 2694-9172*

---

**Vydavatel: Správa železnic, státní organizace**

**Sídlo: Dlážďená 1003/7, 110 00 Praha 1**

**IČ: 709 94 234 DIČ: CZ 709 94 234**

## Obsah:

<b>Název příspěvku a autoři</b>	<b>strana</b>
<b>1. Geografická metoda pro Automatické stavění vlakových cest</b> Autoři: Bc. Petr Kučera, doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D.	<b>3</b>
<b>2. Souvislosti současných aktivit při řešení digitalizace stavební dokumentace s návrhem rozšíření normy IFC pro oblast železnic – IFC Rail a jeho vztah k metodice RTM</b> Autor: Ing. Mgr. Robert Číhal, CSc.	<b>19</b>
<b>3. Monitorování drážní infrastruktury cenově dostupným dataloggerem</b> Autoři: Ing. Dušan Janoščík, Ing. Viktor Nohál, prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.	<b>43</b>
<b>4. Železniční laboratoře, zkušebnictví a certifikace v Itálii</b> Autor: doc. Dr. Ing. Roman Štěrbá, MBA	<b>53</b>
<b>5. Lokomotivy se značkou ČKD</b> Autor: Ing. Ladislav Novák	<b>61</b>
<b>6. Elektrická osobní železniční doprava na tratích bez liniové elektrifikace</b> Autor: Ing. Jiří Pohl	<b>85</b>
<b>7. Nová metodika zjišťování kapacity dráhy</b> Autor: Ing. Pavel Krýže, Ph.D.	<b>112</b>
<b>8. Analýza měřicích systémů dopravních procesů</b> Autoři: Ing. Jiří Zmatlík, Ph.D., prof. Dr. Ing. Otto Pastor, CSc.,	<b>131</b>

## Příspěvek č. 1

**Petr Kučera<sup>1</sup>, Pavel Drdla<sup>2</sup>**

### **Geografická metoda pro Automatické stavění vlakových cest**

**Klíčová slova:** *Automatické stavění vlakových cest, vlaková cesta, časová metoda, geografická metoda, kritický bod, inicializační bod, železnice*

**Anotace:**

Příspěvek se zabývá možnostmi zpřesnění včasného postavení vlakových cest v rámci funkce Automatického stavění vlakových cest. Uvažuje zapojení nové geografické metody do dnes používané časové metody inicializace požadavků Automatického stavění vlakových cest.

**Summary:**

The paper deals with the refinement of train routes setting for Automatic Train Route Setting System. It considers inclusion of the new geographical method into the Automatic Train Route Setting System.

#### **Úvodem**

V současné době, kdy je ze strany dopravců i cestujících stále větší tlak na rychlejší, plynulejší a bezpečnější železniční dopravu, přichází na trh funkce Automatického stavění vlakových cest (dále jen ASVC), jejímž cílem je maximálně zefektivnit řízení železniční dopravy na tratích řízených dálkově ať už z Centrálního dispečerského pracoviště (CDP Praha a CDP Přerov), z Regionálních dispečerských pracovišť po celé České republice (dále jen RDP) nebo z jednotlivých stanic ovládaných z jednotného obslužného pracoviště (dále jen JOP).

Hlavním cílem funkce ASVC je zajistit automatické stavění vlakových cest v rutinních dopravních situacích, aby dispečer měl možnost se plně věnovat

---

<sup>1</sup> Bc. Petr Kučera (\*1997) je absolventem oboru Technologie a řízení dopravních systémů na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice. V současné době zároveň působí externě ve společnosti AŽD Praha. Po odborné stránce se zaměřuje zejména na problematiku železniční dopravy.

<sup>2</sup> doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D. (\*1972) je docentem na Katedře technologie a řízení dopravy při Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice, kde současně absolvoval i své vysokoškolské studium. Odborně se věnuje osobní dopravě včetně progresivních systémů v osobní dopravě, integrovaným dopravním systémům, periodické dopravě a městské hromadné dopravě. Před působením na akademické půdě byl jednak výpravčím vlaků a poté i technicko-hospodářským pracovníkem u nástupnického podniku ČSAD.

řešení vznikajících dopravních konfliktů a nemusel se zabývat rutinním stavěním vlakových cest.

Funkce ASVC dnes staví vlakové cesty na základě krátkodobého výhledu provozu v Graficko-technologické nadstavbě zabezpečovacího zařízení, a to s fixně daným časovým předstihem před plánovanou jízdou vlaku. To ovšem nedokáže pokrýt situace, kdy vlak výrazně krátí jízdní dobu, proto je třeba do ASVC zapojit informace o pohybu samotného vlaku, které jsou výstupem z Elektronického stavědla (ESA).

Článek vychází z obhájené bakalářské práce (1), která není veřejně přístupná s ohledem na data podléhající obchodnímu tajemství.

## **1. Charakteristika současného stavu**

Článek nejprve shrnuje základní informace o stěžejních oblastech, kterými jsou Graficko-technologická nadstavba zabezpečovacího zařízení, vlastní Automatické stavění vlakových cest a princip analýzy problematiky. Rovněž jsou zmíněny informace o zkoumané železniční trati dle (1).

### **1.1. Graficko-technologická nadstavba zabezpečovacího zařízení**

Graficko-technologická nadstavba zabezpečovacího zařízení (dále jen GTN) je provozní aplikace sloužící pro potřeby operativního řízení železniční dopravy. GTN je aplikací, která mimo jiné získává data o trase vlaků z ročního jízdního řádu ze systému Komplexní aplikace návrhu grafikonu online (KANGO), mimořádných vlaků ze systému Kapacita dráhy (KADR) nebo informace o konkrétních vlacích z Informačního systému operativního řízení (ISOŘ) (2). Aplikace GTN je tak komplexním softwarem, který našel uplatnění nejen na dálkově řízených tratích, ale i ve stanicích řízených místně výpravčím. Výpravčím umožňuje elektronicky vést dopravní dokumentaci, odesílat dotazy do ISOŘ, komunikovat se sousedními dopravami atd.

#### Okno List GVD

Základním oknem GTN, se kterým pracuje dispečer řízení železničního provozu, je okno List grafikonu vlakové dopravy (dále jen List GVD). V něm je zobrazena formou nákrešného jízdního řádu již splněná doprava i aktuální výhled dopravy, který je online a je v pravidelných časových intervalech aktualizován dle denní situace (2). Dispečer zde má přehled o všech vlacích, které v nastaveném časovém horizontu vstoupí do jeho řízené oblasti, příp. na trať, na jejímž řízení se dispečer nebo výpravčí ve stanicích podílí.

#### Grafický editor kolejí

Grafický editor kolejí (dále jen GEK) je jedním z oken GTN, ve kterém vidí dispečer v grafické podobě plánované staniční a traťové koleje zvoleného vlaku. Pokud ještě není daná vlaková cesta postavena, může libovolně tažením myši editovat plánované staniční a traťové koleje, které vlak, jemuž jsou vlakové cesty stavěny v režimu ASVC, využije.

## 1.2. Automatické stavění vlakových cest

Automatické stavění vlakových cest (dále jen ASVC) je jedním z modulů GTN, který na základě plánované trasy vlaku v Listu GVD umožňuje automaticky stavět vlakové cesty s určitým časovým předstihem před plánovaným okamžikem poježdění vlakové cesty (2).

Předstih, s jakým se vlaková cesta staví, je fixně stanoven na základě dlouhodobých zkušeností v provozu (viz dále v textu).

**Automatické stavění vlakových cest je pouze pomocníkem výpravčího pro plnění rutinních činností, odpovědnost za bezpečnost provozu a řešení vzniklých dopravních konfliktů má i nadále výpravčí (2).**

### Současné využití Automatického stavění vlakových cest

Funkce ASVC nachází své využití hlavně na tratích řízených dálkově (DOZ) z jednoho místa (CDP nebo RDP). První trať, kde ASVC našlo v roce 2018 své využití, se stal úsek 3. tranzitního koridoru mezi Berounem a Plzní. Zprvu bylo ASVC využíváno ve stanicích Hořovice, Kařízek, Holoubkov a na odbočce Zbiroh. V roce 2019 přibýly stanice Zdice, Rokycany a Ejovice (2).

Dnes je ASVC nasazeno také na tzv. Švestkové dráze (testovací trati v majetku AŽD Praha s. r. o. z Čížkovic do Obrnic) a na vybraných tratích v majetku Správy železnic, státní organizace. Mimo výše uvedenou trať mezi Berounem a Plzní se jedná o jednokolejné a neelektrifikované tratě č. 122 Praha-Smíchov – Hostivice (tzv. Pražský Semmering) a č. 183 Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín. Od jara 2020 je ASVC nově nasazeno také na trati č. 320 v úseku Karviná (včetně) – Mosty u Jablunkova (včetně). Tato trať je dvojkolejná a elektrifikovaná s významným podílem nákladní dopravy (oproti ostatním tratím, kde je ASVC nyní nasazeno). Nejnověji je funkce ASVC implementována na trati č. 024 ve stanicích Lanšperk a Letohrad.

V blízké budoucnosti se předpokládá nasazení ASVC například na tratích č. 178 Plzeň hl. n. (mimo) – Cheb (mimo), č. 114 v úseku Lovosice (mimo) – Louny (mimo), č. 134 v úseku Oldřichov u Duchcova (mimo) – Litvínov (včetně) a dalších.

### Časová metoda generování Automatické volby funkce vlakové cesty

Automatické stavění vlakových cest v současné době rozlišuje, zda se jedná o vlakovou cestu (dále jen VC) vjezdovou, nebo odjezdovou. Vjezdová VC je stavěna 5 minut před časem plánovaného příjezdu vlaku do dopravního bodu (údaje o trase vlaku získá ASVC z GTN). Odjezdová VC je stavěna 2 minuty před časem odjezdu pro vlak stojící, nebo 5 minut předem pro vlak projíždějící. ASVC v současné době staví pouze tyto základní VC. Stavění jiných VC (např. VC přes variantní body nebo VC s omezením) či posunových cest zůstává plně v kompetenci dispečera (2).

Je však nutné si uvědomit, že v časových předstizích uvedených výše dojde k vygenerování povelu pro stavění VC. Ke skutečnému rozsvícení dovolující návěsti dochází o několik vteřin později (zvláště, pokud je třeba stavět větší množství výhybek nebo je třeba uzavřít silniční přejezd na zhlaví či záhlaví stanice, tzn. pro danou VC je aplikováno zpoždění rozsvícení dovolující návěsti).

### Potlačení stavění vlakových cest

Automatické stavění vlakových cest umí vyhodnotit, zda lze plánovanou VC v zabezpečovacím zařízení skutečně postavit. Je stanovena soustava podmínek, a pokud jsou všechny podmínky současně splněny, tak na základě vyslání povelu ke stavění VC (dále jen AVF VC) dojde ke skutečnému postavení VC. Pokud ovšem všechny podmínky splněny nejsou, ASVC odloží postavení VC do doby, než bude možné zamýšlenou VC postavit. V takovém případě je plánovaná VC i nadále zeleně rámována jako signál záměru VC a po uplynutí 1 minuty od času, kdy mělo být vysláno AVF VC, se zelené rámování změní ve žluté jako upozornění dispečera, aby vzniklé dopravní situací věnoval zvýšenou pozornost (2).

Když nelze postavit VC z důvodu neočekávané poruchy na straně infrastruktury (např. nedolehnutí jazyků výhybek do koncové polohy), tak dojde k selhání stavění VC. Tuto situaci dispečerovi signalizuje změna rámování VC na červené a v GTN se zobrazí okno obsahující upozornění, že plánovanou VC se nepodařilo postavit. VC už lze postavit pouze manuálně v JOP.

Zamezení postavení VC může nastat zásahem dispečera. K tomuto úkonu je pro dispečera hlavním nástrojem okno Dispoziční kritéria. V tomto okně může dispečer pro každou VC nastavit dispoziční kritérium, které momentálně zamezí stavění VC, a tím i zvolit, kdy se má daná VC automaticky postavit.

Dispečer taktéž může zamezit postavení VC pomocí ASVC tím, že vypne ASVC v dopravním bodě (ASVC se vypne pro všechny plánované vlaky v tomto dopravním bodě), nebo může vypnout ASVC na vlaku pomocí okna Dispozičních kritérií v tomto dopravním bodě nebo v jakémkoli dalším dopravním bodě na trase vlaku.

Dispečer může také postavit VC manuální volbou v JOP dříve, než ji postaví ASVC. Tento krok může učinit nejpozději v okamžiku, kdy je plánovaná VC zeleně rámována. Nemusí přitom respektovat plánovanou staniční nebo traťovou kolej, na kterou má vlak automaticky jet. Stavění původní plánované VC je tak zrušeno a je akceptována manuálně postavená VC. ASVC se této skutečnosti plně přizpůsobí.

### **1.3. Princip analýzy problematiky**

Pro každý traťový oddíl, se kterým ASVC pracuje, se provede analýza včasnosti postavení vjezdové VC do předního dopravního bodu ve směru jízdy vlaku. Vždy je analyzována nejméně příznivá varianta vedoucí k největšímu možnému

zkrácení jízdních dob (dále jen JD). Není uvažována jízda odbočkou v přední ani v zadní dopravě, vlak opouští zadní dopravnu traťovou rychlostí. Tato analýza je v jednotlivých úsecích provedena pro každý směr zvlášť.

Na krácení JD mají vliv především aspekty z pohledu dopravce (menší zátěž nákladních vlaků, přípřež hnacích vozidel, nasazení hnacího vozidla s vyšší maximální rychlostí, vyšším výkonem atd.). Tyto aspekty nelze předem předpovídat. Pro určení úseků, kde je třeba aplikovat geografickou metodu generování AVF VC, je nutné zohlednit aspekty z pohledu infrastruktury. Tyto aspekty určí, zda je úsek „náchylný“ ke krácení JD. Jízdní doby jsou tvůrci grafikonu vlakové dopravy (dále jen GVD) často navrženy jako nesprávné (dlouhé) a neodpovídají vlastnostem skutečně nasazovaných vozidel.

Aspekty z pohledu infrastruktury, které naznačují, zda by mohla nastat situace pozdního postavení vjezdové VC a zda je vhodné uvažovat aplikaci geografické metody:

- délka traťového oddílu,
- traťová rychlost,
- sklon trati,
- délka zhlaví a záhlaví obou stanic,
- vzdálenost mezi vjezdovým návěstidlem přední dopravní a jeho předvěstí,
- umístění přejezdu v záhlaví nebo na zhlaví stanice, a tedy aplikace zpoždění rozsvícení dovolující návěsti (dále jen ZRDN).

Vliv na krácení JD mají také provozní aspekty, ale lze je obtížně predikovat:

- počet projetých zastávek „na znamení“ v traťovém oddíle,
- JD uvažované pro jízdu odbočkou, avšak vlak jede po přímé koleji.

Analýza jednotlivých traťových oddílů bývá provedena ve dvou krocích:

1. teoretický výpočet, zda vůbec může nastat kritické zkrácení JD,
2. praktická analýza reálného provozu s cílem zjistit, k jakým zkrácením JD v jednotlivých traťových oddílech běžně dochází.

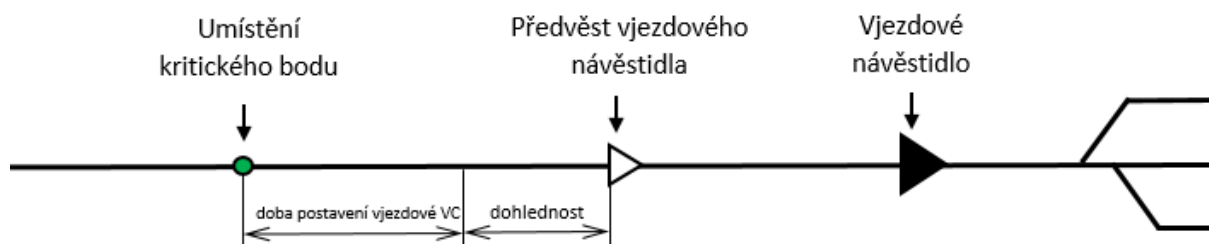
Na základě analýzy trati je pro každý úsek a směr teoreticky vypočten bod, kdy nejpozději musí být vysláno AVF VC, aby byla daná VC za běžných okolností včas postavena. Tento bod bude nazýván kritickým bodem. Pro jednotlivé traťové oddíly je v rámci teoretické části analýzy vypočteno, zda může nastat takové maximální (kritické) zkrácení JD vlaku, kdy při současném stavu infrastruktury dojde k pozdnímu postavení vjezdové VC v režimu časové metody (tj. vlak může být v kritickém bodě více než 5 minut před plánovaným příjezdem do dopravního bodu). Časová kóta příjezdu vlaku do dopravního bodu je navržena tak, aby odpovídala plánovanému zastavení vlaku na místě obvyklém. Proto do kritického krácení JD je nutné zohlednit i délku zhlaví a záhlaví stanice a umístění předvěsti vjezdového návěstidla.

Maximální (kritické) zkrácení JD je vypočteno vždy pro nejméně příznivou variantu, aby došlo k pokrytí 100 % možných případů. Je uvažována ideální

souprava v podobě moderní jednotky, která v celé délce úseku plně využije traťovou rychlost  $N$ , nejsou uvažovány parametry dnešních běžných souprav z důvodu možného budoucího nasazení jiných souprav.

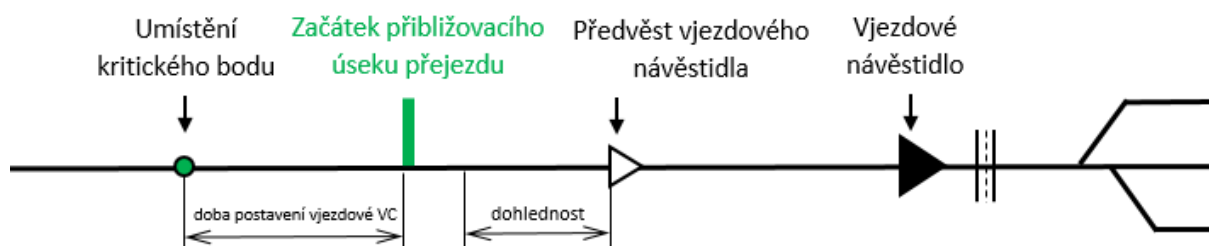
Při stanovení maximálního (kritického) zkrácení JD je vždy porovnáván okamžik dosažení kritického bodu ideální soupravou vůči plánovanému příjezdu vlaku do dopravního bodu, kterému daný kritický bod náleží. Tj. s jakým časovým předstihem před okamžikem, kdy by měl přijet do dopravního bodu, minul vlak kritický bod.

Kritický bod je možné určit až třemi způsoby v závislosti na tom, zda je nebo není v záhlaví či na zhlaví stanice umístěn přejezd (tzn. pro danou VC je/není uplatňováno ZRDN). Schéma všech způsobů stanovení kritického bodu se nachází na obrázcích 1 až 3. Definice kritického bodu je návrhem autorů. Tato analýza nebyla dosud prováděna.



Obrázek 1: Schéma umístění kritického bodu při absenci přejezdu ve VC

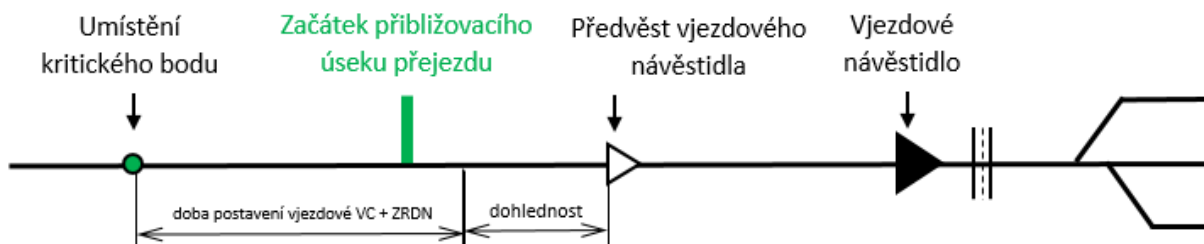
Zdroj: (1)



Obrázek 2: Schéma umístění kritického bodu při přejezdu ve VC – způsob 1

Zdroj: (1)





Obrázek 3: Schéma umístění kritického bodu při přejezdu ve VC – způsob 2

Zdroj: (1)

Pro účely výpočtů kritického bodu byly zvoleny principy znázorněné na obrázcích 1 a 2. Princip dle obrázku 3 je ve většině případů nevýhodný, protože je po vstupu vlaku do přibližovacího úseku uplatňováno ZRDN i v řádu desítek vteřin.

#### 1.4. Analýza trati Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín

Analýza včasnosti stavění VC současnou časovou metodou proběhla na trati Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín. Tato trať, ze všech tratí, kde je dnes ASVC nasazeno, nejlépe splňuje předpoklady pro krácení jízdnicích dob z pohledu kritických aspektů infrastruktury. Na trati jsou dlouhé mezistaniční úseky se sklony 10 – 20,9 ‰ a problematická jsou také dlouhá záhlaví stanice Špičák (více než 2 km).

Provoz na trati č. 183 Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín je převážně „v režii“ osobní dopravy.

V rámci osobní dopravy jsou v GVD 2019/2020 na trati zavedeny 2 páry rychlíků Berounka linky R16 (Praha hl. n. – Železná Ruda-Alžbětín a zpět). Rychlíky zastavují v úseku Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín ve všech stanicích a zastávkách, kromě zastávky Petrovice nad Úhlavou. Mimo rychlíky je na trati vedeno 7 párů osobních vlaků Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín a zpět (z toho jeden jen v pracovní dny), doplněné dvěma páry osobních vlaků Klatovy – Nýrsko a zpět jedoucích ve špičkách pracovních dní. V období hlavní zimní a letní sezóny je zaveden jeden pár posilových spěšných vlaků Plzeň – Železná Ruda-Alžbětín a zpět (3).

V úseku Klatovy – Janovice nad Úhlavou jsou vedeny také přímé vlaky Klatovy – Domažlice v rámci obsluhy tratě č. 185 (Horažďovice předměstí – Domažlice) (3).

Na trati je veden pouze jeden pár Mn vlaků (Mn 87830/87831), a to pouze v úseku Klatovy – Nýrsko a zpět. Vlak jede podle potřeby pouze v pondělí, středu a pátek. Ve zbytku trati není pravidelně vedena ŽÁDNÁ nákladní doprava (4).

Z teoretické analýzy vyplývá, že k možnému pozdnímu postavení vjezdové VC může dle teoretického výpočtu dojít v případě manipulačního vlaku v úsecích

mezi Klatovy a Janovicemi nad Úhlavou a mezi Janovicemi nad Úhlavou a Nýrskem. Tento manipulační vlak je ovšem veden nepravidelně.

Mimo výše uvedené případy hrozí pozdní postavení VC teoreticky mezi Nýrskem a Zelenou Lhotou, avšak analýza reálného provozu teoretická zjištění plně nepodpořila, reálně v tomto úseku dnes dochází k významným časovým ztrátám oproti teoretickému modelu. Problém skutečně nastává mezi Hamry-Hojsovou Stráží a Špičákem, kde vlivem dlouhého záhlaví stanice Špičák dochází k pozdnímu postavení vjezdové VC. Teoreticky se to týká až 26 případů týdně (vlaky 1702, 776, 778 a 7546, které mají delší JD) z celkových 69 postavených vjezdových VC v tomto úseku a směru, tj. až 38 % ze všech možných případů. Během analyzovaného třítýdenního období to bylo reálně 5,34 % případů.

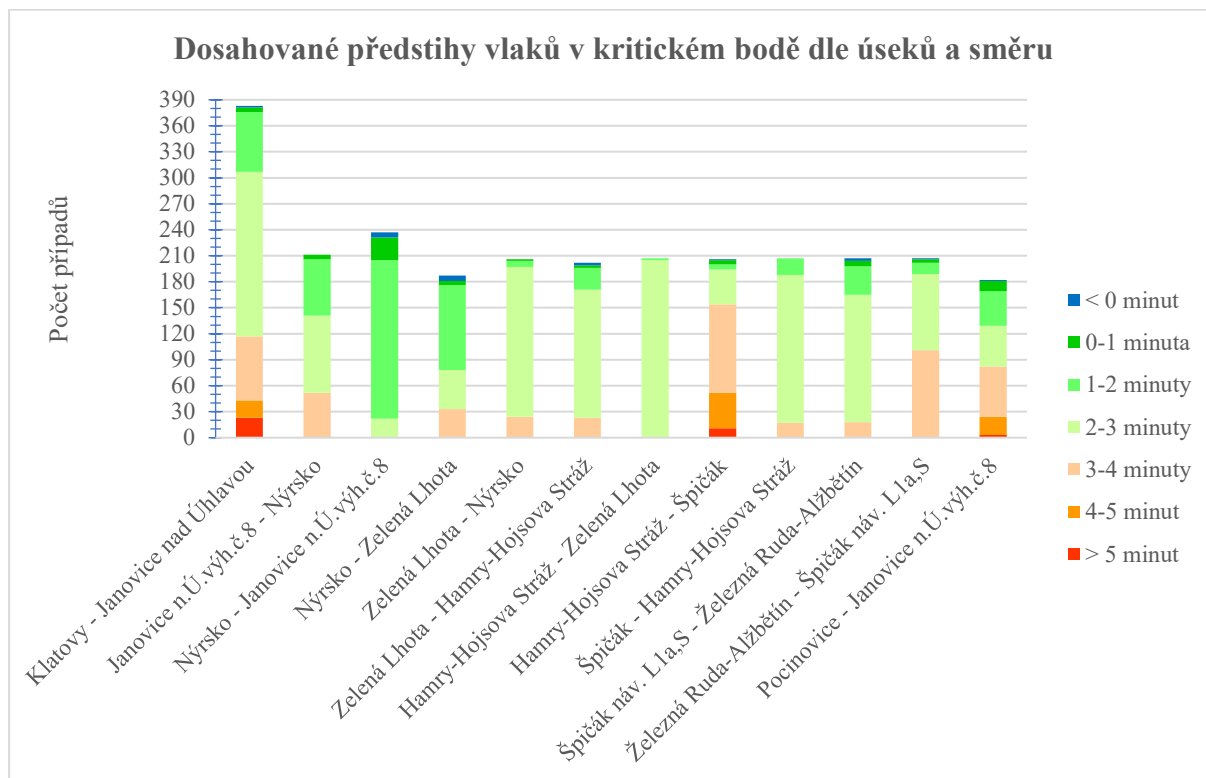
Tabulka 1: Maximální teoreticky dosažitelné předstihy v kritických úsecích

Úsek	Maximální předstih [min]	
	Vlak OD	Vlak ND
Klatovy – Janovice nad Úhlavou	5,14	6,64
Janovice nad Úhlavou – Nýrsko	4,47	10,50
Nýrsko – Zelená Lhota	5,03	–
Hamry-Hojsova Stráž – Špičák	6,67	–

Zdroj: autoři

Analýza reálného provozu v období 6. 1. – 26. 1. 2020 poukázala ještě na jeden praktický problém. Tím je (ne)pravdivost údajů o skutečném odjezdu vlaků ze stanic mimo řízenou oblast. Pokud v této sousední stanici dochází k manuálnímu vkládání skutečného odjezdu vlaku do provozní aplikace výpravčím, nelze tuto hodnotu jakkoli zkontrolovat. Protože se někdy bohužel v praxi stává, že výpravčí zadá pozdější časový údaj, než je skutečnost, dochází k posunu trasy v GTN na pozdější čas a tím by ASVC stavělo vjezdovou VC do první dopravní v řízené oblasti později, protože získaný skutečný odjezd naznačuje, že vlak odjel z poslední stanice mimo řízenou oblast opožděn. Reálně je ovšem vlak již na trati. Mezi stanicemi uvnitř řízené oblasti je skutečný odjezd generován automaticky, je tak vyloučena chyba lidského faktoru.

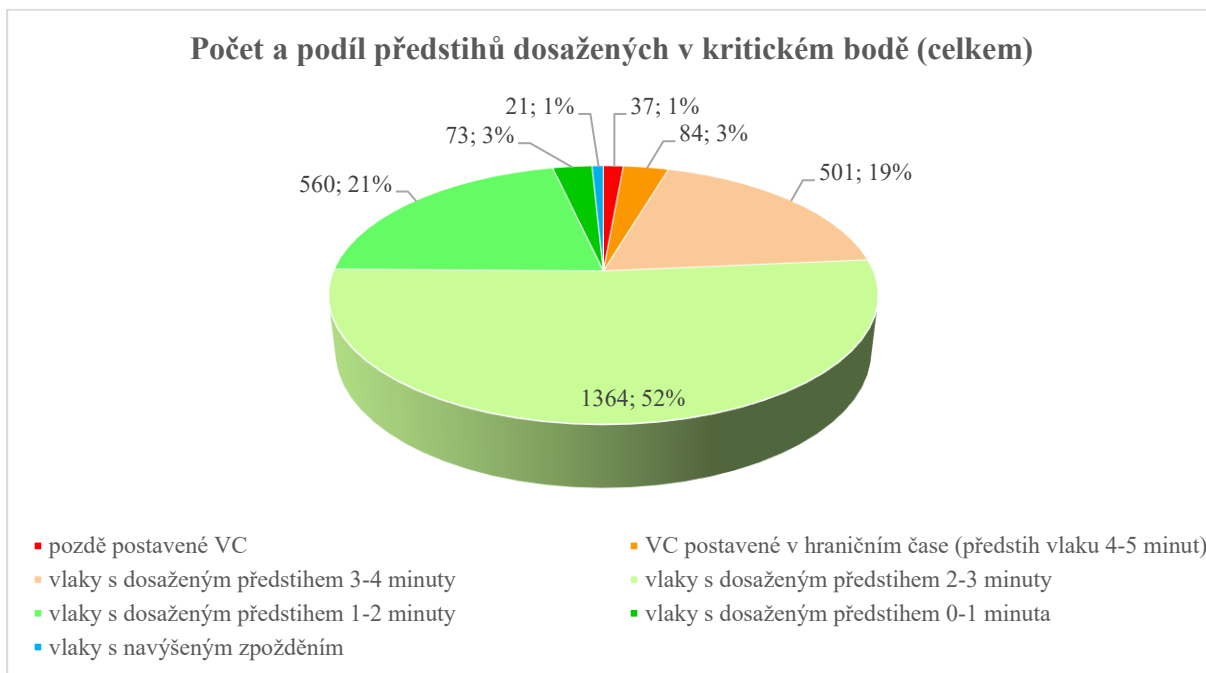
Souhrnný graf dosažených reálných předstihů vlaků pro jednotlivé úseky a směry se nachází na obrázku 4.



Obrázek 4: Souhrnný graf dosažených předstihů ve všech úsecích a směrech řízené oblasti

Zdroj: (1), na podkladě (2)

Celkově v celé řízené oblasti došlo během třítydenního analyzovaného období k pozdnímu postavení vjezdové VC ve 37 případech z celkových 2 640 postavených vjezdových VC (tj. 1,4 % případů), jak je patrné z grafu na obrázku 5.



Obrázek 5: Graf počtu a poměru jednotlivých dosažených předstihů

Zdroj: (1), na podkladě (2)

Všechny případy kritických úseku budou řešeny aplikací geografické metody generování požadavků AVF VC.

## 2. Aplikace geografické metody generování Automatické volby funkce vlakové cesty

Tato kapitola se zabývá obecnou charakteristikou nově vznikající geografické metody generování požadavků AVF VC. Také definuje podmínky, za kterých je vhodné geografickou metodu implementovat, včetně podstaty samotného fungování geografické metody.

### 2.1. Obecné ustanovení geografické metody generování Automatické volby funkce vlakové cesty

Geografická metoda generování AVF VC (dále též jen „geografická metoda“) bude doplňovat již existující časovou metodu charakterizovanou v analytické části bakalářské práce. Využita bude v případech, které budou analýzou vyhodnoceny jako rizikové s ohledem na včasnost postavení VC na základě časové metody generování AVF VC. Oproti časové metodě dojde ke změně okamžiku generování AVF VC, který se nebude odvíjet od času plánovaného příjezdu vlaku do stanice aktualizovaného odjezdem z předchozího dopravního bodu, ale bude záviset na skutečné jízdě vlaku.

Pro samotné vygenerování AVF VC budou stanoveny body odpovídající prvkům v kolejišti, případně obsazení některých kolejových úseků. Jejich aktivací vlivem vlastní jízdy vlaku dojde k vyslání AVF VC pro vjezdovou VC do následujícího dopravního bodu.

Je navrženo stanovit okamžik vygenerování AVF VC vždy v čase aktivování příslušného bodu. Pokud vlak svojí jízdou obsadil rozhodný úsek, či bod, a ještě není postavena vjezdová VC, dojde k vygenerování AVF VC na základě geografické metody.

Tento úsek nebo bod bude dále obecně označován jako inicializační bod.

Technicky je možné využití časového automatu, kdy by bylo AVF VC generováno až po uplynutí stanovené lhůty od aktivace inicializačního bodu. Avšak je obtížné stanovit lhůtu tak, aby byla vjezdová VC spolehlivě včas postavena. Implementace časového automatu by neeliminována rizika časové metody, je však možné ji ve zvlášť výjimečných případech připustit.

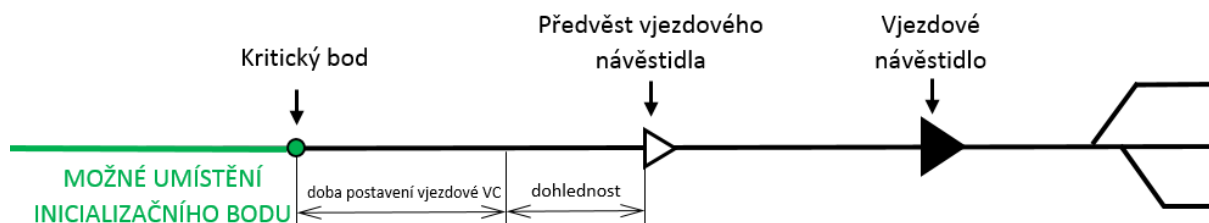
Jedním z hlavních kritérií, které vedou k volbě aplikace geografické metody pro danou VC, je vzdálenost mezi vjezdovým návěstidlem a staniční kolejí, na kterou vlak vjíždí do dopravního bodu. Nemusí se vždy jednat jen o záhlaví a zhlaví, v konfiguracích stanic po rekonstrukci se často vyskytuje vložená staniční kolej mezi záhlavím a zhlavím samotné stanice. Tento jev je v souvislosti s rekonstrukcemi stanic stále častější záležitostí na české železniční síti.

## **2.2. Obecný návrh umístění inicializačních bodů**

Vlaková cesta musí být postavena a dovolující návěst vjezdového návěstidla rozsvícena nejpozději v okamžiku, kdy se čelo vlaku nachází na dohlednost předvěsti vjezdového návěstidla. Tento okamžik je velmi závislý na rychlosti vlaku, která nemusí odpovídat traťové rychlosti. Pro výpočty je v této bakalářské práci vždy uvažována nejméně příznivá varianta, tj. vlak plně využije maximální traťovou rychlost.

Od okamžiku splnění dohlednosti je třeba odečíst čas, který uplyne od vygenerování AVF VC po postavení VC. Tento čas je variabilní v závislosti na počtu prvků potřebných pro postavení příslušné VC a zajištění její boční ochrany (počet výhybek, výkolejek a jejich závislosti, příp. doba uzavření přejezdu a z toho vycházející doba ZRDN).

Bod, který se nachází přesně ve vypočteném místě, kde nejpozději musí při průjezdu vlakem dojít k vygenerování AVF VC, je kritický bod (stanovení kritického bodu viz kapitola 1.3). Kritický bod je optimálním místem pro umístění inicializačního bodu z hlediska propustnosti zhlaví stanice a současně plynulosti jízdy vlaku. Inicializační bod však nemusí vždy odpovídat přímo kritickému bodu. Pro umístění inicializačního bodu bude vždy zvolen nejbližší vhodný prvek infrastruktury reagující na jízdu vlaku, který předchází kritickému bodu nebo s přihlédnutím k místním podmínkám bezprostředně následuje (názorné na obrázku 6). Z výše uvedeného plyne, že nelze obecně deklarovat, kde přesně (ať už dle vzdálenosti nebo času) budou inicializační body standardně umístěny.



Obrázek 6: Schéma umístění inicializačního bodu

Zdroj: (1)

Autorem je v (1) navrhováno rozlišovat pro stanovení vhodného umístění inicializačních bodů, kolik traťových oddílů se v daném úseku mezi dvěma dopravními body nachází. Zda je řešený úsek vybaven traťovým zabezpečovacím zařízením automatickým hradlem bez návěstního bodu (1 traťový oddíl), automatickým hradlem s návěstním bodem (2 oddíly), nebo automatickým blokem (různý počet prostorových oddílů).

#### Trať vybavená automatickým blokem

Pro trať vybavenou traťovým zabezpečovacím zařízením typu automatického bloku je vhodné využít jednotlivých traťových oddílů. AVF VC by se vždy generovalo v okamžiku, kdy vlak obsadí příslušný traťový oddíl před dopravním bodem, pro který je uvažováno postavení vjezdové VC.

#### Trať vybavená automatickým hradlem bez návěstního bodu

Pro trať s automatickým hradlem nelze použít systém, který je navrhován k uplatnění u tratí vybavených automatickým blokem. Inicializační bod bude muset být umístěn na jiný prvek v trati (např. přejezd, výhybka v širé trati atd.). Pro tyto tratě vzhledem k různorodostem jejich parametrů (traťová rychlost, sklony atd.), ale hlavně k specifickému rozmístění vhodných prvků v daném konkrétním úseku, je autorem navrhováno řešit každý kritický úsek individuálně.

#### Trať vybavená automatickým hradlem s návěstním bodem

Pro traťový úsek mezi dvěma dopravními body, který je vybaven automatickým hradlem a který je navíc rozdělen návěstním bodem automatického hradla na dva traťové oddíly, platí uvedené v předchozím pododdíle. Navíc lze pro umístění inicializačního bodu pracovat se samotným návěstním bodem (např. obsazení druhého traťového oddílu ve směru jízdy vlaku, okamžik minutí samotného návěstního bodu atd.). Autorem není v (1) doporučeno uvažovat uvolnění oddílu vlakem, protože není předem známa délka vlaku.

V rámci tratí, na kterých je ASVC v současné době implementováno nebo plánováno, se návěstní bod automatického hradla nevyužívá v žádném mezistaničním úseku uvnitř řízené oblasti. Objevují se však tři případy, ve kterých se návěstní bod automatického hradla nachází na vstupní traťové koleji do řízené oblasti. Jedná se o automatické hradlo (dále jen AHr) Bezděkov u Klatov na trati Klatovy – Železná Ruda-Aižbětín (řešené v (1)), AHr Vchynice na

trati Lovosice – Louny a AHr Verměřovice v řízené oblasti Letohrad (včetně) – Lanšperk (včetně).

### **2.3. Praktické využití geografické metody**

Geografická metoda najde ve valné většině případů využití pro vjezdové VC. Dále je však nutné řešit i odjezdové VC pro případy vlaků dopravním bodem projíždějících. Pokud vlak v dopravním bodě zastavuje, bude odjezdová VC bez ohledu na kategorii vlaku stavěna vždy pouze na základě časové metody.

#### Vjezdová vlaková cesta

Pro stavění vjezdových VC pomocí AVF VC vyslaného geografickou metodou existuje jednoduchý princip. Je-li VC zařazena mezi cesty umožňující stavění na základě geografické metody, jedoucí vlak obsadí určený inicializační bod a jsou splněny všechny příslušné podmínky pro stavění VC, bude vyslán AVF VC pro danou cestu. Jedinou výjimkou je vjezdová VC u vlaků projíždějících. Tato výjimka je současně s navazující odjezdovou VC podrobně rozebrána v následujícím pododdíle.

#### Odjezdová vlaková cesta

Geografickou metodu je nutné uvažovat také pro odjezdovou VC z dopravního bodu v případě, že je vlak tímto dopravním bodem projíždějící.

Vlivem postavení vjezdové VC použitím geografické metody generování AVF VC s časovým předstihem oproti časové metodě může reálně dojít k situaci, že projíždějící vlak nebude mít včas postavenou odjezdovou VC. K aktualizaci trasy v GTN dochází až v momentě, kdy celý vlak vjede na první staniční kolej, a v tento okamžik je již pozdě k postavení odjezdové VC na základě časové metody. Vlak by musel ve stanici zpomalit, případně dokonce zastavit, na vjezdovém návěstidle by byla návěst výstraha. To je u projíždějících vlaků nežádoucí a devalvovalo by to výhody užití geografické metody pro vjezdovou VC. Pro vlaky projíždějící je tedy nutné v rámci geografické metody uvažovat také stavění odjezdových VC.

V této souvislosti je nutné rozlišovat, zda je vlak stanicí skutečně projíždějící, nebo má ve stanici pobyt menší nebo roven jedné minutě. V současnosti ASVC považuje i vlak s krátkým pobytem jako projíždějící.

V (1) je navržena aplikace závislosti stavění vjezdové VC geografickou metodou na možnosti téměř současného postavení odjezdové VC pouze pro vlaky, které ve stanici reálně vůbec nezastavují. Pokud z nějakého důvodu nelze postavit odjezdovou VC, pak by mělo dojít k odložení stavění vjezdové VC na základě geografické metody.

Bude uplatněna výjimka z výše navrhovaného obecného pravidla pro vlaky s krátkým pobytem v dopravním bodě. Těmto vlakům by měla být postavena vjezdová VC na základě geografické metody i v situaci, kdy ještě nelze postavit odjezdovou VC. V praxi totiž často nastává to, že v provozně jednoduchých



stanicích dochází ke křižování dvou vlaků s minimálním pobytem. V této situaci musí ASVC umožnit pro první vlak postavení vjezdové VC na základě geografické metody do stanice, i když je protijedoucí (druhý) vlak ještě na traťové koleji (tzn. pro první vlak ještě nelze postavit odjezdovou VC). Není vhodné s postavením vjezdové VC pro vlak krátící JD „čekat“, až protijedoucí vlak vjede do stanice a bude možné postavit průjezd prvního vlaku, nebo až dojde ke stavění dané VC časovou metodou.

Tato výjimka ošetří i situace v mezilehlých výhybnách bez možnosti nástupu a výstupu cestujících, případně křižování dvou vlaků ve stanici oficiálně nezastavujících pro výměnu cestujících. V těchto případech bude mít pravděpodobně alespoň jeden vlak plánovaný minimální pobyt z dopravních důvodů, a tak mu bude umožněno postavit vjezdovou VC geografickou metodou, ačkoli ještě nelze postavit odjezdovou VC z důvodu obsazení traťové koleje protijedoucím vlakem.

### **3. Zhodnocení**

Hlavním přínosem aplikace geografické metody generování AVF VC je eliminace zpoždění jedoucích vlaků. Implementace geografické metody v rizikových úsecích bude znamenat, pokud to dopravní situace v dopravním bodě dovolí, že přibližující se vlak, který krátí JD, bude mít včas postavenou vjezdovou VC.

Vedlejším přínosem bude úspora trakční energie všech projíždějících vlaků, pro které by mohla absence geografické metody znamenat nutnost zpomalení, či zastavení, před vjezdovým návěstidlem a následný rozjezd. Z toho vyplývá, že k větší úspoře energie by mělo dojít u těžkých vlaků nákladní dopravy, na druhou stranu u těchto těžkých vlaků je spíše nepravděpodobné, že by v úseku mezi dvěma dopravními body zkrátily JD o téměř 5 minut. Proto není pravděpodobné, že by zavedení geografické metody generování AVF VC znamenalo výrazné úspory pohonných hmot hnacích vozidel.

Na rozdíl od původních předpokladů byl během tvorby analytické části (1) objeven také praktický problém týkající se možného vkládání chybného údaje o skutečném odjezdu vlaku do řízené oblasti z dopravního bodu řízené oblasti přímo sousedícího. V závislosti na tamním staničním zabezpečovacím zařízení je často skutečný odjezd vkládán výpravčím manuálně do provozní aplikace. Implementace geografické metody na vstupní úseky do řízené oblasti minimalizuje následky plynoucí z chybně vloženého skutečného odjezdu tím, že reaguje na skutečnou jízdu vlaku ve vstupním úseku do řízené oblasti.

Geografická metoda najde uplatnění napříč všemi řízenými oblastmi, kde je a v budoucnu bude aplikována funkce ASVC. Na rozdíl od dosud využívané časové metody reaguje geografická metoda na samotnou jízdu vlaku a umí tak ve správný okamžik podnítit stavění VC. Tím maximálně podporuje plynulou jízdu vlaků a zvýšení propustnosti (kapacity) traťové koleje i zhlaví stanic.



## **Závěr**

Článek se zabývá analýzou současných funkčních vlastností ASVC, jejich praktickým využitím na zvolené trati a novými funkčními vlastnostmi ASVC.

V úvodu je samotná analýza fungování ASVC a analýza vybrané trati za účelem identifikace rizikových úseků, ve kterých hrozí, že současná pravidla pro automatické postavení VC nebudou vyhovovat ve všech běžně vyskytujících se případech. Výsledky teoretického výpočtu jsou porovnány s analýzou reálného provozu na trati ve zvoleném období. Identifikované úseky jsou dále analyzovány s cílem zjistit, kdy nejpozději musí nastat vygenerování AVF VC pro včasné postavení VC.

Následně je řešen návrh nových funkčních vlastností ASVC, které částečně vycházejí z již užívaných funkčních vlastností s cílem zajistit maximální plynulost a efektivnost železniční dopravy. Nově navržená geografická metoda upravuje okamžik, kdy dochází k vygenerování AVF VC, tj. vydání povelu ke stavění VC. V návrhové části jsou představeny možnosti využití geografické metody v praxi.

Autoři se domnívají, že uvedená problematika najde v budoucnu široké uplatnění nejen na české železniční síti. Z tohoto důvodu považovali za přínosné seznámit čtenáře s touto neustále aktuální problematikou.

## **Seznam zkratk:**

AHr - automatické hradlo

ASVC - Automatické stavění vlakových cest

AVF VC - povel ke stavění vlakové cesty

CDP - Centrální dispečerské pracoviště

DOZ - Dálkové ovládání zařízení

ESA - Elektronické stavědlo

GEK - Grafický editor kolejí

GTN - Graficko-technologická nadstavba zabezpečovacího zařízení

GVD - Grafikon vlakové dopravy

ISOŘ - Informační systém operativního řízení

JD - jízdní doba

JOP - Jednotné obslužné pracoviště

KANGO - Komplexní aplikace návrhu grafikonu online

ND - nákladní doprava

OD - osobní doprava

RDP - Regionální dispečerské pracoviště

VC - vlaková cesta

ZRDN - Zpoždění rozsvícení dovolující návěsti

### **Literatura:**

1. KUČERA, Petr. *Možnosti využití geografické metody pro potřeby Automatického stavění vlakových cest*. Pardubice, 2020. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D.
2. AŽD. Interní materiály AŽD Praha s. r. o.
3. SPRÁVA ŽELEZNIC. Jízdní řád. Správa železnic [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/cestujici/jizdni-rad>
4. SPRÁVA ŽELEZNIC. Roční trasy nákladních a lokomotivních vlaků: Série čísel 87000 - 87999. Praha, 2019.
5. ČD. TNŽ 34 2620 Železniční zabezpečovací zařízení: Staniční a traťové zabezpečovací zařízení. 2. Olomouc: České dráhy s. o., 2002.

Pardubice, červenec 2020

Lektorovali: prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D., Vysoká škola logistiky, o.p.s.  
Ing. Martin Šturma, AŽD Praha s.r.o.

## Příspěvek č. 2

**Robert Číhal<sup>3</sup>**

### **Souvislosti současných aktivit při řešení digitalizace stavební dokumentace s návrhem rozšíření normy IFC pro oblast železnic – IFC Rail a jeho vztah k metodice RTM**

*Klíčová slova: RailTopoModel, railML, IFC Rail, CCI, Digitální technická mapa, Datový standard stavebnictví, buildingSmart International*

**Key words:** *RailTopoModel, railML, IFC Rail, CCI, Digital technical chart, Building Industry Data Standard, buildingSmart International*

#### **Anotace příspěvku**

Příspěvek se zabývá hlavními rysy nově navrhovaného rozšíření normy IFC určeného pro použití zejména ve stavebních projektech typu BIM železnic. Je provedeno srovnání s metodikou RailTopoModel, na níž IFC Rail navazuje a s jazykem railML. Pozornost je věnována i možnostem využití metodiky IFC Rail v aktuálně řešených tématech prostorového popisu zemí a klasifikace stavebních prvků a dalším souvislostem s postupy zavádění metodiky BIM v ČR.

#### **Annotation**

The paper discusses the main features of the newly proposed extension of the IFC standard for use in particular in BIM railway construction projects. A comparison is made with the RailTopoModel methodology, on which IFC Rail builds and with the railML language. Attention is also paid to the possibilities of using the IFC Rail methodology in the currently solved topics of spatial description of countries, construction elements classification and other contexts with the procedures for implementing the BIM methodology in the Czech Republic.

#### **Úvod**

Norma IFC (1) je celosvětovým standardem podpory uplatňování technologie BIM při projektování rozšiřujícího se spektra stavebních činností. V listopadu 2019

---

<sup>3</sup> Ing. Mgr. Robert Číhal CSc., 1946, ČVUT Praha, fakulta stavební, ekonomika stavebnictví, systémový specialista pro dopravní inženýrství a telematiku, KPM CONSULT a.s. Brno, Purkyňova 648/125, PSČ 612 00

byly řešitelskou organizací BuildingSmart International (bSI) vydány 3 dokumenty zaměřené na rozšíření této normativní metodiky i na železnici.

Úvodní dokument (2) poskytuje přehled o projektu IFC Rail jako celku. Analyticky orientovaný dokument WP2 (3) shrnuje řadu podmínek a souvislostí, které by měly jednotlivé části normy IFC v drážním prostředí plnit. A to jak ve vztahu k provozu dopravy, tak k dalším, dosud publikovaným, normám obsahujícím podpory projektování budov, silnic, mostů, tunelů a dalších typů objektů. V dokumentu WP3 (4) pak je následně a značně podrobně, s využitím metodiky jazyka UML, popsáno všech 5 hlavních okruhů informací pokrývaných IFC Rail.

