

Vědeckotechnický sborník

Správy železnic, státní organizace

č. 2/2020

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

Jiří Šlapák¹, Tomáš Michálek², Petr Špalek³, Miroslav Hora⁴

Rozbor švýcarské metodiky pro hodnocení poškozujících účinků jízdy kolejového vozidla na kolej

Klíčová slova: *poškození koleje, opotřebení, dynamické účinky, poplatky za použití dopravní cesty, správce infrastruktury, simulace, lokomotiva*

Anotace

Tento příspěvek se zabývá aktuální švýcarskou metodikou hodnocení poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej. Uvedená metodika slouží ke kvantifikaci těchto účinků v rámci systému zpoplatnění železniční dopravní cesty, k čemuž využívá jednotlivé koeficienty poškození. Tyto koeficienty jsou v článku blíže popsány a následně jsou vyčísleny pro několik referenčních výpočtových modelů čtyřnápravových elektrických lokomotiv za účelem posouzení vlivu vybraných konstrukčních parametrů vozidla na dosahované hodnoty těchto koeficientů poškození. V závěru je uvedeno porovnání odpovídající výše poplatků za použití dopravní cesty vyšetřovaných vozidel ve dvou vybraných traťových úsecích s několika existujícími typy elektrických lokomotiv.

Annotation

This paper is focused on the current Swiss methodology for assessment of damaging effects of railway vehicles on the track. This methodology is used for a quantification of the damaging effects in framework of the track access charge system; it is based on relevant damage coefficients. These coefficients are described in paper in detail and their values are calculated for several virtual prototypes of four-axle electric locomotives in order to assess the influence of selected design parameters of the vehicle on the individual damage coefficients. Finally, there is shown a comparison of the relevant track access charges of the investigated vehicle models on two selected railway lines with several existing types of electric locomotives.

¹ Ing. Jiří Šlapák; doktorand na Oddělení kolejových vozidel Katedry dopravních prostředků a diagnostiky Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice; adresa: Dopravní fakulta Jana Pernera, Studentská 95, 532 10 Pardubice; e-mail: jiri.slapak@upce.cz.

² Ing. Tomáš Michálek, Ph.D.; odborný asistent na Oddělení kolejových vozidel Katedry dopravních prostředků a diagnostiky Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice; adresa: Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová; e-mail: tomas.michalek@upce.cz.

³ Ing. Petr Špalek; hlavní inženýr železničních kolejových vozidel; ŠKODA TRANSPORTATION a.s.; adresa: Emila Škody 2922/1, 30 100 Plzeň; e-mail: petr.spalek@skoda.cz.

⁴ Ing. Miroslav Hora; projektant specialista (multi-body simulace); ŠKODA TRANSPORTATION a.s.; adresa: Emila Škody 2922/1, 30 100 Plzeň; e-mail: miroslav.hora@skoda.cz.

Úvod

Rozdělením železničního systému na subsystém infrastruktura (udržovaný správcem železniční infrastruktury) a subsystém kolejová vozidla (v jehož rámci působí na dané infrastruktuře různí železniční dopravci) došlo k formálnímu oddělení těchto oblastí. Ovšem při jízdě vozidla po koleji dochází vlivem odvalování kol po kolejnicích k vzájemnému silovému působení mezi kolem a kolejnicí. Důsledkem této silové interakce je poškozování kol a kolejnic. Z hlediska infrastruktury se může jednat o poškozování ve smyslu opotřebení (úbytku materiálu) a vznik kontaktně-únavových vad na hlavách kolejnic, degradaci geometrické polohy koleje a šterkového lože, poškozování konstrukčních částí výhybek atd. Velikost těchto poškozujících účinků má vliv na náročnost a četnost údržbových zásahů, a tedy i na výši nákladů potřebných na udržení koleje v požadovaném technickém stavu. Z toho je zřejmé, že subsystémy infrastruktury a vozidla z hlediska fyzikálních jevů oddělit nelze. Železnici je potřeba vnímat jako jeden systém, jehož subsystémy se vzájemně ovlivňují.

Optimalizací údržbových zásahů a technologií lze náklady na údržbu snižovat. Takový přístup však řeší pouze opravu již vzniklého poškození. Další cestou je snaha o minimalizaci samotných poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej, a tedy i minimalizace vznikajícího poškození kolejnic. Z tohoto hlediska se jedná o snahu nalézt takové podmínky pro subsystém železniční infrastruktury a subsystém kolejového vozidla, aby výsledkem byla co nejnižší intenzita poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej. Tímto řešením by došlo k snížení rozsahu opotřebení či poškození kol a kolejnic, a tedy i ke snížení nákladů na údržbu.

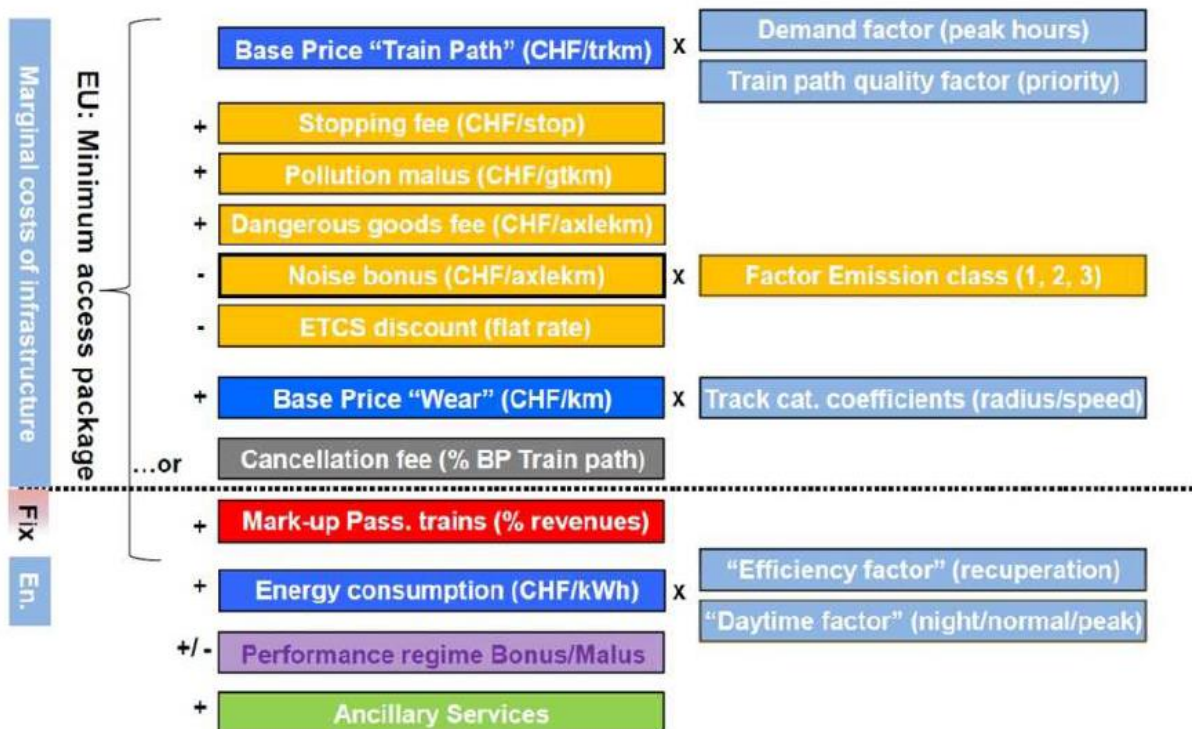
Z uvedeného vyplývá, že vztah mezi správcem infrastruktury a železničními dopravci by měl být takový, aby respektoval tyto skutečnosti. Nástrojem, jak toho dosáhnout, mohou být poplatky za použití dopravní cesty, které jsou určovány právě s ohledem na poškozující účinky daného vozidla na danou trať. Takový systém již používají někteří správci infrastruktury, např. ve Velké Británii, Rakousku či ve Švýcarsku (viz též např. [1]). Tento příspěvek se zabývá rozбором švýcarské metodiky hodnocení poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej, která se v tomto ohledu jeví jako nejpropracovanější, a následně ukázkou vyhodnocení poškozujících účinků dle této metodiky pro vybrané modely lokomotiv s odlišnými parametry.

1 Švýcarská metodika hodnocení poškozujících účinků

Ze struktury poplatků za použití dopravní cesty podle švýcarské metodiky (viz obr. 1) je zřejmé, že jednou ze složek určujících výši poplatků je tzv. základní cena za opotřebení (*Base Price „Wear“*, resp. *Basispreis Verschleiß*). Určení této základní ceny za opotřebení je založené na hodnocení poškozujících účinků jízdy vozidla na trať. Tato metodika má tedy motivovat jednotlivé dopravce, aby používali vozidla, která jsou konstruována tak, aby minimalizovala poškozující účinky na kolej, tzv. „track-friendly“ vozidla. Na rozdíl od rakouského systému zpoplatnění železniční dopravní cesty, který zavádí tzv. *Triebfahrzeugfaktor* (viz např. článek [1]), sloužící pro kvantifikaci poškozujících účinků pouze hnacích vozidel, jsou ve švýcarském systému zpoplatnění zohledněny poškozující účinky všech kategorií železničních kolejových vozidel (tzn. lokomotiv, vozidel pro přepravu osob i nákladních vozů).

Na velikost poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej přitom mají vliv hmotnostní a rozměrové parametry vozidla společně s parametry pružících a tlumících prvků, resp. vazeb v pojezdu vozidla. Provozní určení jednotlivých vozidel však může být

odlišné. Z tohoto hlediska mohou být jednotlivá vozidla vhodná např. pro rychlou jízdu v přímé koleji, nebo naopak pro pomalejší jízdu po obloukovitých tratích. Nelze tedy jednoznačně určit, zda je vozidlo obecně „track-friendly“ pouze na základě jeho parametrů, ale je třeba posoudit, nakolik je vhodné pro dané provozní účely.



Obr. 1 Sktruktura poplatků za použití dopravní cesty definovaná švýcarskou metodikou. [2]

Zohlednění parametrů vozidla v souvislosti s parametry daného traťového úseku, na kterém má být vozidlo provozováno, nabízí právě švýcarská metodika pro určení základní ceny za opotřebení [3]. Tato metodika zavádí tzv. faktor opotřebení jízdní dráhy (*Verschleißfaktor Fahrbahn*), který vyjadřuje hodnocení poškozujících účinků jízdy daného vozidla na danou trať a následný přepočítání na finanční vyjádření.

Ve švýcarské metodice [3] je definován vztah pro výpočet tzv. referenčních nákladů vozidla, který má obecně tvar:

$$KS = k_1 \cdot F_{RQ} \cdot Q_{dyn}^3 + k_2 \cdot Q_{dyn}^{1,2} + k_3 \cdot T_{pv} + k_4 \cdot F_{RW_b} \cdot W_b + k_5 \cdot \sqrt{0,5 \cdot Q_{185}^2 + 0,5 \cdot Y_{185}^2}. \quad (1)$$

Uvedený vztah lze rozdělit na jednotlivé členy:

- První člen ($k_1 \cdot F_{RQ} \cdot Q_{dyn}^3$) představuje poškozování geometrické polohy koleje a štěrkového lože. Dynamická kolová síla Q_{dyn} je stanovena na základě velikosti nevypružených hmot a referenční rychlosti v daném traťovém úseku. Faktor F_{RQ} zohledňuje vliv poloměru oblouku.
- Druhý člen v uvedeném vztahu ($k_2 \cdot Q_{dyn}^{1,2}$) zohledňuje možnost inicializace a rozvoje kontaktně-únavových vad při odvalování kol po kolejnicích.

- Třetí člen ($k_3 \cdot T_{pv}$) pak zohledňuje trakční výkon vozidla. Tento parametr (tzv. *Traction Power Value*) je stanoven pomocí trakčního výkonu na jedno kolo P_{rad} vztaženého na jmenovitou velikost dotykové plochy mezi kolem a kolejnicí A_{rad} a charakterizuje možnost vzniku kontaktně-únavových vad při přenosu tažných sil v kontaktu kolo–kolejnice.
- Čtvrtý člen ($k_4 \cdot F_{RW_b} \cdot W_b$) charakterizuje intenzitu opotřebení hlav kolejnic ve smyslu úbytku materiálu a možnost vzniku kontaktně-únavových vad při jízdě vozidla obloukem. Tento poškozující účinek je kvantifikován pomocí (měrné) třecí práce v kontaktu kol a kolejnice, která je zde reprezentována tzv. číslem opotřebení – *Wear Number* W_b . Metodika předpokládá, že při velmi nízkých hodnotách W_b nedochází k poškozování kolejnic vůbec. S rostoucí hodnotou W_b (a tedy se zmenšujícím se poloměrem oblouku) ale roste pravděpodobnost inicializace a rozvoje kontaktně-únavových vad kolejnic a dále se pak začíná zvyšovat též intenzita opotřebení kolejnic ve smyslu úbytku materiálu. Zatímco při nižších hodnotách W_b (tzn. v obloucích o větších poloměrech) převažuje právě kontaktně-únavové poškozování kolejnic, tak při překročení jisté meze má již opotřebení kolejnic takovou intenzitu, že dochází k odstraňování jejich povrchové vrstvy, ve které by jinak docházelo k rozvoji kontaktně-únavových vad. Tento člen se pochopitelně neuvažuje při jízdě vozidla v přímé koleji.
- Pátý člen ($k_5 \cdot \sqrt{0,5 \cdot Q_{185}^2 + 0,5 \cdot Y_{185}^2}$) kvantifikuje silové působení vozidla na odbočné větve výhybek. Figuruje zde dynamická svislá kolová síla Q_{185} při referenční rychlosti jízdy 40 km/h a maximální hodnota vodící síly Y_{185} na nabíhající kole prvního dvojkolí vozidla při průjezdu odbočnou větví výhybky s poloměrem oblouku 185 m.

Z rozboru vyplývá, že pro kvantifikaci dílčích poškozujících účinků pomocí uvedené metodiky je nutné provést simulační výpočty jízdy vozidla za definovaných podmínek. Konkrétně se jedná o simulace průjezdu oblouky různých poloměrů pro vyhodnocení čtvrtého členu rovnice, tedy pro získání příslušných průběhů parametru W_b , a dále o simulaci průjezdu vozidla výhybkou pro vyhodnocení pátého členu, tedy pro získání maximální hodnoty vodící síly Y_{185} . Podmínky pro realizaci simulačních výpočtů jsou jednoznačně definovány metodikou [3]; jde především o jmenovité trasování koleje v referenčních úsecích, nerovnosti koleje, rychlost jízdy (resp. nedostatek převýšení), tvar jízdnic obrysů kol dvojkolí (S1002/e32,5) a příčných profilů hlav kolejnic (60E1/1:40) nebo součinitel tření v kontaktu kolo–kolejnice (0,3). Tyto podmínky jsou pro všechna vozidla stejné; jen uvažovaná rychlost jízdy obloukem (hodnota nedostatku převýšení) souvisí s provozním režimem vozidla (tzv. *Zugreihe*). Za účelem „ocenění vozidla“ se pak použít výpočtový model a příslušné výsledky dokládají zprávou.

2 Koeficienty poškození

Na základě vztahu (1), vyjadřujícího míru poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej, jsou ve švýcarské metodice definovány tzv. koeficienty poškození, jež jsou označeny jako D1 až D5. Tyto koeficienty odpovídají jednotlivým členům uvedené rovnice, a charakterizují tak jednotlivé dílčí poškozující účinky.

2.1 Koeficient poškození D1

Koeficient poškození D1 představuje intenzitu poškozování geometrické polohy koleje a šterkového lože v závislosti na rychlosti jízdy vozidla. Je definován vztahem:

$$D1(V) = n_{RS} \cdot Q_{dyn}^3(V), \quad (2)$$

kde n_{RS} je počet dvojkolí vozidla a Q_{dyn} je dynamická svislá kolová síla (jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole), definovaná pomocí britské normy GM/TT0088 [4] jako síla P_2 a udávaná v [kN], tedy:

$$Q_{dyn}(V) = P_2(V) = Q_0 + 0,0437445 \cdot m_u \cdot \frac{\sqrt{m_u + 245} - 5,52591}{m_u + 245} \cdot V, \quad (3)$$

kde Q_0 je statická svislá kolová síla v [kN], m_u je hmotnost nevypružených hmot na jedno kolo v [kg] a V je rychlost jízdy vozidla v [km/h].

K poškozování geometrické polohy koleje a šterkového lože dochází jak při jízdě v přímé koleji, tak při jízdě obloukem. Z toho vyplývá, že se tento koeficient uplatňuje při hodnocení poškozujících účinků jízdy vozidla v přímé koleji i v obloucích. Z výpočtových vztahů také vyplývá, že tento typ poškození je pro dané vozidlo závislý především na rychlosti jízdy.

2.2 Koeficient poškození D2

Koeficient poškození D2 zohledňuje vznik kontaktně-únavových vad při jízdě v přímé koleji. Tento koeficient je definován v závislosti na dynamické svislé kolové síle, a tudíž závisí i na rychlosti jízdy V :

$$D2(V) = n_{RS} \cdot Q_{dyn}^{1,2}(V). \quad (4)$$

Veličiny obsažené v tomto vztahu jsou, vč. jednotek, popsány výše. Tento koeficient se uplatňuje pouze při hodnocení poškozujících účinků jízdy vozidla v přímé koleji.

2.3 Koeficient poškození D3

Tento koeficient poškození odpovídá třetímu členu vztahu (1), resp. parametru T_{pv} (*Traction Power Value*), který je definován vztahem:

$$D3 = T_{pv} = \frac{P_{rad}}{A_{rad}}, \quad (5)$$

kde P_{rad} je hodnota trakčního výkonu vztažená na jedno kolo a udávaná v [kW] a A_{rad} je efektivní velikost kontaktní plochy mezi kolem a kolejnicí, která je počítána pomocí Hertzovy teorie, udávaná v [mm²].

2.4 Koeficient poškození D4

Tento koeficient zohledňuje dva jevy, k nimž dochází při průjezdu vozidla obloukem. První dílčí koeficient D4.1 charakterizuje možnost vzniku kontaktně-únavových vad na hlavách kolejnic (tzv. *head-checking*). Druhý dílčí koeficient D4.2 pak vyjadřuje opotřebenění hlav kolejnic ve smyslu úbytku materiálu. Hodnoty obou těchto dílčích koeficientů jsou vyhodnoceny na základě tzv. čísla opotřebenění (*Wear Number*) W_b , které je definováno jako:

$$W_b = |T_x \cdot s_x| + |T_y \cdot s_y|, \quad (6)$$

kde T_x a T_y jsou tangenciální skluzové síly působící v kontaktu kolo–kolejnice v podélném a v příčném směru, udávané v [N], a s_x a s_y jsou bezrozměrné (relativní) skluzy v odpovídajících směrech. Jednotkou W_b tak je [N], resp. [J/m].

Obě části koeficientu poškození D4 jsou uvažovány v závislosti na poloměru oblouku a vyhodnocují se pro čtyři referenční poloměry, které představují jednotlivé kategorie poloměrů oblouku:

- oblouky velmi malých poloměrů – $R = 270$ m,
- oblouky malých poloměrů – $R = 343$ m,
- oblouky středních poloměrů – $R = 480$ m,
- oblouky velkých poloměrů – $R = 800$ m.

Rychlost jízdy (konvenčního) vozidla při průjezdu těmito oblouky je dopočítávána vzhledem ke konstantní uvažované hodnotě nedostatku převýšení 130 mm.

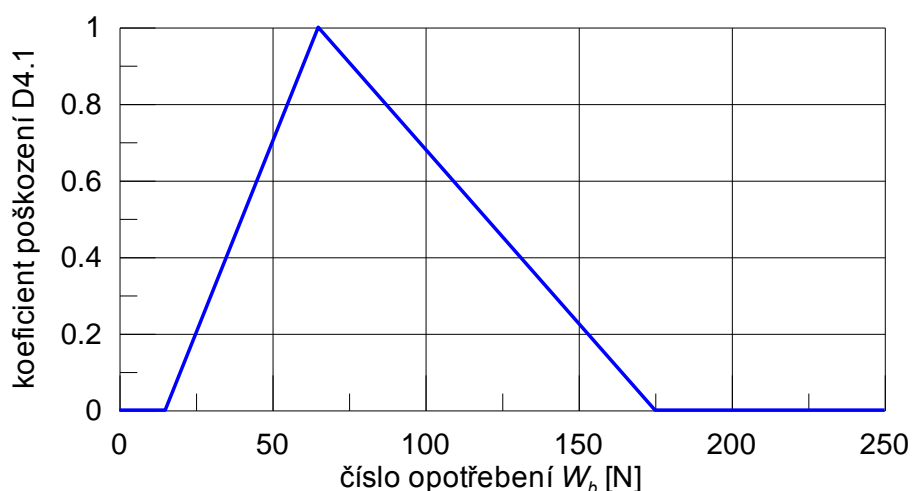
Koeficient D4.1

V závislosti na hodnotách čísla opotřebení W_b lze pro daný materiál kolejnic určit hodnotu koeficientu poškození D4.1, který vyjadřuje možnost vzniku kontaktně-únavových vad. Tato závislost (odpovídající standardnímu materiálu kolejnic R260) je zobrazena na obr. 2.

Pro jednotlivé intervaly uvedené charakteristiky na obr. 2 lze koeficient D4.1 určit následujícím způsobem:

- $W_b \in (0; 15 \text{ N})$: $D4.1 = 0$;
- $W_b \in (15 \text{ N}; 65 \text{ N})$: $D4.1 = n_{FW} \cdot (0,02 \cdot W_b - 0,3)$;
- $W_b \in (65 \text{ N}; 175 \text{ N})$: $D4.1 = n_{FW} \cdot (-W_b + 175)/110$;
- $W_b \geq 175$: $D4.1 = 0$.

V uvedených vztazích pro koeficient D4.1 vyjadřuje parametr n_{FW} počet podvozků. Příslušná hodnota W_b je stanovena s využitím výsledků simulačních výpočtů.



Obr. 2 Uvažovaná závislost koeficientu poškození D4.1 na čísle opotřebení W_b pro počet podvozků $n_{FW} = 1$.

Z grafu na obr. 2 je zřejmé, že koeficient poškození D4.1 nabývá pro jeden podvozek maximálně hodnoty 1, a to při $W_b = 65$ N. Ze vztahů uvedených nad grafem vyplývá, že s rostoucím počtem podvozků přímo úměrně roste i hodnota koeficientu D4.1.

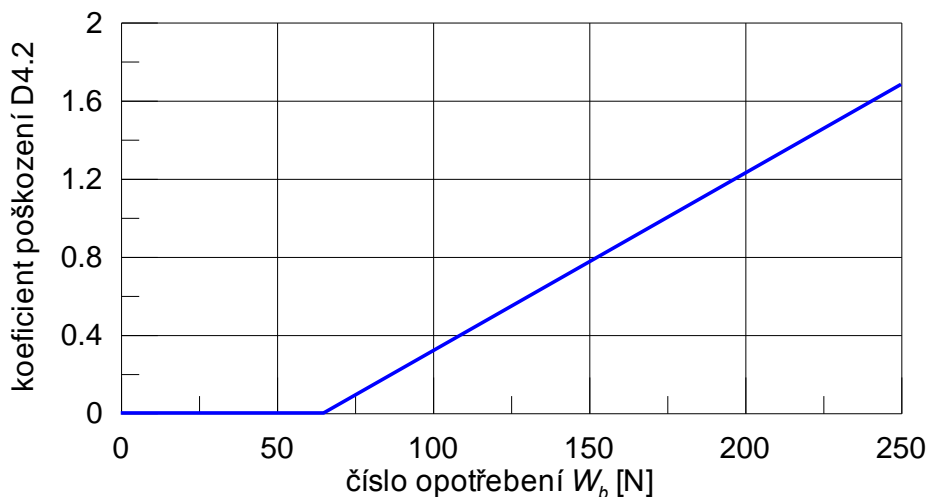
Koeficient D4.2

Tento dílčí koeficient vyjadřuje přímo opotřebení kol a kolejnic v důsledku vykonané měrné třecí práce, která je zde opět vyjádřena pomocí čísla opotřebení W_b . Zde platí, že při $W_b \geq 65$ N je koeficient D4.2 vyjádřen vztahem:

$$D4.2 = n_{FW} \cdot (W_b - 65)/110, \quad (7)$$

zatímco při nižších hodnotách W_b je hodnota koeficientu D4.2 nulová (viz obr. 3). Parametr n_{FW} opět vyjadřuje počet podvozků vozidla a hodnota W_b , udávaná v [N], je stanovena s využitím výsledků simulačních výpočtů.

Na obr. 3 je zobrazena závislost koeficientu poškození D4.2 na hodnotách čísla opotřebení W_b pro počet podvozků $n_{FW} = 1$ a za předpokladu použití standardního materiálu kolejnic R260. Ze vztahu (7) vyplývá, že hodnota koeficientu D4.2 je přímo úměrná počtu podvozků n_{FW} .



Obr. 3 Uvažovaná závislost koeficientu poškození D4.2 na číslu opotřebení W_b pro počet podvozků $n_{FW} = 1$.

2.5 Koeficient poškození D5

Poslední koeficient D5 vyjadřuje intenzitu poškozování konstrukčních částí výhybek a odpovídá poslední části vztahu (1), uvedeného v předchozí kapitole, tedy:

$$D5 = n_{FW} \cdot \sqrt{0,5 \cdot Q_{185}^2 + 0,5 \cdot Y_{185}^2}, \quad (8)$$

kde Q_{185} je dynamická svislá kolová síla při rychlosti jízdy 40 km/h, jejíž (referenční) hodnota je vypočtena jako síla P_2 dle normy [4] a Y_{185} je maximální hodnota vodící síly působící v kontaktu nabíhajícího kola a vnější kolejnice při průjezdu vozidla dvěma protisměrnými oblouky o poloměru 185 m s krátkou mezipřímou délky 6 m referenční rychlostí 40 km/h. Referenční hodnoty sil Q_{185} a Y_{185} ve vztahu (4) jsou uváděny v [kN]. Uvažované trasování koleje v podmínkách protisměrných oblouků, reprezentujících průjezd vozidla odbočnou větví výhybky, resp. kolejovou spojkou, je

uvedeno v lit. [3]. Hodnota vodící síly Y_{185} je stanovena pomocí simulačních výpočtů jízdy vozidla, které jsou realizovány a vyhodnocovány za definovaných podmínek (filtrace klouzavou střední hodnotou s délkou okna 2 m a s krokem 0,5 m).

3 Parametry vyšetřovaných vozidel

Velikost jednotlivých koeficientů pro určení poškozujících účinků, které jsou popsány v předchozí kapitole, a tedy i pro stanovení referenčních nákladů vozidla (viz vztah (1)), je bezpochyby závislá na konkrétních parametrech vyšetřovaného vozidla. Avšak změna určitého parametru vozidla může mít pouze minimální vliv na změnu daného koeficientu poškození, a naopak změna jiného parametru může mít vliv velký. Cílem optimalizace těchto parametrů vozidla by však mělo být snížení celkové úrovně poškozujících účinků jízdy vozidla na uvažovanou trať. K určení vlivu změny konkrétního konstrukčního parametru vozidla je proto potřeba zabývat se jednotlivými koeficienty, které popisují jednotlivé dílčí poškozující účinky, odděleně.

Pro posouzení intenzity jednotlivých dílčích poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej byly vytvořeny čtyři multi-body modely (tzv. virtuální prototypy) čtyřnápravových elektrických lokomotiv (označené jako Typ A až Typ D) v programu MSC.ADAMS + VI-Rail. Jedním z předpokladů při tvorbě těchto modelů bylo použití co největšího podílu konstrukčních řešení z portfolia společnosti ŠKODA TRANSPORTATION a.s. S těmito výpočtovými modely byly následně provedeny simulace jízdy vozidla, jejichž výstupem byly příslušné veličiny, potřebné jako vstupy pro určení hodnot jednotlivých dílčích koeficientů poškození. U dynamických modelů lokomotiv bylo snahou snižovat hmotnost nevypružených hmot, ale i celkovou hmotnost vozidla, a to v prvním kroku zmenšením průměru nových kol z hodnoty 1250 mm na 1100 mm a v druhé kroku nahrazením kotoučové brzdy brzdou špalíkovou, což vede k odstranění brzdových kotoučů. V posledním kroku došlo ke snížení rozvoru podvozku z hodnoty 2,8 m na 2,6 m. Parametry lokomotiv, jež byly při jednotlivých simulačních výpočtech měněny, jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Parametry vyšetřovaných modelů lokomotiv.

Lokomotiva	Konstrukce brzdy	Průměr kola	Rozvor podvozku	Celková hmotnost lokomotivy	Nevypružené hmoty na dvojkolí
Typ A	Kotoučová	1250 mm	2,8 m	88,5 t	3240 kg
Typ B	Kotoučová	1100 mm	2,8 m	87,3 t	2940 kg
Typ C	Špalíková	1100 mm	2,8 m	86,0 t	2610 kg
Typ D	Špalíková	1100 mm	2,6 m	86,0 t	2610 kg

Bližší popis virtuálních multi-body modelů lokomotiv a výsledky simulačních výpočtů jsou uvedeny v lit. [5].

4 Porovnání vyšetřovaných vozidel na základě hodnot koeficientů poškození

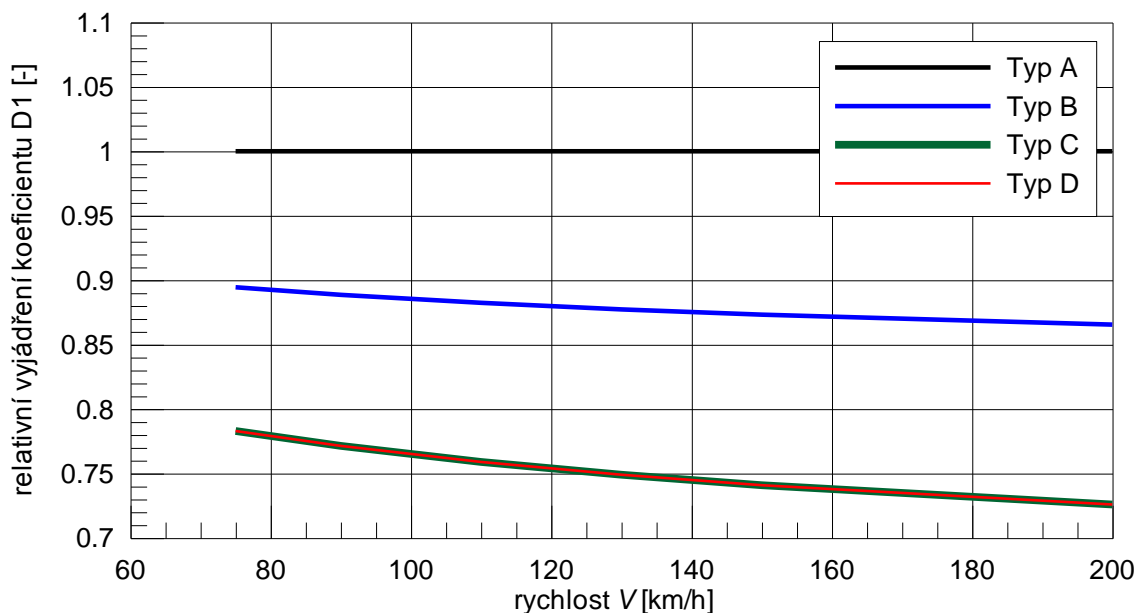
Hodnocení uvedených vozidel (lokomotiv), jejichž proměnné parametry jsou uvedeny v předchozí kapitole, bylo provedeno se zaměřením na jednotlivé koeficienty dílčích poškozujících účinků. Cílem přitom byla kvantifikace vlivu změny jednotlivých parametrů, které jsou uvedeny v tab. 1. Vypovídající porovnání, které ukazuje vliv

změny parametrů vozidla na změnu hodnotících koeficientů poškození, je provedeno přepočtem na relativní vyjádření. V tomto vyjádření je uvažována první lokomotiva (Typ A) jako referenční a koeficientům poškození pro tuto lokomotivu je přidělena hodnota 1; s ní jsou pak porovnávány ostatní typy lokomotiv. V případě, že hodnoty pro ostatní lokomotivy nabývají hodnot nižších než 1, tak se jedná o snížení úrovně dynamických, resp. poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej, a tedy i snížení vlivu, jež vyjadřuje daný koeficient poškození.

4.1 Koeficient poškození D1

V grafu na obr. 4 jsou pro jednotlivé uvažované typy lokomotiv uvedeny relativní hodnoty koeficientu D1 v závislosti na rychlosti jízdy. Z grafu je zřejmé, že při zmenšení průměru kol, a tedy při snížení hmotnosti nevypružených hmot (téměř o 10 %), dojde k nezanedbatelnému snížení hodnot koeficientu D1 (viz dosahované hodnoty pro Typ B). Při dalším snižování hmotnosti nevypružených hmot v důsledku nahrazení diskové brzdy brzdou špalíkovou (viz Typ C a Typ D) dochází k dalšímu snížení hodnot koeficientu D1. Taková redukce hmotnosti nevypružených hmot (v porovnání s referenčním typem A téměř o 20 %), ale také celkové hmotnosti vozidla, v konečném důsledku vyvodí při rychlosti jízdy 160 km/h snížení koeficientu D1 přibližně o 26 %.

Změna rozvoru podvozku nemá vliv na velikost koeficientu poškození D1, což vyplývá ze vztahů (2) a (3), a proto jsou křivky pro lokomotivu typu C a typu D na obr. 4 totožné.

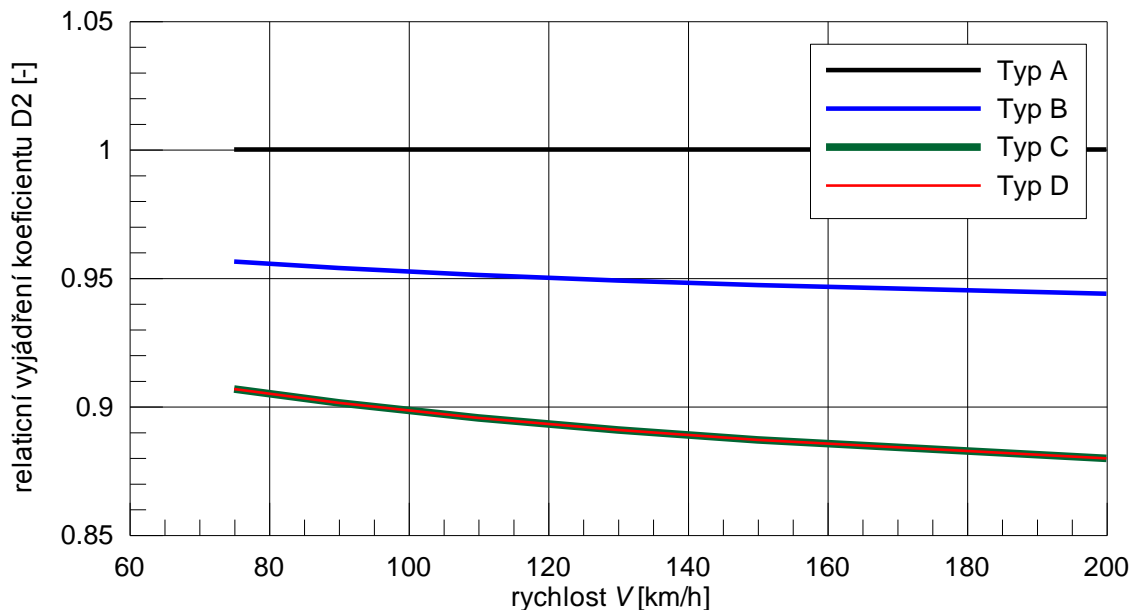


Obr. 4 Relativní vyjádření koeficientu poškození D1 v závislosti na rychlosti jízdy pro vyšetřované typy lokomotiv.

4.2 Koeficient poškození D2

Pro koeficient poškození D2 je situace obdobná. Rozdíl ve výpočtu se nachází pouze v hodnotě exponentu u dynamické svislé kolové síly. Proto lze očekávat při výpočtu koeficientu D2 obdobné trendy, jaké má koeficient D1. Na obr. 5 je uvedena závislost relativního vyjádření koeficientu poškození D2 na rychlosti jízdy pro uvažované typy lokomotiv. Z grafu vyplývá, že při snížení hmotnosti nevypružených hmot, a tedy i celkové hmotnosti vozidla dochází ke snížení hodnot koeficientu D2. Změna rozvoru

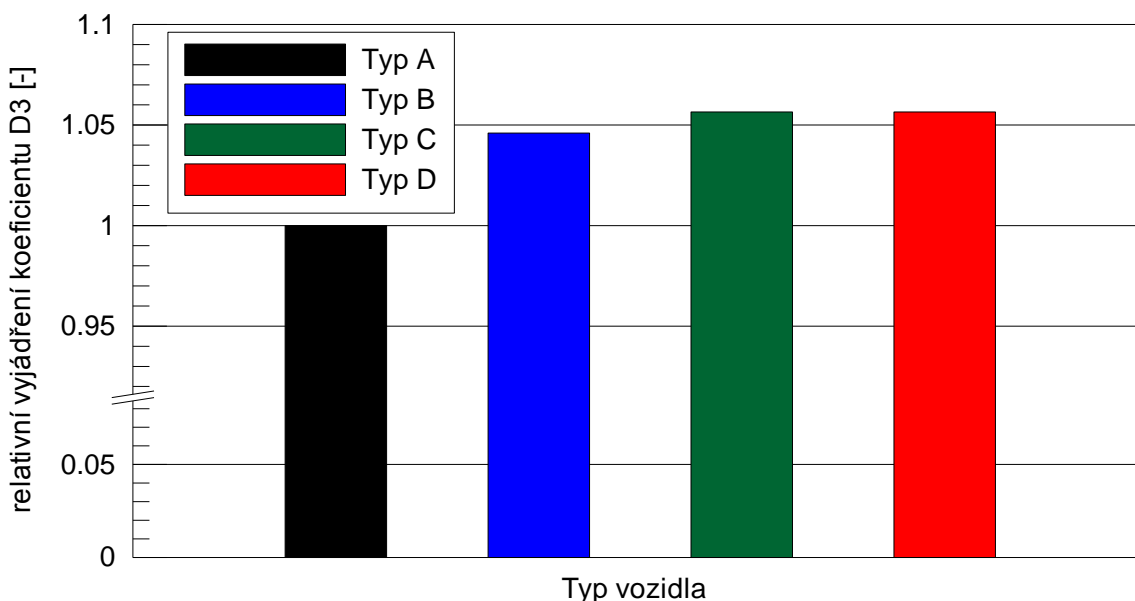
podvozku nemá vliv na velikost koeficientu D2. Při rychlosti jízdy 160 km/h tak dojde u typů C a D ke snížení hodnoty koeficientu poškození D2 přibližně o 12 % v porovnání s typem A.



Obr. 5 Relativní vyjádření koeficientu poškození D2 v závislosti na rychlosti pro vyšetřované typy lokomotiv.

4.3 Koeficient poškození D3

Na obr. 6 jsou vyjádřeny relativní hodnoty koeficientu poškození D3 pro jednotlivé uvažované typy lokomotiv. První lokomotivě (Typ A) je opět přidělena hodnota 1. Snížení hmotnosti nevypružených hmot, a tedy i celkové hmotnosti lokomotivy, má při nezměněném trakčním výkonu lokomotivy za následek zvyšování koeficientu D3, který vyjadřuje podmínky pro přenos tažných (ale také brzdných) sil v kontaktu kolo–kolejnice. Snížením celkové hmotnosti lokomotivy totiž dochází ke zmenšení velikosti dotykové plochy mezi kolem a kolejnicí (počítané podle Hertze), na které je třeba přenášet tažnou sílu, resp. kde se realizuje trakční výkon. Obdobný účinek přitom má i zmenšování jmenovitého průměru kol hnacích dvojkolí. Z grafu je zřejmé, že se za definovaných podmínek jedná u typů C a D o zvýšení koeficientu poškození D3 přibližně o 6 % v porovnání s typem A.

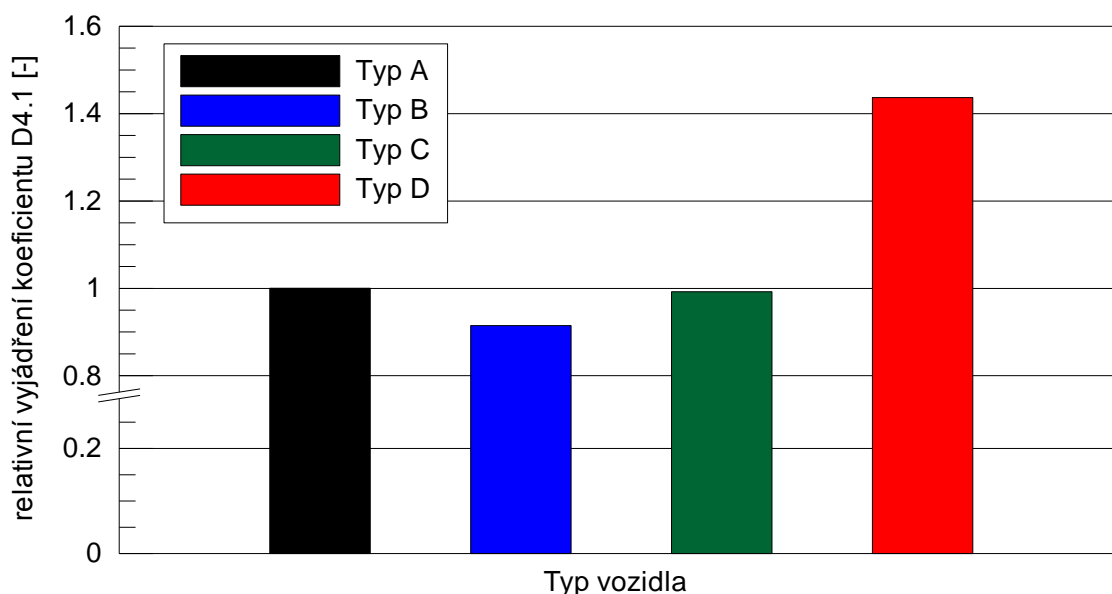


Obr. 6 Relativní vyjádření koeficientu poškození D3 pro uvažované typy lokomotiv.