Tato nová iniciativa přichází v době, kdy se pod patronací České asociace pro standardizaci (ČAS), organizace CzBIM a pro železnici i Státní fond dopravní infrastruktury (SFDI) rozvíjí práce na tvorbě Datového standardu stavebnictví (DSS) a souběžně je připravována realizace vyhlášky (5) o Digitální technické mapě (DTM), která ovšem zahrnuje i popis dopravních sítí, a s ní spojeného jednotného výměnného formátu (JVF) (6). V oblasti standardizace popisu konstrukční základny stavebnictví se připravuje využití metodiky Construction Classification International (CCI) (7), v oblasti prostorového popisu železniční sítě je pak předmětem jednání i návrh vyhlášky o Centrální evidenci železničních drah (CEŽD). Proto se příspěvek věnuje i těmto tématům a jejich vnitřním vazbám k IFC Rail a RailTopoModel (RTM) vycházejícího z obsahu směrnice UIC IRS 30100 (8) a možnostem jejich uplatnění na všech drahách ČR.

Metoda BIM začala být rozpracovávána pro potřeby hlavních geodetů rozsáhlých stavebních děl již v 70. letech 20. století. Od té doby se rozšířila nejen po celém světě, ale i přes řadu stavebních oborů. Od r. 2017 se její pozornost obrátila i k železničním stavbám, a také k Číně, kde byl v r. 2015 vydán v tomto prostředí vytvořený projekt CRBIM (9). Následně byl formát IFC vyhlášen za celoevropskou normu pro všechny stavební projekty typu BIM připravované podle výběrových řízení organizovaných orgány veřejné správy. To byl také důvod, proč v r. 2018 ustoupilo konsorcium RailML od původního záměru (viz (10)) podporovat uplatnění BIM na železnici s využitím formátu railML, Což vedlo mj. i k nutnosti přeorientovat tímto směrem i řešení projektu TAČR TL02000312 (11), do té doby zaměřeného právě na metodu RTM a jazyk railML ve vztahu k aplikacím v prostředí BIM, a hledat věcné souvislosti a vazby. Ty byly v pracovní verzi shrnuty ve zprávě RML-6 (12), o níž se tento příspěvek opírá.

## **1. Začlenění IFC Rail do komplexu normy IFC a vztah k RTM**

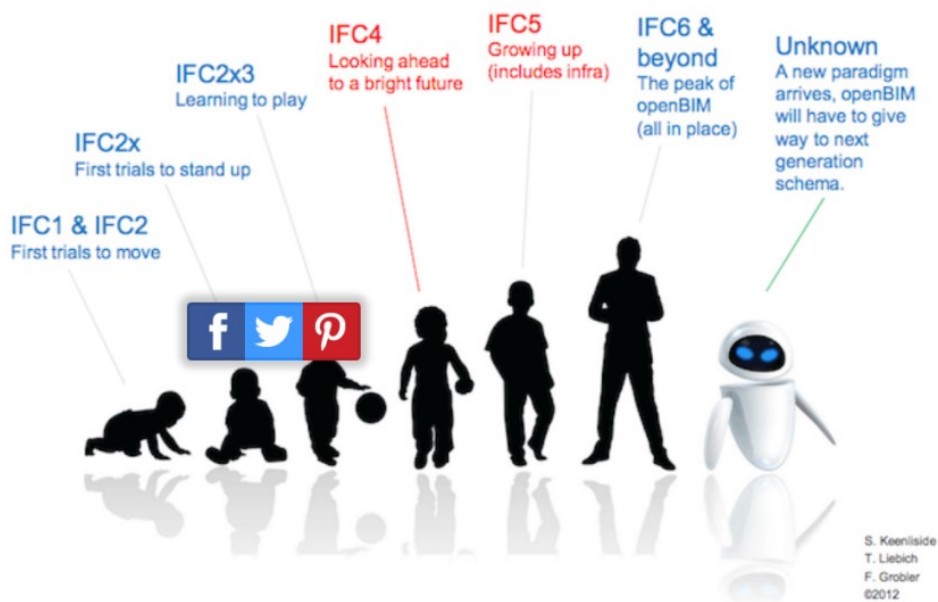
### **A. Základní vazby IFC Rail k popisům dalších stavebních objektů**

Od r. 2013 je v rutinním provozu, zaměřeném především do oblasti aplikací BIM v pozemním stavitelství, verze IFC 4<sup>4</sup>, prezentovaná také jako standard ISO 16739:2013. Publikované schéma růstu jednotlivých verzí normy IFC, vrcholící

---

<sup>4</sup> v praxi jsou ovšem užívány i starší verze, často až IFC 2.3

verzí 5, jejíž jednou z částí by se měla stát i komponenta IFC Rail, je uvedeno na obr. 1.



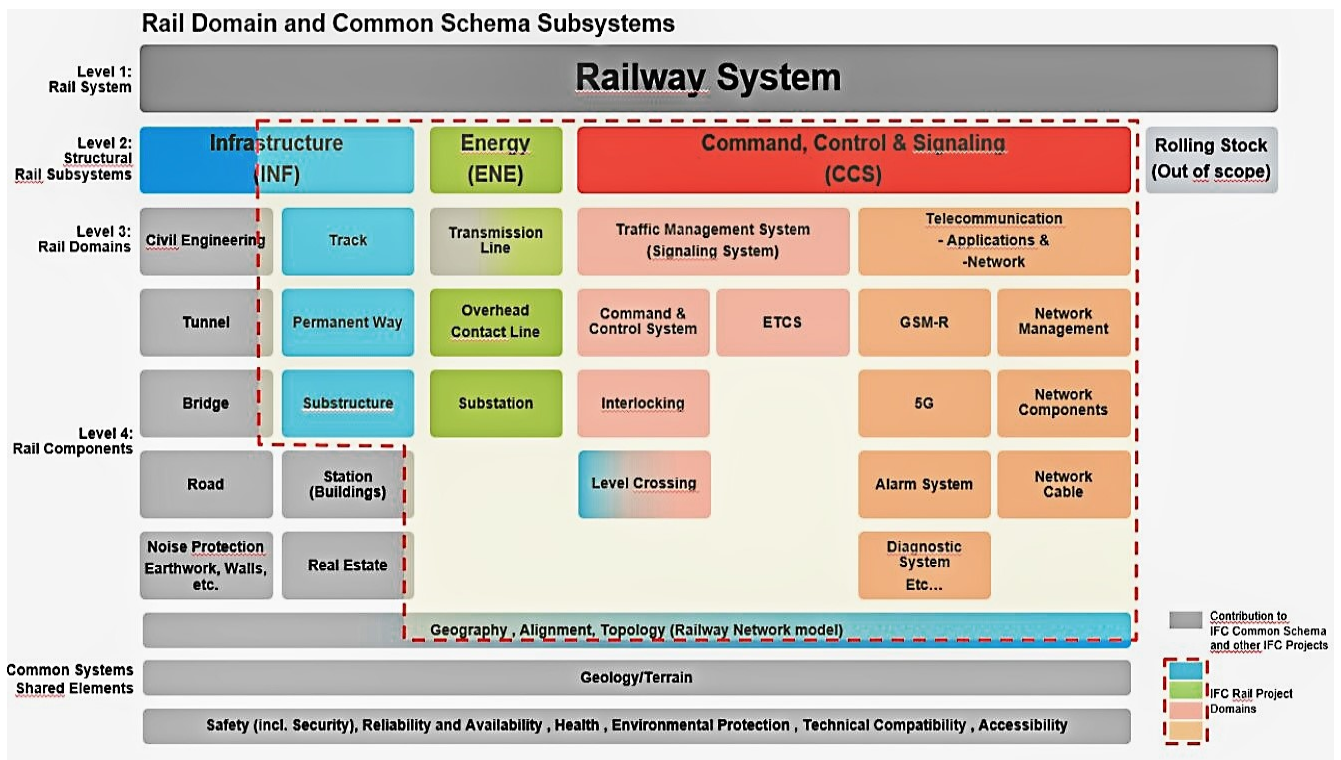
obr. 1 Schéma vývoje jednotlivých verzí IFC (zdroj: <https://blog.areo.io/ifc4-is-it-ready-yet/>)

V této verzi jsou očekávána mj. i vylepšení popisu geometrie, především ve směru k **3D postupům**, ale také k propojování existujících, dosud **relativně nezávislých částí celé metodiky IFC** do jednoho logického celku, podporujícího procesy odehrávající se v celém životním cyklu stavebních děl. Tento záměr je tak věčně spojen s přechodem datové základny z prostředí 3D do mnohem **abstraktnějších stavových prostorů 4D až 7D**.

Celé prostředí IFC je také v současnosti již vysoce standardizováno. Je rozděleno do několika koncepčních úrovní s propracovanými vazbami a postupy. Pro verzi IFC4.2 je lze graficky prezentovat způsobem uvedeným na obr. 2. Kromě již dlouho realizovaných domén (např. Building), byly do formy přinejmenším kandidátů, dovedeny k realizaci i postupy (ze zájmového okruhu bezprostředního okolí železničních staveb) potřebné pro specifické stavebně-technické domény **IFC Road** a **IFC Bridge**, rozpracovaná je doména **IFC Tunnel**.

Za podstatný formální pokrok je potřebné považovat i skutečnost, že **kromě klasického jazyka EXPRESS** (ISO 10303-11) jsou v rámci IFC rozpracovány i postupy využívající schéma **jazyka XML s jeho XSD soubory** (ISO 10303-28) podle doporučení konsorcií OGC a W3C.

V níže uvedeném schématu úrovní a domén tvoří jádro IFC Rail množina entit označených červenou čárkovanou hranicí. V dokumentu WP3 jsou ovšem detailně rozpracované i nižší úrovně potřebné k rutinní realizaci řešení.



obr. 2 Schéma úrovní a domén IFC v bezprostředním okolí IFC Rail (zdroj: (3) obr. 3)

Jako ukázkou, obsahově srovnatelnou s dále diskutovanými částmi IFC Rail i railML lze uvést výběr z XSD souboru popisujícího mj. vrcholovou část 2D horizontálního uspořádání liniových objektů:

```

<xs:complexType name="IfcAlignment2DHorizontal">
  <xs:complexContent>
    <xs:extension base="ifc:IfcGeometricRepresentationItem">
      <xs:sequence>
        <xs:element name="Segments">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element ref="ifc:IfcAlignment2DHorizontalSegment" maxOccurs="unbounded" />
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
          <xs:attribute ref="ifc:itemType" fixed="ifc:IfcAlignment2DHorizontalSegment" />
          <xs:attribute ref="ifc:cType" fixed="list" />
          <xs:attribute ref="ifc:arraySize" use="optional" />
        </xs:complexType>
      </xs:element>
    </xs:extension>
  </xs:complexContent>
</xs:complexType>
    
```



```
</xs:sequence>  
  <xs:attribute name="StartDistAlong" type="ifc:IfcLengthMeasure" use="optional"/>  
</xs:extension>  
</xs:complexContent>  
</xs:complexType>
```

Na první pohled je zřejmé, že až na, pro metodiku IFC specifické, použití předpon „ifc“ v použitých definicích, se tento zápis formálně velmi podobá textům používaným i v railML.

## B. IFC Rail a metodiky RTM a railML

Metodika RTM je vysoce abstraktní dokument zpracovaný v prostředí UML a popisující základní principy prostorového popisu železniční sítě, při zdůraznění zejména vztahů její topologie a geometrie. Je od počátku zaměřena výhradně do železniční oblasti, jakkoli se okruh pomocí ní podporovaných úloh (use case) rozšiřuje. Na rozdíl od metodiky IFC Rail, která jako součást mnohem širěji koncipovaných stavebních postupů, obsahuje významné interní vazby i do jiných odvětví. To ji také více spojuje s digitální dokumentací staveb jako celkem, a také mapami typu DTM a funkcemi orgánů veřejné správy.

Jejím výrazným rysem je funkční členění prvků do několika úrovní podrobnosti. Těch může být podle jejího rozšíření ve v. 1.1 dokonce libovolný počet<sup>5</sup>. Tento přístup je v IFC Rail vyjádřen jen nepřímo, v ustanoveních o vazbách mezi „vyšší úrovní popisu sítě“ – čímž jsou míněny její obecné uživatelské charakteristiky jako prvky zadání stavebních projektů, s důsledky pro volbu vhodných konstrukčních postupů a komponent. A následně i vztahy mezi popisem hierarchicky výše postavených tratí a jejich částmi - kolejišť. Ve skutečnosti tak metodika IFC Rail zahrnuje úroveň „makro“ až cca „-2. úroveň“ pod dosud v railML používanou úroveň „mikro“.

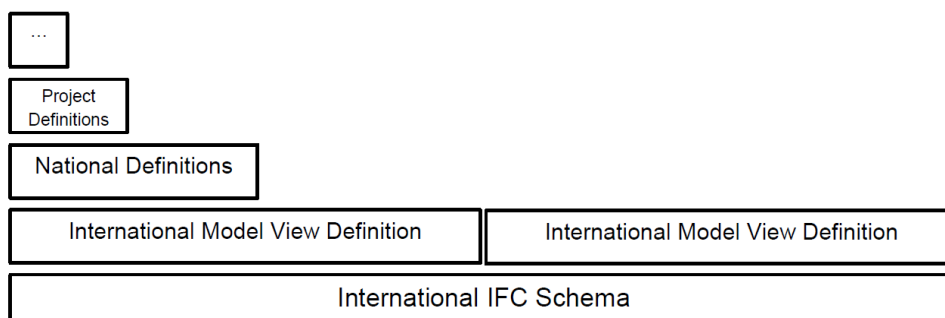
Shodným rysem RTM i IFC Rail je zejména metodický postup popisu sítě zahrnující až základní prvky jednotlivých typů konstrukcí a vedoucí k agregovanějším a generalizovanějším entitám popisujícím ucelené části sítě. To je výrazně patrné na koncepci popisu entity „**track**“ (podrobněji viz kap. 2 C).

Pro RTM i IFC Rail je společná i jejich snaha o **oddělení** topologického, tedy velmi obecného a **abstraktního popisu sítě** jako množiny bodů a hran, umožňujícího mj. použití matematických modelů řešení dopravních úloh apod., od **konkrétního konstrukčního popisu prvků**. Tento stav má řadu důvodů a vnitřně těsně souvisí s potřebou vytvoření standardizovaného systému kategorizace stavebních komponent, např. s využitím techniky CCI diskutované v kap. 3 D

Naopak v obou metodikách je zdůrazněna **nezbytnost individuálního národního až podnikového doplnění základní mezinárodní metodiky** (viz obr. 3) a IFC model musí být **do národních nebo regionálních podmínek**

<sup>5</sup> podrobnější analýza vycházející z možností jednoznačné identifikace v dané úrovni nejmenší popisované entity ukázala až 7 takovýchto úrovní, dosažení srovnatelnosti v pohledech různých odvětví a jejich IS však je obtížné a vyžaduje jak diskusi, tak manažerská rozhodnutí

**jednotlivých uživatelů speciálně adaptován** („lokalizován“). Jeho vlastní návrh však nijak specifikován není, je obecný a neutrální.



obr. 3 Definice zobrazení modelu pro různé rozsahy použití (zdroj: (3) obr. 6)

K synchronizaci takovýchto potřeb bylo navrženo několik scénářů, jak lze definice zobrazení modelu (Model View Definitions - MVD) upravit:

1. doplnit v základním schématu chybějící specificky uživatelské (národní) atributy,
2. použít zástupné (proxy) prvky.

Z hlediska dalšího vývoje je asi významné i to, že v textu IFC Rail jsou na metodiku RTM uvedeny **jmenovité odkazy**, a že pro další etapy vývoje byl dokonce vytýčen úkol směřující k jejich těsnějšímu propojení. Tomu by mohla napomoci mj. i skutečnost, že řešitelské týmy RTM a IFC Rail jsou **propojeny i personálně** a z hledisek využití nástrojů informačních technologií (IT) panuje shoda i v použití základní **metodiky** datového modelování pomocí jazyka **UML**.

Přestože jsou jazyky IFC a railML v detailech rozdílné, po formální stránce existuje ve verzi XML jejich dobrá shoda. Mezi IFC Rail a railML přitom existuje všeobecná shoda i v zaměření na popis topologie a **geometrie** sítě, která je ovšem **v IFC Rail zobecněná** i do oblastí, které **railML nepokrývá** (trakční vedení, drenáže apod.).

Protože je ale IFC Rail v současnosti prezentován pouze v úrovni návrhu struktur UML, jsou oproti němu aktuálně dostupné popisy railML a CRBIM mnohem podrobnější a konkrétnější. Přesto lze provést úvahu o možnosti použití nástrojů vhodných k rozšíření mezinárodní metodiky o národní či podnikové detaily metodou připojení tzv. „**externích namespace**“ XSD v podobě např.:

```
<xs:any namespace="##other" processContents="lax" minOccurs="0"
  maxOccurs="unbounded">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>provide an extension point for non-railML elements in foreign
      namespace
    </xs:documentation>
  </xs:annotation>
</xs:any>
```



Tento postup by mohl být navíc pravděpodobně použitelný i pro rozšíření informačních vazeb drážních informačních systémů (IS), především orientovaných prostorově, s DTM, resp. **JVF** (viz níže).

## 2. Principy popisu železniční sítě v IFC Rail

### A. Všeobecné zásady vyplývající z úvodního dokumentu a analýzy WP2

V současnosti publikovaná dokumentace IFC Rail obsahuje kolem 400 stran textu a navíc i řadu tabelárních příloh, z nichž některé jsou určeny jen kvalifikovaným interním subjektům bSI a týkají se více vlastního postupu prací na rozvoji projektu, než věcného obsahu navrhovaných datových modelů. Na jejím vytvoření se od r. 2017 podílelo v rámci aktivit konsorcia celkem 6 evropských PI – Rakouska, Finska, Francie, Itálie, Švédsko, Švýcarsko a dalších organizací (francouzská projekční organizace SYSTRA, Technická univerzita Mnichov, ale také China Railway BIM Alliance, jako autor projektu CRBIM). ČR ani SŽ se zatím jakýchkoli aktivit bSI neúčastnily.

Není proto možné se v tomto příspěvku ani stručně dotknout všech v projektu obsažených informací. Pozornost tak byla soustředěna jen na ty z nich, které jsou v současnosti aktuální i pro vývoj digitalizace stavební dokumentace v ČR obecně a SŽ zvláště. Zde přitom probíhá mj. modernizace stávajícího IS, počínaje jeho geodetickou částí a prioritním zaměřením na pasportizaci dat správy železničního svršku, jejichž zaměření v zásadě odpovídá obsahu první věcné kapitole IFC Rail. To vyhovuje i směrům rozvoje railML orientovaným na vývoj use case NEST (Prohlášení o dráze) (13) a TRGE (Prostorová poloha koleje) (14).

Plán dalšího postupu prací na IFC Rail má následující priority (citace ze zdroje (3)):

- a) „vytvořit **geometrický model** všech traťových a kolejových prvků železničního systému zajišťujících v uvedených oblastech:
  - fyzické vedení kolejových vozidel – doména **Kolej** (Track),
  - napájení vozidel pomocí trolejového vedení - doména **Energie** (Energy),
  - bezpečnost provozu železniční dopravy - doména **Zabezpečovací technika** (Signalling<sup>6</sup>),
  - komunikační spojení - doména **Sdělovací technika** (Telecom).
- b) integrovat geometrický model všech traťových a kolejových prvků železničního systému se všemi ostatními doménami IFC (Road, Bridge atd.)
- c) poskytnout IFC Rail minimální **funkční vrstvu** pro podporu integrovaného a komplexního digitálního dvojčete obsahující:
  - **geometrický model** (IFC Rail je omezen i provozními funkcemi železničního systému),  
příklad: poloha / umístění<sup>7</sup> návěstidla závisí jak na poloze chráněného prvku (výhybky), tak na funkčních vlastnostech trati (např. konstrukční rychlosti)

<sup>6</sup> tento pojem je v originálu psán s britským i americkým pravopisem, tedy s jedním nebo dvěma „l“, podobně „modelling“, v dokumentu WP3 je zatím obsažena řada takovýchto verzí angličtiny a dokonce i pravopisných chyb

- výkonný **model topologické sítě** (na bázi **UIC RailTopoModel**),
  - standardizaci popisu oblasti zabezpečovací techniky na bázi **EULYNX**<sup>8</sup>.
- d) podporovat vhodný rámec umožňující **sdílení příslušných předpisů** dle pravidel:
- každý železniční systém musí naplňovat soubor určených předpisů,
  - v budoucnu musí konstruktéři železniční sítě získat okamžitou zpětnou vazbu o vlastnostech shody jejich návrhu,
  - systém musí poskytnout rámec pro sdělování příslušných parametrů<sup>9</sup>.

Definice zobrazení modelu MVD navíc umožňuje, aby byly výměny dat mezi modelem IFC a jeho podstatným okolím opakovány, což zajišťuje její konzistenci a předvídatelnost pro různé projekty a SW platformy.

Projekt IFC Rail identifikuje celkem 38 obecných železničních případů použití, přičemž každý z nich je definován názvem, popisem, fází, do které zapadá, zapojenými rolemi, obecnou geometrickou reprezentací a obecnými sémantickými informacemi potřebnými k jeho podpoře. Úplná normalizace všech těchto procesů jde nejen mimo rozsah jednotlivých projektů, ale jako jeden celek je i fakticky nesplnitelná. K vymezení reálně splnitelných částí proto slouží **IFC Rail Reference Process Map**, v němž je celý proces je rozdělen do 6 fází:

1. plánování,
2. předběžný návrh,
3. podrobný návrh,
4. výstavba,
5. provoz a údržba,
6. zrušení a likvidace.

Při aplikaci tohoto schématu je ale nutné vzít v úvahu řadu okolností, které postupy BIM, dosud vyvíjené zejména v prostředí pozemních staveb, významně odlišují od podmínek staveb železničních. Jde především o to, že realizace jakéhokoli nového železničního stavebního projektu se týká vždy pouze lokální částí celého integrálně fungujícího celku s cca 200 letou tradicí. Představa, že by takovýto projekt mohl přímo komunikovat s IS provozu dopravy (s přenosem důsledků provozu jako podkladů pro údržbu) se tak zdá být mimo realitu. Pro tyto účely také mají jednotliví PI dlouhodobě vybudovány specializované postupy i naplněné soubory, z nichž lze na jedné straně čerpat vstupní projektové podklady o skutečném (normativním) stavu zařízení a staveb, ale do nichž je nezbytné dosažené (v rozsahu celé sítě dílčí) výsledky stavebních projektů zapracovat. Současnou variantou je pouze manuální postup. Odtud plyne významná potřeba vytváření standardizovaných rozhraní metodického i IT charakteru.

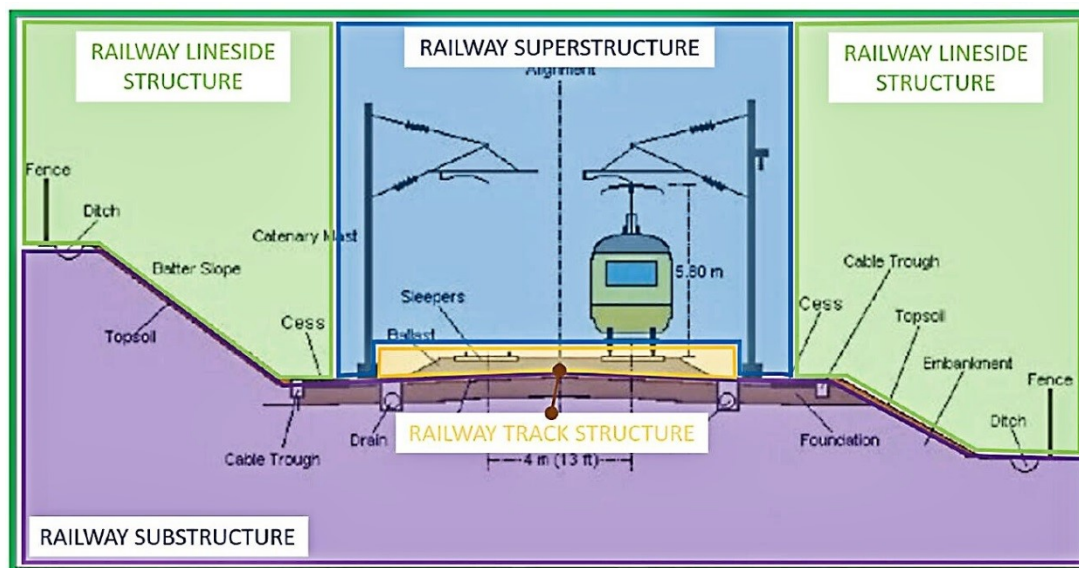
<sup>7</sup> V terminologické praxi IS SŽ, se při vyjadřování prostorové polohy bodu odlišují pojmy „**lokalizace**“, který je spojen pouze s geodetickými souřadnicovými systémy a „**umístění**“, které má obecnější význam a je spojen s libovolným lokalizačním systémem a geokódováním.

<sup>8</sup> EULYNX je evropská iniciativa ustavená v r. 2017 působící v oblasti zabezpečovací techniky, jejímž cílem je snížení cen a doby instalací zabezpečovacích zařízení

Dokument WP2 obsahuje celou řadu věcných předpokladů, podmiňujících nasazení BIM. Např.:

1. Železniční sítě byly tradičně budovány na národní úrovni, ale nyní jsou silně propojeny v **mezinárodním měřítku**. Přeshraniční provoz umožňují **společné** technické normy, jako je např. rozchod koleje. Tyto normy a předpisy poskytují důležitý základ pro interoperabilitu a rychlou a hospodárnou přepravu zboží a osob přes státní hranice, zejména v nákladní a dálkové osobní dopravě. Ve **vnitrostátním kontextu** by však měly být oblasti uplatňování těchto norem **zvláště vymezeny**. Měly by být definovány na úrovni dopravních toků na vnitrostátních drahách a subsystémů. Mohou se přitom lišit na vnitrostátní úrovni nebo dokonce na úrovni jednotlivých železničních společností. Příklady parametrů využití (železniční sítě) na vysoké úrovni (charakteristiky sítě) jsou:
  - dopravní využití (nákladní nebo osobní doprava, vysokorychlostní vlaky atd.),
  - rozchod koleje, prostorová průchodnost, délka vlaku, maximální povolená hmotnost,
  - provozní rychlost, typy elektrizace,
  - pravidla zabezpečení jízdy vlaku atd.
2. Tyto minimální standardy použitelnosti sítě musí být stanoveny a jejich hodnoty navrženy ještě **před projektováním stavby**. Tvoří totiž z hlediska projektu vstupní požadavky na železniční infrastrukturu. Jakmile jsou jednou určeny, je obtížné a časově náročné je měnit. Tyto parametry zahrnují i základní požadavky na drážní vozidla (tedy i budoucí obsah tabulek **Registru infrastruktury**).
3. Pro potřeby přerozdělení specifikací železniční sítě formulovaných na vysoké úrovni na části skutečné železniční sítě a k přesnějšímu určení požadavků je určena entita „**železniční trať**“. Jedná se přitom o infrastrukturu, která **nesmí být zaměňována za „obchodní trati“** železničních společností (např. meziměstská **linka 1** nebo linka S-Bahn č. 4). Generalizovanější úroveň je „**dráha**“.
4. Pro většinu drah již takový pohled na trati v současné době existuje. Často se používá i v běžném jazyce. V kombinaci s názvy stanic je tak často dostačující i k hrubému určení umístění objektů. Často jsou trati a dráhy podle jejich významu v síti nebo zatížení **kategorizovány** již jednotlivými provozovateli infrastruktury (např. hlavní trať, vedlejší trať) nebo na vyšší správní úrovni (např. celostátní dráha).
5. Železniční trať může být jako liniový objekt **rozdělena** v makroúrovni **na více úseků** z důvodů **řízení provozu** nebo specifických požadavků **stavebního projektu**, např. detailní konstrukce, kterou plnohodnotný 3D model železniční trati nezvládne. Pokud však jde o úroveň uspořádání železničních prvků, **neexistují žádné koncepty, které by mohly být použity k jasnému rozdělení projektu železnice ve všech jejích oblastech z podélného hlediska**.

Pro strukturální členění traťových objektů v řezu kolmém na osu trati navrhuje IFC Rail použít schéma uvedené na obr. 4



obr. 4 Členění vertikální a boční prostorové struktury železniční trati (zdroj (3) obr. 21)

Je přitom ale vhodné si uvědomit, jak tento návrh pracuje s pojmem „structure“ a jeho různými předponami. To samo o sobě nejen v tomto obrázku<sup>9</sup>, ale i v dalších jeho použitích je, vedle mnoha dalších pojmů použitých v metodice IFC Rail nové a pochopení souvislostí pak vyžaduje jisté úsilí.

## B. Uspořádání a geometrie tratí a kolejí, popis topologie sítě

Velkou pozornost věnuje IFC Rail práci se systémy staničení, obecně uspořádáním a geometrií tratí i jednotlivých kolejí. Tyto pohledy přitom, v souladu s metodou RTM, odděluje od topologického popisu obou těchto úrovní. Odděleny jsou i pohledy využívající geodetické souřadnicové systémy od jiných systémů (např. místních), ale zejména od **lineárního referenčního systému (LRS)**, k jehož definování po určených úsecích se používá jistým způsobem **definovaná trasa**. Ta může představovat buď **matematicky přesně určenou** osu některé koleje (tento postup se v railML označuje jako „interní staničení“), nebo **alespoň zhruba** sledovat železniční trať s průmětem mnoha nepravidelností (označuje se např. jako „**definiční staničení**“ nebo „traťová kilometráž“) a slouží jen pro první hrubou orientaci v síti nebo i identifikaci objektů. Uspořádání tratě s případným využitím „osy os“ vícekolejné trati **je přitom potřebné jen pro počáteční návrh umístění trati v krajině**. V tomto směru jde o přesnou metodickou shodu i se stavem infrastrukturního popisu tratí v IS SŽ. Samotný termín „uspořádání“ (alignment) se však v IFC Rail používá nejen pro popis průběhu a vlastností kolejíšť a jejich několika geometrií, ale také trakčního vedení, drenáží atd. (srv. tab.71 dokumentu WP3).

<sup>9</sup> viz žlutě zvýrazněné texty na obr. 7

**Geodetický referenční systém** používá geocentrické 3D souřadnice ve vnitrostátním geodetickém referenčním systému nebo jako alternativně mapované v 2D v příslušné vnitrostátní soustavě pomocí mapové projekce. Tou je v ČR zatím systém S-JTSK s vertikálním rozšířením v systému Bpv, přičemž variantně a po schválení lze v SŽ použít i systém ETRS-89. Obecně jde o jeden z aspektů **nutné lokalizace** mezinárodní metodiky **do národních podmínek**.

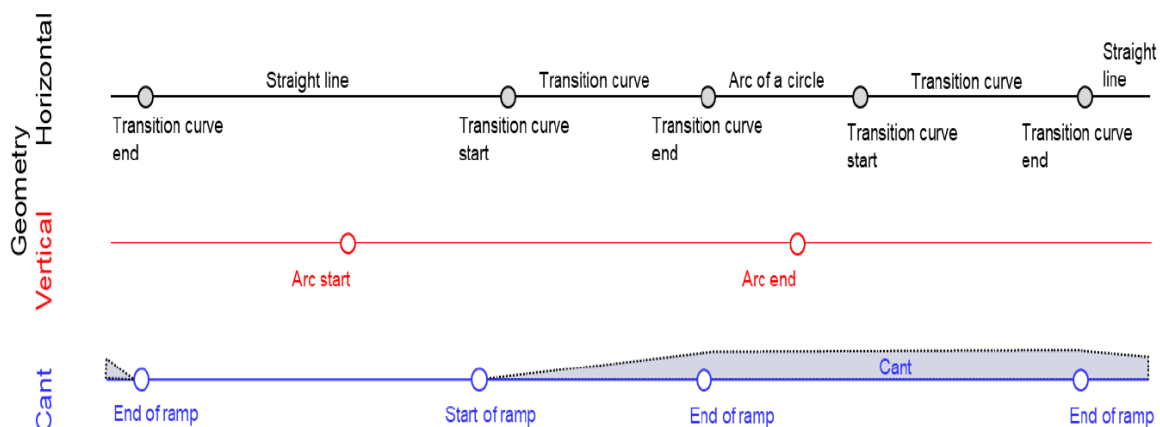
Popis vlastních metod uspořádání v IFC Rail je v současné verzi UML pouze přehledový a metodický, bez formulací detailů, např. konkrétních typů přechodnic apod. Zahrnuje aktuálně známé a rutinně používané metody a dílčí parametry sekvenčně uspořádaných úseků uspořádání:

1. **vodorovného** (2D) v členění přímý úsek, kružnicový oblouk, přechodnice,
2. **svislého** (1D) s údaji o:
  - výchozím bodu se známou vzdáleností ve směru vodorovného uspořádání (uvádí se v metrech),
  - výškou počátečního bodu (m),
  - počáteční hodnotou a směrem sklonu (‰),
  - délkou úseku (m),
  - informací o tom, jak je úsek připojen k následujícímu úseku,
3. **převýšení** (1D) kolejnicových pásů s podobnými údaji jako v bodě 2.

Schematické znázornění vazeb mezi uspořádáními vodorovným, svislým a převýšením je uvedeno na obr.5.

Metodika IFC dále předpokládá, že „někde“ v její datové základně musí být obsaženy i další potřebné vlastnosti tratí, např. průjezdné průřezy, polohy námezníků, návrhové rychlosti a další dynamické parametry. Pozornost je věnována i kritériím propojenosti dílčích úseků (parametry „kontinuity“ a „tečná kontinuita“).

Kromě uvedených rutinně používaných postupů předkládá IFC Rail i možnost práce s **diskretizovanou reprezentací prostorové křivky uspořádání** (neparametrizované prostorové křivky, která prokládá orientovanou sekvenci diskretizovaných bodů rovnými čarami nebo křivkami mezi po sobě jdoucími body). Každá taková množina diskretizovaných bodů pak představuje uspořádání osy koleje jako alternativní reprezentaci geometrie libovolného úseku koleje popsaného v parametrizovaném popisu.

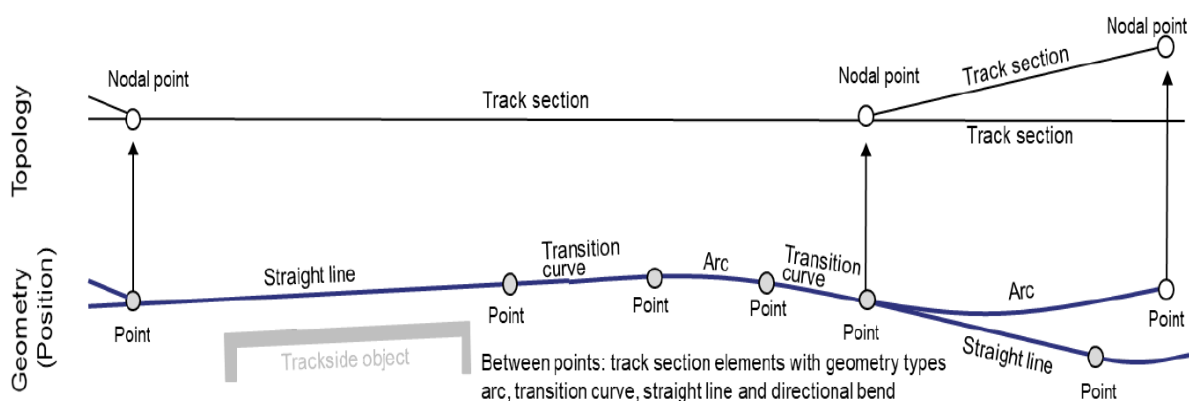


obr. 5 Schematické zobrazení tří rozkladů koleje (v dopravním smyslu) jako parametrizované prostorové křivky (zdroj (3) obr. 16).

**Topologický popis** je zásadně schematický a často ani nepracuje s reálnými hodnotami délek úseků, pouze jejich vzájemnými vztahy (v úrovni tratí i kolejí). Rozeznává pouze 2 entity:

1. kolejový (traťový) **uzel**, který je definován vždy jako bezrozměrný bod ležící na ose kolejové trasy a může být:
  - **křižovatkou** (ovšem pouze tehdy, pokud existuje možnost výběru cesty)<sup>10</sup>,
  - **koncem** (koleje / trati),
2. kolejový úsek (**hrana**), která vždy spojuje 2 uzly a má definovaný směr.

Podobně jako railML, tak i IFC Rail poskytuje nástroje pro vyjádření relací mezi topologickým a geometrickým popisem sítě. (obr. 6).



obr.6 Uspořádání (geometrie) koleje a jeho vztah k jejímu topologickému popisu (zdroj (3) obr. 15)

<sup>10</sup> proto křižovatkou není konstrukce „kolejová křižovatka“ s jednoznačným pokračováním jízdy vlaku, ale podle metodiky IFC Rail je jí výkolejka

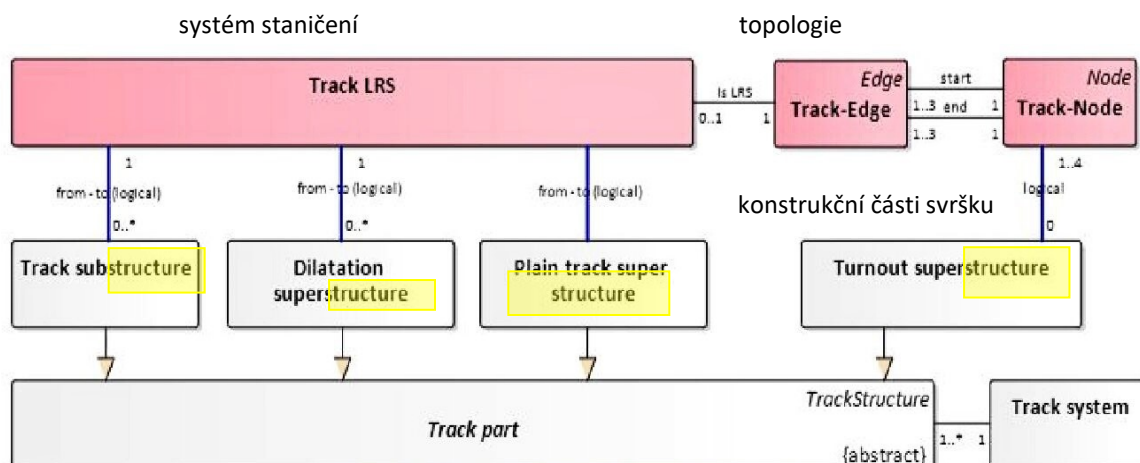


### C. Železniční svršek a jeho podstatné funkční okolí

Kapitola projektu zaměřená na popis konstrukce železničního svršku a jeho podstatného funkčního okolí tvoří v tomto období nejnámennější část modelu IFC Rail a i proto na ní byla zaměřena největší pozornost. Její jádro tvoří definice třídy „**Track**“, která je chápána v komplexním smyslu, a svým průběhem blízkému kontinuálnímu dopravnímu pohledu na kolej<sup>11</sup>. Avšak zahrnujícím i širší technické podstatné okolí samotného kolejového roštu (např. pražcové podloží, prvky naspů, zarážedla apod.), překračující v SŽ zavedené hranice kompetencí jednotlivých správců infrastruktury. Na druhé straně jsou ale až na kolejnicové komponenty rozloženy i konstrukce výhybek (jazyky, srdcovka, přídržnice, opornice atd.), přičemž prvky zabezpečovacího charakteru (přestavníky, ohřev atd.) jsou popsány v doméně „**Zabezpečovací technika**“.

V použitém modelu hraje klíčovou roli pojem „**panel**“ (viz obr. 7), který označuje konstrukci částí základních skupin železničního svršku, tedy **běžné koleje** (ve stavebním smyslu), **dilatačních zařízení** a **výhybek a výhybkových konstrukcí**. Z funkčního hlediska je celý železniční systém definován jako bezešvá sekvence uvedených 3 typů „panelů“, která sleduje určenou topologii a uspořádání<sup>12</sup>.

**Kolejový panel** sleduje uspořádání koleje ve 3D prostoru a jeho průběh tak je po geometrické stránce jednoznačně určen prostorovými charakteristikami osy koleje, která vede uprostřed mezi temeny kolejnic. V provozu je kolejový panel zpravidla považován za jednu jednotku, a to nejen při plánování projektů, ale také jako součást četných opatření údržby železničního svršku jako celku.



obr. 7 Základní vztahy mezi entitami třídy Track<sup>13</sup> (zdroj (4) tab. 2 výřez a tab. 15)

<sup>11</sup> v tomto modelu koleje se ale nepočítá s polohami návěstidel a námezníků jako body omezujícími „užitnou délku koleje“ (v dopravním významu pojmu „Track“), pro popis kolejové trasy („Track“ ve stavebním smyslu) se berou v úvahu konce a skutečná stavební délka prvků

<sup>12</sup> Tuto vlastnost má i současný rutinně již více než 15 let provozovaný IS SŽ. S tím rozdílem, že je objekt „**železniční systém**“ specifikován jako „**kolejová trasa**“ a „**výhybkový panel**“ jako příslušná větev výhybky nebo výhybkové konstrukce reprezentovaná zpravidla opornicemi. Právě dokončované nové řešení doplňuje v popisu kolejové trasy i dilatační zařízení.

<sup>13</sup> žlutě označené texty ukazují verze pojmu „structure“ použitého i na obr. 4

**Výhybkový panel** je, podobně jako panel kolejový, tvořen běžnými<sup>14</sup> kolejnicemi, jejich upevněním a speciálními výhybkovými pražci. V tomto smyslu má s kolejovým panelem i další shodné vlastnosti (např. celistvost konstrukce, sledování osy koleje, význam pro plánování údržby atd.). Výhybkové panely však obsahují i specifické výhybkové objekty, jako jsou srdcovka, přídržnice, výměny, kluzné stoličky atd., kromě těch, které byly zařazeny mezi prvky zabezpečení. Výhybkový panel má vlastní interní referenční systém, který je zaznamenán v „Plánu instalace“ (montážní schéma).

Poněkud překvapující je přitom skutečnost, že koncepční návrh WP3 si, na rozdíl od analýzy WP2, vůbec **nevšímá výhybkových konstrukcí** (křížovatkové výhybky, dvojité kolejové spojky atd.), případně způsobů začlenění jejich větví do sekvence třídy „Track“ a dalších detailů, které z výhybek dělají značně složité strojírenské a elektrotechnické konstrukce. Rovněž překvapující je až akademicky sterilní mechanismus dekompozice částí výhybek až na **kolejnicové prvky**, bez jediné zmínky např. o speciálních konstrukcích srdcovek reagujících na potřeby dodržení geometrie výhybky dle určeného uspořádání a návrhových rychlostí vozidel (obloukové, s pohyblivými hroty, ze speciálních slitin atd.). Totéž se týká i komplexněji pojatých postupů technické realizace komentovaných jen suchým konstatováním o „sledování geometrie uspořádání“ (stupňové a poměrové systémy, jednostranné, oboustranné konstrukce atd.). Možné vysvětlení tohoto přístupu, vedoucí k nezbytnosti vytvoření dalšího **specializovaného mechanismu lokalizace metodiky** ve smyslu obr. 3 zřejmě spočívá nejen v silné závislosti způsobů řešení těchto detailů na **dodavatelských** (zpravidla národních) **podmínkách**, ale i zastaralosti normy EN 13232-1, podle níž však např. popisuje výhybkové konstrukce i CRBIM.

V této části pokračuje metodika WP3 celkem v 11 kapitolách s více než 50 podkapitolami v podrobnějším popisu jednotlivých konstrukcí svršku a jeho funkčního okolí. Přitom je, s praxí IS SŽ v zásadě souhlasně, **základní popisovaný objekt** definován jako „úsek koleje“ společný pro všechny objekty konstrukce koleje, které tvoří její součásti, a která má jedinečný konstrukční a funkční typ<sup>15</sup>. I zde ale platí **princip obecnosti popisu**, který se nikde **nezabývá konkrétní kvalitou konstrukčních detailů** vyjadřovaných v IS SŽ pomocí **číselníků**<sup>16</sup> (např. tvarů svršku, pevnostmi oceli, typů pražců, sestav upevnění atd.). I tato oblast je nutně ponechána ke specializované **lokalizaci do národních a vnitropodnikových podmínek**.

<sup>14</sup> tato původní formulace IFC Rail významně zanedbává skutečnost, že jsou citované Vignolovy kolejnice použité v konstrukcích výhybek specificky upravovány – frézovány do formy jazyků, ohýbány, zpevňovány nebo jsou pro jejich výrobu, zejména srdcovek, používány mechanicky zvláště odolné slitiny

<sup>15</sup> v IS SŽ se přitom uplatňuje mechanismus dynamické segmentace, umožňující algoritmicky pracovat s úseky kolejové trasy délky teoreticky až 1 mm

<sup>16</sup> způsobům práce s číselníky obecně je věnováno speciální ustanovení, vylučující např. s jejich pomocí definovat typy objektů – jde nepochybně o přenos obecných principů IFC do železničních podmínek – zde se předpokládá součinnost s klasifikačními systémy – viz kap. 3D



V tomto členění modelu železničního jsou popisovány hlavní rysy a členění konstrukcí:

- **kolejnic** (na výhybce tato třída zahrnuje i srdcovku, jazyky, opornici atd.),
- **styků** (vč. svařovaných a izolovaných),
- **upevnění** kolejnic<sup>17</sup>,
- **pražců** (obecněji kolejnicových podpor),
- **pražcového podloží**, zahrnujícího ovšem kromě štěrkového lože i geotextilie a řadu typů konstrukcí pevné jízdní dráhy (panelové, zřizované in-situ atd.),
- **zpevňujících zařízení** (opěrky proti putování, pražcové kotvy a další),
- **krycích vrstev** kolejí (např. na přejezdech) a absorbérů hluku,
- **ukončení** uspořádání koleje, zahrnující příslušná návěstidla i zarážedla,
- **zajišťovacích značek** prostorové polohy koleje,
- a dalších, převážně staničních vybavení, jako jsou **kolejové váhy**, kolejové **brzdy** a jiná vybavení spádovišť, zařízení pro **mazání** kolejí atd.

Specifikou této části metodiky je skutečnost, že u řady uvedených zařízení a konstrukcí jsou uváděny poznámky o jejich provozních vlastnostech (např. jako zdrojů hluku nebo nestabilit roštu), které snad mají význam pro projektanty, ale z hledisek návrhu samotného datového modelu jsou bezcenné. Větší potíž ale spočívá v tom, že u mnohých z nich lze sice z anglicky psaných textů pochopit ontologii dané entity, ale v disponibilních slovnících nelze nalézt v praxi již zavedený a přesný překlad názvů použitých v dokumentaci IFC Rail. I proto vyžaduje tento aspekt metodiky směřující k všeobecně přijatelné terminologii **kolektivní součinnost** několika specialistů. Což se ale ještě více týká jejich dalších částí.

#### D. Zabezpečovací technika

Doména „**Zabezpečovací technika**“ zahrnuje v 16 hlavních kapitolách na cca 50 stranách rozsáhlý sortiment mnoha typů zařízení, pohybujících se na hranici základní elektrotechniky (např. kabeláže a baterie) a systémů dopravní telematiky (počínaje prostými zámky výhybek, přes standardní návěstidla a jejich řízení až po systém ETCS s jeho balízkami a dalšími zařízeními). Kromě jejich výčtu a základního popisu obsahuje, podobně jako i u dalších balíčků i popis jejich prostorového rozmístění, které v této skupině do značné míry sleduje základní topologii sítě.

O velké části těchto prvků platí téměř vše, co bylo konstatováno výše o problematice terminologie a jejich vztahu s ontologickými popisy jednotlivých entit. Za vcelku bezproblémové lze považovat obecné popisy:

- **návěstidel** (ovšem až na přesné výčty jejich typů a dopravní specifikace, které opět kandidují mezi **národně lokalizované oblasti**),
- **zabezpečení výhybek**, zahrnující především zámky a návazně další prvky jako jsou přestavníky, závěry, externí zámky a výměníky, ale také **ohřev** výhybek a montážní zařízení,
- **výkolejky**, zarážky a další zařízení pro brzdění vozidel,

---

<sup>17</sup> za zmínku stojí, že je zde sice popisována podložka, ale nikoli podkladnice

- **přejezdy,**
- **kolejové obvody** a počítačla náprav a další detektory, které se svrškem nejvíc sdílejí jeho geometrii.

Poněkud specifičtější podmínky i terminologii mají např. **zařízení pro místní řízení** s vazbami na provozní pravidla, ochranná zařízení **vlaků**, vybavení umístěná v **budovách** a řídicí aparatury. Všechny tyto skupiny jsou více svázány s prostředím jednotlivých PI, a proto si nepochybně vyžádají rozsáhlejší národní, případně vnitropodnikovou lokalizaci obecné metodiky.

## E. Sdělovací technika a Energetika

V zásadě totéž lze říci i o celé doméně **Sdělovací techniky**, která jako celek má ještě více obecně elektrotechnický, než specificky drážní, charakter. Jde o zařízení často umístovaná v budovách a působící i bezdrátově, takže pro ně zásady uspořádání a geometrie kolejí nemá žádný význam. Z tohoto hlediska mají k tratím nejbližší klasická **linková telefonní vedení** a podobné kabeláže. Na druhé straně takového seznamu pak stojí **mobilní sítě** (GSM-R, WiFi), **jízdenkové automaty** a obecné **informační tabule**, zařízení pro **synchronizaci času** a další. Zcela specifická jsou zařízení pro **detekci přírodních katastrof** s vlivem na železnici a monitorovací **systemy narušení chráněných prostor** cizími subjekty, která se týkají ucelených částí provozních ploch nacházejících se v rámci ochranného pásma dráhy a s vlastními tratěmi nemusí mít nutně příliš společného.