4.4 Koeficient poškození D4

Koeficienty poškození D4.1 a D4.2 jsou určovány v závislosti na poloměru oblouku. Je nutné připomenout, že pro potřeby vyhodnocení intenzity poškozujících účinků vyšetřovaných vozidel dle švýcarské metodiky musely být provedeny simulace jízdy vozidla pouze čtyřmi oblouky, a to o poloměrech 270, 343, 480 a 800 m. Koeficient poškození D4.1, který charakterizuje možnost vzniku a následného šíření kontaktně-únavových vad kolejnic, nabývá v případě vyšetřovaných modelů vozidel kladných hodnot jen při jízdě vozidla poloměrem oblouku $R = 800$ m, jinak jsou jeho hodnoty nulové. Proto je v grafu na obr. 7 zobrazeno porovnání hodnot tohoto koeficientu pro jednotlivé uvažované varianty lokomotiv pouze pro uvedený poloměr oblouku. Fakt, že při jízdě vyšetřovaných modelů lokomotiv oblouky o menších poloměrech nabývá koeficient D4.1 nulových hodnot, vyplývá z vysokých hodnot (měrné) třecí práce v kontaktu kolo–kolejnice a souvisí s konkrétními parametry těchto vozidel. Použitá metodika hodnocení poškozujících účinků v takovém případě předpokládá již tak intenzivní opotřebávání hlav kolejnic (ve smyslu úbytku materiálu), že k odstranění povrchových vrstev kolejnic (ale i kol) dojde dříve, než vůbec může dojít k rozvoji kontaktně-únavových vad (což je charakterizováno hodnotou koeficientu poškození D4.2). V případě vozidel jiné koncepce a rozdílných parametrů (jednotky, osobní a nákladní vozy) se hranice mezi převažujícím opotřebením a převažujícím rozvojem kontaktně-únavových vad kolejnic může pochopitelně nacházet v jiných pásmech poloměrů oblouku.

Z grafu na obr. 7 vyplývá, že počátečním zmenšením průměru kol (Typ B) dochází ke snížení hodnoty koeficientu D4.1 oproti typu A přibližně o 10 %. Dále pak v důsledku výměny brzdy kotoučové za brzdou špalíkovou, a z ní vyplývajícího dalšího snížení celkové hmotnosti vozidla dojde k tomu, že hodnota koeficientu D4.1 dosahuje u typu C téměř výchozí hodnoty (viz Typ A). Poslední úpravou, tedy zmenšením hodnoty rozvoru podvozku z 2,8 m na 2,6 m (Typ D) dojde k nárůstu hodnoty koeficientu D4.1, a to o více než 40 % oproti původní variantě (Typ A). Nutno však připomenout, že tento graf odpovídá pouze situaci při průjezdu vozidla obloukem o poloměru $R = 800$ m a vztahuje se jen k dílčímu poškozujícímu účinku vyjádřenému koeficientem poškození D4.1.

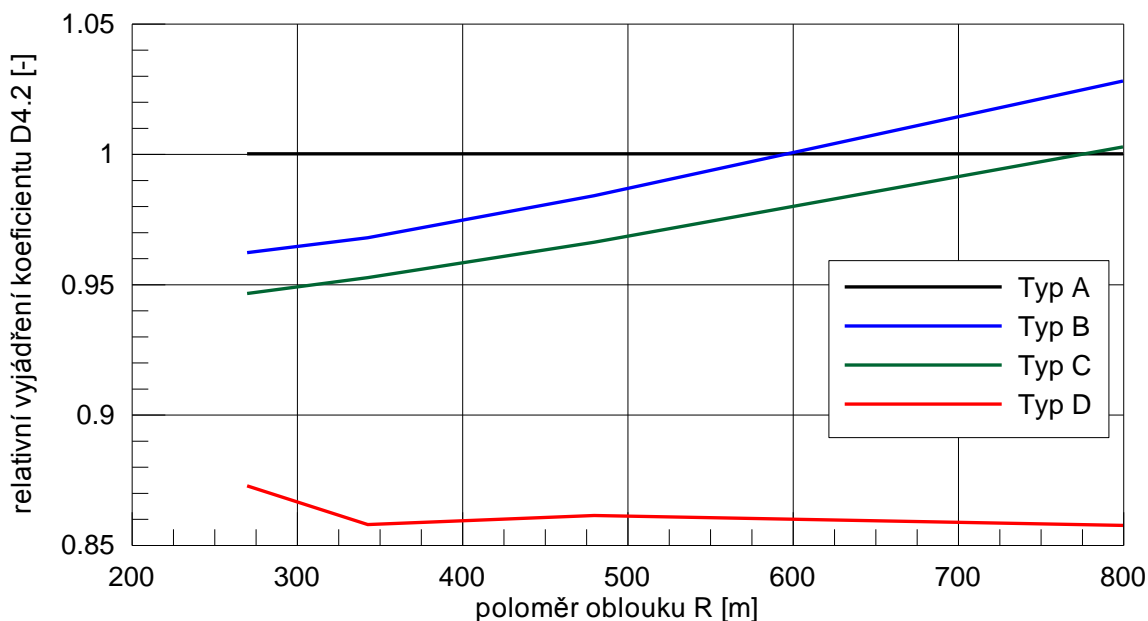


Obr. 7 Relativní vyjádření koeficientu poškození D4.1 pro vyšetřované typy lokomotiv v oblouku o poloměru $R = 800$ m.

Koeficient poškození D4.2 vyjadřuje takové opotřebenění kol a kolejnic při jízdě vozidla obloukem, které se projevuje úbytkem materiálu (otěrem). Z grafu na obr. 8 vyplývá, že při snížení hmotnosti nevypružených hmot a zároveň celkové hmotnosti vozidla, dosaženém zmenšením průměru kol lokomotivy (Typ B), dojde při jízdě oblouky malých poloměrů ke zmenšení hodnoty koeficientu D4.2, a lze tedy předpokládat i snížení intenzity opotřebenění kolejnic (a také kol). Avšak při jízdě oblouky velkých poloměrů ($R = 600 \div 800$ m) se koeficient poškození D4.2 proti jeho hodnotě pro referenční lokomotivu (Typ A) naopak zvýší. Toto kolísání hodnoty koeficientu D4.2 se nachází v rozmezí ± 4 %.

Dalším snížením hmotnosti vozidla a hmotnosti nevypružených hmot v důsledku nahrazení kotoučové brzdy brzdou špalíkovou při nezměněném průměru kola (Typ C) dojde k poklesu popsání křivky, a to přibližně o 2 až 3 % oproti lokomotivě typu B. V porovnání s původní referenční lokomotivou (Typ A) dochází k mírnému snížení hodnoty koeficientu poškození D4.2 pro poloměry oblouků $R < 780$ m. Pro oblouky o poloměru $R \geq 780$ m dochází naopak k mírnému nárůstu hodnoty koeficientu poškození D4.2. Při jízdě oblouky velmi malých poloměrů je hodnota koeficientu D4.2 snížena oproti referenční lokomotivě (Typ A) přibližně o 5 %.

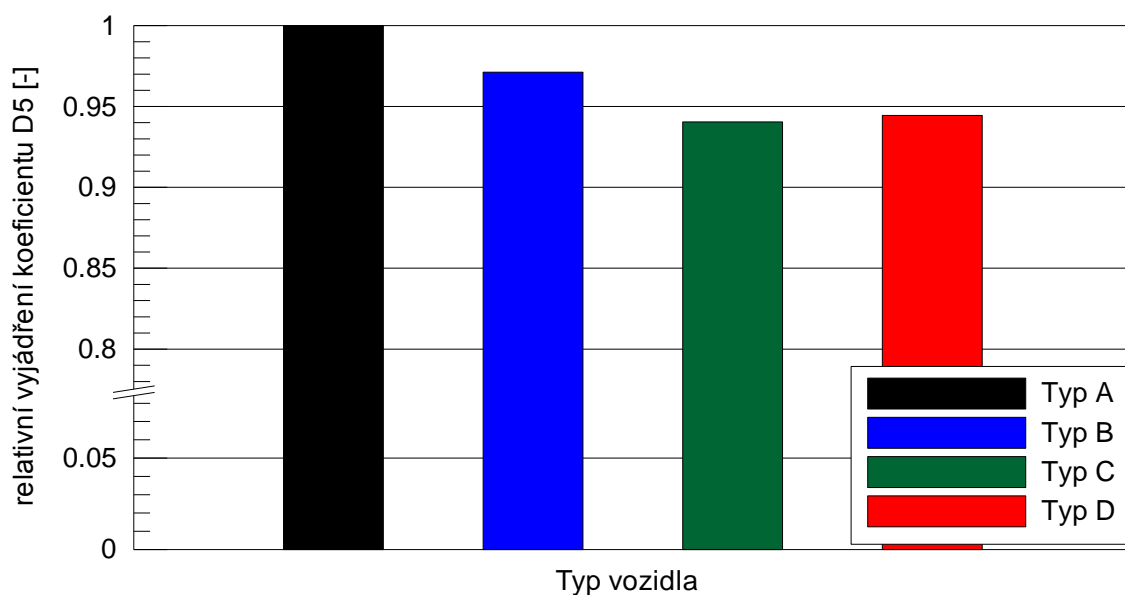
Poslední úpravou lokomotivy, tedy zmenšením rozvoru podvozku (Typ D), pak dojde k výraznému snížení hodnoty koeficientu poškození D4.2. V porovnání s modely lokomotiv typů B a C je účinek zmenšení rozvoru podvozku nejmenší pro oblouky velmi malých poloměrů, a naopak největší redukce koeficientu poškození D4.2 vykazuje lokomotiva typu D pro oblouky velkých poloměrů. V porovnání s referenční lokomotivou (Typ A) dojde ke snížení hodnoty koeficientu poškození D4.2 přibližně o 12,5 % pro oblouky velmi malých poloměrů a ke snížení hodnoty tohoto koeficientu přibližně o 14 % pro ostatní uvažované kategorie oblouků.



Obr. 8 Závislost relativního vyjádření koeficientu poškození D4.2 na poloměru oblouku pro vyšetřované typy lokomotiv.

4.5 Koeficient poškození D5

K zohlednění poškozujících účinků jízdy vozidla na součásti výhybek slouží koeficient poškození D5. Relativní vyjádření hodnot koeficientu D5 pro uvažované lokomotivy je zobrazeno na obr. 9, kde je opět výchozí lokomotivě (Typ A) přiřazena hodnota 1. Z grafu vyplývá, že největšího snížení hodnoty koeficientu D5 dosahuje lokomotiva s menším průměrem kol a špalíkovou brzdou (tj. s nejnižší hmotností nevypružených hmot a zároveň s nejnižší hmotností na nápravu) a s větším rozvorem podvozku (Typ C), a to přibližně o 6 % vůči referenční lokomotivě (Typ A). Zmenšením rozvoru podvozku (Typ D) se hodnota koeficientu D5 oproti výsledkům pro lokomotivu typu C opět zvýší, ovšem jen nepatrně (přibližně o 0,5 %).



Obr. 9 Relativní vyjádření koeficientu poškození D5 pro vyšetřované typy lokomotiv.

Závěr

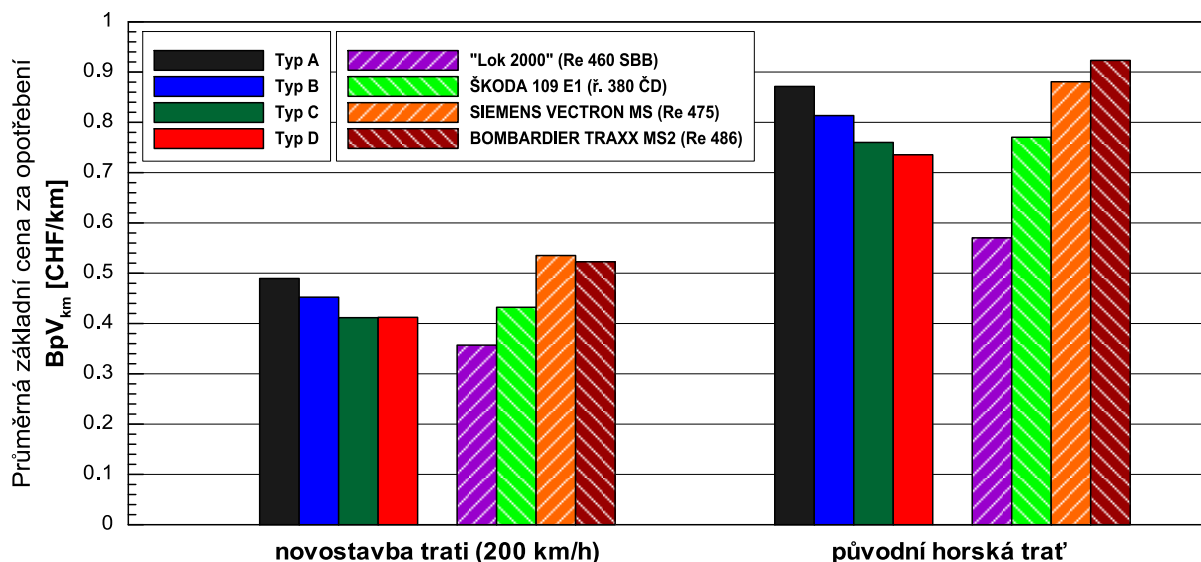
Švýcarská metodika pro hodnocení poškozujících účinků jízdy vozidla na trať hodnotí interakci vozidlo–kolej tak, že sleduje jednotlivé projevy této interakce. Vzhledem k těmto projevům, resp. uvažovaným druhům poškození stanovuje jednotlivé koeficienty poškození a definuje způsob jejich výpočtu. Pomocí vyhodnocení těchto koeficientů poškození lze porovnávat různá vozidla s různými konstrukčními parametry, a to superpozičně se zaměřením na určitý druh poškození dopravní cesty. Díky tomuto přístupu lze posuzovat vhodnost vozidla pro provoz na tratích s různými parametry z hlediska traťové rychlosti a směrových poměrů.

Z výsledků rozboru, provedeného dle této metodiky pro modely lokomotiv s různými hodnotami vybraných parametrů, jasně vyplývá, že prvotní a správnou cestou ke snížení poškozujících účinků jízdy vozidla na trať je snižování hmotnosti nevypružených hmot vozidla, a zároveň i celkové hmotnosti vozidla, resp. hmotnosti na nápravu. Snížení hmotnosti nevypružených hmot může být dosaženo např. pomocí zmenšení průměru kol či použitím brzdy špalíkové namísto brzdy kotoučové. Záměna brzdy však může být problematická například z hlediska hlukových kritérií, jež ovšem nejsou předmětem tohoto hodnocení. Snížením hmotnosti nevypružených hmot lze dosáhnout snížení:

- intenzity poškozování geometrické polohy koleje,
- intenzity degradace šterkového lože,
- možnosti inicializace kontaktně-únavových vad kolejnic,
- opotřebení kolejnic při průjezdu obloukem,
- intenzity poškozování konstrukčních částí výhybek.

Důsledkem redukce opotřebení hlav kolejnic při průjezdu obloukem však zároveň může být zvýšená možnost inicializace a rozvoje kontaktně-únavových trhlin, které jsou v opačném případě odstraňované právě opotřebováváním kolejnic. Vlivem snížení hmotnosti vozidla dochází při zachování trakčního výkonu lokomotivy ke zvýšení koeficientu poškození D3, který zohledňuje přenos tažných sil v kontaktu kolo–kolejnice, a to především z důvodu zmenšení velikosti dotykové plochy.

Poslední sledovanou úpravou bylo zmenšení rozvoru podvozku lokomotivy. Tato konstrukční úprava nemá vliv na poškozující koeficienty hodnotící svislou dynamiku při jízdě v přímé koleji. Hlavní vliv této úpravy se projeví při jízdě oblouky, kdy dochází ke snížení intenzity opotřebení hlav kolejnic ve smyslu úběru materiálu, a to pro všechny kategorie křivosti oblouků. Ovšem tato redukce opotřebení má důsledek ve zvýšené pravděpodobnosti vzniku kontaktně-únavových vad v obloucích velkých poloměrů. Pro oblouk o poloměru $R = 800$ m dokonce vzroste v uvažovaném případě intenzita tohoto poškozujícího účinku, vyjádřená hodnotou koeficientu D4.1, o 44 % vůči referenční lokomotivě. Pro oblouky menších poloměrů je však podle švýcarské metodiky pro dané vozidlo uvažovaná intenzita tohoto poškozujícího účinku nulová. Z pohledu účinků na výhybku má uvažované zkrácení rozvoru podvozku sice negativní, ale velmi malý vliv.



Obr. 10 Průměrné jednotkové ceny za opotřebení ve dvou vybraných traťových úsecích SBB, stanovené vždy pro lokomotivní vlak tvořený jednou vyšetřovanou lokomotivou (a porovnání s vybranými existujícími typy elektrických lokomotiv).

Závěrem je nutné připomenout, že diskutovaná švýcarská metodika hodnocení poškozujících účinků jízdy vozidla na trať primárně slouží k zohlednění těchto účinků ve výši poplatků za použití dopravní cesty, přičemž je cílem zvýhodnit provoz „track-friendly“ vozidel (a kompenzovat tak případné vyšší pořizovací náklady). Přímé dopady výše analyzovaných principů zohlednění jednotlivých dílčích poškozujících účinků jízdy vozidla na kolej jsou demonstrovány v grafu na obr. 10 na výsledných hodnotách jednotkové ceny za opotřebení vyšetřovaných typů vozidel ve dvou traťových úsecích v síti SBB. Jde jednak o novostavbu trati Bern–Olten, navrženou pro rychlost až 200 km/h, a jednak o starou gotthardskou trať v úseku Göschenen–Erstfeld, kde jsou ve velké míře zastoupeny oblouky o velmi malých poloměrech. Vyšetřované modely lokomotiv jsou zde porovnány nejen vzájemně mezi sebou, ale také s vybranými existujícími typy vozidel. Ve všech případech je uvažována jízda lokomotivního vlaku, tvořeného jedním vozidlem daného typu, a maximální rychlost vlaku 160 km/h (s výjimkou lokomotivy Re 486, u níž je respektována její maximální provozní rychlost, tedy 140 km/h). Pro vozidla, která jsou schválena pro provoz ve Švýcarsku, je přitom možné tyto výsledky ověřit v on-line cenovém kalkulátoru SBB [6], odkud jsou příslušné výsledky také převzaty (data z roku 2019). Je zřejmé, že mezi sledovanými lokomotivami vykazuje suverénně nejlepší výsledky původní typ Re 460, jehož konstrukce jednak klade důraz na minimalizaci nevypružených hmot v pojezdu a jednak respektuje švýcarské traťové poměry zejména tím, že je pojezd lokomotivy vybaven systémem pasivního radiálního stavění dvojkolí. Presentované výsledky také jasně ukazují na celkově vyšší úroveň poplatků za použití dopravní cesty na obloukovitých tratích, kde dochází k výrazně vyšší intenzitě opotřebení koleje, oproti tratím s příznivějšími směrovými poměry.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení a za podpory projektu SGS_2020_009 „Vybrané výzkumné problémy z oblasti dopravních prostředků a infrastruktury“ Univerzity Pardubice.

Literatura

- [1] MICHÁLEK, T., ZELENKA, J. K problematice silových účinků vozidla na kolej ve vztahu k placení poplatků za použití dopravní cesty. Nová železniční technika č. 5/2016, s. 12-20.
- [2] GIGER, M.: The new Track Access Charging Scheme in Switzerland (2013/17). TAC Summit, Bern, 12. 4. 2016.
- [3] Base Price Wear in the train-path pricing system 2017, Instructions for determining vehicle prices. Bern: Federal Office of Transport (BAV), Finance department, 2017.
- [4] GM/TT0088, Issue: 1, Revision: A. Permissible track forces for railway vehicles. Derby: British Railways Board, Group Standard. 1993.
- [5] MICHÁLEK, T., ŠLAPÁK, J., ŠPALEK, P., HORA, M. Hodnocení poškozujících účinků jízdy kolejových vozidel na kolej. SúčasnÉ problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2019: zborník prednášok II. Žilina, s. 65-73, 2019.
- [6] Preisberechnung. [on-line] Webové stránky SBB. Dostupné z: <https://www.sbb.ch/de/iframes/preisberechnung.html> [cit. 2020-04-01]

Lektorovali: Ing. Tomáš Heptner, VUKV a.s.
 Ing. Martin Táborský, Správa železnic

Robert Číhal¹

Ke dvěma možným použitím metody RailTopoModel a formátu railML při zobrazování objektů a procesů probíhajících na železniční síti

Klíčová slova: *metodiky RailTopoModel a railML, modelování objektů a vlastností železniční sítě, standardizace IS drah, Informační systém SŽ², Prohlášení o dráze, prostorová poloha koleje*

Abstrakt

Obsah příspěvku zobecňuje některé výsledky projektu TAČR TL02000312 - 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“. Zaměřuje se na základní rysy obou obecných informačních nástrojů a podmínek jejich použití v praxi, překonávající jejich dosud tradiční provozně-dopravní úlohy. Jedná se o dva nové případy použití (use case), na jejichž řešení se v rámci konsorcia RailML podílí mj. i specialisté SŽ. První z nich je zaměřen na standardizovanou informační podporu obsahu dokumentu „Prohlášení o dráze“ - „NEST“ jako dokumentu, v němž provozovatel dané dopravní cesty představuje jejím potencionálním uživatelům – dopravcům – její hlavní provozně-technické a ekonomické rysy a podmínky použití. V této roli NEST mj. vytváří i základní rámec pro stabilizovanou identifikaci částí sítě, primárně využitou pro účely zpoplatnění jejího využití. Druhý je označen „TRGE“ (Track geometry) a zabývá se prostorovým popisem kolejí a jejich podstatného technologického okolí v rozsahu potřeb projektu stabilizace jejich geometrické polohy s využitím strojů svrškové mechanizace. Tento use case je již plně orientován na řešení úloh tvořících (v dané specializaci) jádro metodiky BIM.

Abstract

The content of the contribution generalizes some results of the TAČR-ÉTA TL02000312 project "Localization and implementation of the RailTopoModel methodology and railML v. 3 marking language into the conditions of spatial description of railways in the Czech Republic taking into account the application of the BIM methodology". It focuses on the basic features of both general information tools and conditions of their use in practice, overcoming their still-traditional operational and transport tasks. There are two new use cases, which solution is realized in frames of the RailML consortium and SŽ specialists are also taking part in that. The first focuses on standardized information support for the content of the document "Network Statement" ("NEST") as a document in which the infrastructure manager represents main opera-

¹ 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

² Od 1. ledna 2020 se změnilo označení státní organizace „SŽDC“ na „Správa železnic“, pro účely tohoto příspěvku zkrácené na „SŽ“. V odkazech na starší literaturu je ponecháno původní označení.

tional and technical and economic features and conditions of given railroad use to its potential users - transport operators. In this role, NEST, among others, also creates a basic framework for the stable the network's parts identification, primarily used for the purposes of charging and levying of their use. The second is marked "TRGE" (Track geometry) and deals with spatial description of the tracks and their essential technological surroundings within the scope of the project's needs of stabilizing their geometric position using permanent way's mechanization machines. This use case is already fully oriented towards solving the tasks constituting the core of the BIM methodology (in a given specialization).

Úvod

Model je účelovým zobrazením části reálného světa definovaným, současně s cíli a nástroji procesu modelování, jeho tvůrcem. Hlavním kritériem jeho úspěšnosti je proto pouze míra naplnění jeho autorem očekávaného efektu, projevujícího se v rozšíření poznání reality, dosažení nějakého materiálního výsledku nebo i jiného, zcela abstraktního a subjektivního účinku. Teprve pomocnými kritérii pak mohou být další vlastnosti procesu modelování, vyjádřené např. jeho pracností, dobou potřebnou k jeho vytvoření, možnostmi přenosu výsledků do jiného prostředí atd. Pouze v tomto smyslu tak lze srovnávat i modely různých autorů a zpracované i jinými metodami, ovšem vztahujícími se ke stejné realitě a vedoucími ke shodně deklarovaným cílům.

Metod modelování reality je nepřeborné množství. Jednou z nich je i její datový popis. Tedy soupis vybraných kvalitativních a kvantitativních charakteristik a procedur, které umožňují s využitím dalších modelovacích nástrojů (vzorců, diagramů, programů apod.) tyto údaje strukturovaně uspořádat, prezentovat a s jejich pomocí případně odvozovat i další, přímým měřením nezjišťované nebo dokonce aktuálně nezjistitelné (např. budoucí) charakteristiky modelujícím subjektem sledované části reality. Do této skupiny modelů patří jak jízdní řády všech typů dopravních prostředků, tak i postupy dlouhodobé údržby dopravních cest.

V teorii a praxi jsou známy dva hlavní směry takovýchto postupů. Metoda „shora dolů“ vychází z předem určeného záměru modelujícího subjektu, vymezujícího deklarativně globalizované parametry modelovaných procesů zvolené (vyšší) úrovně a struktury popisující požadované výsledky chování prvků nižších úrovní tyto cílové parametry naplňující. Tento typ modelů je zpravidla spojen s administrativně-správními, a těmi technickými procesy, u nichž převládá potřeba dosažení právě požadovaných výsledků jejich prvotního zadání nad vytvářením technicky věrných detailnějších obrazů reality.

Opačně fungující metoda „zdola nahoru“ vychází naopak z přiměřeně podrobného popisu vybraných (zpravidla fyzikálně-technických, ale i ekonomických a jiných) vlastností prvků zvolené úrovně části reality a vyjádření funkčních relací mezi nimi (i ve více než 3 standardních rozměrech – srv. [1]), umožňující pomocí nich dále odvozovat kvalitativní a kvantitativní parametry popisující chování celků vyšších agregovaných úrovní. Na rozdíl od předchozí metody proto mohou být pomocí takto navrhovaných modelů nalézány i zákonitosti, vysvětlující procesy, které nebyly při prvotní formulaci jejich principů vůbec známy.

Názorným příkladem modelu prvního typu je matematicky ryze abstraktní Ptolemaiovův geocentrický popis sluneční soustavy, který lze s jistou nadsázkou považovat za jakýsi „jízdni řád oběžnic“, s jeho kružnicemi diferentů a epicyklů. Ty sice umožnily vypočítávat po velmi dlouhou dobu dostatečně přesné navigační údaje pro námořní plavbu i cestování po souši, ale vůbec nepopisovaly skutečné pohyby vesmírných těles. Opačný Koperníkův přístup, vycházející z věcně správné heliocentrické podstaty reality, však zprvu dával horší praktické výsledky než Ptolemaiovův, protože používal pro modelování pohybu tehdy známých planet nevhodné kružnice. To se změnilo, až když Kepler nahradil kružnice obecnějšími kuželosečkami. Po dalším doplnění původně ryze geometrického modelu Newtonovým fyzikálně správným vysvětlením funkčních (gravitačních) vazeb mezi tělesy, pak tyto modely začaly umožňovat i predikce poloh a vlastností dosud zcela neznámých objektů (z počátku např. planet Uran a Neptun). Za pozornost ovšem stojí, že ještě pozdější Einsteinovo relativistické a Planckovo a Heisenbergovo kvantové zpřesnění, na jejichž základech stojí v současnosti predikce chování mnoha pouhými smysly zcela nepoznatelných objektů mikro i makro-světa, upravují principy modelování reality původně koperníkovské, nikoli ptolemaiovské.

Nemá-li daný model sloužit naplňování pouze interních subjektivních pocitů (např. umělecké dílo), musí být schopen komunikovat s okolním světem a jinými modely reality. Tato komunikace obecně probíhá pomocí datových rozhraní, definovaných v daných okruzích praktických potřeb prezentovatelnými a všeobecně přijatelnými způsoby. Základem úspěšné komunikace mezi různými modely pak je vyjádření a naplňování kritérií shod času a formátů (vč. metrik) předávaných dat a identifikací věcně srovnatelných entit.

Aktuální požadavky na různé typy modelů a datových rozhraní, použitelných v oboru železnic jsou v současnosti v ČR spojeny s řešením jak úloh tvorby mezinárodně synchronizovaných a širokým spektrem informačních kanálů prezentovaných jízdničních řádů, tak mnoha typů inovací zařízení železniční infrastruktury. A ovšem i řady ekonomických souvislostí obou uvedených provozních prostředí. Společným objektem všech těchto základních směrů aplikací nějaké metody modelování je přitom prostorové zobrazení železniční sítě, na níž tyto procesy probíhají. Takto obecně formulované cíle ovšem vedou k velmi různorodým modelům. Ty prostorově přesnější se aktuálně začínají uplatňovat mj. i při řešení digitalizovaného mapového zobrazení území státu s využitím nedávno definované a průběžně zpřesňované Národní sady prostorových objektů (NASAPO viz např. [2]), případně Digitální technické mapy (DTM viz např. [3]) a při projektování staveb metodou BIM (viz např. [4, 5]). V prostředí samotného rezortu dopravy se pak zřejmě nejvíce uplatní v rámci pokračování projektu [6].

1. Principy metody RailTopoModel

Výše naznačený, ale zdaleka ne úplný, rozsah typů provozních a dalších úloh vznikajících v rámci informačních systémů (IS) drážních organizací a speciálně provozovatelů železniční infrastruktury, je důsledkem prostorové a funkční šíře samotné podstaty železnice. Žádný jiný dopravní, ale ani výrobní a podobný systém, nemá takový prostorový rozsah jdoucí přes hranice kontinentů, rozmanitost použitých technologií a současně takovou vnitřní provázanost jednotlivých komponent dopravní cesty a vozidel, jako právě železnice. Nehledě na dlouhodobost její existence a rozsah

jejího působení jak na společnost, tak přírodu, do níž je síť zakomponována. Takovouto šíří procesů však nelze informačně zvládat jediným způsobem či aplikací. I proto se v průběhu její cca 200 leté historie vyčlenilo několik hlavních metodik modelování rozhodujících provozních procesů. Toto rozdělení je ale dnes již v některých aspektech téměř absolutní, a proto v tomto pojetí začíná být brzdou řešení komplexnějších úloh.

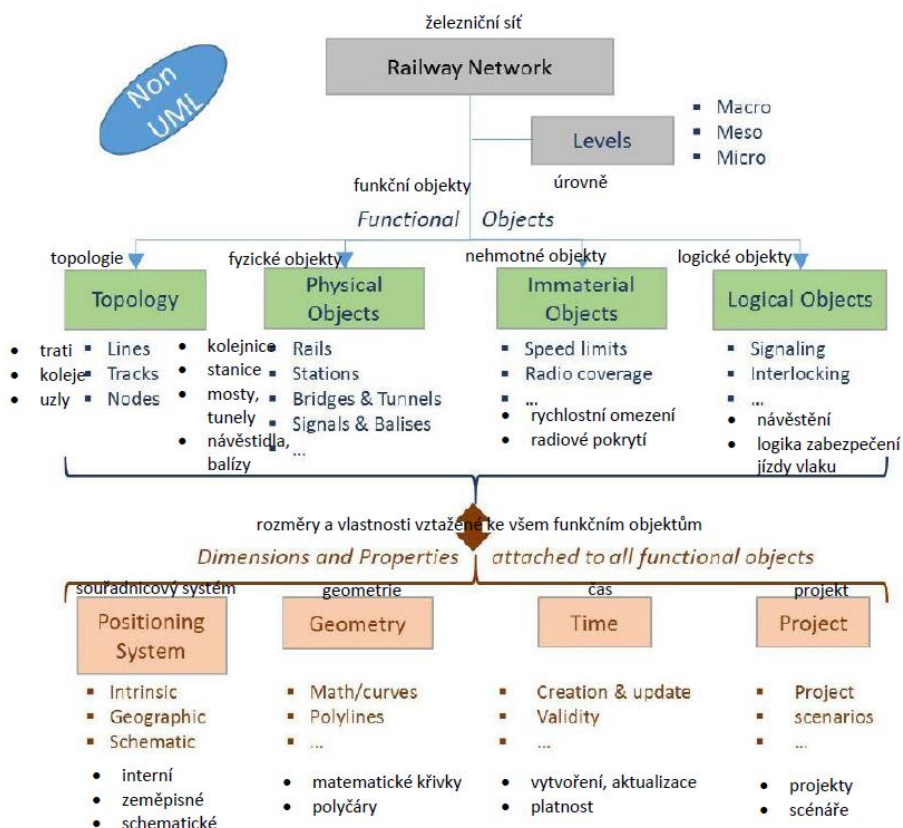
Veřejnosti nejznámější modely organizace vlakového provozu jsou spojeny s využitím jízdních řádů (GVD). Ty jsou platné vždy pouze v určeném, relativně krátkém, období a činnosti s nimi spojené probíhají zpravidla v reálném čase. K prostorovému modelování sítě i pro značně složité úlohy jim přitom většinou stačí datový obraz liniových hran dopravních linek spojujících bodové uzly - jejich počátky a konce. Vnitřní procedury s tímto modelem spojené, včetně mnoha úloh zabezpečení jízdy vlaků i posunových dílů při jejich pohybu ve stanicích i mezi nimi, jsou ovšem, mj. i z důvodů zajištění bezpečnosti provozu, širší veřejnosti zpravidla nepřístupné. Jejich prostorová přesnost pak je odvoditelná v extrému až z délky vlakové soupravy pohybující se po celé evropské síti a činí řádově 10 m. V tomto rozsahu lze pak formulovat i účinná zjednodušení modelů působících ve standardizovaných, resp. zjednodušených podmínkách. S takovými modely pak pracují i funkčně příslušné ekonomické aplikace.

Poněkud jinak je tomu s procesy výstavby a údržby objektů železniční dopravní cesty (ŽDC). Na předchozí skupinu úloh těsně navazují modely interakcí drážních konstrukcí s drážními vozidly, mající při dosahovaných rychlostech a s dynamikou sil působících zejména v nelineových úsecích, již značný význam. Jejich příkladem mohou být až teoreticky velmi náročné modely pohybu dvojkolí daných vlastností po dráze s danými (obecně zadatelnými) charakteristikami vrstev železničního spodku, svršku, trakce a dalších konstrukcí, které mají podobu až složitých soustav diferenciálních rovnic. Po dlouhou dobu se zdálo, že pro provozní praxi bude stačit výsledky takovýchto akademických modelů převést do vhodně zjednodušených empirických vzorců a tabulek norem používaných jak při vývoji součástí vozidel, tak i při návrzích stavebních konstrukcí a provozních charakteristik jízdních řádů. Zvyšování hmotností vlaků i rychlostí při současném odlehčování a heterogenosti konstrukcí a sledování dlouhodobých režimů jejich údržby ovšem vede k potřebám komplexnějších a současně i lokálně přesnějších modelů. Ale i sjednocování standardů a provozních evidencí. Na tuto oblast je v současnosti zaměřen mj. i obsah tzv. 4. železničního balíčku EU a v detailu soustava pravidel technických specifikací infrastruktury (TSI INF) a Registr infrastruktury (RINF primárně viz [7], aktuálně [8]).

Životní cykly projektovaných a následně udržovaných konstrukcí se měří na desítky až stovky let, jejich prostorové charakteristiky vedou v extrémní přesnosti projektů až k desetínám mikrometrů, přičemž v praxi jsou měřitelné až na desetiny milimetru. Toto informační prostředí je ale současně i velmi otevřené k širší odborné veřejnosti, zejména veřejné správě a obecnému stavebnímu okolí. Což se týká třeba i zobrazování drážních konstrukcí v mapách různých měřítek, převodů statistik dopravní práce a výkonů na úroveň stavebních prvků železničního svršku i spodku v dané lokalitě jako parametrů modelů obecných procesů opotřebení a obnovy a mnoha dalších úloh (např. v podobě „řádu“ koleje).

Rostoucí požadavky na zkracování doby výstavby, snižování jejich nákladů i optimalizaci režimů údržby tratí, vyvolávají při současných možnostech výpočetní techniky (IT) s teoretickou kapacitou zvládnání i velmi komplikovaných výpočtů a tendencí k realizaci umělé inteligence, úvahy o jejím využití i pro tyto účely. Řešení praktických úloh však zpravidla vyžaduje respektovat podstatné místní zvláštnosti jak přírodně-technického, tak společensky-historického a technologického charakteru, a zejména jednoznačně a dlouhodobě identifikovat modelované entity. Modely jsou proto specifické a obtížně standardizovatelné. Zejména za situace, kdy je potřebné mít k dispozici konkrétní data o reálných provozních podmínkách v dané lokalitě.

Jak je ukázáno již v příspěvku [9] rekapitulujícím starší vývoj v této oblasti, byly právě uvedeným směrem orientovány již před několika lety záměry autorů metodiky RTM a předpisu UIC IRS 30100 [10]. Podle jeho předmluvy je: „Cílem projektu RailTopoModel ... definovat univerzální popis objektů železničního podnikání, nezávisle na jejich použití (uživatelsky nedogmaticky), strukturovaného ve vrstvách (topologie, určování polohy, infrastruktura, návěstění³,..., životní cyklus) a otevřeného pro budoucí rozvoj“. Není asi zcela náhodné, že první podněty k realizaci RTM vzešly z okruhu právě tvůrců metodiky RINF. Základní struktura objektů popisovaných touto metodikou je uvedena na obr. 1.



Obr. 1 Přehled funkcí RailTopoModelu v. 1.0 (s použitím [10] obr. 1)

³ V originálu je zde použit pojem „signalling“ překládaný v tradičním smyslu jako „návěstění“, pro jiná dopravní odvětví i jako „signalizace“. S ohledem na vývoj zabezpečovacích technologií (ETCS apod.) postupně omezujících význam viditelných návěstí ve prospěch signálů vydávaných elektronickými zařízeními (balízami) lze uvažovat i o jeho dlouhodobějším posunu významu ve prospěch „vydávání signálů“.

Metodika předpisu [10], prezentovaná formou unifikovaného modelovacího jazyka UML, je ovšem již ve své verzi 1.0 velmi abstraktní. Podle ustanovení uvedených v úvodu dokumentu i obsahu schématu na obr. 1 model:

- 1) poskytuje topologickou reprezentaci kolejové sítě
- 2) podporuje zobrazení dopravně významných míst na jakékoliv úrovni detailu
- 3) umožňuje data seskupovat i rozdělovat, avšak při zachování vazeb mezi úrovní podrobností (nebo „měřítko“) a zajištěním, že je zachována konzistence dat přes všechna měřítko
- 4) umožňuje povolené trasy identifikovat na základě topologie sítě a dalších dostupných informací jako jsou události (např. změny vlastnictví stavebních částí tratí) a vlastnosti prvků (např. zdrojů napájení, návěštních zařízení atd.)
- 5) podporuje více referenčních polohových systémů a zajištění konzistence při transformaci z jednoho referenčního systému do jiného.
- 6) definuje a umísťuje „bodové“, „liniové“ a „plošné“ entity
- 7) je navržen tak, aby se progresivně obohacoval o nově se vyvíjející koncepty podporující železniční podnikání.

Pokud se jedná o topologii sítě, je model založen na teorii grafů, přičemž, všechny uzly a hrany jsou odvozené od jediné třídy, zvané „NetElement“ (SíťovýPrvek). To mj. umožňuje, že ačkoli model popisuje všeobecně použitelnou síť a každá detailní úroveň sdílí stejná pojetí modelu, přesto lze podle požadavků odpovídajících **případů použití** („**use case**“ v terminologii metody UML) odvodit předem neurčený počet dalších úrovní. Právě tento charakter dokumentu dále posiluje její aktualizace v. 1.1., zavádějící mj. i principy navrhování IS metodou SOLID⁴.

Podrobnější analýzou charakteristických úloh bylo nalezeno cca 7 úrovní umožňující komplexní zobrazení sítě v obecném smyslu RTM. Naznačenou neurčitost lze přitom odstranit pouze přesnější specifikací cílů modelování. Bylo totiž ukázáno, že různá provozní odvětví vnímají individualitu shodných entit a konfigurací kolejí odlišně.