Stejně jako slaboproudá, tak i **silnoproudá** kabelová vedení domény „**Energetika**“ mohou v zásadě vést v ochranném pásmu dráhy libovolně nebo i mimo něj a vlastní kolejíště mohou, při zachování jistých technických zásad, libovolně mimoúrovňově křížit.

Jistou příbuznost s prostorovým umístěním kolejí tak mají pouze zařízení podporující elektrický pohon vozidel:

- **trakční stožáry** a celý systém **trakčních vedení**, prostorově modelovaný vlastním systémem uspořádání po **napíacích úsecích** se systémy **kotvení**,
- **zdroje energie** (měnící, transformovny atd.) vč. jejich jištění a spínání,
- koleje jako **vodiče zpětného proudu a uzemnění** (a v tomto rozsahu i různých spojovacích prvků).

Naopak opět velmi specifický je prostorový i funkční model celého systému **podzemní kabeláže, řízení a ochrany odběru elektrické energie** (trakční a ostatní), **záložních zdrojů** i dalších elektrotechnických zařízení a vedení (vč. uvnitř budov). I v uvedených, a jistým způsobem s vedením kolejí příbuzných, případech však existuje **celá řada specifík** systémů kolejí a vedení, souvisejících (kromě rozdílů spočívajících v ryze technické odlišnosti zařízení silnoproudé energetiky a kolejí) např. s řešením souběhů drah v okolí stanic, délkově a funkčně omezené elektrizace mezistaničních úseků sloužící jen pro potřeby staničního posunu apod. Informační popis celého tohoto komplexu ve funkčních a prostorových vazbách, počínaje prostým, ale kvalifikovaně

provedeným překladem metodiky, proto vyžaduje rozsáhlou součinnost mnoha odborníků.

### **3. Vztahy obsahu IFC Rail k podstatnému informačnímu okolí**

#### **A. Všeobecné úvahy**

Publikace nadnárodní metodiky IFC Rail právě v této době je z řady hledisek příznivá, protože zapadá do souběhu několika, již výše zmíněných vnitrostátních procesů. Ty se týkají jak obecné digitalizace IS stavebnictví vč. přípravy podmínek nasazení metodiky BIM v širším rozsahu, tak prostorového popisu území ČR jako celku, a v tomto kontextu i železniční sítě. Ale nakonec i vnitropodnikových podmínek SŽ, kde za aktivní součinnosti s experty SFDI i ČAS probíhá proces modernizace dotčené části IS. Zapomenout nelze ani na příznivě orientované aktivity konsorcia RailML.

V tomto kontextu může metodika IFC Rail, jakkoli ještě nedokončená, sehrát roli přinejmenším ukazatele, co lze očekávat od mezinárodní odborné komunity, a co je nutné řešit doma. Z výše uvedených ukázek a komentářů ke všem kapitolám dokumentu WP3 je již zřejmé, že v základní filosofii přístupu ke stavebně-technickému popisu zařízení a staveb drah byl přinejmenším ve svých počátcích IS SŽ nastaven v dobré shodě s metodickými, v současnosti postupně normalizovanými, principy. To ale samo o sobě k jejich úspěšnému využití ve stavebně-technických projektech a návazně dokumentaci státní správy i IS dopravy a přepravy ani zdaleka nestačí.

Velkou pozornost je totiž nutné věnovat právě těm oblastem, které mezinárodní metodika z dobře vysvětlených důvodů neřeší, ani řešit nemůže. Jde především o **metodiky identifikací** všech v IFC popisovaných entit od nejobecnějších (sítě dopravně významných bodů, tratí a kolejí) až po nejdetailejší konkrétní (kolejové a další technické prvky, zajišťovací značky atd.) i abstraktní entity typu metadat (organizační celky, dopravně provozní parametry vyšších úrovní – rychlosti, profily, charakteristiky trakce, frekvence přenosů dat atd.).

Odtud plyne, že lokalizace metodiky IFC jako celku (tedy nejen Rail, ale i navazujících) do podmínek ČR a jejího (železničního) průmyslu i provozovatelů infrastruktury, projektantů a stavebních organizací i státní správy je skutečně, v souladu s metodickými dokumenty SFDI, během na dlouhou trať. Ve svých důsledcích mnohem delší, než je její přípravná etapa do skutečného startu legislativně podpořeného používání metod BIM, ohlášená na r. 2022. Pokusme se proto alespoň dotknout tří významných a aktuálně řešených témat.

#### **B. Digitální technická mapa a její jednotný výměnný formát**

IFC není jediným možným nástrojem sloužícím digitalizaci stavební dokumentace a projektování obecně. Na vyšší úrovni obecnosti jsou totiž nezbytné přinejmenším mapové podklady celkové situace staveb (ať už novostaveb či modernizací nebo dalších stavebních počínů), sloužící mj. i jako podklady pro rozhodování stavebních úřadů. Z těchto důvodů je jako součást digitalizace stavební dokumentace, avšak na mnohem méně podrobné úrovni než je IFC obecně, řešena DTM, deklarovaná vyhláškou (6) a vycházející prioritně ze

zkušeností správy v současnosti dosluhující **digitální dokumentace krajů a obcí**.

I z naposledy uvedeného důvodu je DTM stavěná na v zásadě **decentralizovaném provozním modelu**, v němž jeho hlavní centrální složka a vydavatel vyhlášky – ČÚZK – poskytuje pouze nezbytné IT prostředí. Řada zásadních otázek spojených s plným rozsahem jejích funkcí a účelů, zatím není, pro svůj **faktický rozsah** a paralelnost **mnoha souvisejících a vzájemně se ovlivňujících procesů**, přesně formulována a očekává se proto její doplňování podle nově indikovaných potřeb praxe. Mezi nimi hrají svou roli i úlohy a postavení **velkých centralizovaných správců technické a dopravní infrastruktury** a určení rolí **státních orgánů** v procesu celého systému **garancí kvality** všeobecně poskytovaných dat v provozním modelu DTM a formalizovaných ve věcně souvisejícím JVF. Samostatnými problémy jsou ochrana datového a provozního prostředí a zajištění aktuálnosti a kvality dat.

Souvislost těchto skutečností s IFC plyne z toho, že dlouhodobě se předpokládá možnost naplňování **obsahu DTM** nejen z **existujících** datových základů všech dotčených subjektů, ale právě i z **obsahů realizovaných projektů BIM**. To by se mělo týkat i staveb dopravních, vč. železničních. Právě do této míry obecnosti tak mohou směřovat i tendence k propojení IFC Rail s RTM jako nástrojem zahrnujícím i více generalizované entity železniční sítě. Možná v blízké budoucnosti i **obvody a ochranná pásma drah**. Nutnou, nikoli však zcela postačující, podmínkou datové kompatibility, a tedy i efektivního řešení datového rozhraní projektů řešených na bázi IFC s DTM, je však alespoň základní **soulad mezi principy**, na nichž jsou oba systémy stavěny. To v případě DTM, resp. JVF, znamená jejich (alespoň principiální, nikoli nutné totální) soulad s obsahem a strukturou IFC a nepřímo i zásadami organizace a kategorizace částí sítě podle Zákona o drahách 266/1994 Sb. v aktuálním znění.

V prvním přiblížení je z tohoto hlediska příznivá skutečnost, že JVF je, podobně jako railML, navržen na **bázi XML**. Takže přesto, že oba formáty nejsou a nikdy nebudou přímo slučitelné, mohly by být alespoň do té míry podobné, že by potřebné konverze mohly být možné. Právě zde ale nastupují **další podmínky**, z nichž některé ani nejsou v IFC přímo zahrnuty. První, zcela zásadní, spočívá v tom, aby DTM a JVF respektovaly **standardní drážní terminologii** a strukturalizaci sítě drah všech kategorií v jejich členění na **jednotlivé trati** (což je podstatné zejména u sítě celostátní, která je uzavřená a může jí procházet libovolné množství dopravních **spojů** a linek) a následně **koleje** a jejich podstatného okolí. K praktické realizaci požadovaného rozhraní pak je nutná druhá podmínka, a to standardizovaný **systém identifikace a kvalifikace** všech dotčených entit. To samo o sobě však neřeší ani IFC, ani DTM. Ale zatím, bohužel, ani žádná státní legislativou podpořená a všeobecně závazná metodika.

### C. Centrální evidence železničních drah

Takovýmto nástrojem by se mohl stát diskutovaný obsah vyhlášky o **CEŽD<sup>18</sup>**, která by měla poskytnout přinejmenším vyčerpávající pravidla standardizovaného prostorového a funkčního popisu celé železniční sítě v ČR a stabilizovat je na stavebně-technickém centralizovaném principu. Platí to ovšem i naopak. Právě uvedené aplikace BIM a DTM si vznik této vyhlášky, navrhované již od r. 2005 celkem potřetí, přímo vynucují. Dosavadní metody zobrazování a identifikace částí sítě založené jen na **dopravně-provozních**, a tedy přinejmenším **časově málo stabilních**, principech se pro tyto aplikace totiž ukazují jako zcela **nevhodné**. To plyne i z obsahu dokumentu WP2, který před zaměňováním stavebních a provozních (v originálu „business“) „trati“ **výslovně varuje**.

V souhrnu výše připomenutých potřeb národní lokalizace principů IFC jde o identifikace a provozní modely správy dat o entitách popisujících zejména:

- všechny úrovně **dopravně významných bodů** (počínaje topologickými uzly malých měřítek až po hraniční body jednotlivých PI),
- **trati a kolejiště** ležící mezi těmito body<sup>19</sup>, provedené na bázi potřebným způsobem novelizovaných pravidel **úředních povolení provozování dráhy**,
- **železniční přejezdy** ležící ve veřejně přístupném prostoru,
- další potřebné technicky interoperabilní charakteristiky sítě „vyšší úrovně“ (používaná napětí, frekvence, rozchody, průjezdné profily atd.),
- základní **geodetické metodiky** (souřadnicové systémy, návaznosti na katastrální a další všeobecně evidenční a stavební postupy atd.).

Jejich podrobnější výčet a normativní vyjádření formou vyhlášky (a jejich potřebných příloh) rozvíjející Zákon o drahách, je proto **úkolem nejbližšího období**.

### D. Datový standard stavebnictví a metodika CCI

Ani CEŽD však nepokryje všechny potřeby národní lokalizace IFC Rail, resp. celé metody IFC. To se týká zejména **identifikace a výčtu technicko-provozních charakteristik konstrukčních prvků a větších stavebních celků**, které by v celostátním pohledu měly tvořit soubor **DSS** připravovaný pro železnici v kompetenci **SFDI**. V dlouhodobějším pohledu tak v podstatě jde o výrazně modernizovanou podobu bývalých klasifikací JKSO a JKPOV, na jejichž základě byly v 70 – 80. letech minulého století navrhovány systémy označované jako „ASŘ“.

V současnosti však české stavebnictví nemá všeobecně respektovaný klasifikační systém objektů (prvků, konstrukcí atd.), takže mezi všemi zúčastněnými odbornostmi neexistuje žádný společný „jazyk“. Podle dokumentu ČAS (7) je pro tyto účely navrhována metodika CCI postavená na bázi normy ČSN ISO 12006-

<sup>18</sup> v první fázi ještě nemusí jít o vyhláškou upravený samostatný IS, ale právě o metodiku prostorového popisu sítě, jaký je pro pozemní komunikace obsažen ve vyhlášce MD 104/1997

<sup>19</sup> srv. obsah předpisů SŽ SR70 (15) a M12 (16) s návrhem identifikací tratí dle metodiky (17)



2:2015, kterou je ovšem potřebné pro použití na stavbách drah detailně dopracovat.

Navrhovaná metodika pracující ve formátu 5 úrovní (třída až element), by měla zajistit funkční propojení s popisnými vlastnostmi v IFC a vytváření datových šablon sdružujících seznam vlastností pro určité části staveb, které budou detailně a v čase variabilně popisovat různé jeho vlastnosti a pak tyto šablony klasifikovat do jednoduchého klasifikačního systému ve stejném tvaru nezávisle na účastnících výstavby. V prostředí drah je zřejmé, že uvedené úrovně přibližně odpovídají členění popisu podle RTM „mezo“ (úsek trati) až k „mikro“ (ucelený stavební prvek např. výhybka) a níž (např. přestavník). Toto zobrazení by mělo být **logicky konzistentní** se schémata IFC Rail.

Je přitom významné, že tento, ale ani jakýkoli jiný srovnatelný systém, **není s IFC Rail ani metodami RTM a railML v přímém rozporu**, protože se jedná o zcela **jiný a specifický pohled na stavební konstrukce**, které naopak **oběma mezinárodním železničním metodikám zcela chybí**.

Takto navržené klasifikace ovšem mohou **přijít do sporu** s aktuálními rutinně používanými **metodikami pasportních evidencí**, založenými na tradici zadávacích a dodavatelských dokumentací všech typů prvků železniční infrastruktury, jejichž metodiky jsou dlouhodobě stabilizovány v řadách předpisů<sup>20</sup> a jejich služebních rukovětech, a které jsou dále respektovány příslušnými SW nástroji. To vše by se muselo přinejmenším upravit tak, aby byla zaručena **jednoznačná vazba mezi projekty navrhovanými s využitím nově přijatých standardizovaných zásad**, (případně podpořenými i mechanismy kalkulací a dalšími BIMovskými nástroji) a **rutinní provozní praxí**.

## Závěry

I z prezentovaných stručných ukázek je zřejmé, že IFC Rail je, podobně jako railML, koncipován **technicky integrovaně**. To se projevuje mnoha způsoby, které bude ve vztahu k současné praxi zřejmě nutné řešit cestou **vhodných datových rozhraní** (možná i na bázi railML). Pro jeho budoucí uplatnění však je celkově výhodné, že **v IS SŽ lze nalézt podobné principy** popisu kolejišť, především použití systému interního a externího (nominálního) staničení a chápání komplexnosti entity „Track“.

Existuje však i celá řada detailů, které jsou v návrhu IFC Rail a praxi IS SŽ do značné míry odlišné. Např. **evidence přejezdů značně přesahuje rámce ryze interních potřeb** IS SŽ směrem k **potřebám složek Integrovaného záchranného systému**, a jsou i proto nejen datově mnohem bohatší, ale současně i konkrétnější a přesnější, než je současný rozsah návrhu IFC Rail. I tento vztah je proto nutné řešit mimo mezinárodní standard.

V řadě případů tak byla ukázána oprávněnost postupu IFC předpokládajícího, že strukturalizaci a obsah identifikátorů a některých dalších typů dat odvozených

---

<sup>20</sup> pro stavební odvětví jde zejména o předpisy S3 až S6, pro zabezpečovací a sdělovací techniku T100 atd.

z interních potřeb správců zařízení vyžaduje jejich **autonomní řešení mimo rámec mezinárodních standardů** (srv..např. účel a význam klasifikace (17) a její souvislost s identifikacemi tratí). Na to se bude muset orientovat mj. i další rozvoj metodik SFDI navazující na dosud do největších detailů staveb orientovaný návrh (18), a zřejmě i pokračování projektu MD (19).

Ke zvýšení efektivnosti těchto aktivit, počínaje úplnějším a přesnějším překladem všech částí zejména dokumentu WP3, by pravděpodobně napomohla **užší součinnost s autorským týmem bSI**, podobná komunikaci s experty RailML. Počínaje kvalitním překladem celého dokumentu W3 a pokračující aktivní účastí na 2. fázi návrhu řešení, která formou úvodní videokonference začala v červnu t.r. Té se účastní řada subjektů, a to jak potencionálních uživatelů výstupů (typu např. SŽ), tak dodavatelů SW aplikací, které by chtěly formát IFC Rail použít např. v doplnění svých komerčně prodávaných SW produktů (např. typu REVIT) používaných projektanty staveb (vč. železničních) a dalšími uživateli.

Z uvedeného plyne pozitivní zjištění, že těmto aktivitám, alespoň z hledisek obsahu IS SŽ, zatím **nebrání žádné, principiálně nepřekonatelné, metodické překážky**. Tím podstatnější je význam aktivní účasti specialistů ČR obecně a železničních speciálně, na úpravě dosud navrženého obsahu metodiky IFC Rail, která by měla v budoucnu podpořit projektování až do postupů umožňujících vytváření tzv. „digitálních dvojčat“. Tedy v zásadě pasportních evidencí a nad nimi postavených účelových aplikací.

Řešení celého komplexu těchto problematik je náročné a skutečně dlouhodobé. Byla by však škoda propást příležitost a připravit se o možnost zasáhnout do probíhajících úprav jak IFC Rail, tak ale i změn funkcí i podmínek využití (až do úrovně legislativní) vlastních IS v době, kdy se „těsto“ teprve míchá a připravuje do formy. Zajistit totéž, až budou různé, paralelně vyvíjené produkty „upečené“, by totiž mohlo být po všech stránkách podstatně náročnější.

*Příspěvek byl zpracován jako součást řešení projektu TAČR (11), jehož dosavadní výsledky dále rozvíjí. Vychází z provedené rozsáhlejší analýzy (12) a dalších citovaných zdrojů a věcně navazuje a aktualizuje předchozí příspěvek (20) prezentovaný ve VTS SŽ v dubnu 2020.*

## Literatura

1. *EN ISO 16739 (73 0100) Datový formát Industry Foundation Classes (IFC) pro sdílení dat ve stavebnictví a ve facility managementu*, duben 2017 dostupné z: <https://eshop.normservis.cz/norma/csneniso-16739-1.4.2017.html>
2. *IFC RAIL PROJECT, Context & Approach* dostupné z: [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC\\_Rail-Context-Approach\\_1.1.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC_Rail-Context-Approach_1.1.pdf), version 1.1 28.10.2019
3. *IFC RAIL PROJECT, WP2 – Requirement Analysis Report*, buildingSMART 1.9.2019 dostupné z: [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC\\_Rail-Requirement\\_Analysis\\_Report\\_-\\_pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC_Rail-Requirement_Analysis_Report_-_pdf)
4. *IFC RAIL PROJECT, WP3 Conceptual Model Report. Overview and content of the business-related part of the Railway UML model*. dostupné z:

- <http://docplayer.net/163522523-Ifc-rail-project-wp3-conceptual-model-report-overview-and-content-of-the-business-related-part-of-the-railway-uml-model-status-1.html>
5. *Návrh vyhlášky ČÚŽK o digitální technické mapě, pracovní verze ze 7.2.2020*
  6. *Projekt TAČR TITSMV705 „Jednotný výměnný formát DTM“*
  7. BUNEŠ, J. *Klasifikační systém CCI, ČAS Praha, květen 2020*
  8. *RailTopoModel, IRS 30100 Railway Network Description UIC, RTM Workgroup, Paris, 27.04.2015*
  9. *Projekt CRBIM1002 –2015 Railway BIM Data Standard (Version 1.0)*  
Issued on: 2015-12-29 Implemented on: 2016-01-01 CRBIM dostupné z:  
<https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2017/09/bSI-SPEC-Rail.pdf>
  10. *Collaboration between RailTopoModel, railML.org and IFC*  
February 14, 2017 dostupné z: <http://buildingsmart.org/collaboration-railtopomodel-railml-org-ifc/>
  11. *Projekt TAČR TL02000312 aplikovaného společenskovešedního a humanitního výzkumu, experimentálního vývoje a inovací ÉTA „Lokalizace a implementace metodiky RailTopoModel a značkovacího jazyka railML v. 3 do podmínek prostorového popisu železničních drah v ČR s přihlédnutím k aplikaci metodiky BIM“*
  12. ČÍHAL, R. *RML – 6 Základní informace o prostředí IFC Rail a jeho vztahu k metodám RailTopoModel a railML, KPM CONSULT a.s. Brno, duben 2020*
  13. *railML.org Wiki: Use case Network Statement. [on line] In:*  
<https://wiki.railml.org/index.php?title=UC:IS:NetworkStatement>; last access: 03.04.2018
  14. DILLON, J. *UC:IS:Track Geometry (TRGE), pracovní dokument ÖBB, září 2019,*  
dostupné z [https://wiki.railml.org/index.php?title=UC:IS:Track\\_Geometry](https://wiki.railml.org/index.php?title=UC:IS:Track_Geometry)
  15. *Služební rukověť SŽDC SR70 Číselník železničních stanic a ostatních tarifních a dopravně zajímavých míst*
  16. *Předpis SŽDC M12 o jednotném způsobu popisu umístění objektů železniční infrastruktury v informačním systému SŽDC (návrh novely)*
  17. *Projekt Kategorizace tratí: Systém evidence a číslování,*  
Deloitte Central Europe Aviation and Transport Services, Praha 2015
  18. HEJRAL, J. – KAFKA, O. – KRÁTKÝ, M. – KUTIL, L. – SIROTEK, M. – ŽÁK, J. *Předpis pro informační modelování staveb (BIM) pro stavby dopravní infrastruktury*  
Datový standard - Pro PDPS, SFDI Praha červen 2019
  19. *Projekt Konsolidace infrastruktur prostorových dat v resortu dopravy Výstup V3B, Návrh řešení SDI v resortu dopravy založený na variantě vybrané zadavatelem na základě konzultací a analýz vypracovaných dodavatelem,*  
VARS Brno a.s., Central European Data Agency, a.s., prosinec 2018
  20. ČÍHAL, R., *Ke dvěma možným použitím metody RailTopoModel a formátu railML při zobrazování objektů a procesů probíhajících na železniční síti, VTS SŽ, duben 2020, Praha, ISSN 2694-9172, dostupné z* <https://www.szdc.cz/o-nas/publikace/vts>



**Seznam zkratk**

1D	jednodimenzionální
2D	dvoudimenzionální
2,5D	dvoudimenzionální s nezávisle vyjádřenou souřadnicí výšky nad základní rovinou
3D	třídimenzionální
4D	čtyřdimenzionální (3D + čas)
5D	pětidimenzionální (4D + finance)
6D	šestidimenzionální (5D + energie)
7D	sedmidimenzionální (6D + opotřebení a obnova)
ASŘ	automatizovaný nebo automatický systém řízení
BIM	Building information modelling (management)
Bpv	baltský výškový systém po vyrovnání
bSI	buildingSMART International Ltd.
CCI	Construction Classification International
CEŽD	Centrální evidence železničních drah
CRBIM	zkratka BIM projektu drah Čínské republiky
CzBIM	organizace pro metodickou a organizační podporu zavedení metody BIM v ČR
ČAS	Česká agentura pro standardizaci
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DSS	Datový standard stavebnictví
DTM	Digitální technická mapa
ETRS-89	European Terrestrial Reference System 89
GUID	globally unique identifier
GSM-R	Global System for Mobile Communications – Railway
IFC	Industry Foundation Classes
IRS	International Railway Solution
IS	informační systém
ISO	International Organization for Standardization
IT	informační technologie
JKPOV	jednotná klasifikace průmyslových oborů a výrobků
JKSO	jednotná klasifikace stavebních objektů a stavebních prací výrobní povahy
JVF	jednotný výměnný formát
LRS	lineární referenční systém
MD	Ministerstvo dopravy ČR
MVD	Model View Definitions
NEST	Network Statement
OGC	Open Geographical Consortium
PDPS	projektová dokumentace pro provádění stavby

PI	provozovatel infrastruktury
railML	verze jazyka GML pro použití na železnici
RailML	konsorcium pro vývoj jazyka railML
RTM	RailwayTopoModel
S-JTSK	souřadnicový systém „Jednotné trigonometrické sítě katastrální“ v Křovákově zobrazení
SDI	Spatial Data Infrastructures
SFDI	Státní fond dopravní infrastruktury
SRxx	služební rukověť xx
SW	software
SŽ	Správa železnic, s.o
TAČR	Technologická agentura ČR
TRGE	Track Geometry
TSI	Technical Specification for Interoperability
UIC	Union Internationale des Chemins de fer
UML	Unified Modelling Language
W3C	World Wide Web Consortium
XML	eXtended Markup Language
XSD	XML Schema Definition

Lektorovali:

Ing. Stanislav Vitásek, Ph.D., Správa železnic

Ing. Mariana Salavová, Správa železnic

## **Příspěvek č. 3**

**Dušan Janoščík<sup>21</sup>, Viktor Nohál<sup>22</sup>, Jaroslav Smutný<sup>23</sup>**

### **Monitorování drážní infrastruktury cenově dostupným dataloggerem**

### **The railway infrastructure monitoring with an affordable data logger**

#### **Anotace**

Příspěvek je věnován problematice autonomního monitorování vybraných dynamických parametrů drážní infrastruktury v podmínkách České republiky. Součástí příspěvku je ukázka realizace řešení, stejně jako popis možností takového typu monitorování. Je zde stručně popsáno jak hardwarové, tak softwarové řešení aplikace. Současně je uvedena praktická aplikace takového měřicího systému při srovnání vybraných dynamických parametrů dvou typů upevnění kolejnic. Závěr obsahuje získané zkušenosti s takovým systémem a doporučení pro výrobce železniční infrastruktury i správce železničních tratí.

---

<sup>21</sup> **Ing. Dušan Janoščík** je absolventem Stavební fakulty VUT v Brně, oboru konstrukce a dopravní stavby, specializace železniční konstrukce a stavby. Je prezenčním studentem doktorského studijního programu konstrukce a dopravní stavby na Stavební fakultě VUT v Brně na Ústavu železničních konstrukcí a staveb. Je odborníkem v oblasti dopravních staveb, signálové analýzy a informatiky. Zpracovává disertační práci na téma Vývoj inteligentního diagnostického systému založeného na tradičních metodách a metodách umělé inteligence.

<sup>22</sup> **Ing. Viktor Nohál** je absolventem Stavební fakulty VUT v Brně, oboru konstrukce a dopravní stavby. V současné době je na distančním studiu doktorského studijního programu konstrukce a dopravní stavby na Stavební fakultě VUT v Brně na Ústavu železničních konstrukcí a staveb. Je odborníkem na matematické metody hodnocení měřených dat a analýzu dopravních konstrukcí. Zpracovává disertační práci na téma Experimentální analýza vybraných železničních konstrukcí.

<sup>23</sup> **Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.** je absolventem Elektrotechnické fakulty VUT v Brně, oboru slaboproudá elektrotechnologie. Disertační práci na téma Moderní analýzy hluku a vibrací aplikované na kolejovou dopravu obhájil v roce 1998 na Stavební fakultě VUT v Brně, v oboru konstrukce a dopravní stavby. V roce 2002 úspěšně obhájil habilitační práci na téma Časově frekvenční analýza stavebních konstrukcí a materiálů a stal se docentem pro obor Teorie a konstrukce staveb. V roce 2009 byl jmenován profesorem pro obor konstrukce a dopravní stavby. V současné době pracuje na pozici akademického pracovníka na Ústavu železničních konstrukcí a staveb Stavební fakulty VUT v Brně. Je odborníkem v oblasti experimentální statické a dynamické analýzy drážních konstrukcí, dále v oblasti měřicí elektroniky a aplikaci moderních matematických postupů časové a frekvenční analýzy ve spojení s metodami umělé inteligence.

## Annotation

The paper is devoted to the issue of autonomous monitoring of selected dynamic parameters of railway infrastructure in the conditions of the Czech Republic. Part of the paper is a demonstration of the implementation of the solution as well as a description of the possibilities of this type of monitoring. Both the hardware and software solutions of the application is briefly described here. At the same time, the practical application of such a measuring system in the comparison of selected dynamic parameters of two types of rail fastening is presented. The conclusion contains the experience gained with such a system and recommendations for railway infrastructure manufacturers and railway managers.

## Klíčová slova

Datalogger, monitoring železniční infrastruktury, analýza v časové a frekvenční rovině, dynamické účinky

## 1. ÚVOD

K testování konstrukce železničního svršku byly a jsou uplatňovány různé metody a různá kritéria. Často se také používá tzv. kombinovaný teoretický a experimentální přístup, umožňující porovnat výsledky obou řešení a tím získat objektivnější pohled na daný problém.

Experimentální analýza materiálů, struktur a zejména celých konstrukcí je jedním z důležitých bodů při zvyšování spolehlivosti a životnosti. Experimentální výzkum lze obecně rozdělit na několik základních částí - metoda měření, zpracování dat a analýza výsledků. Je zřejmé, že všechny uvedené části musí být spolu v souladu. Technická měření jsou dnes výhradně organizována jako digitální. Tento trend ve vývoji měřicí techniky se jeví výhodný. Na trh přicházejí nové generace snímačů různých fyzikálních veličin. Použití moderních matematických postupů a jejich implementace do procesu testování konstrukcí náleží k náročným úkolům [1].

Velmi důležitá jsou měření na reálných železničních konstrukcích. Měření v terénu zohledňují stochastický charakter působení vlakových souprav i vlastností konstrukce kolejové jízdní dráhy. Za tímto účelem se v železniční síti ČR zakládají tzv. zkušební úseky. V rámci nich se pak dlouhodobě testují nové konstrukce železničního svršku a spodku. Požadavky na zkušební úsek bývají velmi přísné. Týká se to zejména kvality výstavby, případně rekonstrukčních prací, dále sledování vybraných parametrů a také přístupu a vytvoření měřících stanišť. Většinou se zkoušená konstrukce aplikuje do koleje současně s její referenční, klasickou variantou.

Určitě stojí za úvahu na prahu Čtvrté průmyslové revoluce zamyslet se nad realizací chytrých železničních konstrukcí, které budou o svém stavu, případně změnách svého stavu informovat nadřazený systém automaticky. K dosažení tohoto stavu je potřeba železniční konstrukci (železniční svršek v běžné trati, výhybkové konstrukce apod.) doplnit o autonomní měřicí zařízení, které bude na základě scénářů provádět kontinuální měření a zpracování naměřených dat a

převádět je do nadřazeného hodnotícího systému. Ne všechna data je potřeba ukládat, výhodnější je data průběžně předzpracovávat a průběžně ukládat pouze vybrané informace. Do procesu ukládání dat je nezbytné zahrnout algoritmy inteligentního třídění a zpracování. Proto byl autory příspěvku vyvinut v roce 2018 v rámci dvou témat disertačních prací cenově dostupný automatický měřicí systém [2]. Tento umožňuje realizovat nejen základní sběr dat na příslušné konstrukci, ale také zahrnuje sadu algoritmů, které poskytují informace o stavu dopravních staveb a jejich komponent v reálném čase a ukládat je k následujícímu použití pro potřeby správce, projekce i sledování vlivu na okolí.

## 2. POPIS DATALOGGERU

Vlastní datalogger (Obr. 1, Obr. 2) je navržený modulově, může pracovat jako samostatné měřicí zařízení, může být ovládán operátorem nebo může autonomně provádět dlouhodobá měření a ukládání dat. Současně může být začleněn do autonomního komplexního diagnostického systému.



**Obr. 1** Základní sestava dataloggeru





**Obr. 2** Pohled na datalogger in-situ

Je možné ho využít kdekoli na konstrukci železničního svršku s možností zaznamenávat až 12 analogových veličin formou elektrického napětí v rozsahu -5 až 5 V. Primárně se počítá se záznamem vibrací, hluku, deformace, posunů a teploty. Veličiny jsou průběžně ukládány na SD kartu. Navržený datalogger je postaven na platformě Teensy s 32 bitovým procesorem ARM Cortex-M4. Systém je navržen na snímání velkého množství časových záznamů o libovolné délce se vzorkovací rychlostí od 100 Hz do 4000 Hz. Systém je vybaven hodinami reálného času z důvodu synchronizace více stejných dataloggerů. Spuštění měření a ukládání dat je možné buď na vnější přerušení (změna logické úrovně při použití např. spouštěcí brány) anebo na nastavenou výši signálu na vybraném měřicím kanálu.

Po odměření a uložení záznamu (časové události) se systém nastaví do polohy čekání na další měření. Měřicí systém je vybaven dotykovým displejem s možností nastavení základních parametrů a úkonů – metody spuštění, zastavení, nastavení času měření, základní vzorkovací frekvence, výběr měřicích kanálů apod. Na displeji je možné vybrat k měření příslušný počet měřicích kanálů a také před měřením zobrazit průměrované hodnoty maxima a minima z důvodu výpočtu citlivosti např. akcelerometrického snímače. Současně se dají zadat limitní hodnoty, při kterých datalogger nahlásí nadřizovanému systému vážný problém zjištěný na konstrukci a přešle mu data k okamžitému zpracování.

Datalogger je navržen tak, že ho lze doplňovat o další vstupní a výstupní moduly. V současné době byly navrženy a odzkoušeny nové měřicí moduly pro připojení tenzometrických snímačů, snímačů typu ICP i indukčnostních snímačů (Obr. 3). Neméně zajímavou vstupní periferií je i bezdrátová laserová brána pro spuštění a zastavování měření a dálkové ovládání dataloggeru i možnost připojení čtečky RFID. Elektronika dataloggeru je umístěna do odolné krabičky. Pro připojení snímačů i dalších aplikačních modulů jsou v navržené verzi použity konektory Sub-D9. Systém má vlastní akumulátor a také možnost externího



dobíjení/napájení např. solárními panely nebo z elektrické sítě. Zařízení je vyrobeno tak, aby bylo možné ho použít v reálných povětrnostních podmínkách. Je možné ho připevnit na části železničního svršku (pod kolejnicí, na pražec apod.). Dále k dataloggeru bylo navrženo a vyrobeno několik tříosých akcelerometrických snímačů. Jedná se například o snímače typu MEMS s měřicím rozsahem 200g (předpokládané použití na kolejnici), 16g (předpokládané použití na pražci) a s přepínatelným měřicím rozsahem 2g/6g (předpokládané použití mimo železniční svršek, případně ve šterku). Pro měření zrychlení ve vyšším frekvenčním pásmu byly vyvinuty tříosé akcelerometrické moduly s napěťovým výstupem s čipy typu 832M1 (rozsah zrychlení 100g a 500g) atd.

K dataloggeru byl v jazyce Matlab a posléze Python vytvořen základní software umožňující přenos dat do nadřazeného systému (PC, tablet, mobilní telefon) a další zpracování naměřených dat. V nejjednodušší formě poskytuje tento software možnost vytvoření obrázků s různými typy základních grafů. Zejména jde o časové průběhy měřené veličiny a jejich odpovídající amplitudová spektra, třetino-oktávová spektra, časově frekvenční grafy [3, 4, 5] atd. Zároveň se zjišťují a počítají další charakteristiky, jako jsou globální maxima a minima, hodnoty RMS, případně vektor plovoucí RMS. Do databáze software je možné vložit charakteristiky lokomotiv a vozů. Software poskytuje možnost rozpoznávání projíždějících vlakových souprav z naměřených záznamů. K rozpoznávání vlakových souprav byla použita metoda podpůrných vektorů. Jde o velmi perspektivní klasifikační metodu, která umožňuje rozpoznávání vlakových souprav na základě signálu zrychlení na pražci kolejového roštu a odvozených charakteristik – plovoucí RMS, počet lokálních maxim, odchylek atd. Klasifikátor je vždy potřeba před vlastním měřením naladit.

Při běžném provozu nadřazený systém (software) dle sestaveného harmonogramu sám od jednotlivých dataloggerů vybírá data k dalšímu zpracování. S nadřazeným systémem navržený datalogger komunikuje v souladu se současnými i novými trendy pomocí radiové nebuňkové technologie WLAN Wifi v rozsahu přenosu dat do desítek metrů.

Software zaměřený na analýzu dat je navržen modulárně tak, aby bylo možné celý měřicí komplet postupně dle aplikační úrovně rozšiřovat. V rámci vývoje byla také vytvořena aplikace pro základní vyhodnocení měřených dat v mobilních telefonech s nejběžnějším operačním systémem Android (Obr. 3). Od roku 2019 se postupně zpracovávají ucelená softwarová řešení, od výkonných metod filtrace a klasifikace naměřených dat přes moderní metody frekvenční a časově frekvenční analýzy až po zařazení vybraných metod umělé inteligence do procesu automatického hodnocení měřených konstrukcí. Za tímto účelem autorský kolektiv využívá jak rozsáhlé znalostní databáze naměřených parametrů získaných na různých typech železničních a tramvajových konstrukcích v průběhu let 1995 až 2020, tak velkých zkušeností z oblasti klasických i nových metod analýzy signálů a metod umělé inteligence.



**Obr. 3** Ukázka software v mobilním telefonu

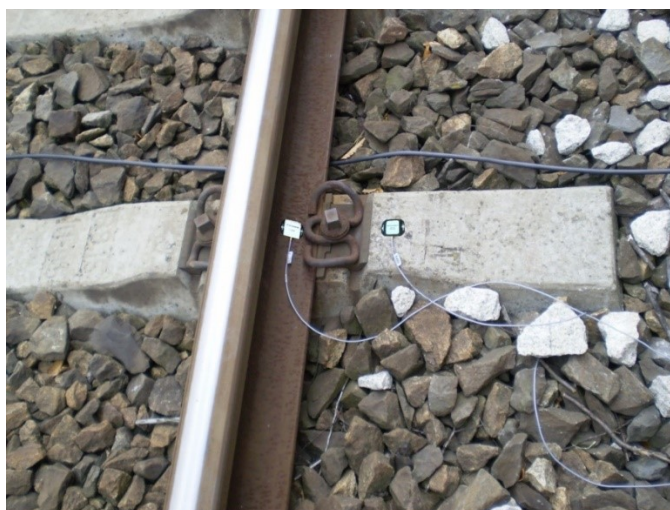
Jak již bylo zmíněno, popisovaný datalogger může být implementován do komplexního diagnostického systému. Pak uložená data z dataloggeru/dataloggerů a jejich vypočítané charakteristiky se dále ukládají do vytvořených struktur databáze SQL. Z této databáze se předzpracovaná data mohou načítat do nadřazeného analyzačního systému. Je možné využít rozsáhlá datová úložiště typu NAS apod.

### 3. APLIKACE DATALOGGERU

Vyvinutý datalogger včetně hodnotícího software byl testován v rámci mnoha měřících kampaní jak v laboratoři, tak i terénu v průběhu let 2018 a 2019 včetně porovnávacích měření s profesionálním měřícím systémem Dewetron 2500. Měřící řetězec byl kalibrován prostřednictvím kalibračního snímače 8305 od společnosti Brüel Kjaer a vibračního kalibrátoru V21D od společnosti Metra Mess und Frequenztechnik. Testování bylo provedeno v rámci vybraných úloh. Jde zejména o následující – měření, analýza a srovnání dynamických parametrů vybraných výhybek v žst. Ústí nad Orlicí, dále srovnání dynamických parametrů vybraných kolejnicových upevnění i měření účinků od vlakových souprav na obytnou zástavbu. V rámci laboratorních měření se jednalo o vibrační analýzu kolejnicových upevnění metodou frekvenčních přenosových funkcí atd.

V dalším textu je velmi stručně popsána aplikace dataloggeru při analýze a srovnání vybraných dynamických parametrů dvou kolejnicových upevnění, Vossloh W 14 a Pandrol FC. Vlastní měření bylo provedeno v lokalitě Bílovice nad Svitavou v rámci jedné měřící kampaně, tedy na obou stanovištích současně. Výběr oblasti pro měření byl udělán na základě analýzy výstupů z měřícího vozu a ověření kvality podbití šterkového lože u vybraných pražců metodou měření frekvenčních přenosových funkcí. Podotkneme, že podmínky pro měření byly pro obě měřené konstrukce shodné.

Základní testovací měření bylo uskutečněno v květnu 2019 v rámci jednoho pracovního dne na obou stanovištích a zahrnovalo průjezd vlakových souprav kategorie „EC, Os, R a Na“. K měření byly použity dva vyvinuté dataloggery. Měření probíhala za stejných klimatických podmínek. Zaznamenávanými veličinami byly časové průběhy zrychlení kmitání na patě kolejnice a pražci v blízkosti kolejnicového upevnění pro systémy upevnění Vossloh W 14 (Obr. 4) a Pandrol FC (Obr. 5). Spouštění a zastavování měření bylo zabezpečeno bezdrátovým modulem infra-brány. Sestava snímačů byla doplněna o pomocný akcelerometr, který byl umístěn 2 m od hlavních akcelerometrů z důvodu snadného zjištění rychlosti pojezdu vlakových souprav.



**Obr. 4** Osazení kolejnice a pražce snímači zrychlení – upevnění Vossloh W 14



**Obr. 5** Osazení kolejnice a pražce snímači zrychlení – upevnění Pandrol FC

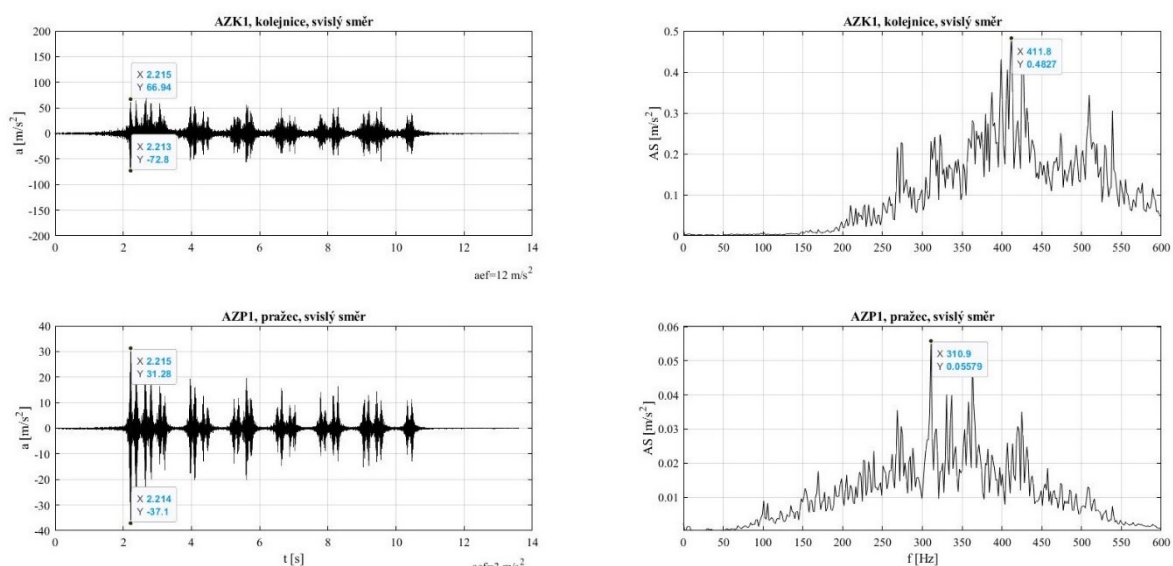
Z naměřených záznamů byly vypočteny pro každou konstrukci a každou polohu snímače zrychlení základní vibrační charakteristiky, tedy efektivní hodnoty zrychlení  $a_{ef}$  a amplitudová spektra pro jednotlivé kategorie vlaků. Naměřené a vypočtené charakteristiky byly mezi sebou porovnány. Současně bylo provedeno kontrolní měření s využitím profesionálního systému Dewetron se stejným nastavením a získané výsledky byly rovněž porovnány.

Základní grafické výstupy z analyzačního software jsou uvedeny na obrázcích Obr. 6 a Obr. 7. Podotkněme, že první graf vlevo na obou obrázcích představuje měření zrychlení kmitání na patě kolejnice. Pod ním je graf představující časový průběh zrychlení kmitání na pražci v blízkosti kolejnicového

upevnění. Na pravé straně obrázku jsou odpovídající vypočítaná amplitudová spektra. Amplitudová spektra byla vypočtena velmi zajímavou a pro dané analýzy velmi vhodnou Metodou multi-taper. Tato metoda poskytuje vyhlazené a stabilní spektrální odhady díky vhodnému průměrování při zachování rozumného frekvenčního rozlišení. Velmi vhodná se jeví pro signály s vysokou mírou šumu. Vhodným nastavením parametrů metody je možné zobrazit všechny složky signálu s dostatečným odstupem od šumu, a to s velkou dynamikou signálu. Na základě testů i získaných výsledků se lze domnívat, že jde o jednu z nejúčinnějších neparametrických metod frekvenční analýzy.

Obrázek 6 popisuje měření na roštu s upevněním Vossloh W 14 a Obr. 7 na upevnění Pandrol FC. Podotkněme, že vzhledem k omezenému rozsahu počtu stránek byly uvedeny tyto grafy pouze pro směr svislý.

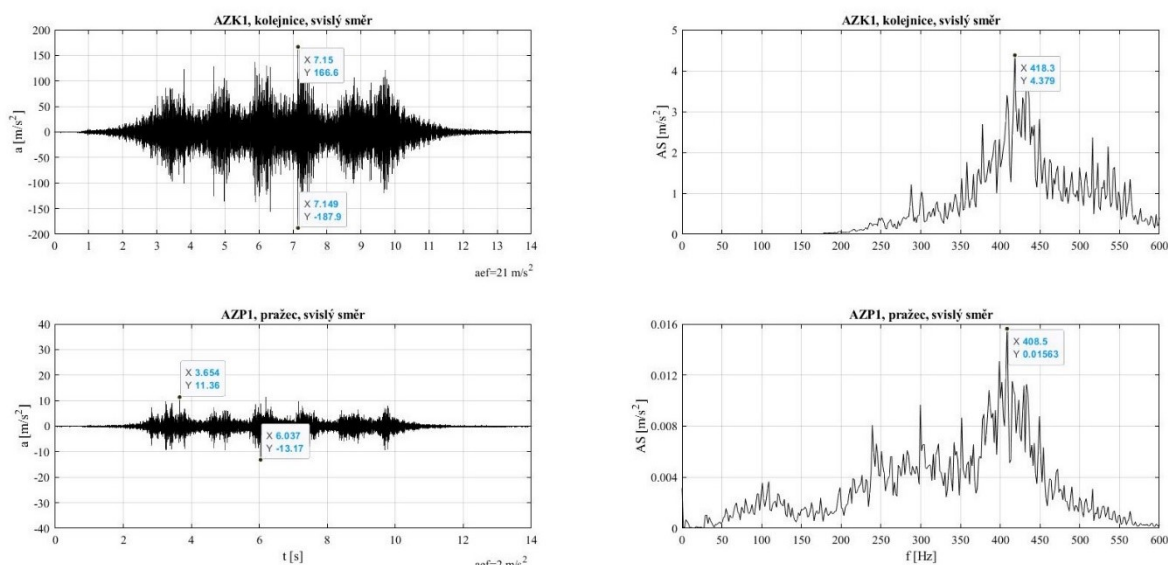
Upevnění Vossloh, vlaková souprava typu R, 70 km/h



**Obr. 6** Časová a frekvenční analýza, kolejnicové upevnění Vossloh W 14



## Upevnění Pandrol, vlaková souprava typu R, 70 km/h



**Obr. 7** Časová a frekvenční analýza, kolejnicové upevnění Pandrol FC

Je vhodné podotknout, že vykreslování grafů bylo doplněno o automatické nastavení vhodného měřítka. Jde-li o srovnávací měření a je-li to možné, pak se nastaví jednotně pro obě srovnávací varianty. Není-li to možné, použije se pro zobrazení výhodnější varianta. Grafy jsou automaticky doplněny hodnotami význačných extrémů. Pokud se jedná o zobrazení zrychlení kmitání, pak je do grafů automaticky vepsán údaj o efektivní hodnotě zrychlení.

Z uvedených časových i frekvenčních charakteristik vyplývají zásadní rozdíly mezi těmito dvěma konstrukcemi upevnění kolejnic. Podrobnější analýza není součástí tohoto příspěvku, v případně zájmu o tuto problematiku odkazujeme na práce uvedené v seznamu literatury. Velmi podrobně byla problematice srovnání kolejnicových upevnění Vossloh W 14 a Pandrol FC věnována diplomová a disertační práce [6, 7], případně články v odborných časopisech [8, 9].

#### 4. ZÁVĚRY

V rámci článku byl prezentován na pracovišti autorů vyvinutý jednoduchý diagnostický systém. Tento byl navržen tak, aby bylo možné ho použít nejen ke snímání základních dynamických dat na železničních konstrukcích. Tento systém se také může stát základem pro realizaci širší koncepce inteligentního snímání vybraných fyzikálních veličin na železničních konstrukcích a jejich zpracování formou inteligentní diagnostiky.

Na základě získaných zkušeností s prezentovaným měřicím systémem doporučuje kolektiv autorů pokračovat v jeho rozvoji a využívat ho pro automatická měření na železničním svršku. Určitě bude vhodné tento systém doplnit o další snímače a převodníky. Rovněž je vhodné pokračovat ve vývoji nadřazeného hodnotícího software v souladu se současnými trendy. Velmi zajímavou aplikační oblastí může být zcela určitě začlenění navrženého dataloggeru do komplexního diagnostického systému, který bude například automaticky vyhodnocovat stav testované konstrukce v rámci zkušebních úseků

na železniční trati včetně vzniku a evidence změn, poruch a vad atd. Lze předpokládat, že použití i další rozvoj tohoto systému bude realizován zejména v rámci závěrečných studentských prací. Tento systém tak může pomoci studentům realizovat závěrečné práce z oblasti experimentu na železničních konstrukcích a stavbách i bez potřeby nákupu drahého vybavení. Autoři rovněž předpokládají hledání dalších aplikačních oblastí tohoto relativně jednoduchého chytrého měřicího systému.

## 7. LITERATURA

- [1] VEIT, P.; MARSCHNIG, S.: Towards a more sustainable track. *Railway Gazette International*, January 2011, p. 42-44
- [2] JANOŠTÍK D., NOHÁL V., SEELMANN H., SMUTNÝ J.: The Continuous Monitoring of Selected Railway Structures using the Autonomous Data Logger. *Communications*, 2020, roč. 22, č. 2, s. 88-96. ISSN 1335-4205.
- [3] SMUTNÝ J.: Measurement and Analysis of Dynamic and Acoustic Parameters of Rail Fastening, *NDT & E International - Independent Nondestructive Testing and Evaluation*, 2004, Volume 37, Issues 8, ELSEVIER, pp. 119-129, ISSN 0963-8695.
- [4] SMUTNÝ J., PAZDERA L.: New Techniques in Analysis of Dynamic Parameters Rail Fastening, *InSight, The Journal of The British Institute of Non-Destructive Testing*. Vol 46. No 10. October. 2004. pp. 612-615. ISSN 13542575.
- [5] SMUTNÝ J., JANOŠTÍK, D., PAZDERA L., NOHÁL V.: THE USE OF UNTERBERGER TRANSFORMATION ON ANALYSIS OF DYNAMIC PARAMETERS OF RAIL FASTENINGS. *Akustika*, 2020, roč. 35, č. 1, s. 31-38. ISSN 1801-9064.
- [6] Tomandl V.: Analýza dynamických parametrů kolejnicových upevnění, diplomová práce, 2007, Vysoké učení technické v Brně.
- [7] Tomandl V. Experimentální analýza vybraných systémů kolejnicových upevnění, disertační práce, 2016, Vysoké učení technické v Brně.
- [8] SMUTNÝ J., TOMANDL V., PAZDERA L.: Dynamické působení železniční dopravy na kolejový rošt s pružným upevněním kolejnic při průjezdu obloukem, *Silnice a železnice*, 2010, roč. 2010, č. 1, s. 2-10. ISSN 1801-822X.
- [9] SMUTNÝ J., PAZDERA L., TOMANDL V., SEELMANN H.: Assessment of dynamic parameters of rail fastening, *Communications*, 2016, roč. 18, č. 3, s. 65-70, ISSN 1335-4205.

## Poděkování

Příspěvek byl vytvořen za podpory projektu FAST-S-20-6408 Analýza dynamické odezvy drážních konstrukcí metodou spekter vyšších řádů.

Lektorovali: Ing. Roman Tomek, Správa železnic, CTD  
Ing. Pavel Kulich, Správa železnic



## Příspěvek č. 4

**Roman Štěřba<sup>24</sup>**

### **Železniční laboratoře, zkušebnictví a certifikace v Itálii**

**Klíčová slova** železnice, technické specifikace interoperability, zkušebnictví, certifikace, Italcertifer, Ferrovie Stato

**Keywords** railway, technical specifications of interoperability, testing, certification, Italcertifer, Ferrovie Stato

#### **ANOTACE**

Železniční laboratoře uskutečňují svoji podnikatelskou činnost v liberalizovaném Evropském železničním systému. Již od roku 1991 bylo jedním z cílů Evropské unie prosazení jednotného trhu železniční dopravy. Jednou z klíčových součástí liberalizace trhu jsou technické specifikace interoperability a posuzování shody s nimi a dále bezpečnostní požadavky pro získání osvědčení o bezpečnosti železnic uplatnitelné vůči všem subsystémům a subjektům Evropského železničního systému. Účelem je zajistit, aby železniční podniky a provozovatelé infrastruktury dosahovali svých podnikatelských cílů bezpečným způsobem. Italcertifer byl založen v roce 2001 jako Italský institut pro železniční výzkum a certifikaci, společnost byla začleněna do holdingu Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane v roce 2007.

#### **ABSTRACT**

Railway laboratories focus its business in the broad field of the liberalization of European rail transport. The European Union, as of the early 1990s, included among its goals the promotion a common market for rail transport. One of the key points of rail market liberalization, there are technical specifications for interoperability and compliance assessment with them and safety requirements that can be applied to all subsystems that make up the European rail system. The purpose is to ensure that the railway undertakings and infrastructure managers achieve their business objectives in a safe manner. Italcertifer was founded in 2001 as Italian Institute for Rail Research and Certification, the company was incorporated into Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane in 2007.

---

<sup>24</sup> doc. Dr. Ing. Roman Štěřba, MBA – absolvent inženýrského a doktorandského studia na Fakultě dopravní ČVUT v Praze (1998), postgraduálního studia na TU Dresden (1996), College of Europe (2010), Cambridge Business School (2019) a vědecko-výzkumných stipendijních pobytů na Katalánské polytechnice Barcelona (1994) a TU Dresden (1998-2002). Docent na Ústavu logistiky a managementu dopravy, Fakulta dopravní ČVUT v Praze.

## 1. ÚVOD

Od roku 1990 naplňuje Evropská unie svůj cíl liberalizovat podmínky přístupu a použití infrastruktury železniční dopravní cesty a usnadnit přizpůsobení národních (tehdy unitárních) železničních podniků požadavkům jednotného trhu a zvýšit jejich výkonnost, a to prostřednictvím nezávislosti jejich řízení, minimálně účetního oddělení správy železniční infrastruktury od poskytování dopravních služeb železničními podniky, zlepšením jejich finanční struktury a poskytnutím práv přístupu k železničním sítím členských států licencovaným dopravcům.[1]

Klíčovým předpokladem jednotného liberalizovaného trhu jsou technické specifikace pro interoperabilitu (TSI), které poskytují jistotu ohledně zajištění kompatibility mezi vozidly a tratěmi, na nichž mají být provozována. TSI úzce souvisí se zajištěním prioritního požadavku na bezpečnost a výkonnost železniční dopravy, aby dopravci a provozovatelé infrastruktury dosahovali svých podnikatelských cílů bezpečným způsobem, což v technickém kontextu znamená certifikované subsystémy.[2]

V Itálii se zkušebnictvím a certifikací zabývají železniční laboratoře Italcertifer<sup>25</sup>. Založeny byly v roce 2001 jako "*Instituto Italiano di Ricerca e Certificazione Ferroviaria*" (Italský institut pro železniční výzkum a zkušebnictví), původními partnery se staly provozovatel dráhy FS RFI<sup>26</sup>, dopravce FS Trenitalia<sup>27</sup>, Polytechnická univerzita Milano a Univerzity ve Florencii, Pise, a Neapoli. V roce 2007 byla společnost přeskupením podílů FS RFI a FS Trenitalia začleněna do holdingu Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane (dále jen FSI). V roce 2011 Italcertifer změnil právní formu na akciovou společnost. Stablní růst podnikatelské činnosti dovedl Italcertifer do vytvoření divizního uspořádání<sup>28</sup> v roce 2013. V roce 2015 se novým akcionářem Italcertifer stal Region Toskánsko, což posílilo postavení společnosti a utužilo úzkou vazbu vysoce specializovaných činností s regionem.



Obrázek č. 1: Logo společnosti Italcertifer<sup>29</sup>

## 2. FERROVIE STATO ITALIANE

Skupina FSI je národním železničním provozovatelem dráhy a dopravy. Zaměstnává téměř 84 tisíc zaměstnanců. Úhrn aktiv k 31.12.2019 činil 73,8 mld. €, v tom základní kapitál konsolidované skupiny činí 39,2 mld. €. V roce 2019

<sup>25</sup> <https://italcertifer.com>

<sup>26</sup> <https://www.rfi.it>

<sup>27</sup> <https://www.trenitalia.com>

<sup>28</sup> [https://italcertifer.com/\\_userfiles/image/DOr\\_03\\_AD\\_b.jpg](https://italcertifer.com/_userfiles/image/DOr_03_AD_b.jpg)

<sup>29</sup> <https://italcertifer.com>

skupina dosáhla konsolidovaného obrátu tržeb více než 12,4 mld. € s hrubým provozním ziskem EBITDA 2,6 mld. €. V roce 2019 skupina investovala téměř 7 mld. €. Skupina FSI provozuje dopravu po železnici, silnici a po moři. Z geografického pohledu vlastní dopravní společnosti i v Dánsku, Německu, Rakousku, Řecku, Švýcarsku a Velké Británii. Skupina vlastní ve společnosti Italcertifer podíl 55,66 % s nominální hodnotou 480 tis. €.[3]

### **3. POSUZOVÁNÍ SHODY**

Klíčovou podnikatelskou činností společnosti Italcertifer je posuzování shody a vhodnosti pro použití prvků interoperability a ověřování subsystémů. Italcertifer disponuje autorizacemi od mnoha regulátorů a agentur. V roce 2007 obdržel Italcertifer notifikaci od italského Ministerstva dopravy a infrastruktury jako kvalifikovaná osoba k posuzování shody podle Směrnice EP a Rady 2008/57/ES o interoperabilitě železničního systému ve Společenství (tehdy Směrnice EP a Rady 2004/50/ES ze dne 29. dubna 2004, kterou se měnila Směrnice Rady 96/48/ES o interoperabilitě transevropského vysokorychlostního železničního systému a směrnice EP a Rady 2001/16/ES o interoperabilitě transevropského konvenčního železničního systému).

V roce 2008 společnost získala provizorní akreditaci nezávislého posuzovatele bezpečnosti, trvale v roce 2012. V roce 2010 společnost získala akreditaci od ACCREDIA<sup>30</sup> jako Certifikační a inspekční osoba pro železniční průmysl a verifikace designu pro účely schvalování.

Italcertifer je od roku 2013 certifikovanou osobou pro posuzování Subjektů odpovědných za údržbu nákladních vozů (ECM) podle tehdejšího Nařízení Komise (EU) č. 445/2011 ze dne 10. května 2011 o systému udělování osvědčení pro subjekty odpovědné za údržbu nákladních vozů, které bylo zrušeno prováděcím nařízením Komise (EU) 2019/779 ze dne 16. května 2019, kterým se přijímají podrobná ustanovení o systému udělování osvědčení pro subjekty odpovědné za údržbu vozidel podle směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/798. Posouzení ECM spočívá v prověření, zda je žadatel způsobilý řídit činnosti související s údržbou a provádět provozní funkce údržby buď sám, nebo prostřednictvím smluv uzavřených s dalšími subjekty, např. údržbářskými dílnami, pověřenými prováděním těchto funkcí nebo částí těchto funkcí.

V listopadu 2014 společnost získala od Řeckého ministerstva infrastruktury, dopravy a sítí jako první osoba v Řecku oprávnění k posuzování shody s národními technickými předpisy v železničním sektoru.

### **4. INFRASTRUKTURNÍ LABORATOŘ**

Divize infrastrukturní laboratoře zajišťuje služby a zkušebnictví, měření, výzkum a experimenty v laboratoři i v drážním provozu FSI v oblastech železničních materiálů, komponentů, produktů, systémů a subsystémů (infrastruktura, energie, řízení a zabezpečení atd.), stejně jako pro znečištění

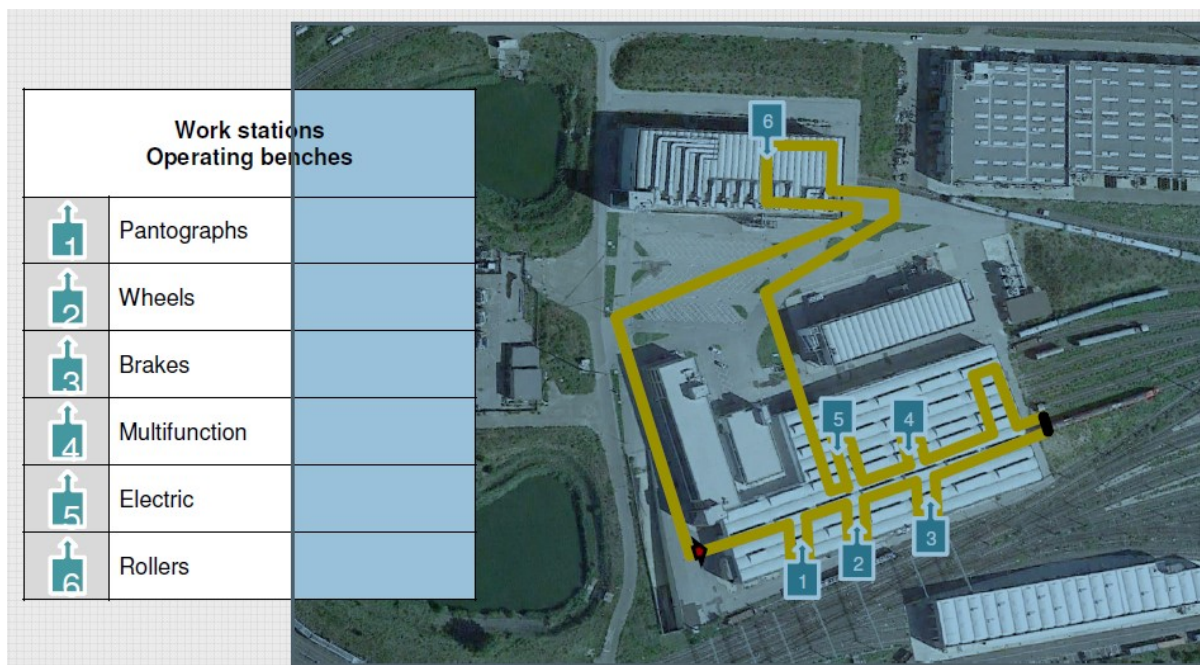
---

<sup>30</sup> <https://www.accredia.it> Italský akreditační orgán podle Nařízení EP a Rady (ES) č. 765/2008 ze dne 9. července 2008, kterým se stanoví požadavky na akreditaci a dozor nad trhem týkající se uvádění výrobků na trh.

životního prostředí a bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (hluk, elektromagnetické emise, vibrace, ionizující radiace atd.), s využitím stacionárních i mobilních laboratoří.

Laboratoře jsou akreditovány od ACCREDIA. Akreditace zahrnuje verifikaci technické kompetence laboratoře k akreditovaným zkouškám a její systém řízení kvality podle standardu EN ISO/IEC 17025:2005 o všeobecných požadavcích na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří pro posuzování shody. Pro dynamické zkoušky disponuje laboratoř vysokorychlostní jednotkou ETR 500 Y1 "Aiace", což umožňuje zkušební jízdy rychlostí až o 10 % vyšší než je maximální povolená traťová rychlost při zkouškách a měřeních pro technickou a funkční verifikaci ke schválení a zprovoznění nových a modernizovaných tratí.

Laboratoř podporuje výzkum, experimenty, zavádění nových technologií a pomáhá v praxi verifikovat nové provozní aplikace všech železničních odvětví a tím zlepšuje kvalitu a plynulost drážního provozu.



Obrázek č. 2: Schéma rozmístění zkušeben (Zdroj: Italcertifer)

## 5. LABORATOŘ BEZPEČNOSTI A OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Laboratoř zajišťuje měření hluku, mechanických vibrací, elektromagnetického pole, umělé optické radiace, radonu, mikroklimatu, iluminace a hlasové srozumitelnosti. Pro typové schválení vozidla zajišťuje měření emisí hluku, míry opotřebení dvojkolí a drsnost povrchu kol v interakci s drsností kolejnice. Laboratoř se podílí na technickém designu ve vztahu k hlukovým limitům. V neposlední řadě je znaleckým ústavem pro technické expertízy při soudních sporech.



## 6. LABORATOŘ MECHANICKÉHO ZKUŠEBNICTVÍ

Laboratoř provádí kalibraci rozložení sil, dynamické testy oceli, betonu a železničních komponent a měření elektrického odporu (svařovaných kolejnic, spojovacích dílů atd.). Provádí dynamické a statické zkoušky pevnosti materiálů, nárazový test, tahové zkoušky a stlačitelnost, testy tvrdosti, odolnosti a opotřebení.

Zkoušky brzd probíhají v laboratoři v lineární rychlosti až 500 km/h s kroučivím momentem až 25 kNm a momentem setrvačnosti 3600 kg.m<sup>2</sup>.



Obrázek č. 3: Dynamický zkušební stav brzdového kotouče (Foto: autor)



Obrázek č. 4: Dynamický zkušební stav dvojkolí (Foto: autor)

## 7. LABORATOŘ STAVEBNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Laboratoř stavebního inženýrství monitoruje vibrace na civilních a drážních budovách a umělých stavbách. Na železniční infrastruktuře a stavbách měří dynamické účinky provozu, namáhání kolejového spodku, napětí v pražcovém podloží a deformační odolnost.

## 8. KLIMATICKÁ KOMORA

Klimatická komora zkouší specializované prostředky určené pro přepravu zkazitelných potravin podle Dohody ATP, testuje účinky teploty na železniční systém a vozidla.

## 9. ZKUŠEBNA ELEKTRICKÉ ENERGIE A TRAKCE

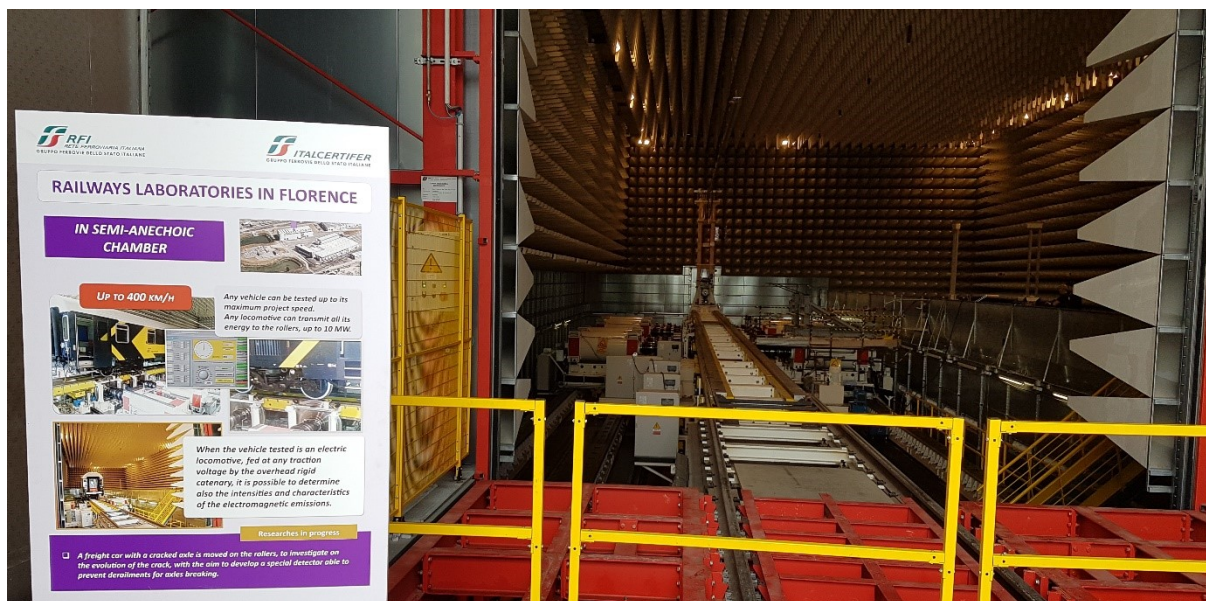
Zkušebna elektrické energie a trakce měří elektromagnetickou kompatibilitu mezi elektrickými systémy, traťovou elektrickou bezpečnost pevných trakčních zařízení ve vztahu k ochranným opatřením proti úrazu elektrickým proudem podle normy EN 50122, měří a zkouší zařízení a komponenty elektrických pohonů, přítlak sběrače proudu v rychlostech a při míjení vlaků, měří interakci sběrače proudu a troleje podle TSI a výkonovou charakteristiku sběrače proudu.

Zkušebna disponuje stejnosměrným proudem s napětím 750 V, 1,5 kV a 3 kV a střídavým proudem s napětím 15 kV 16,7 Hz a 25 kV 50 Hz. Napájecí stanice je napojena na nadřazenou síť s napětím 132 kV a pro zkoušky moderních hnacích vozidel nabízí příkon až 10 MW. Točivé části vozidel mohou být ve zkušebně testovány na rychlosti do 400 km/h.



Obrázek č. 5: Zkušebna sběračů proudu (Foto: autor)





Obrázek č. 6: Akustická komora pro zkoušky vozidel (Foto: autor)

## 10. NOVÉ TECHNOLOGIE

Z nových technologií se Italcertifer věnuje zkušebnictví a posuzování shody komponent Evropského systému řízení a zabezpečení železniční dopravy ERTMS (European Rail Traffic Management System), včetně automatického řízení vlaku (ATC).

Od roku 2012, kdy Italcertifer ovládl Laboratoř kolejových vozidel Trenitalia a Experimentální centrum RFI v Osmannoro, společnost stanovuje standardy pro domácí i globální průmysl jako poskytovatel zkoušek a měření pro schválení shody typu kolejových vozidel a komponent. Laboratoř poskytuje veškeré homologace požadované ke schválení a k povolení od Italského drážního úřadu ANSF k uvedení kolejových vozidel do provozu vč. shody se specifikacemi TSI. Od roku 2015 je Zkušební laboratoř akreditována od ACCREDIA k posuzování shody s technickými specifikacemi jako způsobilá zkušební a kalibrační laboratoř podle mezinárodního standardu ISO/IEC 17025.

## 11. AKREDITOVANÉ ZKOUŠKY

Italcertifer provádí zkoušky a kalibrace elektrické trakce a elektrotechniky:

- emise harmonických v trakci (ISO/IEC 17025)
- interakce mezi sběračem proudu a trolejí
- statických měničů pro kolejová vozidla
- palubních zařízení
- detekce rušení na komunikační sběrnici RSC
- detekce elektromagnetických emisí
- detekce emisí hluku

Z mechanických testů zajišťuje Italcertifer:

- přejímací zkoušky jízdních charakteristik železničních vozidel, zkoušení jízdních vlastností a stacionární zkoušky jízdních vlastností (EN 14363 - UIC 518)
- zkoušení drážních vozidel po dokončení a před uvedením do provozu (ČSN EN 50215)
- zkoušky aerodynamiky (EN 14067)
- zkoušky komfortu (EN 12299)
- posouzení rizik vibrací pro člověka (ISO 2631 – EN 5349)
- měření geometrie koleje (EN 13848)
- statické a dynamické měření kolejového svršku na trati
- zkoušky ekvivalentní konicity vztahu dvojkolí a koleje (UIC 519)
- zkoušky variace tlaku v tunelu (EN14067)
- zkoušky brzd, brzdových systémů a komponent, statické i dynamické zkoušky, zkoušky na dynamometrickém stavu (UIC 540, UIC 541-03, UNI EN 15806, UIC 544-1, UIC 541-05, UNI EN 15734, UNI EN 15595, TSI – 2008/232/CE, UIC 541-05, UNI EN 15595, UIC 541-3, UIC 510-5, UIC 541-4, UNI EN 14535, UNI EN 13979).

## 12. ZÁVĚR

Společnost Italcertifer ze skupiny FSI nabízí kompletní portfolio služeb železničního zkušebnictví, posuzování shody a certifikace železničních subsystémů nejen pro mateřskou společnost (v rozsahu čtvrtiny výkonů), ale především pro železniční průmysl. Výhodou sídla společnosti ve Florencii je nedaleká vysokorychlostní trať Direttissima<sup>31</sup>, která je příležitostně využívána i ke zkušebním jízdám.

### Literatura

- [1] Směrnice Rady ze dne 29. července 1991 o rozvoji železnic Společenství (91/440/EHS)
- [2] Rozhodnutí Komise v přenesené pravomoci (EU) 2017/1474 ze dne 8. června 2017, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/797, pokud jde o konkrétní cíle pro vypracování, přijetí a přezkum technických specifikací pro interoperabilitu
- [3] Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane, Annual report 2019. Zdroj: [https://fsitaliane.it/content/dam/fsitaliane/en/Documents/investor-relations/financial-statements/FS Italiane 2019 Annual Report.pdf](https://fsitaliane.it/content/dam/fsitaliane/en/Documents/investor-relations/financial-statements/FS%20Italiane%202019%20Annual%20Report.pdf)
- [4] ITALCERTIFER, Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane. <https://www.italcertifer.com/>

Lektorovali:           Ing. et Ing. Lumír Gregor, Ph.D., České dráhy, a.s.  
                              Ing. Jaromír Bittner, Drážní úřad

---

<sup>31</sup> Italská vysokorychlostní trať Direttissima mezi Římem a Florencií byla postavena pro rychlost 250 km/h a byla historicky první vysokorychlostní trať v Evropě. Dnes je součástí páteřní severojižní tratě z Milána přes Boloňu, Florencii, Řím do Neapole s rychlostí 300 km/h.

## Příspěvek č. 5

**Ladislav Novák<sup>32</sup>**

### Lokomotivy se značkou ČKD

**Klíčová slova:** železnice, lokomotivy, vývoj, výroba, ČKD

#### Anotace

Tento článek se zabývá historií a výrobou parních a motorových lokomotiv značky ČKD. Při příležitosti 120. výročí výroby lokomotiv v českých zemích a 150. výročí vzniku „První Českomoravské továrny na stroje“, která byla základním členem později vzniklé značky ČKD se v článku rekapituluje výsledky firmy především v oboru lokomotiv.

#### Annotation

The article deals with the history and the production of both steam and diesel locomotives with trademark ČKD. In occasion of anniversary of both 120 years since the beginning of the manufacturing of locomotives in Bohemia and 150 years of establishing of the First Bohemian Moravian Factory on Machines (První Českomoravské továrny na stroje), The factory was the basic part of later established trademark ČKD and the article highlighted the results of the factory in production of locomotives especially.

#### Úvod

V dubnu tohoto roku uplynulo 120 let od vyrobení první lokomotivy v českých zemích. Byla to parní lokomotiva řady 97, kterou vyrobila „První českomoravská továrna na stroje v Praze“. V srpnu příštího roku si připomeneme 150 let od zahájení provozu tohoto strojírenského závodu, který byl základem pro vznik světa známé značky ČKD. Přestože z ní v 21. století zbylo jen torzo, s jejími výrobky se i dnes setkáváme na každém kroku, včetně staveb z předminulého devatenáctého století. Pojdme si proto krátce připomenout pohnutou a slavnou éru značky ČKD z hlediska výroby lokomotiv.

#### 1 Vznik První českomoravské

V druhé polovině 19. století rostly továrny jako houby po dešti. Nedostatkové strojní vybavení se drazo nakupovalo až v Anglii, a proto byla silná poptávka po dostupnosti těchto nejrůznějších strojů a zařízení v tuzemsku.

V roce 1871 nově založená akciová společnost pod názvem „První českomoravská továrna na stroje v Praze“ si dala za cíl této poptávce vyhovět. O plánované pestrosti nabízených oborů výroby měly akcionáře přesvědčit i vytištěné akcie, na kterých byly zobrazeny budoucí obory. Počítalo se s výrobou strojů a zařízení pro potravinářský a chemický průmysl, s výrobou železných konstrukcí, lokomotiv, zemědělských strojů i lodí.

---

<sup>32</sup> Ing. Ladislav Novák, nar. 1945, absolvent Vysoké školy dopravní v Žilině, býv. konstruktér a projektant v závodě ČKD Lokomotivka, též technický delegát PZO Pragoinvest v Moskvě.

Provoz byl zahájen 20. srpna 1871 deseti modeláři v provizorní kůlně, kde připravovali výrobu transmisí pro vlastní továrnu. První historickou zakázkou byl cukrovar v Berouně. V nejbližších letech byly především cukrovary, ale i lihovary hlavní náplní výroby „Českomoravské“ nebo „Moraviny“, jak se této továrně zkráceně říkalo. V tomto roce C. k. rakouské ministerstvo železnic v obavě před konkurencí vídeňské lokomotivce nedalo Českomoravské povolení k výrobě kolejových vozidel.

V roce 1886 vzhledem k prudkému rozvoji železniční a silniční dopravy vzniklo v „Českomoravské“ mostárenské oddělení. Svůj um ještě v tomto roce předvedlo zahájením stavby železničního mostu přes Vltavu u Červené. Na dva šedesátimetrové kamenné pilíře stavěli pracovníci železnou nýtovanou konstrukci o třech polích, každé s rozpětím 84 metrů bez lešení. Most byl ve své době druhým nejvyšším mostem v Rakousku-Uhersku. Od roku 1889 je dosud v provozu, ale po letitém zanedbávání jeho údržby a kvůli nízké nosnosti není již použitelný pro nákladní dopravu. Památková ochrana byla proto zrušena a starý most se má po postavení nového mostu zbourat. Výstavba nového mostu měla být zahájena v nejbližší době.

Z dalších ocelových konstrukcí stojí za zmínku celokovové jeviště Národního divadla v Praze, první svého druhu v Evropě nebo kopule Národního muzea. Na podnět Klubu českých turistů byla jako součást Zemské jubilejní výstavy v roce 1891 postavena na Petříně pětkrát zmenšená napodobenina pařížské Eiffelovky, vysoká 63,5 metru. Centrem vzpomínané Zemské jubilejní výstavy měl být Průmyslový palác, jehož ocelovou konstrukci začala stavět Českomoravská ihned po předání projektové dokumentace 10. července 1890. Katastrofální povodeň (odnesla i několik pilířů Karlova mostu) v září téhož roku však zasáhla rozestavěnou konstrukci, která se zhroutila, a tím bylo ohroženo zahájení celé výstavy 1. května 1891. Výstavní výbor již začal mluvit o jejím ročním odložení. To však odmítl ředitel Novotný z Českomoravské slovy: „Když Českomoravská převzala úkol postavit Průmyslový palác, tak jako poctivá česká strojírna úkolu dostojí!“ (1). Zatímco po opadnutí vody byla zhroutená konstrukce rozřezávána, v továrně se již se vyráběla nová. Po 130 dnech práce byl Průmyslový palác předán svému účelu a termín zahájení výstavy byl zachráněn. Jako kontrast nelze neuvést současnou situaci. V roce 2008 vyhořelo levé křídlo tohoto paláce a po dvanácti letech dohadování byl zatím schválen jen projekt rekonstrukce tohoto křídla.

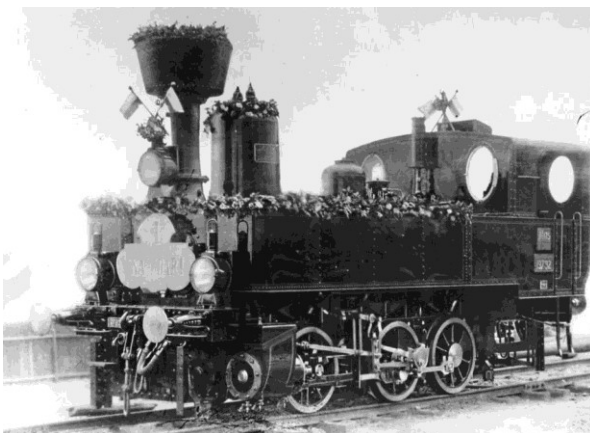
## **2 Výroba parních lokomotiv**

Druhý pokus o zavedení lokomotivního oboru v Českomoravské byl učiněn v roce 1898 opětovným návrhem na zřízení oddělení výroby lokomotiv, neboť se lokomotivy v českých zemích dosud průmyslově nevyráběly. Předpokladem úspěchu však bylo mít dostatek státních zakázek. Proto představitelé Českomoravské jeli do Vídně jednat na Ministerstvo železnic. Výsledkem jednání bylo, že továrna dostala v srpnu 1899 objednávku na šest tendrových lokomotiv dosavadní rakouské řady 97 (u ČSD řada 310.0).

Nové budovy pro výrobu lokomotiv byly dokončovány postupně od konce února 1900 do dubna 1901. První vyrobená lokomotiva v Českomoravské měla inv. č. 197 82 a bránu závodu opustila 28. dubna 1900 (*obr. 1*). Při slavnostním předání byla na čele označena nejen číslicí 1, ale i pozdravem Na zdar!, což přineslo pojmenování „Nazdárek“. Poslední z šestikusové série lokomotiv řady 97



byla předána v červnu 1900, což znamená, že všechny byly vyráběny v provizorních podmínkách



Obrázek č. 1: První parní lokomotiva 197.92 – Libeň, tov. foto, 28. 4. 1900

nedokončené výstavby lokomotivního oddělení továrny. Přesto při zkouškách obstály tak dobře, že lokomotivka dostala hned další zakázky. V následujícím roce ji byla i díky dobrým vztahům vedení lokomotivky s Karlem Gölsdorfem, vynikajícím hlavním konstruktérem generálního ředitelství Rakouských státních drah, dokonce svěřena výroba jeho prototypu lokomotivy řady 108 (ř. 275.0 u ČSD), s kterou Českomoravská překvapila celou Evropu. Při úředních zkouškách dokázala totiž dosáhnout se zátěží rychlosti 140 km/h.

Když za první dva roky výroby lokomotiv dodala libeňská továrna do provozu pět desítek kvalitně provedených parních lokomotiv různých typů, musely ji s nelibostí vzít na vědomí ostatní rakouské lokomotivky.

V První českomoravské se lokomotivy vyráběly dle výkresové dokumentace Rakouských drah. Po nástupu Ing. Vojtěcha Kryšpína do funkce přednosty technické kanceláře začala První českomoravská vyvíjet vlastní, a možno říci pokrokovější konstrukční řešení lokomotiv. První lokomotivou vyrobenou podle vlastní výkresové dokumentace byla dvojčítá rychlíková lokomotiva série IIc (342.0 u ČSD), která byla zároveň první parní normálně rozchodnou lokomotivou vybavenou Schmidtovým přehříváčem páry v tehdejší Rakousku. Rakouské ministerstvo železnic stále ještě prosazovalo mokrou páru, respektive sušič páry, a tak významné zvýšení účinnosti a hospodárnosti provozu parního stroje zaujalo soukromé dráhy. Česká severní dráha jich v letech 1905 až 1908 obdržela celkem šest a následně soukromá Ústecko-teplická dráha si koupila u První českomoravské deset podobných lokomotiv řady „Ie“ (344.6 u ČSD).

Rakouské státní dráhy však nadále objednávaly lokomotivy na mokrou páru, a tak hlavním výrobním programem První českomoravské do r. 1921 se stala řada 170 (434.0 u ČSD) s počtem 149 dodaných lokomotiv. Rakouské dráhy obdržely celkem od Českomoravské téměř 650 parních lokomotiv dvaceti různých typů, včetně mohutných rychlíkových lokomotiv řady 210 a 310 (375.0). Další více než sto lokomotiv řad 97 (310.0), 99 (320.0), 178 (422.0) a U (U 37.0) objednal Zemský výbor království českého (ZvKč) pro nově budované místní dráhy (2). A také parní vůz M1.401 (M 223.0), kterým se v roce 1908 prezentovala Českomoravská na jubilejní výstavě v Praze.

Období první světové války bylo pro dopravní strojírenství obdobím zvýšené produkce, železniční doprava byla strategickou prioritou státu. Vedle výroby osvědčených typů lokomotiv vznikaly i nové konstrukce. Českomoravské svěřil nový hlavní konstruktér Rakouských drah Johann Rihosek výrobu prototypu nové nákladní čtyřsprežní lokomotivy na přehřátou páru řady 270 (434.1). V roce 1917 vznikly v libeňské lokomotivce pro Buštěhradskou dráhu tendrové lokomotivy vlastní konstrukce řady Va (524.1), které výrazně ovlivnily technické řešení tendrových lokomotiv do dalších let.

Po vzniku samostatné Československé republiky se po poválečné konjunktře dala očekávat budoucí krize na domácím trhu, neboť na jejím území se nacházelo šedesát procent strojírenské výroby bývalé rakousko-uherské monarchie. Rostoucí konkurence vyžadovala další rozvoj Českomoravské, především stavbu nové ocelárny. Kromě investic chyběl i pozemek, kde by se dalo stavět, a proto se hledalo jiné řešení. Libeňská Českomoravská zahájila jednání s nedalekým vysočanským obchodním partnerem, který pro ni více než deset let jako subdodavatel vyráběl ocelolitinu a elektrotechnické výrobky. Tou firmou byla Elektrotechnická akciová společnost, dř. Kolben a spol., která měla po vydání elektrizačního zákona z roku 1919 o plošné elektrizaci republiky, zaručený odbyt svých výrobků a daňové úlevy.

### **3 Ing. Emil Kolben**

První českomoravská byla především firmou mnoha akcionářů s několika významnými osobnostmi jako např. ředitel Živnobanky Dr. Jaroslav Preis, první ředitel Ing. Vojtěch Novotný, druhý ředitel Bohumil Mařík a jeho bratr Václav, technický ředitel, atd. Elektrotechnická společnost však byla firmou jednoho mimořádně zdatného muže – Ing. Emila Kolbena (1862-1943). E. Kolben, absolvent pražské techniky, dostal Gerstnerovo stipendium, s kterým mohl koncem osmdesátých let předminulého století absolvovat studijní cestu po západní Evropě a USA. V roce 1888 navštívil v newyorské laboratoři Nikola Teslu, kde viděl kromě jeho vynálezů, v provozu motor na střídavý proud. Kvůli snaze prodloužit si pobyt v USA, našel si zaměstnání v Edisonových slévárnách jako konstruktér a zanedlouho přešel do výzkumných laboratoří v Orange, kde spolupracoval přímo s T. A. Edisonem. V roce 1889 byl sedmadvacetiletý Kolben jmenován šéfinženýrem technických kanceláří ve firmě Edison General Electric Co. v Schenectady, kde byl i fotografován s Edisonem v tramvaji při zahájení tramvajového provozu v tomto městě. Emil Kolben se stal blízkým spolupracovníkem T. A. Edisona, který při jeho odchodu z Ameriky uspořádal na rozloučení slavnostní recepci a po létech jej navštívil v Praze. V roce 1892 se Ing. Kolben vrátil do Evropy, aby převzal místo šéfinženýra ve švýcarské strojírenské firmě Oerlikon v Curychu po Brownovi, který si založil firmu Brown-Boveri. Zatímco u Edisona řešil E. Kolben problematiku elektrických vícepólových motorů a dynam, v Curychu se věnoval ve spolupráci s významnými elektrotechniky Evropy realizaci soustav přenosů elektrické energie na velké vzdálenosti.

Od konce roku 1895 se začal Ing. Kolben vracet do Čech, aby získal tiché společníky pro založení vlastního moderního elektrotechnického podniku vícefázové koncepce. Nebylo náhodou, že se vrátil v době, kdy se v Praze rozhodovalo o koncepci a zakázce na městskou elektrárnu. Na přednáškách a v diskusích Kolben prosazoval střídavý proud, a proto měl největšího oponenta v nejvýznamnějším českém elektrotechnikovi Františku Křižíkovi, vyznavači



stejnoseměrného proudu. Tyto spory nakonec nerozhodly technické argumenty, ale městské zastupitelstvo nakonec dalo přednost lacinější výstavbě a provozu střídavé varianty elektrárny. K všeobecnému překvapení Kolbenova elektrotechnická firma, založená teprve v roce 1896 získala již v srpnu 1898 celou zakázku na elektrotechnickou část elektrárny. Část dodávky strojního zařízení a parních strojů získala i První českomoravská. Vybavení pražské městské elektrárny technikou třífázových alternátorů bylo technickou událostí světového významu. Praha se tak stala předvojem techniky i vzorem pro další evropská města, což přineslo mladé firmě skvělé zakázky i významné reference.

Elektrotechnická a. s., dř. Kolben a spol. byla od samého začátku i německými a anglickými odborníky považována za podnik, vybavený nejmodernějšími technologiemi, z nichž některé nebyly v Evropě dosud používány. Podnik byl podobně jako Českomoravská vybaven vlastní elektrárnou, ale k pohonu strojů se místo obvyklých řemenových transmisí k přenosu energie používal třífázový proud, a tak každý obráběcí stroj měl svůj elektromotor, který si podnik sám vyrobil.

Alternátor stejné konstrukce jako pro holešovickou elektrárnu dodával proud pro osvětlení na Světové výstavě v Paříži v roce 1900 a dostal zlatou medaili. Po tomto úspěchu následovala řada významných zahraničních zakázek, které tvořily většinu produkce. Např. byly dodány dva dvoufázové alternátory o výkonu po 5 000 kVA, 11,5 kV pro městskou elektrárnu v Londýně, v dané době nejvýkonnější v Evropě, alternátory 1 500 kVA, 3 kV pro elektrárnu v Madridu, transformátory pro Dublin, stanice elektrických drah v Anglii a na ostrově Man, zařízení pro vodní elektrárnu v Launcestonu v australské Tasmánii apod.

Významné zahraniční zakázky vyplývaly mimo jiné ze známostí Ing. Emila Kolbena s významnými elektrotechnickými odborníky, které získal v předchozí funkci ve švýcarské firmě Oerlikon. S touto firmou Kolben nadále spolupracoval v oblasti elektrické trakce s jednofázovým systémem a dostával od ní i patenty a výrobní výkresy.



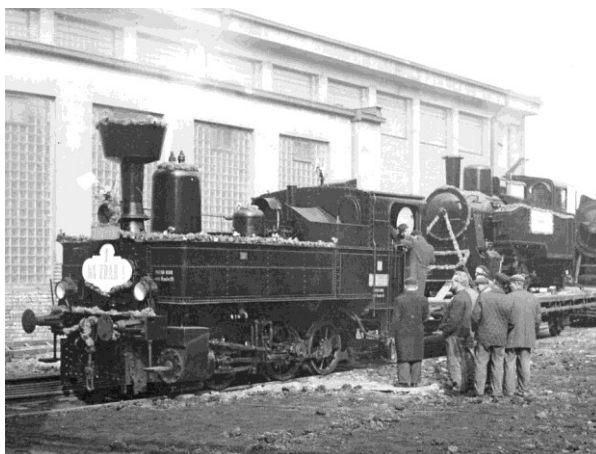
Obrázek č. 2: Akcie společnosti Českomoravská-Kolben z r. 1924 – tov. foto

Vraťme se k připravovanému spojení První českomoravské továrny na stroje, a. s. s Elektrotechnickou akciovou společností, dříve Kolben a spol. (EAS). Jednání byla zahájena v červnu 1920 a skončila v listopadu 1921 s tím, že byla schválena fúze obou podniků s účinností zpětně od 1. ledna 1921. Nová firma dostala název Českomoravská-Kolben, a. s. (ČMK), jak dosvědčují její akcie z roku 1924 (obr. 2).

#### 4 Parní lokomotivy pro Československo

V roce 1918 po vzniku samostatné Československé republiky přebíraly Československé státní dráhy (ČSD) ještě do roku 1920 nejen u První českomoravské parní lokomotivy řady 170 (434.0) a 270 (434.1), objednané rakouskými železnicemi, a naopak ČSD ještě tři roky tyto oba typy objednávaly pro sebe. Prvním strojem „české stavby parních lokomotiv“ byla řada 365.0 s uspořádáním 1C1 o výkonu 1 074 kW. V letech 1921 a 1923 dodala libeňská lokomotivka pro ČSD po dvaceti strojích. Více než sto kusů dosáhly dodávky lokomotiv řady 423.0 a 534.0. Nejvýkonnějšími parními lokomotivami, které navrhla a vyrobila ČKD, byly rychlíkové lokomotivy 486.1 (3 ks v roce 1934) o výkonu 1 986 kW. Avšak těžištěm aktivit ČKD byly tendrové lokomotivy. Na početné série pětispřežních lokomotiv vlastní konstrukce řady 524.1 pro nákladní vlaky i čtyřspřežních lokomotiv 423.0 pro místní dráhy navázaly mohutné tendrové lokomotivy pro osobní dopravu na hlavních tratích řad 456.0 a 464.0.

Po válce byla pro potřeby ČSD obnovena výroba předválečných typů lokomotiv, a to v modernizovaném provedení. Jednalo se jak o lokomotivy řad 423.0 a 433.0 pro vedlejší tratě, tak i lokomotiv řady 534.03 pro nákladní dopravu na hlavních tratích.



Obrázek č. 3: Poslední parní lokomotivu 900 BS 200 odváží lokomotiva 310.0132 – Praha-Libeň, tov. foto, 16. března 1959

Posledními parními lokomotivami z ČKD pro ČSD byli populární „papoušci“ řady 477.0 (476.1), dodávaní do roku 1955. Tyto nejtěžší a nejvýkonnější tendrovky (1 545 kW) u ČSD se osvědčily jak u příměstských vlaků, tak i u rychlíků na hornatých tratích. Definitivně poslední parní lokomotivou vyrobenou v ČKD byla úzkorozchodná průmyslová parní lokomotiva 900 BS 200 (Krutwig), kterou ze závodu 16. března 1959 symbolicky odvezla parní lokomotiva 310.0132, poslední lokomotiva z původní řady 97 (obr. 3).

#### 5 Vznik značky ČKD

Tak jednoduše však nelze odbýt historii výroby parních lokomotiv v ČKD. Je třeba se vrátit do roku 1910, kdy přibyl První českomoravské v českých zemích nový konkurent nejen v oboru výroby lokomotiv – Akciová společnost Strojírny, dříve Breitfeld, Daněk a spol. Na rozdíl od Českomoravské tato lokomotivka vyráběla parní lokomotivy jen podle dodané dokumentace buď z Rakouských, nebo Československých státních drah, případně dle výkresů z Českomoravské.

O její technologické vyspělosti však svědčí, že se vesměs jednalo o velké lokomotivy rakouských řad 80, 170, 270 a 310.

O fúzi Českomoravské-Kolben, a. s. s „Daňkovkou“ se v roce 1927 dohodly financující banky kvůli odstranění konkurence dvou podniků s podobným výrobním programem a zvětšení protiváhy plzeňské Škodovce, která začala s výrobou parních lokomotiv v roce 1920. Vznikla firma Českomoravská-Kolben-Daněk (ČKD) se známým znakem tří centrálně umístěných písmen v kruhovém poli (obr. 4).



Obrázek č. 4: Firemní znak ČKD

## 6 Motorizace

Československé státní dráhy zdědily hustou síť železničních tratí s množstvím místních drah, na nichž bylo nutné snížit provozní náklady, a proto vyzvaly výrobce na předložení svých návrhů na motorizaci železnic.

Firma ČKD předložila v roce 1927 nejjednodušší řešení prvního motorového vozu. Vzala z vlastní automobilky autobus Praga a posadila ho na koleje pod označením M 120.001 (obr. 5). Kolejový autobus byl provozován na místní trati Zaječí – Hodonín.



Obrázek č. 5: Kolejový autobus Praga M 120.001 – tov. foto, listopad 1927

V roce 1932 byly v ČKD vyrobeny první dva čtyřnápravové rychlíkové vozy řady M 264.001 a 02 o výkonu 220 kW. Konstrukční a provozní zkušenosti byly použity u osmikusové série dalších čtyřnápravových motorových vozů řady M 275.0 („Modrý šíp“). Šestiválcový motor ČKD o výkonu 260 kW, resp. osmiválec o výkonu 330 kW byl umístěn ve strojovně nad předním podvozkem, zatímco elektrický přenos obstarávaly dva trakční tlapové motory na zadním

podvozku. Je na místě podotknout, že ČKD nikdy nemělo vagónové oddělení, a tak vozové skříně se vyráběly na Smíchově u Ringhoffer a následně se dodávaly do vysočanské Kolbenky, kde se montovaly podvozky s motory a elektrickou výzbrojí ČKD. Dalším příspěvkem k modernizaci tratí ČSD byly dodávané dvounápravové motorové vozy řady M 242.0 opět s dieselelektrickým přenosem výkonu v provedení ČKD. V letech 1933 až 1939 bylo dodáno celkem 68 těchto vozů o výkonu od 96 do 147 kW. Spory ČKD s Ringhofferem ohledně vozových skříní přiměly vedení ČKD k úvahám o vlastní výrobě těchto skříní. Konstrukteři z Pragovky dostali za úkol vytvořit vozovou skříň moderní koncepce bez ohledu na strohé předpisy ještě z dob Rakouska, které příliš svazovali konstruktéry při realizaci objednávek od ČSD. Motorový vůz M 260.001 aerodynamického tvaru má dva dvounápravové podvozky, v každém z nich byl osmiválcový čtyřtákní vodou chlazený naftový motor o výkonu 169 kW a šestistupňová mechanická převodovka Praga-Wilson. Při Technicko-policejní zkoušce v únoru 1939 bylo dosaženo rychlosti 130 km/h. Ukázalo se však, že účinnost bubnových brzd nedosáhla na potřebná brzdící procenta, a tak byla maximální provozní rychlost snížena na 90 km/h. Motorový vůz byl nasazován do provozu ve výtopně Praha-Masarykovo nádraží do konce roku 1939. Pak byl provoz motorových vozů s naftovým motorem postupně omezován, až byl úplně zastaven. Ve válečném období se naftou přednostně zásobovala armáda, takže motorizované vlaky opět nahradila pára. Další dramatický osud a znovuzrození Stříbrného šípu je podrobně popsán v literatuře (3) z roku 2016.

Po válce od roku 1949 byla finalizována ve Vysočanech 1. série motorových vozů M 262.0 se skříněmi z brněnské Královopolské strojírny, se spalovacími motory 12V 170 DR z Libně a s elektrickými výzbrojemi z Vysočanského dráhového oddělení Kolbenky. Počínaje 2. sérií motorových vozů M 262.0 již ČKD motorové vozy nekompletovala, dodávala jen podvozky s naftovými motory a elektrickou výzbrojí ČKD vagónce ve Studénce. Od třicátých let minulého století ČKD také vyráběla v malém množství dvounápravové úzkorozchodné i normálně rozchodné průmyslové lokomotivy o výkonech od 20 do 80 kW. Výjimkou byly lokomotivy BN 60, kterých bylo ve dvou sériích v letech 1955 až 1957 vyrobeno celkem sedmdesát a několik z nich jezdí dosud v muzejním provozu.

## **7 Výroba motorových lokomotiv**

Začátek intenzivní výroby motorových lokomotiv v ČKD nastal po rozdělení úkolů v rámci centrálního řízení hospodářství v poválečném Československu. Došlo k delimitaci výroby kolejových vozidel s výraznou specializací. ČKD byl přidělen vývoj motorových lokomotiv, plzeňská Škodovka dostala elektrické lokomotivy a Vagónka Studénka elektrické a motorové vozy a jednotky. První zadání od ČSD bylo předloženo již v roce 1948 a upřesněno v roce 1949. ČSD požadovaly od ČKD vyvinout lokomotivu pro traťovou a posunovací službu o výkonu 515 kW a traťovou lokomotivu pro úzký rozchod 760 mm. Úzkorozchodná lokomotiva řady T 47.0 (nyní 705) se řešila snadněji, neboť byly využity zkušenosti s naftovým motorem 12 V 170 DR a jeho elektrickou výzbrojí z Kolbenky, která byla dodávána do vzpomínaných motorových vozů M 262.0. Výsledkem bylo dodání 21 lokomotiv T 47.0 o výkonu 258 kW a dalších podobných 45 lokomotiv do Sovětského svazu. Obtížnější a časově náročnější byl vývoj výkonnější lokomotivy řady T 434.0 s novým řadovým stojatým naftovým motorem o vrtání válců 310 mm, který byl odvozen z lodního osmiválce. První



prototyp byl předveden v září 1953, druhý až o dva roky později a šestikusová ověřovací série byla vyrobena po dalších dvou letech v červenci 1957. Příčin tak dlouhého osmiletého vývoje bylo několik. Především to byla nezkušenost pracovníků lokomotivky s vývojem a výrobou nové trakce včetně oprav provozních závad. Dokonce ani tehdejší vedení lokomotivky nebylo příliš nakloněno motorové trakci, neboť jim komplikovala dosavadní hladký průběh výroby parních lokomotiv.