Např. stavební prvek „výhybka“ považují klasické dopravní agendy typu staničního řádu jen za jeden jednoznačně identifikovaný celek, maximálně s rozlišením jeho ramen. Ovšem bez ohledu na to, že v případě záměny konkrétního prvku jiným, provedeným bez změny geometrie kolejí, zůstane tato jeho dopravní identifikace zachována. Stavební pohled ale v souvislosti s recyklací materiálu identifikuje každý kus samostatně, a to po celou dobu jeho života a bez ohledu na jeho aktuální umístění v síti. Přitom nejen celé výhybky, ale i jejich jednotlivých jazyků, srdcovek a dalších komponent. Tento pohled ale současně eviduje jen počet a typ přestavníků dané výhybky. Na rozdíl od odvětví zabezpečovací techniky, které individuálně sleduje i identifikuje každý z nich. Právě tím se úrovně přesnosti popisu jinak shodných zařízení, odvozené z potřeb jejich správců, významně liší.

Tak lze pokračovat dál s jednotlivými stožáry trakčního vedení nebo až na nich instalovanými odpojovacími či pojistkami, prvky systému zabezpečení (např. počítadla hor-

⁴ jde o zkratku z označení principů „Single responsibility“, „Open/closed“, „Liskov substitution“, „Interface segregation“, „Dependency inversion“, jejichž důsledná realizace by měla umožnit řešení i různých okrajových situací a nepravidelností – viz např. <https://en.wikipedia.org/wiki/SOLID>

koběžnosti a náprav atd.), body železničního bodového pole, zajišťovacími značkami geometrie atd. Souhrnněji:

- 1) na **nejnižší** (specificky po odvětvích členěné úrovni) tak leží **nejdetailnější samostatné a individuálně identifikované technické prvky** konstrukcí železniční infrastruktury⁵, v této úrovni nehraje žádnou roli topologie sítě a jen specifickou roli má její lokální geometrie
- 2) druhou úroveň tvoří jejich první agregace do ucelených **konstrukčních prvků stavebně-technických objektů** - koleje ve stavebním smyslu, výhybky a výhybkové konstrukce, přejezdy (pro jednotlivou kolej), části mostů (spodní stavba, mostní konstrukce⁶ v jednotlivém poli a koleji), tunelové trouby, hrany nástupišť, jednotlivá návěstidla atd., zde významně rostou aspekty 3D geometrie a v zobecnění BIM dle [9] až na 6D popis objektů
- 3) třetí úroveň jsou komplexní **agregované konstrukce** typu kolej v dopravním smyslu prezentovaná stavebně jako „**kolejová trasa**“ tvořená orientovanou posloupností stavebních prvků „kolej ve stavebním smyslu“ (zpravidla shodně jako část hmotného majetku) „větev výhybkové konstrukce“, „dilatační zařízení“⁷, dále mosty a tunely jako celky, budovy atd.; v této úrovni nabývá na významu celková **topologie sítě** v přesném stavebně-geodetickém pojetí
- 4) za čtvrtou úroveň modelů lze považovat **trati** jako stavebně-technické konstrukce (**nikoli linky** ve smyslu opakovaných spojů dle GVD, ale spíše v chápání **určené části dráhy** podle vydaných **úředních povolení** provozování dráhy⁸ - UP) zahrnující i několik paralelně vedoucích kolejí a řadu zařízení železničního svršku (ŽSv) a spodku zabezpečení a trakčních vedení atd., na nich ležící **zastávky** a samostatně identifikované **dopravní s kolejovým rozvětvením** obsahující mj. i řadu specializovaných staničních zařízení (rampy, mostní váhy, kolejové brzdy, systémy osvětlení, informační systémy, stavědla a jejich vybavení atd.); stavební pojetí topologie se zde překrývá s linearizovaným schématem sítě, význam lokální geometrie postupně mizí
- 5) v páté úrovni jsou **dopravně významné úseky celostátní sítě**⁹ a jako ucelené a dopravně použitelné větve sítě mezi určenými (ve smyslu hran grafu) dopravně významnými body (železničními stanicemi, místy vlakovtorby apod. v roli uzlů) – v této skupině již významně převládá dopravní, časově však značně variabilní pohled na síť - stabilizovaným seznamem je např. výčet tratí dle UP, od této

⁵ Podrobná diskuse účelů modelů, např. stavebně-montážních postupů přitom může vést k hranici odlišení hromadně instalovaných komponent – např. prvků upevnění koleje a pražců nebo odlišení prvků typu „předmontované kolejové pole“ a obdobně v jiných než stavebních odvětvích – v případě technologií logických funkcí zabezpečení jdoucích až do nehmotných entit typů signálů a návěstí realizovaných např. balízami apod. RTM je ale prioritně orientována na prostorové modelování sítě, nikoli logiku funkcí a stavebních postupů.

⁶ pro dopravní pohled na ŽDC je příznačné, že mostní konstrukce, natož pak propustky, až na situace, kdy tyto objekty způsobují omezení přechodnosti nebo prostorové průchodnosti, v podstatě nebere v úvahu

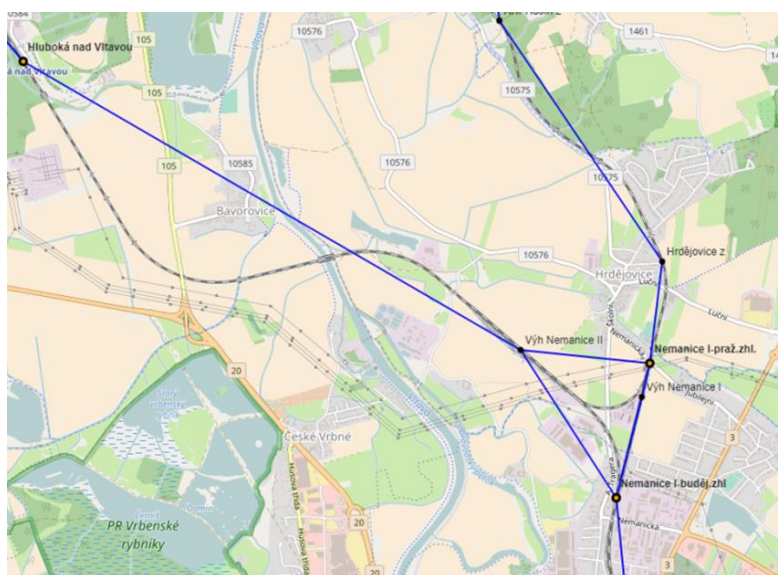
⁷ takto sestavená entita může být jednoznačně identifikována v celé síti a vybavena atributy umožňujícími, aby se stala reprezentantem nejen příslušné koleje v dopravním smyslu, ale i celé trati

⁸ tyto přechody významů zatím nejsou zcela legislativně ani terminologicky rozlišovány

⁹ Nikoli ovšem ve smyslu celostátní dráhy dle zákona o drahách, protože sem lze řadit i dráhy regionální nebo vlečky. Avšak s tím, že v jednodušších případech mohou splývat s úrovní „trati“.

úrovně výš pak splývají linearizované obrazy sítě s mapami malých měřítek, mizí detaily uzlů a lokálních kolejišť

- 6) šestou úroveň tvoří **ucelené části** (jednotlivé větve) **dopravních tahů** (koridorů, transičních přeprav kontejnerů apod.) v národní úrovni
- 7) nejvyšší úrovní jsou **celé mezinárodní koridory a podobné mezinárodně dohodnuté systémy** členění celoevropské sítě, určené dlouhodobě stabilizovaně názvem a legislativou, ale věcně často pouhým výčtem s několika větvemi bez upřesnění trasování,



Obr. 2 Srovnání topografického a liniového modelu popisu sítě v okolí výhyben Nemanice (zdroj: produkt KAPO na adrese <https://provoz.szdc.cz/kalkulacka/> veřejně přístupný dopravcům jako pomůcka kalkulace ceny použití ŽDC ve smyslu Prohlášení o dráze SŽ)

Podrobná diskuse všech aspektů tohoto uspořádání modelů, spojená s diskusí možných metod identifikací a podrobností prostorového popisu jednotlivých částí IS jako základních informačních nástrojů komplexních modelů reality značně přesahuje možný rozsah tohoto sdělení. Je ale podstatou realizace různých typů modelů v praxi a možností jejich vzájemných transformací (srv. např. obrazy sítě dle obr. 2., podobně úvratě, splítky a jiné anomálie topologie sítě).

Metodika RTM sice zcela přesně nspecifikuje co vše má být identifikováno, ale předpokládá použití dvou základních metod. A to identifikaci objektů pomocí **universálního identifikátoru „UUID“** a pomocí **formalizovaných uživatelských identifikátorů (legacyID)** doplněných o názvy entit, které se mohou přenášet mezi jinak uzavřenými systémy. Za ryze implementační detail je pak třeba považovat konkrétní realizace počítačových identifikátorů (např. v podobě sekvencí nebo stochastických identifikátorů), které by měly být v jednotlivých výskytech entit s uživatelskými formalizovanými identifikátory v relaci 1 : 1. Tyto interní IT identifikátory **nejsou mezi uzavřenými systémy** (např. SAP R/3[®] a REVIT[®]) bezprostředně **přenositelné**, a proto také **nemohou být použity ve standardizovaných rozhraních** mezi obecnými systémy.

I tento aspekt je mj. zahrnut mezi odlišnostmi RTM v. 1.0 a v 1.1, která např. v třídě *BaseObject* nově zachovává pouze identifikátor *id* generického typu *tID*. Tento typ identifikátoru přitom slouží uživateli k volbě mezi dceřinými typy dat *tID*. Doporučenou možností je právě použití UUID. Uživatelé, kteří chtějí zachovat kompatibilitu se stávajícími datovými úložišti, však mohou použít i identifikátor *legacyID* (podrobněji viz Nygren T. v [11]).

V těchto aspektech již ale obecné zásady metody RTM vyžadují konkrétnější IT metodickou i technologickou realizaci. Obě byly nalezeny v rozšíření jazyka XML do podoby množiny specializovaných drážních aplikací souhrnně označených jako „railML“¹⁰.

2. Principy metody railML

Jazyk XML tvoří v současnosti základnu pro velmi široké spektrum aplikací tvořených rozsáhlou komunitou vývojářů, pracujících zejména ve webovém prostředí a při mezisystémové a standardizované komunikaci. Efektivní aplikace pracující s formátem XML jsou v současnosti vytvářeny většinou v programovacích jazycích C++, NET, Java a dalších. Existuje však i možnost zpracovávat data ve formátu XML i v jednodušších prostředí MS Excel[®] nebo MS Access[®]. V průběhu doby bylo vytvořeno také velké množství různých rozšíření základní verze XML určených pro specializované oblasti. Jednou z nich je i metodika railML, určená pro popis objektů a nejrůznějších událostí (počínaje sestavou GVD) spojených s železniční dopravou.

Samozřejmým předpokladem součinnosti railML s potřebnými daty rutinních agend ovšem je, že všechna takto synchronizovaná data budou k dispozici ve formátu XML. Své standardy má metodika railML deklarované ve 2 základních úrovních, a to formou jazyka UML generovaného v podobě HTML s využitím nástroje Enterprise Architect[®] a v podobě **souborů XSD**. Ty lze členit do dvou skupin – v první jsou všeobecné prvky určené pro universální použití všemi aplikacemi, ve druhé jsou rozšíření pro specializované úlohy, odvozené v rámci činnosti členů konsorcia RailML postupy označovanými jako řešení „use case“. Tato koncepce by měla zaručit, že mezinárodně vyvíjené postupy budou mít i své realizátory a nepůjde „jen“ o akademické projekty „do šuplíku“. Na druhé straně to ovšem znamená, že v daný okamžik existující postupy **vyhovují jen pro některé úlohy** (odpovídající dosud vyřešeným use case), nemusí však stačit pro další možné prakticky používané úlohy, obecnější metodikou RTM umožněné. Řešením nových use case se tak obecná metoda railML obohacuje a rozšiřuje do nových verzí. Ale i naopak.

Např. ještě v r. 2017 konsorcium RailML předpokládalo plné využití rozhraní railML i v aplikacích vedoucích ve směru k **technologickým BIM**. Tato situace se však na začátku r. 2018 změnila. Tehdy vedení konsorcia RailML, jistě z dobrých důvodů, přenechalo prostor pro komunikace stavebních projektů s jejich podstatným okolím plně, celosvětově v tomto použití podporovanému, **rozhraní IFC** [12], jehož metodika použití pro potřeby projektování a obecněji popisu železnic je rozpracovaná

¹⁰ na rozdíl od konsorcia, které tyto úlohy řeší a označuje se „RailML“, aktuálně ji tvoří celkem 78 subjektů různé velikosti, zahrnující manažery infrastruktury (50), výrobce, dodavatele ap. (16) a výzkumné organizace (podrobněji viz Kolmogoren V.P, v [11])., indikace registrovaného názvu „railML“[®] je dále pro přehled vypouštěna

v současnosti projektem **IFC Rail** (podrobněji viz níže a [25 - 27]. Což ovšem vede k potřebě budování dalších specializovaných rozhraní mezi účelově strukturovanými daty projektů orientovanými na realizaci relativně krátkodobých a lokálně omezených stavebně-montážních činností s dlouhodobě fungujícími prostorovými (pasportními i dopravními) evidencemi drah jako celků. Právě v těchto souvislostech se pak mj. uplatňují i potřeby dlouhodobé stability identifikací částí sítě v naznačených úrovních a volby vhodných identifikačních metod, zejména takových objektů s dlouhým životním cyklem, jakými jsou stavební konstrukce (železniční svršek, spodek, mosty, tunely, trakční vedení atd.).

Výše uvedené soubory XSD jsou uloženy, v případě railML ve veřejně přístupném datovém prostoru, jako vzory v daném okruhu aplikací použitelných dat, v podobě v tzv. „namespace“. V současnosti má metodika railML připraveno celkem 7 souborů XSD, které mohou být formou namespace připojovány k obecnému základu `xmlns:xs=http://www.w3.org/2001/XMLSchema` (z toho první 3 skupiny jsou všeobecné):

- 1) **railml3** vytváří zastřešující člen obsahující seznam XSD souborů tvořících aktuální verzi railML
- 2) **gml4railml3** – přebírá z obecných deklarací souborů konsorcia OGC popisy prostorových objektů (bodů, čar, ploch atd.) a formuluje **obecně použitelné prostorové datové struktury**
- 3) **common3** – obsahuje samostatně definované struktury (komplexní i jednoduché typy) používané společně ve všech drážně orientovaných aplikacích, počínaje **universálním identifikátorem UUID**, až po **generický identifikátor**
- 4) **infrastructure3** tvoří vlastní jádro popisu sítě; deklaruje všechny objekty, relace a další nástroje obecně formulované v RTM např.:
 - a) **výhybky a křižovatky** (přesněji v české terminologii výhybkové konstrukce)
 - b) systémy udávání **polohy a souřadnicových systémů**,
 - c) **body pro vstup ne-railML formátu** – např: `<xs:element name="PhysicalFacilities" type="rail3:PhysicalFacilities"/>` (viz též poznámku 14 tohoto textu)
- 5) **interlocking3** obsahuje funkční popis zařízení zabezpečovacích zařízení, která v tomto souboru XSD velmi těsně navazují na prostorově více orientovaný soubor „infrastructure3“
- 6) **timetable3** obsahuje (výhledově¹¹) podporu zpracování jízdních řádů
- 7) **rollingstock3** obsahuje (výhledově) podporu zpracování dat o drážních vozidlech)

Příklad úvodu souboru XSD je uveden níže:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
  <railML xmlns="https://www.railml.org/schemas/3.1"
  xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml/3.2/"
  xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/"
```

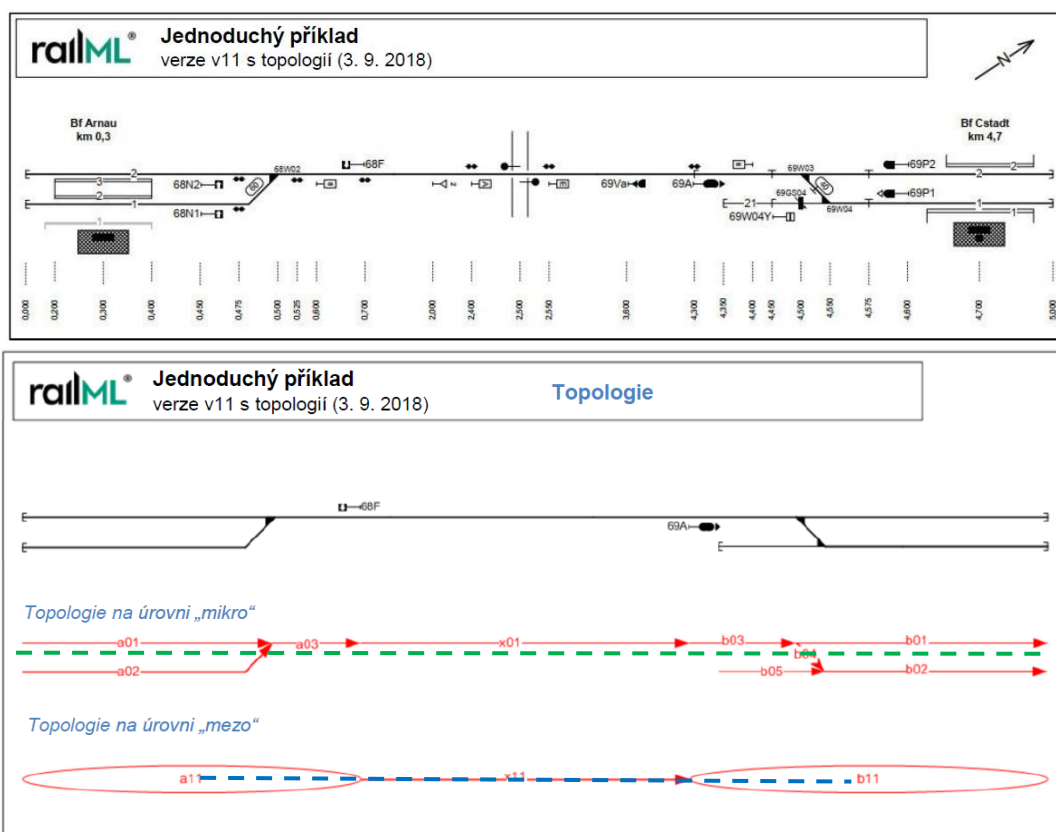
¹¹ poslední dvě skupiny dat zatím nejsou ve verzi 3 dokončeny, jsou však základem využití ve verzích nižších

```

xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance" xsi:schemaLocation="https://www.railml.org/schemas/3.1
https://www.railml.org/schemas/railml-3.1/railml3.xsd" version="3.1">
</railML>

```

Ve své praxi usiluje konsorcium RailML o začlenění metodiky railML mezi normativy ISO. Kromě definiční dokumentace přitom používá dalších 5 nástrojů pro popis metodiky jako celku. Teoretické principy transformace obsahu RTM do aktuální verze railML 3.1 jsou vysvětleny v tzv. tutoriálech (pro sledované účely jsou významné dva [13, 14]). Potřebné poznatky lze však čerpat i z internetové několikajazyčné (aktuálně celkem v 8, v jistém rozsahu i v češtině) dokumentace označované jako „Wiki“ a prezentované na portálu railML.org. (viz např. [15]) nebo v národních verzích wikipedie. Obsah Railwiki se ale zatím vztahuje spíše ke starší verzi 2.3 a pro verzi 3 se teprve upravuje. Další nástroje mají charakter pomocný (např. diskusní fóra). Jistým problémem těchto dokumentů zatím je, že při snaze o úspornost i didaktiku postupují od velmi jednoduchých příkladů (viz obr. 3) tvorby dat „na zelené louce“.



Obr. 3 Ukázka jednoduchého vzorového kolejiště z tutoriálu [13] – základní situace a vyjádření topologie sítě v úrovních „mikro“ a „mezo“¹².

Což ovšem není případ SŽ, která dlouhodobě rutinně provozuje svůj vlastní specifický IS a datové prostředí railML od počátku své angažovanosti v konsorciu považuje více

¹² zeleně zvýrazněná posloupnost prvků a01, a03, x01, b03, b01 prezentuje jednu z možných kolejových tras v terminologii IS SŽ, tato čára je obecně prostorová, modře zvýrazněná linie je hranou mezi uzly a11 a b11, je vždy lineární, toto rozlišování úrovně „kolejí“ bylo mj. předmětem i konference [11] (Rahmig)

za nástroj **tvorby standardizovaných rozhraní** mezi již existujícími IT nástroji, než prostředek k budování systému nového. Tato situace se ale mění a příklady tutoriálů začínají být postupně navrhovány jako komplexnější. Podnikové či národní použití railML jako rozhraní ovšem vyžaduje doplnění mnoha nových entit, které se v mezinárodním a ryze drážním prostředí nebo v předchozích aplikacích nevyskytly (resp. ani vyskytnout nemohly) a jejich atributů souvisejících se začleněním railML do specifických prostředí. Jde zejména o podrobnější popisy zařízení infrastruktury (např. výhybek podle vlastních národních číselníků konstrukčních typů¹³), ale i další číselníkové soubory, počínaje daty vedenými (v podmínkách IS SŽ) podle předpisů SŽ SR70 [16], M12 [17], v národních podmínkách pak např. o evidenci organizačních jednotek všech dotčených subjektů, tedy nejen drážních, pomocí systému RÚIAN [18] atd.

Takového rozvoje a různorodosti uplatnění metody RTM si však byli její autoři dobře vědomi, a proto již od počátku vytvářeli jisté možnosti, které by, při zachování principů jazyka XML, měly umožnit tyto historicky nebo lokálně podmíněné specifiky řešit. K tomu lze využít několik cest rozšiřujících výše uvedené seznamy standardních namespace o vlastní prostředí, které by mohlo být dále používáno již standardními prostředky¹⁴. A to včetně možností alespoň formální validace dat výsledných souborů XML před jejich předáním ze zdrojového prostředí do zvoleného cílového. K těmto účelům je metodika railML doplněna o specializovaný SW nástroj **RAILVIVID** (viz portál railml.org), který je schopen srovnávat generované soubory s označenými standardními i externě doplněnými standardizovanými zdroji.

Podobných detailů, které jsou stále předmětem diskusí o použitelnosti definovaných vlastností modelu k řešení různých praktických úloh, ovšem obsahuje současná verze railML víc¹⁵. Cestou k jejich řešení je i podrobnější analýza a návrhy úprav XSD souborů pro nové use case, přičemž ve směru k popisu globálnějších vlastností částí sítě daného provozovatele infrastruktury (PI) vede use case **NEST** (z anglického „network statement“), k vyšším detailům a podpoře práce správců zařízení vede více „BIMověji“ zaměřený use case **TRGE** („track geometry“).

Z mnoha praktických důvodů je přitom podstatné, že prostorový popis kolejíšť i poslední zavedené **verze railML 3.1** stále vychází z původní motivace řešitelů prvotního use case řešícího zejména potřeby **dopravně-provozního pohledu na síť a její vlastnosti**. Nejde tedy o specializovaný pohled **správců provozovaných zařízení**, natož **projektantů** stavebně-technických řešení. To má řadu důsledků pro přesnost prostorového i technického popisu kolejíšť, volbu sledovaných vlastností stavebně-technických prvků a formulaci jim odpovídajících datových položek a dalších vlastností IS. To se projevuje např. v tom, že lze sice přesně po úsecích trasy mezi určenými rychlostními popsat rychlostní na volně identifikované kolejové trase profil trati potřebný pro účely sestavy GVD, ale již nikoli skutečné a prostorově proměnné charakteristiky pražcových polí, tvarů kolejnic apod., které se v této verzi zatím

¹³ standard railML např. obsahuje jen poměrové konstrukce, nikoli stupňové a omezený výběr výhybkových konstrukcí (křížovatkových výhybek apod.), navíc v této oblasti jsou patrné významné terminologické problémy

¹⁴ jde zejména o postup vyjádřený deklarací `<xs:any namespace="##other" processContents="lax" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">` podrobněji popsány v <https://wiki2.railml.org/index.php?title=Dev:usingAny>

¹⁵ velmi náročný, byť v návrhu korektní, je zejména prostorový popis sítě zahrnující 3 různé systémy (geodetický, liniový a kartézský pro vyjádření schémat na obrazovce) a jeho mechanismus připojení k funkčním objektům

přiřazují jako **konstantní** vlastnosti vždy k ucelenému prvku „**kolej ve stavebním smyslu**“. A to pro správu tratí a její úlohy, ani pro use case TRGE, ani zdaleka nestačí.

3. Požadavky na informační podporu Prohlášení o dráze (NEST)

Prohlášení o dráze (PoD) je správní dokument, který obecně vychází ze základů Směrnice EU 2008/57/ES o interoperabilitě železničního systému ve Společenství a navazujících, které jsou dále zpřesňovány formou technických specifikací pro nákladní a osobní dopravu (TSI TAF, TAP). Obsahuje ovšem i řadu ustanovení právního, cenového a obecně správního charakteru, upravujících vztahy mezi jednotlivými PI a dopravními operátory jejich dráhy používajícími. Počínaje prostorovou a dopravní specifikací sítě, přes podmínky oceňování použití ŽDC až po vysvětlení pojmů, vzorů formulářů různých žádostí, správních postupů a dalších komentářů. Jeho mezinárodně závaznou osnovu [19] zpracovala agentura Railway Network Europe (RNE). V tomto pojetí tak lze PoD považovat i za významné metodické rozhraní mezi IS zaměřenými na infrastrukturu a dopravu. Z hlediska metod modelování jde ovšem o typického představitele realizace postupů „**shora dolů**“.

Uvedený široký obsah PoD však zjevně není, a pravděpodobně ani nikdy nebude, předmětem zpracování dat pracujících s rozhraním railML. Prvořadé proto je, co vše by mohlo, či mělo, být vhodným (resp. prakticky potřebným) výběrem dat prezentovaným v rámci use case NEST. Tuto specifikaci obsahuje návrh [20], který předpokládá standardní použití verze 3.1. V mezinárodní úrovni se ale příliš nezabývá mnoha dalšími detaily zobrazení sítě, vč. praktické realizace přechodů mezi úrovněmi modelu „mikro“, „mezo“, případně „makro“.

Návrh [20] předpokládá zpracování dat o geometrii, konstrukci a provozu dané sítě (tedy nikoli různých správních údajů a komentářů), a to v úrovních závazné a volitelné. Mezi povinné údaje jsou zařazeny zejména položky popisující:

- elektrizaci dráhy (napětí, frekvence)
- organizační jednotky vlastníků částí sítě (s předpokladem použití drážního číselníku)
- topologii, geometrii a funkční strukturu dráhy, zahrnujícími zejména:
 - členění sítě do částí (identifikovaných tratí)
 - definice systémů staničení těchto tratí
 - definici zeměpisného systému souřadnic (implicitně s předpokladem použití WGS-84, ale s možností volby i jiných s využitím katalogu EPSG) pro popis poloh dopravně významných bodů
 - vertikální profil (gradient) tratí
 - popis horizontálního profilu je obecně volitelný, povinné však jsou použitelné typy křivek oblouků (kružnice, typy přechodnic)
 - polohy hranic mezi jednotlivými PI
 - průjezdný průřez a rozchod kolejí
 - charakteristiky zátěže a některé další.

Toto zadání ovšem nic neříká o tom, v jaké úrovni mají být uvedené údaje pořízeny, ani jak mají být identifikovány. Z logiky celé metody ovšem plyne, že jde o úroveň

mikro, přičemž souhrny za objekty modelované v úrovních mezo a makro vznikají agregacemi a generalizacemi těchto dat. Za pozornost ovšem stojí, že dokument [20] neobsahuje ani výslovný požadavek na určení délek jakýchkoli objektů (např. formou nějaké tabulky) a vůbec nepracuje s ekonomickými údaji (cenou za použití ŽDC), které ale jsou součástí osnovy RNE. Tyto detaily bude zřejmě nezbytné v průběhu řešení dále ujasnit.

V podmínkách ČR je povinnost vydat a zveřejnit PoD uložena všem provozovatelům drah, na nichž je realizována veřejná doprava, ustanovením § 34c Zákona o dráhách 266/94 Sb. (ZoD) v aktuálním znění. Nezbytným předpokladem naplnění této povinnosti je přitom existence platného ÚP podle §11 ZoD vydávaného provozovatelům příslušných drah Drážním úřadem. V ZoD, ani v žádném národním prováděcím předpisu, však nejsou, kromě mnoha podmínek a povinností vztahujících se k samotným provozovatelům drah a dalším jednajícím subjektům, uvedeny žádné formální náležitosti ani ÚP, ani samotných PoD, které by bylo možné využít při návrhu automatizační podpory jejich zpracování. Ale ani naopak, které by toto řešení výslovně omezovaly. Proto se forma i obsah PoD jednotlivých PI v detailech liší. Zejména se přitom liší v míře automatizační podpory zpracování jejich vybraných částí.

S ohledem na zaměření tohoto sdělení jsou dále diskutovány některé vlastnosti formálně i obsahově nejsložitějších dokumentů PoD u nás, kterými jsou dokumentace vydávané SŽ jako největšího PI s nejrozsáhlejší a technicky i topologicky nejsložitější sítí. Její veřejně provozovaná část je ze správních hledisek definována ÚP pro provozování železničních drah: **celostátní** a sadou cca 140 ÚP pro provozování jednotlivých drah **regionálních**¹⁶. Z topologického, ale ani obecně inforatického, hlediska však nejsou tyto dva typy dokumentů srovnatelné. A to proto, že celostátní dráha tvoří uzavřenou síť, zatímco jednotlivé regionální dráhy jako celky tvoří nanejvýš stromové, v jednoduchých případech i prosté liniové, struktury. To pak má zásadní význam již pro jejich metodický popis i následnou algoritmizaci. I proto je celostátní dráha dále dělena na podobné dílčí stromové struktury označené jako „**trati celostátní dráhy**“.

ÚP, ve shodě s (z tohoto hlediska nedostačujícím) obsahem ZoD, jednotlivé dráhy, resp. tratě, ani jejich části, **nijak neidentifikují**. Pracují pouze s jednacím čísly příslušných správních dokumentů, případně s názvy významných lokalit a nijak blíže neurčenými údaji staničení, vymežujícími začátky a konce jednotlivých entit. Proto je prakticky nemožné pouze z ÚP automatizovaně v prostorovém smyslu definovat, resp. verifikovat, údaje o stavebních délkách a dalších hodnotách obsažených v požadovaných datech. To lze provést pouze s využitím podrobnějších částí IS SŽ. S nimi pak by muselo pracovat i rozhraní vytvořené na bázi railML.

PoD SŽ pro tyto účely využívá dva principy, resp. části svého IS – infrastrukturní a dopravní. Především ale doplňuje formalizaci ÚP o jednoznačný identifikátor navržený projektem [21], který je pak využit k dalším účelům jak provozního, tak i ekonomického a technického charakteru. V infrastrukturní části IS SŽ jsou takto identifikované části sítě modelovány s využitím zásad předpisu M12 pomocí tzv. traťových definičních nadúseků (TDNÚ). V jejich rámci (resp. definičních úsecích, z nichž se jednotlivé TDNÚ skládají) pak jsou v dílčích pasportních evidencích odvětví

¹⁶ pro úplnost by bylo potřebné uvážit i vlečky, jejich možný popis metodou railML ale není v současnosti aktuální

provozní schopnosti dráhy evidovány všechny objekty a vlastnosti sítě v okruhu zájmů správců infrastruktury, které mohou naplnit výše uvedené požadavky na obsah PoD z těchto hledisek s nejvyšší dosažitelnou přesností.

Ve skutečnosti ale současná verze PoD ani dopravně orientovaných dat nepoužívá tato primární data, ale data od nich manuálně odvozená a obsažená v databázi projektu **KANGO**-kmen. Základním informačně-přezentačním objektem dopravních úloh také není kolej (ta ovšem v různých modifikacích členění¹⁷ a identifikací figuruje na nejnižší úrovni „mikro“), ale „hrana“ jako lineární aproximace skutečného průběhu trati mezi dvěma určenými dopravně významnými body (viz obr. 2). S pomocí hran modelujících průběh sítě na úrovních „mezo“ a vyšších a evidovaných s přesností 10^{-1} km, jsou také počítány údaje o zpoplatnění použité části sítě. K hranám a uzlům by se proto měly v přesném modelu připojovat i všechny charakteristiky úseků sítě požadované v PoD, ale založené na přesnějším popisu specializovaných infrastrukturně definovaných entit „kolejová trasa“. Dlouhodobě je proto navrhována a postupně realizována řada opatření, aby mezi oběma skupinami dat o síti byla co nejpresnější vazba a shoda. Jedním z nástrojů, který by se pro potřeby tvorby vhodných rozhraní mohl použít, patří právě railML. A proto jsou také studovány možnosti jeho využití i v tomto směru.

Důvodů **nezávislé evidence** dat KANGO-kmen a pasportních dat odvětví infrastruktury je ovšem řada. Mezi nejzávažnější patří zejména **časový rozdíl** mezi potřebami sestavy GVD a aktuálností dat infrastruktury. Ty totiž mohou být zaručeny v nejvyšší a IT podpořené kvalitě až podle obsahu stavebně-technických projektů zhotovitelského typu podle jejich skutečného provedení, případně po provedených revizích. Ty jsou ale k dispozici **až po** ukončení stavby nebo jiné akce měnící vlastnosti reálných prvků tratí i dat o nich vedených, zatímco data GVD se připravují v období začínajícím **až 200 dní před** jeho vyhlášením. To i v manuálním, zatím operativnějším, systému vede k řadě stresových situací souvisejících zejména se změnami termínů realizace stavebních projektů. IT podpořené řešení této disproporce je proto hledáno mj. v **modelování budoucího stavu** tratí a kolejišť. Tedy zejména ve využití technologií projektů typu BIM, které takovéto modely přirozeně obsahují. V současnosti ale žádné projekty tohoto typu nejsou upraveny (a zřejmě ani nikdy nebudou) až pro přímé vazby k úlohám dopravního provozu a sestavy GVD. Zde proto znovu vystupuje významná role rozhraní vhodného typu (vč. railML), které by, za předpokladu splnění řady požadavků (zejména standardní a jednotné metodiky identifikace týchž entit), mohly tento problém s přijatelnou přesností a v potřebných časových intervalech, řešit.

Je ovšem zřejmé, že data o síti nezbytná pro sestavu GVD mají oproti datům infrastruktury kromě časových i jiné odlišné vlastnosti. To se zejména týká jejich úzkého vztahu k pohybu vlaků, zejména pak směrů jejich pohybu, od nichž se dále odvozují významné charakteristiky jejich prostorové orientace typu „předchází–následuje“, „vlevo–vpravo“, „stoupá–klesá“. Tyto charakteristiky se totiž v infrastrukturních evidencích zásadně vztahují ke směru růstu stavebního staničení v dané lokalitě. A to nejen nezávisí na pohybech vlaků, ale v trasách jednotlivých vlaků

¹⁷ to se týká jak neexistence identifikace částí kolejí v záhlaví stanic, tak odlišení „stavební“ a „užitné“ délky koleje, tak dalších detailů, typických např. pro metodiky a evidence prvků zabezpečovací techniky apod.

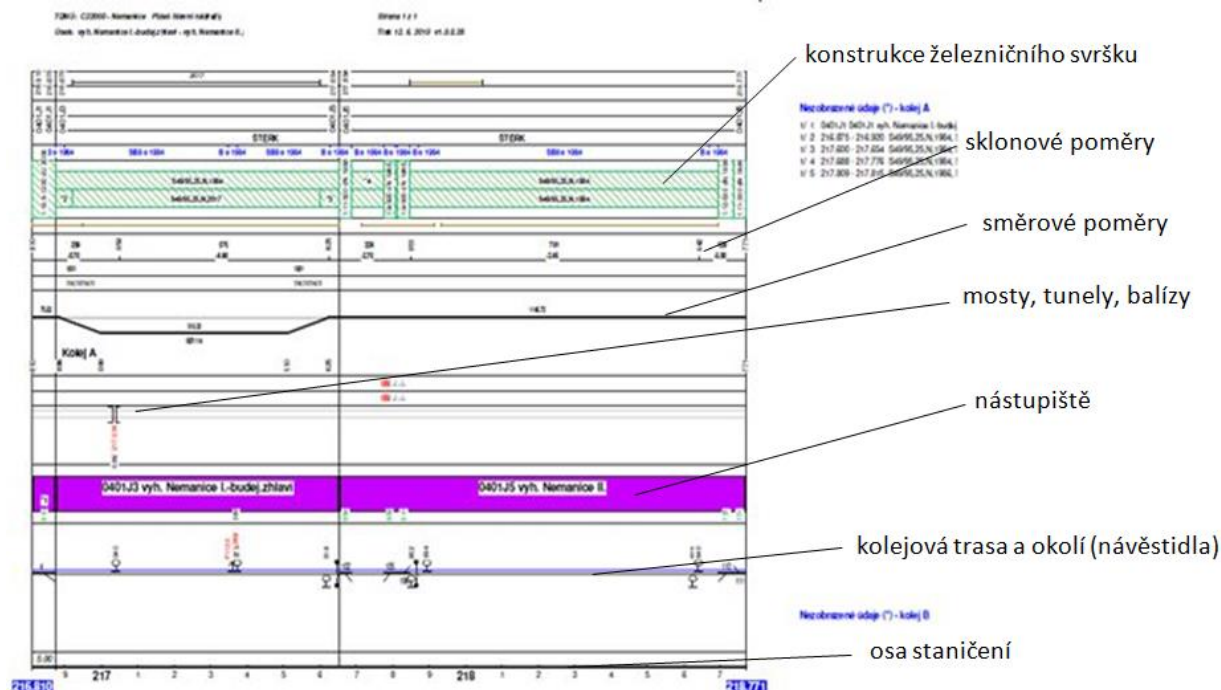
se může i významně měnit. S tímto problémem pak souvisí i určování délek objektů na trati a jejich vlastností.

V současnosti platí, že vyjádření některých z uvedených (ale ne všech) potřeb podrobnějšího popisu sítě je dle metodiky railML dobře splnitelné jen při aplikaci úplné strukturalizace sítě do úrovně „mikro“. Žádná z její současných verzí také entitu jednoznačně označenou jako „hrana“ a schopnou vyjádřit všechny charakteristiky používané v NEST přímo, nezná. Věcně se jí nejvíce blíží agregace označená modře na obr. 3, v úrovni „mezo“, ta však k vyjádření požadovaných detailních vlastností vyžaduje právě existenci úrovně „mikro“. S ní ale, v pojetí RTM, současná verze databáze KANGO-kmen, i z historických důvodů, nepracuje. V úlohách IS SŽ se této úrovni nejvíc blíží popis sítě pro účely správy tratí (Dílčí informační systém železničního svršku DIS ŽSv), zahrnující kromě pasportní evidence i úlohu „Nákresný přehled ŽSv – obr. 4). Jeho přesnost je sice stavebně vyšší, než jsou data KANGO-kmen, ovšem má i výše uvedená časová omezení aktuálnosti dat. Právě proto je potřebné hledat rozhraní jak se stavebními projekty typu BIM, tak zejména mezi infrastrukturní a dopravní částí IS SŽ, resp. všech relevantních PI. Což je ovšem běh na velmi dlouho trať.

4. Požadavky na informační podporu správy geometrie koleje (TRGE)

Polohově přesné ustavení a údržba prostorové polohy koleje (PPK) patří při současných rychlostech a hmotnostech vlaků ke zcela základním požadavkům na kvalitu tratí. Modely těchto procesů vycházejí z jejich fyzikálně-technické podstaty a možností jejich použití v různých typech projektů výstavby a údržby ŽSv. Jde proto o typického představitele metodiky modelování „zdola nahoru“.

Řešení této úlohy v prostředí railML bylo navrženo již v r. 2015, konkretizováno však bylo až dokumentem [22]. V současnosti již probíhají pravidelné videokonference, jejichž cílem je zatím analyzovat současný stav IS všech zúčastněných partnerů a následně specifikovat základní požadavky na IT podporu a možnosti současné verze railML těmto požadavkům dostát.



Obr. 4. Nákrešný přehled koleje A ve výhybně Nemanice dle obr. 2 (zdroj: zpráva [23], komentář k významu prezentovaných dat je orientační)

Zatímco use case NEST je stále prioritně orientován na potřeby provozování dráhy (ovšem s přihlédnutím k co nejpřesnějšímu prostorovému a technickému popisu sítě), je use case TRGE již prvoplánově orientován na technickou správu kolejí. Svým dosahem pokrývá téměř úplný životní cyklus kolejí od prvotního projektu až po pravidelnou údržbu. Cestou archivace dosažených výsledků pak může zajistit vstupy do nových projektů. Tím vším se tato problematika dostává do těsného kontaktu s možným uplatněním metody BIM na železničním svršku (vč. use case TRGTE), ale má blízko i k prostorovému popisu území řešeného paralelně projektem [3].

Zcela zásadní rozdíl plynoucí z podstaty modelovaných procesů a úrovně modelů NEST a TRGE je převažující jednodimenzionální charakter TRGE. Vůbec v něm totiž nejde o **model sítě** v zeměpisném ani provozním smyslu, ale **prostorové křivky** redukovatelné v konečném důsledku na krátké (v řádu metrů) liniové úseky délkově kalibrovatelné v úrovni mikro jedinou souřadnicí určenou místním, přiměřeně přesným a matematicky korektním, systémem staničení. Skutečně existující a funkčně významné prostorové charakteristiky křivky (směrové a sklonové poměry) přitom mají hodnoty až o 2 řády menší než jsou údaje staničení a lze je modelovat jako parametry takto definované linie upřesňující průběh linie v horizontálním a vertikálním směru.

Z podstaty prováděných operací ovšem plynou i další potřeby a zpřesnění detailů. Nejpodrobnější popisovanou entitou zde není kolej jako celek, ale jednotlivý kolejnicový pás. Pro dvojici pásů pak jsou, kromě obecných geometrických údajů, stanoveny i přesné údaje jejich (obecně proměnné) vzájemné vzdálenosti (vč. rozšíření rozchodu v obloucích) a převýšení. Zásadní význam mají i údaje o objektech podstatného okolí vlastní kolejové konstrukce (přejezdy, úseky pevné jízdní dráhy, použití mostnic atd.), na nichž se mění vlastnosti pražcového podloží i konstrukce svršku (výhybky a výhybkové konstrukce) vedoucí k přerušování činnosti traťových pod-

bíječek. Úseky s výhybkami a výhybkovými konstrukcemi pak musí být ošetřeny speciálně, a to přesně v souladu s jejich dispozičními plány.

Z hlediska projektů i kontroly kvality koleje jako takové přitom mají zásadní význam i zajišťovací značky PPK, které railML v. 3.1 neobsahuje, na rozdíl od některých z výše uvedených entit a parametrů, vůbec. Zcela jí chybí i mechanismus dynamické segmentace popisu průběhu kolejové trasy jako hlavního nositele všech evidovaných vlastností v úrovni mikro, s nímž pracuje DIS ŽSv. Chybí i řada dat projekčního typu (např. o dodavateli prací apod.) s širokými vazbami do informačního okolí PI. Zato s daty o GVD zde existuje jen velmi omezený průnik – totiž termíny výluk potřebných pro práci na svršku a „čára v grafikonu“ pro stavební vlak – podbíječku při jejím přejezdu na stavbu. Časový harmonogram prací na stavbě ve výluce a organizace využití strojů v čase je již plně v režii zhotovitele a jeho stavební dokumentace, která s vlastním provozem dráhy nemá průnik vůbec žádný.

V SŽ jsou příslušné postupy práce s PPK upraveny předpisem [24]. Ten definuje mj. výměnné formáty a z nich odvozená data potřebná pro řízení automatických podbíječek a vytvářená programem Kokeš-Rail. V této podobě jsou pak přímo použitelné jako vstupy řídicích počítačů určených typů těchto strojů.

Řešení návrhu použití railML v TRGE tak má přinejmenším dvě úrovně:

- a) v první úrovni jako části databáze železniční infrastruktury (plně modelovatelné pomocí railML), a kterou lze označit jako „archiv geometrie koleje“ mohou být obsaženy:
 - prostorově i funkčně vyhovující model koleje vytvořený metodou RTM, rozšířený případně o projektový nákres (přesnost interního staničení 10^{-3} m)
 - základní informace o bodech změn úseků s rozdílnou pružností pražcového podloží
 - informace o odchylkách a provozních charakteristikách
 - informace o kontraktu na provedení prací
- b) ve druhé úrovni se jedná o podporu funkcí řídicího počítače svrškových strojů (traťových i výhybkových podbíječek) s přesností až 10^{-7} m¹⁸.

Za uvážení rozsahu provozního modelu stojí i návrh větve mířící k činnostem měřicích vozů, které provádí kontrolní měření a rektifikaci před i po provedení prací. I ty mají svou automatizační podporu a formáty dat, které by bylo možné vyjádřit i pomocí railML. Ve všech těchto případech je zřejmý význam kolejové trasy a dat blízkých současnému obsahu NP ŽSv.

5. Závěry

Metodiky RTM a následně i railML jsou ve srovnání s dobou výstavby automatizované podpořené IS vytvářených (postupně s různou úrovní techniky i metodiky) již od dob ČSD¹⁹, velmi mladé. Jejich tutoriály jsou přitom koncipovány tak, jakoby se mělo manuálně naplňovat vše od stavu „na zelené louce“. Z prezentací na konferencích RailML však plyne, že takovýto (ať už byla skutečná historie jakákoli) byl i postup

¹⁸ tato větev už ale nutně nemusí mít výstupní formát railML, ale třeba IFC

¹⁹ tehdy ovšem šlo hlavně o ekonomická data, později o přípravu GVD a až v současnosti o modely typu GIS

uplatnění railML v některých, zřejmě hlavně v této oblasti vedoucích norských, drahách. Ty pak ale na takto vytvořených základech již v současnosti rozvíjejí další aplikace.

Pro posouzení různých efektů z řešení a realizace standardizovaných mezinárodních projektů zaváděných v národním a podnikovém prostředí je proto potřebné hledat zkušenosti v jiných věcně příbuzných informačních okruzích. Nabízí se INSPIRE a jeho pokračování ELF (European Location Framework), případně vlastní aktivity ČÚZK v oblasti správy katastrálních dat. Z nich zatím plyne, že **mezinárodně standardizované aplikace nemohou** obsahovat národní specifická data **v požadovaném detailu a přesnosti**, a i proto je o ně obecně ze strany odborné i širší veřejnosti menší zájem. Ze zájmu o uplatnění vlastních specifik v co nejširším rozsahu pak plyne i značný význam účasti SŽ na aktivitách konsorcia RailML.

I tento aspekt proto posiluje potřebu využití railML **nikoli v podobě primárního modelu sítě** (takové již existují), ale jako:

- a) obecného **metodického standardu** popisu sítě z mnoha hledisek
- b) universálního **standardizovaného rozhraní** mezi autonomně fungujícími specializovanými částmi IS, přenášejícího potřebná data o společně sdílených objektech, zejména společně identifikovaných, nikoli však s úplnými detaily jejich popisu a provozního modelu

Oba uvedené aspekty jsou ovšem zastoupeny i v rozhodnutí EK [8] o RINF. To je ale primárně a aktuálně orientováno na popis interakcí mezi drážními vozidly, dopravní cestou a jejich provozně-bezpečnostními aspekty, přičemž aspekty infromatické jsou v něm až druhotné²⁰. V žádném případě také není zaměřeno na postupy správy popisovaných zařízení, ale „jen“ jejich funkci v reálném čase jízdy vlaku. I důsledná lokalizace obsahu této směrnice do podmínek ČR ovšem vyžaduje alespoň minimální legislativní podporu výkonných realizačních postupů zahrnujících mj. i aspekty prostorového modelování železniční sítě.

Jak bylo ukázáno, tyto modely mohou vést jak směrem shora – hledáním konkrétní náplně subjektivně stanoveným principům, tak i zdola, generalizací a zjednodušováním objektivně existujících fyzikálně technické reality. Ukazuje se však, že oba směry se mohou (v případě vhodné koncepce rozhraní) setkat v úrovni popisu **kolejové trasy**, která na jednu stranu nese informace o globálních charakteristikách koleje, na druhou stranu poskytuje zcela korektní informační základnu pro popis dopravně definovaných hran.

Podobnou cestou jdou i modely stavebních projektů řešených metodou BIM. Z nich se lze metodicky poučit zejména z čínského CRBIM, prakticky aplikovaného v přípravě staveb **vysokorychlostních tratí**. Přes řadu (i podrobněji nepublikovaných) rozdílů čínské a obecně evropské reality, je v jejich prostorovém modelu tratí, počínajícím již u geologických podmínek lokalit, zejména v částech podložených objektivními zákonitostmi funkcí dráhy, mnoho velmi inspirativních detailů. Tím spíše, že jde o první známou aplikaci formátu IFC na železniční stavby.

²⁰ Do té míry, že s jakoukoli úrovní metodik RTM nebo railML nesnese obsah přílohy definující struktury dat RINF vůbec žádné srovnání. A to přesto, že manuál k předchozímu dokumentu [7] metodu RTM citoval.

Proto není divu, že se tvůrci CRBIM zapojili, vedle 6 evropských partnerů, i do práce konsorcia **buildingSmart** na projektu **INF Rail**, zaměřeného na vybudování základů pro použití metod BIM v železničním stavitelství. Jeho poslední pracovní zprávy [25 – 27] pocházející ze září až října 2019 obsahují nejen řadu teoretických východisek, ale i konkrétní návrhy potřebných datových struktur, zatím ovšem prezentovaným „pouze“ v UML a s podrobněji propracovanou částí orientovanou na problematiku železničního svršku. Tedy právě blízko projektu TRGE. Z dosud realizovaných jednání o TRGE již také přicházejí signály o snaze railML a INF Rail v tomto směru skloubit. To asi půjde tím spíš, že projekt IFC Rail bere v úvahu existenci obecné metodiky RTM a podle předběžných informací jsou specialisté RailML s členy projekčního týmu IFC Rail v přímém osobním kontaktu. Za zmínku v této stručné prezentaci (podrobné srovnání RTM, railML a INF Rail by si však vyžádalo, i na současné, dosud omezené, úrovni poznatků, specializovaný příspěvek do diskuse), stojí zatím alespoň jeden metodický závěr obsažený v kap. 4.3 zprávy [25]. Jde o **varování před zaměňováním prostorových identifikací tratí s jejich obchodními označeními**, užívanými zejména **v jízdních řádech**. Snaha o přesné oddělení obou metodik je sice v infrastrukturní části IS SŽ prosazována již cca 20 let, do státní legislativy však zatím, přes řadu pokusů, nepronikla. V důsledku toho pak vznikají metodické potíže jak v GISech veřejné správy, tak i v řešení projektu [3], které musí být následně pracně, dlouhodobě, a tedy i draze, odstraňovány.

To vše proto dále povzbuzuje nutnost hledání vlastních postupů nezbytných k adaptaci dlouhodobě provozovaných IT modulů práce s dopravními i infrastrukturními daty, respektujícími jak nejnovější podněty ze zahraničí, tak naše historické a přírodní podmínky i dlouhodobě platnou legislativu. Tu ovšem čekají nové úkoly vycházející nejen z potřeb rozvoje prostorového popisu státu (NASAPO) a úloh typu BIM, ale aktuálně i v důsledku **otvírání provozu** na železniční síti většímu počtu subjektů, včetně mezinárodních v rozsahu, v jakém tyto procesy již od r. 2016 upravuje **obsah 4. balíčku železniční legislativy EU**. Jeho primárním cílem je sice dosažení vyšší standardizace provozu na celé evropské síti, ale již první, zcela jednoduchá analýza obsahu příslušných směrnic EK ukazuje, že se oba uvedené procesy vzájemně dobře **doplňují**, ale v některých aspektech dokonce přímo **podmiňují**.

Obsah příspěvku zobecňuje některé výsledky projektu TAČR TL02000312 aplikovaného společenskovedního 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“. Vychází z analýzy [23] a dalších a věcně rozvíjí a aktualizuje starší příspěvek do sborníku VTS ČD [9].

Literatura

1. ČÍHAL R., *Koncept projektu železnice metodou BIM realizovaný v multidimenzionálním stavovém prostoru*, konference GIS Ostrava 2019, TUO - VŠB Ostrava, březen 2019, ISBN 978-80-248-4286-8

2. AKČNÍ PLÁN *Strategie rozvoje infrastruktury pro prostorové informace v ČR do roku 2020* (AP GISTR), schválená verze, říjen 2015, dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/geoinfostrategie.aspx>
3. Projekt TAČR TITSMV705 „Jednotný výměnný formát DTM“
4. USNESENÍ VLÁDY ČESKÉ REPUBLIKY č. 958, o významu metody BIM (*Building Information Modelling*) pro stavební praxi v České republice a návrh dalšího postupu pro její zavedení, ze dne 2. listopadu 2016.
5. 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
6. KOLEKTIV AUTORŮ, *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
7. PROVÁDĚCÍ ROZHODNUTÍ KOMISE 2011/633/EU ze dne 15. září 2011 o společných specifikacích registru železniční infrastruktury (oznámeno pod číslem K(2011) 6383)
8. PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2019/777 ze dne 16. května 2019 o společných specifikacích registru železniční infrastruktury a o zrušení prováděcího rozhodnutí 2014/880/EU L 139 I/312 Úřední věstník Evropské unie 27.5.2019
9. ČÍHAL R., *Uplatnění metodik RailTopoModel a BIM při prostorovém popisu železniční sítě*
Vědeckotechnický sborník ČD č. 44/2017
10. RailTopoModel, IRS 30100 *Railway Network Description* UIC, RTM Workgroup, Paris, 27.04.2015
11. příspěvky 36. konference RailML, Brusel 6.11. 2019, <https://www.railml.org/en/>
12. 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>
13. RAHMIG Ch. *railML® v3 Tutorial Simple Example Step-by-Step*, v.1.0, prosinec 2017
14. LINGEN von J. *railML® 3.1 Tutorial Simple Example Step-by-Step Part 2: Interlocking*, v.1.0, listopad 2018
15. railML.org Wiki: *Use case Network Statement*. In: <https://wiki.railml.org/index.php?title=UC:IS:NetworkStatement>; last access: 03.04.2018
16. Služební rukověť SR70 *Číselník železničních stanic a ostatních tarifních a dopravně zajímavých míst*
17. SŽDC M12 *Předpis o jednotném způsobu popisu umístění objektů železniční infrastruktury v informačním systému SŽDC* (návrh novely)
18. RUIAN - dostupné z: <http://www.cuzk.cz/ruian/RUIAN.aspx>
19. RAILNETEUROPE: *Network statement common structure*. In: http://www.rne.eu/rneinhalt/uploads/2017/05/RNE_NS_Common_Structure.pdf;
20. RAHMIG Ch., *railML® Use Case Definition, Network Statement (NEST)*. v.0.3, duben 2018