Teprve dva prototypy lokomotivy řady T 435.0 (ř. 720) z roku 1958 a především sériová výroba těchto lokomotiv s elektrickým přenosem výkonu od roku 1959 (obr. 6), které se v provozu ukázaly jako produktivní a spolehlivé, potvrdila správnost nastoupené cesty. Vynaložené úsilí proměnilo zpočátku velmi problémový projekt v základ konstrukce dalších úspěšných lokomotiv ČKD.



Obrázek č. 6: Lokomotiva 720.114 – Žst. Benešov u Prahy, 22. 6. 2016

Mezitím byla realizována sériová výroba jednodušších dvounápravových lokomotiv s mechanickým přenosem a automobilovým motorem Tatra 111A o výkonu 121 kW řady T 211.0 (ř. 700). Mechanický přenos pro malé výkony byl podle tehdejších příruček samozřejmostí, zrovna tak jako elektrický přenos pro vysoké výkony, neboť mechanické převodovky nebyly schopné tak vysoké výkony přenést. Střední výkony měly být doménou hydraulického přenosu. Tématem do diskuze byla dělicí hranice mezi středním a vysokým výkonem, hydraulický přenos byl v zahraničí většinou používán pro výkon do 880 kW, jinak se volila varianta se dvěma hnacími agregáty, což bylo v ČKD uskutečněno též v podobě lokomotivy T 449.0. Únosnost vedlejších tratí, pro které byly především určeny motorové lokomotivy, byla většinou 14 tun na nápravu. Jak je známo, lokomotivy T 434.0 toto zadání nedodržely a musely být následně přečíslovány na T 436.0, zatímco pozdější lokomotivy s hydraulickým přenosem s hmotností 14 tun na nápravu neměly problémy (T 334.0 a T 444.0,1).

V tomto případě však velkou roli sehrála i rozdílnost použitých naftových motorů. Elektrický přenos byl na lokomotivách T 435.0 spojen s pomaloběžným těžším, ale spolehlivějším naftovým motorem řady 310, hydraulický přenos byl na lokomotivách T 444.0 spojen s rychloběžnějším a lehčím, ale méně spolehlivým naftovým motorem řady 170.

V době centrálního řízení hospodářství byly strategické materiály přísně bilancovány. Hydraulický přenos výkonu byl upřednostňován z důvodu závislosti elektrického přenosu na použití drahé devízové mědi. Došlo však k předání

výroby lokomotiv s hydraulickým přenosem výkonu T 444.0 (jednoagregátová) a T 478.0 (dvouagregátová) pro tuzemsko do slovenského Martina. Po termínově nezvládnuté sovětské objednávce na dvouagregátovou lokomotivu s hydraulickým přenosem výkonu se objevila ještě jedna sovětská poptávka na jednoagregátovou lokomotivu s hydraulickým přenosem o výkonu 883 kW. Ta vznikla v souvislosti s poptávkou na náhradu lokomotiv ČME2 výkonnější šestinápravovou lokomotivou ČME3. Původně měly být vyrobeny prototypy s oběma typy přenosu výkonu a sovětské Ministerstvo dopravy se mělo rozhodovat na základě jejich porovnávacích zkoušek.

Poslední snaha o prosazení hydraulického přenosu výkonu a vedle rozvíjejícího se elektrického přenosu výkonu na tuzemské úrovni se měla odehrát v polovině šedesátých let minulého století mezi prototypy lokomotiv T 478.1001 a 002 (ř. 751) s elektrickým přenosem výkonu a T 478.2001 s licenční hydraulickou převodovkou ČKD SRM. Původně měly mít oba typy stejný motor K 6 310 DR o výkonu 1 103 kW a maximálně možný počet shodných dílů. Bylo však potřeba vyzkoušet v provozu nově vyvíjený naftový motor s vrtáním válců 220 mm, a tak byla k tomuto motoru přizpůsobena konstrukce „hydraulické“ T 478.2. V průběhu zkoušek byl v jednom období zvýšen její výkon na 1 324 kW, což byl maximální výkon dosažený u lokomotivy ČKD s hydraulickým přenosem. Vzhledem k rozdílným motorům a snížení zájmu o hydraulický přenos výkonu nebyly plánované porovnávací zkoušky provedeny. Po tomto hydraulickém intermezzu se vraťme zpět k elektrickému přenosu výkonu, jehož opodstatnění prokázal pozdější vývoj svázaný s elektronickou regulací a elektrodynamickou brzdou (EDB).

Po dvou prototypech T 435.0 (ř. 720) pro ČSD následovala desetikusová ověřovací série pro čs. průmysl (T 435.05) a I. série v počtu šedesáti lokomotiv. První dvě z nich byly upraveny na široký rozchod a vybaveny automatickým spřáhlem pro provoz na Sovětské železnici (SŽD), dalších pět širokorozchodných lokomotiv (T 435.04), též ještě vyrobených koncem roku 1958, bylo určeno pro širokorozchodnou trať do Košic. Většina ostatních lokomotiv z této série přešla v roce 1959 do provozu u ČSD, několik jich zamířilo do průmyslu. Lokomotivy ČME2 se v nesnadných provozních a klimatických podmínkách sovětských železnic uvedly úspěšně. Koncem téhož roku se již rozběhla výroba samostatné šedesátikusové série lokomotiv ČME2. Po řešení závad a připomínek zákazníka ke zlepšení trakčních vlastností se začala vyrábět od 2. série v roce 1962 trochu jiná lokomotiva ČME2, o deset tun těžší, o 700 mm delší a s větším objemem palivové nádrže. S touto lokomotivou byl sovětský zákazník velmi spokojen a v rámci mezivládních dohod bylo naplánováno, že do konce roku 1965 bude na SŽD v provozu celkem 822 těchto lokomotiv.

Toto množství by téměř vyčerpalo výrobní kapacitu lokomotivky ČKD, ale ČSD nutně potřebovalo další lokomotivy této výkonové kategorie, neboť dodaných 145 lokomotiv T 435.0 nestačilo k plnění rostoucích požadavků na motorizaci tuzemských tratí. Po jednáních na toto téma sovětská strana souhlasila, že se zřekne části plánovaných dodávek lokomotiv ČME2 ve prospěch ČSD.

Ve výsledku to znamenalo, že se na SŽD dodalo celkem o 300 lokomotiv ČME2 méně a v roce 1963 ČSD obdržely prvních čtyřicet lokomotiv z celkových 221 strojů označených řadou T 458.1 resp. 721. (obr. 7) Zkrátka nepřišel ani průmysl v tuzemsku, Indii, NDR, Albánii, Polsku a Iráku. O tom, že byla tato



lokomotiva původně určena pro SŽD svědčí skutečnost, že dvojkolí má pro ČSD nestandardní průměr 1 050 mm místo obvyklého průměru 1 000 mm. Ukázalo se, že robustnost a spolehlivost jsou v provozu důležitějšími vlastnostmi, než splnění nízkých limitů hmotnosti. A to jak z důvodů patřičného pevnostního dimenzování, tak i pro docílení potřebných adhezních tažných a brzdných sil.

Sovětské železnice mohly oželeť oblíbené lokomotivy ČME2 proto, že hlavně očekávaly v roce 1964 dodávku prvních šestnápravových lokomotiv ČME3, určených pro těžký posun a přetahy. Tuzemskou verzí byl prototyp ČKD s označením T 669.0001 (ř. 770). Sériová výroba této řady se po zkouškách přesunula do SZM Dubnice nad Váhom, kde pokračovala i v provedení T 669.1 jak pro ČSD, tak i pro tuzemský průmysl, zatím co pražská lokomotivka se věnoval výrobě lokomotiv tohoto typu pro export. Lokomotivy ČME3 se staly pro ni nosným a průběžně zdokonalovaným produktem (ČME3T, ČME3E). Nejvýznamnější kapitolu ve výrobě lokomotiv v ČKD na export zde však nebudeme rozvádět, neboť byla podrobně popsána v (6).



Obrázek č. 7: Lokomotiva T 458.1190 – DHV Lužná u Rak., 8. 9. 2019

## 8 Traťové lokomotivy ČKD

Spolu s čtyřnápravovými posunovacími lokomotivami řady T 435.0 se koncem padesátých let také vyvíjely i šestnápravové lokomotivy traťové pro osobní i nákladní dopravu s přepínaným osmiválcovým naftovým motorem K 8S 310 DR o výkonu 1215 až 1470 kW. Po třech skříňových prototypech s jednou kabinou (T 698.0 a T 658.0) se v letech 1962 až 1965 vyráběly dvoukabinové „pomoranče“ T 678.0 (řada 775) a T 679.0 (řada 776) s parním generátorem pro vytápění vlaku v počtu 17 resp. 27 kusů. V exportní variantě s označením DEM 2000 bylo dodáno v roce 1963 dvacet lokomotiv do Iráku. Dodávky šestnápravových nákladních traťových lokomotiv pro ČSD však v dalších letech zajišťoval jak pro Československo, tak i pro další země RVHP, Sovětský svaz v podobě lokomotiv typu M 62, (na ČSD řada T 679.1).

Avšak pro náhradu lokomotiv parních za motorové na čs. železnicích byly potřebné, zejména k vozbě vlaků osobní přepravy, v první řadě lokomotivy čtyřnápravové. To v ČKD iniciovalo vývoj a výrobu čtyřnápravových traťových lokomotiv s šestiválcovým přepínaným motorem K 6S 310 DR o výkonu 1 103 kW. Velmi oblíbené „zamračené“, „bardotky“ či „barči“ (obr. 8) v provedení T 478.1 (ř. 751) s parním generátorem PG 500 pro vytápění osobních vozů a T 478.2 (ř. 752) bez parního generátoru, určené pro nákladní vlaky na tratích s oblouky o malém poloměru, pro které byly šestnápravové lokomotivy

nevhodné, se vyráběly v období 1965 až 1971 do celkového počtu 312 kusů, z toho 230 s parním generátorem a 82 bez parního generátoru. S těmito lokomotivami definitivně skončila dodávka motorů s vrtáním 310 mm pro tuzemsko. Výroba „třistadesítek“ dále pokračovala již jen pro lokomotivy ČME3 a jejich modifikace, neboť MPS vždy odmítlo nabízené „dvěstětrícítky“ používat, když už mělo dobře zaběhlý systém údržby a oprav spolehlivých „třistadesítek“.



Obrázek č. 8: Lokomotiva T 478.1010 – ŽZO Cerhenice, 6. 5. 2015

Dvanáctiválcové motory K 12V 230 DR o výkonu 1 325 kW se poprvé objevily na prototypch lokomotiv T 478.3 v roce 1968, které též z důvodu svého určení především pro osobní dopravu byly vybaveny parními generátory. „Brejlovci“ se sériově vyráběli v letech 1970 až 1977, celkem bylo vyrobeno 408 lokomotiv T 478.3. Na úbytek osobních vagónů s parním vytápěním a nástup čtyřnápravových osobních vozů UIC Y, opatřených elektrickým topením reagovala lokomotivka spolu se závodem Trakce inovací stávající řady – „elektrickým brejlovcem“ (obr. 9).



Obrázek č. 9: Lokomotiva 754.012 – Žst. Uherský Brod, 25. 11. 2018

Lokomotivy T 478.4 (řada 754) především vyměnily parní generátor PG 500 za topný alternátor A 403, který byl v předstihu provozně ověřován na prototypu T 476.0501 poháněném osmiválcovým řadovým spalovacím motorem K 8S 230 DR. Kromě zdroje pro napájení elektrického vlakového topení 3 kV DC o výkonu 400 kW a elektronické regulace elektrického přenosu výkonu přinesly lokomotivy T 478.4 i další v té době moderní a charakteristické prvky lokomotiv ČSD: automatickou regulaci rychlosti (ARR) podle návrhu VÚŽ a jednotné stanoviště strojvedoucího s ležatým pákovým kontrolérem. Ze strany FMD bylo

objednáno celkem 182 lokomotiv T 478.4, ale po dvou prototypech z roku 1975 se stihla ještě v letech 1978 až 1980 vyrobit jen ověřovací a první série této řady. Lokomotiva T 478.4086 předaná 2. července 1980, tj. před 40 lety, byla poslední skříňovou traťovou motorovou lokomotivou vyrobenou a předanou domácím státním drahám. Dodávky přerušil v témže roce úmyslně založený požár v závodě ČKD Naftové motory na Smíchově. Exportní výroba lokomotiv ČME3 se nesměla přerušit, a proto se výroba motorů K 6S 310 DR včetně pracovníků přesunula do závodu ČKD Hradec Králové, kde se tyto motory v menším množství již předtím vyráběly v rámci kapacitní kooperace. V libeňské lokomotivce však pokračovala kromě montáže lokomotiv ČME3 i částečná stavba lokomotiv T 466.2 (ř. 742). Jediný motor K 6S 230 DR se použil jako maketa na pasování potrubí a zařízení přiléhajících k motoru, pak se demontoval a použil postupně na další lokomotivy na montáži. Výsledkem byly zkompletované lokomotivy bez dieselů „v kopřivách“, které čekaly na obnovu výroby ve smíchovském závodě. Téměř po roce byla na Smíchově obnovena i linka na výrobu dvěstětřicítkových šestiválců, linka na problémové dvanáctiválce však již obnovena nebyla, a tím předčasně skončila výroba lokomotiv T 478.4.

U traťových lokomotiv nesmí chybět zmínka o „TOP“ motorové lokomotivě ČKD. Nejvýkonnější (1 765 kW) a nejrychlejší (178 km/h) motorová lokomotiva byla postavena v roce 1974 ve dvou prototypech s označením T 499.0001 a 002 s přezdívkou „kyklop“ (obr. 10). Byla to na československé poměry převratná a moderní lokomotiva tzv. třetí generace s elektrickým smíšeným (AC/DC) přenosem výkonu. Proti předchozím traťovým lokomotivám měla ve výbavě elektrodynamickou brzdou 2 000 kW, synchronní alternátor s polovodičovým usměrňovačem k elektrickému vytápění vlaku, elektronickou regulací elektrického přenosu výkonu, automatickou regulací rychlosti (ARR), tangenciálně vypružená dvojkolí, valivá tlapová ložiska, sekundární vypružení lokomotivy pomocí trojic šroubových pružin místo závěsek atd.



Obrázek č. 10: Lokomotiva T 499.0002 – ŽZO Cerhenice, 6. 5. 2015

Po absolvování prototypových zkoušek byly prototypy schváleny v červnu 1977. ČSD si do svého majetku lokomotivy nepřevzaly a měly je jen v pronájmu s tím, že ani o další lokomotivy nemá zájem. Hlavní tratě, pro které by byly



rychlé a výkonné motorové lokomotivy vhodné, byly totiž postupně elektrifikovány. Později se stal spoluživitelem lokomotiv VÚŽ Cerhenice a od roku 1982 jejich vlastníkem.

První neprovozní prototyp byl určen pro nárazové zkoušky a používán jako zdroj náhradních dílů, v roce 1989 pak byl na Železničním zkušebním okruhu (ŽZO) sešrotován. Druhý prototyp byl využíván pro účely VÚŽ do roku 1992, pak byl odstaven z provozu. Lokomotiva T 499.0002 (ř. 759) byla od roku 2013 znovu opravována v DPOV Nymburk a v roce 2015 slavnostně zprovozněna pro potřeby VUZ a výstavních akcí (4). Dlouho se diskutovalo o příčinách nezájmu ČSD o tyto lokomotivy. Na prvním místě se uvádí překročení stanovené hmotnosti lokomotiv. Projekt počítal s hmotností na nápravu 20,5 až 21,5 tuny. Těsně před schvalováním projektu přišlo FMD s požadavkem na nápravovou hmotnost 19,5 tuny. Hmotnost prototypů byla podle tohoto kritéria překročena o pět tun a konstruktéři ČKD byli schopni po dílčích úpravách ušetřit jen 2,5 tuny. Vývoj „kyklopů“ se proti původnímu plánu zpozdil o pět let a za tu dobu pokročila elektrizace železnic, a tím ubylo množství hlavních nezatrolejovaných tratí, pro které byly tyto lokomotivy určeny. Nepravdivé je však uvádět jako další příčinu zastavení jejich výroby to, že ČKD nesměla dle dohod v rámci RVHP vyrábět motorové lokomotivy ve výkonové kategorii přes 1 470 kW. Ve skutečnosti byla včas dojednána výjimka na výrobu osmdesáti lokomotiv T 499.0 pro tuzemskou potřebu.

## **9 Druhá generace motorových lokomotiv ČKD**

Lokomotiva T 499.0 byla označena za stroj 3. generace ale zároveň byla posledním členem 2. generace, za kterou se považovaly lokomotivy s naftovým motorem o vrtání 230 mm. Tento motor dokázal ve čtyřech provedeních pokrýt výkony v rozsahu 600 až 1 800 kW. Prvním členem byly dva prototypy T 475.1501 a 502 s řadovým šestiválcem K 6S 230 DR o výkonu 846 resp. 920 kW. Cílem konstruktérů bylo především vytvořit co nejlehčí traťovou lokomotivu a vyzkoušet nové uložení hlavního rámu na podvozcích. Na prvním prototypu byly pro porovnání ještě klasické závěsky, druhý měl pryžokovové sloupky, které se natolik osvědčily, že se začaly používat na téměř všech nových řadách lokomotiv. Druhým členem byl jediný prototyp T 476.0, kde se zkoušel především řadový osmiválec K 8S 230 DR o výkonu 1 140 kW a topný alternátor A 403 o výkonu 330 kW.

FMD neprojevovalo zájem ani o jeden z obou typů, proto konstruktéři ČKD překreslili při zachování koncepce lehkou traťovou lokomotivu (60 t) T 475.1 na těžší posunovací lokomotivu (72 t) pro průmyslové závody. Vznikla lokomotiva T 448.0 (ř. 740) s nastaveným výkonem 883 kW, o kterou byl mezi vlečkaři velký zájem, a tak bylo v lokomotivce rozhodnuto, že se rozšíří výrobní konto ověřovací série rovnou na sérii 24 lokomotiv. Výroba lokomotiv T 458.1 již byla od roku 1970 skončena a lokomotivy T 444, respektive T 334 z produkce lokomotivek v Martině a v Dubnici nad Váhom nenaplňovaly představy svých provozovatelů ani svými trakčními vlastnostmi, ani svou provozní spolehlivostí. V letech 1973 až 1989 tak bylo celkem dodáno 459 lokomotiv T 448.05 pro čs. průmysl (obr. 11) a 161 kusů mírně upravených T 448-P pro polský průmysl.



Obrázek č. 11: Lokomotiva 740.561 – Benešov u Prahy, 20. 5. 2012

V roce 1975 přišli do ČKD pracovníci FMD s překvapivým tématem jednání. Turčianské strojírný v Martině vzhledem k jiným úkolům chtěly skončit s výrobou lokomotiv T 466.0. ČKD by podle představ FMD měla dokončit zkoušky a vývoj nového prototypu T 466.1 z Martina a začít tyto lokomotivy sériově vyrábět s tím, že motor 12 PA 4 V-185 bude ČKD kupovat ze ZTS Martin. Lokomotivka ČKD toto řešení odmítla, neboť by se kvůli rozdílné konstrukci musela přizpůsobit technologii zavedené výroby. Pracovníkům FMD bylo navrženo, že když nebudou trvat na vytápění vlakových souprav, může ČKD přizpůsobit sériově vyráběnou lokomotivu T 448.0 požadavkům ČSD a v krátké době jí dodávat.

S tímto realistickým návrhem FMD souhlasilo a ČKD slíbila začít vyrábět rovnou šedesátikusovou sérii lokomotiv T 466.2. Příslušné předpisy o vývoji nových výrobků se formálně splnily tím, že se lokomotivy T 475.1 prohlásily za její prototypy a jejich výroba se prověřila ověřovací sérií lokomotiv T 448.0. Po prvních jednáních však nikdo netušil, kolik dodatečných změn i v průběhu zpracování konstrukce bude požadováno. Snížení hmotnosti se vyřešilo úsporou pěti tun oceli na hlavním rámu proti T 448.0. Rám z lokomotivy T 475.1 se nedal použít, protože nebyl ještě přizpůsoben na náročné stlačovací zkoušky v ose centrálního automatického spřáhla, jehož brzké zavedení bylo tehdy s plnou vážností předpokládáno. Snížit hladinu hluku se podařilo díky dvojitým stěnám dveří kapot, navíc se doplnila boční dvířka hlavního rámu. Kvůli předpokládanému vyššímu zatížení naftového motoru v provozu u ČSD proti vlečkařům, požádaly ČKD Naftové motory lokomotivku o zvýšení výkonu chladicího bloku. Naopak se na přání FMD zjednodušilo schéma vzduchotlakové brzdy použitím jednookruhového systému proti dvouokruhovým brzdám na T 448.0 a doslova na poslední chvíli se zjednodušovalo i elektrické schéma zapojení trakčních motorů (náhrada skupinového řazení vyšším odbuzením). Kromě naftového motoru a podvozků se tím prakticky všechny výkresy kreslily znovu. Případné chyby ve změnách výkresové dokumentace by samozřejmě šly k tíži lokomotivky.

Není divu, že při zaplněné montážní lince lokomotivami T 466.2 v různém stádiu rozpracování se s napětím čekalo na vážení první lokomotivy. Při těch všech změnách za pochodu dopadlo celkem dobře, jen zatížení předního podvozku bylo větší než zadního, ale na hranici tolerance. Celková hmotnost lokomotivy měla rezervy, a proto se zadní část lokomotivy dobalastovala kvůli srovnání těžiště. Na prvních šesti rozpracovaných lokomotivách se jako balast použily litinové housky umístěné do prostoru pro nářadí, ostatní stroje již mají

balast standardně v rámu pod kabinou. V osmi sériích se v letech 1977 až 1986 vyrobilo celkem 494 lokomotiv T 466.2 (obr. 12), příp. T 466.25 (ř. 742). Tito oblíbení „kocouři“ jsou dodnes nejrozšířenější řadou motorových lokomotiv v provozu na ČSD, resp. na ČD a ŽSR. Do této generace patří ještě deset lokomotiv T 466.3 (ř. 743) s EDB pro kořenovskou zubačku, které na zdejších sklonech až 57 ‰ nahradily ozubnicové lokomotivy řady T 426.0. Na export bylo vyrobeno čtyřicet úzkokolejných D 12 E pro Vietnam a čtyři BB 1000 pro Kambodžu. To znamenalo vytvořit modifikaci podvozků pro rozchod 1 000 mm, důslednou tropikalizaci pro silně korozní prostředí a pro Kambodžu též vakuovou brzdu. Ve Vietnamu byla lokomotivám D 12 E svěřena vozba expresních vlaků na magistrále Hanoi – Danang – Saigon.



Obrázek č. 12: Lokomotiva 742.171 – Žst. Benešov u Prahy, 23. 5. 2014

## 10 Třetí generace motorových lokomotiv ČKD

Zmíněná třetí generace lokomotiv se od druhé liší změnou elektrického přenosu výkonu ze stejnosměrného (DC/DC) na smíšený (AC/DC). Konstrukčně to znamenalo nahradit na lokomotivách trakční dynamo (DC) alternátory (AC) při zachování stávajících stejnosměrných trakčních motorů. Výhodou tohoto řešení bylo snížení hmotnosti trakčního generátoru, při zvýšení jeho spolehlivosti a zjednodušení údržby a oprav díky chybějícímu komutátorovému systému. Tyto výhody převážily nutnost doplnit elektrickou výzbroj trakčním usměrňovačem.



Obrázek č. 13: Lokomotiva 730.632 – Benešov u Prahy, 12. 9. 2012

Smíšeným přenosem výkonu byly na ČSD jako první vybaveny tři prototypy T 457.0 (ř. 730) o výkonu 600 kW v roce 1978. Novinkou byla také kvůli lepšímu



výhledu žádaná zvýšená kabina a snížené kapoty. To se podařilo zajistit díky přemístění turbodmychadla dvěstětřicítkového motoru spolu se zapuštěním naftového motoru do hlavního rámu. Ověřovací desetikusová série byla dodána až po sedmi letech a podle požadavku FMD byla mj. kabina strojvedoucího přepracována do nižšího evropského obrysu UIC 505 (G1), a tím se výhled z lokomotivy opět o něco zhoršil. V roce 1988 následovala výroba pětikusové minisérie lokomotiv vybavených automatickou regulací rychlosti (ARR) a dálkovým ovládním (DO). Lokomotivy ze sériové výroby (1988 až 1989) šly do provozu v železničním průmyslu a k útvarům železničního vojska. Do roku 1989 bylo celkem vyrobeno 60 lokomotiv T 457.0 (obr. 13) včetně jednoho exportu do Jugoslávie.

Následná inovace uvedených lokomotiv spočívala především ve vybavení EDB, a tím i prodloužení délky lokomotivy, ale také v návratu ke středoevropskému obrysu dle ČSN 28 0329 (G2). Po dvou prototypech řady 731 v roce 1988 byly vyrobeny v letech 1991 až 1992 dvě třicetikusové série (obr. 14), přestože v knize lokomotiv ČKD byla původně přidělena výrobní čísla dalším 60 lokomotivám řady 731.



Obrázek č. 14: Lokomotiva 731.033 a 051 – Žst. Margecany, 18. 9. 2015

Souběžně s vývojem těchto lokomotiv se o své lokomotivy na míru přihlásil hutní průmysl s požadavky na obsluhu i horkých provozů u pecí. Konstrukteři ČKD se logicky snažili uplatnit v obou typech co nejvíce shodných prvků. Nicméně lokomotivy s označením T 419.0 se vyznačují především robustnějším hlavním rámem a „čmeláckými“ trakčními elektromotory TE 006 proti obvyklým motorům TE 015 u ČSD. Dva prototypy lokomotiv T 419.05 (později přečíslováno na řadu 729.5) byly vyrobeny v roce 1983, desetikusová ověřovací série o tři roky později. V roce 1989 vyjela ze vrat lokomotivky ČKD desetikusová prototypová série inovovaných lokomotiv s EDB s označením T 419.15 (ř. 729.6). První z nich byla exportní variantou pro polský důlní průmysl a nesla označení T 419-P-601. V návaznosti na úspěšný provoz lokomotiv S200 a T 448-P u polských vlečkařů se očekával zájem i o lokomotivy T 419-P, což se potvrdilo v lokomotivce zřízením výrobních kont na dodání dvou desetikusových sérií těchto lokomotiv v roce 1990 a 1991. Hospodářská nestabilita v těchto letech však způsobila, že v Polsku zůstalo jen u výše uvedeného jedináčka. Lépe nedopadla ČKD ani v tuzemsku. Z první zrušené polské série se vyrobily lokomotivy pro tuzemsko, a tím skončily dodávky pro čs. průmysl, neboť zákazníci zrušili dalších dvacet objednaných lokomotiv. Celkem bylo tak vyrobeno pouhých 32 lokomotiv T 419.0 a T 419.1.

## 11 Ztráta východních trhů

Lokomotivy ČME 3 byly dlouhá léta základem produkce libeňské lokomotivky. Pro Sovětský svaz jich bylo v osmdesátých letech dodáváno 440 kusů z celkové roční produkce až 520 lokomotiv. Další lokomotivy tohoto typu směřovaly do Polska, Albánie, Indie, Iráku a Sýrie. S cílem zvýšit hospodárnost provozu se dočkaly výrazné inovace v dosazení elektrodynamické brzdy a elektronické regulace elektrického přenosu výkonu, což se v provozu setkalo s pozitivní odezvou. Exportní série lokomotiv ČME3 a jejich modernizovaných verzí ČME3T a ČME3E trvala do náhlého přerušení objednávek v roce 1991 nepřetržitě 28 let. Spouštěcím mechanismem ukončení objednávek zákazníkem byl požadavek naší vlády na okamžité zrušení Rady vzájemné hospodářské pomoci (RVHP). Jednou z dalších příčin byla ekonomika. V porevolučních letech prošly strukturálními změnami všechny ekonomiky východoevropských zemí, včetně SSSR, výroba prudce klesla, nebylo co vozit a lokomotiv byl přebytek. Situace se však časem změnila, ale české firmy už u toho nebyly. Plzeňská Škodovka měla dříve se svými elektrickými lokomotivami na sovětském území na elektrifikovaných tratích výsadní postavení v osobní dopravě, elektrické lokomotivy ruské výroby obsluhovaly především nákladní přepravu. Na prestižní trati Moskva-Leningrad jezdily buď elektrické jednotky z řížského závodu nebo plzeňské elektrické lokomotivy ČS-200 již v osmdesátých letech rychlostí 200 km/h. V současné době se na této trati prohánějí vysokorychlostní vlaky značky Siemens.

Lokomotivka ČKD se zkoušela koncem devadesátých let vrátit na ruský trh alespoň formou spolupráce s některou ruskou lokomotivkou např. dodávkami elektrické výzbroje s elektronickou regulací. Zájem projevila lokomotivka v Ljudinovu, významem čtvrtá v pořadí lokomotivek v bývalém Sovětském svazu. Tato lokomotivka se specializovala na výrobu motorových lokomotiv s hydraulickým přenosem výkonu, ale vyráběla také osminápravovou posunovací a přetahovou lokomotivu s elektrickým stejnosměrným přenosem o výkonu 1 470 kW a hmotnosti 168 až 180 tun typu TEM7, resp. 7A. Vývoj lokomotivy byl zahájen v roce 1972 ve spolupráci s několika výzkumnými ústavu. Dva prototypy TEM7 byly vyrobeny v roce 1975, další roční výroba se pohybovala v řádech jednotek, neboť tato 21,5 metrů dlouhá lokomotiva s hmotností na nápravu 22,2 tun potřebovala ke své sériové výrobě postavit nové výrobní haly. Za sedm let bylo včetně prototypů vyrobeno pouze 23 strojů. MPS se proto obrátilo v roce 1982 na ČKD, aby navrhlo podobnou lokomotivu s tím, že se výhledově počítalo s odběrem dvou až tří tisíc těchto osminápravových lokomotiv.



Obrázek č. 15: Lokomotiva ČME5-0002 – ČKD Lokomotivka, tov. foto, 1986

Dva prototypy lokomotiv ČME5 (obr. 15) o výkonu 1 470 kW s motorem K 8S 310 DR byly vyrobeny v roce 1986, ověřovací série koncem roku 1990. Všechny tyto lokomotivy o délce hlavního rámu 19 metrů se vyráběly „na koleně“, neboť se také vyskytly problémy s hmotností a rozměry nejen v montážní hale, ale i v rámmárně, ve zkušebně i lakovně. Na velké nutné investice pro zavedení sériové výroby ČME5 neměla ČKD Lokomotivka, ani VĚH ČKD peníze a nadřízené Ministerstvo hutnictví a těžkého strojírenství se též nechystalo s investicemi pomoci. Tím skončila konkurence pro lokomotivu TEM7 (5).

Vraťme se však do Ljudinova. Autor tohoto článku byl v roce 1998 vyslán na služební cestu přímo do Ljudinovské lokomotivky na první kolo jednání o spolupráci. Proti původním informacím přišli její pracovníci tentokrát na jednání s tím, že chtějí přeskočit vývojovou etapu elektrického smíšeného přenosu výkonu (DC/AC) a do svých lokomotiv použít rovnou střídavý přenos (AC/AC). Na druhé kolo jednání do Prahy však ljudinovští pracovníci údajně kvůli zhoršující se finanční situaci závodu již vůbec nepřijeli. Nakonec největším dojmem z jednání v Ljudinovu byla skutečnost, že se na námi uvolněné ruské trhy hrnuly nejen západní země, ale i Američané. U lokomotivky v té době totiž v malém srubu dlouhodobě bydlel americký šéfmontér, který dozoroval montáž naftového motoru a elektrovýzbroje americké firmy General Motors na hlavní rámy a podvozky z lokomotiv TEM7. Dva prototypy byly označeny jako TERA1-001 a TERA1-002. A jak dopadl trojlístek těchto konkurenčních osminápravových lokomotiv? Všechny ČME5 i lokomotivka ČKD jsou zrušeny, oba prototypy TERA1 se po pár letech zkoušek do pravidelného provozu vůbec nedostaly, ale TEM7A se v lokomotivce v Ljudinovu vyrábějí v malých počtech dodnes, tj. již 45 let.

Shrňme si i další bilanci výroby lokomotiv ČKD začátkem devadesátých let minulého století. Potřeba motorových lokomotiv, zejména posunovacích, výrazně poklesla. V roce 1990 byly ukončeny dodávky lokomotiv D 12 E pro Vietnam a zrušena zakázka na deset nových šestnápravových lokomotiv D 14 E. V roce 1991 definitivně skončila výroba „čmeláků“ pro MPS SSSR, pro polský průmysl skončily dodávky lokomotiv S200 již v roce 1989, neboť objednávka desetikusové série na rok 1991 byla zákazníkem zrušena. ČSD odebraly 60 lokomotiv řady 731, objednávky na dalších 60 kusů byly také pro nepotřebnost zrušeny. Pro porovnání – v roce 1989 bylo vyrobeno v ČKD 507 čtyř- a

šestinápravových, o čtyři roky později jen 18 dvounápravových lokomotiv, tzn., že se počet vyrobených lokomotiv propadl na 3,6 % a materiálová náročnost klesla dokonce na 1,4 %. Tak nízká poptávka nemohla zajistit ekonomickou prosperitu velkého podniku.

## **12 Dvounápravové lokomotivy**

ČKD vyráběla naposledy dvounápravové lokomotivy typu BN 150 (řada 700) v roce 1962 s klasickým mechanickým přenosem výkonu. Po naléhání potenciálních zákazníků ČKD obnovila výrobu dvounápravových lokomotiv s automobilovým motorem LIAZ třemi prototypy T 234.0 resp. T 237.0 o výkonu 220 resp. 250 kW v roce 1988. Navzdory všem dřívějším poučkám použili konstruktéři i u těchto malých výkonů elektrický smíšený (AC/DC) přenos výkonu, neboť elektronický regulátor dieselu zaručoval snížení spotřeby paliva. Zásadou bylo koncipovat i dvounápravovou lokomotivu náležitě těžkou, silnou a výkonnou tak, aby zvládla i služby, tradičně obsazované většími lokomotivami s vyššími náklady na pořízení, palivo a údržbu. Navíc z hlediska použitých principů a komponentů lokomotivu unifikovanou s obvyklými čtyř- a šestinápravovými dielelektrickými lokomotivami, tedy s jednotnou kvalifikací obsluhy i se stejnými náhradními díly a technologiemi údržby.

Sériová výroba se rozběhla v roce 1991 stavbou desetikusové průmyslové varianty lokomotiv T 238.0 o hmotnosti 36 tun s motorem LIAZ M2-650 výkonu 250 kW. Zájem byl značný, neboť některým vlečkařům se již při zhoršování ekonomické situace zdály jejich lokomotivy T 448.0 zbytečně výkonné a v provozu by jim stačily menší. Na optimistický výhled reagovala lokomotivka založením výrobního konta na výrobu dalších šedesáti lokomotiv T 238.0, s klesajícím optimismem snížila jejich výrobu na čtyřicet. Plánovaný začátek dodávek byl koncem roku 1991. Dodávky se zpozdily, a tak první lokomotivy T 238.0 z 2. série byly předávány až v březnu 1992. Nakonec se vyrobilo v této sérii 38 lokomotiv a poslední z nich byla prodána až za dva roky – v březnu 1994! Do konce roku 1992 se totiž nepodařilo v Československu najít kupce pro sedm malých lokomotiv. Nakonec bylo celkem vyrobeno 52 lokomotiv T 238.0 pro čs. průmysl a dvě pro maďarský průmysl. V lehčí variantě T 234.0 (ř. 704) o hmotnosti 28 t ČSD objednaly třicet lokomotiv, po jejich redukci obdržely celkem dvacet kusů a tři lokomotivy dostal český průmysl.

V roce 1995 ČKD vyrobila pro České dráhy novou lokomotivu řady 708 o hmotnosti 34 tun, která je určena pro posun a také pro lehkou traťovou službu. Na rozdíl od řady 704 jsou rozvor i celková délka prodlouženy o téměř dva metry, lokomotiva má možnost obsluhovat přípojné vozy řady 010 a je vybavena EDB. V provozu našla uplatnění zejména ve vozbě nákladních vlaků na vedlejších tratích.





Obrázek č. 16: Lokomotiva 708.006 – Žst. Nové Hrady, 26. 2. 2015

Předchozí dvounápravové lokomotivy byly vybaveny nově vyvíjeným motorem LIAZ M2-650, lokomotivy 708 (obr. 16) jsou však vybaveny sériově vyráběným motorem M 1.2C. Dva prototypy byly předány na ČD koncem roku 1995 a dvanáctikusová série lokomotiv byla vyrobena v roce 1997, poslední z nich s označením 708.501 byla předána do průmyslu.

Pro náročnější zákazníky včetně zahraničních byla určena další dvounápravová lokomotiva typu T 239.1 (později ř. 709.5) s EDB o výkonu 327 kW a hmotnosti 44 tun. Kromě hmotnosti je nejpodstatnějším rozdílem proti řadě 708 použití naftového motoru MTU-corp. typu 8V 183 TE 12. Pod tímto označením se skrývají známé německé motory značky Mercedes. Prototypová série byla vyrobena v roce 1993, s následujícími třemi sériemi bylo vyrobeno celkem čtyřicet lokomotiv T 239.1. Z nich bylo deset lokomotiv dodáno na export do pěti zemí – šest na Slovensko a po jedné lokomotivě do Švýcarska (obr. 17), USA, Jugoslávie a Švédska (jen pronájem). Další dvě podobné lokomotivy, tentokrát na rozchod 1 000 mm byly pod označením Bde 410 exportovány do Kambodže.



Obrázek č. 17: Lokomotiva T 239-S01 – Domat/Ems (CH), tov. foto, 7. 6. 1995

### 13 Akumulátorová lokomotiva

Pozorný čtenář si jistě všiml, že z čtyřcetikusové série lokomotiv T 238.0 zmizely dvě lokomotivy. ČKD chtěla jejich hlavní rámy použít na vývoj a stavbu akumulátorových lokomotiv. ČKD nakonec vyrobila jediný funkční model lokomotivy A 219.0 (obr. 18) v roce 1993. Po mechanické stránce byl odvozen od lokomotivy T 238.0, místo naftového motoru LIAZ byly pod kapotou rozmístěny trakční baterie VARTA o napětí 640 V, kapacitě 300 Ah a vybíjecím výkonu 165 kW. Lokomotiva měla dva trakční motory TE 015C a nechyběla ani EDB s rekuperací – při brždění dobíjela trakční baterii, pouze při přebytku energie mařila energii v odporu na střeše kabiny. Díky rekuperaci měla sama po rovině dojezd asi 200 km, při běžném posunu 50 km. Mnohá lokomotivní depa po celé republice měla možnost si akumulátorovou lokomotivu celý týden vyzkoušet v provozu na běžném staničním posunu, kde vydržela jezdit 16 hodin při osmihodinovém nočním nabíjení přes elektrickou zásuvku 3 x 400 V / 63 A. S jejím výkonem byli strojvedoucí velmi spokojeni, při posunu zvládla nahradit třínápravové lokomotivy T 334.0 a v řadě míst i čtyřnápravové lokomotivy řad T458.1 či T 466.2 při výrazně nižších provozních nákladech na energii a údržbu. ČKD měla záhy připravenou Technickou nabídkovou specifikaci na akumulátorovou lokomotivu A 219.2 (řada 104) s kapacitou baterií 480 Ah.



Obrázek č. 18: Akumulátorová lokomotiva A 219.0001 – Praha-Holešovice, přístav, tov. foto, 20. 1. 1994

Při předváděcí akci lokomotivy A 219.0 na hlavním nádraží v Praze sice drážní zástupce slíbil před novináři objednat dvacet těchto ekologických lokomotiv pracujících bez zplodin a hluku, pak se však nenašel žádný vizionář, který by dokázal zdůvodnit výhodnost nákupu těchto lokomotiv, které však byly o milion dražší než motorová řada 704. Škoda, železnice mohly mít proti automobilové dopravě dvacetiletý náskok s provozními zkušenostmi akumulátorových vozidel.



#### 14 Rekonstrukce lokomotiv řady 735 na 714.

U tří stovek martinských lokomotiv T 466.0 (ř. 735) s neekonomickými a nespolehlivými licenčními motory Pielstick v provozu u ČSD se hledalo úspornější řešení. Našlo se v podobě výměny motorů 12 PA 4 185 o výkonu 926 kW za dva motory LIAZ o výkonu  $2 \times 300$  kW. První dvě lokomotivy (714.001 a 002) byly v roce 1992 s původními kapotami rekonstruovány v depovských podmínkách. Další lokomotivy se rekonstruovaly v ČKD Lokomotivka tak, že od ČD obdržela jen odstrojený hlavní rám s podvozky, na němž se stavěla nová strojovna i kabina. V letech 1994 až 1996 bylo dodáno 27 lokomotiv 714.0 s hmotností na nápravu 16 tun a 23 lokomotiv 714.2 (obr. 19) s hmotností na nápravu 15 tun. Dalších osm lokomotiv do inventárního čísla 714.231 bylo u ČD zprovozněno mnohem později, po vyřešení sporu se správce konkurzní podstaty, který rozpracované lokomotivy zabavil. Jak je vidět, několik desítek lokomotiv nemohlo zachránit Lokomotivku, která tak skončila v konkurzu.



Obrázek č. 19: Lokomotiva 714.225 – Žst. Potůčky, 2. 3. 2012

#### 15 Poslední lokomotiva ČKD

Poslední lokomotivou, vyrobenou v ČKD, ale již pod novým názvem ČKD Dopravní systémy byla dvounápravová lokomotiva řady T 239.2 (709.601) o výkonu 390 kW. Elektrické výzbroje dieselelektrických lokomotiv z produkce ČKD Trakce využívaly elektronickou regulaci elektrického přenosu výkonu, elektrodynamickou brzdu se schopností brzdít téměř do nulové rychlosti, součinnost lokomotivy se systémem dálkového ovládní pomocí radiostanice a další funkcionality, byly na vysoké úrovni. Využívaly smíšený elektrický přenos výkonu (AC/DC), tedy střídavý trakční alternátor s usměrňovačem v kombinaci se stejnosměrnými sériovými trakčními motory. Rozvoj polovodičové techniky však již umožňoval řešit motorové lokomotivy s elektrickým střídavým (AC/AC) přenosem výkonu. Ten byl na lokomotivách ČKD poprvé uplatněn v podobě digitálním regulátorem řízeného IGBT pulsního střídače pro napájení třífázových asynchronních trakčních motorů TB 721 s valivými tlapovými ložisky v roce 1998 právě na lokomotivě 709.601. Ta byla v letech 1999–2000 používána na staničním posunu v Praze-Vršovicích náhradou za lokomotivu 742 s pouhými 40 % spotřeby paliva a prakticky nulovou spotřebou brzdových zdrží. Ale to už bylo pozdě. Vývoj a výroba motorových lokomotiv se zánikem ČKD skončila. Lokomotiva 709.601 s výrobním číslem 16 952 byla poslední.

### Popis obrázků:

- (1) První parní lokomotiva 197.92 – Libeň, tov. foto, 28. 4. 1900
- (2) Akcie společnosti Českomoravská-Kolben z r. 1924 – tov. foto
- (3) Poslední parní lokomotivu 900 BS 200 odváží lokomotiva 310.0132 – Praha-Libeň, tov. foto, 16. března 1959
- (4) Firemní znak ČKD
- (5) Kolejový autobus Praga M 120.001 – tov. foto, listopad 1927
- (6) Lokomotiva 720.114 – Žst. Benešov u Prahy, 22. 6. 2016
- (7) Lokomotiva T 458.1190 – DHV Lužná u Rak., 8. 9. 2019
- (8) Lokomotiva T 478.1010 – ŽZO Cerhenice, 6. 5. 2015
- (9) Lokomotiva 754.012 – Žst. Uherský Brod, 25. 11. 2018
- (10) Lokomotiva T 499.0002 – ŽZO Cerhenice, 6. 5. 2015
- (11) Lokomotiva 740.561 – Benešov u Prahy, 20. 5. 2012
- (12) Lokomotiva 742.171 – Žst. Benešov u Prahy, 23. 5. 2014
- (13) Lokomotiva 730.632 a doprava naruby: vláček jezdí po silnici a auto Tatra po kolejích – Benešov u Prahy, 12. 9. 2012
- (14) Lokomotiva 731.033 a 051 – Žst. Margecany, 18. 9. 2015
- (15) Lokomotiva ČME5-0002 – ČKD Lokomotivka, tov. foto, 1986
- (16) Lokomotiva 708.006 – Žst. Nové Hrady, 26. 2. 2015
- (17) Lokomotiva T 239-S01 – Domat/Ems (Švýcarsko), tov. foto, 7. 6. 1995
- (18) Akumulátorová lokomotiva A 219.0001 – Praha-Holešovice, přístav, tov. foto, 20. 1. 1994
- (19) Lokomotiva 714.225 – Žst. Potůčky, 2. 3. 2012  
Autorem neoznačených fotografií je autor článku (12 ks).

### Použitá literatura:

- (1) J. Setikovský, V. Liška - Sto dvacet pět let ČKD a sto let elektrotechnické výroby u nás (1996)
- (2) K. Zeithammer - Česká stavba parních lokomotiv I. (2012)
- (3) A. Kohl, L. Losos, J. Wagner – Stříbrný šíp. Motorový vůz M 260.001 (2019)
- (4) VUZ – Kyklop. Lokomotivy řady T 499.0 (2015)
- (5) L. Novák – Fenomén ČME 3 (2011)
- (6) L. Novák - Pětapadesát let provozu fenomenální řady lokomotiv ČME3. Vědeckotechnický sborník ČD č. 45/2018. ISSN 1214-9047.  
<https://vts.cd.cz>

Lektorovali: Ing. Jindřich Rachota, Nadace Okřídlené kolo  
Mgr. Michal Novotný, Národní technické muzeum

## Příspěvek č. 6

**Jiří Pohl<sup>33</sup>**

### **Elektrická osobní železniční doprava na tratích bez liniové elektrizace**

**Klíčová slova:** dekarbonizace dopravy, úspory energie, bezemisní doprava, elektrická vozba, liniová elektrizace, lithiové akumulátory, napájecí body

#### **Anotace**

Technicky vyřešená a již více než sto let budovaná liniová elektrizace tratí je zásadní předností železnice. Je smysluplné ji nadále rozvíjet, a to jak kvalitativně - novými technologiemi zvyšovat výkonnost, účinnost, spolehlivost a spojitost napájení i odběru rekuperované energie, tak i kvantitativně - rozšiřovat rozsah sítě elektrizovaných železnic na další tratě s intenzivní dopravou. Avšak úplný přechod na udržitelnou mobilitu vyžaduje zajištění bezemisního elektrického provozu náhradou za spalovacími motory poháněná vozidla i na tratích bez dosud vybudovaného liniového elektrického napájení. S využitím moderních technologií je to řešitelné vozidly se zásobníky energie, například v podobě lithiových akumulátorů. Pro provoz v síti částečně elektrizovaných železnic se jeví výhodná dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor. Svojí schopností statického (za stání) i dynamického (za jízdy) nabíjení z liniového trakčního vedení umožňují rozšířit elektrickou vozbu i na vedlejší tratě bez liniového trakčního vedení. Vedle cílené úspory energie a odstranění emisí, též ve srovnání s vozidly poháněnými spalovacími motory, přinášejí významné snížení provozních nákladů na energii a údržbu. Důležitým tématem je systematické a efektivní budování napájecích bodů pro akumulátorová vozidla v oblastech bez liniové elektrizace.

#### **Annotation**

The technically solved and for more than a hundred years built line electrification of rails is a fundamental advantage of the railway. It makes sense to further develop it, both qualitatively - with new technologies to increase the efficiency, effectiveness, reliability and continuity of power supply and consumption of recuperated energy, and quantitatively - to expand the scope of the electrified railway network to other lines with intensive traffic. However, a complete transition to sustainable mobility requires ensuring the emission-free operation of electric vehicles by replacing combustion engines powered vehicles, even on lines without line power supply. With the use of modern technologies, this can be solved with vehicles with energy storage e.g. in the form of lithium batteries. For operation in the network of partially electrified railways, two-source trolley / accumulator vehicles appear to be advantageous. With their ability of static

---

<sup>33</sup> Ing. Jiří Pohl; Siemens Mobility, s. r. o.; Siemensova 1, 155 00 Praha 13; tel.: +420 724 014 931, e-mail: jiri.pohl@siemens.com

(while standing) and dynamic (while driving) charging from a line traction line, they make it possible to extend the deployment of electric vehicles to secondary lines without a line traction line. In addition to targeted energy savings and elimination of emissions, also compared to vehicles powered by combustion engines, they bring significant reductions in operating energy and maintenance costs. An important topic is the systematic and effective construction of power supply points for battery vehicles in areas without line electrification.

## Úvod

Udržitelná mobilita jako součást udržitelného rozvoje

Historie je věda silně subjektivní. Někteří dějepisci staví do popředí významnosti vývoje událostí panovníky a panovnické rody, jiní národnost, jazyk, náboženství či společenské zřízení. Při snaze vidět vývoj světa objektivním úhlem pohledu přírodních věd, tedy zejména matematiky, fyziky, chemie a biologie, lze dospět k velmi jednoduchému rozdělení dějin lidské civilizace na čtyři epochy:

- období aktivit lidí v neuvědomělé rovnováze s přírodou,
- období aktivit lidí v neuvědomělé nerovnováze s přírodou,
- období aktivit lidí v uvědomělé nerovnováze s přírodou,
- období aktivit lidí v uvědomělé rovnováze s přírodou.

Zpočátku lidé, aniž by si to uvědomovali, využívali jen obnovitelné přírodní zdroje, v zásadě dané působením slunečního záření, zejména fotosyntézu. Přeměna energie slunečního záření na energii uloženou v rostlinách dávala lidem potravu i teplo.

Poslední dvě století se lidé naučili čerpat zásoby energie uložené ve fosilních palivech. Tím zapojili do svých aktivit zdroj o výkonu zhruba stokrát vyšším než své svaly. Aktuálně připadá na jednoho občana ČR denní spotřeba energie fosilních paliv ve výši téměř 100 kWh (1), přičemž mezní denní energie nejtěžší lidské fyzické práce na úrovni galejníka je sotva 1 kWh. To se projevilo do té doby nebývalým rozvojem kvality i kvantity průmyslu, dopravy, bydlení i navazujících činností (vzdělanosti, kultury, zdravotní péče, volnočasových aktivit, ...). Skutečnost, že při tom některé přírodní zdroje ubývají, nebo že se naopak někde hromadí nechtěné (odpadní) produkty tohoto extenzivního rozvoje, nebyla vnímána, lidé si jí nevšíkali.

Až pod tíhou reality si lidstvo začalo uvědomovat jak nebezpečí spojené s příliš intenzivním čerpáním přírodních zdrojů (typicky: pokles hladiny spodní vody v zemské půdě), tak i nebezpečí spojené s produkcí odpadu. A to nejen odpadu viditelného (pozemské skládky, znečištěné vodní toky a oceány), ale i odpadu neviditelného, tedy znečištěného ovzduší. Přitom v ovzduší obsažené zplodiny hoření poškozují Zemi i člověka dvěma způsoby. Jde jak o emise zdraví škodlivých látek, působící lokálně na osoby v blízkosti spalování, tak i o emise oxidu uhličitého, které se shromažďují v zemském obalu a zvětšují jeho tepelně

izolační schopnost. Tedy působící globálně. Jejich důsledkem je v zásadě nevratné zvýšení střední teploty ovzduší na povrchu Země, neboť spalováním fosilních paliv vzniklý oxid uhličitý se přírodními procesy (v měřítku času lidského věku) z ovzduší neodbourává. V zásadě platí zákon zachování hmoty: spalováním se uhlík obsažený v uhlí, ropě a zemním plynu neztrácí, jen se stěhuje z podzemí do ovzduší.

## **1. Udržitelný rozvoj**

Fosilní paliva dala lidem za dvě století jejich intenzivního využívání nejen okamžité hmotné a jiné další požitky, ale i trvalé hodnoty v podobě rozvoje znalostí a vzdělanosti i společenské odpovědnosti. Nyní nastal čas změny. S vědomím neblahých důsledků spalování fosilních paliv se lidstvo rozhodlo ukončit jejich využívání a žít bez nich. Avšak nikoliv v podobě návratu do období těžké lidské práce a hospodářské chudoby, ani pokračováním v extenzivním plýtvání. Cílem je udržitelný rozvoj, založený jak na umírněných požadavcích spotřebitelů na zdroje, tak i ve zcela výhradní orientaci na zdroje obnovitelné. Doba tolerování extenzivního rozvoje spojeného s plýtváním skončila.

### **1.1 Udržitelná energetika**

Jde především (avšak nikoliv jen) o téma energetické. Cíle definované jak na úrovni světa (viz Pařížská dohoda: zastavit zvyšování teploty Země na hodnotě 1,5 °C až 2 °C), tak na úrovni Evropy (viz Green deal: uhlíková neutralita v roce 2050) jsou patrně nejzávažnějšími rozhodnutími v dějinách. Lidská civilizace se rozhodla přestat používat ty zdroje energie, které ji přivedly k rozkvětu, tedy fosilní paliva, a nahradí je zdroji obnovitelnými. A to velmi rychle, v průběhu tří desetiletí (2020 až 2050), neboť nechce dále zvyšovat neblahé následky, které na Zemi po epoše používání fosilních paliv zůstanou trvale v podobě změny klimatu. Podkladem pro tato rozhodnutí byla nejen znalost negativních dopadů využívání fosilních paliv na lidské zdraví a na zemské klima, ale i vědomí skutečnosti, že energii na celý rok, kterou lidstvo získává spalováním fosilních paliv, dodává Slunce Zemi každých 40 minut. Na povrch Země dopadající sluneční záření je energetický zdroj o výkonu 13 000krát vyšším, než jaký poskytují fosilní paliva. Jde o zdroj trvale udržitelný a bezemisní.

Je vcelku pochopitelné, že existují jedinci, kteří milují nikoliv své bližní, ale spalování fosilních paliv a s tím spojené technické aplikace. A také existují různá společenstva, která mají svůj byznys spojený s produkcí či spotřebou fosilních paliv. To není nic neobvyklého, slušně zbohatnout se dá i na prodeji návykových látek či alkoholu. Podstatná je vůle většiny.

K naplnění výše uvedených závazků České republiky a z nich plynoucích programů vedou dvě cesty:

- snižování spotřeby energie (zvyšování energetické účinnosti),



- náhrada fosilních paliv obnovitelnými zdroji energie.

S ohledem na společenskou dělbu práce, která je typickým znakem hospodářsky vyspělé společnosti, jsou rozlišovány dva druhy spotřeby energie, primární a konečná:

- spotřebitelské sektory (průmysl, doprava, domácnosti) jsou odpovědné za výši a strukturu konečné spotřeby energie. Jejich posláním je zvyšovat energetickou účinnost na straně spotřeby, tedy snižovat konečnou spotřebu energie ve vztahu ke svým výstupním aktivitám, což je v případě dopravy přepravní práce (osobové kilometry, respektive čisté tunové kilometry). Tedy snižovat měrnou spotřebu energie (kWh/os km, respektive kWh/netto tkm) a přestat používat fosilní paliva a snížit měrnou produkci oxidu uhličitého (kg CO<sub>2</sub>/os km, respektive kg CO<sub>2</sub>/netto tkm) na nulu.
- transformační sektor (energetika) je odpovědný za výši a strukturu primární spotřeby energie. Jeho posláním je zvyšovat energetickou účinnost na straně zdrojů, tedy snižovat primární spotřebu energie ve vztahu ke konečné spotřebě energie a přestat používat fosilní paliva.

Při posuzování spotřeby energie jsou jednotlivá paliva hodnocena podle své výhřevnosti (spalné teplo snížené o energii potřebnou k odpaření hořením vzniklé vody). U obnovitelných zdrojů je uvažována nikoliv výchozí přírodní forma energie (například sluneční záření), ale první prakticky využitelná forma energie (například elektřina z fotovoltaického zdroje). Taková jsou pravidla mezinárodní energetické agentury (International Energy Agency, IEA). Převzaly je i národní orgány v jednotlivých státech včetně České republiky.

## 1.2 Udržitelná doprava

Doprava patří všeobecně k významným spotřebitelům energie. To platí i v ČR, kde v roce 2018 dosahovala doprava zhruba stejné konečné spotřeby energie jako průmysl (každé z obou odvětví zhruba 79 TWh/h). Alarmující však je zejména struktura konečné spotřeby energie v dopravě v ČR v posledních letech (93 % fosilní paliva, 5 % biologická paliva a pouhá 2 % elektrická energie) (1). Právě skutečnost, že 98 % spotřeby energie pro dopravu je použito jako palivo pro spalovací motory, které energii paliv zvládnou přeměnit na mechanickou práci jen z jedné třetiny a zbývající dvě třetiny promění ve ztrátové teplo, je příčinou jak vysoké spotřeby energie v dopravě, tak i velkých lokálních emisí zdraví poškozujících látek i globálních emisí trvale poškozujících klima. Neschopnost spalovacího motoru využívat při brzdění kinetickou či potenciální energii ještě více potvrzuje jeho nevhodnost pro dopravní prostředky. Cíl je jasný – do roku 2050 přestat v dopravě používat spalovací motory a tím (spolu s dalšími kroky) snížit spotřebu energie v dopravě na třetinu.

V oblasti produkce oxidu uhličitého je situace ještě horší. Vlivem již zmíněného extrémně vysokého podílu fosilních paliv ve struktuře energií pro dopravu

(aktuálně 93 %) produkuje v ČR doprava více než dvojnásobné množství oxidu uhličitého (cca 21 mil. t/rok) ve srovnání s průmyslem (cca 9 mil. t/rok). Při současném stavu techniky zcela zbytečně, neboť za vozidla poháněná spalovacími motory již existuje náhrada v podobě elektrické vozby.

Nekompromisní odklon od používání spalovacích motorů v osobních automobilech probíhá v Evropě poněkud opožděně za aktivitami v Asii a v Severní Americe. Avšak již i evropští výrobci osobních automobilů se investicemi i inovacemi intenzivně připravují na vstoupení nařízení Evropského parlamentu a rady č. 443/2009 v účinnost v roce 2021. Předmětné nařízení předepisuje mezní průměrnou uhlíkovou stopu celkové roční produkce osobních automobilů na hodnotu 95 g CO<sub>2</sub>/km. Tato hodnota je při souběžné výrobě a prodeji běžných spalovacích automobilů s uhlíkovou stopou kolem 120 g CO<sub>2</sub>/km dosažitelná jedině produkcí zhruba 25 % bezemisních elektrických vozidel. Podobné nařízení vstoupí v účinnost pro nákladní automobily v roce 2025. V odezvě na to prudce poroste počet nákladních elektrických automobilů, zejména v oblasti městské logistiky (zásobování a služby). Mnohá města s tím již ve svých plánech udržitelné mobility v plné míře počítají.

Tvrdé restriktce vozidel se spalovacími motory přicházejí i do autobusové dopravy. V roce 2021 vstoupí i v ČR v účinnost zákon o podpoře nízkoemisních vozidel prostřednictvím zadávání veřejných zakázek a veřejných služeb v přepravě cestujících (zákon o podpoře nízkoemisních vozidel), kterým se transponuje do právního řádu ČR směrnice Evropského parlamentu a rady č. 2019/1161. Tento nový zákon stanovuje požadavky na dosažení určených minimálních podílů nízkoemisních vozidel a vozidel s nulovými emisemi při zadávání veřejných zakázek a při pořizování veřejných služeb v přepravě cestujících.

Pokud jde o zadávání zakázek, týkajících se vozidel kategorie M3 (autobusů), určených k zajišťování veřejných služeb v přepravě cestujících, bude muset být uzavřená smlouva v ČR naplněna:

- alespoň ze 41 % nízkoemisními vozidly, v období od nabytí účinnosti zákona do 31. prosince 2025,
- alespoň ze 60 % nízkoemisními vozidly, v období od 1. ledna 2026 do 31. prosince 2030.

Polovinu takto stanovených podílů nízkoemisních vozidel musí zadavatel nebo objednatel dosáhnout prostřednictvím vozidel bez spalovacího motoru.

To je zásadní obrat oproti dosavadnímu tolerování spalovacích vozidel v městských ulicích. Nabízí se určitá analogie se zaváděním nízkopodlažních vozidel ve městské hromadné dopravě (tramvají, trolejbusů i autobusů): zpočátku byly kuriozitou, následně pak dobrovolnou iniciativou a o pár let později povinností, dnes již samozřejmostí. Lze předpokládat, že tomu tak bude i s náhradou emisních vozidel bezemisními. Budou mít ve veřejné hromadné

dopravě výhradní pozici, žádná nová emise produkující vozidla nebudou nakupována.

### **1.3 Dekarbonizace železniční dopravy**

Elektrická vozba je na evropských železnicích významně rozšířena. V České republice zajišťuje elektrická vozba, tedy elektrická trakce závislá, 82 % dopravních výkonů osobní železniční dopravy a 84 % dopravních výkonů nákladní železniční dopravy. Na nezávislou trakci tak zbývá jen 18 % dopravních výkonů osobní železniční dopravy a 16 % dopravních výkonů nákladní železniční dopravy. Avšak s ohledem na nízkou účinnost spalovacích motorů, která za provozu vozidel dosahuje jen zhruba 30 až 40 %, chybějící rekuperaci brzdové energie a vysoké ztráty volnoběžnou spotřebou, je podíl spotřeby energie paliva pro spalovací motory na celkové energetické náročnosti železniční dopravy násobně vyšší.

Náhrada naftových vozidel bezemisními vozidly je i na železnici nutností. Proto již v rámci přípravy OPD 2 v roce 2016 centrální orgány EU svým dopisem adresovaným ČR jasně deklarovaly, že finanční prostředky z fondů EU, určené pro vozidla, jsou prioritně směřována na vozidla elektrická, zejména aby tato vozidla doplnila novou liniovou elektrizaci drah.

Tolerance vůči vozidlům produkujícím emise je rok od roku nižší. Je reálné očekávat, že ze státních, krajských, městských či obecních rozpočtů finančně podporovaná veřejná doprava provozovaná podle zákona č. 194/2010 Sb. o veřejných službách v přepravě cestujících, která bude od 1. 1. 2026 na straně autobusů při výběrových řízeních povinně trvat na alespoň 60% podílu nízkoemisních vozidel, bude podobně přistupovat i k železnici.

Při hodnocení vývojových trendů nelze opomenout fakt, že životnost železničního kolejového vozidla je zhruba 3 až 4krát delší než životnost autobusu, která činí přibližně 10 let. Zatím co nyní pořizované nové autobusy se sotva dožijí roku 2030, tak nyní pořizovaná železniční kolejová vozidla mají předpoklad své existence až k horizontu roku 2060.

To si železniční dopravci velmi dobře uvědomují. Nechtějí nést riziko investice do nákupu vozidel s nezaručenou využitelností. Podobná, respektive ještě větší, opatrnost je i na straně financujících bank. Proto až na výjimky přestali dopravci nové naftové motorové vozy a jednotky (DMU) nakupovat. V odezvě na to přestali renomovaní výrobci DMU vyvíjet a vyrábět, tradiční obor rychle spěje k zániku. Dvacátá a třicátá léta minulého století byla obdobím zrodu a rozvoje motorové vozby na našich železnicích (předválečné ČSD si spolu se soukromými železnicemi pořídily 614 motorových vozů 49 různých řad), dvacátá a třicátá léta tohoto století budou období jejího konce.

## 1.4 Elektrická vozba

Elektrická vozba byla na železnici zavedena a je kontinuálně rozvíjena především pro vysokou výkonnost i vysokou rychlost, ekonomickou efektivnost (nízké náklady na energii, nízké náklady na údržbu), vysokou spolehlivost a vysoký cestovní komfort (nízká úroveň hluku a vibrací). Její energetická a emisní výhodnost byla známa, ale léta byla vnímána spíše jako samozřejmost než jako zásadní benefit. Faktem je, že elektrickou vozbu jednoznačně preferují jak dopravci, tak i objednatelé a cestující před vozbou naftovou. V případě regionální dopravy logicky upřednostňují elektrické trakční jednotky EMU před naftovými motory poháněnými trakčními jednotkami DMU.

Ve svém základním provedení, tedy v elektrické závislé trakci, je však použití elektrických vozidel podmíněno vybudováním pevných trakčních zařízení, tedy trakčních napájecích stanic a trakčního vedení. To je v případě české železnice zejména perspektivním systémem 25 kV 50 Hz.

Výhodnost liniové elektrizace tratí intenzivně zatížených železniční dopravou (osobní regionální, osobní dálkovou či nákladní) je všeobecně zřejmá. Stojí za zmínku, že z hlediska ekonomické efektivity, tedy k docílení alespoň limitní hodnoty vnitřního výnosového procenta (EIRR) v analýze nákladů a výnosů (CBA) postačuje pro elektrizaci tratě slabší dopravní provoz, než jaký je potřebný pro existenci samotné železnice.

Tedy nejen zavádění elektrických automobilů, elektrických nákladních automobilů a elektrických autobusů, ale i zásadní rozvoj elektrizace železniční sítě je důležitou součástí dekarbonizace dopravy. Současný 34% podíl elektrizovaných tratí na celkové délce sítě veřejných železnic v ČR je skutečně velmi nízký a elektrizace dalších železničních tratí je velmi potřebná.

## 1.5 Přejít na jednotný napájecí systém 25 kV

Významným impulzem k dalšímu rozvoji liniové elektrizace železničních tratí v ČR je rozhodnutí Centrální komise Ministerstva dopravy ČR z prosince 2016 o přechodu české železnice na jednotný systém napájení 25 kV 50 Hz. Hospodárnost a výkonnost přenosu elektrické energie elektrickým vedením (tedy i trakčním vedením) jsou úměrné druhé mocnině napětí. Přenosová schopnost trakčního vedení napájeného napětím 25 kV 50 Hz je proto mnohonásobně vyšší než přenosová schopnost trakčního vedení 3 kV DC. To ve svém důsledku znamená menší potřebný počet trakčních napájecích stanic, zejména při využití spojitého dvoustranného napájení v systému jednotné fáze (měničové trakční napájecí stanice 3 AC/DC/1 AC). Vyšší přenosová schopnost trakčního vedení 25 kV 50 Hz proto umožňuje snadnou a levnou elektrizaci i poměrně dlouhých tratí odbočujících z páteřových hlavních elektrizovaných tratí, a to bez potřeby budování nové trakční napájecí stanice (metoda rybí kosti).

Další výhodou systému 25 kV 50 Hz je i lehčí, a tedy i levnější trakční vedení s nižšími vodivými průřezy a úsporou nákladů spojených s ochranou v zemi uložených kovových zařízení vůči účinkům bludných proudů. Tedy nižší náklady na liniovou elektrizaci dalších tratí.

### **1.6 Rozvoj liniové elektrizace**

V ČR se stalo tradicí, že elektrizace železničních tratí je spojena s jejich celkovou modernizací (nové železniční zabezpečovací zařízení, zvyšování traťové rychlosti, budování nástupišť v úrovni 550 m nad TK, ...). To je nepochybně přínosné, ale pochopitelně to vede k násobně vyšším nákladům a k delším termínům jak přípravy předmětné stavby, tak i její realizace. To ve svém důsledku znamená, že elektrizace dalších železničních tratí postupuje pomalu.

Na elektrický provoz na mnoha velmi potřebných tratích (typicky: Otrokovice – Zlín – Vizovice, Praha – Mladá Boleslav – Liberec - PL/DE, Plzeň – Domažlice – DE, Praha – Kladno, ...) si proto železnice ještě několik let počká. A to i v případech již odsouhlaseného úmyslu v podobě Centrální komisi MD ČR schválené studie proveditelnosti liniové elektrizace. Budou totiž nejen elektrizovány, ale i (a to z hlediska investičních nákladů především) zásadně modernizovány. Výsledkem bude nejen elektrizovaná, ale i rychlejší, kapacitnější a lépe zabezpečená trať. To je nepochybně správně. Vyšší dopravní zatížení též přispívá k vyššímu využití pevných trakčních zařízení a k vyrovnanějšímu časovému průběhu odebíraného elektrického výkonu z distribuční sítě.

Modernizace dráhy, provázená změnou polohy koleje, a s ní spojená nutnost územního řízení, však bývá provázena dlouhými časovými průtahy, které o roky odsouvají i její elektrizaci. Proto je na místě uvážit i opačný postup a z procesního hlediska jednoduše (jen na základě stavebního povolení) bezodkladně elektrizovat též tratě, které již byly v posledních letech úspěšně modernizovány (například: Jaroměř – Trutnov, Jaroměř – Turnov, Opava – Krnov a podobně). Skutečnost, že v posledních letech se navzdory plánům daří v ČR ročně elektrizovat jednotky kilometrů tratí, si žádá zásadní zvýšení tempa liniové elektrizace.

Na realizaci čeká 560 km již Centrální komisi MD ČR schválených studií proveditelnosti elektrizace. Studie proveditelnosti elektrizace dalších tratí postupně zadává Správa železnic řešitelům ke zpracování.

### **1.7 Doplněk k liniové elektrizaci**

Nutnost přestat používat na železnici k pohonu vozidel spalovací motory na všech tratích vede k orientaci elektrické vozby i na jiné principy, než je liniové elektrické napájení. V zásadě jde o dvě časové roviny, o dvě oblasti aplikací:



- přechodné (dočasné) řešení pro železniční tratě se silnějším dopravním provozem, které je v plánu v budoucích letech liniově elektrizovat,
- dlouhodobé (cílové) řešení pro železniční tratě se slabším dopravním provozem, které není v plánu ani v budoucích letech liniově elektrizovat.

Takto je to dáno i přístupem Správy železnic, která rozděluje veřejné železnice na území ČR do tří kategorií:

- tratě již elektrizované,
- tratě s potenciálem silnějšího dopravního provozu, u kterých je řešenými studii proveditelnosti zkoumána ekonomická efektivnost jejich budoucí liniové elektrizace. V pozitivním případě (celospolečenské přínosy, úměrné přepravním výkonům osobní i nákladní dopravy, náležitě vyvažují investiční náklady – splňují kritérium limitní hodnoty ekonomického vnitřního výnosového procenta EIRR) jsou záměry elektrizace předávány Centrální komisi MD ČR ke schválení,
- tratě bez potenciálu silnějšího dopravního provozu, u kterých není předpokládána liniová elektrizace.

## **2. Vozidla se zásobníky energie**

Pro nezbytnou dekarbonizaci železniční dopravy jsou vedle dalšího rozvoje liniové elektrizace železnic hledány i další způsoby elektrické vozby. V oblasti osobní železniční dopravy jde zejména o trakční vozidla se zásobníky energie. Tato vozidla nejsou náhradou liniové elektrizace tratí, jsou jejím doplňkem. Moderní dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor (BEMU) se s postupně budovanou liniovou elektrizací železničních tratí velmi vhodně doplňují:

- pokračující elektrizace důležitých železničních tratí vytváří svým trakčním vedením rozsáhlou vysoce výkonnou zdrojovou síť pro nabíjení trakčních akumulátorů ve vozidlech. Zároveň též další nově budovaná liniová elektrizace tratí zkracuje vozební ramena na tratích bez trakčního vedení. Tím snižuje nároky na dojezd akumulátorových vozidel, a tedy i na typovou velikost a hmotnost jejich trakčních akumulátorů,
- možnost zajistit bezemisní provoz na méně zatížených tratích akumulátorovými vozidly, tedy bez nutnosti jejich liniové elektrizace, umožňuje soustředit investiční prostředky na prioritní elektrizaci dopravně více zatížených tratí, na kterých jsou nejvyšší úspory energie a emisí při náhradě vozidel se spalovacími motory.

### **2.1 Pohled do minulosti**

Téma elektrických vozidel se zásobníky (akumulátory) elektrické energie není na železnici nové. Již v letech 1926 až 1928 uvedly ČSD do provozu první dvě čtyřnápravové akumulátorové posunovací lokomotivy řady E 407.0 (první dodala firma Křižík, druhou ČKD). Koncepce těchto lokomotiv byla promyšleně řešena, a to s využitím dílů převzatých z parních lokomotiv. Z běžných podvozků,

používaných u tendrů řady 923.1 pro rychlíkové lokomotivy 375.0 i u tendrů řady 930.0 pro rychlíkové lokomotivy 387.0, byly pro akumulátorové lokomotivy odvozeny trakční podvozky s tlakovými trakční motory. Za pozornost stojí i šikovné celkové uspořádání tehdejších akumulátorových lokomotiv. Dva velké prostory pro trakční akumulátory, kryté nízkými kapotami, shora zastřešenými roletami z vlnitého plechu, a mezi nimi velmi krátká kabina pro strojvedoucího, zajišťovaly jak vhodné podmínky pro umístění velkých těžkých olověných akumulátorů pro potřebný dojezd, tak i polohu těžiště v geometrickém středu vozidla a strojvedoucímu dobrý výhled. Trakční akumulátorová baterie lokomotiv E 407.0 disponovala jmenovitou energií 300 kWh (476 V, 630 Ah) a dosahovala hmotnost 34 t, tedy mírně více než polovinu hmotnosti celého vozidla (67 t).

Akumulátorové posunovací lokomotivy řady E 407.0 se v provozu osvědčily, v dalších letech na ně navázaly dodávky dvanácti podobně řešených lokomotiv řad E 417.0 a E 416.0 ze Škodových závodů. Ačkoliv poslední z nich byly dodány v roce 1949, tak již začátkem šedesátých let minulého století provoz akumulátorových lokomotiv na ČSD ustal. V provozu je nahradily nově dodávané motorové lokomotivy řad T 435.0 a T 444.0 z pražské i z martinské lokomotivky. Tedy vozidla produkující nejen výfukové plyny, ale i značný hluk.

V roce 1993 navázala na tradici tichého a čistého posunu dvounápravová akumulátorová lokomotiva A 219.0001, odvozená v ČKD z tehdy vyráběných dielelektrických lokomotiv řady 704.5 (T 238.0). Byla vybavena olovněnou trakční akumulátorovou baterií se jmenovitou energií 192 kWh (640 V, 300 Ah) a GTO pulsním měničem pro jízdu, elektrodynamické rekuperační brzdění i pro nabíjení přes kabel a zásuvku ze sítě 3 x 440 V / 63 A. Zvládla posun v mnoha místech, kde byla ověřována, avšak ani v té době ještě nebyl o vozidla tohoto typu zájem.

Na území ČR je minulost akumulátorových železničních vozidel spojena zejména s posunovacími lokomotivami, traťové jízdy s vlaky osobní přepravy byly jen předmětem zkoušek. Do dějin vstoupily zejména Křížíkovy pokusy elektrické tramvaje s akumulátory v roce 1899 na železniční trati z Nuslí do Trnové (Praha-Vršovice – Měchenice). Jen tak pro radost zúčastněných pracovníků dopravila lokomotiva A 219.0 v rámci ověřování v jihlavském lokomotivním depu spolu s vozem Bix (Balm) v červenci roku 1994 jeden pár pravidelných osobních vlaků z Moravských Budějovic do Jemnice a zpět. Ale byly i jiné případy. Traduje se, že obětavý a vynalézavý plzeňský strojvedoucí Jirkovský dovezl se svojí M 262.0 se zadřeným spalovacím motorem klatovský rychlík z plzeňské zastávky až k perónu na tehdejší Gottwaldovo nádraží při napájení trakčních motorů ze startovací akumulátorové baterie, aby cestujícím neujely přípoje.

V zahraničí mají aplikace akumulátorových vozidel v osobní železniční dopravě historii velmi bohatou. V Německu doznaly elektrické akumulátorové trakční vozy velkého rozšíření, a to od konce devatenáctého století (1894). Typické a na první pohled snadno rozpoznatelné byly zejména dvouvozové elektrické trakční jednotky podle návrhu Gustava Wittfelda (dvouvozové v uspořádání 2A<sub>0</sub> + A<sub>0</sub>2,

respektive třívozové v uspořádání 3 + B<sub>0</sub> + 3) s akumulátory umístěnými pod nízkými kapotami nad pojezdem na čelech vozidla.

Vrcholnou konstrukcí však bylo 161 elektrických trakčních vozů ETA 150.5 (později řada 515) dodaných DB v letech 1959 až 1965. Vynikaly lehkou samonosnou vozovou skříní, která pod podlahou vytvářela prostory pro umístění olověné trakční akumulátorové baterie. Ta disponovala jmenovitou energií 597 kWh (440 V, 1 365 Ah) a dosahovala hmotnosti 23 t, což bylo 40 % vlastní hmotnosti vozidla (57 t). Jejich provoz byl řešen v režimu pomalého nočního nabíjení při použití dvoupólového kabelového připojení vozidla ke stejnosměrné nabíjecí stanici, původně vybavené rtuťovým usměrňovačem. Vozidla měla odporové řízení rozjezdu stejnosměrných trakčních motorů a pro úsporu energie nebyla vytápěna elektricky, nýbrž naftovým teplovzdušným agregátem. Provoz těchto vozidel u DB skončil jejich náhradou motorovými vozy a jednotkami poháněnými spalovacími motory. A to v posledním desetiletí minulého století, tedy velmi těsně před nástupem nového myšlení v energetice i dopravě.

## 2.2 Pohled do současnosti

Ocelové kolejnice, které byly původně vynalezeny k nesení a vedení vozidel, získaly v průběhu dalšího vývoje kolejové dopravy důležitou funkci při zásobování vozidel elektrickou energií. Staly se součástí trakčního vedení. Zajišťují zpětnou cestu trakčního proudu od vozidla k trakční napájecí stanici a spojují vozidla s potenciálem země. Spolu se směrovým vedením vozidla kolejí pod vrchním trakčním vedením tím kolejová doprava získala velmi výkonné, a přitom spolehlivé a hospodárné elektrické napájení vozidel. To je od roku 1879 kontinuálně zdokonalováno. Postupně dospělo do současné podoby technicky jak systémově, tak i do detailu vyřešeného, již léta ověřeného a široce rozšířeného, liniového elektrického napájení. Vedle nízkého valivého odporu ocelového kola po ocelové kolejnici a nízkého aerodynamického odporu dlouhých štíhlých vozidel tvořících vlak představuje liniové elektrické napájení třetí energetickou systémovou výhodou kolejové dopravy.

Přednosti liniového elektrického napájení způsobily, že dopravně významné železniční tratě jsou v mnoha zemích z velké části elektrizovány. Městské kolejové dráhy, tramvaje i metro jsou liniovým trakčním vedením opatřeny téměř výhradně.

Liniové elektrické napájení silničních vozidel dvoustopým vrchním trakčním vedením je rovněž technicky vyřešeno. Původně tyčovými sběrači, v současnosti již i opticky naváděnými sběrači pantografového typu, umožňujícími jízdu vyšší rychlostí, a to včetně připojení k trakčnímu vedení a odpojení od trakčního vedení i za jízdy vozidla. Avšak liniové elektrické napájení doznalo v průběhu dvacátého století v silničním provozu rozšíření jen u městské hromadné dopravy v podobě trolejbusů. Všeobecná liniová elektrizace městských ulic, silnic a dálnic teprve začíná. Potřebu nahradit neperspektivní spalovací motor elektrickým

trakčním pohonem proto řeší automobilový průmysl pomocí zásobníků energie, zejména na bázi elektrochemických akumulátorů.

Až do nedávné minulosti byly pro dopravní prostředky k dispozici jen olověné a niklokadmiové akumulátory. Jakkoliv prošly zejména olověné články v průběhu minulého století řadou technických inovací (trubičkové elektrody, automatické doplňování vody, rekombinační principy, gelový elektrolyt, ...), tak svojí měrnou energií do 25 kWh/t silně zaostávaly za měrnou energií (výhřevností) motorové nafty či automobilového benzínu v úrovni kolem 12 000 kWh/t. A to i při uvážení účinnosti spalovací motor – trakční generátor – pomocná zařízení, která tuto energetickou vydatnost paliva snižuje (v podobě elektrické energie) na cca 4 200 kWh/t.

Vysoká hmotnost, údržbová náročnost, omezená životnost, nízký vybíjecí výkon a zejména velmi nízký přípustný nabíjecí výkon (a z toho plynoucí dlouhé doby nabíjení) omezily uplatnění olověných akumulátorů v dopravě v mnoha zemích (včetně ČR) v zásadě jen na manipulační vozíky v logistice. Ty našly na železnici uplatnění v pohonu populárních ještěrek – vozidel k dopravě spoluzavazadel a poštovních zásilek na nádražích od skladiště k vlakům a zpět.

### 3. Lithiové akumulátory pro vozidla

Situace se změnila s příchodem průmyslově vyráběných lithiových akumulátorů. Jejich zavedení do komerčních aplikací přímo souvisí s rozvojem osobních elektronických přístrojů, zejména mobilních telefonů a notebooků. Přenosná zařízení potřebovala (a potřebují) lehké a spolehlivé zásobníky energie. Svojí měrnou energií kolem 100 kWh/t až 200 kWh/t a bezúdržbovostí, se lithiové akumulátory staly vhodným zdrojem energie i pro mnohé další aplikace (svítilny, ruční nářadí, zahradní nářadí, ...). V dalším kroku našly lithiové akumulátory uplatnění v oblasti elektrických automobilů. Ty na zásobník energie, který je lehčí, účinnější, údržbově méně náročný, odolnější a trvanlivější než tradiční olověné akumulátory, čekaly celé dvacáté století, aby mohly nahradit zejména ve městech zcela nevyhovující spalovací automobily.

U tradičních olověných či niklokadmiových akumulátorů jsou rozlišovány osvětlovací typy s jemnou vnitřní strukturou, pro kterou je typická vyšší měrná energie, ale za cenu vyššího vnitřního elektrického odporu, a tedy nižší výkonové zatížitelnosti, a startovací typy s robustní vnitřní strukturou, pro které je typický nižší vnitřní odpor a tím i vyšší proudová zatížitelnost, ovšem za cenu poněkud nižší měrné energie.

Také u lithiových akumulátorů vzniklo postupným vývojem více různých typů. Ty kombinací použitých materiálů buď preferují vysokou měrnou energii (kWh/t), nebo vysoký měrný výkon (kW/t). Potřebné vlastnosti lithiových akumulátorů určuje jejich aplikace, ke které jsou určeny. Pro spotřební elektrotechniku bývají prioritou malé rozměry a nízká cena, naopak investiční elektrotechnika se orientuje na vysokou účinnost a dlouhou životnost.

Kromě pokroku v oblasti akumulátorů jsou soudobé elektrické automobily spojeny s moderními frekvenčně řízenými střídavými trakčními pohony s polovodičovými měniči a s počítačovým řízením. V těchto technologiích navázaly elektrické automobily na aktuální stav techniky elektrických trakčních pohonů kolejových vozidel, který je výsledkem více než stoletého kontinuálního vývoje tohoto oboru.

### **3.1 Akumulátory pro osobní automobily**

Lithiové akumulátory postupně rozšiřují své aplikační pole od osobních elektronických přístrojů přes osobní automobily i do dalších vozidel, plavidel a letadel. V kolejové dopravě vytvářejí příležitost k doplnění parku vozidel o produkty vhodné k zajištění bezemisního provozu i na tratích bez liniové elektrizace.

Vysoká sériovost spotřebního zboží (miliony vyráběných kusů ročně) výrazně stimulovala vývoj akumulátorů včetně příslušných výrobních technologií s velmi pozitivním dopadem na růst technických parametrů a pokles ceny. K tomu nezbytný objem výzkumných prací a vývoj nových technologií (včetně výstavby nových továren) by kolejová vozidla svým nevelkým počtem průmysl nemotivovala. Tuto roli pozitivně sehrála o několik řádů početnější výroba osobních automobilů.

Bez velké poptávky po elektrických automobilech by obor nových trakčních akumulátorů nedoznal dnešního rozvoje. Na druhou stranu je potřebné si všimnout některých velmi podstatných rozdílů mezi automobily a železničními vozidly.

V roce 2018 bylo v ČR registrováno 5,748 milionu osobních automobilů, které společně zajistily přepravní výkon 78 mld. os km (2). Tomu při středním obsazení automobilu 1,3 osobami odpovídá denní proběh 28 km a roční proběh 10 400 km. Denně je průměrný osobní automobil v ČR využíván necelou půl hodinu, tedy zhruba jen 150 hodin ročně. Za patnáct let svého života ujede průměrný osobní automobil v ČR přibližně 156 tis. km a využíván je jen 2,2 tis. hodin.

Turnusová železniční vozidla v osobní regionální dopravě jsou typicky využívána 16 hodin denně (například od 5 do 21 hodin). Při oběhové rychlosti 30 km/h a dostupnosti 90 % ujede regionální železniční vozidlo denně 430 km a ročně 158 000 km. Za čtyřicet let svého života ujede 6,3 mil. km (tedy 40krát více než osobní automobil) a je v provozu 210 tis. hodin (tedy téměř 100krát více než osobní automobil).

Osobní automobily a komponenty pro ně jsou racionálně řešeny s vědomím nízkého provozního využití. To není nic špatného, svému účelu poslouží. Ale v železničních vozidlech je aplikovat nelze, tam jsou jiné nároky.

Logice těchto skutečností odpovídají požadavky na trakční akumulátory pro vozidla. U osobních automobilů je žádána vysoká měrná energie, aby měl i



elektrický automobil náležitě velký dojezd a byl lehký, zatímco otázky účinnosti a životnosti akumulátoru jsou stranou zájmu. Tak trochu oprávněně, neboť i obyčejný lithiový NMC akumulátor typu HE (High Energy), tedy s jemnou vnitřní strukturou a s poněkud vyšším vnitřním odporem, nevhodný pro vysoké nabíjecí a vybíjecí výkony (akumulátor s životností 1 500 cyklů a s dojezdem 200 km), je schopen poskytnout osobnímu automobilu celkový proběh 270 000 km, což je při ročním proběhu 10 400 km (= průměr osobních automobilů v ČR) 26 let doby provozu.

### 3.2 Akumulátory pro železniční vozidla

U železničních vozidel jsou požadavky na akumulátory jiné než u automobilů. S ohledem na výše uvedenou zhruba stonásobně vyšší dobu provozního využití železničního vozidla v průběhu technického života oproti osobnímu automobilu jsou u železničních vozidel na prvním místě požadavky: trakční akumulátorová životnost, spolehlivost a energetická hospodárnost, tedy vysoká účinnost. Nízká hmotnost a velká energie jsou pochopitelně vítanými vlastnostmi, ale ve většině aplikací nejsou kritické. Dlouhé hlavní tratě jsou zpravidla elektrizovány a akumulátorovým vozidlům zpravidla zbývají jen kratší vedlejší tratě.

Pro železniční vozidla je vhodné použití poněkud dražších robustních lithiových LTO akumulátorů typu HP (High Power), tedy akumulátorů s hrubší vnitřní strukturou a s nízkým vnitřním odporem, vhodných pro vysoké nabíjecí a vybíjecí výkony a s životností v desítkách tisíc cyklů. Jsou k tomu dva racionální důvody:

- prvním důvodem je odlišný způsob nabíjení. U elektrických osobních automobilů je základem zajišťujícím kolem 90 % potřebné energie levné pomalé nabíjení nízkým výkonem při parkování. Obyčejná jednofázová zásuvka 230 V / 16 A nabije akumulátor elektrického automobilu, necelých 6 kWh potřebných na průměrný denní proběh osobního automobilu 28 km, za méně než dvě hodiny, což je méně než desetina průměrné denní doby parkování. Rychlé výkonné nabíjecí stanice vytvářejí doplňkovou síť pro občasně delší cesty. Jimi poskytovaná energie je však ve srovnání s pomalým, zejména nočním, nabíjením násobně dražší, neboť platba za rezervovaný výkon (kW) je několikanásobkem platby za odebranou energii (kWh).

Provozní podmínky na železnici jsou úplně jiné. Každodenní velké proběhy železničních vozidel vyžadují rychlé nabíjení vyšším výkonem, a to několikrát denně. To může být v závislosti na místních teritoriálních podmínkách jak statické (za stání vozidla v elektrizované stanici), tak i dynamické (za jízdy po elektrizované trati – obdoba parciálních trolejbusů). Pevná trakční zařízení (subsystém ENE), dimenzovaná pro provoz těžkých vlaků dopravovaných elektrickými lokomotivami, poskytují akumulátorovým vozidlům dostatečně velký výkon pro rychlé nabíjení. A to za rozumnou cenu elektřiny, neboť územně rozlehlá trakční napájecí síť se souběžným napájením většího počtu vlaků dobře vyrovnává průběh

- odebíraného výkonu z distribuční energetické sítě. K využití vysokého výkonu, který je v trakčním vedení k dispozici, i k rychlému nabíjení trakčních akumulátorů, je potřeba vybavit železniční vozidlo náležitě výkonným akumulátorem typu HP, který rychlé nabíjení zvládne,
- druhým důvodem je odlišný způsob jízdy. Na rozdíl od osobních automobilů, respektive i dálkových vlaků, které překonávají větší vzdálenosti bez zastavování, je úlohou regionálních vlaků plošná obsluha území. Jedná se o zastávkové vlaky. Neustálé rozjíždění a brzdění, tedy periodické vytváření a maření kinetické energie zásadním způsobem zvyšuje spotřebu trakční práce, a tím i elektrické energie ve srovnání s projíždějícími vlaky jedoucími rovnoměrnou rychlostí.

Ukazatelem poměru mezi vratnou trakční prací (vytváření kinetické energie při rozjezdu) a nevratnou trakční prací je ekvivalentní vzdálenost:

$$L_{ekv} = E_k / e_0 = 0,5 \cdot \zeta \cdot m \cdot v^2 / (m \cdot g \cdot (a + c \cdot v^2)) = 0,5 \cdot \zeta \cdot v^2 / (g \cdot (a + b \cdot v + c \cdot v^2))$$

$L_{ekv}$  ... ekvivalentní vzdálenost (km),

$E_k$  ... kinetická energie (kWh),

$e_0$  ... gradient nevratné trakční práce (kWh/km),

$\zeta$  ... součinitel rotačních hmot,

$m$  ... hmotnost vlaku (t),

$v$  ... rychlost jízdy (km/h),

$g$  ... gravitační zrychlení,

$a$  ... konstantní člen měrného jízdního odporu (valení),

$b$  ... lineární člen měrného jízdního odporu (neklidný chod),

$c$  ... kvadratický člen měrného jízdního odporu (aerodynamika).

Ekvivalentní vzdálenost vyjadřuje délku rovné přímé tratě, pro jejíž překonání stálou rychlostí vykoná jedoucí vlak stejnou trakční práci jako při rozjezdu na tuto rychlost. Pokud je například ekvivalentní vzdálenost 10 km (což zhruba odpovídá jízdnímu odporu krátkých regionálních elektrických jednotek při rychlosti jízdy kolem 100 km/h) a vzdálenost zastávek 5 km, tak celková spotřeba energie pro jízdu vlaku se zastávkami je třikrát vyšší než spotřeba energie pro jízdu téhož vlaku ustálenou rychlostí, neboť vytváření kinetické energie je dvakrát tak náročné jako překonávání jízdního odporu. Taková je realita energetické náročnosti osobních zastávkových vlaků.

Citelné zvýšení spotřeby energie periodickým střídáním rozjezdů a brzdění je nepříjemnou skutečností u každého zastávkového vlaku. Avšak u vozidel

čerpajících energii k jízdě z akumulátorů se k energetickému prohrěšku přidává ještě i výrazné zkrácení dojezdu: vlak zastavující každých 5 km má třikrát vyšší spotřebu energie pro trakci než vlak jedoucí ustálenou rychlostí.

Výrazné zmírnění ztrát kinetické energie, a tedy i znatelné prodloužení dojezdu akumulátorových vlaků přináší rekuperační brzdění, které dokáže uložit zpět do akumulátoru podstatnou část vratné energie (kinetické při zastavování a potenciálové při jízdě po spádu). Rekuperace brzdové energie podstatně zkracuje ekvivalentní vzdálenost, tedy snižuje spotřebu energie a u akumulátorových vozidel prodlužuje dojezd. Vozidla s náležitě výkonnou rekuperační brzdou jsou proto méně citlivá na četnost zastávek než vozidla využívající ztrátové třecí či elektrodynamické odporové brzdění.

Podobně se projevuje příznivý efekt rekuperačního brzdění na tratích s velkými podélnými sklony. U vozidel s patřičně výkonnou rekuperační brzdou lze významnou část elektrické energie odebrané z akumulátoru při jízdě do stoupání ke zdvižení vlaku do vyšší nadmořské výšky (k vytvoření vyšší potenciální energie) vrátit zpět při jízdě po spádu rekuperačním brzděním, a tím snížit nepříznivý vliv sklonitého terénu na spotřebu energie a dojezd akumulátorových vozidel.

Aplikační možnosti akumulátorových vozidel jsou proto posouvány vpřed nikoliv jen pokrokem v oblasti zásobníků energie (náhrada olověných akumulátorů lithiovými s násobně vyšší měrnou energií), ale i pokrokem v oblasti elektrických trakčních pohonů, spočívající v náhradě tradičních trakčních pohonů se stejnosměrnými trakčními motory moderními frekvenčně řízenými střídavými trakčními pohony s polovodičovými měniči a digitální regulací, disponujícími vysoce účinným rekuperačním brzděním.

### 3.2.1 Intenzivní rekuperační brzdění

K tomu, aby nebyl potenciál rekuperačního brzdění promarněn při zastavovacím či spádovém brzdění třecími brzdami, musí mít elektrodynamická brzda náležitě vysoký výkon, aby sama plně postačovala k provoznímu brzdění vlaku. Cílem je, aby pneumatická třecí brzda, která nevratně mění kinetickou či potenciální energii vlaku v teplo, nemusela být v provozu používána k udržování rychlosti na pádu či ke snižování rychlostí, respektive k zastavování, tedy aby sloužila pouze k dobrzdění vlaku těsně před zastavením, k zajišťování stojícího vlaku a jako bezpečnostní záloha.

To ovšem znamená dimenzování elektrodynamické rekuperační brzdy regionálních elektrických jednotek na značně vysoký výkon a pochopitelně též použití akumulátorů schopných přijmout rekuperační brzdou generovaný vysoký nabíjecí výkon, tedy akumulátorů typu HP. Pro docílení stálého zábrzděného zpomalení v úrovni cca  $1,1 \text{ m/s}^2$  od rychlosti 80 km/h až téměř do zastavení konstantní silou je u regionálních elektrických akumulátorových trakčních jednotek potřebný měrný brzdový výkon elektrodynamické rekuperační brzdy

kolem 25 kW/t. Jde o uplatnění principu tradičně používaného u tramvají, vozidel metra i u posunovacích lokomotiv. Tedy u vozidel, která též k běžnému provoznímu brzdění nepoužívají třecí brzdu, ale výhradně jen brzdu elektrodynamickou, prioritně rekuperační.

### 3.2.2 Plné využití traťových rychlostí

Regionální tratě byly v době svého vzniku vybudovány levně, s minimalizací umělých staveb (násypy, zářezy, mosty a tunely), a proto jsou na nich značné podélné sklony. V kombinaci s velkým počtem zastávek a nezdělaná i s dosti členitým rychlostním profilem (místní omezení rychlosti v obloucích o malém poloměru) jsou proto trakčně dosti náročné. Významným specifikem je i jejich jednokolejnost, která vede k požadavkům na velmi ostré jízdní doby při jízdě vstříc křižování. Čeká-li v křižovací stanici protivlak, pak se každá ušetřená minuta jízdní doby projeví v cestovních časech dvakrát. To je zákonitost, která na dvojkolejných tratích nepůsobí.

Jak pro optimální konstrukci jízdního řádu, tak i pro stabilitu jízdního řádu včasnou eliminací dopravních nepravidelností je velmi důležité, aby regionální vlaky plně využívaly traťové rychlosti. A to jak staticky (i při jízdě do velkých stoupání), tak i dynamicky, tedy aby bezprostředně po rozjezdu ze zastávky dosáhly s velkým zrychlením traťovou rychlost a udržovaly ji.

K naplnění tohoto požadavku je potřebné, aby regionální elektrické trakční jednotky (včetně akumulátorových) disponovaly měrným trakčním výkonem kolem 15 kWh/t. Dosud na regionálních tratích používané motorové vozy a jednotky potřebných trakčních parametrů nedosahují. Jsou limitovány jak nízkými výkony spalovacích motorů, tak často i nedokonalostí přenosu výkonu. K tomu ještě přistupuje pohon malého počtu dvojkolí (i jen jediného) a s tím spojené limity adhezních sil. Výsledkem jsou dlouhé jízdní doby a neatraktivní jízdní řád.

Akumulátorové, respektive dvouzdrojové elektrické jednotky trolej /akumulátor, tak přinášejí i na neelektrizované vedlejší tratě mnohem vyšší trakční standardy, než tomu bylo v éře naftou poháněných vozidel. A to jak svým vysokým měrným trakčním výkonem, tak i velkým rozjezdovým zrychlením. Ve srovnání s vozidly s hydrodynamickým či hydromechanickým přenosem vyvíjejí výkon stále a v plné výši, bez komplikací způsobených řazením rychlostních stupňů.

Provozně velmi důležitou vlastností elektrických trakčních jednotek včetně akumulátorových je i pohon velkého počtu dvojkolí (u oblíbených dvouvozových jednotek v Jakobsově uspořádání jsou to čtyři dvojkolí ze šesti), což dává těmto vozidlům vysokou adhezní jistotu. To je pro regionální tratě, často trasované vlhkými údolími lesních potoků, velmi užitečná skutečnost.

Moderní elektrické trakční jednotky dosahují svým měrným trakčním výkonem 15 kW/t zhruba dvoj- až pětinasobku měrného trakčního výkonu naftou poháněných

vozidel, dosud v ČR používaných k dopravě regionálních osobních zastávkových vlaků, a to při zhruba třetinové energetické náročnosti (přibližně v relaci 0,040 kWh/tkm oproti 0,120 kWh/tkm).

Podstatně vyšší trakční výkonnost vytváří akumulátorovým vozidlům předpoklady pro vydatné zkrácení jízdních dob osobních zastávkových vlaků proti současnosti. Cílem není jen nahradit naftu elektřinou, ale též posunout regionální dopravu na novou vyšší úroveň.

### 3.2.3 Kvalita přepravní nabídky

Vysoký měrný výkon, vysoké rozjezdové zrychlení i vysoké brzdné zpomalení, a to při nízkých nárocích na adhezi (pohon 2/3 dvojkolí), dávají i často zastavujícím regionálním osobním vlakům schopnost téměř pravoúhlého tachogramu. Vlak je schopen se ve velmi krátkém čase rozjet na dovolenou traťovou rychlost a udržovat ji v plné hodnotě, a to i na velkých stoupáních, která jsou na mnoha regionálních tratích velmi četná (typicky kolem 25 ‰). To je přínosem pro atraktivitu regionální osobní železniční dopravy.

Náhrada naftových vozidel vozidly akumulátorovými, respektive dvouzdrojovými trolej / akumulátor (BEMU) je systémovým řešením, které vede k docílení:

- intramodální úspory energie, spočívající v náhradě nevhodného spalovacího motoru vysoce účinným elektrickým trakčním pohonem a v náhradě ztrátového třecího brzdění rekuperačním spádovým i zastavovacím brzděním, s efektem poklesu spotřeby energie cca na 1/3 výchozí hodnoty,
- extramodální úspory energie, spočívající v motivaci cestujících k náhradě nevhodné individuální automobilové dopravy, dosud zajišťované automobily se spalovacími motory a s vysokým jízdním odporem (velký odpor valení pneumatik po vozovce, velký aerodynamický odpor krátkých samostatně jedoucích vozidel) moderními elektrickými kolejovými vozidly s efektem poklesu spotřeby energie cca na 1/8 výchozí hodnoty.