21. kolektiv autorů, *Kategorizace tratí: Systém evidence a číslování*, Deloitte Central Europe Aviation and Transport Services, Praha 2015

22. 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
23. ČÍHAL R., RML-3 *Metodika použití formátu railML v IS SŽDC Informačně-
technické aspekty*
KPM CONSULT a.s. Brno, září 2019
24. UTÍKAL Z., TALÁCKO M.
SŽDC M20/MP004 *Metodický pokyn pro měření prostorové polohy koleje*,
Příloha 1 Výměnný formát trasy, GŘ SŽDC Praha, leden 2016
25. kol. 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)
26. kol. 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](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)
27. kol. 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

Lektorovali:

Ing. Miloš Futera, Ph.D., Správa železnic
Ing. Radomír Havlíček, Správa železnic

Přemysl Šrámek, Roman Štěrba¹

Projekt Shift2Rail OPTIMA – vývoj komunikační platformy pro řízení provozu

Klíčová slova: *komunikační platforma, řízení provozu, Shift2Rail, železniční doprava*

Key words: *communication platform, traffic management, Shift2Rail, railway*

Anotace

Článek se zabývá projektem Shift2Rail OPTIMA, který je zkratkou *communication platform for traffic management demonstrator* neboli demonstrační komunikační platforma pro řízení provozu. Cílem tohoto projektu je vytvořit integrační vrstvu, do které by byly distribuovány informace z různých informačních systémů, tyto nadále zpracovány a využity k optimalizaci řídicích procesů.

Summary

The paper deals with Shift2Rail project OPTIMA (*communication platform for traffic management demonstrator*). The scope of this project is to create an integration layer (middleware), into which it would be distributed information from different IS – this information would be then processed and used for optimization of railway control processes.



This project has received funding from the Shift2Rail Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 881777. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the Shift2Rail JU members other than the Union.

1 Úvod

Výzkumná a inovační politika Evropské komise (EK) v oblasti dopravy uceleným způsobem podporuje rozvoj a zavádění klíčových technologií potřebných pro vytvoření moderního, účinného a uživatelsky přívětivého dopravního systému Evropské Unie (EU). Pro větší účinnost doplnila technologický výzkum o systémový přístup, který přihlíží k infrastruktuře a regulačním požadavkům, o koordinaci četných zúčastněných stran a demonstrační projekty s cílem podpořit zavádění produktů na trh. Inovační a zaváděcí strategie EK klade důraz na zajištění rychlého využití výsledků výzkumu v praxi. Inovace cílí na standardizaci a interoperabilitu, což zabrání technologické fragmentaci a umožní evropským podnikům plně využít výhod celého evropského dopravního trhu a vytvořit celosvětové tržní příležitosti.

¹ Ing. Přemysl Šrámek, Ph.D., Správa železnic, státní organizace, odbor informatiky
Doc. Dr. Ing. Roman Štěrba, MBA, Správa železnic, státní organizace, odbor strategie

2 Shift2Rail

Shift2Rail (S2R) je společná technologická iniciativa rámcového programu EU Horizont 2020, k jejíž implementaci byl na základě Nařízení Rady (EU) č. 642/2014 ze dne 16. června 2014 ustaven stejnojmenný společný podnik. Ambicí společného podniku S2R, mezi jehož členy patří EK a společnosti z oblasti železničního průmyslu, je zajistit cíleným výzkumem, vývojem a inovacemi:

- a) snížení nákladů v životním cyklu železniční dopravy (tj. nákladů na výstavbu, provoz, údržbu a obnovu infrastruktury a kolejových vozidel) až o 50 %,
- b) celkové zvýšení kapacity až o 100 % a
- c) celkový nárůst spolehlivosti v různých segmentech železničního trhu až o 50 %.

S2R se zaměřuje na vývoj nové generace kapacitních, efektivních a spolehlivých vlaků, inovace v oblasti inteligentních systémů řízení a kontroly provozu dopravy, zajištění spolehlivé a vysoce kvalitní infrastruktury za pomoci informačních a komunikačních technologií, vytvoření multimodálního integrovaného systému v osobní dopravě pro zjednodušení plánování cest a odbavování cestujících či zvýšení konkurenceschopnosti železnice v nákladní dopravě.



Obrázek 1: Logo Shift2Rail
Zdroj: dokumentace projektu OPTIMA

3 Zapojení Správy železnic, státní organizace do Shift2Rail

Správa železnic státní organizace v roce 2019 premiérově vstoupila do světa Shift2Rail (S2R). Generální ředitel Správy železniční dopravní cesty, státní organizace², Bc. Jiří Svoboda, MBA, rozhodl 7. 3. 2019 o zapojení Správy železnic do výzvy projektového záměru *S2R-OC-IP2-02-2019: Podpora vývoje demonstrační platformy pro řízení provozu*. Výzva se primárně zaměřovala na vytvoření demonstrační platformy pro testování nově navržených systémů pro řízení provozu na infrastruktuře.

V dubnu 2019 se Správa železnic aktivně zapojila do procesu formulace nabídky budoucího řešitelského konsorcia. Účast Správy železnic v projektu je velmi vhodná z toho důvodu, že cílem je vytvoření evropské platformy, která bude zasahovat do informačních systémů řízení provozu a provozních aplikací včetně vzájemných datových komunikací. Je velmi pravděpodobné, že i kdyby se Správa železnic tohoto projektu nezúčastnila, výsledná evropská platforma by chod informačních systémů Správy železnic stejně ovlivnila. Z toho důvodu je vhodné se aktivně účastnit a mít tak možnost aktivně ovlivnit vytváření a implementaci této ukázkové platformy. Důkazem budiž i to, že projektu se kromě Správy železnic zúčastní také španělský manažer železniční infrastruktury ADIF a italský manažer železniční infrastruktury FSI RFI. Jiní infrastrukturní manažeři (DB, ÖBB, SNCF) se nemohou projektu zúčastnit z toho

² název Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, do 31.12.2019

důvodu, že jsou členy S2R a tento projekt byl vypsán jako otevřená výzva pro nečlenské subjekty společného podniku.

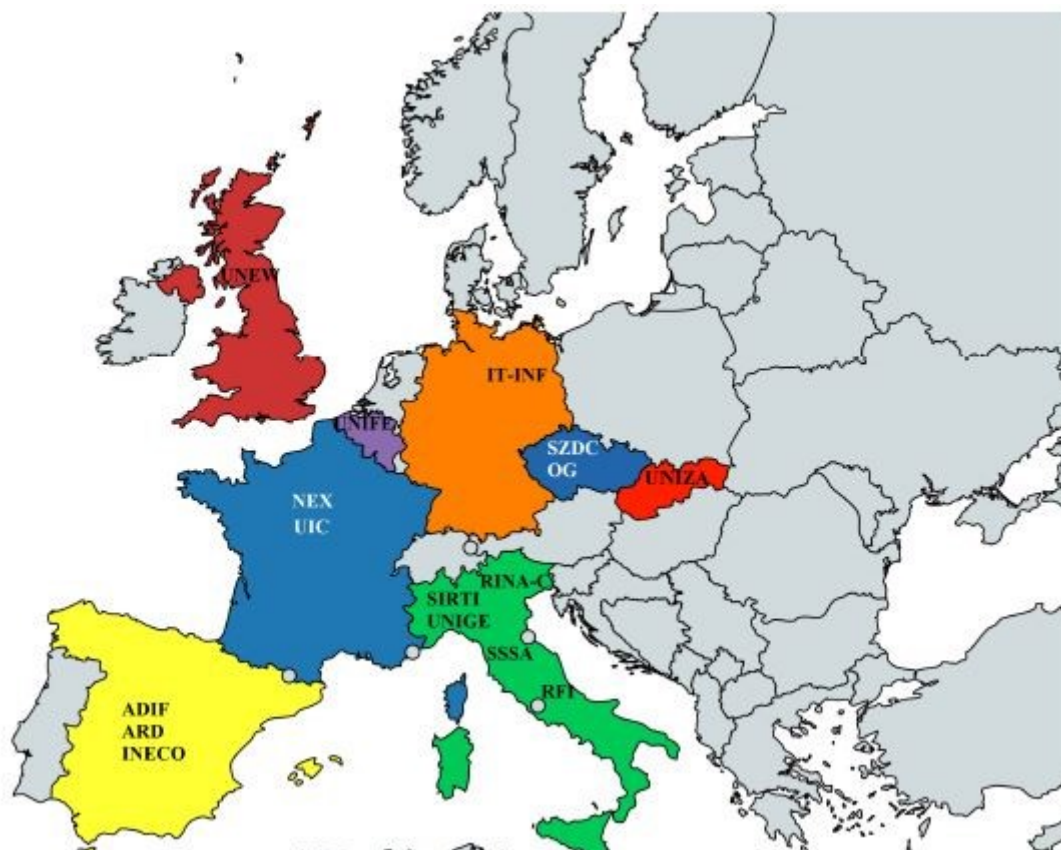
V červnu 2019 přihlásilo konsorcium s účastí SŽDC (dnes Správy železnic) v rámci S2R-OC-IP2-02-2019 projekt OPTIMA (Komunikační demonstrační platforma pro řízení provozu). V září 2019 byl projekt OPTIMA Evropskou komisí schválen a vybrán k finanční podpoře. V listopadu 2019 byla podepsána Konsorciální dohoda a Grantová dohoda.

Projekt OPTIMA byl oficiálně zahájen dne 1. 12. 2019 s délkou trvání projektu 39 měsíců, v lednu 2020 proběhl v Bruselu kick off meeting.

V rámci projektu se Správa železnic zapojuje do činnosti následujících pracovních skupin (PS):

- PS2 – architektura systému, technická sounáležitost – ze strany Správy železnic bude provedena kontrola nastavení systému a partnerům z businessu projektu budou zaslány připomínky,
- PS3 – dodávky HW – ze strany Správy železnic bude ověřena kompatibilita HW s příslušnými systémy,
- PS5 – integrace a implementace platformy – hlavní oblast zapojení Správy železnic,
- PS6 – konfigurace databází – předpokládáno zapojení v rámci analýzy databázových požadavků, nastavení datových struktur a v rámci konečného nastavení databáze včetně jejího testování,
- PS7 – validace systému – proběhne jednotně u Správy železnic, ADIF i RFI.

Je ohromným úspěchem řešitelského týmu a zúčastněných vedoucích zaměstnanců, že Správa železnic uspěla s účastí v prestižním programu technologického vývoje, výzkumu a inovací v železničním sektoru EU. Za práci v projektu bude Evropská komise refundovat Správě železnic náklady. Projektu OPTIMA se spolu se Správou železnic účastní i významné subjekty z ostatních členských zemí EU, viz Obrázek 2.



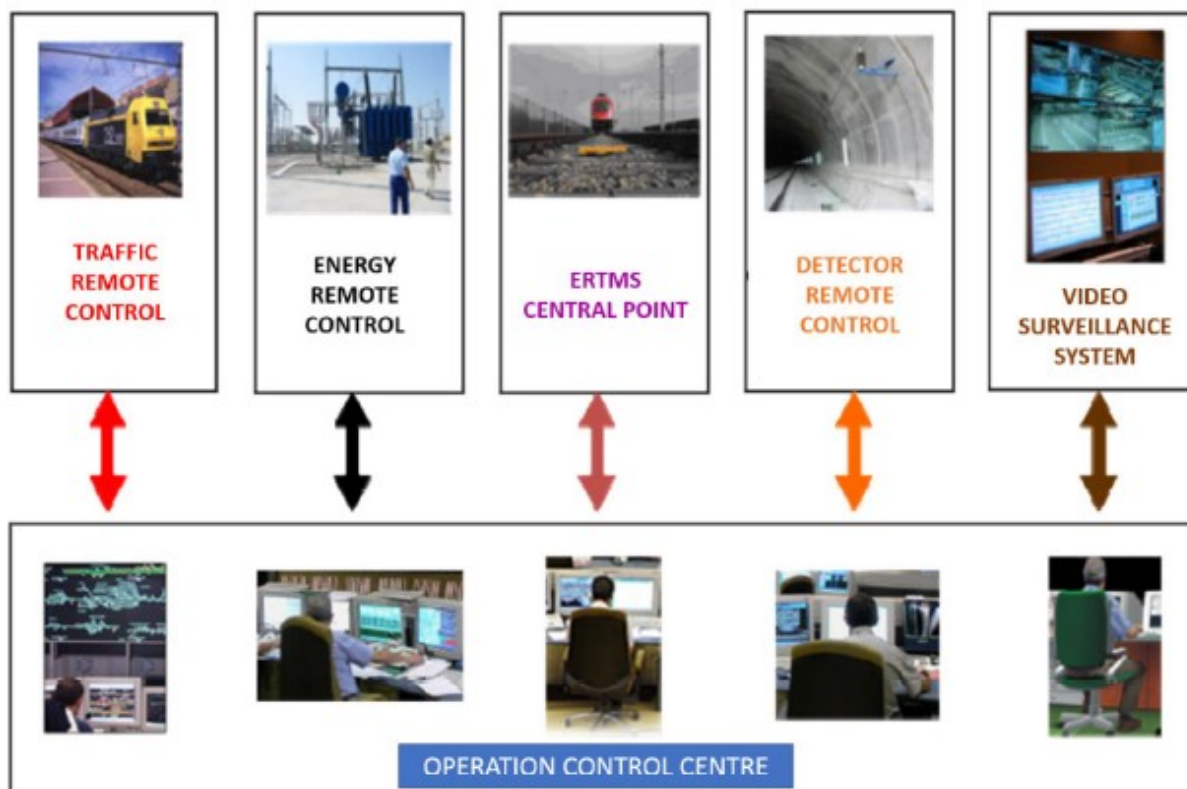
Obrázek 2: Geografický rozsah zapojení subjektů do projektu S2R OPTIMA
 Zdroj: dokumentace projektu OPTIMA

4 Platforma pro řízení provozu

Cílem projektu je optimalizovat řídicí a kontrolní procesy prostřednictvím agregovaného zpracování dat v integrační vrstvě – měl by tak vzniknout silný centrální middleware pro distribuci dat a služeb z jednotlivých informačních systémů.

4.1 Současný stav

V posledních desetiletích většina provozovatelů infrastruktury (IM) zavedla systémy řízení dopravy, které byly využity především pro řízení železničního provozu (Obrázek 3). Existující rozhraní systémů řízení provozu (TMS) však nebyla v naprosté většině případů vyvinuta s ohledem na budoucí rozvoj informačních a komunikačních systémů a byla tak obecně omezena pouze pro fungování se základními TMS. Dodatečná integrace nových rozhraní s železničními informačními systémy tak vyžaduje častou duplicitu ICT zdrojů spojenou s vysokými náklady na provoz této redundantní infrastruktury. Další nevýhodou současných TMS bývá nejednotnost standardizace rozhraní, znemožňující provoz interoperabilních TMS.



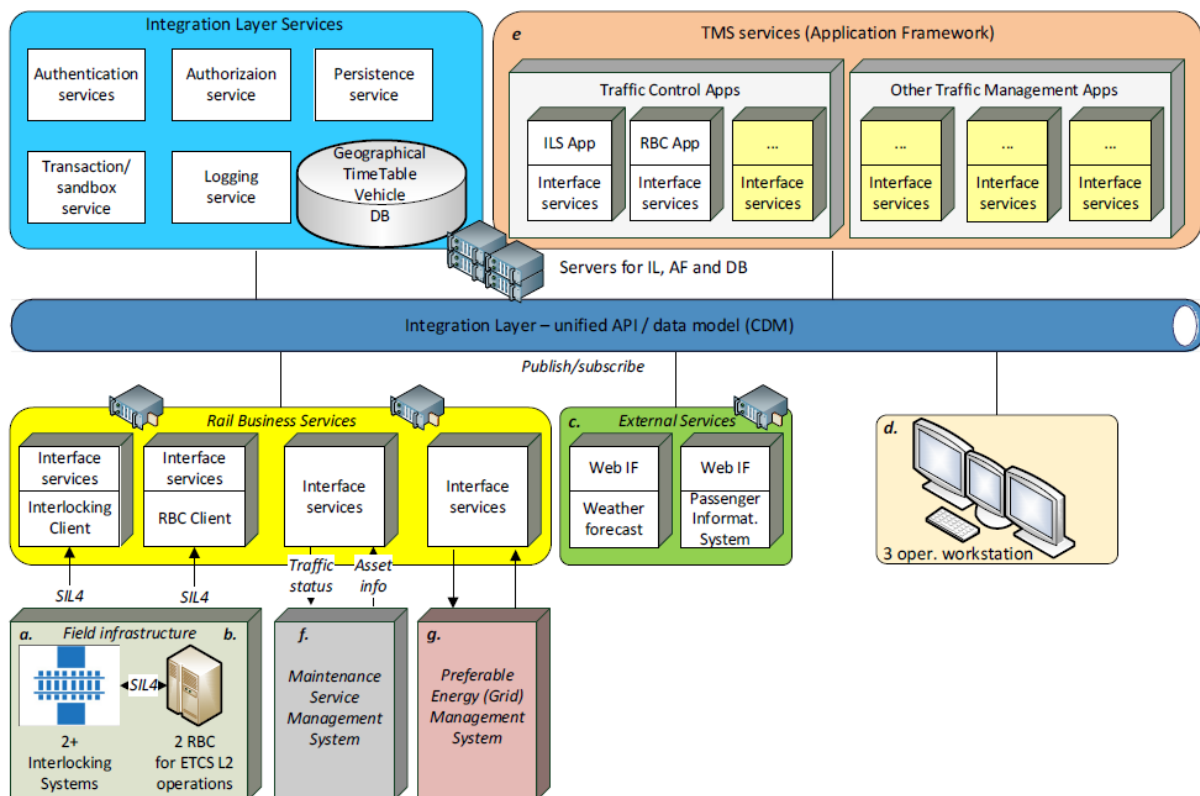
Obrázek 3: Architektura současných TMS systémů
 Zdroj: dokumentace projektu OPTIMA

4.2 Zapojené systémy a integrační vrstva

Z důvodu výše uvedených nevýhod bylo v rámci projektu OPTIMA navrženo vytvořit silnou integrační vrstvu (middleware), která by umožnila jednotlivé TMS převést do modulární podoby se standardizovanými rozhraními tak, aby v případě potřeby redesignu či upgradu modulárního TMS byla požadovaná data dostupná v integrační vrstvě a nedocházelo tak k datovým výpadkům z důvodu odstávky TMS. Systém s podobnou architekturou byl vyvinut ze strany ADIF pro řízení provozu na vysokorychlostních tratích – Da Vinci.

Na Obrázku 4 je zobrazena předpokládaná architektura nové komunikační platformy, která počítá se zapojením následujících zdrojů a informačních systémů, jejichž poskytnutí bude distribuováno na základě vzájemné dohody mezi zúčastněnými manažery infrastruktury (ADIF, RFI, Správa železnic):

- minimálně 2 radioblokové centrály ETCS,
- minimálně 2 uzavřené staniční systémy,
- systém řízení údržby železniční infrastruktury,
- systém řízení energetické rozvodné sítě,
- data o předpovědi počasí,
- data z informačních systémů pro cestující,
- 3 pracovní stanice.



Obrázek 4: Návrh architektury nové komunikační platformy
 Zdroj: dokumentace projektu OPTIMA

Zdrojové informace z výše uvedených informačních systémů budou zpracovány v integrační vrstvě na bázi optimalizovaného kanonického datového modelu (CDM) a dále využity v rámci aplikačního rozhraní TMS služeb.

4.3 Předpokládané přínosy projektu OPTIMA

Postupem uvedeným výše bude velmi pravděpodobně dosaženo následujících benefitů v daných oblastech:

- řízení železničního provozu – optimalizace komunikační vrstvy provozních aplikací, umožňující automatické zpracování dat. To umožní harmonizaci dopravního toku a výrazně zjednoduší rozhodovací procesy poskytnutím dostatku informací pro rozhodování v reálném čase. Na základě tohoto provozně-technického opatření se předpokládá zvýšení propustnosti tratí,
- pracovní stanice – vytvoření standardizované jednotné pracovní stanice, která bude použitelná pro libovolnou konfiguraci a potřebné množství provozních aplikací, k jejichž uceleným datům (databázím) bude mít pracovní stanice přístup prostřednictvím integrační vrstvy. Standardizovaná jednotná pracovní stanice umožní optimalizaci provozních a investičních nákladů do doposud neunifikovaných pracovních stanic, a to jak po stránce HW, tak i SW. Tato standardizace povede také ke zvýšení flexibility pracovníků a úspoře času, nezbytného pro zaškolení pracovníků na příslušné pracoviště,
- prediktivní modelování dopravních procesů – napojení pracovních stanic na databáze prostřednictvím integrační vrstvy umožní lepší sdílení dat za účelem operativnějšího vyřešení problému řešitelským týmem. Bude vytvořen kanonický datový model, který bude schopen efektivně využívat data o údržbě a opotřebením železniční infrastruktury tak, aby včas poskytl informaci

o možných závadách a poruchách. Na základě tohoto včasného upozornění bude možné prediktivně plánovat údržbu na bázi reálných dat, což povede k vyšší spolehlivosti a dostupnosti využití železniční infrastruktury,

- systémová integrace – nastavení identity managementu provozních aplikací tak, aby z každé pracovní stanice byl umožněn přístup k datům kritické informační infrastruktury s odpovídající úrovní zabezpečení. Takto maximálně distribuovaný přístup k různým typům informací povede k optimalizaci rozhodovacích procesů (možnost operativní tvorby aktuálních jízdních řádů dle situace s předpokladem minimalizace zpoždění),
- standardizace rozhraní a datových struktur – vytvoření standardizovaných rozhraní, datových struktur a komunikací v souladu s TSI, napojených na standardizované pracovní stanice. Toto řešení s využitím integrační vrstvy umožní zvýšení interoperability v rámci EU, kdy každý infrastrukturní manažer bude moci využít standardy vyvinuté v rámci demonstrátoru projektu OPTIMA. Standardizace v této oblasti představuje prostor pro snížení investičních nákladů, harmonizaci používaných provozních aplikací v rámci evropského prostoru, stejně jako vytvoření určité nezávislosti jednotlivých národních manažerů železniční infrastruktury na dodavatelích informačních systémů bez mezinárodního přesahu.

5 Závěr

Správa železnic, státní organizace, očekává v rámci svého premiérového zapojení do projektů Shift2Rail kromě zvýšení mezinárodní prestiže českého manažera železniční infrastruktury především bezprostřední zapojení do vývoje nejmodernějších technologií s možností jejich následné implementace na vlastní infrastrukturu. Projekt Shift2Rail OPTIMA je pro tento účel jako stvořený, protože cílí na optimalizaci dopravních procesů prostřednictvím vývoje v oblasti informačních a komunikačních technologií, které jsou schopny dosáhnout jednoho z nejlepších optimalizačních výsledků z pohledu poměru cena/výkon. Tato řešení jsou navíc v souladu se strategií Správy železnic, neboť předpokládané výsledky tohoto projektu je možné implementovat i v rámci vysokorychlostních tratí, což dokazuje mimo jiné i účast španělského a italského manažera železniční infrastruktury, kteří již své vlastní vysokorychlostní tratě delší dobu provozují.

This project has received funding from the Shift2Rail Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 881777. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the Shift2Rail JU members other than the Union.

Literatura

- [1] Shift2Rail Joint Undertaking. [online]: <https://shift2rail.org/>
- [2] European Commission. EU research results. [online] <https://cordis.europa.eu/project/id/881777>
- [3] Dokumentace projektu OPTIMA. [online] https://projects.shift2rail.org/s2r_ip2_n.aspx?p=S2R_OPTIMA

Pavel Drdla¹

Tarifní propojení železniční osobní dopravy a dalších druhů veřejné hromadné dopravy při různých tarifních strukturách integrovaných dopravních systémů v České republice

Klíčová slova: *integrovaný dopravní systém, železniční osobní doprava, tarifní struktura, odbavení cestujících, konkurenceschopnost veřejné hromadné dopravy*

Anotace:

Příspěvek se zabývá problematikou integrace různých tarifních struktur integrovaných dopravních systémů v České republice. Začátek příspěvku je zaměřen na analýzu jednotlivých tarifních struktur integrovaných dopravních systémů v České republice, případně v zahraničí. Druhá část příspěvku obsahuje návrh na řešení integrace tarifních struktur všech integrovaných dopravních systémů v České republice.

Summary:

The paper deals with the problematic of various tariff structures integration for different integrated transport systems in the Czech Republic. The beginning of the paper is focused on the analysis of individual tariff structures of integrated transport systems in the Czech Republic or abroad. The second part of the paper contains a proposal to solve the integration of tariff structures of all integrated transport systems in the Czech Republic.

Úvodem

V současné době se lze již ve všech krajích České republiky setkat s jednotlivými integrovanými dopravními systémy, reprezentujícími tarifní nebo i dopravní propojení různých druhů veřejné hromadné dopravy, kdy dopravní výkony zajišťují různé dopravci. Páteřním druhem dopravy je v těchto integrovaných dopravních systémech právě železniční osobní doprava. Stávající tarifní struktury sousedních integrovaných

¹ 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.

dopravních systémů (dále též jen „IDS“) ovšem z důvodu odlišnosti často nejsou vzájemně tarifně kompatibilní, tj. není možno využít integrovaný jízdní doklad při cestě na území více jak jednoho systému IDS.

I když se připravuje v rámci tzv. národního tarifu společností CENDIS síťová jízdenka (1), která by měla v první etapě tarifně propojit železniční spoje jednotlivých železničních dopravců, tak zatím neumožní požadovanou formu tarifní integrace na území dnešních krajů, kdy integrovaný jízdní doklad pro cesty v rámci zaintegrovaného území IDS platí pro všechny integrované spoje IDS, tedy všech druhů veřejné hromadné dopravy – kromě železniční osobní dopravy je to veřejná linková doprava a městská hromadná doprava.

Nepočítá se proto zatím s možností, která existuje například v Německu v rámci cestování na jeden jízdní doklad na území více sousedních tzv. Dopravních svazů nebo tzv. Tarifních svazů (oboje je ekvivalentem k IDS u nás), že by cestující mohl využít při své cestě výhod integrace veřejné osobní dopravy jednotlivých sousedních IDS na jeden integrovaných jízdní doklad, tedy bez některých nevýhod tzv. lomeného tarifu. V Německu pro toto existují tzv. Účelová sdružení nebo tzv. Dopravní sdružení pro tarifní integraci.

Problém je totiž v tom, že při svých cestách musí cestující respektovat území s integrovanou veřejnou hromadnou dopravou v rámci IDS, které je velmi často ohraničeno administrativně stanovenými krajskými hranicemi, jež z důvodu formálního stanovení jsou velmi často v rozporu s přirozenou spádovostí cest, způsobujících umělé lomení dopravně-přepravních ramen atd.

Cílem tohoto příspěvku je posoudit, jakým způsobem by se dal eliminovat problém ve vzájemné nekompatibilitě tarifních struktur jednotlivých sousedních IDS, aby mohl být jako v zahraničí cestující odbaven na jeden integrovaný jízdní doklad pro celou cestu a vše se nemuselo řešit formou lomeného jízdného zvláště pro každý IDS. Nabídka by se potom stala pro cestujícího více atraktivní a existuje opodstatněný předpoklad, že by se zvýšil i počet cestujících v rámci veřejné hromadné dopravy. Naplnily by se tak všechny tři tzv. pilíře integrované nabídky veřejné hromadné dopravy – časová, prostorová a tarifní provázanost.

1. Charakteristika tarifních struktur IDS

Příspěvek není zaměřen na posuzování integrace veřejné hromadné dopravy sousedních krajů při řešení závazku veřejné služby pomocí tzv. brutto smluv nebo tzv. netto smluv. Stejně tak není podstatné, jestli jsou příslušné IDS „zastřešeny“ organizátorem IDS ve formě odborné společnosti nebo zda pozice organizátora je zajišťována přímo krajem či krajským úřadem.

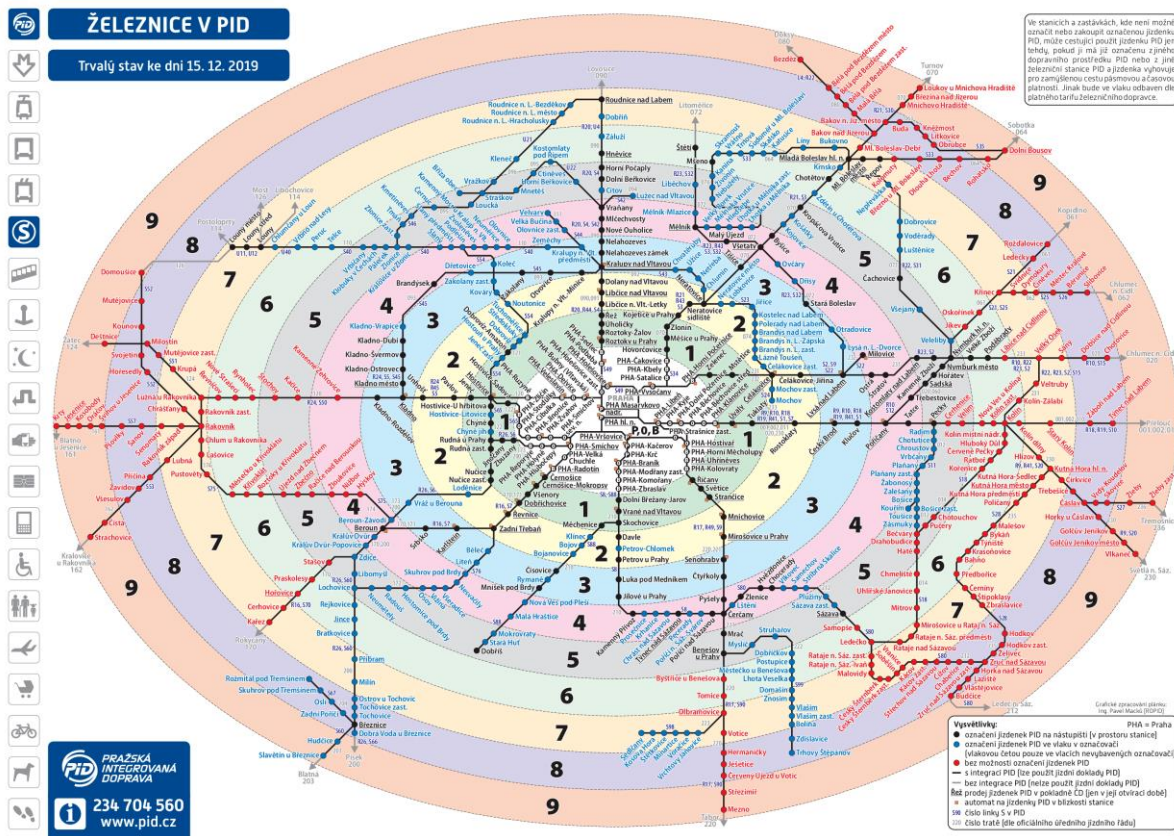
Pozornost se tedy věnuje vlastním tarifním strukturám IDS. V České republice se nepoužívají úplně všechny tarifní struktury IDS, jako například v německy mluvících zemích. Přesto s ohledem na návrhy v další části tohoto článku je potřeba aspoň

stručně zmínit i příklady ze zahraničí. V rámci analýzy tarifních struktur v České republice se vychází ze stavu k lednu 2020. (2)

Ve všech případech pro vzájemné provázání sousedních IDS se využije železniční osobní doprava, protože až na výjimky spoje veřejné linkové dopravy nepokračují na území sousedního IDS. Důraz proto bude kladen na železniční osobní dopravu. (2)

Pásmová tarifní struktura

Tato forma se využívá především v rámci velkých městských a příměstských aglomerací, kde jádrové město je dominantou regionu s velkou přitažlivostí cest. Významná většina těchto cest je právě mezi jádrovým městem a územím aglomerace, cesty v rámci aglomerace mají menší podíl. Z tohoto důvodu je obsluhované území rozděleno na sousední dostředně situované prstence, kde z tarifního hlediska je pro určení ceny za přepravu rozhodující počet projetych prstenců.



Obr. 1: Pásmová tarifní struktura Pražské integrované dopravy

Zdroj: (3)

Rozhodující v rámci aglomerace u pásmové tarifní struktury je právě železniční osobní doprava, kde jednotlivé linky vytváří paprskovitě uspořádanou dopravní síť, pokrývající rozhodující přepravní proudy. Veřejná linková doprava zde je doplňkem a slouží pro návaznost právě k linkách železniční osobní dopravy. (6)

V České republice se toto využívá ve 3 případech, a to zejména u Pražské integrované dopravy (PID), dále potom ve formě integrace MHD Zlín-Otrokovice a železniční trati Otrokovice – Zlín – Vizovice u Zlínské integrované dopravy (ZID) a ještě u systému s názvem IDS Tábořsko. (2)

Zónová tarifní struktura

Tento případ tarifní struktury je v rámci České republiky nejčastější. Území obsluhované IDS je zde rozděleno na jednotlivé dílčí oblasti o průměru většinou nad 10 kilometrů, označovaných jako zóny. Příslušný region na rozdíl od pásmové tarifní struktury nemá pouze jedno dominantní centrum, ale kromě většinou jednoho velmi významného centra má několik dalších významnějších center jako zdrojů nebo cílů cest. (6)

I v tomto případě je páteří dopravní sítě veřejné hromadné dopravy opět železniční osobní doprava, doplňovaná o nabídku veřejné linkové dopravy či dále městské hromadné dopravy. Přepravní proudy v tomto případě nejsou pouze ve vztahu k dominantnímu centru aglomerace. Cena za přepravu vychází z počtu projetých zón.

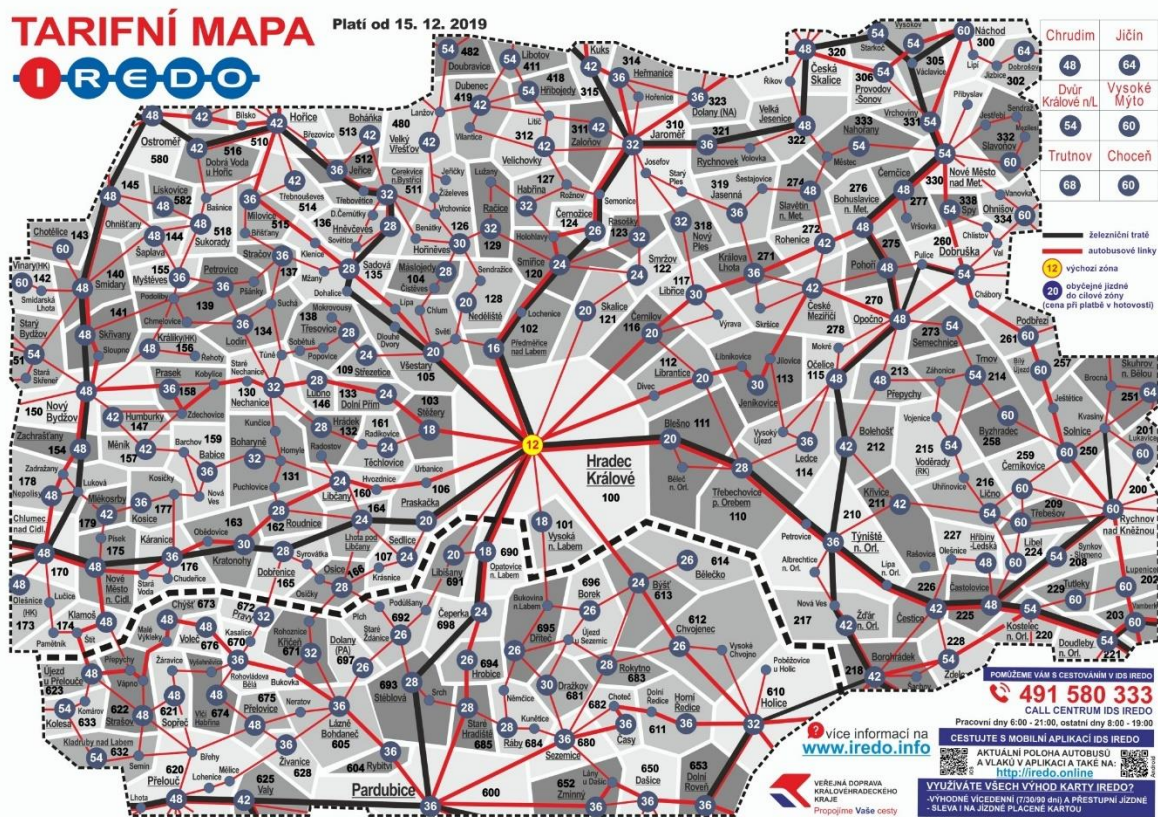
Zónová tarifní struktura je všeobecně známá, proto asi není potřeba uvádět grafický příklad. V České republice se toto využívá v rámci osmi systémů IDS: Středočeská integrovaná doprava (SID), Východočeský dopravní integrovaný systém (VYDIS), Integrovaná doprava Karlovarska (IDOL), Integrovaná doprava Plzeňska (IDP), IDS Jihočeského kraje (IDS JK), IDS Jihomoravského kraje (IDS JMK), IDS Olomouckého kraje (IDSOK) a IDS Moravskoslezského kraje (ODIS). (2)

Zónově-relační tarifní struktura

Jde o další variantu tarifní struktury IDS, využívanou i v České republice. Území obsluhované IDS je rozděleno do tzv. mikrozón (odborný pojem, i když v praxi se i zde pro zjednodušení používá pojem zóna), představujících většinou území 1-2 obcí, takže oproti zónové tarifní struktuře mají tyto oblasti podstatně menší průměr. Využívají se taktéž v podobně strukturovaných regionech jako v případě zónových tarifních struktur – to platí i pro železniční osobní dopravu, která kromě vybraných linek veřejné linkové dopravy je opět páteří IDS.

Pro každou mikrozónu jako výchozí místo cesty se sestaví samostatná mapa a cestující pomocí číslice v cílové mikrozóně snadno zjistí cenu jednoduchého jízdného, respektive pomocí násobků cenu zlevněného jízdného či naopak časového jízdného. Při cestě musí potom dodržet stanovenou maximální dobu cesty a současně nesmí projet přes mikrozónu s vyšší cenou, než kterou uhradil. V některých systémech se používají i tzv. nadzóny, které jako mezilehlé okrsky musí cestující projet a má tím menší možnost výběru oproti variantě bez nadzón. (6)

V České republice se s touto tarifní strukturou lze setkat u tří systémů: Integrovaná regionální doprava (IREDO), Integrovaná doprava Liberecká (IDOL) a Doprava Ústeckého kraje (DÚK). (2)



Obr. 2: Výsek z tarifní mapy systému IREDO pro mikrozonu Hradec Králové

Zdroj: (4)

Kilometrická tarifní struktura

S tímto lze se v České republice setkat pouze u Integrované dopravy Zlínského kraje (ID ZK), označované též jako Tarif Zlínského kraje (TZK). (2)

Cena základního jízdného je součet pevné nástupní sazby a ceny za počet ujetých kilometrů. Využívá se jen jako přestupní jízdenka pro jednotlivou jízdu pouze mezi spoji železničních dopravců, současně i jako časová jízdenka - opět pouze pro železniční osobní dopravu.

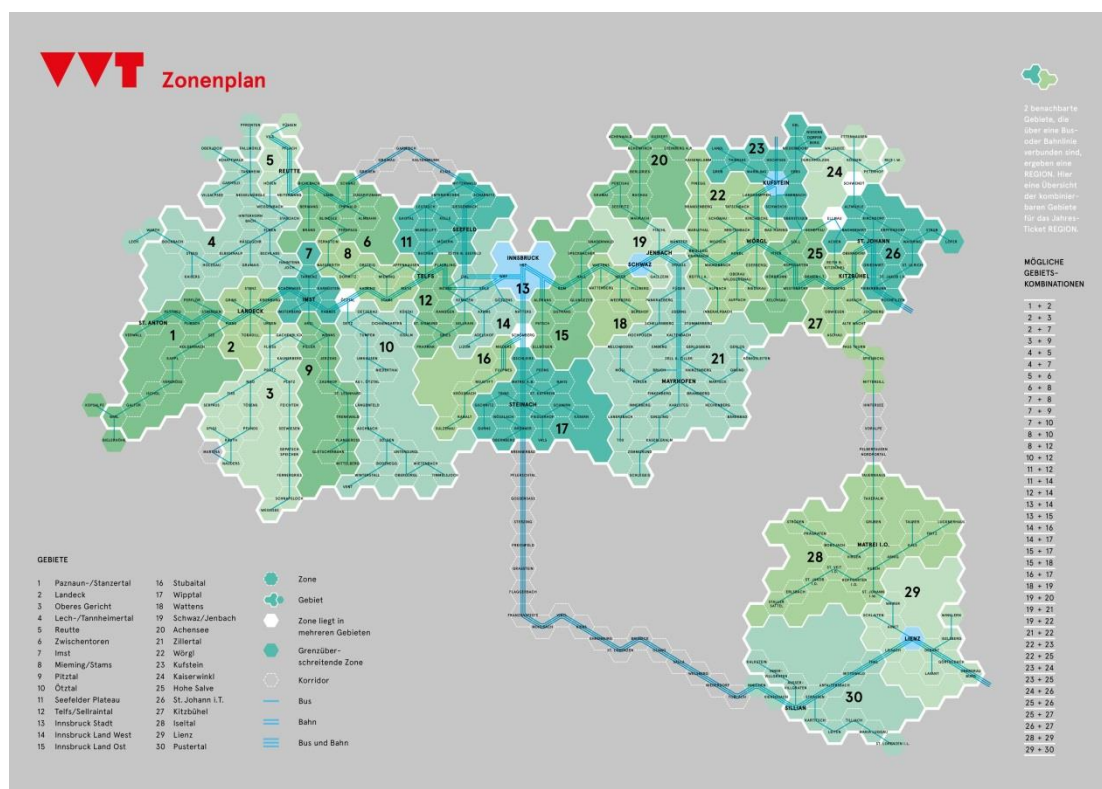
Sektorová tarifní struktura

Ta je mezistupněm mezi pásmovou a zónovou tarifní strukturou, kdy prstence pásmové tarifní struktury jsou paprskovitě od centra rozčleněny na jednotlivé zóny.

V České republice se toto nevyužívá (náznak je ale u IDS JMK – viz desítkové pozice čísel tarifních zón, hlavně směrem od Brna), bylo by to ale řešením pro Prahu a Středočeský kraj, kde pro PID jsou zaužívané prstence (3) pásmové tarifní struktury (nemuselo by se toto opustit) a pro SID se používá zónová tarifní struktura. (2)

Plástvová tarifní struktura

Jedná se o obdobu zónové tarifní struktury, kdy jednotlivé zóny mají srovnatelnou velikost a graficky se na tarifní mapě znázorňují jako šestiúhelníky (tvar plástve – v němčině „Waben“), nebo čtverce či obdélníky apod. U nás se toto nepoužívá. (2)



Obr. 2: Tarifní mapa Dopravního svazu Tyrolsko

Zdroj: (5)

Časová tarifní struktura

V tomto případě se nejedná o klasický IDS, ale o určitou jednoduchou formu tarifní integrace. Cestující si může pořídit 24hodinovou jízdenku, kterou kromě vlaků vyšší kvality může využít ve všech spojích tarifně integrovaného území. (6) U nás se většinou jedná o přeshraniční dopravu, konkrétně jde o tyto příklady: Egronet (Karlovarský kraj + část Německa), Euro-Nisa-Ticket (Liberecký kraj + část Německa + část Polska), Labe-Elbe (Ústecký kraj + část Německa), Vltava-Dunaj-Tiket

(Jihočeský kraj + část Rakouska), Jeseníky (část Olomouckého kraje a část Moravskoslezského kraje) atd. (2)

Je třeba dále upozornit na to, že neznalost tarifních ujednání na mezinárodní úrovni vedlo k tomu, že některé z těchto výhod prakticky skončily předáním výkonu dopravní obslužnosti soukromému dopravci. Například je možno uvést Pardubický kraj a nového dopravce Leo Express Tenders ve vztahu k nabídce SoNe+ příhraniční do Polska.

IDS bez tarifní struktury

V době kompletace tohoto příspěvku (leden 2020) v České republice existuje systém IDS s názvem Veřejná doprava Vysočiny (VDV), který nemá žádnou z předchozích uvedených tarifních struktur. V systému nejsou jízdenky IDS, ale používají se nepřestupní jízdenky dopravců (bez označení IDS). Je to z důvodu, že dosud neexistuje clearingové/zúčtovací centrum IDS, takže o tarifní integraci nyní nelze hovořit. Uvažuje se ale o zónově-relační tarifní struktuře s využitím nadzón s tím, že by měly být zavedeny zatím jen přestupní jízdenky pro jednotlivou jízdu (nikoliv časové). (2)

2. Integrace tarifních struktur jednotlivých IDS

V České republice by s ohledem na různorodost a přímou nekompatibilitu jednotlivých tarifních struktur sousedních IDS bylo dobré se „poučit“ ze zahraničních zkušeností řešení uvedené situace. (6)

Jak již bylo uvedeno, tak například v německy mluvících zemích z tohoto důvodu vznikají tzv. Účelové sdružení nebo Dopravní sdružení pro tarifní integraci více systémů. Znamená to, že cestující je odbaven na jeden integrovaný jízdní doklad pro cestu na území více IDS s možností využití všech druhů zintegrované veřejné hromadné dopravy – železniční osobní dopravy, veřejné linkové dopravy a městské hromadné dopravy. V rámci jednotlivých Dopravních svazů či Tarifních svazů dojde ke clearing (česky „přerozdělení“) tržby mezi jednotlivé integrované systémy. Výhodou je to, že cestující toto vnímá jako vyšší komfort nabídky a nemusí jako v případě České republiky „tarifně“ respektovat hranice území jednotlivých IDS.

Pokud by se toto mělo posoudit z hlediska aplikovatelnosti v České republice, tak to není v brzké době realizovatelné kvůli nezájmu ze strany krajských objednatelů veřejné hromadné dopravy. Iniciativa by proto nevznikala „zespodu“, ale muselo by se jednat o rozhodnutí z úrovně státu s aplikovatelností pro jednotlivé kraje. Pro cestujícího by nejlepším a vlastně tím i optimálním řešením bylo s ohledem na velikost území České republiky uvažování o „Integrovaném tarifu České republiky“ pro integraci veřejné dopravy jako celku (v ideálním případě v konečném kroku posouzením možnosti vzniku IDS Česká republika).

Nyní ale je třeba posoudit, jak je možné „odbourat“ příčiny komplikované integrace jednotlivých tarifních struktur v České republice. V České republice se používají

následující tarifní struktury IDS (pokud se nebude uvažovat stav bez tarifní struktury pro Kraj Vysočina):

- pásmová tarifní struktura,
- zónová tarifní struktura,
- zónově-relační tarifní struktura,
- kilometrická tarifní struktura.

Při posuzování jednotlivých možností dospěl autor tohoto článku k závěru, že jako základ pro „odbourání“ desintegračních rozdílů tarifních struktur jednotlivých IDS může být stanovena pouze zónová tarifní struktura. Pokud by tomu tak bylo, tak je potřeba navrhnout řešení, jak uzpůsobit ostatní tarifní struktury, tak, aby byly vzájemně kompatibilní právě se zónovou tarifní strukturou:

- U pásmové tarifní struktury by muselo dojít ke změně na tarifní strukturu sektorovou. Znamenalo by to cestujícími zaužívaná pásma rozdělit paprskovitě od centra aglomerace na jednotlivé zóny. Každé pásmo by tak bylo tvořeno vedle sebe uspořádanými zónami, čímž by nedošlo ke změně tarifní kalkulace při cestách mezi centrem aglomerace a vlastní aglomerací. Na druhou stranu by to bylo nevýhodné pro cestující, kteří například v současné době cestují tangenciálně vůči centru aglomerace a tím projedou malý počet pásem či dokonce při své cestě využijí jen jedno pásmo. V tomto případě by řešení nemělo být komplikované. Navíc se prakticky jedná o řešení jen pro PID (3), protože území IDS Tábořsko a ZID do budoucna by mělo být obsluhováno jinou formou integrované dopravy, takže posledně dvě jmenované IDS budou v budoucnu zrušeny.
- U zónově relační tarifní struktury by pro cesty jenom v rámci IDS nedošlo ke změně, mohl by zůstat stávající stav, na který jsou cestující zvyklí. Pro cesty na území více systémů IDS je třeba rozlišit, zda se využívají nebo nevyužívají nadzóny. Při IDS bez nadzón by došlo ke sdružení několika mikrozón do zón srovnatelné plošné velikosti, jako u zónově relační tarifní struktury. U systémů s nadzónami by se potom musely nadzóny rozdělit na menší oblasti, které opět by měly srovnatelnou plošnou velikost jako „klasické“ zóny. Ani v tomto případě se nejedná o komplikované řešení.
- Nakonec u kilometrické tarifní struktury je situace nejkomplikovanější. Jak je v příspěvku výše uvedeno, tak toto se týká pouze Zlínského kraje. Autor příspěvku po zvažování jednotlivých možností dospěl k závěru, že kilometrická tarifní struktura není nijak kompatibilní s ostatními tarifními strukturami. Proto bohužel v případě nadkrajské integrace bude muset být pro uvedený kraj vytvořena navíc ještě zónová tarifní struktura. Kilometrická tarifní struktura pro cesty v rámci kraje ale zůstane zachována.

Z uvedených odrážek vyplývá, že nadkrajská integrace tarifních struktur v České republice je možná. Po dopravní stránce by páteří byla železniční osobní doprava, přičemž by se musela ještě sjednotit situace ohledně integrace rychlíků (respektive obecně některých vlaků v závazku veřejné služby), které na rozdíl od osobních vlaků a spěšných vlaků nebývají ve všech krajích do IDS zintegrovány. Na páteřní železniční osobní dopravu by potom navazovaly linky veřejné linkové dopravy

(regionální linky stejně často respektují krajské hranice) a samozřejmě i městská hromadná doprava.

Závěr

Pokud bude snaha podporovat co nejvyšší využití veřejné hromadné dopravy v čele s železniční osobní dopravou, je třeba se zaměřit i na důvody, proč někteří uživatelé na tuto nabídku nereflktují. Jedním z důvodů je vytváření systémů dopravní obslužnosti včetně IDS tak, že sice respektují administrativně stanovené územní celky (kraje), ale zde existuje často rozpor s přirozenou spádovostí území a přepravními potřebami cestujících, kdy krajské hranice jsou pro tyto cesty „tarifními bariérami“.