Nástrojem k motivaci obyvatelstva ke změně dopravního chování a tím k vytvoření extramodálních úspor energie je při aplikaci dvouzdrojových vozidel trolej/akumulátor kombinace opatření ke zvýšení atraktivity osobní železniční dopravy:

- nabídka pohodlných a spolehlivých přímých bezpřestupových spojení z centra regionu do jeho okrajových oblastí, umožněná kombinací jízdy po tratích s liniovým elektrickým trakčním vedením, spojené s dynamickým nabíjením trakčních akumulátorů, a jízdy po tratích bez liniového elektrického trakčního vedení,
- nabídka rychlého dopravního spojení, s plným využitím dovolených traťových rychlostí, umožněného výrazně (několikanásobně) vyšším měrným trakčním výkonem, než tomu bylo v případě naftových vozidel,



- vysoká úroveň kultury cestování bez obtěžování cestujících hlukem a vibracemi produkovanými spalovacím motorem,
- ohleduplnost k přírodě a životnímu prostředí (bezemisní doprava),
- ekonomická přijatelnost v důsledku jak nízkých provozních nákladů (odpadá nákup drahého paliva a pracná péče o spalovací motor), tak i vysoké produktivity vozidel i personálu (zajištění dopravy na více tratích týmiž vlakovými náležitostmi, tedy stejnými vozidly a stejným vlakovým personálem),
- využití vozidel vybavených z důvodu provozu na hlavních tratích palubními jednotkami jednotného evropského vlakového zabezpečovače ETCS i na vedlejších tratích. To je významným předpokladem k zásadnímu zvýšení bezpečnosti vlakové dopravy na vedlejších tratích, instalací traťové části ETCS i na vedlejší tratě, což lze provést relativně snadno a rychle.

Nemá logiku přizpůsobovat železnici ochablé přepravní poptávce. Mnohem efektivnější je stimulovat přepravní poptávku kvalitní přepravní nabídkou.

#### **4. Inovační trendy**

Dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor (BEMU) přinášejí do regionální dopravy novou kvalitu a nové možnosti. Umožňují i okrajové tratě zapojit do železničního systému. Jejich klíčovým komponentem jsou patřičně vydatné zásobníky energie, aktuálně zejména lithiové akumulátory. I přes velmi intenzivní pokrok v oblasti elektrochemických akumulátorů, provázený zvýšením měrné energie (kWh/t) i měrného výkonu (kW/t), odstraněním údržbové náročnosti i násobným zvýšením životnosti, jde však stále ještě o dosti rozměrné a hmotné komponenty. Cílem inovačních aktivit jsou proto čtyři paralelní trendy:

- vývoj elektrochemických akumulátorů k vyšším hodnotám měrné energie a měrného výkonu (při vysoké účinnosti, spolehlivosti a životnosti),
- vývoj celkového uspořádání vozidel a jejich subsystémů i komponent s cílem vytvořit náležitou prostorovou a hmotnostní rezervu k uložení potřebné velikosti akumulátorů,
- snižování měrné spotřeby energie (viz například snižování hmotnosti vozidel, účinná vysoce výkonná rekuperace, hospodárné systémy vytápění a klimatizace, zlepšování aerodynamiky, ...),
- vytváření provozních podmínek pro nabíjení akumulátorů několikrát denně, aby vozidla vystačila s kratším dojezdem a menšími akumulátory.

V rámci společenské dělby práce se na těchto čtyřech trendech podílí několik partnerů. Téma elektrochemických akumulátorů (sekundárních článků) je v gesci elektrotechnického průmyslu a postupný trend ke stále vyšším parametrům je stimulován poptávkou po zásobnících energie z mnoha aplikačních oborů – od osobních elektronických přístrojů přes ruční nářadí a dopravní prostředky (automobily, autobusy, kolejová vozidla, lodě i letadla) až po velká statická úložiště energie.

Statická úložiště energie pro vyrovnávání výkonové bilance v elektrických sítích mohou být však také zřizována pro druhý život akumulátorových baterií, vyřazených z dopravních prostředků po vyčerpání jejich nominální technické životnosti, která je definována poklesem kapacity akumulátoru na 80 % nominální hodnoty. Pro moderní energetiku, založenou na stále rostoucím podílu obnovitelných zdrojů energie, zejména solárních a větrných elektráren s nepredikovatelným průběhem výkonnosti, budou k vyrovnání bilance elektrizační soustavy mezi okamžitým výkonem zdrojů a okamžitým příkonem spotřeby, akumulátorová úložiště elektrické energie velmi potřebná. Tato sekundární aplikace též řeší otázku, jak nakládat s již nepotřebnými akumulátorovými bateriemi z vozidel. Mění starost, jak naložit s vyřazeným akumulátorem, v příležitost, jak jej (za úplatu) dále využít. Až po absolvování druhého využití budou recyklovány.

#### **4.1 Podvozky s vnitřním rámem**

Významné pole aktivit má pochopitelně i průmysl kolejových vozidel. V jeho odpovědnosti je řešení druhého a třetího trendu. Velmi přínosným opatřením je náhrada tradičních podvozků s vnějším rámem menšími a lehčími podvozky s vnitřním rámem. Tento krok (viz obr. 6) přináší čtyři velmi podstatné efekty:

- zásadní (zhruba o jednu třetinu) snížení hmotnosti podvozků, tedy nejtěžší části vozidla, s dopadem na podstatnou úsporu spotřeby trakční energie zastávkových vlaků a tím i prodloužení dojezdu akumulátorových vozidel,
- zvýšení dynamiky jízdy a rozjezdu v důsledku nižší hmotnosti,
- možnost využít úsporu hmotnosti podvozků k uložení větších, a tedy i hmotnějších, akumulátorů do vozidla ke zvýšení dojezdu akumulátorových vozidel,
- zmenšení aerodynamického odporu podvozků vestavěných v užším obrysu, s příznivým dopadem na úsporu spotřeby trakční energie a tím i k prodloužení dojezdu akumulátorových vozidel.
- snížení momentu setrvačnosti podvozku vůči jeho natáčení v obloucích,
- snížení velikosti nevypružených hmot a výrazné snížení velikosti jen primárně vypružených hmot s příznivým dopadem na snížení nákladů na údržbu tratí.

Pojezdy s vnitřním rámem mají v oboru kolejových vozidel dávnou tradici, široké uplatnění našly u parních lokomotiv (s výjimkou vozidel s Hallskými klikami). U ostatních vozidel jejich užití četné nebylo. I když byly významné výjimky, jako například tramvaje PCC podle návrhu profesora C. F. Hirschfelda, vyráběné v početných sériích od roku 1934 až do nedávných let. V oboru železničních vozidel našly uplatnění u motorových lokomotiv řady V 200 DB s hydrodynamickým přenosem výkonu a u netrakčních podvozků motorových jednotek řady VT 08.

Avšak jak tramvaje PCC, tak i lokomotivy V 200 byla vozidla s pohonem dvojkolí kloubovými hřídeli a uhlovými nápravovými převodovkami s kuželovým ozubeným převodem. Avšak u vozidel s příčně uloženými trakčními motory se sotva dařilo umístit do prostoru normálně rozchodného dvojkolí, ohraničeného rozkolím 1 360 mm, trakční motor s převodovkou a případným dalším příslušenstvím (spojka, kotoučová brzda). Až moderní technologie střídavých frekvenčně řízených trakčních motorů umožnily jejich rozměry zmenšit natolik, že se do prostoru rozkolí podařilo situovat i nápravová ložiska včetně vedení dvojkolí a primárního vypružení.

Je skutečně pozoruhodné, jak pokrok v elektrické výzbroji (zmenšení zástavbových rozměrů trakčních motorů) umožňuje revoluční změny v konstrukci podvozku (náhrada vnějšího rámu vnitřním rámem), které v hmotnostní bilanci vozidla vytvářejí rezervu využitelnou jak k úsporám energie, tak ke zvýšení přepravní kapacity (prodloužení vozové skříně) či k umístění zásobníku energie. A to jak v podobě elektrochemických akumulátorů, tak i v případě nádob na stlačený vodík a palivových článků. To spolu posouvá obor bezemisních železničních trakčních vozidel výrazně vpřed.

#### **4.2 Liniová elektrizace**

Nositelům čtvrtého trendu je správce infrastruktury. Nebylo by správné vnímat akumulátorová vozidla jako náhradu liniové elektrizace. Trati s náležitě silným dopravním provozem se ekonomicky vyplatí liniově elektrizovat. Akumulátorová vozidla jsou náhradou za naftová vozidla na tratích, které se liniově elektrizovat ekonomicky nevyplatí.

Postupná, stále rozsáhlejší, respektive hustší, liniová elektrizace železniční sítě vytváří příznivé podmínky pro provoz akumulátorových vozidel:

- roste počet tratí, na kterých lze akumulátorová vozidla za jízdy dynamicky nabíjet z trakčního vedení, respektive staticky nabíjet z trakčního vedení za stání v železničních stanicích,
- zkracují se vozební ramena vlaků na tratích bez liniového elektrického trakčního vedení, což snižuje požadavky na dojezd akumulátorových vozidel.

Mezi rozvojem vozidel a liniové elektrizace tratí existují velmi plodné synergie:

- využití pevných trakčních zařízení nově elektrizovaných tratí nejen k napájení vozidel na nich provozovaných, ale prostřednictvím akumulátorových vozidel i na okolních tratích bez liniové elektrizace, příznivě zvyšují efektivnost investic do elektrizace, což se v analýze nákladů a výnosů (CBA) pozitivně projevuje vyšším vnitřním výkonovým procentem (EIRR), které je rozhodujícím parametrem při posuzování ekonomické efektivnosti dopravních staveb,

- investice do pořízení dvouzdrojových vozidel trolej/akumulátor (BEMU) a pozdější investice do liniové elektrizace tratí, pro které jsou tato vozidla určena, se navzájem nevylučují. Naopak, na rozdíl od pořízení vozidel se spalovacím motorem (DMU) je pořízení BEMU přípravným krokem k budoucí liniové elektrizaci dotyčné tratě. Dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor lze provozovat i ve výhradně trolejovém režimu (jako EMU). Předpokládaná životnost LTO akumulátoru je zhruba polovina životnosti vozidla. Tedy je otevřeným tématem, zda v polovině technického života vozidla akumulátor obnovit, nebo to již s ohledem na pokračující liniovou elektrizaci nebude potřebné a druhou polovinu technického života bude možno vozidlo provozovat jako EMU. To je, v kontrastu s pořízením nového DMU a jeho předčasným vyřazením z provozu po elektrizaci tratě a nutným nákupem druhého nového vozidla (EMU), zcela zásadní přednost,
- zajímavým trendem je předsledné budování malých elektrizovaných územních ostrovů uvnitř rozsáhlejší sítě bez liniové elektrizace. Tyto elektrizované ostrovy zpočátku slouží především pro dynamické i statické nabíjení BEMU, které je potřebné k zajištění provozu na okolních neelektrizovaných tratích. V dalších letech jsou pak spolu s postupující liniovou elektrizací sítě tyto ostrovy začleněny do systému elektrizovaných tratí.

Při současném stavu techniky se pohybuje dojezd akumulátorových BEMU s AC napájením (15 kV 16,7 Hz, respektive 25 kV 50 Hz) v režimu EOL (kapacita odpovídající stavu akumulátoru na konci životnosti, tedy snížena o 20 % vůči jmenovité hodnotě BOL) na úrovni zhruba 100 km. Konkrétní hodnota dojezdu závisí na technickém řešení vozidla i na traťových a provozních podmínkách (rychlostní profil, podélný profil, střední vzdálenost zastávek, doba pobytu v obrátové stanici, míra obsazení, ...). BEMU tedy zvládnou obsluhovat jak průběžnou neelektrizovanou trať délky cca 100 km mezi dvěma elektrizovanými tratěmi, tak i koncovou neelektrizovanou trať délky cca 50 km, odbočující z elektrizované tratě. V obou případech je na elektrizovaném konci možné jak statické nabíjení (vlak zde jízdu končí), tak i dynamické nabíjení (vlak pokračuje v jízdě po elektrizované trati). Těmto poměrům odpovídají mnohé vedlejší tratě v částečně elektrizované železniční síti.

Omezujícím prvkem výkonu přenášeného elektrického výkonu při statickém nabíjení akumulátorů ve vozidle z trakčního vedení je proudová zatížitelnost kontaktu sběrač – trolejový drát při stojícím vozidle (nulová rychlost). Z tohoto důvodu je pro dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor (BEMU) mnohem výhodnější trakční napájecí systém 25 kV 50 Hz než systém 3 kV DC, neboť disponuje více než osmkrát vyšším napětím. Systém 25 kV 50 Hz je schopen předávat vozidlu výrazně vyšší výkon než systém 3 kV DC, tedy je schopen nabíjet akumulátor podstatně rychleji, v kratším čase. Vysoká výkonnost řetězce tří komponent: kontakt trakčního vedení 25 kV 50 Hz se sběračem, vozidlový trakční transformátor nezatížený trakčním pohonem stojícího vozidla a robustní trakční akumulátor typu HP (technologie LTO), je schopna zajistit velmi intenzivní

nabíjení, pokud je to z provozních důvodů potřebné. Řešení trolejových napájecích bodů systémem 25 kV 50 Hz je též plně v souladu se strategií přechodu české železnice na jednotný systém napájení drah.

## 5. Bodové napájení

Schopnost nabíjet své trakční akumulátory za stání či za jízdy elektrickou energií odebranou sběračem proudu z trakčního vedení elektrizovaných tratí je základní předností dvouzdrojových elektrických trakčních jednotek trolej/akumulátor (BEMU). Tím, že využívají pro závislou elektrickou trakci vybudovaná vysoce výkonná pevná trakční zařízení ještě k dalšímu účelu, zvyšují ekonomickou efektivnost jak svého provozu, tak i dalšího rozvoje liniové elektrizace.

Vysoce odolné lithium titanátové (LTO) akumulátory vozidel BEMU lze z trakčního vedení 25 kV nabíjet virtuální rychlosti cca 400 km/h, respektive 6,7 km/min. Pro běžné provozní nabíjení je rozumné uvažovat hodnotu zhruba poloviční, tedy nabíjení virtuální rychlostí 200 km/h, respektive 3,3 km/min, a rychlé nabíjení ponechat pro zajištění stability jízdního řádu k vyrovnávání zpoždění vlaku zkrácením doby pobytu v obrátové stanici. Virtuální rychlost nabíjení udává schopnost obnovy dojezdu, tedy v tomto případě vyjadřuje, že během 1 minuty nabíjení získá vozidlo energii postačující k ujetí vzdálenosti 3,3 km.

Při typické oběhové rychlosti regionálních vlaků cca 30 km/h je například při dvouhodinovém obratu potřebné za jízdy či za stání pravidelně nabíjet akumulátory BEMU každé dvě hodiny (tedy po ujetí vzdálenosti cca 60 km) provozním nabíjením po dobu cca 18 minut (15 % z doby oběhu), respektive rychlým nabíjením 9 minut (7,5 % z doby oběhu). To jsou hodnoty zpravidla reálně splnitelné i v obězích původně navržených pro naftová vozidla (DMU).

Železnice síť v ČR však není elektrizována rovnoměrně. Na jihu ČR je železnice pro aplikaci BEMU poměrně dobře připravena. Hustá (a programově rostoucí) síť železnic liniově elektrizovaných systémem 25 kV vytváří řadu příležitostí pro statické či dynamické nabíjení dvouzdrojových vozidel trolej/akumulátor (BEMU) i relativně krátká vozební ramena bez liniové elektrizace, pro které dojezd současných vozidel BEMU postačuje. Na severu ČR (v původní zóně perspektivně uvažovaného stejnosměrného napájení 3 kV) však jsou rozsáhlá území bez liniové elektrizace (Českolipsko, Liberecko, Trutnovsko, Jesenicko, ...).

### 5.1 Přenocování

V jižní části ČR není, až na výjimky, nutno pro provoz BEMU budovat speciální nabíjecí zařízení, postačují pevná trakční zařízení elektrizovaných tratí, respektive tratí s připravovanou elektrizací.

Je však potřebné zajistit temperování odstavených vozidel při delších (obratových) pobytech v neelektrizovaných železničních stanicích, zejména



v zimním období. To není nové téma, k distribuční elektrické síti jsou při delších pobytech z důvodu teploty připojována i odstavená vozidla s pohonem spalovacím motorem.

Akumulátorová trakční vozidla odebírají v oblastech bez liniové elektrizace elektrickou energii ze svého akumulátoru nejen pro trakci, ale i pro vedlejší spotřebu. Tedy delší doba pobytu v obrátové stanici snižuje následný dojezd vozidla. Při mírném počasí je odběr odstaveného vozidla nízký, avšak za nepříznivých povětrnostních podmínek (silné mrazy) snižuje každá hodina temperovaného odstaveného vozidla v obrátové stanici dojezd vozidla zhruba o 5 km.

Při krátkých obrátech jde o drobnost, ale při přenocování v délce například 10 h (od 20:00 večer do 6:00 ráno) jde již o vážnou hodnotu (snižování dojezdu o cca 50 km). Proto je potřebné vybavit obrátové stanice s pravidelnými dlouhými pobyty odstavených vozidel pomocným elektrickým napájením pro aktivní odstavení akumulátorových vozidel. Z hlediska jednoduchosti manipulace je optimálním řešením unifikovaný samostatný krátký slepý úsek jednofázového trakčního vedení 25 kV 50 Hz (v délce jednoho rozpětí), ke kterému se vozidlo snadno standardně připojí svým sběračem.

Takto vybudované zařízení má logiku dimenzovat na poněkud vyšší výkon, než jak je potřebné jen pro pokrytí energetické spotřeby (příkonu) samotného aktivního odstavení. Rozumné je využít připojení vozidla k trakčnímu vedení nejen k teplotě odstaveného vozidla, ale i k pomalému dobíjení akumulátoru. Zvýšení výkonu transformátoru napájecího bodu z několika desítek kW na několik stovek kW není podstatnou nákladovou položkou a přispěje ke zvýšení stability provozu při různých provozních mimořádnostech (výluka na trati, doprava vloženého vlaku a podobně).

## 5.2. Nabíjení

Závažnějším tématem je nabíjení trakčních akumulátorů dvouzdrojových vozidel BEMU v železničních uzlech, které jsou mimo teritorium liniové elektrizace, a přitom jsou významnou obrátovou stanicí regionálních osobních vlaků (například: Domažlice, Volary, Rakovník, Louny, Mladá Boleslav, Česká Lípa, Rumburk, Liberec, Turnov, Trutnov, Jeseník, Krnov, ...), které pro svůj provoz pevná trakční zařízení potřebují.

Zde jsou v zásadě dvě řešení:

- urychlit plánovanou elektrizaci některé z železničních tratí, napojující příslušný dosud neelektrizovaný železniční uzel na síť elektrizovaných železnic. Typicky jde například o elektrizaci železniční tratě Jaroměř – Trutnov (již systémem 25 kV 50 Hz). Ta primárně poslouží k zásadnímu snížení nákladů k dopravě vlaků rychlíkové linky R 10 Praha – Trutnov a spěšných vlaků Hradec Králové – Trutnov (nižší náklad na energii i údržbu,

vyšší produktivita vozidel i personálu) při zvýšení kvality přepravní nabídky (zkrácení pobytu v Hradci Králové pro přeprah, zkrácení jízdních dob vyšším trakčním výkonem). Zároveň tato liniová elektrizace vytvoří důležitý nabíjecí bod pro regionální vlaky zajišťující dopravu na železničních tratích v okolí Trutnova. Podobně umožní elektrizace tratě Jaroměř – Turnov nejen výrazné zrychlení vlakové dopravy na lince R 14 A Pardubice – Liberec, spojené s růstem produktivity vozidel a personálu o 67 % (na oběh bude stačit místo současných 5 vlakových náležitostí jen 3) v důsledku náhrady naftových vozidel výrazně výkonnějšími BEMU, ale i bezemisní vozbu na tratích v okolí Staré Paky a Turnova,

- vybudovat v uzlových železničních stanicích v oblastech bez liniové elektrizace napájecí bod tvořený malou jednofázovou trakční napájecí stanicí 25 kV 50 Hz (o výkonu v jednotkách MW) a několika slepými úseky trakčního vedení, určený pro rychlé nabíjení akumulátorových vozidel při obrazech regionálních vlaků. Jak trakční napájecí stanice, tak trakční vedení, nejsou nesystémovou investicí, neboť mohou být prvním krokem k budoucí skutečné liniové elektrizaci dotyčného železničního uzlu.

Vedle vrchního trakčního vedení (systému trolej – sběrač) existuje též možnost dodávat akumulátorovým vozidlům elektrickou energii prostřednictvím topné spojky – viz analogie k předtápěcím zařízením. To však vyžaduje manipulaci s vysokonapětovým kabelem o průřezu 185 mm<sup>2</sup> Cu, která není (zejména při nepříznivém počasí) snadná. Navíc připojení topnou spojkou omezuje přenášený výkon a zejména při použití normalizovaného napětí 1,5 kV vede k velkým přenášeným proudům (i zpětným). Proto je preferováno standardní připojení akumulátorového vozidla sběračem ke krátkému úseku trakčního vedení.

### **5.3 Schopnosti distribuční sítě 3 x 22 kV**

Výkon pomocného napájecího bodu pro temperaci odstavených vozidel a pro pomalé nabíjení nízkým výkonem, respektive výkon malé trakční napájecí stanice pro rychlejší nabíjení vozidlových akumulátorů vyšším výkonem, jsou dány nejen potřebami železničního provozu, ale i zatížitelností distribuční elektrické sítě. Ta je limitována její vnitřní impedancí, tedy třífázovým zkratovým výkonem v místě připojení uvažovaného zařízení k distribuční síti.

Z hlediska dosažení vysoké výkonnosti je ideálním řešením připojení trakčních napájecích stanic k síti 3 x 110 kV. Avšak budování nových linek 3 x 110 kV silně komplikuje obtížná průchodnost této liniové stavby územím. Proto je zajímavé blíže poznat možnosti distribuční sítě 3 x 22 kV, která je mnohem snáze dostupnější.

Zkratový výkon sítě 3 x 22 kV je teritoriálně velmi rozmanitý. Silně závisí na délce vedení 22 kV mezi transformovnou 110 kV/22 kV a místem odběru. Gradient impedance (ohm/km) vedení 22 kV je ve srovnání s přepočteným gradientem impedance vedení 110 kV (která je redukována v poměru druhých

mocnin napětí, tedy 25krát), respektive s impedancí transformátorů 110/22 kV, velký a zásadním způsobem snižuje zkratový výkon:

- ve větších městech, respektive v blízkosti současných či bývalých průmyslových závodů, je délka distribučního vedení 22 kV mezi transformovnou 110 kV/22 kV a odběrním bodem relativně malá. Třífázový zkratový výkon distribuční sítě v místě připojení uvažovaného odběru pro bodové napájení akumulátorových vozidel je proto velký, typicky kolem 200 MVA. Distribuční síť 3 x 22 kV je zde tvrdá a silně zatížitelná,
- v malých městech či na venkově, respektive daleko současných či bývalých průmyslových závodů, je délka distribučního vedení 22 kV mezi transformovnou 110 kV/22 kV a odběrním bodem relativně velká. Třífázový zkratový výkon distribuční sítě v místě připojení uvažovaného odběru pro bodové napájení akumulátorových vozidel je proto malý, typicky kolem 40 MVA. Distribuční síť 3 x 22 kV je zde měkčí a méně zatížitelná.

Dalším významným faktorem je způsob napájení jednofázového trakčního vedení ze třífázové distribuční sítě:

- při použití jednofázového transformátoru 22 kV/25 kV, zapojeného na primární straně mezi dva fázové vodiče systému 3 x 22 kV, a na sekundární straně k trakčnímu vedení a ke kolejnicím (tak jak je obvyklé u tradičních trakčních napájecích stanic 3 x 110 kV / 1 x 25 kV), je třífázová síť zatěžována nesymetricky. Limitem odebíraného výkonu je mez nesymetrického odběru, která činí podle PNE 33 3430-0 nejvýše 0,7 % třífázového zkratového výkonu distribuční sítě v místě odběru. Z toho pro výše uvedené směrné rozmezí třífázových zkratových výkonů distribuční sítě 3 x 22 kV (cca 40 MVA na konci dlouhých vedení až cca 200 MVA na začátku vedení) vyplývá možný nesymetrický odběr zhruba v rozmezí cca 280 kVA na koncích delších distribučních vedení 3 x 22 kV, až cca 1 400 kVA na začátku distribučních vedení 3 x 22 kV nedaleko od transformoven 110kV/22 kV,
- při použití měničové technologie 3 AC/DC/1 AC (po vzoru moderních trakčních napájecích stanic 3 x 110 kV / DC/ 1 x 25 kV s kaskádou polovodičových měničů) je třífázová síť zatěžována symetricky. Kritérium asymetrického zatěžování není podstatné. Limit odebíraného výkonu je určen poklesem napětí v distribuční síti v místě připojení u ostatních spotřebitelů. Tato hodnota je cca 3 až 4krát vyšší, než jak odpovídá mezi nesymetrického zatěžování. Zhruba lze hovořit o 2,5 % třífázového zkratového výkonu distribuční sítě v místě odběru.

Z toho pro výše uvedené směrné rozmezí třífázových zkratových výkonů distribuční sítě 3 x 22 kV (cca 40 MVA na konci dlouhých vedení až cca 200 MVA na začátku vedení) vyplývá možný symetrický odběr zhruba v rozmezí cca 1 000 kVA na koncích delších distribučních vedení 3 x 22 kV, až cca 5 000 kVA na začátku distribučních vedení 3 x 22 kV nedaleko od transformoven 110kV/22 kV.

#### **5.4. Napájecí body**

Ukazuje se rozumné rozšířit dosavadní pojetí elektrizace železnic. Vedle pokračování tradiční liniové elektrizace systematicky budovat jako součást dráhy bodové či ostrovní napájecí zařízení s jednotným rozhraním kontakt sběrač vozidla – trolejový drát 25 kV 50 Hz. S ohledem na všeobecnou potřebnost těchto zařízení v různých lokalitách se ukazuje smysluplné připravit k tomuto účelu typový projekt (respektive velikostní řadu typových projektů) malých bodových trakčních napájecích stanic počínaje jednofázovými transformovkami 22 kV / 25 kV o výkonu cca 400 kVA.

#### **6. Závěr**

Na rozdíl od automobilové dopravy, která z důvodu zpravidla chybějící liniové elektrizace silnic využívá elektrické automobily se zásobníky energie jako základní trend k odklonu od závislosti na spalovacích motorech, je na železnici základním trendem stále hustší síťově pojatá liniová elektrizace. Avšak na vedlejších dopravně méně zatížených železničních tratích, na kterých se z ekonomických důvodů nevyplatí budovat pevná trakční zařízení, je vhodné aplikovat železniční vozidla se zásobníky energie v podobě moderních lithiových akumulátorů. A to zejména dvouzdrojové elektrické trakční jednotky trolej/akumulátor (BEMU), které prostřednictvím statického i dynamického nabíjení svých akumulátorů využívají pevná trakční zařízení (trakční napájecí stanice a trakční vedení) liniově elektrizovaných tratí též k zajištění elektrické energie k bezemisnímu provozu železniční dopravy na okolních tratích bez liniové elektrizace. Další rozvoj liniové elektrizace a aplikace dvouzdrojových elektrických trakčních jednotek trolej/akumulátor jsou perspektivními vývojovými trendy, které se navzájem vhodně doplňují. Oba tyto trendy vedou k nahrazení tradičních DMU nejen bezemisními, ale i výrazně výkonnějšími, a přitom energeticky a údržbově méně náročnými vozidly typu EMU a BEMU.

#### **Literatura**

- (1) Souhrnná energetická bilance ČR, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2019
- (2) Ročenka dopravy ČR, Ministerstvo dopravy ČR, 2019
- (3) Jiří Pohl: Dekarbonizace osobní železniční dopravy koordinovanou kombinací liniového, akumulátorového a vodíkového napájení elektrických vozidel, Seminář Alternativní zdroje pro napájení železničních vozidel, MD ČR, Praha 20.9.2019

Lektorovali: doc. Ing. Radovan Doleček, Ph.D., Správa železnic  
Ing. Jan Plomer, České dráhy, a.s.

## Příspěvek č. 7

**Pavel Krýže<sup>34</sup>**

### **Nová metodika zjišťování kapacity dráhy**

**Klíčová slova:** železniční doprava, kapacita, propustnost, traťové koleje, zhlaví, kolejové skupiny.

#### **Anotace**

Příspěvek popisuje směrnici SŽDC SM124 „Zjišťování kapacity dráhy“, která byla vydána v loňském roce. Článek nejprve uvádí obecné zásady, které jsou ve směrnici použité. Poté popisuje jednotlivé metody, a to postupně pro traťové koleje, zhlaví a kolejové skupiny.

#### **Annotation**

The contribution describes the regulation of SŽDC SM124 called "The Analysis of the Rail Capacity", which was issued last year. First, the article introduces the general principles used in these directions. Then it characterizes the particular methods used for railway lines, switch areas and track groups.

#### **Úvod**

V loňském roce byla vydána směrnice SŽDC SM124 „Zjišťování kapacity dráhy“ (dále jen Směrnice), která nahradila již nevyhovující předpis SŽDC (ČSD) D24 platný od roku 1965. Směrnice upravuje problematiku zjišťování kapacity traťových kolejí, zhlaví a kolejových skupin.

Směrnice nemá charakter učebního textu. Proto přes veškerou snahu učinit směrnici srozumitelnou i tím, že strohá obecná vyjádření jsou doplněna obrázky a konkrétními příklady, je pro čtenáře obtížné beze zbytku pochopit všechny principy a postupy ve Směrnici obsažené. I proto vznikl tento text – snaží se ozřejmit zásady a nejdůležitější ustanovení obsažené ve Směrnici.

#### **1 Základní pojmy**

V názvu Směrnice je použit pojem **kapacita**. Význam tohoto pojmu není všeobecně ustálený, ve Směrnici je kapacita definována jako *schopnost realizovat určitý dopravní výkon v určité kvalitě*. Kapacita samotná představuje podle Směrnice pouze abstraktní veličinu, pro podrobnější a kvantifikovaný popis kapacity slouží **ukazatele kapacity**. Mezi ukazatele kapacity patří propustnost, využití propustnosti, stupeň obsazení, koeficient koliznosti, čekání, pravděpodobnost čekání, přírůstek zpoždění. Jednotlivé ukazatele kapacity jsou zjištěitelné obvykle jen některými metodami; zatímco například stupeň obsazení je typický výstup analytické metody, přírůstek zpoždění lze zjistit pouze za

---

<sup>34</sup> Ing. Pavel Krýže, Ph.D., Správa železnic, generální ředitelství, odbor řízení provozu,



pomoci simulace. (Blíže jsou jednotlivé ukazatele kapacity popsány v tabulce 2 a u jednotlivých metod.)

Pojmem **stanice** se pro účely Směrnice rozumí též výhybna, dopravná D3, dopravná RB, samostatná kolejová skupina a staniční obvod.

**Zařízení infrastruktury** jsou pro účely Směrnice traťové koleje, zhlaví a kolejové skupiny.

Pojmem **vlak** se pro účely Směrnice rozumí též posun mezi dopravnami. Pojem vlak má význam zejména v souvislosti s kapacitou traťových kolejí.

Pojmem **jízda** se pro účely Směrnice rozumí vlak, posunový díl a posun mezi dopravnami. Pojem jízda má význam zejména v souvislosti s kapacitou zhlaví a kolejových skupin.

Ve výše uvedené definici kapacity je použit pojem „dopravní výkon“. **Dopravní výkon** je možné popsat rozsahem dopravy, provozním konceptem anebo jízdním řádem:

- Rozsah dopravy představuje nejméně konkrétní vyjádření. Součástí musí být aspoň informace o druhové skladbě a parametry jednotlivých druhů vlaků (resp. posunových dílů), jako je jejich délka, hmotnost, rychlost, předpokládaná hnací vozidla, rozsah zastavování, požadovaná délka pobytů. V tomto případě se nepředpokládá znalost časových poloh jednotlivých jízd.
- Provozní koncept znamená aspoň přibližnou znalost časových poloh vlaků a velikosti taktových intervalů. Na rozdíl od konkrétního jízdního řádu nemusí být známy například informace o obězích, přípojových vazbách apod. S provozním konceptem se pracuje zejména u výhledových stavů.
- Jízdní řád v zásadě představuje situaci, kdy jsou k dispozici veškeré pomůcky grafikonu vlakové dopravy. Pro traťové úseky je zejména určující nákrešný jízdní řád, pro stanice plán obsazení dopravních kolejí, popř. grafikon provozních procesů stanice.

Jestliže jsou k dispozici pouze informace o rozsahu dopravy (podle první odrážky výše), znamená to, že nejsou známy časové polohy jednotlivých jízd. Tyto polohy je přitom pro účely zjišťování kapacity nezbytné určit – činí se tak s pomocí teorie pravděpodobnosti, proto se tento případ označuje jako **režim TP**. Naproti tomu jsou-li známy časové polohy jednotlivých jízd, jedná se o **režim JŘ** (jízdní řád). Režim (neboli znalost či neznalost časových poloh jízd) má následně vliv na výběr metod pro zjišťování kapacity.

Ukazatele kapacity zjištěné v režimu JŘ se vztahují právě k jízdnímu řádu (provoznímu konceptu), pro který byly ukazatele zjištěny. Naproti tomu ukazatele kapacity v režimu TP mají obecnější platnost, nevypovídají o konkrétním jízdním řádu. Oba režimy tedy odlišuje různá vypovídací schopnost, proto pro komplexní posouzení kapacity je užitečné provést zjišťování kapacity v obou režimech.

## 2 Východiska

V této části jsou popsány společné zásady, z nichž vycházejí jednotlivé metody na zjišťování kapacity.

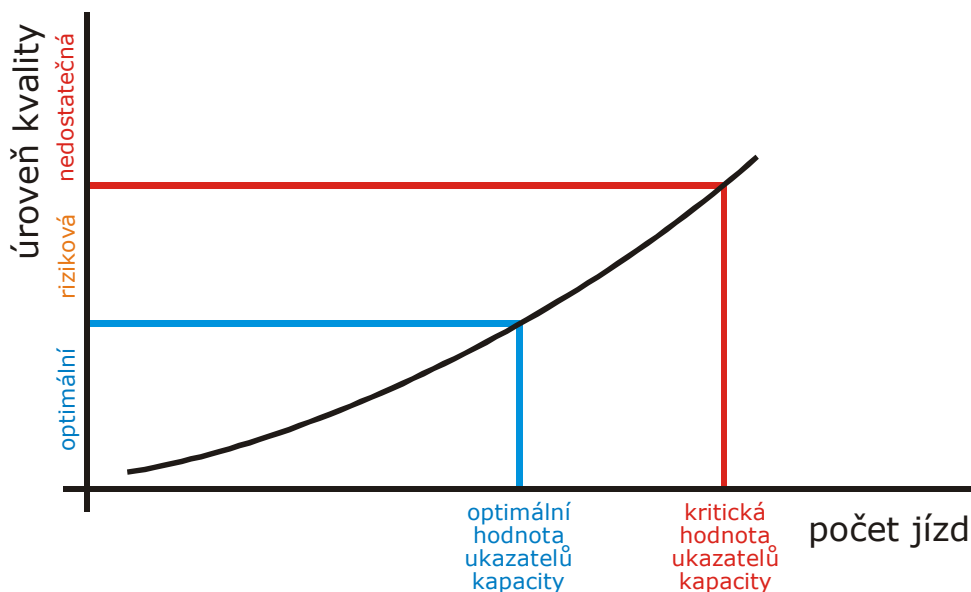
### 2.1 Souvislost mezi rozsahem dopravy a kvalitou, limitní hodnoty ukazatelů kapacity

S rostoucím rozsahem dopravy se snižuje kvalita – jako projev snižování kvality si lze představit například vyšší pravděpodobnost a hodnotu zpoždění. Do určité meze je zhoršování kvality přijatelné – vzniklá zpoždění jsou v zásadě odbouratelná díky rezervám obsaženým v jízdním řádu. Při dalším nárůstu rozsahu dopravy kvalita dále klesá a vzniklá zpoždění již není možné eliminovat.

Aby bylo možné stanovit míru zatížení prověřovaných zařízení a předpokládanou úroveň kvality, jsou pro některé ukazatele kapacity stanoveny **limitní hodnoty**. Rozlišují se dva typy limitních hodnot:

- optimální hodnota,
- kritická hodnota.

Vztah mezi limitními hodnotami ukazatelů kapacity a předpokládanou úrovní kvality je zřejmý z následujícího obrázku.



**Obrázek 1 – Vztah mezi počtem jízd a předpokládanou kvalitou**

S ohledem na kvalitu provozu je žádoucí, aby hodnota příslušného ukazatele kapacity v zásadě nepřevyšovala příslušnou optimální hodnotu ukazatele kapacity. Pokud hodnota příslušného ukazatele kapacity je vyšší než optimální hodnota, existuje riziko nedostatečné kvality (zkráceně „riziková kvalita“). Pokud hodnota ukazatele kapacity je dokonce vyšší než příslušná kritická hodnota, je třeba předpokládat nedostatečnou kvalitu a dané zařízení se pokládá za přetížené. Vztah mezi mírou zatížení, předpokládanou kvalitou a hodnotou ukazatelů kapacity vysvětluje následující tabulka.

**Tabulka 2 – Vztah mezi mírou zatížení, předpokládanou kvalitou a hodnotou ukazatelů kapacity**

barva	zatížení	vztah ukazatelů k příslušným hodnotám	zjištěných kapacity limitním	úroveň kvality	předpokládaná hodnota zpoždění <sup>35</sup>
	zařízení s kapacitními rezervami	ukazatele kapacity jsou nižší než optimální hodnoty		optimální	pokles
	přiměřeně zatížené zařízení	ukazatele kapacity dosahují optimálních hodnot			přibližně beze změny
	silně zatížené zařízení	ukazatele kapacity jsou vyšší než optimální a současně nižší než kritické hodnoty		riziková	nárůst
	přetížené zařízení	ukazatele překračují hodnoty	kapacity kritické	nedostatečná	výraznější nárůst

Limitní hodnoty ukazatelů kapacity pro kratší (špičková) období jsou vyšší, to znamená, že v kratším analyzovaném období lze připustit vyšší intenzitu provozu nežli v období delším. Tato zásada vychází z předpokladu, že po omezenou dobu je účelné využívat zařízení vyšší měrou, a to i za cenu dílčího zhoršení kvality. (Dimenzování infrastruktury na vyšší počet jízd, který se vyskytuje jen během krátkého období, by nebylo ekonomicky neefektivní.) Špičkové období se může v průběhu dne vyskytovat nejvýše dvakrát, obě špičková období musí být oddělena sedlovým obdobím o délce aspoň 2 hodiny. Jedno špičkové období může trvat nejvýše 6 hodin.

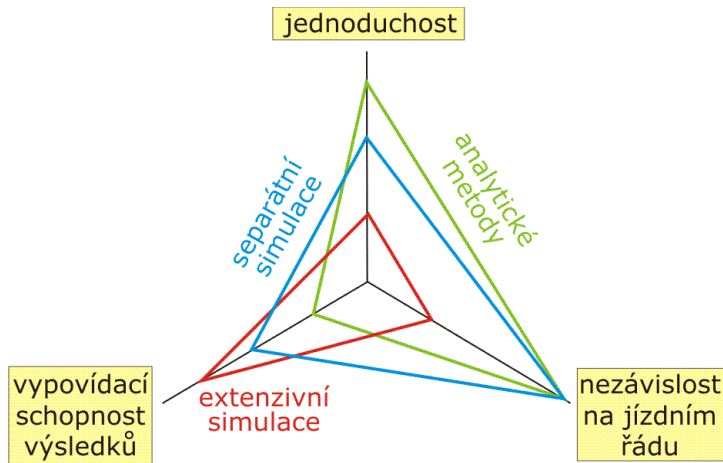
Limitní hodnoty uvedené ve Směrnici jsou určeny pro stav bez výluk. Výlukové stavy upravuje předpis SŽDC D7/2.

Jak už bylo naznačeno, limitní hodnoty jsou stanoveny pouze pro některé ukazatele kapacity, pro ostatní ukazatele kapacity limitní hodnoty tedy stanoveny nejsou, což snižuje jejich vypovídací schopnost, neboť nelze z jejich hodnot činit závěry týkající se kvality provozu. Význam ukazatelů kapacity bez stanovených limitních hodnot proto spočívá jednak v možnosti prvotního posouzení (například pro zhlaví je zjištění ukazatelů se stanovenými limitními hodnotami dosažitelné pouze separátní simulací) anebo pro vzájemné porovnání různých variant (i bez limitních hodnot je možné rozhodnout, u které z variant jsou příznivější hodnoty ukazatelů kapacity).

<sup>35</sup> Jedná se o předpokládaný průměrný vývoj, který lze vyhodnotit buď na základě sledování skutečného provozu po dobu aspoň v řádu desítek dní, anebo na základě vyhodnocení simulace s počtem replikací opět aspoň v řádu desítek.

## 2.2 Základní rozdělení metod pro zjišťování kapacity

Metody se podle Směrnice rozdělují na konstrukční, analytické a simulační. Simulační metody se dále člení na separátní simulaci a extenzivní simulaci. Jednotlivé metody mají výhody i nevýhody, což pro analytické metody, separátní simulaci a extenzivní simulaci ilustruje následující obrázek.



**Obrázek 2 – Ilustrativní porovnání základních vlastností analytických metod, separátní a extenzivní simulace; čím vzdálenější je křivka od středu, tím příznivější je dané hledisko**

Základní shrnutí vybraných metod a hodnotících ukazatelů kapacity shrnuje následující tabulka.

**Tabulka 3 – Základní přehled metod, včetně hodnotících ukazatelů kapacity**

metoda	zařízení	hodnotící ukazatele kapacity se stanovenými limitními hodnotami	ostatní hodnotící ukazatele kapacity (bez stanovených limitních hodnot)
analytická metoda	traťové koleje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– stupeň obsazení (<math>S</math>)</li> <li>– propustnost (<math>n</math>)</li> <li>– využití propustnosti (<math>K</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– průměrná doba obsazení (<math>b</math>)</li> <li>– celková doba obsazení (<math>B</math>)</li> </ul>
	zhlaví		koeficient koliznosti ( $\varphi$ )
	kolejové skupiny	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pravděpodobnost plánovaného čekání (<math>P_V</math>)</li> <li>– koeficient pravděpodobnosti plánovaného čekání (<math>q_{PV}</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– plánované čekání (<math>v</math>)</li> <li>– stupeň obsazení (<math>S</math>)</li> </ul>
separátní simulace	traťové koleje a zhlaví	<ul style="list-style-type: none"> <li>– čekání v provozu (<math>w</math>)</li> <li>– koeficient čekání v provozu (<math>q_w</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pravděpodobnost čekání v provozu (<math>P_w</math>)</li> <li>– další veličiny související s velikostí čekání v provozu</li> </ul>
metoda přepočtu čekání na přírůstek zpoždění	traťové koleje a zhlaví	přírůstek zpoždění ( $\Delta d$ )	
extenzivní simulace	traťové koleje, zhlaví a kolejové skupiny	přírůstek zpoždění ( $\Delta d$ )	v závislosti na možnostech simulačního programu; např.: <ul style="list-style-type: none"> <li>– podíl dodržených přestupních vazeb</li> <li>– podíl odřeknutých vlaků</li> </ul>

### 2.3 Rozsah dopravy

V závislosti na povaze úlohy mohou být pro zjišťování kapacity k dispozici informace o skutečných počtech jízd, o počtech jízd podle jízdního řádu nebo o



výhledových počtech jízd. Vzhledem k tomu, že některé jízdy nejedou denně, je třeba rozlišovat maximální počet jízd, počet jízd odpovídající devátému decilu a průměrný počet jízd.

Podle Směrnice se zjišťování kapacity primárně provádí pro **počet jízd odpovídající devátému decilu**<sup>36</sup>. Alternativou může být počet odpovídající reprezentativnímu dni; tento údaj je vhodné použít tehdy, pokud nejsou k dispozici informace v dostatečné přesnosti, tj. zejména u výhledových stavů.

## 2.4 Analyzované období

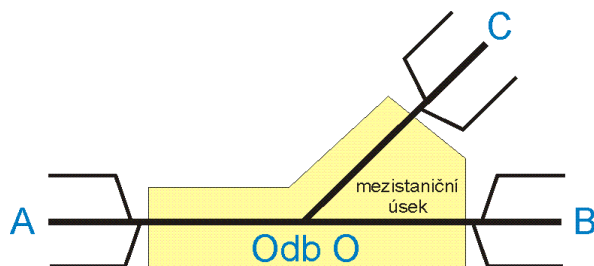
Analyzované období je doba, pro kterou se provádí zjišťování kapacity. Analyzovaná období jsou obvykle:

- přepravní špička (většinou dvou-, čtyř- nebo šestihodinové období),
- období, ve kterém se realizuje většina osobní dopravy (např. mezi 5. až 20. hodinou),
- celý den (mezi 0. až 24. hodinou).

Lze analyzovat i další období, například období, ve kterém se uskutečňuje provoz sledovaného segmentu dopravy.

## 2.5 Rozdělení sítě na mezistaniční a traťové úseky

Pro potřeby zjišťování kapacity zejména traťových kolejí se železniční síť rozděluje na **mezistaniční úseky**. Mezistaniční úsek pro potřeby zjišťování kapacity je v zásadě ohraničen dvojicí stanic. Vyskytuje-li se v mezistaničním úseku odbočka (resp. odbočky), je takový mezistaniční úsek ohraničen více než dvěma stanicemi, viz následující obrázek.



**Obrázek 3 – Schéma mezistaničního úseku s odbočkou**

Stanice, která neumožňuje křižování a předjíždění vlaků neohraničuje mezistaniční úsek. Častým případem takové situace je dopravna D3 (resp. dopravna RB).

Dále se železniční síť pro potřeby zjišťování kapacity rozděluje na **traťové úseky**. Místa oddělující traťové úseky jsou stanice, kde dochází k větší změně rozsahu dopravy, popř. stanice oddělující souvislé jednokolejné, dvoukolejné a

<sup>36</sup> Decil je pojem ze statistiky. Decily rozdělují statistický soubor vzestupně setříděných hodnot na 10 stejně velkých částí, devátý decil rozděluje 9. a 10. část, tj. jsou dvě skupiny s nejvyššími hodnotami.

Místo decilů lze použít též percentily. Percentily rozdělují statistický soubor vzestupně setříděných hodnot na 100 stejně velkých částí. Hodnota odpovídající 90. percentilu je rovna hodnotě odpovídající 9. decilu.

vícekolejné úseky. Pokud dochází ke změně rozsahu dopravy na odbočce, doporučuje se evidovat daný mezistaniční úsek s odbočkou jako samostatný traťový úsek.

### **3 Konstrukční metody**

Konstrukční metody spočívají v sestavě jízdního řádu (nákresného jízdního řádu, popř. plánu obsazení dopravních kolejí). Při použití konstrukční metody se dodržují obvyklé zásady platné pro sestavu jízdního řádu. Tyto zásady se týkají zejména jízdních dob, pobytů, provozních intervalů, následných a elektrických mezidobí, dob potřebných pro jízdy posunových dílů, dob pro obraty souprav a přestupních dob.

Konstrukční metoda prokazuje realizovatelnost předpokládaného rozsahu vlakové dopravy a jízdního řádu, avšak pouze za předpokladu, že nedochází ke zpožděním. Rezervy zapracované do jízdního řádu za účelem snižování zpoždění jsou ovlivněny subjektivním přístupem tvůrce jízdního řádu. Proto pro objektivnější posouzení Směrnice předpokládá, že je třeba použít některou z dalších metod (analytickou nebo simulační).

Ke konstrukčním metodám patří i vkládání tzv. dodatkových jízd, to znamená doplnění jízdního řádu (nákresného jízdního řádu, popř. plánu obsazení dopravních kolejí) o další jízdy. Vkládáním dodatkových jízd se prověřuje, zda kapacitní rezervy, které jsou zřejmé z jiných metod, jsou skutečně využitelné a lze realizovat další jízdy. Vkládání dodatkových jízd je ovšem smysluplné pouze tehdy, pokud jsou informace o parametrech jízd, které by mohly volnou kapacitu využít. Při konstrukci dodatkových jízd je možné předpokládat pouze takové časové polohy dodatkových jízd, které by byly příslušným dopravcem pravděpodobně akceptovány. Proto nelze navrhovat dodatkovou jízdu zatíženou dlouhými pobyty v nácestných stanicích. Při konstrukci dodatkových jízd je možné provádět i změny v časových polohách jízd již dříve zkonstruovaných. To však opět pouze za předpokladu, že tyto změny by byly příslušným dopravcem pravděpodobně akceptovány.

### **4 Traťové koleje**

Pro zjišťování kapacity traťových kolejí Směrnice předpokládá tyto metody:

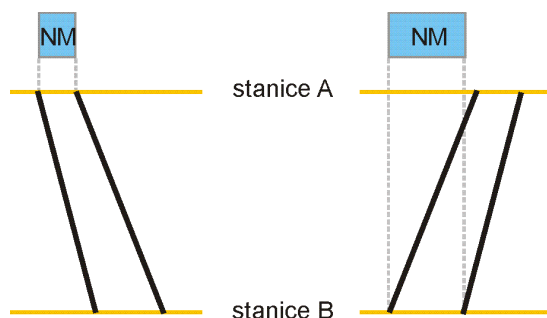
- analytická metoda,
- separátní simulace.