V případě řešení tarifní stránky při existenci jednotlivých IDS se nabízí vytvoření takové tarifní nabídky pro cestující, která „stírá“ krajské hranice a tím odbourává nekomfort pro cestující kvůli nutnosti využití tzv. lomeného jízdného, tedy pořizování si integrovaného jízdního dokladu pro každý systém IDS zvlášť.

V příspěvku uvedený návrh by při realizaci v praxi jistě pomohl získat další cestující do veřejné hromadné dopravy, protože by touto nabídkou mohli využít všechny druhy veřejné hromadné dopravy s páteří železniční osobní dopravou. Samozřejmě by muselo dojít k nastavení clearingů tržeb od cestujících mezi jednotlivé IDS.

Literatura:

- (1) CENDIS. *Systém jednotného tarifu*. Dostupné z www.cendis.cz.
- (2) DRDLA, Pavel. *Integrace veřejné osobní dopravy*. Přednáška na 1. mezinárodní konferenci Budoucnost regionální dopravy. Týn nad Vltavou: KPT Rail, 10.1.2020.
- (3) ROPID. *Tarifní mapa Pražské integrované dopravy*. Dostupné z www.ropid.cz.
- (4) OREDO. *Tarifní mapa IREDO*. Dostupné z www.oredo.cz.
- (5) VVT. *Tarifní mapa Dopravního svazu Tyrolsko*. Dostupné z www.vvt.at.
- (6) DRDLA, Pavel. *Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu*. 2. upravené vydání. Pardubice: Polygrafické středisko Univerzity Pardubice, 2018. 420 s. ISBN 978-80-7560-189-6.

Příspěvek vznikl za podpory projektu TL02000400 programu ÉTA v rámci Technologické agentury České republiky.

Lektorovali: prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.
Vysoká škola logistiky, Přerov

doc. Ing. Rudolf Kampf, Ph.D.
Vysoká škola technická a ekonomická, České Budějovice

Veřejné služby v přepravě cestujících od vzniku regionální integrace po celostátní jízdenku

Roman Štěrba¹

Klíčová slova veřejná doprava, veřejné služby, integrace, Swiss Travel Pass, Holland Travel Ticket, Mobilite Gratuite

Keywords public transport, public service, integration, Swiss Travel Pass, Holland Travel Ticket, Mobilite Gratuite

ANOTACE

Příspěvek připomíná výročí 55 let integrovaných veřejných služeb v přepravě cestujících v Hamburku a aktuální stav celostátního jízdného pro veškerou veřejnou dopravu ve vybraných zemích. Integrace přinesla sjednocení nabídky veřejné osobní dopavy vůči cestující veřejnosti a zlepšení její konkurenceschopnosti vůči individuální automobilové dopravě.

ABSTRACT

The article reminds the anniversary of 55 years since establishing of integrated public passenger transport services in the region of Hamburg. In addition, it brings current status of nationwide ticketing scheme supporting interconnected transport services in selected countries. The integration of public passenger transport services improves its competitiveness with individual transport.

1. ÚVOD

Hamburský dopravní svaz (HVV) se v polovině šedesátých let minulého století stal symbolem renesance veřejné osobní dopavy. Světlo světa spatřila integrace nabídky veřejné hromadné dopavy osob v území. Základní kámen integrace byl položen 29. listopadu 1965, kdy došlo ke slavnostnímu podpisu vyjednaných smluv o jednotném tarifu uznávaném v rámci svazu dopravců mezi provozovateli dopravy na hamburské radnici. Aktuální stav integrace umožňuje cestovat veřejnou osobní dopravou s celostátní jízdenkou ve vybraných zemích.

2. HAMBURSKÝ SVAZ DOPRAVCŮ

Podpisem tarifní dohody byl založen Hamburský svaz dopravců (HVV) se svojí stejnojmennou servisní organizací ve formě společnosti s ručením omezeným, jež zastřešovala tamní dopravce provozující městskou, příměstskou a regionální

¹ doc. Dr. Ing. Roman Štěrba, 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.

dopravu. Zpočátku se jednalo o společnosti Hamburger Hochbahn AG (městský dopravce), tehdejší Deutsche Bundesbahn (provoz městské rychlodráhy S-Bahn a městských autobusů) a Dopravní podniky Hamburg-Holstein (provoz příměstských autobusových linek). Od počátku měl HVV také dvě asociované společnosti, z nichž jedna – Hamburská vodní linková doprava (HADAG) - přistoupila v roce 1976 jako plnoprávný člen. Společná jízdenka pro veřejnou dopravu platí od roku 1966 a od roku 1967 platí jednotný tarif jízdného HVV.

Cíl snah o integraci nabídky služeb veřejné osobní dopravy se dal snadno interpretovat heslem „Jeden jízdní řád a jedna jízdenka pro celý Hamburk a přilehlé obce“ - a to v zájmu zvýšení podílu veřejné osobní dopravy na přepravním trhu prostřednictvím nabídky konkurenceschopné (jednotné) alternativy k všudypřítomnému a flexibilnímu individuálnímu motorismu. To, co nám dnes již i v České republice připadá samozřejmé, však tehdy bylo téměř revolučním počinem. Revoluci přinesl nový model organizačního uspořádání provozu služeb veřejné osobní dopravy především v oblasti uplatnění jednotného tarifu ve spojení s jedním jízdním dokladem bez ohledu na druh dopravy nebo dopravce. Již v den založení Svazu dopravců obsáhl společný tarif HVV obsluhované území o rozloze 1600 km² s 2,3 mil. obyvatel. Nikde neexistovalo nic podobného. Dopravní experti i politici z celého světa přijížděli do Hamburku přiučit se dobré věci. Začalo se mluvit o Hamburském modelu dopravní obsluhy území a jeho “virus” se v tom nejlepším slova smyslu začal šířit hlavně v německy mluvících zemích.

V roce 1966 přistoupily ke svazu dopravců HVV železniční dopravci Altona-Kaltenkirchen-Neumünster (AKN), Alsternordbahn (ANB) a Elmshorn-Barmstedt-Oldesloer (EBO). V území HVV platily stejné zásady cenotvorby a stejné přepravní podmínky uplatňované ve všech vozidlech zúčastněných dopravců. Před zavedením svazového tarifu bylo obsluhované území rozděleno do 133 zón, nově na 22 zón. V roce 1972 k HVV přistoupila společnost Pinneberger Verkehrsgesellschaft (PVG), v roce 1981 pak Kraftverkehr GmbH (KVG).

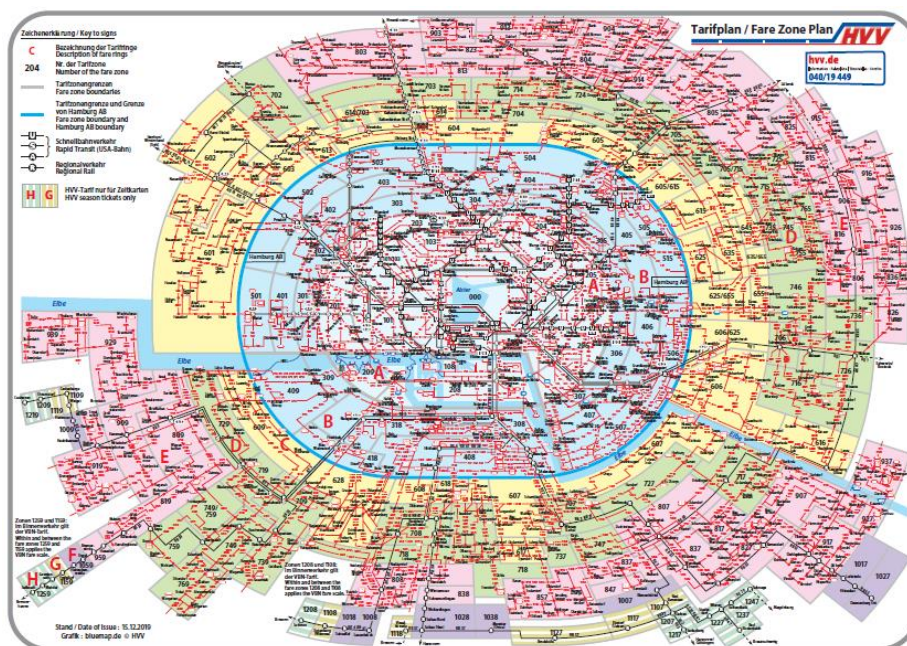


Schéma č. 1: Aktuální tarifní schéma HVV Zdroj: www.hvv.de

3. POSTAVENÍ ORGANIZÁTORA

Delikátní a často diskutovanou záležitostí integrace ve veřejné osobní dopravě tehdejší formou Svazu dopravců se časem stala právní kodifikace "*organizátora integrovaného dopravního systému*". Dopravci mohou samozřejmě vytvořit různá sdružení a na ně dobrovolně delegovat některé své aktivity. Ty mohou spočívat i v návrzích koncepčního charakteru, sledování vývojových tendencí v osobní dopravě v jimi obsluhovaných lokalitách a podobně. Rovněž není vyloučeno, aby některý z dopravců najímal na své licence jiné dopravce, kteří budou jeho jménem dopravu zajišťovat. V obou těchto možných případech však zůstává držitelem licence dopravce, který je tím také nositelem odpovědnosti z přepravní smlouvy. Aplikace tohoto modelu označovaného za tzv. Svaz dopravců je však Evropskou komisí považována za porušování pravidel hospodářské soutěže, což je v rozporu s protimonopolními předpisy.

Ani druhá možnost, tedy že případný "*organizátor integrovaného dopravního systému*" je součástí licenčního úřadu, se však nejevila jako vhodná, neboť pak v případě, že by byl nositelem licencí, stal by se dopravní úřad současně i dopravcem a sám sobě by vykonával státní dozor. V praxi problematické se rovněž jeví již zmíněné konstituování "*organizátora*" jako držitele licence, neboť dopravci by potom přestávali být podnikateli tohoto jména a museli by se smířit jen s druhořadým postavením najatých podnikatelů k zajišťování provozu vyplývajícího z licencí v držení jiné osoby. Věc má ještě jeden právní problém. Koncentrace licencí ve vymezené oblasti v rukou jediného subjektu ("*organizátora*"), navíc faktickou dopravu neprovozujícího, lze považovat, obdobně jako u Svazu dopravců, za porušování pravidel hospodářské soutěže a spravedlivé konkurence, které je v rozporu s protimonopolními předpisy.

"*Organizátor integrovaného dopravního systému*" by tedy měl mít úkoly skutečně jen organizační a měl by stát vedle základního vztahu správní úřad - dopravce. Lze si jej představit jako osobu prezentující dopravní zájmy města a zájmy dalších měst a obcí ležících v příslušné aglomeraci města (svazek obcí) nebo jako osobu prezentující dopravní zájmy jinak definovaného nebo jinak vzniklého regionu nebo i vyššího územně samosprávného celku (země, resp. kraje). Může rovněž být i odborným a výzkumným pracovištěm pro místně příslušné dopravní úřady a drážní správní úřady.

Veřejná doprava v rámci HVV se dnes uskutečňuje na území tří spolkových zemí (Hamburk, Dolní Sasko a Schleswig-Holstein). Země a okresy jsou v Německu ze zákona určeny za objednatele veřejné regionální dopravy a tím povinny nabídnout svým obyvatelům dostatečnou dopravní obslužnost území vč. úhrady prokazatelné ztráty. Za tím účelem se sdružily a jako společníci založily koordinační společnost s ručením omezeným (HVV GmbH). Podíly ve společnosti odpovídají dopravním výkonům v jednotlivých územních částech HVV. Manažerská společnost HVV zajišťuje společné činnosti dopravního svazu, jimiž jsou koncepce rozvoje (především infrastruktury dopravy), projektování časové a prostorové koordinace provozu dopravy, smluvní zajištění, financování a jednotný tarif, provozní a přepravní kontrolu a průzkumy, marketing, public relations a propagaci.

K 15. prosinci 2002 se území HVV rozšířilo o čtyři sousedící okresy spolkové země Schleswig-Holstein a dosáhlo již 5500 km² se 3 mil. obyvatel. Dnes je území HVV o rozloze 8616 km² a denně využije nabídku 28 dopravců HVV kolem 2,6 mil.

cestujících. V rámci Hamburku činí podíl HVV na přepravním trhu kolem 25 %, v centru města více než 67 %. Délka sítě linek činí 14486 km, počet linek je 763. Dopravní nabídka činila v roce 2018 38,4 mld. místo-km.

Významným dopravcem v rámci HVV, s podílem na nabízené kapacitě téměř 50 %, je holdingová společnost Deutsche Bahn (DB) a její dceřiné firmy, především S-Bahn Hamburg GmbH provozující městskou rychlodráhu. Jejimi vlaky denně cestuje na 500 tis. lidí. Vzhledem ke specializaci své činnosti byla v roce 1997 odčleněna z DB formou dceřiné společnosti ve 100% vlastnictví národního železničního holdingu, byla uplatněna kritéria nezávislá na DB v oblasti razantní a kompletní modernizace vozidel, čistota ve vlacích se stala nástrojem boje o zákazníka, byla zahájena implementace nejmodernějších informačních technologií a optimalizována údržba a opravy vozidel.

18. února 1999 bylo rozhodnuto o prodloužení sítě S-Bahn k letišti a v roce 2008 se stanice Hamburg Airport stala již šedesátým místem obsluhovaným vlaky S-Bahn, spoji jezdícími v intervalu 10 minut. Město Hamburg má s dopravcem S-Bahn Hamburg uzavřenu dlouhodobou smlouvu na drážní osobní dopravu s odhadovaným finančním ročním plněním 150 mil. eur při dopravních výkonech kolem 12 mil. vlakových km.



Foto č. 1: Hlavní nádraží Hamburk je klíčovým přestupním místem HVV a rozhraním mezi regionální a dálkovou dopravou ©

4. ORGANIZAČNÍ USPOŘÁDÁNÍ HVV

Ve společnosti HVV GmbH drží majetkový podíl město Hamburg (85,5%), spolková země Schleswig-Holstein (3%), spolková země Niedersachsen (2%) a okresy Herzogtum Lauenburg, Pinneberg, Segeberg Stormarn, Harburg, Lüneburg a Stade (9,5%).

Svobodné a Hansovní město Hamburg (v pozici spolkové země) je odpovědné za železniční osobní dopravu, metro, silniční linkovou dopravu a trajekty ve svém územním obvodu. Spolková země Schleswig-Holstein odpovídá za železniční osobní dopravu ve svém územním obvodu. Spolková země Niedersachsen odpovídá prostřednictvím pověřené Zemské dopravní společnosti (LNVG) za železniční osobní

dopravu. Okresy Herzogtum Lauenburg, Pinneberg, Segeberg, Stormarn, Harburg, Lüneburg a Stade odpovídají na svém území za silniční linkovou dopravu.

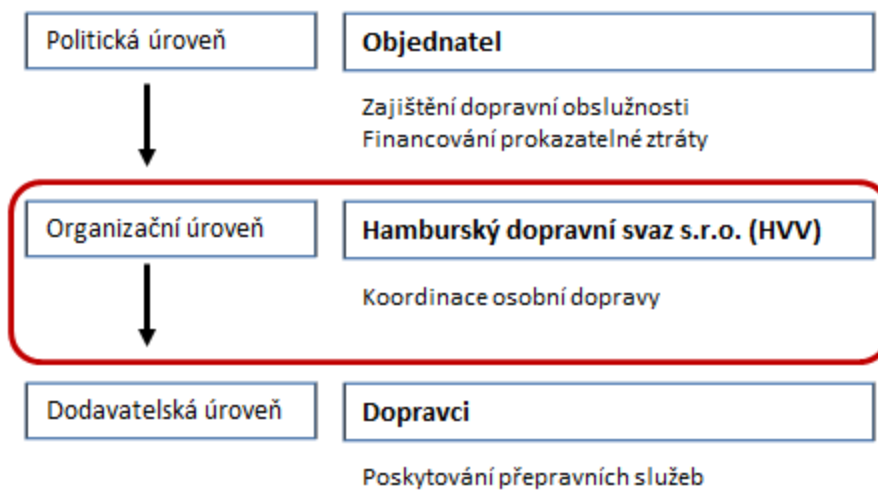


Schéma č. 2: Tříúrovňový organizační model HVV

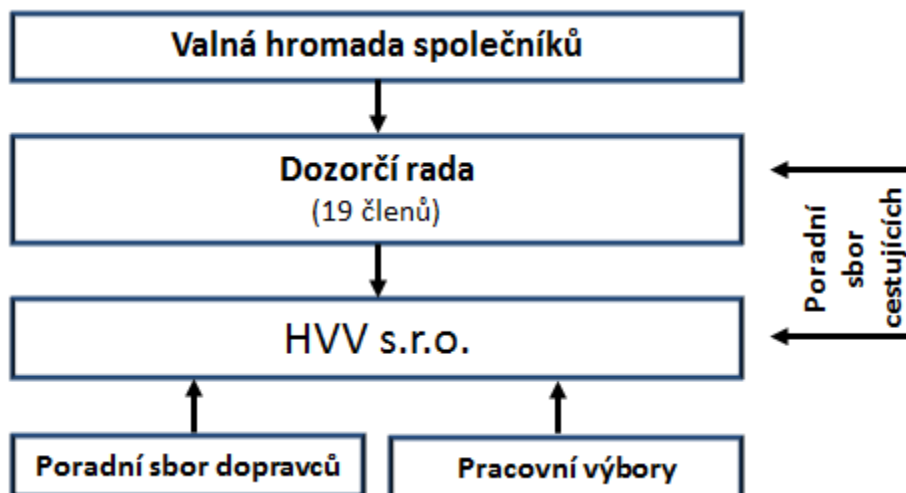


Schéma č. 3: Corporate governance HVV s.r.o.

Vedle standardních orgánů společnosti HVV je zřízen Poradní sbor cestujících. Jedná se o čestné grémium svazu, které zastupuje zájmy cestujících a slouží jako komunikační rozhraní mezi cestujícími, dopravci a dopravním svazem HVV s.r.o. Poradní sbor cestujících jedná čtyřikrát ročně a věnuje se všem tématům jako např. linkové vedení, vývěskám na stanicích a zastávkách nebo kvality a úplnosti informací poskytovaných cestující veřejnosti. Detailní potřeby a požadavky jsou rozpracovávány ve třech pracovních výborech (síť, tarif, informace cestujícím a kvalita). Poradní sbor cestujících má 34 členů. Polovina z nich zastupuje instituce a zájmové spolky, druhou polovinu tvoří fyzické osoby s tříletým mandátem.

HVV s.r.o. vykazuje roční výnosy 861 mil. eur (cca 22 mld. Kč). Tržby z jízdného v dopravním svazu HVV dosahuje 730 mil. eur (cca 20,1 mld. Kč), z toho zhruba 30% z předplatných jízdenek. Měsíční předplatné má kolem 800 tis. cestujících. Celkový počet přepravených cestujících dosahuje 730 mil.



Foto č. 2: Prodejní automaty jízdních dokladů HVV ©

5. POHLED EVROPSKÉ UNIE

Primárním východiskem dlouhodobých snah Evropské komise (EK) nastavit udržitelný dopravní systém ke zvládnutí rostoucí mobility prostřednictvím silniční dopravy je strategický dokument bílá kniha dopravní politiky „*Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje*“. [3] Dopravu vnímá jako zásadní prvek pro ekonomiku a společnost. Mobilita je důležitá pro vnitřní trh i životní úroveň občanů, jimž umožňuje využívat svobodu cestování. Doprava přispívá k hospodářskému růstu a vytváření pracovních příležitostí a s ohledem na klimatické změny musí být udržitelná.

Evropská Unie (EU) se souhlasem mezinárodního společenství zároveň vyzvala k drastickému snížení emisí skleníkových plynů s cílem omezit změnu klimatu. EK i v této souvislosti prosazuje svoji vizi konkurenceschopného a udržitelného dopravního systému s ambicí razantního snížení emisí navzdory a v kontextu s rostoucí dopravou a podporou mobility. EK prosazuje jednotící rámce do dopravní politiky, neboť soudržnost na úrovni EU je zásadní pro svobodné cestování po Evropě. Velkým úkolem je odstranit závislost dopravního systému na ropě, aniž by bylo třeba obětovat jeho účinnost a ohrozit mobilitu. V souladu se stěžejní iniciativou „*Evropa méně náročná na zdroje*“ zavedenou ve strategii „*Evropa 2020*“ je základním cílem evropské dopravní politiky napomoci vytvořit systém, který podporuje evropský hospodářský pokrok, zvyšuje konkurenceschopnost a nabízí vysoce kvalitní služby mobility a zároveň účinněji využívá zdroje. V praxi je třeba, aby doprava navzdory rostoucím přepravním výkonům využívala méně energie a aby využívala čistou energii, aby lépe využívala moderní infrastrukturu a snižovala svůj

negativní dopad na životní prostředí a zásadní přírodní zdroje jako vodu, půdu a ekosystémy.

5.1. Integraci dopravy k vyšším přepravním výkonům

Efektivní cestou je využití integrace dopravy, která umožní účinněji přepravovat vyšší počet cestujících. Na první a poslední míli, především v málo osídlených oblastech, přitom připadá v úvahu i individuální doprava za použití bezemisních vozidel. Velký význam spatřuje EK v smart informačních technologiích, které umožňují jednodušší a spolehlivější přepravu. Cílem je menší přetíženost, více informací, lepší služby a větší bezpečnost dopravy.

Ačkoliv je formálně snaha EK o rebalanci přepravních výkonů ve prospěch ekologických druhů dopravy spojována s konsolidací velkých objemů přepravy na střední a delší vzdálenosti, je nasnadě, že provázání meziměstské a městské veřejné osobní dopravy je klíčem k vyšší atraktivitě veřejné dopravy.

Lepší výběr druhů dopravy bude důsledkem vyšší integrace modálních sítí: železniční a autobusová nádraží a stanice MHD by měly být stále více propojovány a přeměňovány na multimodální dopravní uzly pro cestující. Informační online systémy a elektronické rezervační a platební systémy zahrnující všechny dopravní prostředky by měly multimodální cestování usnadnit. Pro širší používání hromadné dopravy by měla být zároveň stanovena příslušná práva cestujících.

Stávající roztříštěnost plánování městské, regionální a dálkové dopravy neprospívá vyššímu podílu využívání hromadných dopravních prostředků společně s minimálními povinnostmi služby umožní zvýšit hustotu a četnost dopravních služeb, a vytvořit tak pozitivní dynamiku u různých druhů veřejné dopravy. Jednotným řízením poptávky a plánováním dopravy lze zvládnout rostoucí mobilitu při snížení objemu dopravy díky růstu obsazenosti. Stěžejním cílem je tedy optimalizace výkonu multimodálních systémů s větším využitím energeticky účinnějších druhů dopravy.

5.2. Evropská síť mobility

EU financuje Transevropskou síť páteřních koridorů, které mají zvládat přepravy velkého množství cestujících, přičemž doprava má být vysoce účinná a nízkoemisní díky širokému využívání účinnějších druhů dopravy používaných v multimodální kombinaci a využívání pokročilých technologií a infrastruktury dodávek čistých paliv.

Vedle infrastruktury a provozované dopravy je třeba pamatovat i na sjednocení práv a odbavení přepravovaných cestujících. Je nutné vyvinout jednotnou interpretaci právních předpisů EU o právech cestujících a jejich harmonizované a účinné prosazování. Velký progres si EK slibuje od opatření týkajících se možnosti přepravy s integrovanými jízdenkami zakoupenými na jediném místě. Poskytnutí přímé multimodální přepravy je konkrétním cílem EK. S tím souvisí potřeba vytvořit rámcové podmínky pro propagaci rozvoje a využívání inteligentních systémů pro interoperabilní a multimodální jízdní řády, informace, rezervační systémy online a inteligentní prodej jízdenek.

Evropské právo [4] rozumí „*integrovanými veřejnými službami v přepravě cestujících*“ vzájemně propojené dopravní služby ve vymezené územní oblasti s jednotnou informační službou, systémem jízdného a jízdním řádem.

6. CELOSTÁTNÍ INTEGROVANÁ JÍZDENKA SWISS-TRAVEL-PASS

Švýcarsko je všeobecně považováno za vzor veřejné osobní dopravy. Tamní jízdenka Swiss-Travel-Pass platí pro všechny dopravní prostředky veřejné dopravy v zemi. Cestující mají k dispozici 29000 kilometrů železničních, autobusových a lodních linek, bezplatnou městskou hromadnou dopravu v 90 městech a slevu 50 % na většině horských železnic a lanovek. Jízdenka má volitelnou dobu platnosti síťové jízdenky. Jízdenka nabízí varianty s pevnou dobou platnosti nebo s flexibilní platností, volný vstup do více než 500 muzeí a na výstavy po celém Švýcarsku, zvýhodněné ceny pro skupiny a mladé do 16, resp. 26 let.

Počet dnů	3	4	8	15
Cena (€)	228	276	410	503
Přepočet ceny (€) za den	76	69	51,25	33,53

Tabulka č. 1: Příklad ceníku plnocenné jízdenky Swiss-Travel-Pass

Zdroj: *vlastní zpracování, [5]*

Jízdenky Swiss-Travel-System jsou síťové jízdní doklady, které opravňují cestovat ve vymezeném období po Švýcarsku, a to ve většině vlaků, autobusů, lodí a u některých typů jízdenek též v městské hromadné dopravě. Na lanovky a ozubnicové železnice jsou poskytovány slevy. Jízdenky je možné zakoupit u vybraných prodejců v zahraničí, příp. on-line.



Obrázek č. 1: Logo Swiss-Travel-Pass [5]

Jízdenky Swiss-Travel-Pass mohou zakoupit pouze občané s trvalým bydlištěm mimo Švýcarsko a Lichtenštejnsko. Jízdenky jsou nepřenositelné, jsou vydávány na jméno cestujícího po předložení průkazu totožnosti, na jízdenku se uvádí jméno, příjmení a číslo průkazu totožnosti. Před nástupem jízdy je třeba v příslušné kolonce jízdenky vyplnit datum jízdy (u jízdenek typu „flexi“) a podpis cestujícího. Jízdenky je možné zakoupit pro 1. nebo 2. vozovou třídu. Jízdenky platí od 0:00 hodin prvního dne platnosti jízdenky do 5:00 hodin dne následujícím po posledním dni platnosti.

Jízdenka Swiss-Travel-Pass Flex platí 3, 4, 8, 15 volně zvolených dní v rámci 30 denní platnosti, cestující má povinnost před započítáním jízdy si vyplnit datum v příslušném políčku. Umožňuje volné cestování vlakem, autobusem a lodí, včetně panoramatických tratí (příplácí se rezervační poplatek) a MHD v 90 městech.

Obsahuje „Museumpass“ ve zvolené dny (volný vstup do 500 muzeí), 50% slevu na většinu horských železnic a 50% slevu pro děti od 6 - 16 let a 15% slevu pro mládež do 26 let z ceny dospělého, děti do 6 let cestují zdarma.

Průkaz Swiss-Half-Fare Card opravňuje v rámci měsíční platnosti zakupovat neomezené množství jízdních dokladů na vlaky, autobusy a lodě s 50% slevou do 1. i 2. vozové třídy. Průkaz je nepřenositelný a vydává se jen pro dospělé. Zlevněné jízdné si cestující zakupuje přímo na místě (ve Švýcarsku).

Průkaz Swiss-Family-Card se vydává pro volné cestování vlastních dětí do 16 let (neosvobozuje však od placení případných povinných rezervací), jsou-li v doprovodu alespoň 1 rodiče, vlastního alespoň 1 druh jízdního dokladu z nabídky Swiss-Travel-System. Platnost je 1 měsíc, cena 0,- EUR. Pro děti do 6 let není vyžadována Swiss Family Card.

Děti do 6 let věku jsou přepravovány zdarma, nedoprovázené děti do 16 let platí 50 % z ceny jízdného (Swiss-Travel-Pass nebo Swiss-Travel-Pass Flexi), doprovázené děti do 16 let jsou přepravovány zdarma za podmínky, že rodič vlastní některou z jízdenek Swiss-Travel-System, a současně předkládá průkaz Swiss-Family-Card.

7. CELOSTÁTNÍ JÍZDENKA V HOLANDSKU

7.1. HOLLAND TRAVEL TICKET

Holandsko nabízí cestujícím celodenní jízdenku HOLLAND TRAVEL TICKET na veškerou veřejnou osobní dopravu v zemi. [6] Jízdenka se prodává na jeden den platnosti v ceně 62,- EUR (plnocenná) a verze „off-peak“ za 42,- EUR pro dobu platnosti mimo ranní špičku (v pracovní dny do 6:30 hodin a od 9:00 hodin a o víkendech a svátcích celodenně. Cena je poměrně vysoká, pokud vezmeme v úvahu cenu obyčejného jízdného ve výši 27,- EUR dopravce NS v relaci napříč Holandskem z Moddelburgu do Maastrichtu. Je tedy otázka, jestli cestující je reálně ochoten zaplatit vysokou marži za komfort jedné integrované jízdenky, resp. kolik procent cestujících vlastně nabídka oslovuje.



Obrázek č. 2: Vzorník jízdenek Holland Travel Ticket [6]

Jízdenka Holland Travel Ticket je v prodeji u národního dopravce NS v pokladnách nebo prodejních automatech. Jízdenka platí od označení a vzhledem

k platnosti u všech dopravců je nutné doklad použít při každém přestupu mezi operátory.



Obrázek č. 3: Jízdenka Holland Travel Ticket Off-peak ©

Jízdenka Holland Travel Ticket platí v rychlovlacích NS Hispeed a ICE pouze s povinnou rezervací místa. V rychlovlacích Thalys jízdenka neplatí. Na rozdíl od Swiss-Travel-Pass mohou Holland Travel Ticket kupovat i občané Holandska.

7.2. HOLLAND PASS

K dokladu Holland Pass, který je jednotnou volnou vstupenkou do více než 100 holandských kulturních zařízení (pamětihodností, muzeí atpod.), je možné zakoupit speciální jednodenní jízdenku na železniční osobní dopravu v zemi. Holland Pass umožňuje i využití „fast-track“ při vstupu do kulturních zařízení.



Obrázek č. 4: Vzorník dokladu Holland Pass [7]

Jednodenní celostátní jízdenka k neomezenému cestování konvenčními vlaky jako doplněk k Holland Pass je v prodeji v ceně 19,50 EUR. Platnost jízdenky je mimo ranní špičku od 9:00 hodin a neomezeně ve dnech svátků a víkendů. Jízdenku je k platnosti nutné označit po 9:00 hodin a platí ve 2. vozové třídě. Jízdenka s dokladem Holland Pass neplatí ve vysokorychlostních vlacích DB ICE, NS Hispeed a Thalys.

8. BEZPLATNÉ CELOSTÁTNÍ CESTOVÁNÍ V LUCEMBURSKU

Lucembursko po několikaleté přípravě zavedlo s platností od 1.3.2020 bezplatné cestování ve veškeré veřejné osobní dopravě (s výjimkou 1. třídy vozové

ve vlacích). Vláda o bezplatném cestování rozhodla již v závěru roku 2018. Platný jízdní doklad je třeba pro jízdy spoji překračujícími hranice země s cenou podle tarifu.



Obrázek č. 5: Logo bezplatného cestování v Lucembursku [8]

Jízdenky za použití 1. vozové třídy ve vlacích:

- | | |
|--|---------|
| - jízdenka s platností 2 hodiny | 3,- € |
| - deset jízdenek s platností 2 hodiny | 24,- € |
| - celodenní jízdenka | 6,- € |
| - pět celodenních jízdenek | 24,- € |
| - měsíční jízdenka na krátké vzdálenosti | 37,50 € |
| - měsíční plnocenná jízdenka | 75,- € |
| - roční jízdenka na krátké vzdálenosti | 330,- € |
| - roční jízdenka plnocenná | 660,- € |
| - seniorská jízdenka | 200,- € |



Foto č. 3: Autobus návazné dopravy státního železničního podniku CFL ©

Ceník jízdného v přeshraniční dopravě:

- | | |
|---|---------|
| - jízdenka RegioZone 1 s platností 2 hodiny | 3,- € |
| - jízdenka RegioZone s platností 2 hodiny | 5,- € |
| - jednodenní jízdenka RegioZone 1 | 5,- € |
| - jednodenní jízdenka RegioZone 2 | 9,- € |
| - měsíční jízdenka RegioZone 1 | 40,- € |
| - měsíční jízdenka RegioZone 2 | 85,- € |
| - roční jízdenka 1 | 360,- € |
| - roční jízdenka 2 | 750,- € |



Foto č. 4: Parkoviště Kiss&Ride jsou součástí konceptu mobility v Lucemburku ©

Vzhledem k absenci jízdních dokladů se cestující během jízdy prokazují platným dokladem totožnosti. Jedním z cílů vlády je přimět na 602 tisíc rezidentů, 175 tisíc zaměstnanců dojíždějících denně ze zahraničí a kolem 1,2 mil. turistů ročně k přechodu na veřejnou dopravu. Roční tržby se do loňska pohybovaly kolem 41 mil. EUR, což bylo méně než pouhých 10% provozních nákladů. Pro přirozené cílové skupiny uživatelů veřejné dopravy přitom jízdné kolem 400 EUR měsíčně bylo vysoké. [9]



Foto č. 5: Moderní patrové vlaky státního dopravce CFL ©

9. NĚMECKÝ PLÁN CELOSTÁTNÍ JÍZDENKY

Německá spolková vláda plánuje digitalizovat jízdní doklady ve veřejné osobní dopravě. Elektronické jízdní doklady (chip cards nebo smart phones) mají usnadnit i nasazení celostátního jízdního dokladu s jednoduchým zúčtováním mezi dopravci participujícími na přepravě. Hledání neexistující společné platformy pro celoněmeckou jízdenku je považováno za překážku. Spolkové ministerstvo dopravy

již v minulosti poskytlo 16 mil. EUR na vývoj společné platformy pro eTicket. Podobně v oblasti jízdních řádů existuje mnoho různých platform. Digitalizace ticketingu má oproti jiným projektům digitalizace země zpoždění. Problémem je i absence chytrých telefonů u seniorů. Sjednocení platform a hledání řešení pro všechny kategorie cestujících přináší nečekané zdržení. [10]

Možná nejbližší požadovanému řešení je „((eTicket Deutschland“ [11] vyvíjený ve spolupráci se sdružením Německých dopravních podniků (VDV). Jedná se o elektronický systém jízdenek pro veřejnou osobní dopravu. Pracuje jako účet, který má cestující u dopravce. Cestující potřebuje čipovou kartu, přístroj vybavený bezkontaktní čipovou technikou RFID nebo chytrý telefon s NFC. RFID (*radiofrekvenční identifikace*) je bezkontaktní výměna dat mezi transpondérem RFID a RFID čtečkou. NFC (*near field communication*) se díky vysoké stabilitě spojení a rychlému spárování hodí na přenos menších dat. Chytrý telefon s NFC lze použít místo platební karty při placení. Mobil s NFC může sloužit i jako bezpečnostní ověření místo čipu.



Obrázek č. 5: Načítání aztéckého kódu [11]

„((eTicket Deutschland“ umožňuje kreditní platby „Pre-Paid“, „Auto-Load“ a „Post-Paid“. V pre-paid systému si cestující nabije čip na určitou částku a má plnou kontrolu nad cash-flow a transakce jsou anonymní. Auto-load umožňuje automatizované nahrání kreditu při poklesu na stanovený zůstatek. Post-paid je založeno na zpětné platbě po vyúčtování přepravní služby.

10. ZÁVĚR

Integrace služeb veřejné osobní dopravy v metropolitní aglomeraci Hamburku znamenala kvalitativní zlom v její konkurenceschopnosti vůči individuální dopravě. Znamená sjednocení nabídky veřejné dopravy v území, koordinovaný jízdní řád a jednotné jízdné. Myšlenka integrace veřejné dopravy se rychle rozšířila v Německu, Rakousku a Švýcarsku, později i v podstatě v rámci celé Evropy, avšak vždy partikulárně, primárně v metropolitních sídelních aglomeracích.



Obrázek č. 6: Plné pokrytí Rakouska regionálními IDS dosaženo v roce 1997 [13]

Jedna jízdenka pro cestování veškerou veřejnou osobní dopravou v zemi je výzva a úžasná možnost dokončit sjednocení nabídky veřejné dopravy jako jediné alternativy individuálnímu motorismu. Je důležité, aby cestující nebyli zatěžováni hledáním a kupováním jízdenek pro jednotlivé dopravce a segmenty veřejné osobní dopravy. Ještě dál jde EK, která v roce 2019 v kontextu s rokem multimodality zadala expertní studii na celoevropský odbavovací a platební systém a práva cestujících v multimodální dopravě [12], neboť dosavadní legislativa je většinou podle druhu dopravy. Výsledkem je souhrn doporučení, jako např. spolupráce mezi stakeholdery, zpřístupnění dat, interoperabilita odbavovacích systémů, méně rozličných tarifů, pravidel a programů stejně jako vyjasnění pravidel konkurence a odbavování. EK má ambici spustit jednotný celoevropský ticketing pro veškerou veřejnou hromadnou osobní dopravu v roce 2022.

Literatura

- [1] Hamburger Verkehrsverbund [online]. c2020. www.hvv.de/de/ueber-uns/historie
- [2] ŠTĚRBA R. 40 let integrace veřejné osobní dopravy. *Logistika*, 2005, r. XI, č. 5, s. 50. ISSN 1211-0957.
- [3] Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system, white paper, EUROPEAN COMMISSION, Brussels, 28.3.2011, COM(2011) 144 final
- [4] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1370/2007 ze dne 23. října 2007 o veřejných službách v přepravě cestujících po železnici a silnici a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 1191/69 a č. 1107/70
- [5] Swiss-Travel-Pass. [online] <https://www.swiss-pass.ch/>
- [6] Holland Travel Ticket [online] <https://www.public-transport-holland.com/product/holland-travel-ticket/>
- [7] Holland Pass [online] <https://hollandpass.com>
- [8] Mobilite Gratuite [online] <https://www.mobilitegratuite.lu/>

Miroslav Haltuf¹

Kybernetická a fyzická bezpečnost na kritické infrastruktuře

Klíčová slova: *kybernetická bezpečnost, kritická infrastruktura, železniční doprava, kybernetický útok, fyzická bezpečnost*

Key words: *cyber security, critical infrastructure, railway transport, cyber threat, physical security*

Anotace

Článek se zabývá zmapováním problematiky fyzické kybernetické bezpečnosti na železniční infrastruktuře provozované Správou železnic, s. o. jako součástí kritické infrastruktury. Provozní i řídicí činnosti na železniční infrastruktuře, která je součástí kritické infrastruktury ČR i EU jsou většinou v kompetenci Správy železnic, s. o. Článek je zaměřen na popis trendů k zajištění fyzické a kybernetické bezpečnosti v železničním sektoru, popisuje její tříúrovňový model, vazby na provozní a administrativní a jiné činnosti jednotlivých aktérů na kritické infrastruktuře. V článku jsou popsány formy zajištění všech oblastí bezpečnosti na lokální i globální úrovni s vazbami na jednotlivé právní dokumenty, evropské i národní. Součástí článku je také popis metodologie řízení rizik a vztahů k odvětví železniční dopravy v daném (kybernetickém a fyzickém) prostředí v rámci EU. V článku je také kapitola o vazbách, rolích a úkolech evropských institucí, agentur a mezinárodních organizací a asociací, které jsou do všech procesů probíhajících na kritické infrastruktuře nějakou formou zapojeny. V závěrečném shrnutí je uvedeno, jakými směry by se další vývoj měl ubírat, především s ohledem na předpokládané trendy v oblasti automatizace (ATO a další činnosti), digitalizace, využití umělé inteligence, rozvoje komunikačních sítí nové generace a IoT.

Summary