Zjišťování kapacity těmito metodami se zaměřuje na omezující mezistaniční úsek, neboť ukazatele kapacity pro omezující mezistaniční úsek u těchto metod reprezentují kapacitu celého traťového úseku. Omezující mezistaniční úsek je takový mezistaniční úsek, který má ze všech mezistaničních úseků nejméně příznivé ukazatele kapacity. Existují-li další mezistaniční úseky, jejichž ukazatele jsou blízké omezujícímu mezistaničnímu úseku, je žádoucí prověřit i tyto úseky. Na dvoukolejných tratích s jednosměrným provozem se určuje omezující mezistaniční úsek v každém směru samostatně.

#### 4.1 Analytická metoda

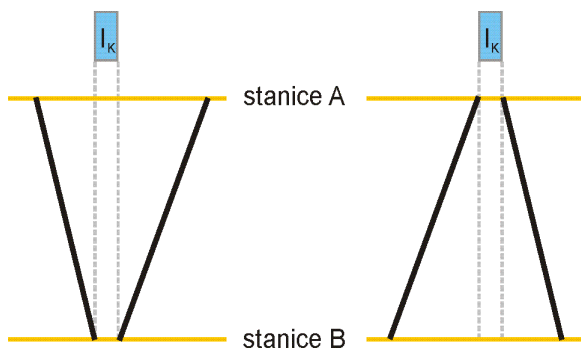
Metoda spočívá ve výpočtu celkové a průměrné doby obsazení, poté se vypočítá stupeň obsazení. Vypočtená hodnota stupně obsazení se porovná s příslušnou limitní hodnotou. Dále lze vypočítat propustnost a využití propustnosti.

Nejprve je třeba určit **doby obsazení**. Doby obsazení se určují vždy pro dvojici vlaků. Mezi vlaky jedoucími stejným směrem je technologickou dobou následné (popř. elektrické) mezidobí, viz následující obrázek.



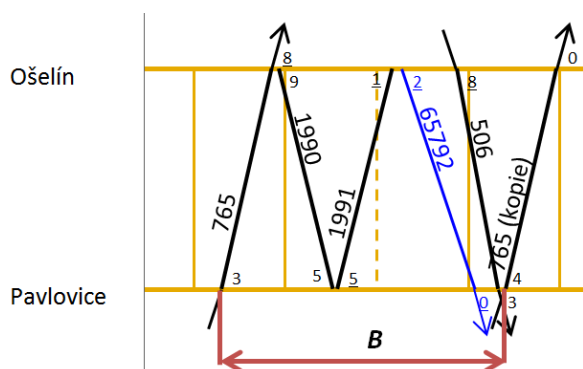
**Obrázek 4 – Příklady určení technologické doby u vlaků stejného směru**

Mezi vlaky jedoucími opačným směrem je technologickou dobou provozní interval křižování, viz následující obrázek.



**Obrázek 5 – Příklady určení technologické doby u vlaků opačného směru**

Pro zjištění dob obsazení v režimu JŘ se použije tzv. **kompresní metoda**: první zakreslený vlak se ponechá ve své původní časové poloze. Další vlaky zakreslené v nákretném jízdním řádu se komprimují (přisunou) za sebe tak, aby mezi nimi zůstala pouze příslušná technologická doba. Přitom se zachovává pořadí vlaků stanovené nákretným jízdním řádem. Za poslední vlak zahrnutý do analyzovaného období se opětovně vloží vlak zakreslený jako první. Poté se určí rozdíl mezi odjezdem prvního a posledního vlaku ze stanice, kde tento vlak vstupuje do vyšetřovaného mezistaničního úseku. Tento rozdíl udává celkovou dobu obsazení  $B$ . Z uvedeného vyplývá, že v režimu JŘ je potřebné znát doby obsazení pouze pro dvojice vlaků po sobě následující.



**Obrázek 6 – výřez z nákrešného jízdního řádu po kompresi vlaků v analyzovaném období s délkou 120 min; z obrázku je zřejmé, že  $B = 31$  min**

V režimu TP je výpočet celkové doby obsazení odlišný (postup vychází z metody „teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky“ obsažené v dřívějším předpisu D24): nejprve se vlaky sloučí do kategorií – jedna kategorie sdružuje vlaky, které jsou z hlediska rozhodných parametrů (zejména jízdní doby a zastavování v přílehlých stanicích) stejné nebo podobné. Technologické doby je třeba určit pro všechny dvojice kategorií vlaků a zaznamenají se do tabulky. Četnost výskytu každé dvojice se určí na základě počtu vlaků příslušné kategorie. Přitom lze (na rozdíl od metody dle předpisu D24) zohlednit i skutečnost, že na obousměrně poježděných traťových kolejkách je četnost dvojic protijedoucích vlaků vyšší nežli četnost dvojic vlaků stejného směru.

Další postup je pro oba režimy shodný. Vypočte se průměrná doba obsazení:

$$b = \frac{B}{N} [min]$$

kde je  $N$  – celkový počet vlaků

Vypočte se stupeň obsazení:

$$S = \frac{b}{T} [-]$$

kde je  $T$  – výpočetní doba

Takto určený stupeň obsazení se porovná s příslušnou limitní hodnotou.

**Limitní hodnoty stupně obsazení** jsou závislé na délce analyzovaného období, na výši průměrné doby obsazení ( $b$ ) a na typu provozu. Například pro období delší než 6 hodin, pro dobu obsazení do 10 min (tuto podmínku splňuje většina tratí) a pro typ provozu A<sup>37</sup> je optimální hodnota stupně obsazení stanovena ve výši 0,4, kritická hodnota stupně obsazení je stanovena ve výši 0,6.

Dále lze vypočítat optimální, popř. kritickou hodnotu propustnosti:

$$n = S_{LIM} \frac{T}{b} [jízdy]$$

kde je  $S_{LIM}$  – limitní stupeň obsazení

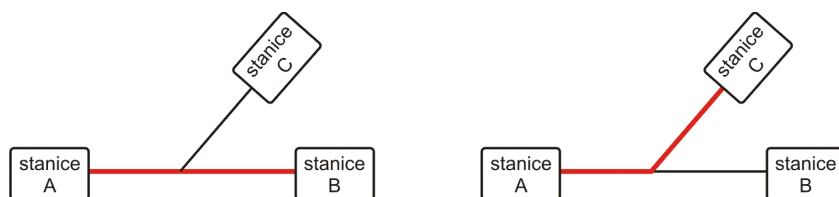
<sup>37</sup> Typ provozu A znamená nejčastější situaci, tj. podíl vlaků regionální osobní dopravy na celkovém počtu vlaků je nižší než 80 %. Pokud je podíl vlaků regionální osobní dopravy vyšší než 80 %, uplatní se typ provozu B nebo C a lze pak předpokládat vyšší limitní hodnoty stupně obsazení.

A jako poslední výpočet využití optimální, popř. kritické propustnosti:

$$K = \frac{N}{n} [-]$$

kde je  $N$  – počet jízd

Pokud je v mezistaničním úseku **odbočka**, je zjišťování kapacity komplikovanější. Protože zjišťování kapacity analytickou metodou lze uplatnit vždy pouze na úsek ohraničený dvěma stanicemi, zjišťuje se kapacita po částech. Počet těchto částí odpovídá počtu relací, které se v mezistaničním úseku předpokládají. Příklad je na následujícím obrázku.



**Obrázek 7 – Příklad určení částí mezistaničního úseku s odbočkou (zvýrazněny červeně): první část tvoří úsek mezi stanicemi A a B, druhou část tvoří úsek mezi stanicemi A a C**

Při aplikaci kompresní metody v mezistaničním úseku s odbočkou je nutné respektovat i technologické doby (provozní intervaly a následná mezidobí) na odbočce. Možnosti zjišťování kapacity v režimu TP jsou v mezistaničním úseku s odbočkou omezené (důvodem je skutečnost, že pro stanovení dob obsazení je v některých případech nutné znát pořadí více než dvou vlaků za sebou, toto však analytická metoda neumožňuje), proto je v takovém případě potřebné použít separátní simulaci.

## 4.2 Separátní simulace

Základem této metody je simulační model s mezoskopickou úrovní podrobnosti. Separátní simulace se uskutečňuje ve většině případů odděleně pro jednotlivé traťové koleje (anebo – jak bude zmíněno v další kapitole – pro jednotlivá zhlaví), proto označení „separátní“.

Ke vstupům této metody patří informace o vlacích – časová poloha, popis pravděpodobnosti vstupního zpoždění a priority vlaků. Dále je potřebná informace o příslušných technologických dobách (provozních intervalech nebo následných mezidobích), a to pro všechny dvojice vlaků (tj. bez ohledu na to, zda dané vlaky po sobě bezprostředně následují nebo nikoliv).

Během samotné simulace se vlakům automaticky přiřazují vstupní zpoždění. Působením těchto zpoždění vznikají mezi vlaky konflikty, které jsou následně – při respektování priorit – řešeny časovými posuny vlaků (tj. dalšími zpožděními). Tato další zpoždění, vzniklá jako důsledek řešení konfliktů, se označují jako **čekání v provozu**. Čekání v provozu (déle jen čekání) představuje hlavní hodnotící kritérium separátní simulace.

Pro zajištění reprezentativnosti se simulace realizuje opakovaně – provádějí se tzv. **replikace**. Jednotlivé replikace se odlišují hodnotami vstupních zpoždění a v reakci na to jsou v jednotlivých replikacích odlišné hodnoty čekání.



Separátní simulace lze realizovat jak v režimu JŘ (pak se v simulaci uplatní zadané časové polohy), tak v režimu TP (pro tento případ program disponuje generátorem náhodných jízdních řádů, který stanoví jednotlivým vlakům náhodné časové polohy, jež jsou vzájemně bezkonfliktní; teprve po vytvoření náhodného jízdního řádu následuje simulace počínajíc přiřazením vstupních zpoždění).

Pro realizaci separátní simulace se používá program **SepSim** vytvořený u Správy železnic. Výhradním používáním tohoto programu je zajištěna jednotnost a porovnatelnost výsledků.

Hodnota čekání zjištěná simulací se porovná s příslušnou limitní hodnotou. Pro hodnocení daného zařízení infrastruktury je prvořadé průměrné čekání za všechny vlaky. Limitní hodnoty čekání jsou určeny podle druhu vlaku, přičemž vlaky s vyšší prioritou mají nižší (tj. přísnější) limitní hodnotu čekání. Optimální hodnoty čekání pro vybrané druhy vlaků jsou v následující tabulce.

**Tabulka 4 – Příklady optimálních hodnot čekání pro vybrané druhy vlaků**

druh vlaku	optimální hodnota čekání [min]
expresní (Ex)	0,25
rychlík (R)	0,30
osobní (Os)	0,60
expresní nákladní (Nex)	1,40
průběžný nákladní (Pn)	1,80

Limitní hodnota za všechny vlaky se určí jako vážený průměr za tyto vlaky, proto například pro 10 vlaků R a 20 Os činí optimální hodnota čekání 0,5 min. Kritická hodnota čekání se vypočte jako 1,7 násobek optimální hodnoty. Při vyšetřování špičkových období se limitní hodnoty čekání navyšují o 30 až 40 %.

Separátní simulace explicitně neposkytuje údaje o propustnosti. Proto má-li být zjištěna propustnost, je třeba postupovat iteračně: je nutné určit takový rozsah dopravy, při kterém je dosaženo optimálních (pro zjištění optimální propustnosti), resp. kritických (pro zjištění kritické propustnosti) hodnot čekání.

## 5 Zhlaví

Zhlaví je dalším zařízením, jehož kapacitu lze zjišťovat podle Směrnice. Předpokládají se tyto metody:

- analytický výpočet koeficientu koliznosti,
- separátní simulace.

Vzhledem k tomu, že pro koeficient koliznosti nelze stanovit limitní hodnoty, je pro posouzení kapacity zhlaví rozhodující metoda separátní simulace.

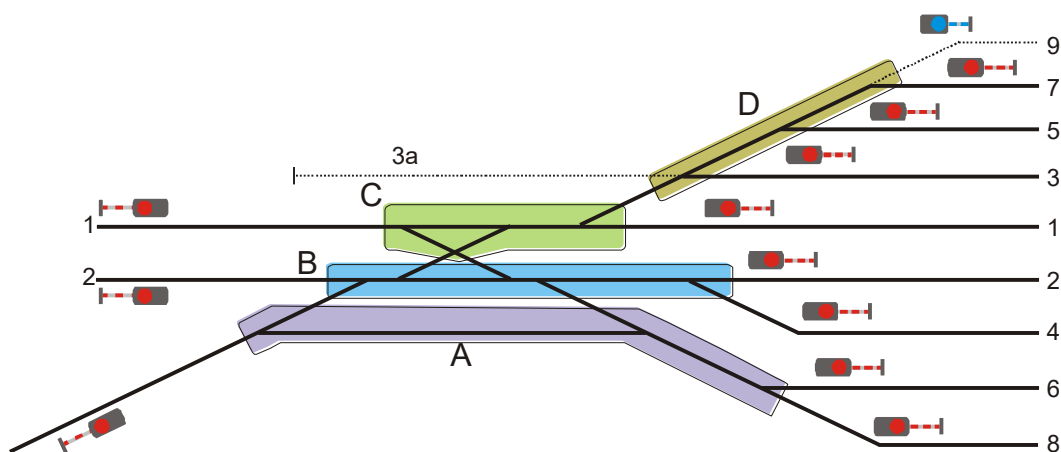
U obou metod je nejprve potřebné stanovit hranice zhlaví, prvky a sousedící skupiny kolejí, jak je popsáno v následující části.

### 5.1 Hranice zhlaví, prvky a sousedící skupiny kolejí

Pro potřeby zjišťování kapacity je třeba vymežit obvod příslušného zhlaví: zhlaví je ohraničeno hlavními návěstidly, navazuje-li na zhlaví manipulační kolej, je ohraničení zhlaví určeno seřadovacím návěstidlem, popř. krajní výhybkou.

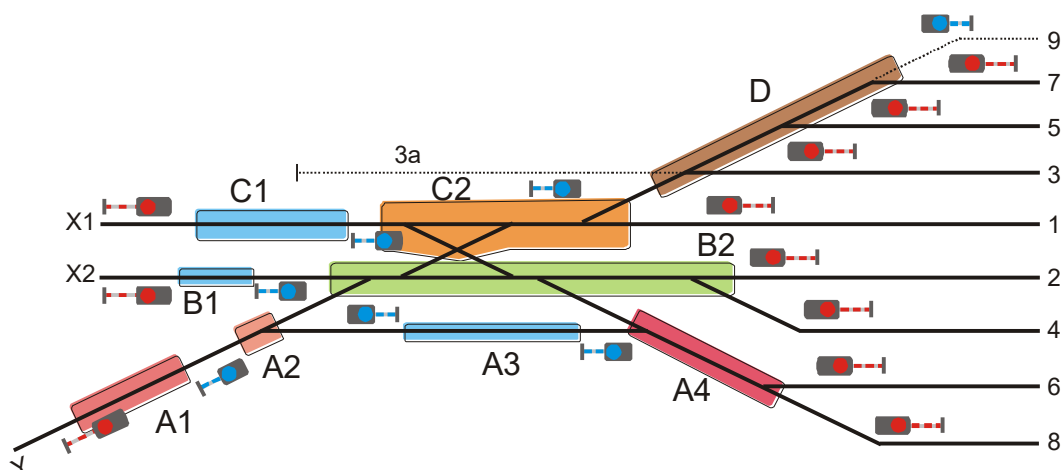
Dále je žádoucí sloučit výhybky do prvků. Toto sice není nezbytný krok, jeho uskutečněním se ale zjednoduší další operace. **Prvek** je část zhlaví, přes kterou může být vedena v jednom okamžiku pouze jedna jízdní cesta. Jinak řečeno: všechny jízdní cesty (tj. vlakové a posunové) vedoucí přes stejný prvek se vzájemně vylučují.

Detailní pravidla slučování výhybek do prvků jsou ve Směrnici. Příklad sloučení výhybek do prvků je na následujícím obrázku. Zjištěné prvky mají označení A, B, C, D.



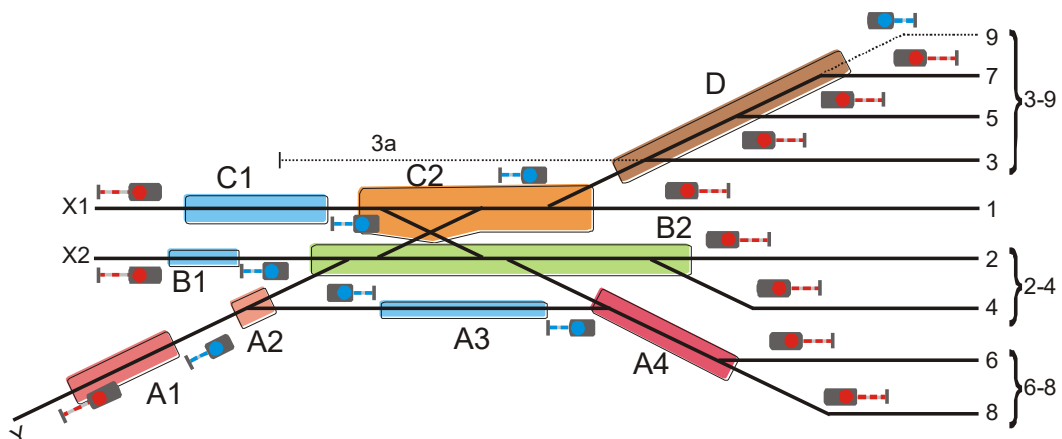
**Obrázek 8 – Příklad sloučení výhybek do zhlaví**

Pokud jsou ve zhlaví předpokládány jízdy posunových dílů a tyto posunové díly zastavují v oblasti zhlaví, postup pro určení prvků se modifikuje – do schématu zhlaví se navíc vyznačí úseky, kde je možný pobyt posunových dílů, tj. úseky ohraničené seřadovacími návěstidly. Příklad je na následujícím obrázku, jak z něho vyplývá, bylo v tomto případě stanoveno 9 prvků.



**Obrázek 9 – Příklad sloučení výhybek do zhlaví při uvažování pobytů v oblasti zhlaví**

Dále se určí jednotlivé **skupiny kolejí**, které sousedí s vyšetřovaným zhlavím. Do jedné skupiny kolejí se zařadí ty koleje, které navazují na stejný prvek. Příklad viz následující obrázek.



**Obrázek 10 – Příklad vyznačení skupin kolejí (obrázek navazuje na předchozí příklad)**

## 5.2 Koeficient koliznosti

**Koeficient koliznosti ( $\varphi$ )** představuje ukazatel kapacity, který nemá stanovené limitní hodnoty. Je to podíl počtu dvojic jízd, které jsou vzájemně kolizní. Vypočítá se podle vztahu:

$$\varphi = \frac{k}{N^2} [-]$$

kde je

$k$  – počet kolizních dvojic jízd  
 $N$  – celkový počet jízd

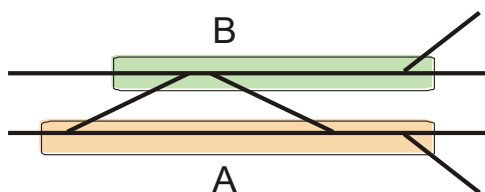
Koeficient koliznosti se obvykle udává v procentech. S koeficientem koliznosti úzce souvisí veličina **průměrný počet současně možných jízd ( $s$ )**. Je to počet

jízd, které jsou v průměru možné ve stejný okamžik, protože tyto jízdy nejsou vzájemně vyloučené. Tato veličina je převrácenou hodnotou koeficientu koliznosti, tedy vypočítá se podle vztahu:

$$s = \frac{1}{\varphi} [\text{jízdy}]$$

Pro názornost uveďme příklady, které mohou tyto ukazatele objasnit:

- 1) Pro zhlaví, které je tvořené jedním prvkem (to znamená, že všechny jízdy jsou vzájemně kolizní) je koeficient koliznosti  $\varphi = 100\%$ . Počet současně možných jízd  $s = 1$ .
- 2) Pro zhlaví tvořené dvěma prvky s důsledně odděleným provozem (viz následující obrázek; předpokládejme, že kolejové spojky propojující oba prvky jsou kupříkladu využívány pouze při výlukových stavech) je koeficient koliznosti  $\varphi = 50\%$ . Počet současně možných jízd  $s = 2$ . Pokud by se vyskytly jízdy používající oba prvky, zvýší se koeficient koliznosti, a tedy poklesne průměrný počet současně možných jízd.



**Obrázek 11 – Příklad zhlaví se dvěma prvky**

Jak již bylo uvedeno, koeficient koliznosti (a stejně tak průměrný počet současně možných jízd) nemá definovány limitní hodnoty.

### 5.3 Separátní simulace

Pro realizaci separátní simulace u zhlaví se používají stejné zásady jako u traťových kolejí. Technologickou dobou obsazení mezi dvojicí jízd obsazujících aspoň jeden společný prvek je vždy staniční provozní interval.

## 6 Kolejové skupiny

Kolejové skupiny jsou posledním typem zařízení, jehož kapacitu lze podle Směrnice zjišťovat.

**Kolejová skupina** je tvořena staničními kolejemi jednoho obvodu stanice. Kapacita kolejových skupin se zjišťuje zejména v odbočných a uzlových stanicích s velkým rozsahem dopravy. V mezilehlých stanicích se kapacita kolejových skupin obvykle nezjišťuje.

Základním podkladem pro zjišťování kapacity kolejových skupin je **plán obsazení kolejí**. Ten je relevantní nejen proto, že určuje časové polohy jednotlivých jízd, ale i s ohledem na skutečnost, že v plánu obsazení kolejí jsou zapracována prodloužení pobytů, která vyplývají například z přestupních vazeb, dob potřebných na obrát souprav a z provozních intervalů a následných mezidobí na přilehlých zařízeních infrastruktury (zhlaví, mezistaniční úseky).

Protože koleje v rámci určité kolejové skupiny mají obvykle různé parametry, provádí se samotné zjišťování kapacity primárně pro dílčí kolejové skupiny. **Dílčí kolejové skupiny** jsou tvořeny takovými staničními kolejemi, které mají stejné nebo podobné vlastnosti z hlediska těchto kritérií:

- Všechny koleje téže dílčí kolejové skupiny by měly být buď průběžné, anebo kusé.
- Podle možností jízdy do sousedících traťových nebo staničních kolejí. Staniční koleje s odlišnými možnostmi jízdy do sousedících traťových a staničních kolejí se zařadí do samostatných dílčích skupin.
- Podle délky koleje.
- Podle vybavení nástupištěm, popř. podle délky nástupiště.
- Podle trakčního napájení: v zásadě je třeba rozdělit koleje bez trakčního vedení a koleje s trakčním vedením (ve stanicích s více trakčními proudovými soustavami je třeba vzít v potaz i typ soustavy).

V některých případech nelze striktně dodržet rozdělení podle všech kritérií obsažených v předchozím bodu, protože důsledné dodržení by mělo za následek, že některé dílčí kolejové skupiny by byly tvořeny jedinou kolejí – přitom ukazatele kapacity pro menší počet kolejí než 3 je třeba pokládat za méně vypovídající. Pak se výpočty pro dílčí kolejové skupiny uskuteční ve variantách, vždy pouze podle některých kritérií. Například se v první variantě určí dílčí kolejové skupiny podle napojení na přilehlé traťové koleje a ve druhé variantě podle délek kolejí a vybavení nástupišti.

## 6.1 Analytická metoda

Stejně jako analytická metoda, která byla uvedena v předpisu D24 (jednalo se o metodu používající součinitel alfa), je i metoda obsažená ve Směrnici založena na teorii hromadné obsluhy.

Při výpočtu se nepracuje s provozními intervaly (jako je tomu například u zhlaví), ale s dobami obsazení jednotlivými jízdami. Doba obsazení u konkrétní jízdy začíná přípravou vjezdové jízdní cesty a končí uvolněním staniční koleje resp. uvolněním rozhodné výhybky na odjezdovém zhlaví a zrušením odjezdové jízdní cesty.

**Výchozí veličiny** pro zjištění kapacity jsou tyto:

- průměrná doba obsazení jednou jízdou  $b$
- průměrná doba mezi vstupy jízd  $a$ , která se vypočte podle vztahu

$$a = \frac{T_Z}{N} \text{ [min]}$$

kde je

- $T_Z$  – výpočetní doba
- $N$  – celkový počet jízd v dílčí kolejové skupině
- variační koeficient průměrné doby obsazení  $vb$
- variační koeficient průměrné doby mezi vstupy jízd  $va$
- počet kolejí  $k$ .



Poté s pomocí dalších devíti výpočetních vztahů (blíže viz Směrnice) lze vypočítat tyto ukazatele kapacity:

- stupeň obsazení  $S$ ,
- pravděpodobnost plánovaného čekání  $P_v$ ,
- průměrné plánované čekání  $v$ .

Hlavní hodnotící veličinou je **pravděpodobnost plánovaného čekání**, protože má jako jediná stanoveny limitní hodnoty – viz následující tabulka. Z tabulky je zřejmé, že kritické hodnoty obnášejí dvojnásobek příslušné optimální hodnoty.

**Tabulka 5 – Limitní hodnoty pravděpodobnosti plánovaného čekání pro kolejové skupiny**

druh dopravy	optimální hodnota čekání	kritická hodnota čekání
osobní doprava	2,5 %	5 %
nákladní doprava	5 %	10 %

Je-li analyzovaným obdobím špička, lze limitní hodnoty navýšit o 30 až 40 %. Při smíšeném provozu vlaků osobní a nákladní dopravy se limitní hodnoty určí lineární interpolací.

Má-li být prověřován **jiný rozsah dopravy**, lze buď vytvořit nový plán obsazení dopravních kolejí anebo je možno vyjít z plánu původního a do výpočtů dosadit modifikovanou hodnotu průměrné doby mezi vstupy jízd ( $a$ ).

Propustnost kolejových skupin lze zjistit pouze iteračně – je nutno určit takový počet jízd, při kterém pravděpodobnost čekání dosahuje optimální, resp. kritické hodnoty (tj. propustnost se určuje podobně, jako bylo již zmíněno v části týkající se separátní simulace).

## 7 Metoda přepočtu čekání na přírůstek zpoždění

Metoda přepočtu čekání na přírůstek zpoždění analyzuje více zařízení současně, proto umožňuje činit komplexnější závěry o větším celku infrastruktury. Metoda současně překonává zjednodušení předchozích metod hodnotících kapacitu traťového úseku pouze podle ukazatelů omezujícího mezistaničního úseku.

Metodu lze aplikovat na traťový úsek, popř. jiný vhodný celek. Využívají se přitom hodnoty čekání v provozu, které byly zjištěny s pomocí separátní simulace, to znamená, že lze vyhodnocovat traťové koleje a zhlaví (tedy nikoliv kolejové skupiny).

Metoda spočívá v následujících krocích:

- Metodou separátní simulace se zjistí čekání v provozu za všechna zařízení pojatá do analýzy.
- Určí se časové rezervy obsažené v trasách podle jízdního řádu v příslušném úseku. Rezervy jsou v zásadě tvořeny přírážkami obsaženými v jízdních dobách a pobytech.
- Ze zjištěných rezerv se stanoví část, kterou lze použít pro krácení zpoždění. Doporučuje se předpokládat, že pro odbourání zpoždění se

využijí tři čtvrtiny rezerv, dále se zohledňuje skutečnost, že u jízd, které jedou bez zpoždění, se rezervy nevyužijí vůbec.

- Odečtením stanovených rezerv od dob čekání v provozu se vypočítá předpokládaný **přírůstek zpoždění**. Zjištěný přírůstek zpoždění se porovná s příslušnou limitní hodnotou. Limitní hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tabulka 6 – Limitní hodnoty přírůstku zpoždění [min] a odvození úrovně kvality**

úroveň provozu	kvalita	dálková doprava	osobní	regionální osobní doprava	nákladní doprava
optimální		≤ 0		≤ 0	≤ 1
riziková		0 – 1		0 – 2	1 – 5
nevyhovující		> 1		> 2	> 5

Uvedený postup se aplikuje samostatně pro dálkovou osobní, regionální osobní a nákladní dopravu. Podle potřeby lze volit i podrobnější členění, např. vlaky rozdělit podle relací, linek nebo času jízdy).

## 8 Extenzivní simulace

Pojem *extenzivní simulace* byl ve Směrnici zaveden jako protějšek k *separátní simulaci*. Extenzivní simulace prověřuje – oproti separátní simulaci – větší rozsah infrastruktury – například celou stanici, uzel nebo trať. Extenzivní simulací je možné prověřovat kterýkoliv typ zařízení – traťovou kolej, zhlaví nebo kolejovou skupinu. Oproti metodám popsaným u jednotlivých typů zařízení jsou extenzivní simulace vhodné pro analýzu vzájemného působení mezi různými zařízeními (např. mezi kolejovou skupinou a přiléhajícími zhlavími). Jejich nevýhodou je velká časová náročnost.

Extenzivní simulace se vykonává s pomocí speciálního programu: mezi nejznámější patří komerční produkty RailSys a Opentrack, u Správy železnic je pro vybrané úlohy využíván program SimuT.

Směrnice stanovuje **požadavky** na simulační programy: východiskem musí být v zásadě bezkonfliktní jízdní řád sestavený podle obvyklých zásad (týkajících se jízdních dob, pobytů, provozních intervalů, následných mezidobí apod.). Důležité je také řešení konfliktů vznikajících mezi vlaky, které je blízké realitě (např. když rychlejší vlak s vyšší prioritou dostihne zpožděný pomalejší vlak stejného směru, musí dojít k náležitému předjetí).

Princip vlastní extenzivní simulace je podobný již výše popsanému principu separátní simulace: během simulace se jízdám automaticky přiřazují vstupní zpoždění. Současně jsou řešeny konflikty, které díky vstupním zpožděním vznikají. I extenzivní simulace se pro zajištění reprezentativnosti realizují opakovaně – tj. provádějí se replikace.

Ve výsledku je u každé jízdy zjišťován **přírůstek zpoždění**. Přírůstek zpoždění představuje hlavní hodnotící kritérium extenzivní simulace – limitní hodnoty přírůstku zpoždění jsou uvedeny v tabulce 5.

## Závěr

Příspěvek shrnul nejdůležitější informace potřebné pro porozumění zásadám zjišťování kapacity, které zavedla Směrnice SM124. Autor příspěvku se domnívá, že pro detailnější pochopení této problematiky odbornou veřejností by bylo žádoucí pokračovat s publikací dalších příspěvků zaměřených postupně na konkrétní typy zařízení, resp. metody.

## Literatura

- [1] Směrnice SŽDC SM124, Zjišťování kapacity dráhy. Dostupné z: [www.spravazeleznic.cz](http://www.spravazeleznic.cz).
- [2] Předpis SŽDC (ČSD) D24, Předpisy pro zjišťování propustnosti železničních tratí. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1966.

Lektorovali: prof. Ing. Vlastislav Mojžíš, CSc.

doc. Ing. Josef Bulíček, Ph.D., Univerzita Pardubice

## **Příspěvek č. 8**

**Jiří Zmatlík<sup>38</sup>, Otto Pastor<sup>39</sup>**

### **Analýza měřicích systémů dopravních procesů**

**Klíčová slova:** měřicí systém, metodika měření a operátoři, analýza rozptylu a jejich využití,

#### **Anotace**

Měřicí systém je v praxi realizován opakovaným měřením stejné části několikrát dle stejné metodiky měření pro specifikaci chyb měření. Složitější měřicí systém realizuje více operátorů, měřená část je měřena několikrát, přičemž všichni operátoři používají shodné metodiky měření. Podstatou je charakterizovat chybu měření danou operátory, metodikou a opakovaným měřením stejné části. Pro praktické účely lze k separaci variability použít metodiky Analýzy rozptylu s interakcí či bez interakce a dospět k závěrům, zda zlepšovat vlastní měřicí proces, či hledat chyby v metodice vlastního měření či se případně soustředit na trénink operátoru vedoucí ke snížení jejich zdrojů variability měřicího systému, a tak zlepšovat měřicí procesy.

#### **Annotation**

In practice, the measuring system is realized by repeated measurement of the same part several times according to the same measurement methodology for specification of measurement errors. The more complex measuring system is implemented by multiple operators, the measured part is measured several times, with all operators using the same measurement methodologies. The

---

<sup>38</sup> Ing. Jiří Zmatlík, Ph.D. (\*1969) působí v oblasti aplikované matematiky a statistiky v rámci řízení podniku. Obhájil disertační práci v oblasti statistického řízení jakosti. Působí na České zemědělské univerzitě v Praze na Provozně ekonomické fakultě na katedře statistiky. Přednáší a cvičí předměty aplikované statistiky. Zabývá se zejména statistickými modely v zemědělství a metodami aplikovatelnými pro zlepšování jakosti.

<sup>39</sup> prof. Dr. Ing. Otto Pastor, CSc. (\*1948) je předním odborníkem v oblasti teorie dopravy a dopravních systémů jako součást logistických procesů. Působí jako profesor v oboru Management a technologie dopravy na ČVUT v Praze na Fakultě dopravní v Ústavu logistiky a managementu dopravy. Zabývá se zejména rozhodovacími procesy, aplikovanými matematickými modely v dopravě a logistice se zaměřením na ekonomicko-technologickou podstatu problematiky.

essence is to characterize the measurement error given by operators, methodology and repeated measurement of the same part. For practical purposes, variability separation methodologies can be used to analyze dispersion with or without interaction and to conclude whether to look more appropriate to change the measurement methodology or improve processes by training operators to improve measuring processes.

## Úvod

Článek se zabývá statistickou analýzou složitějšího měřicího systému, ve kterém více operátorů měří více součástí a více krát dle stejné metodiky měření. Matematicky je proveden rozbor modelu a řešeny charakteristiky opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Model složitějšího měřicího systému je dále řešen využitím analýzy rozptylu s interakcí a bez interakce. Je testována nulová hypotéza, zda je vliv operátora a měřené části, tj. zda je či není vliv příslušné interakce. Na základě hodnocení reprodukovatelnosti a opakovatelnosti se u složitějšího měřicího systému rozhoduje o způsobech a možnostech dalšího zlepšování, tj. trénink operátorů, volba jiné metody měření.

### 1. Hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti pro složitější měřicí systémy

Složitější měřicí systém je takový systém, pomocí kterého je realizováno více opakovaných měření, která zajišťuje více operátorů, dále je měřeno více součástí. Tento systém je komplexnější a flexibilnější. Předpokládáme, že  $n$ -počet měřených částí,  $J$ -počet operátorů a  $K$ -počet opakovaných měření, která jsou realizována na každé části každým operátorem. Měřená hodnoty  $y_{ijk}$  vyjadřuje, že jde o  $k$ -měření  $i$ -té části realizované  $j$ -tým operátorem a lze ji

vyjádřit vztahem:

$$y_{ijk} = a_i + \varepsilon_{ijk}$$

$$j = 1, 2, \dots, J \quad k = 1, 2, \dots, K \quad i = 1, 2, \dots, n$$



$$\xi_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

U měřených částí je proveden náhodný výběr ze stabilního výrobního procesu. Předpokládáme, že  $a_i$  je hodnota náhodné veličiny se střední hodnotou  $E(a_i) = \xi_p$  a s rozptylem částí  $D(a_i) = \sigma_p^2$ . Transformovaná proměnná do průměru  $\alpha_i$  představuje vliv měřené části, má nulovou střední hodnotu  $E(\alpha_i) = 0$  a její rozptyl je  $D(\alpha_i) = \sigma_p^2$ . Model lze vyjádřit následující rovnicí:

$$y_{ijk} = \xi_p + \alpha_i + \varepsilon_{ijk}$$

$$\alpha_i = a_i - \xi_p \quad i = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, K \quad j = 1, 2, \dots, J$$

Náhodná složka  $\varepsilon_{ijk}$  může být modelována následující rovnicí

$$y_{ijk} = \xi_0 + \beta_j + e_{ijk}$$

$$k = 1, 2, \dots, K \quad j = 1, 2, \dots, J \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Hodnota  $\xi_0$  vyjadřuje posunutí měřicího systému,  $\beta_j$  charakterizuje vliv operátora. U náhodné složky  $e_{ijk}$  předpokládáme, že má normální rozdělení se střední hodnotou  $E(e_{ijk}) = 0$  a s rozptylem  $D(e_{ijk}) = \sigma^2$ . Také náhodná proměnná definující vliv operátora má normální rozdělení se střední hodnotou  $E(\beta_j) = 0$  a s rozptylem  $D(\beta_j) = \sigma_0^2$ . Rozptyl  $\sigma^2$  vyjadřuje opakovatelnost měřicího systému a rozptyl  $\sigma_0^2$  charakterizuje reprodukovatelnost měřicího systému. Postupně uvažovaný model lze vystihnout rovnicí:

$$k = 1, 2, \dots, K \quad j = 1, 2, \dots, J \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$y_{ijk} = \xi_0 + \xi_p + \alpha_i + \beta_j + e_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ijk}$$

Tato rovnice charakterizuje skutečnost, že hodnota měření  $y_{ijk}$  je dána celkovým průměrem a vlivem měřené části a vlivem operátora a náhodnou chybou. Rozptyl veličiny  $y_{ijk}$  je dán vztahem  $D(y_{ijk}) = \sigma_p^2 + \sigma_0^2 + \sigma^2$ . Tedy rozptyl měření je dán rozptylem částí a reprodukovatelností (reproducibility) a opakovatelností (repeatability) měřicího systému.

Zmíněný model můžeme rozšířit o interakční člen  $(\alpha\beta)_{ij}$ , který vyjadřuje závislost, že  $i$ -tá část je měřena  $j$ -tým operátorem, což je dvoufaktorový součtový model s interakcí, který je dán níže uvedenou rovnicí.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

$$D(y_{ijk}) = \sigma_p^2 + (\sigma_0^2 + \sigma_{px0}^2) + \sigma^2 = \sigma_m^2$$

$$Rp \wedge Op = \sigma^2 + (\sigma_0^2 + \sigma_{px0}^2)$$

$$Rp = \sigma_0^2 + \sigma_{px0}^2$$

$$j = 1, 2, \dots, J \quad k = 1, 2, \dots, K \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Platí, že rozptyl měření je dán rozptylem měřených částí a rozptylem měřicího systému charakterizovaného reprodukovatelností a opakovatelností. V technické praxi je nutné v některých případech respektovat člen  $(\alpha\beta)_{ij}$ , tj. existenci závislosti mezi měřením  $i$ -té části  $j$ -tým operátorem.

## 2. Hodnocení složitějších měřicích systémů pomocí analýzy rozptylu

Jedná se o složitější měřicí systém, ve které je  $n$ -počet měřených částí,  $J$ -počet operátorů a  $K$  – počet opakovaných měření realizovaných na každé části daným operátorem. Hodnota  $y_{ijk}$  představuje hodnotu  $k$ -tého měření realizovaného na  $i$ -té části  $j$ -tým operátorem. Analýza rozptylu vychází z rozkladu součtu čtverců na jednotlivé dílčí složky dané níže uvedenými vztahy

$$SS_T = SS_p + SS_0 + SS_{px0} + SS_E$$

$$SS_0 = SS_{operátoř} = nK \sum_{j=1}^J (\bar{y}_j - \bar{y})^2 = nK \sum_{j=1}^J \bar{y}_j^2 - nJK\bar{y}^2$$

$$SS_p = SS_{části} = JK \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2 = JK \sum_{i=1}^n \bar{y}_i^2 - nJK\bar{y}^2$$

$$SS_{rezidui} = SS_E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{ijk}^2 - K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \bar{y}_{ij}^2$$

$$SS_T = SS_{celkovy} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (y_{ijk} - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{ijk}^2 - nJK\bar{y}^2$$

$$SS_{px0} = SS_{částxoperátor} = K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y})^2 = K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \bar{y}_{ij}^2 - JK \sum_{i=1}^n \bar{y}_i^2 - nK \sum_{j=1}^J \bar{y}_j^2 + nKJ\bar{y}^2$$

Je třeba definovat jednotlivé dílčí průměry:

$\bar{y}$  Celkový průměr

$\bar{y}_{ij}$  Průměr opakovaných měření  $i$ -té části  $j$  tým operátorem

$\bar{y}_i$  Průměrná hodnota měření  $i$ -té části

$\bar{y}_j$  Průměrná hodnota měření  $j$ -tého operátora resp. realiz.  $j$ -tým

operátorem

$$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K y_{ijk}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{nJK} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{ijk}$$

$$\bar{y}_j = \frac{1}{nK} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K y_{ijk}$$

$$\bar{y}_i = \frac{1}{JK} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{ijk}$$

Uvedené vztahy pro analýzu rozptylu specifikují tzv. Dvoufaktorovou analýzu rozptylu s interakcí, která vychází z již zmíněného modelu měřícího systému ve tvaru

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

Odhad rozptylu jednotlivých složek je v Tab. č.1. Vztahy pro hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřícího systému udává Tab. č. 2. Vliv interakce „měření části a operátora“ je možné testovat pomocí Fisher – Snedecorova rozdělení. Příslušný vliv interakce přijmeme, jestliže platí vztah:

$$F = \frac{MS_{p \times 0}}{MS_E} \geq F_{[\alpha, (n-1)(J-1); nJ(k-1)]}$$

Statistickou významnost jednotlivých složek rozptylu je též možné na  $\alpha$  % hladině významnosti posoudit pomocí F-testu.

Zdroj variability	Součet čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	Očekávaný průměr čtverců
<b>Části</b>	$SS_p$	$n - 1$	$MS_p = \frac{SS_p}{n - 1}$	$\sigma^2 + K\sigma_{p \times 0}^2 + JK\sigma_p^2$
<b>Operátoři</b>	$SS_0$	$J - 1$	$MS_0 = \frac{SS_0}{J - 1}$	$\sigma^2 + K\sigma_{p \times 0}^2 + nK\sigma_0^2$
<b>Části</b> × <b>Operátoři</b>	$SS_{p \times 0}$	$(n - 1) \times (K - 1)$	$MS_{p \times 0} = \frac{SS_{p \times 0}}{(n - 1) \times (K - 1)}$	$\sigma^2 + K\sigma_{p \times 0}^2$
<b>Rezidua</b>	$SS_E$	$nJ \times (K - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{nJ \times (K - 1)}$	$\sigma^2$
<b>Celkový</b>	$SS_T$	$nJK - 1$		

Tab. č. 1 – Odhad rozptylu jednotlivých složek pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu s interakcí

Rozptyl	Odhad
$\sigma^2$ (opakovatelnost)	$MS_E$
$\sigma_{p \times 0}^2$	$\frac{MS_{p \times 0} - MS_E}{K}$
$\sigma_p^2$	$\frac{MS_p - MS_{p \times 0}}{JK}$
$\sigma_0^2$	$\frac{MS_0 - MS_{p \times 0}}{nK}$
$\sigma_0^2 + \sigma_{p \times 0}^2$ (reprodukovatelnost)	$\frac{MS_0 + (n-1) \times MS_{p \times 0} - nMS_E}{nK}$
$\sigma^2 + \sigma_0^2 + \sigma_{p \times 0}^2$ (opakovatelnost a reprodukovatelnost)	$\frac{MS_0 + (n-1) \times MS_{p \times 0} + n(K-1) \times MS_E}{nK}$

Tab. č. 2 – Hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu s interakcí

Neuvažujeme-li korelaci mezi jednotlivými faktory, vycházíme z dvoufaktorové analýzy rozptylu bez interakcí, která odpovídá modelu měřicího systému daného tvarem:  $y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ijk}$

Následující vztahy charakterizují rozklad součtu čtverců na jednotlivé dílčí složky.

$$SS_E = SS_{reziduí} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (y_{ijk} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y})^2$$

$$SS_p = SS_{části} = JK \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2 = JK \sum_{i=1}^n \bar{y}_i^2 - nJK \bar{y}^2$$

$$SS_T = SS_{celkový} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (y_{ijk} - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{ijk}^2 - nJK \bar{y}^2$$

$$SS_T = SS_p + SS_0 + SS_E$$



$$SS_0 = SS_{\text{operátoři}} = nK \sum_{j=1}^J (\bar{y}_j - \bar{y})^2 = nK \sum_{i=1}^n \bar{y}_j^2 - nJK \bar{y}^2$$

Vztahy pro hodnocení měřicího systému při použití dvoufaktorové analýzy rozptylu bez interakcí udává Tab. č. 3.

Rozptyl	Odhad	Očekávaný průměr čtverců
$\sigma^2$ ( <b>opakovatelnost</b> )	$MS_E$	$MS_E = \frac{SS_E}{nJK - n - J + 1}$
$\sigma_p^2$	$\frac{MS_p - MS_E}{JK}$	$MS_p = \frac{SS_p}{n - 1}$
$\sigma_0^2$ ( <b>reprodukovatelnost</b> )	$\frac{MS_0 - MS_E}{nK}$	$MS_0 = \frac{SS_0}{J - 1}$
$\sigma^2 + \sigma_0^2$ ( <b>opakovatelnost a reprodukovatelnost</b> )	$\frac{MS_0 - (nK - 1) \times MS_E}{nK}$	

Tab. č. 3 – Hodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu bez interakcí

### **Praktická aplikace**

Provede se analýza měřicího systému pomocí dvoufaktorové analýzy rozptylu. Deset částí bylo vybráno z výrobního procesu a měřeno dvakrát třemi operátory. Cílová hodnota pro měření je  $\tau = 2,234$  cm a toleranční meze byly specifikovány na hodnoty  $USL = 2,239$  cm a  $LSL = 2,229$  cm. Data jsou v Tab. č. 4.

i\j ČÁST	1. OPERÁTOR	2. OPERÁTOR	3. OPERÁTOR
<b>1</b>	2,2333; 2,2337	2,2332; 2,2338	2,2336; 2,2339
<b>2</b>	2,2338; 2,2341	2,2342; 2,2340	2,2345; 2,2344
<b>3</b>	2,2338; 2,2341	2,2340; 2,2337	2,2342; 2,2335
<b>4</b>	2,2327; 2,2324	2,2325; 2,2328	2,2322; 2,2331
<b>5</b>	2,2340; 2,2344	2,2345; 2,2345	2,2345; 2,2349
<b>6</b>	2,2346; 2,2340	2,2345; 2,2349	2,2342; 2,2339
<b>7</b>	2,2338; 2,2343	2,2341; 2,2341	2,2341; 2,2344
<b>8</b>	2,2345; 2,2345	2,2355; 2,2353	2,2348; 2,2353
<b>9</b>	2,2331; 2,2326	2,2332; 2,2335	2,2330; 2,2333
<b>10</b>	2,2343; 2,2341	2,2345; 2,2346	2,2341; 2,2338

Tab. č. 4 – Data pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu

Tab. č. 5 - charakterizuje očekávaný součet čtverců pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu s interakcí a bez interakce.

ZDROJ VARIABILITY	SOUČET ČTVERCŮ	STUPNĚ VOLNOSTI	PRUMĚR ČTVERCŮ	
<b>Části</b>	0,0000256	9	0,000002845	<b>Analýza rozptylu s interakcí</b>
<b>Operátoři</b>	0,0000007	2	0,000000366	
<b>Části</b> x <b>Operátoři</b>	0,0000018	18	0,000000100	
<b>Rezidua</b>	0,0000023	30	0,000000076	
<b>Celkem</b>	0,0000304	59		
<b>Části</b>	0,0000256	9	0,000002845	<b>Analýza rozptylu bez interakcí</b>
<b>Operátoři</b>	0,0000007	2	0,000000366	
<b>Rezidua</b>	0,0000041	48	0,000000085	
<b>Celkem</b>	0,0000304	59		

Tab. č. 5 – Součet čtverců pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu

Následující Tab. č. 6 popisuje charakteristiky měřicího systému při použití dvoufaktorové analýzy rozptylu s interakcí a bez interakcí.

<b>Dvoufaktorová analýza s interakcí</b>	<b>Dvoufaktorová analýza bez interakcí</b>
<b><math>\sigma</math> - opakovatelnost 0,000275</b>	<b><math>\sigma</math> - opakovatelnost 0,000291</b>
<b>% - opakovatelnosti 14,17 %</b>	<b>% - opakovatelnosti 15,01 %</b>
<b>Reprodukovatelnost 0,00016</b>	<b>Reprodukovatelnost 0,000119</b>
<b>% reprodukovatelnosti 8,25 %</b>	<b>% reprodukovatelnosti 6,11 %</b>
<b><math>R_p</math> &amp; <math>O_p</math> 0,000318</b>	<b><math>R_p</math> &amp; <math>O_p</math> 0,000315</b>
<b>% <math>R_p</math> &amp; <math>O_p</math> 16,39 %</b>	<b>% <math>R_p</math> &amp; <math>O_p</math> 16,21 %</b>
<b><math>\sigma_p</math> - směr. odchylka částí 0,000676</b>	<b><math>\sigma_p</math> - směr. odchylka částí 0,000676</b>
<b><math>\sigma_m</math> - směr. odchylka měření 0,000747</b>	<b><math>\sigma_m</math> - směr. odchylka měření 0,000748</b>

Tab. č. 6 – Charakteristika měřicího systému

Porovnáním charakteristik měřicího systému zjistíme, že jsou téměř shodné a měřicí systém je považován za dobrý. Na 5 % hladině významnosti testujeme hypotézu, že vliv interakce je nevýznamný.  $F_{test}=1,33$  a  $F_{krit}=1,96$  a platí  $F_{test} < F_{krit}$  je tedy jasné, že vliv interakce je nevýznamný, ponecháme v platnosti nulovou hypotézu. Měřicí systém lépe vystihuje model:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ijk}$$

## Závěr

Článek se zabývá analýzou složitějšího měřicího systému, ve kterém více operátorů měří více součástí či jednotlivých částí vícekrát dle stejné metodiky měření. Problematika je dokumentována na praktické aplikaci měřicího procesu s využitím analýzy rozptylu s interakcí či analýzy rozptylu bez interakce. Nejprve je zvažováno, zda se jedná o interakci mezi měřenými částmi a operátory hodnocením vzájemné kovariance faktorů. Matematicky je proveden rozbor modelu z hlediska variability jednotlivých částí, jednotlivých operátorů a jsou