The paper deals with mapping of physical cyber safety issues on the railway infrastructure operated by the Railway Administration as a part of the critical infrastructure. Operational and management activities on the railway infrastructure, which is part of the critical infrastructure of the Czech Republic and the EU, are mostly in the competence of the Railway Administration and other activities of individual actors on critical infrastructure. The paper describes forms of securing all areas of security at local and global level with links to individual legal documents, both European and national. The article also describes the methodology of risk management and relations to the railway sector in the given (cyber and physical) environment within the EU. The article also includes a chapter on the links, roles and tasks of European institutions, agencies, international organizations and associations that are involved in some way in all critical infrastructure processes. In the final summary it is stated what directions the next development should take, especially with regard to anticipated trends in automation (ATO and other activities), digitization, use of artificial intelligence, development of new generation communication networks and IoT.

¹ Ing. Miroslav Haltuf, nezávislý expert, zástupce ČR a místopředseda Shift2Rail States Representatives Group

1 Úvod

V posledním desetiletí zažila železniční doprava v mezinárodním kontextu významnou modernizaci a centralizaci systémů řízení provozu železniční dopravy a prostředí řízení železniční infrastruktury. Probíhající modernizace úzce souvisí s další implementací, používáním a řízením provozních systémů pro plánování dopravy, dispečerských systémů řízení dopravy nebo s implementací bezpečnostních systémů pro řízení a správu. To spolu se zvýšením počtu vlakových spojení a novými požadavky na digitalizaci a mobilitu osob a zboží vytváří rostoucí tlak na železnici jako kritickou dopravní infrastrukturu, což zvyšuje nejen potenciální rizika, ale také zvyšuje její složitost jak ve fyzických, tak v kybernetických aspektech.

Narušení provozu železniční infrastruktury může v důsledku vzájemných závislostí na jiných druzích dopravy a v důsledku jejich přirozeného propojení s jinými typy kritických infrastruktur vést ke složitým a vzájemně propojeným hrozbám s kaskádovým dopadem a důsledky, které se přes kritickou infrastrukturu šíří.

Vzhledem k tomu, že železniční infrastruktura je denně vysoce využívána k zajištění mobility osob i přepravu nákladu (včetně důležitých zdrojů), může čelit nebezpečným hrozbám ve formě útoků a jiných incidentů jak z fyzického, tak z kybernetického prostředí.

Směrnice Rady 2008/114 / ES - „Směrnice o evropských kritických infrastrukturách“ [1] je považována za klíčový pilíř infrastrukturních systémů. Stanovuje postupy pro identifikaci a označování evropských kritických infrastruktur (ECI) a společný přístup k posouzení potřeby zlepšit jejich ochranu. Směrnice byla připravena v rámci odvětvové působnosti a vztahovala se pouze na odvětví energetiky a dopravy, jak je uvedeno v níže uvedeném schématu.



Obrázek 1 - Rozdělení kritické infrastruktury (na základě nařízení EU)

2 Aktivity spojené s ochranou kritické infrastruktury

CIWIN - Informační varovná síť kritické infrastruktury (Critical Infrastructure Warning Information Network)

Evropská komise rozhodla o zřízení „varovné informační sítě kritické infrastruktury“ (CIWIN) jako jednoho z opatření k usnadnění provádění Evropského programu na ochranu kritické infrastruktury (EPCIP). Od října 2008 pracuje varovná informační síť kritické infrastruktury (CIWIN), která pomáhá členským státům a Evropské komisi při výměně informací o sdílených hrozbách, zranitelnostech a vhodných opatřeních a strategiích ke zmírnění rizika na podporu ochrany kritické infrastruktury (CIP).

CIWIN byl vyvinut jako chráněný veřejný internetový informační a komunikační systém ve vlastnictví Komise, který nabízí zapojeným členům komunity EU v oblasti ochrany kritické infrastruktury příležitost vyměňovat si informace a diskutovat o studiích a osvědčených postupech týkajících se CIP ve všech příslušných odvětvích hospodářské činnosti. Portál CIWIN funguje od poloviny ledna 2013.

Všechny činnosti týkající se CIWIN jsou koordinovány DG HOME, které také jmenuje správce obsahu CIWIN.

V současné době lze kritickou infrastrukturu v dopravě popsat jako nezbytnou součást globální (celoevropské) a místní (celostátní) dopravní sítě a propojených dodavatelských sítí. Fyzický provoz dopravní infrastruktury, zejména železniční infrastruktury, je zajišťován provozovateli infrastruktury v příslušných členských státech a dohled nad bezpečností a ochranou je garantován vnitrostátními bezpečnostními orgány (NSA). Provoz železniční infrastruktury a multimodálních nebo intermodálních terminálů připojených k železniční infrastruktuře je zajišťován provozovateli infrastruktury ve spolupráci s jejich dodavateli, zejména poskytovateli IT a ICT. Prezentace představené na konferencích, např. 1st UIC Conference on Natural Disaster Management nebo Annual European Cyber Security Conference, ukazují, že úsilí a časová náročnost na zajištění ochrany před fyzickými a kybernetickými hrozbami na této infrastruktuře jsou velmi nákladné. V této souvislosti se nabízí na jedné straně myšlenka snížit tyto náklady a limitovat časově náročné procesy, na druhé straně připravit infrastrukturní prostředí pomocí prevence a používání standardizovaného interoperabilního rámce, aby se stalo bezpečnějším pro splnění závazků vyplývajících z požadavků EU a vnitrostátních právních závazků.

NIS neboli Network Information Security [2] je první směrnici, která vznikla na půdě Evropské unie jako ucelený dokument, jehož cílem je zajistit společnou vysokou míru bezpečnosti na úrovni sítí a informačních systémů ve všech členských státech EU. Doposud se nejen formální, ale také praktická stránka řešení kybernetické bezpečnosti na úrovni jednotlivých států do výrazné míry lišila. Jen některé státy měly v platnosti právní rámec pro danou oblast a taky ne všechny země disponovaly na vrcholové úrovni bezpečnostními týmy typu CSIRT/CERT. Cílem směrnice je vytvořit základní požadavky, které by měly plnit všechny členské státy. Oblast kybernetické bezpečnosti nabírá na důležitosti a hodnota informací v informačních systémech stoupá. Bylo tak jisté, že je jen otázkou času, kdy se objeví oficiální doporučení ze strany Evropské unie pro oblast kybernetické bezpečnosti.

3 Kritická infrastruktura a sektor železniční dopravy

„Kritické infrastruktury a veřejné služby“ [2] jsou majetek a systémy (např. budovy a městské oblasti; energetické, vodní, dopravní a komunikační sítě; dodavatelské řetězce; finanční infrastruktury atd.), které jsou nezbytné pro zachování životně důležitých sociálních funkcí společnosti (zdraví, bezpečnost, ekonomika nebo životní úroveň).

Kritickou infrastrukturu související s dopravou můžeme rozdělit na několik základních typů:

- **železniční infrastruktura**

Evropská železniční infrastruktura je dynamický systém, který je tvořen infrastrukturami členských států. Na evropské úrovni je železniční infrastruktura součástí základní nebo doplňkové sítě TEN-T (Core and Comprehensive Trans-European Networks), na národní úrovni však není nomenklatura sjednocena, tj. v České republice je pojmenována jako národní a regionální železniční infrastruktura. Specifikace jsou vždy součástí prohlášení o síti (Network Statement) vydaného provozovatelem infrastruktury v každém členském státě. Do této infrastruktury je zahrnuta v zásadě základní a doplňková síť (Core and Comprehensive) TEN-T a komplexní síťové objekty a procesy, pojímané globálně i lokálně. Vždy se bere do úvahy, že uplatňování bezpečnostních zásad jakéhokoli druhu ovlivňuje všechny objekty a procesy na všech částech železniční infrastruktury v souvislosti se směrnicemi o interoperabilitě a bezpečnosti.

- **Silniční infrastruktura**

V oblasti silniční infrastruktury musí být do zajištění fyzické a kybernetické bezpečnosti integrována propojení se železniční sítí, jako je železniční přejezd, nebo jiný úroňový styk obou infrastruktur. Je vhodné brát v úvahu budoucnost vztahů v rámci ITS, vzájemnou komunikaci mezi vozidly a mezi vozidly a infrastrukturami, především s ohledem na zavádění autonomního řízení silničních i železničních vozidel.

- **Městské multimodální uzly**

V oblasti multimodální infrastruktury se fyzická i kybernetická bezpečnost musí zabývat oblastmi kontaktu mezi infrastrukturami v multimodálních nebo intermodálních terminálech, které mohou ovlivnit úroveň bezpečnosti při organizování přechodu cestujících mezi jednotlivými druhy dopravy a při manipulaci s přepravovaným zbožím, kde je soustředěno velké množství lidí a materiálu a kde výměna informace probíhá v datové (digitální) formě.

- **Jiné kritické infrastruktury, např. energetická (spojovací body)**

Z ostatních infrastruktur je třeba se zmínit o oblasti energetické infrastruktury, kterou především železniční systém nutně potřebuje pro zajištění své vlastní činnosti, konkrétně o systému napájení trakční energií, instalovaných bezpečnostních technologií v intermodálních a multimodálních dopravních uzlech, železničních stanicích a pevných zařízeních používaná v zabezpečovacích systémech (Control Command Systems – CCS).

Ochranu kritické infrastruktury před případnými útoky je třeba zaměřit na to, aby postupy byly naplňovány přístupem zdola nahoru prostřednictvím konkrétně cílené integrace potřeb provozovatelů infrastruktury, pokud jde o fyzickou, kybernetickou a propojenou bezpečnost a bezpečnost kritické železniční infrastruktury. Je vhodné připravit celou oblast železniční infrastruktury na nově vyvíjené metodické postupy pro predikci hrozeb, prevenci, detekci, zmírnění a rychlé zotavení. Ověřené výsledky a výstupy budou tvořit návrh ESPRIT a možný příspěvek k odvětvovým normám a regulačnímu rámci.

4 Metodologie a management v oblasti fyzické a kybernetické bezpečnosti

Z hlediska metodologie a managementu fyzické a kybernetické bezpečnosti je vhodné uvést obecné cíle a některá navrhovaná řešení:

Cíl 1: Analýza současné fyzické a počítačové zranitelnosti a hrozeb pro příslušné infrastruktury; přímé a osobní zapojení provozovatelů infrastruktury do procesu analýzy k zajištění přístupu zaměřeného na IM.

Cíl 2: Navržení obecné metodiky řízení rizik použitelné pro železniční dopravu; využití dat v reálném čase, navržení nástroje pro fyzickou, kybernetickou a propojenou prevenci, detekci a zmírňování hrozeb v kontextu železničního systému

Cíl 3: Doporučení aktuálního zmírnění kritických rizik zjištěných v železniční dopravě; sestavení ověřeného a použitelného metodického přístupu k fyzickým, kybernetickým a propojeným hrozbám, které budou připraveny k zavedení u provozovatelů infrastruktury.

Cíl 4: Zvýšení bezpečnosti dopravní infrastruktury používané každý den obyvatelstvem pro cestování a průmyslovými podniky pro přepravu zboží.

Cíl 5: Ověření a validace navrhovaných modelů ochrany železniční dopravní infrastruktury před fyzickými a kybernetickými hrozbami prostřednictvím scénářů prováděných v reálném prostředí a čase.

Cíl 6: Ukázka účinných a nákladově efektivních řešení na daném místě; demonstrace, úprava a validace navrhovaného metodického přístupu pro cíl 7.

Cíl 7: Přispění k příslušným odvětvovým rámcům nebo regulačním iniciativám; rozšíření přeshraniční spolupráce na definování architektury systému pro sdílení informací o hrozbách a incidentech v tomto odvětví.

4.1 Současný stav

V současné době existuje úzké propojení mezi fyzickými a kybernetickými bezpečnostními hrozbami, což vyžaduje nový přístup k předvídání rizik, hodnocení, prevenci, detekci a reakci.

Vizí v této oblasti musí být:

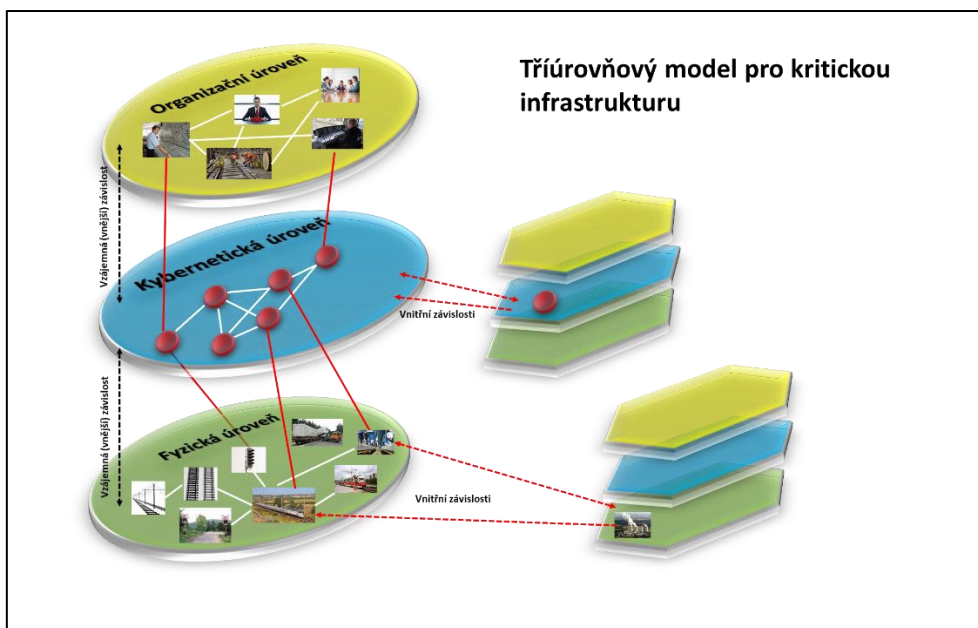
- přistupovat k fyzickým i kybernetickým útokům na železniční kritickou infrastrukturu v jejich kombinované perspektivě, a současně
- analýza potenciálních vazeb (a výsledných rizik) na jiné druhy evropské dopravy a na jiné typy evropských kritických infrastruktur.

European Cybersecurity Organization (ECISO) ve svém plánu SRIA (Strategic Research and Innovation Agenda) a ENISA uvádějí příklad stále znepokojivějšího propojení hrozeb a definují scénář útoku jako hybridní ohrožení nebo hybridní válku, tedy propojení různých vrstev abstrakce, od fyzického ke kybernetickému. Dnes tento typ scénářů stále více využívají nejen k útokům, o kterých státy vědí, ale také je využívají organizované skupiny provádějící kybernetickou kriminalitu. Různí odborníci jsou toho názoru, že jde nebo může jít o obtížný bezpečnostní problém v rámci EU.

Rostoucí význam identifikace hybridního válečného scénáře je zřejmý z rozšiřování v inteligentních prostředích, které jsou slabě chráněny a které mohou být zneužity různými způsoby. Některé nedávné studie například zdůrazňují, že chytrá města – Smart Cities – (včetně městské dopravy nebo železnice) mohou být hackovány nejen proto, aby došlo ke zcizení dat nebo paralyzování operačních systémů, ale také k vyvolání panické reakce. Falešná upozornění nebo záměrně zkreslená fakta o např. povodních, úrovni radiace nebo epidemiologických hrozbách jsou jen některé ze způsobů, jak útočníci mohou zneužít slabě chráněná zařízení IoT (internetu věcí) a dalších systémů, jsou varovným signálem, na které vědci a odborníci stále více upozorňují.

4.2 Koncept bezpečnosti na kritické infrastruktuře

V předchozí kapitole zmíněné trendy jsou velmi důležité pro železniční sektor. Vychází se z tříúrovňového modelu bezpečnosti pro kritickou infrastrukturu. Ten si lze velmi zjednodušeně představit ze schématu níže.



Obrázek 2 – Tříúrovňový model procesů na kritické infrastruktuře

Na jeho základě se může (pokud jde o prevenci hrozeb) plánovat, kombinovat a vzájemně propojit globální a místní pohled na fyzické a počítačové hrozby, pomocí kterých může být „kritická infrastruktura“ - objekty nebo systémy, které jsou nezbytné pro udržení všech společenských funkcí - ovlivněny. Druhy hrozeb a incidentů a jejich potenciálních škod se liší od zničení nebo narušení kritické infrastruktury přírodními katastrofami, terorismem, kriminální činností nebo škodlivým jednáním, až po těžko předvídatelné integrované incidenty, k nimž dosud nedošlo. Zmíněné incidenty mohou mít významný negativní dopad na bezpečnost celé EU a životní úroveň občanů Evropské unie. Proto systémy musí být flexibilní a musí rychle reagovat na nové potenciální hrozby, které se objevují.

Postupy v této oblasti budou založeny na následujících základních principech:

- Identifikace nedávných fyzických a počítačových incidentů a v současnosti dostupných technologií;
- Analýze specifikací železniční / multimodální dopravy v souvislosti s kybernetickou / fyzickou bezpečností;
- Specifikace fyzických bezpečnostních požadavků na kritickou infrastrukturu;
- Návrhu metodik standardizovaných postupů (odvozených od CSM, tj. společné bezpečnostní metody ERA – „ERA common safety method“);
- Vytvoření rámce interoperability (Interoperability Framework) pro prevenci fyzických hrozeb v multimodální / železniční dopravě;
- Analýze prostředí pro fyzické hrozby (metodiky);
- Specifikaci technických / procesních požadavků pro vývojáře SW a HW na kritické infrastruktuře;
- Specifikaci technických / procesních požadavků na návrh ICT, sítí, komunikací a příslušných rozhraní;
- Metodice hodnocení rizik;
- Srovnávací analýze rizik (podle různých druhů dopravy).

V stručnosti bych se chtěl zmínit o několika příkladech, jak se aplikují bezpečnostní pravidla ve všech třech úrovních. Jako příklad uvedu členský stát EU ze střední a

východní Evropy (ČR), z jižní Evropy (Itálie), severní Evropy (Švédsko) a ze země mimo EU (Srbsko).

V České republice je stav následující:

V prostředí kritické informační infrastruktury je kybernetická bezpečnost implementována prostřednictvím Zákona o kybernetické bezpečnosti, který je dále rozvíjen následnými právními a normativními akty.

Kybernetická bezpečnost je sledována ve dvou důležitých oblastech - organizační a technické, formou opatření. Skutečná implementace jednotlivých opatření závisí na velikosti a složitosti definované kritické informační infrastruktury.

Samotné provádění organizačních opatření je zajištěno na pokročilé úrovni, i když je omezeno prováděním technických opatření. Technická opatření v dopravě představují komplikovaný proces implementace, zejména pro Správu železnic. Vzhledem k historické fragmentaci jednotlivých systémů spolu s implementací různých systémových nekompatibilních aplikací a nedodržením přísné segmentace infrastruktury nebo sítě infrastruktury, není nasazení jednoduchých řešení proveditelné. Je proto nutné hledat taková řešení, která jsou uspokojivá nejen pro skutečné provádění dopravní činnosti, ale aby zároveň neomezovala potřeby a zájmy zákazníků a cestujících.

Fyzická bezpečnost je nedílnou součástí pro zajištění kybernetické bezpečnosti nebo technických opatření. V České republice není fyzické zabezpečení infrastruktury upraveno zvláštním zákonem. Její implementace je založena pouze na normách nebo standardech ISO. Skutečným výstupem zajištění fyzické bezpečnosti je skutečnost, že v podmínkách Správy železnic, kde je definováno přibližně 3500 objektů kritické informační infrastruktury, je fyzická bezpečnost řešena celkem náhodně a ne vždy dostatečně. Na druhou stranu, v případě některých nově postavených objektů je fyzické zabezpečení naopak poměrně vysoké. Při provádění technických opatření bude nutné a finančně náročné, aby se podařilo zajistit optimální úroveň bezpečnost objektů kritické informační infrastruktury. Bude potřebné definovat fyzické bezpečnostní standardy tak, aby obsahovaly přiměřené SLA pro jednotlivé typy objektů.

V Itálii

Od poloviny roku 2018 Itálie vyhlásila implementaci evropského nařízení o kybernetické bezpečnosti NIS, které se vztahuje na několik oblastí (energetika, doprava, bankovníctví, finanční trhy, zdraví, zásobování a distribuce pitné vody a digitální infrastruktury, cloudové služby a platformy elektronického obchodování). V souladu s tím zveřejnila národní plán pro kybernetickou bezpečnost a fyzickou bezpečnost, který zahrnuje většinu osvědčených postupů přijatých v celé EU pro řízení krizových situací. U kritických infrastruktur plánuje aktivaci CNAIPIC, národního centra pro ochranu kritických infrastruktur proti počítačové kriminalitě, s kompetencemi ve forenzní a vyšetřovací činnosti. Podobně pak AgID (Agentura pro digitální Itálii) odpovídá za regulaci odvětví prostřednictvím norem a politik.

Co se týká sektoru dopravy, je umístěn na druhé úrovni ze tří: 1. národní bezpečnost státu, obrana, zpravodajství, 2. národní kritická infrastruktura, IKT, místní správy, veřejné služby, doprava, zdravotnictví a finance, 3. občané a společnosti.

Ve **Švédsku** - kritická infrastruktura ve Švédsku je definována jako infrastruktura, jejíž zničením nebo vážným narušením její činnosti, samostatně nebo společně s jinými podobnými událostmi, rychle vede k závažné společenské nouzi nebo krizi. Její činnost je nezbytná až nezastupitelná v okamžiku nutnosti co nejvíce zmírnit škodlivé dopady společenské krize. Kritická infrastruktura (CI) zahrnuje činnosti, zařízení, uzly, infrastrukturu a služby, jejichž funkce musí být zachovány, protože mají nebo mohou mít národní, regionální nebo místní význam.

V souladu s předpisy MSB (Swedish Civil Contingencies Agency) o hodnocení rizik a zranitelností jsou subjekty veřejného sektoru povinny nahlásit identifikované hrozby na kritické infrastrukturu a jejich kritické závislosti. Existuje národní strategický akční plán na ochranu kritické infrastruktury založený na třech základních principech:

- Systémy se tvoří od místní k národní úrovni, včetně systémů provozovaných soukromým sektorem.
- V nastaveném systémovém bezpečnostním procesu by měla být přijata opatření před, během a po přerušení jejich činnosti.
- Pokrývají se všechny formy rizika a hrozeb, známé i neznámé

Cílem akčního plánu je do konce roku 2020 vytvořit podmínky, které umožní na veškeré kritické infrastrukturu zajistit systémovou bezpečnost. Cílem je vytvořit odolnou společnost se zlepšenými schopnostmi kritické infrastruktury, která odolá vážným poruchám a zotaví se z nich.

V Srbsku

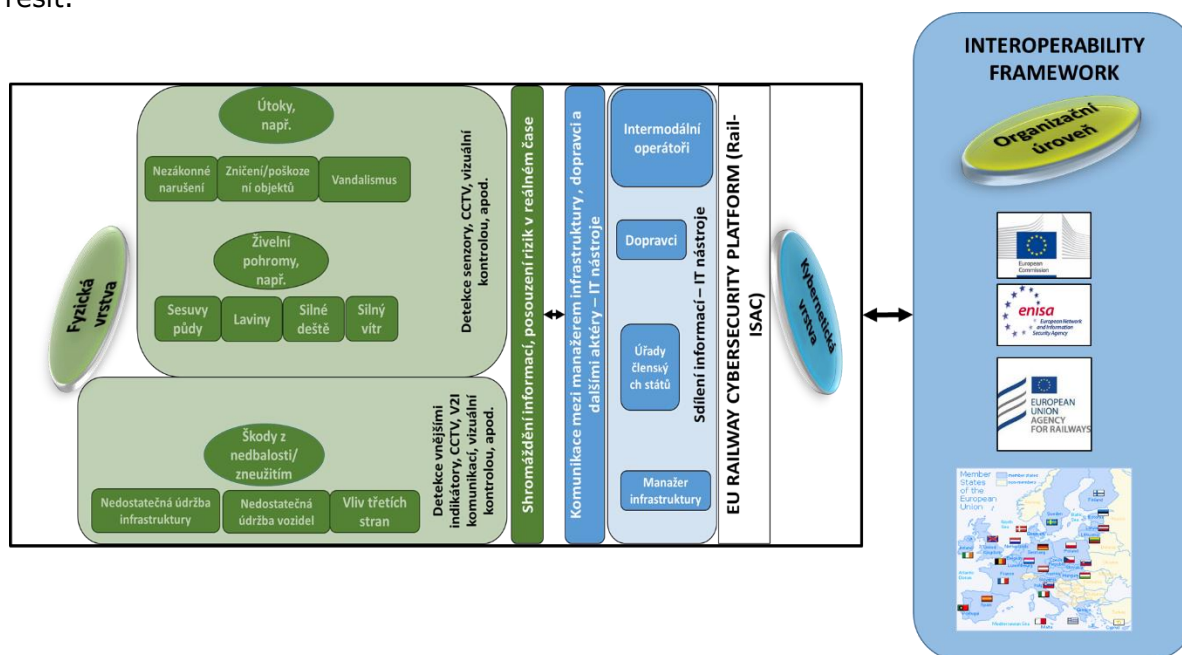
Srbské železnice mají standardní a obvykle používané systémy fyzické a počítačové bezpečnosti.

- Fyzická ochrana a bezpečnost závisí na zdrojích, pravidlech, pokynech a systémech zděděných z dřívější doby a praktikách, které fungují relativně dobře v rámci současných potřeb a požadavků. Důraz je kladen na prostorovou a fyzickou ochranu zařízení infrastruktury, dopravních prostředků, se zvláštním zřetelem na ochranu zvláštní přepravy a přepravy nebezpečných věcí, které mohou být potenciálními příčinami bezpečnostních a environmentálních incidentů.
- Kybernetická bezpečnost a ochrana zahrnuje obvyklé hardwarové a softwarové produkty a opatření, která chrání informační a komunikační technologii společnosti.

Z toho vyplývá:

- Fyzická ochrana objektů před nedovolenou fyzickou aktivitou.
- Řízení přístupu správce k počítačové síti, doméně a pracovním stanicím.
- Využití a ochrana Firewallem na úrovni antivirového systému.
- Zálohování databází a systémů.
- Řízení přístupu k provozním systémům na úrovni operačních systémů a aplikací.

Když tyto stručné, ale celkem nekonzistentní popisy porovnáme, lze konstatovat, že je nutno postupně dojít k novému schématu, jak oblast bezpečnosti na mezinárodní úrovni řešit.



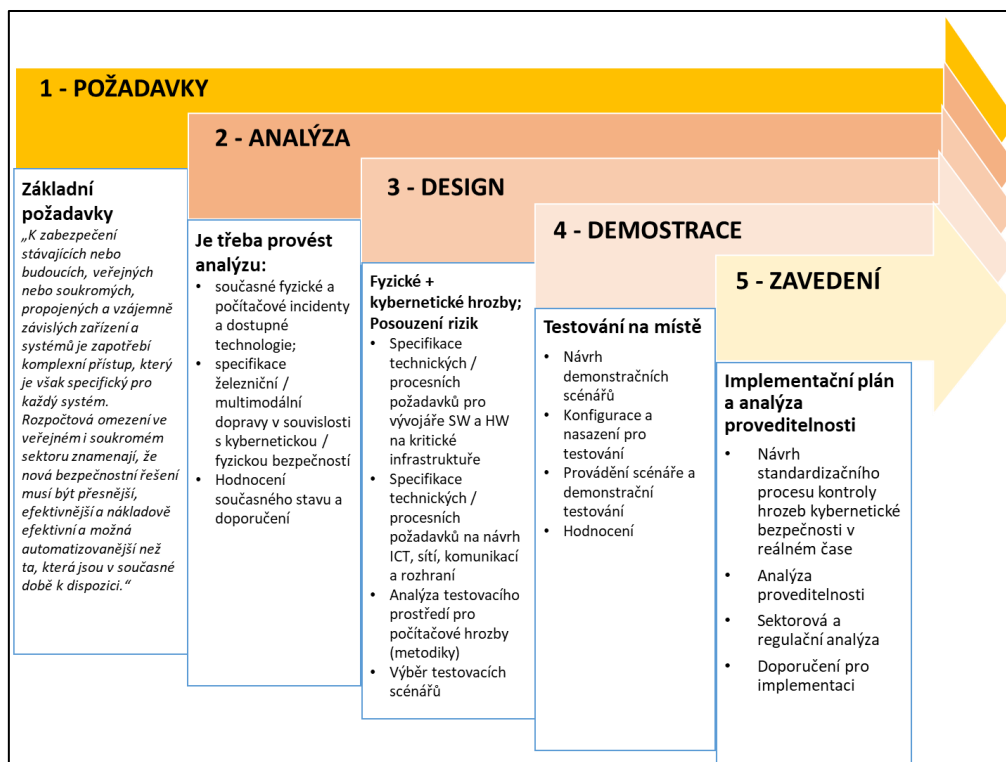
Obrázek 3 – Schéma vazeb na Interoperabilní framework

4.3 Analýza a řízení rizik – cesta k dobrým výsledkům

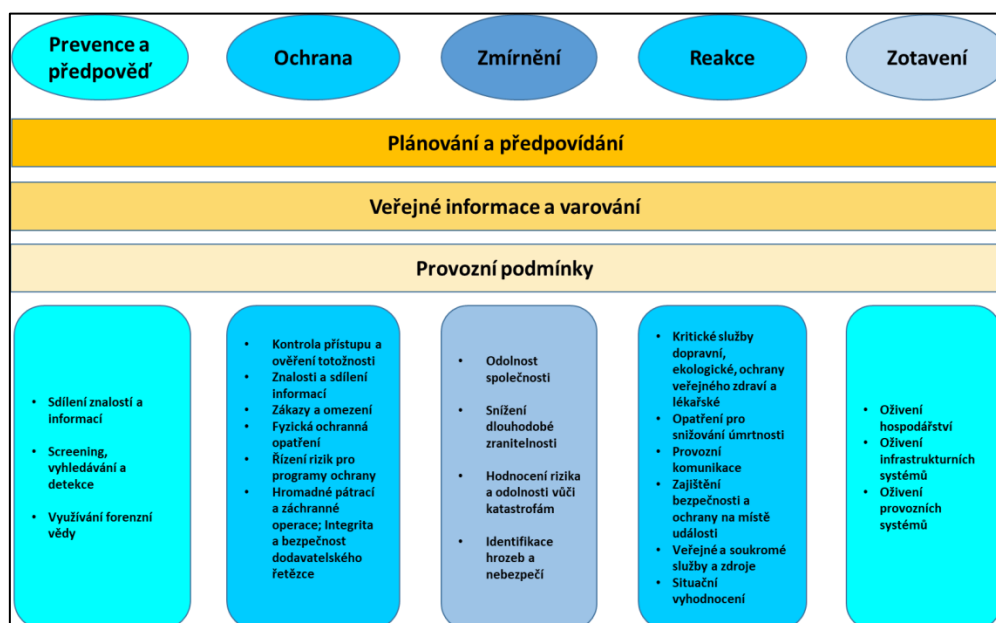
V procesu řízení rizik se musí posuzovat vše v komplexním pojetí. Musí být řešeny veškeré prvky kybernetické a fyzické bezpečnosti, které zajistí úplný přístup k celkovému řízení rizik:

- **Předcházení rizikům** lze zajistit pomocí několika metod, včetně technik a postupů řízení, které pomáhají předcházet zbytečným nebo předvídatelným rizikům. V zásadě obvykle zahrnují všechny metody, které zvyšují kvalitu (a tím snižují finanční a jiná rizika), metody plánování, předpovídání a používání osvědčených postupů. Použitím osvědčených postupů a referenčních modelů se předchází negativním jevům. Nedílnou součástí prevence rizik je předvídání rizik - řízení rizik a krizí jsou součástí služeb řízení dopravy ITS na příslušných kritických infrastrukturách. Tento proces zlepšuje možnosti předvídání krizových situací a následných dopravních nehod.
- **Detekce rizik a reakce na ně** se zaměřuje především na správu rozhraní. Klíčové činnosti: Sdílení informací o riziku kybernetické bezpečnosti na rozhraních (systémové závislosti, informace o dopadu nebo hrozbě) s těmi na druhé straně a identifikace sdíleného rizika kybernetické bezpečnosti a / nebo reakce na incidenty kybernetické bezpečnosti. Zahájení včasné reakce snižuje náklady nebo jiné dopady na dotčené organizaci nebo jiné zúčastněné strany. Je nezbytné minimalizovat dobu, za kterou jsou postižené služby schopny se vrátit k činnosti obvyklé (poskytování železničních služeb). Dále jde také o to, aby do opatření byla zahrnuta poučení z událostí nebo incidentů pro zlepšení plánů. Pro všechny příslušné systémy jsou zavedeny plány reakce na incidenty.
- **Zmírnění následků** je další oblast kde se musí vše podřídit tomu, abychom náležitě a přiměřeně řídili naše vystavení se riziku kybernetické bezpečnosti, že musíme pochopit hrozby, kterým čelíme, zranitelnosti nebo slabiny našich lidí nebo technologií a možné důsledky kybernetického incidentu, který ovlivňuje naše podniky, a které zahrnuje také dopady na provoz železnice.
- **Zajištění rychlého a hladkého obnovení kritické infrastruktury** je nezbytným krokem, který snižuje dopad incidentů v oblasti kybernetické bezpečnosti, podporuje rychlé zotavení železničních služeb a zajišťuje včasné podávání zpráv za účelem zlepšení informovanosti o hrozbách a potřebách ochrany. Dodavatelský řetězec musí reagovat v klíčových činnostech dodavatelů a třetích stran, kteří posuzují rizika mimo jiné z hlediska kontinuity podnikání a obnovy po katastrofě. Řízení incidentů musí spolupracovat na přípravě a koordinaci provádění plánů reakce na incidenty na základě realistických scénářů hrozeb a získaných zkušeností. V případě potřeby je nutno je uvést do souladu s dalšími plány odolnosti podniků, jako je kontinuita podnikání, obnova po havárii a plány interní a externí komunikace. Systém musí být schopen přijmout vhodná opatření pro sledování, detekci a varování, aby byl minimalizován dopad událostí ovlivňujících další systémy; musí mít dostatečné informace o hrozbách pro posouzení situace a omezit škodu poskytováním včasné detekce, zotavení a hlášení z kybernetických událostí a incidentů.

Výše uvedené části řízení rizik lze shrnout do jednoduchých schémat, která popisují hlavní vztahy se zaměřením na dopravní a zejména železniční ekosystém:



Obrázek 4 – Základní schéma požadavků na infrastrukturní systém



Obrázek 5 – Základní procesy analýzy rizik

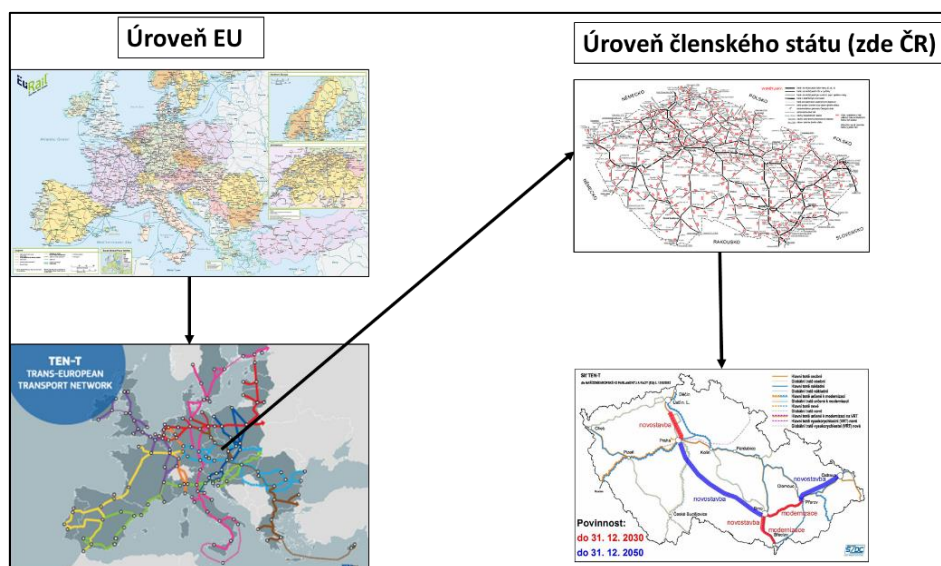
Východiska z této kapitoly plynule navazují již na závěrečné shrnutí.

5 Závěr

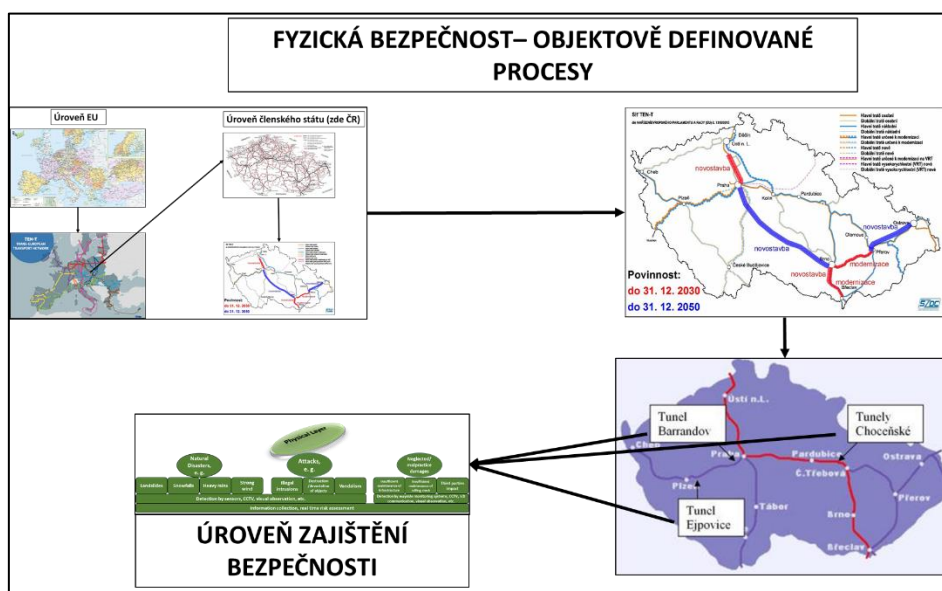
V závěrečném doporučení je vhodné zdůraznit, že problematika fyzické a kybernetické bezpečnosti na kritické infrastruktuře je velmi komplexní a rozsáhlá. V takto krátkém článku ji není možné popsat do všech detailů a souvislostí, protože každá část

bezpečnostního systému má své specifické požadavky a potřeby a z nich vyplývající opatření a procesy k zajištění všech druhů bezpečnosti. Někteří čtenáři ve zmíněných souvislostech mohou vnímat článek jako nekonzistentní nebo neúplný. Ale to je dáno samotným tématem a jen těžko se to dá ovlivnit.

Kritickou infrastrukturu nelze vidět a řešit jen úzce na úrovni národní, i když pro stát je tato oblast jednou z nejdůležitějších a musí si v ní zachovat zásadní vliv. Hrozby – jak fyzické, tak kybernetické, ale i jiné – ale neznají hranice. Proto bych rád na závěr ukázal na příkladu železniční infrastruktury, jak velká je provázanost v oblasti bezpečnosti na evropské infrastruktury, především pokud uvažujeme o rozvoji infrastruktury. Budování vysokorychlostní železnice nepochybně přinese nové výzvy, ale také nové hrozby, který musíme být připraveni správně, rychle a účinně čelit. Vše je možné vidět na obrázcích níže.



Obrázek 6 – Kritická dopravní (železniční) infrastruktura a její rozvoj v EU a v ČR



Obrázek 7 – Objektově definované procesy

Literatura

- [1] Official Journal [online]: eur-lex.europa.eu
- [2] Časopis IT Strategie 10/2016 [online] – www.SystemOnLine.cz
- [3] Podklady pro projekt ESPRIT (podaný, ale neschválený k podpoře) v rámci programu HORIZON 2020) – call: H2020-SU-INFRA-2018-2019-2020 Proposal number: 833091
- [4] ENISA, “International Perspective on Cybersecurity”, June 2018, <https://www.enisa.europa.eu/publications/ed-speeches/international-perspectives-on-cybersecurity/>
- [5] European Cybersecurity Organization (ECSO), “Strategic Research and Innovation Agenda”, <https://www.ecs-org.eu/working-groups/wg6-strategic-research-and-innovation-agenda-sria>

Lektorovali:

doc. Ing. Martin Kendra, PhD.
Žilinská univerzita

plk. gšt. doc. Dr. Ing. Pavel Foltin, Ph.D.
Univerzita obrany v Brně

Jakub Marek, Ivo Myslivec, Michal Bubeník¹

Návrhy úprav funkčního chování ERTMS/ETCS při dohledu cíle na generické úrovni

Klíčová slova: železniční zabezpečovací technika, VZZ, kontrola rychlosti, brzdné křivky, EBD, SBD, GUI, dohledové limity, strojvedoucí, AVV, ATO, rozhraní DMI, ERTMS, ETCS

Anotace

Příspěvek se zabývá Evropským vlakovým zabezpečovacím systémem ERTMS/ETCS (dále jen ETCS). Přibližuje čtenáři, jak lze aproximovat brzdění vlaku a hlavní myšlenky, jak vylepšit generické výpočty brzdných křivek, resp. dohledových limitů ETCS, aby došlo ke zvýšení propustnosti železničních tratí, a tedy i kapacity dráhy, ale též ke zvýšení bezpečnosti železničního provozu. Toto již bylo autory tohoto příspěvku popsáno v zahraničním periodiku SIGNAL+DRAHT (112) 3/2020 s cílem rozpoutat diskusi na EU úrovni vedoucí – v ideálním případě – ke změně generických specifikací ETCS, která by umožnila zohledňovat aktuální stupeň zabrzdění vlaků, které již brzdí k cíli, což dnes není umožněno a což velmi prodlužuje předpokládané brzdné dráhy a činí tak ETCS více restriktivním. Tento příspěvek se na uvedenou problematiku dívá z jiného úhlu pohledu, více je věnována pozornost popisu dynamiky vlaku během procesu brzdění, nadto je zde také poprvé uveden návrh změn souvisejících s novým zobrazováním na displeji pro strojvedoucího DMI. Rovněž je zde krátce zmíněn postup související se změnami EU specifikací ETCS (tzv. CCM proces), který by bylo dobré v této souvislosti iniciovat.

¹ **Ing. Jakub Marek, Ph.D.** (*1984), odborné zaměření: železniční zabezpečovací technika, ERTMS, ETCS. Pracoviště: AŽD Praha s.r.o., Žirovnická 3146/2, Záběhllice, 106 00 Praha 10, závod Technika, Výzkum a vývoj, pracoviště VP13 (VZ ETCS); zástupce AŽD Praha s.r.o. v pracovní skupině UNISIG SG, která tvoří technické specifikace ERTMS/ETCS, člen IRSE, London. E-mail: marek.jakub@azd.cz. Vzdělání: Dopravní prostředky a infrastruktura – Elektrotechnická zařízení v dopravě (2006 Bc., 2008 Ing., 2014 Ph.D.); Univerzita Pardubice, DFJP, Studentská 95, 532 10 Pardubice.

Dr. Ing. Ivo Myslivec (*1967), odborné zaměření: řídicí systémy kolejových vozidel, CRV, AVV, ATO over ETCS (AoE). Pracoviště: AŽD Praha s.r.o., Žirovnická 3146/2, Záběhllice, 106 00 Praha 10, závod Technika, Výzkum a vývoj, pracoviště VP01 (CRV&AVV); dříve Výzkumný Ústav Železniční (VUZ Praha). E-mail: myslivec.ivo@azd.cz. Vzdělání: Technická kybernetika (1990 Ing.); ČVUT Praha, FEL, Technická 1902/2, 166 27 Praha 6; Elektrická trakce a pohony (1995 Dr.); VŠDS Žilina, Moyzesova 967/20, 010 01 Žilina.

Ing. Michal Bubeník (*1991), odborné zaměření: železniční zabezpečovací technika, ERTMS, ETCS. Pracoviště: AŽD Praha s.r.o., Žirovnická 3146/2, Záběhllice, 106 00 Praha 10, závod Technika, Výzkum a vývoj, pracoviště VP13 (VZ ETCS). E-mail: bubenik.michal@azd.cz. Vzdělání: Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě (2014 Bc., 2016 Ing.); Univerzita Pardubice, DFJP, Studentská 95, 532 10 Pardubice.

Annotation

This contribution deals with European Train Control System ERTMS/ETCS (hereafter only ETCS). It provides the reader with the possibilities of how trains' braking can be approximated as well as the main ideas of how the generic calculations of the ETCS braking curves, or more precisely the ETCS supervision limits, can be improved to increase headways, and thus also the capacity of railway as well as its safety. This has already been published in SIGNAL+DRAHT (112) 3/2020 by the authors with the aim of initiating a discussion at the EU level, leading – in the ideal case – to a change of the generic ETCS specifications. This change would enable ETCS to consider the current level of braking of trains that are already braking to a target, which is not possible today and which prolongs the expected braking distances and thus makes ETCS more restrictive. This is viewed from a different angle in this contribution. More focus is given to the description of train dynamics during the braking phase. Moreover, the proposal of new indications for the driver is also presented in this article (for the first time). A process related to changes of the EU ETCS specifications (so-called “CCM process”), which should be initiated in this context, is shortly described as well.

Úvod

V mnoha státech Evropské unie (ale také mimo ni) dnes probíhá rozsáhlá implementace Evropského vlakového zabezpečovacího systému ERTMS/ETCS (z angl. *European Rail Traffic Management System / European Train Control System*), s cílem sjednotit evropskou železnici a vytvořit tak jednotný Evropský železniční prostor SERA (z angl. *Single European Railway Area*). Za tímto účelem je budování tohoto systému zabezpečení velmi podporováno Evropskou unií. Rozsáhlá implementace se týká i České republiky, kde se aktuálně buduje traťová část ERTMS/ETCS (dále jen ETCS) na téměř 1 000 km železničních tratí (viz např. [6]). Vedle sjednocování evropské železnice ovšem ETCS přinese taktéž výrazné zvýšení bezpečnosti železničního provozu, neboť jde o vlakový zabezpečovač s úplnou kontrolou rychlosti jízdy vlaku.

Avšak ukazuje se, že systém ETCS je při dohledu cíle restriktivní (viz např. [7]), a to více, než by bylo třeba. Autoři tohoto článku provedli teoretickou analýzu brzdných křivek ETCS, resp. výpočtů dohledových limitů (viz [2]) a aktuálně se snaží iniciovat změnu EU specifikací ETCS, tak aby došlo k vylepšení vlastností při dohledu cíle, tedy ve fázi, kdy ETCS začíná dohlížet snižování rychlosti dle brzdných křivek. Brzdné křivky, obecně pak brzdný model, využívá ETCS k predikci potřebné brzdné dráhy, která je nutná k tomu, aby vlak snížil svou okamžitou rychlost na novou hodnotu odpovídající rychlosti cílové. *Poznámka: Více detailů o brzdném modelu ETCS a o možnostech jeho statického nastavení na národní úrovni lze nalézt v článku jednoho z autorů tohoto příspěvku, publikovaném ve Vědeckotechnickém sborníku ČD č. 47/2019 [4], či v příspěvku, prezentovaném na 9. konferenci Zabezpečovací a telekomunikační systémy na železnici v Českých Budějovicích [8].*

Výše zmíněná predikce potřebné dráhy by měla dle názoru autorů lépe zohledňovat aktuální stupeň zabrzdění vlaků, které již brzdí k cíli. Toto dnes není dostatečně reflektováno v ETCS a prodlužuje to tak předpokládanou brzdnou dráhu, což činí

ETCS nadměru restriktivním, a v konečném důsledku vede k nutnosti používání tzv. uvolňovacích rychlostí a s tím souvisejícím úpravám na straně infrastruktury². Toto tvrzení potvrzují jak zkušenosti z praxe – viz například poznatky z projektů realizovaných dle 2. základní verze specifikací ETCS, tedy z pilotního projektu ETCS Level 2 v ČR Poříčany–Kolín, či nedávno provedená měření na prvním „komerčním projektu“ ETCS Level 2 Břeclav–Kolín [7], tak také nedávno provedený teoretický rozbor [2], založený na nejnovějších specifikacích ETCS, tedy dle jejich 2. vydání 3. základní verze (Baseline 3 Release 2, dále jen B3R2), resp. též dle jejich 2. vydání 3. základní verze opravené dle technického stanoviska Agentury Evropské unie pro železnice (ERA) z roku 2017 (Baseline 3 Release 2 – Service Pack 10 (2017), dále jen B3R2-SP10 (2017)).

1 Proces brzdění a možné způsoby odvození brzdě dráhy

Dříve než přejdeme k tomu, jakým způsobem si ETCS vytváří představu o tom, kdy je nejpozději nutno zavést brzdění, ať už rychločinné (nouzové), či úplné provozní (viz kap. 2), pojďme se podívat na to, jak u vlaku toto brzdění skutečně probíhá a jaký to má vliv na průběh rychlosti v závislosti na ujeté dráze. Vzhledem k charakteru pneumatické brzdy nepřímocinné (samočinné), což je základní brzda používaná v železniční dopravě (dále jen brzda UIC), je brzdění komplikovaný a rovněž komplikovaně popsatelný proces. Pro lepší pracování s ním se již v minulosti zavedlo níže naznačené zjednodušení (viz obr. 1) [5].

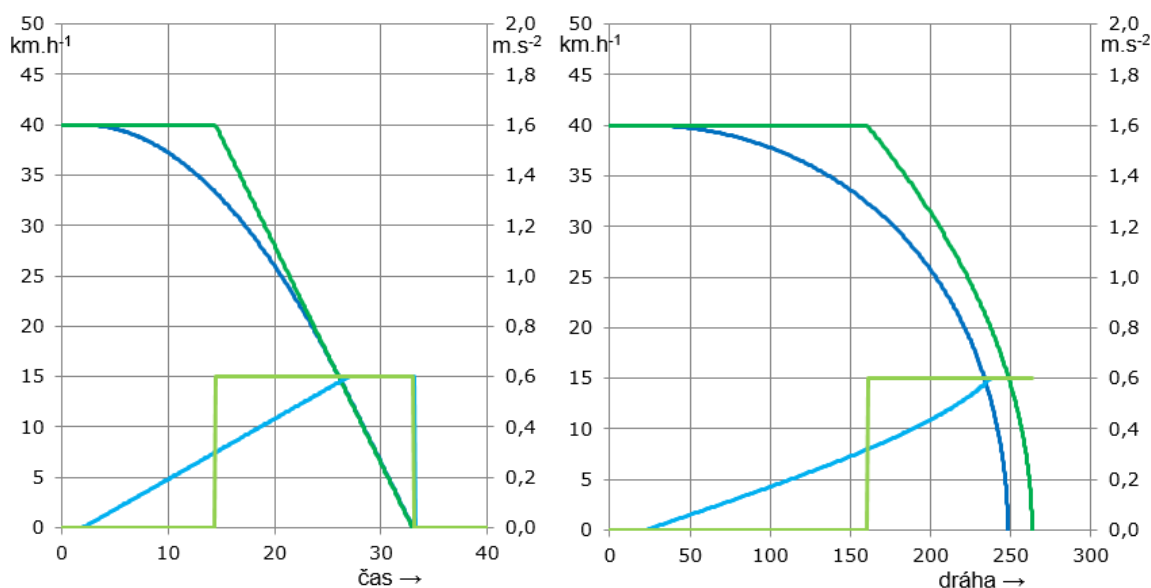
Pro lepší porozumění nejprve stručně popíšeme, jak jsou dále popisovaná zjednodušení odvozena. Prvním stupněm přiblížení (zjednodušení) je linearizace obecného přechodového děje rampou s konstantní strmostí změny. Takový model pracuje se dvěma časy – viz vzorec (1): dobou průtahu, dále jen prodlevy t_{prodleva} (kdy ještě není žádná odezva) a dobou náběhu $t_{\text{náběh}}$ (kdy odezva lineárně narůstá z nuly na 100 %), přičemž počátek a konec náběhu zpravidla odpovídají 5 % a 95 % původního nelinearizovaného průběhu. V případě průběžné pneumatické brzdy UIC, kde jsou změny tlaku vzduchu jak v hlavním potrubí (jen při provozním brzdění), tak i v brzdovém válci (zde již i při nouzovém brzdění) časovány pomocí dýz, dává linearizovaný model velmi dobré výsledky a liší se od skutečnosti jen nevýznamně (a s ohledem na skutečný průběh nárůstu tlaku pesimističtějším směrem).

Druhým stupněm přiblížení (zjednodušení) je náhrada rampy skokovou změnou v polovině doby náběhu, kdy původní lineární přechodový děj dosahuje 50 % odezvy. Toto zjednodušení si můžeme představit jako rozdělení původního trojúhelníkového náběhu na trojúhelník a lichoběžník (každý s poloviční základnou) a následné překlopení menšího trojúhelníku na lichoběžník, čímž vznikne obdélník se stejnou plochou, jako původní trojúhelník. Právě podle této rovnosti ploch je čas, kdy dochází ke skokové změně, nazýván ekvivalentní dobou odezvy (názvosloví ETCS hovoří o náběhu) t_e .

² Ať už jde o nutnost zajišťování ochranné dráhy přímo stavební úpravou na trati, resp. ve stanici [9], či o nutnost zavádění a používání nové vlakové cesty – vlakové cesty s prodlouženou ochranou dráhou (zkráceně VCP) /viz např. zde [10]/, která uměle vytváří a drží výluky současně zakázaných jízd také za koncem vlakové cesty.

1.1 Model náběhu brzdy ze zcela odbrzděného stavu

Na obr. 1 je možno vidět dva možné způsoby aproximace náběhu brzdy: (i) skokovou funkcí, kdy po uplynutí tzv. ekvivalentní doby náběhu brzdy (t_e), tedy doby prodlevy a poloviny doby náběhu, změni odrychlení skokově svou hodnotu z 0 m.s^{-2} na hodnotu maximálního dosažitelného odrychlení (viz zelené křivky); (ii) lineární funkcí, která pouze po dobu prodlevy brzdy zůstává na hodnotě 0 m.s^{-2} , pak roste lineárně až do maximálního dosažitelného odrychlení (viz modré křivky). Tento model popisuje situaci, kdy brzda nabíhá ze zcela odbrzděného stavu. Rozdíl výstupů obou přístupů pro vlak brzdící z rychlosti 40 km.h^{-1} je vidět na obrázku (viz paty parabol na levém grafu obr. 1).



Obr. 1 – Aproximace doby náběhu rychločinné brzdy pro vlak s maximálním odrychlením $0,6 \text{ m.s}^{-2}$, dobou prodlevy 2 s a dobou náběhu 25 s

ETCS využívá aproximaci skokovou funkcí, viz [1], či [4], pro výpočet ekvivalentní doby náběhu (odezvy) brzdy t_e tedy platí, že:

$$t_e = t_{\text{prodleva}} + \frac{t_{\text{náběh}}}{2} \quad [s; s, s] \quad (1)$$

kde t_{prodleva} = doba prodlevy (reakce) brzdy;
 $t_{\text{náběh}}$ = doba náběhu brzdy, tj. vyvinutí 95 % úplné brzdné síly F_b .

Poznámka: Ekvivalentní doba náběhu (odezvy) brzdy t_e je v ETCS označována jako T_{be} pro rychločinné (nouzové) brzdění, popř. T_{bs} pro úplné provozní brzdění.

Zde je třeba poznamenat, že aproximace skokovou funkcí je jednodušší, pro výpočty snazší a navíc bezpečnější (z pohledu odhadu ujeté dráhy – viz též dále). ETCS totiž v tomto případě při převodu ekvivalentní doby náběhu brzdy uvažuje, že vlak jede delší dobu rychlostí vyšší (V_{est} změřenou na začátku výpočtu), i když už skutečně

brzdí a snižuje svou rychlost, a tedy při použití této aproximace ujede delší dráhu (viz paty parabol v pravém grafu obr. 1), což je – jak již bylo uvedeno – bezpečnější, ovšem – jak si ukážeme dále – také více omezující z hlediska provozního.

Doposud jsme se věnovali vlivu použitého modelu náběhu brzdy na brzdnou dráhu z tohoto modelu odvozenou. Zajímavé je také se podívat na to, jak je možno reflektovat brzdění z již částečně zabrzděného stavu, kdy vlak již zpomaluje s určitým odrychlením, a tedy brzda již brzdí, v průběžném potrubí UIC brzdy je tlak nižší, než je tlak jmenovitý (kap. 1.2), resp. na to, jak je možno reflektovat brzdění sice ze zcela odbrzděného stavu, zato v situaci, kdy na požadovaný pokles rychlosti není nutno využít celý náběh brzdy (kap. 1.3).

1.2 Model náběhu brzdy z již částečně zabrzděného stavu

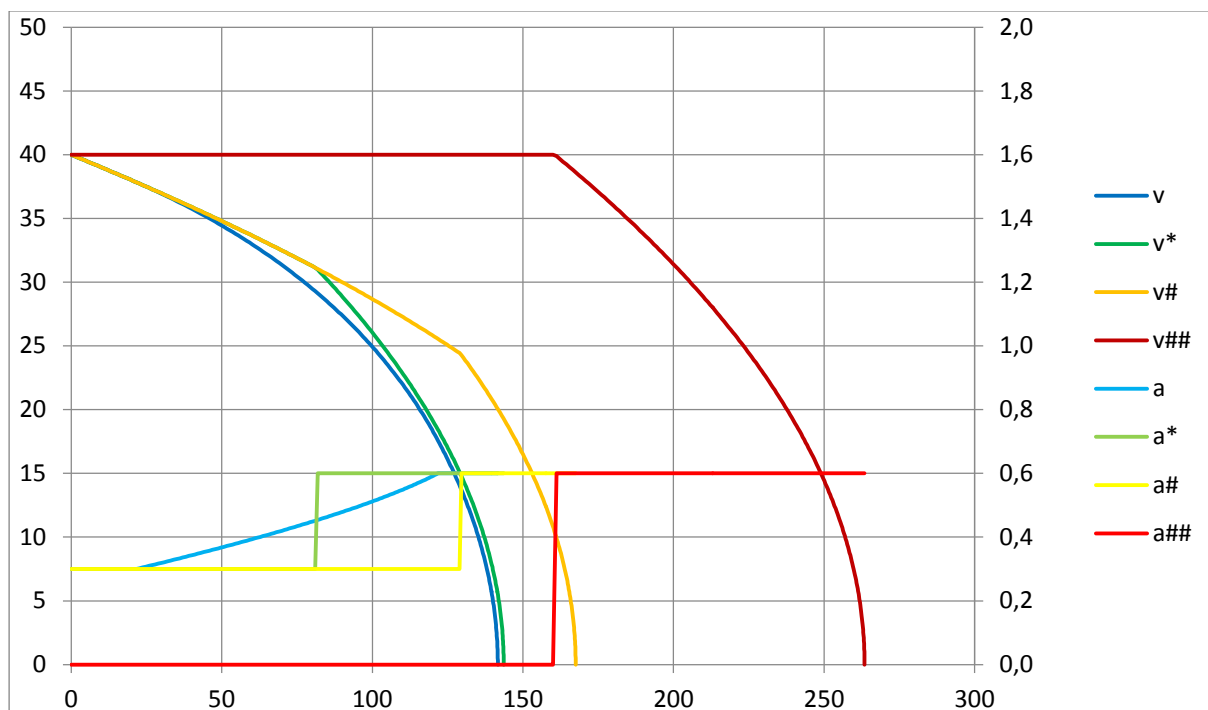
Pokud vlak již brzdí, a tedy zpomaluje s určitým odrychlením ($a_{\text{brzdné}} > 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), je třeba toto zohlednit v modelu náběhu brzdy (obr. 1), aby se jeho výstupy přiblížily co nejblíže realitě. Především musíme správně popsat chování vlaku během doby prodlevy, kdy ještě není žádná odezva na zvyšování účinku brzdy. Na rozdíl od vlaku zcela odbrzděného totiž stav bez odezvy neznamena úplnou absenci odrychlení, ale pokračující zpomalování vlaku původním odrychlením. Dále pak musíme přezkoumat i samotný náběh. Zatímco u lineárních systémů znamená menší změna na vstupu i pomalejší změnu na výstupu a ve výsledku stejnou dobu náběhu, u pneumatické brzdy UIC s mnoha časovacími dýzami je chování jiné, více se blíží konstantní strmosti změny na výstupu.

Na již brzdící vlak tedy můžeme nahlížet tak, že poměrná část původní doby náběhu, potřebná k dosažení aktuálního účinku brzdy, již uplynula a úměrně tomu se zkrátila i „zbytková“ doba náběhu potřebná ke zvýšení účinku brzdy z aktuálního na konečný.

Nabízí se tedy uvažovat odrychlení $a_{\text{brzdné}} (> 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2})$ jako výchozí, tj. že se vlak:

- (a) pohybuje pohybem rovnoměrně zpomaleným během doby prodlevy (t_{prodleva}) a pak se jeho odrychlení vlivem vývinu brzdné síly (během zkrácené doby $t_{\text{náběh}}$) lineárně zvyšuje až na hodnotu maximálně dosažitelnou [1. stupeň zjednodušení, viz průběhy v a a na obr. 2].
- (b) pohybuje během korigované ekvivalentní doby náběhu brzdy (t_e^*) pohybem rovnoměrně zpomaleným [2. stupeň zjednodušení, viz průběhy v^* a a^* na obr. 2],
- (c) pohybuje během ekvivalentní doby náběhu brzdy (t_e) pohybem rovnoměrně zpomaleným [3. stupeň zjednodušení, viz průběhy $v\#$ a $a\#$ na obr. 2],

V této souvislosti je třeba poznamenat, že v ETCS dle dnešních specifikací platí, že se neuvažuje záporné zrychlení [1], či [2], a naopak se vždy uvažuje s konstantní, tedy nekorigovanou ekvivalentní dobou náběhu brzdy (t_e) – viz průběhy $v\#\#\#$ a $a\#\#\#$. Tedy v případě, že vlak již brzdí ($a_{\text{brzdné}} > 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), je tato skutečnost zanedbána, a tedy se při výpočtech poloh dohledových limitů uvažuje s $a_{\text{brzdné}} = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Toto opět reprezentuje bezpečnější aproximaci, ovšem, jak bylo zjištěno a také dokázáno autory tohoto článku v [2], má to neblahý vliv na provozní vlastnosti systému jako takového, zejména na schopnost dojezdu vlaku ke konci oprávnění k jízdě, či k jakémukoli omezení rychlosti.



Obr. 2 – Vliv způsobu aproximace náběhu nouzové brzdy při odhadu brzděné dráhy (vodorovná osa: brzděná dráha v metrech, levá svislá osa: rychlost v $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, pravá svislá osa: odrychlení v $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)

Jak je vidět, už při porovnání brzdění z rychlosti $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ tvoří rozdíl odvozených brzděných drah (červený [v### a a###] vs. zelený [v* a*] či modrý [v a] model) více než 100 m. Při brzdění z vyšších rychlostí by rozdíl byl samozřejmě větší. Nejlepších výsledků dosahuje model modrý, který uvažuje lineární aproximaci pro náběh brzdy (viz obr. 2).

1.3 Model náběhu brzdy při malém rozdílu skutečné a cílové rychlosti

V předchozí podkapitole (kap. 1.2) jsme viděli, že již probíhající brzdění má velký vliv na pokles rychlosti a ujetou dráhu během přechodového děje, a tedy i na polohu konce přechodové trajektorie vůči decelerační křivce úplného brzdění. Tento vliv bychom mohli pojmenovat jako zkrácení přechodového děje zleva (podle toho, že se trojúhelníkový náběh brzdy vycházející z nulového odrychlení mění na lichoběžníkový náběh vycházející z odrychlení již existujícího). To však není jediné zkrácení přechodového děje, které musíme uvažovat. V této kapitole se podíváme na zkrácení tohoto přechodového děje vlivem malého rozdílu skutečné a cílové rychlosti.

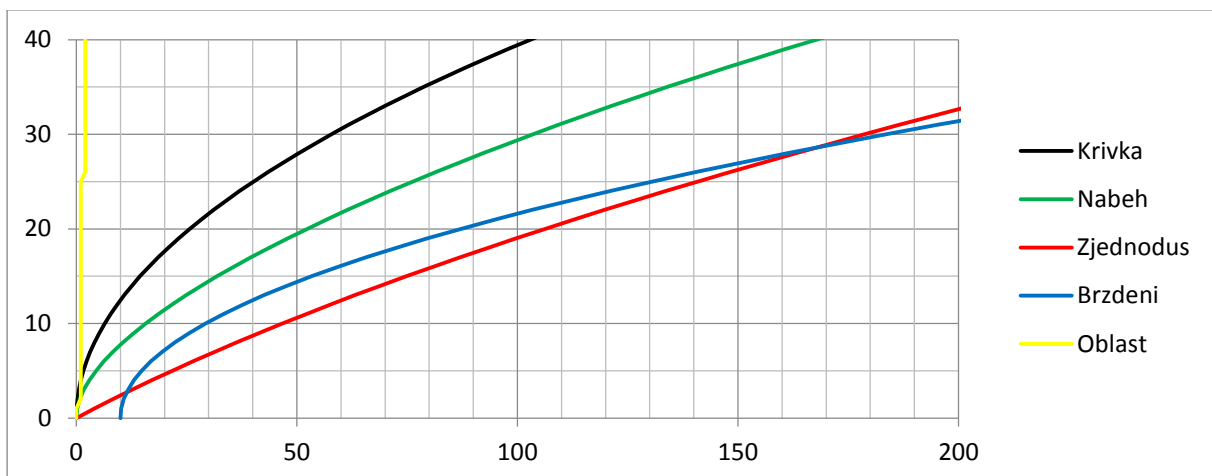
V našich úvahách se musíme vrátit k rovnosti ploch pod průběhem zrychlení, kterou jsme zmiňovali v úvodu této kapitoly (a kterou jsme dokládali oprávněnost náhrady lineárního náběhu skokem v jeho polovině). Plocha pod průběhem zrychlení totiž představuje pokles rychlosti během přechodového děje a zatím jsme mlčky předpokládali, že je tato plocha menší, než je rozdíl skutečné a cílové rychlosti – jinými slovy, že se přechodový děj odehraje celý. To však zejména v závěru přibližování k cíli neplatí a vlak stačí zastavit (resp. podkročit nenulovou cílovou

rychlost) ještě předtím, než dosáhne maximálního odrychlení (při velmi malé rychlosti a dostatečné hloubce zabrzdění dokonce ještě předtím, než uplyne prodleva brzd). Na tuto skutečnost již bylo upozorňováno také v prezentaci [11]. Vidíme tedy, že přechodový děj může být omezen i zprava.

1.4 Shrnutí k modelu náběhu brzdy

Pokud by měl být výpočet zcela korektní, mělo by být ověřeno, zda přechodový děj (samozřejmě ten, který respektuje již probíhající brzdění) vůbec proběhne celý. Pokud ano, můžeme dále postupovat podle kapitoly 1.2, pokud však ne, musí být dopočteno odrychlení, při kterém bude dosaženo cílové rychlosti, a spočtena ujetá dráha takto oboustranně zkráceného přechodového děje. Pozorný čtenář si v tuto chvíli jistě povšiml, že v případě nutnosti zkrácení zprava je nutné vycházet z modelu s linearizovaným přechodovým dějem. Ukazuje se tedy, že druhý krok zjednodušení přechodového děje, využívající skokové změny po ekvivalentní době náběhu brzdy, je nadále neudržitelný, protože ze součtu doby prodlevy a poloviny doby náběhu (1) nelze zpětně rekonstruovat původní sčítance, potřebné pro korektní výpočet.

Následující obrázek (viz obr. 3) ukazuje detail závěrečné fáze přibližování k cíli při probíhajícím brzdění, tentokrát v podobě potřebné vzdálenosti počátku přechodového děje v závislosti na rychlosti. Zpomalovací křivka ETCS (černá, EBD, z angl. *Emergency Brake Deceleration*) je vypočtena pro odrychlení $0,6 \text{ m.s}^{-2}$, skokové zjednodušení náběhu brzdy (červená, EBI, z angl. *Emergency Brake Intervention*) i korektní způsob výpočtu dle této kapitoly (zelená, EBI') jsou spočteny pro dobu prodlevy 2 s a dobu lineárního náběhu 25 s (tyto dvě křivky de facto představují zásahové křivky zabezpečovače [červená = dnešní ETCS, zelená = ETCS dle návrhu autorů tohoto příspěvku, resp. článku [2]]). Křivka probíhajícího brzdění (modrá, brzdící vlak), která reprezentuje již brzdící vlak, je spočtena pro odrychlení $0,2 \text{ m.s}^{-2}$ a zastavení 10 m před cílem. Žlutá čára svými odskoky znázorňuje hranice mezi oblastmi, kde přechodový děj náběhu brzdy proběhne celý (nad 25 km.h^{-1}), kde jen částečně (mezi 2 a 25 km.h^{-1}) a kde ani neuplyne prodleva (pod 2 km.h^{-1}).



Obr. 3 – Ukázka závěrečného přibližování k cíli při probíhajícím brzdění (vodorovná osa: vzdálenost od cíle v metrech, svislá osa: rychlost v km.h^{-1})

Z obr. 3 je zřetelně vidět, že ačkoliv vlak brzdí přiměřeným účinkem a včas (což lze doložit i tím, že modrá křivka skutečného brzdění leží pod zelenou „korektní“ zásahovou křivkou), přesto v určitém rozmezí rychlosti překračuje červenou zásahovou křivku spočtenou zjednodušeným výpočtem s konstantním t_e při uvažování konstantní rychlosti V_{est} . I přes včasný začátek brzdění tak vzniká oblast, kde dojde k nežádoucímu zásahu zabezpečovače – v tomto modelovém případě se tak stane v rychlosti lehce pod 30 km.h^{-1} ve vzdálenosti cca 170 m a vlak zastaví o cca 75 m dříve, což už většinou může mít fatální vliv například u dlouhého nákladního vlaku na uvolnění zadního námezníku, nebo u osobního vlaku na dojetí k místu obvyklého zastavení pro nástup a výstup cestujících, pokud leží blízko konce oprávnění k jízdě (návěstidla).

2 Predikce brzdné dráhy v ETCS, vč. odvození souvisejících dohledových limitů a popisu vlivu úrovně zabrzdění vlaku

2.1 Význam dohledových limitů

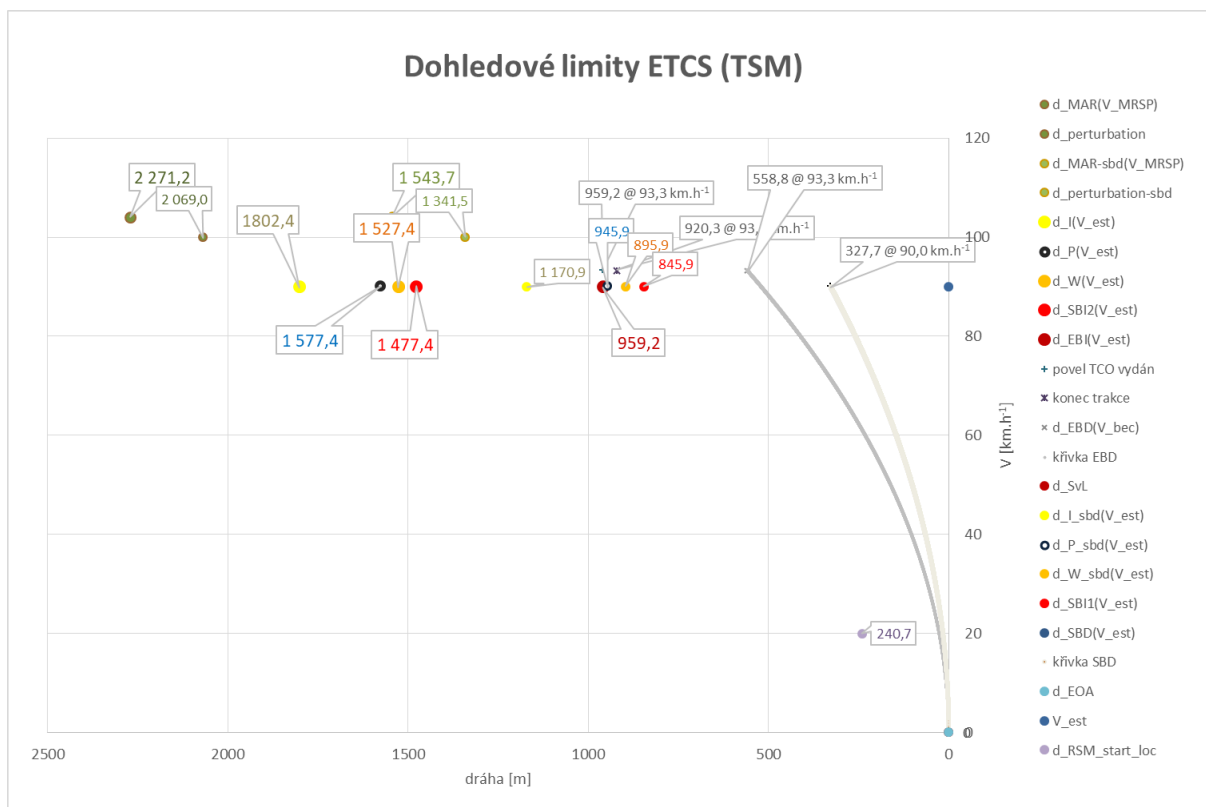
Mobilní část ETCS si pro každý cíl počítá polohy dohledových limitů, které slouží pro zajištění dostatku času pro vykonání požadovaných akcí při dohledu cíle (TSM, z angl. Target Speed Monitoring), tedy slouží ke kontrole a zajištění, že stále existuje dostatek času, resp. dráhy pro strojvedoucího (indikace), pro náběh brzdy (intervence) a pro následné zastavení/zpomalení vlaku – tedy s již plně naběhlou brzdou, tedy dle brzdné křivky EBD (z angl. *Emergency Brake Deceleration*), či SBD (z angl. *Service Brake Deceleration*), což se vše musí odehrát ještě předtím, než čelo vlaku mine dohlížený cíl (nedovolenou rychlostí). Minutí určitého dohledového limitu spouští reakci mobilní části ETCS – indikaci strojvedoucímu (optickou, popř. zvukovou), či přímo intervencí do jízdy vlaku (zavedení brzdění)³. V podstatě jde o průsečíky předpokládané trajektorie vlaku s „dohledovými a zásahovými křivkami“, které si ovšem mobilní část ETCS jako takové nepočítá, počítá si pro danou okamžitou rychlost a zrychlení jen tyto průsečíky, tzv. dohledové limity.

Příklad dohledových limitů vypočtených pro EOA/SvL dle [2] je na obr. 4.

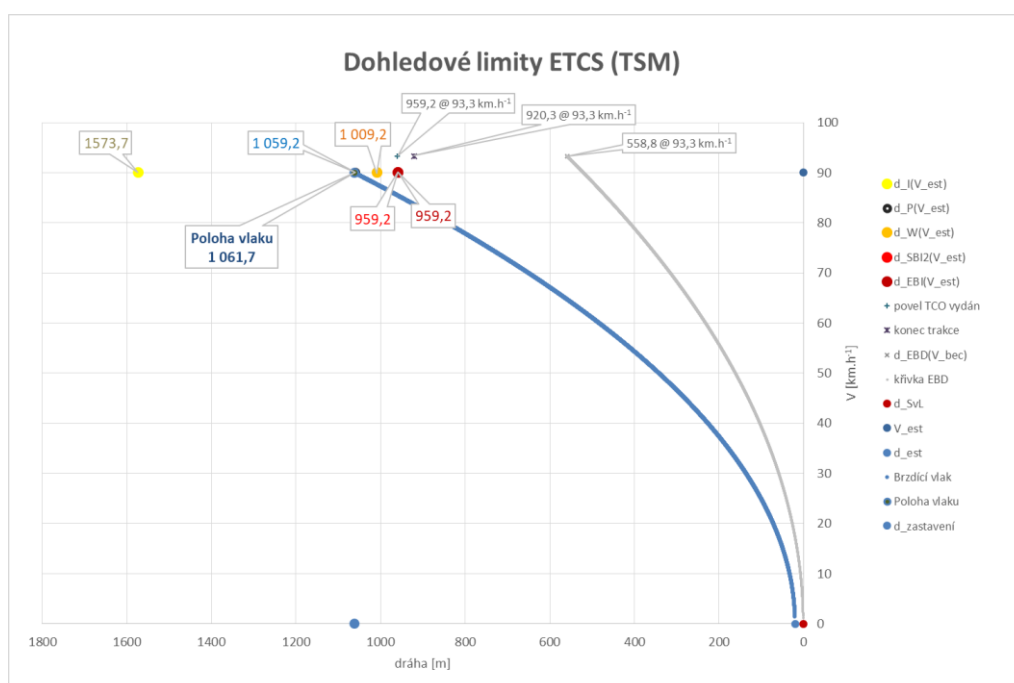
Pro zjednodušení a snazší pochopení bude pro následující úvahy v tomto příspěvku zakázáno používat provozní brzdu při dohledu cíle (TSM)⁴, nebudou také zobrazeny dohledové limity odvozené od křivky SBD (úplného provozního brzdění), dále nebudou zobrazeny polohy související s tím, kdy si B3 vlak, resp. jeho mobilní část ETCS, požádá RBC o nové MA, tedy poloha prvního možného ovlivnění vlaku (perturbation) a poloha d_{MAR} , kterých se stejně úprava navržená autory netýká. Stejně tak nebude zobrazena poloha pro přechod z dohledu cíle (TSM) do dohledu uvolňovací rychlosti (RSM, z angl. *Release Speed Monitoring*) – na obr. 4 je tato odvozena pro rychlost 20 km.h^{-1} ($d_{RSM_start_loc}$). Dále tedy budeme pracovat se zjednodušeným obr. 5.

³ Význam jednotlivých dohledových limitů je detailně popsán v příspěvku [4], s. 13 a 14.

⁴ Stejně tak je to dnes na většině projektů ETCS v České republice.



Obr. 4 – Ukázka dohledových limitů ETCS pro 640 m dlouhý nákladní vlak, který má $\lambda = 117 \%$ s režimem brzdění G ($A_{\text{brzdné}} = 0,6 \text{ m.s}^{-2}$, $T_{\text{be}} = 15,45 \text{ s}$ a $T_{\text{bs}} = 20,73 \text{ s}$) [při výpočtech poloh výše nebylo uvažováno s nejistotou měření ujeté dráhy]



Obr. 5 – Vybrané dohledové limity ETCS odvozené od křivky EBD (nouzového [rychločinného] brzdění), pro $A_{\text{est}} \leq 0 \text{ m.s}^{-2}$

Dá se snadno dokázat (viz [2], kde to bylo provedeno), že vlak na obr. 5 brzdící z naznačené polohy (1 061,7 m) s konstantním odrychlením $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ k dohlíženému cíli – SvL (Supervised Location) by byl nežádoucně zabrzděn ETCS (cca 650 m před tímto cílem), a to i přes to, že by s daným odrychlením zastavil 20 m před tímto cílem (pohybem rovnoměrně zpomaleným by zastavil z rychlosti $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na dráze cca 1 041,7 m – viz modrou parabolou na obr. 5, která reprezentuje brzdění [snižování rychlosti] tohoto vlaku, s patou právě zmíněných 20 m před tímto cílem).

Ukazuje se (viz [2]), že je to způsobeno tím, že ETCS přepočítává potřebné časy na dráhy, na základě nichž odvozuje polohy dohledových limitů (viz např. obr. 4, či 5), s uvažováním jízdy konstantní rychlostí, čímž – pro již brzdící vlaky ($A_{\text{est}} \leq 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) – dostává nadhodnocené dráhy.

2.2 Popis současného stavu

Jak již bylo naznačeno výše, v principu je třeba zajistit čas pro strojvedoucího, aby mohl snížit dostatečně rychlost vlaku, aby nepřekročil rychlost dovolenou ($T_{\text{indication}}$); dále, aby snížil rychlost vlaku, aby nedošlo k zásahu ETCS (T_{driver}); dále pak pro provozní brzdění, aby brzda stihla úplně naběhnout (T_{bs}), aby nebylo zavedeno brzdění nouzové (rychločinné); pro rychločinné brzdění, aby stihla brzda úplně naběhnout (T_{be}) a pro vlak, aby stihl včas zastavit/zpomalit před dohlíženým cílem (t_{braking}), kdy se pohybuje po křivce EBD, pro níž platí: $v = f(A_{\text{safe}})$. Z těchto časů vypočítává ETCS dohledové limity, tedy převádí je na dráhy. Aktuálně to dělá tak, že s nimi pracuje (v principu) následovně (pozn. na ukázce níže je naznačeno stanovení Indikačního dohledového limitu (d_i), což je současně i místo (poloha), v níž ETCS přechází z dohledu konstantní dovolené rychlosti (CSM, z angl. *Ceiling Speed Supervision*) do dohledu cíle (TSM))⁵:

- pro vlak jedoucí konstantní rychlostí, či již snižující rychlost ($A_{\text{est}} \leq 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$):

$$d_{\text{CSM/TSM}} = \int_0^{t_{\text{braking}}} v(A_{\text{safe}}) dt + \int_{t_{\text{braking}}}^{t_{\text{braking}}+T_{\text{be}}+T_{\text{bs}}+T_{\text{driver}}+T_{\text{indication}}} V_{\text{est}} dt \quad (2)$$

- pro vlak, který zrychluje ($A_{\text{est}} > 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$):

$$d_{\text{CSM/TSM}} = \int_0^{t_{\text{braking}}} v(A_{\text{safe}}) dt + \int_{t_{\text{braking}}}^{t_{\text{braking}}+T_{\text{be}}} v(A_{\text{est}}) dt + \quad (3)$$

⁵ Platí pro mobilní části ETCS dle specifikací B3R2 a B3R2-SP10 (2017), dle specifikací B3MR1 k tomuto přepnutí dochází dříve, v tzv. pre-indikační poloze ($d_{\text{pre-indication}}$).

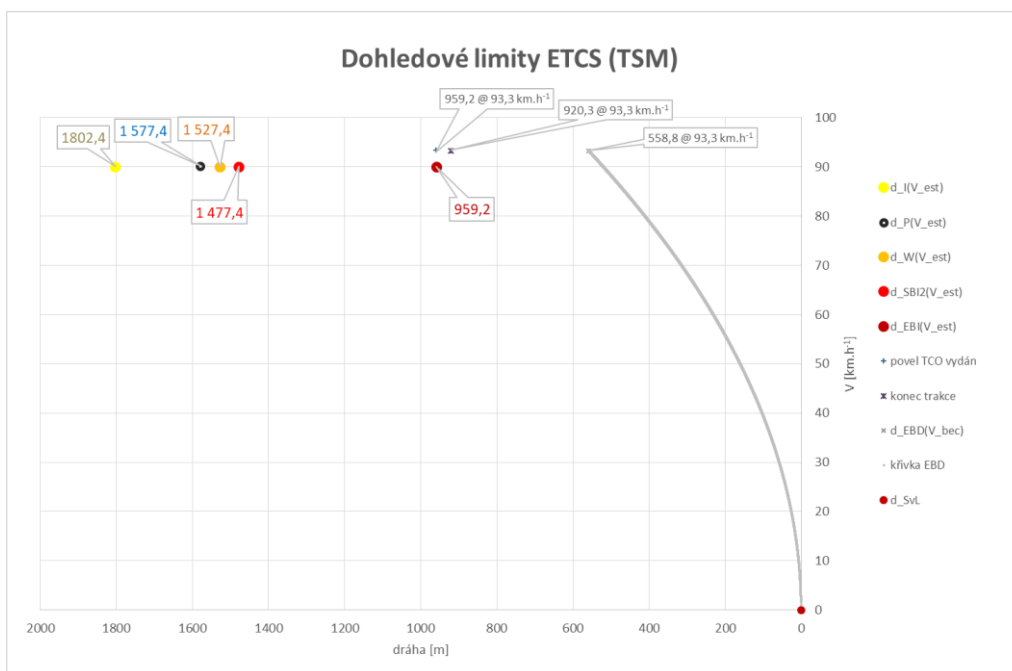
$$+ \int_{t_{braking} + T_{be}}^{t_{braking} + T_{be} + T_{bs2} + T_{driver} + T_{indication}} V_{est} dt$$

Ze vzorců (2) a (3) je vidět, že ETCS zanedbává skutečné brzdění vlaku – pro $A_{est} < 0 \text{ m.s}^{-2}$ je rychlost použitá v druhém integrálu (2) nezávislá na okamžitém zrychlení vlaku (A_{est}). Dále je vidět, že pokud vlak již zrychluje, je toto (A_{est}) zohledněno ve druhém integrálu (3), což má zajistit, že ekvivalentní doba náběhu nouzové brzdy (T_{be}) není vlivem zrychlování vlaku nikterak zkrácena. Z toho plyne, že ETCS zná okamžité zrychlení vlaku, používá jej při výpočtu dohledových limitů, ovšem pouze bezpečnějším smyslem, tedy jen v případě, že vlak skutečně zrychluje ($A_{est} > 0 \text{ m.s}^{-2}$). Snahou autorů tohoto článku (pozn. i článku [2]) je, aby ETCS používalo toto zrychlení (A_{est}), resp. jeho bezpečnou část ($A_{trusted}$) také při brzdění vlaku, a to pro výpočet všech dohledových limitů (viz kap. 3, resp. vzorec (4)), popřípadě též pro korekci ekvivalentních dob náběhů brzd – rychločinného brzdění (T_{be}) i brzdění provozního (T_{bs} , tedy jak doby T_{bs1} , tak doby T_{bs2} , dále jen T_{bs2} – viz popis zjednodušení výše).

2.3 Vliv zpětné vazby od provozní brzdy

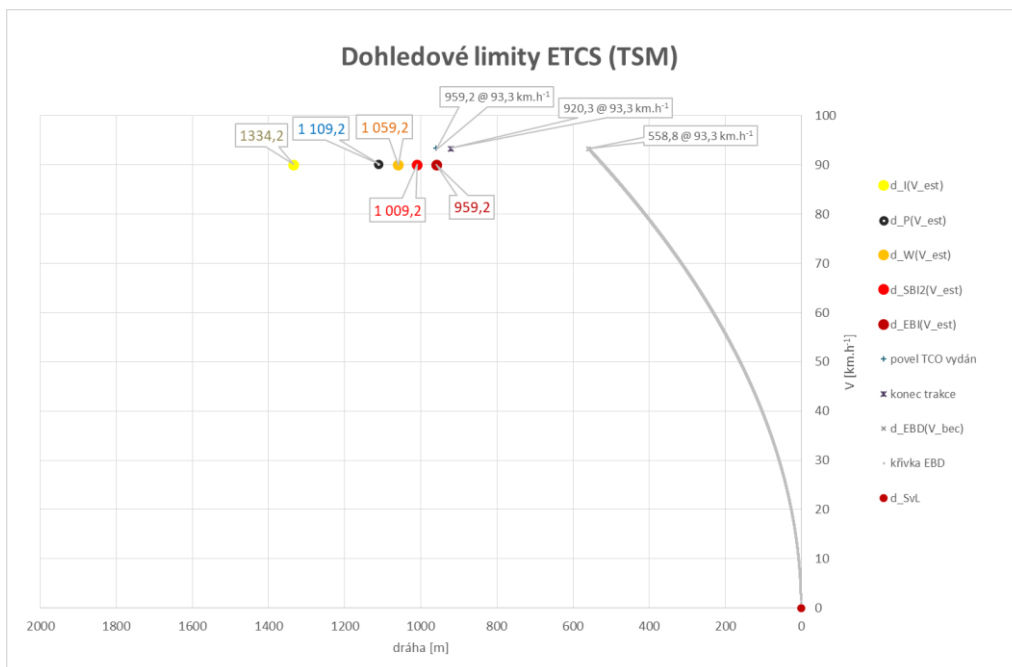
ETCS nabízí možnost zohlednění tlaku v průběžném potrubí brzdy UIC, či tlaku v jejím brzdovém válci, pokud je tato informace dostupná na rozhraní od vlaku (vozidla). Tato zpětná vazba má vliv na brzděné křivky, resp. na polohy dohledových limitů pro zavedení úplného provozního brzdění (SBI1, resp. SBI2), což může být „zpožděno“ právě na základě informace o okamžitém stavu brzdy, resp. výše zmíněného tlaku. Je zřejmé, že tento vliv se projeví, pouze pokud traťová část ETCS dovolí (příslušnou národní proměnnou) mobilní části ETCS zavádět úplné provozní brzdění při dohledu cíle (TSM) a současně pokud je toto umožněno (podporováno) integrací mobilní části ETCS do vozidla. Pojďme se podívat na dva mezní stavy – zcela odbrzděno (viz kap. 2.3.1), úplně provozně zabrzděno (viz kap. 2.3.2).

2.3.1 Jízda bez zpětné vazby od provozní brzdy, či s touto vazbou v odbrzděném stavu



Obr. 6 Ukázka poloh dohledových limitů ETCS pro vlak s tlakem v hlavním potrubí $p_{HP} = 5 \text{ bar} \Leftrightarrow$ nominální, zcela odbrzděno

2.3.2 Jízda se zpětnou vazbou od provozní brzdy v zabrzděném stavu



Obr. 7 Ukázka poloh dohledových limitů ETCS pro vlak s tlakem v hlavním potrubí $p_{HP} = 3,5 \text{ bar} \Leftrightarrow$ úplně provozně zabrzděno

2.3.3 Shrnutí k vlivu zpětné vazby od provozní brzdy

Z obrázků v předchozích kapitolách (viz obr. 6 a 7) je vidět, že zpětná vazba k brzdě, je-li tato na vozidle implementována, snižuje ekvivalentní dobu náběhu provozní brzdy (T_{bs}), ovšem nemá vliv na ekvivalentní dobu náběhu nouzové brzdy (T_{be}). Má tedy vliv na polohu dohledových limitů SBI1, resp. SBI2, nikoli na dohledový limit EBI, a tedy k nežádoucímu zásahu ETCS cca 650 m před cílem (popsanému výše) by i s touto vazbou došlo (viz též obr. 5, kde je použití provozní brzdy při dohledu cíle v ETCS zakázáno a zpětná vazba nemá vliv žádný). Nadto i tak se takto redukována doba ($T_{bs2} = 2$ s), která definuje rozdíl vzdáleností mezi EBI a SBI2 (viz kupř. obr. 6), se – stejně jako i všechny ostatní doby pro výpočet dohledových limitů ETCS – převádí na dráhu s předpokladem pohybu vlaku konstantní rychlostí (V_{est}), což nereflektuje skutečnost, tlak v hlavním potrubí je 3,5 baru.

2.4 Shrnutí k současnému stavu

Na základě výše uvedeného je tedy možno konstatovat – plně v souladu se závěrem uvedeným v [2] –, že reflektování skutečného zabrzdění vlaku v ETCS není z hlediska provozního dostatečné.

3 Možné chování ETCS při dohledu cíle, resp. zohledňování aktuální úrovně zabrzdění při výpočtu dohledových limitů

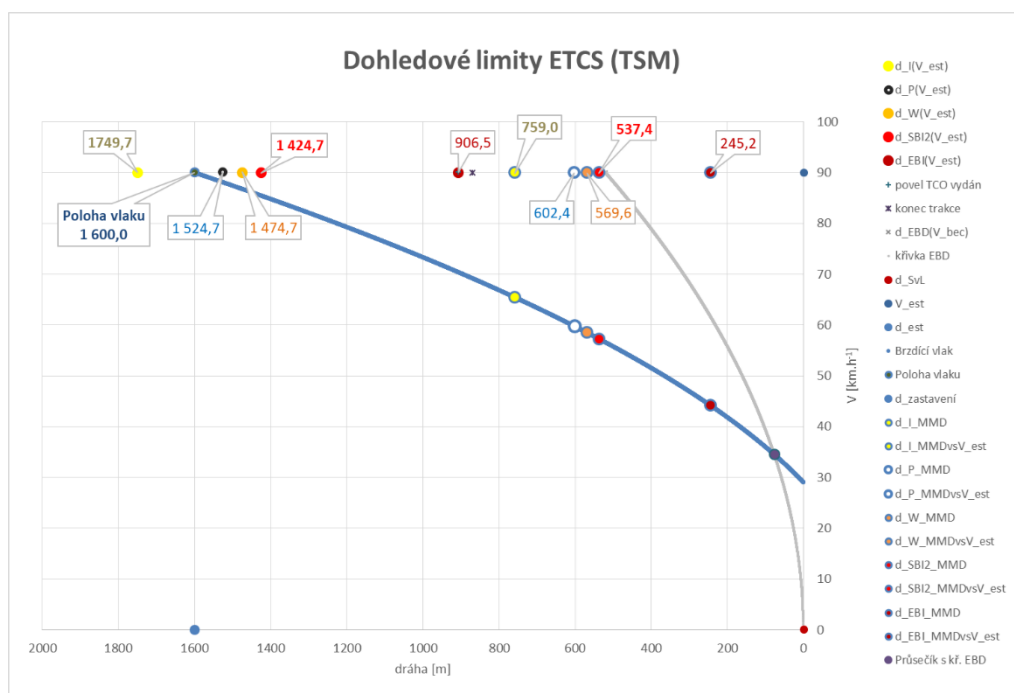
3.1 Popis navrhovaného řešení ([2])

Pojďme se podívat, jak by se chování ETCS při dohledu cíle změnilo i jen s použitím 3. stupně zjednodušení dle kap. 1.2, tedy při uvažování jízdy rovnoměrně zpomaleným pohybem během ekvivalentní doby náběhu t_e , tak jak je to popsáno ve článku [2]. Pokud tento přístup dále rozšíříme o všechny doby, které je třeba poskytnout pro adekvátní snížení rychlosti vlaku ($t_{braking}$, T_{be} , T_{bs2}), a to včetně interakcí se strojvedoucím (T_{driver} , $T_{indication}$), získáme následující chování, resp. vzorec pro výpočet poloh dohledových limitů ETCS:

$$d_{CSM/TSM} = \int_0^{t_{braking}} v(A_{safe}) dt + \int_{t_{braking} + T_{be} + T_{bs2} + T_{driver} + T_{indication}}^{t_{braking}} v(A_{est}) dt \quad (4)$$

Pozorný čtenář si jistě již povšiml, že tímto (4) jsme dohledové limity ETCS položili na parabolu brzdícího vlaku, což si můžeme dovolit, když už vlak při výpočtu brzdících křivek, resp. dohledových limitů skutečně brzdí/zpomaluje ($A_{est} < 0$ m.s⁻²). Samozřejmě za předpokladu, že mobilní část ETCS počítá polohy dohledových limitů v každém výpočetním cyklu, resp. alespoň vždy když dojde ke změně vstupních hodnot, přičemž jedna z nich je právě hodnota okamžitého zrychlení vlaku (A_{est}). Zde

posané je též patrné z obr. 8, který ukazuje rozdíl ve výpočtech stávajících (viz [1]) a výpočtech nově autory navrhovaných (viz [2]). Další zacházení s dohledovými limity při dohledu cíle by mohlo v principu zůstat stejné jako dnes. To znamená, že pokud by například došlo k odbrzdění, projevilo by se to ve zvýšení hodnoty A_{est} , což by způsobilo přepočtení poloh dohledových limitů a pakliže by se poloha čela vlaku dostala nově za nějaký dohledový limit, ETCS by iniciovalo adekvátní reakci (indikaci, anebo přímo brzdění).



Obr. 8 Ukázka vlivu použití přístupu dle vzorců (4) vs. (2), resp. (3) na polohy dohledových limitů ETCS [použití provozního brzdění v TSM je povoleno, nejistota měření ujeté dráhy ani rychlosti není uvažována]

Při výpočtu poloh dohledových limitů ETCS vychází z brzdných křivek, tedy z představy toho, jak se vlak bude chovat poté, co brzda plně naběhne. Na obr. 8 jde o situaci nouzového (rychločinného) brzdění, což popisuje křivka EBD (*Emergency Brake Deceleration*). Ta představuje z hlediska pohybu vlaku mez, za kterou se vlak (resp. jeho čelo) nesmí dostat, jinak by projel dohlížené místo (cíl). Je tedy třeba najít průsečík předpokládané trajektorie vlaku (už zde se oba přístupy liší: [1] vs. [2]) s touto křivkou a zareagovat dostatečně dříve. Protože křivka EBD představuje brzdění s již plně naběhlou brzdou, reaguje ETCS o definované časy (vyjmenované na začátku této kapitoly) v předstihu a tyto přepočítává přes (odhadovanou) rychlost vlaku (V_{est}) na dráhu, čímž si stanovuje dohledové limity, jejichž minuty pak spouští definované akce (indikace strojvedoucímu, či přímo intervence do jízdy).

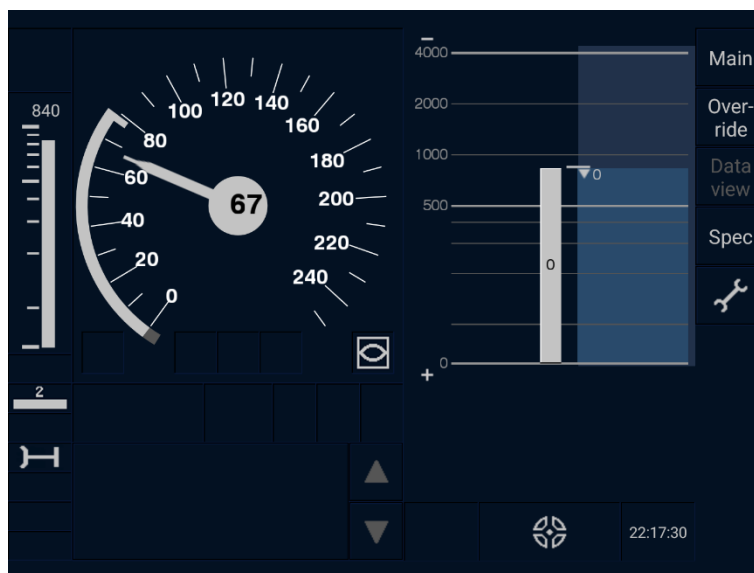
3.2 Praktické dopady zohlednění výše uvedeného při dohledu cíle v ETCS

Návrh autorů publikovaný prvně v článku [2] spočívá v zahájení výpočtu dohledových limitů v místě průsečíku paraboly brzdícího vlaku ($v = f(A_{est})$) a křivky EBD ($v = f(A_{safe})$) a dále v postupování od této reference po křivce brzdícího vlaku, a tedy v položení dohledových limitů ETCS na parabolu již brzdícího vlaku a v převádění tímto způsobem časů definovaných (vyjmenovaných v úvodu předchozí podkapitoly

(viz kap. 3.1)) na dráhu potřebnou pro snížení rychlosti (viz vzorec (4)). A jak ukazuje obr. 8, lze tímto způsobem získat pro již brzdící vlak například 991 m pro pozdější indikace strojvedoucímu, či 887 m pro strojvedoucího, popř. pro systém ATO (z angl. *Automatic Train Operation*), tedy např. pro český systém AVV (Automatické vedení vlaku) z produkce AŽD Praha pro pozdější intervenci ETCS do jízdy vlaku, ovšem i tak lze stále poskytnout dostatek potřebného času.

Zajímavé je také si povšimnout, že pokud při tomto novém přístupu [2] není nalezen průsečík paraboly brzdícího vlaku, nelze stanovit referenci pro výpočet dohledových limitů ETCS, a tedy nelze vypočítat polohy dohledových limitů. Toto chování je považováno za správné, neboť v této situaci (neexistence průsečíku trajektorie pohybu vlaku s křivkou EBD nenaznačuje, že by se vlak skutečně mohl dostat za tuto křivku mezni, a tedy má se za to, že vlak zastaví [dostatečně zpomalí] ještě před místem dohlíženého cíle). V případě současného přístupu [1] stále tento průsečík existuje, a tedy i dohledové limity ETCS a související restriktce stále existují – porovnej kroky e) až k) v tabulce 1 přílohy č. 1.

S novým přístupem [2] by však strojvedoucí i v této situaci měl mít stále informace o blížícím se cíli zobrazeny. Proto autoři tohoto příspěvku navrhuji zavedení (resp. znovuoobnovení) tzv. normálního stavu (Normal Status), a to i v režimu dohledu cíle (TSM). Při něm by se zobrazovaly informace o cíli nejen v plánovací oblasti (tj. v pravé části na displeji DMI, viz obr. 9), tak jak je to již dnes, ale navíc by se tyto zobrazily také v oblasti rychloměru (tj. v levé části displeje DMI, viz tentýž obrázek). Zobrazovala by se tedy jednak vzdálenost do cíle prostřednictvím ukazatele cílové vzdálenosti (jak analogicky, tak digitálně – na obr. 9 – 840 m), jednak cílová rychlost prostřednictvím kruhového ukazatele rychlosti CSG (z angl. *Circular Speed Gauge*) – viz rozhraní světle/tmavě šedé barvy na obr. 9 ($V_{\text{target}} = 0 \text{ km.h}^{-1}$). Toto zobrazení dnešní ETCS nepotřebuje, a tedy ani neposkytuje.



Obr. 9 – Nově navrhované indikace na displeji DMI ETCS (tmavě vs. světle šedá), vyvolané novým způsobem výpočtu dohledových limitů ETCS ($A_{\text{est}} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$)

Dále se zdá být žádoucí, aby se při přibližování k cíli snižovala adekvátně i dovolená rychlost vlaku (viz zalomení na kruhovém ukazateli rychlosti (CSG)), a to i v situaci,

kdy neexistuje průsečík paraboly brzdícího vlaku s křivkou EBD, popř. SBD, a tedy v situaci, kdy při novém přístupu výpočtů dohledových limitů ETCS tyto neexistují, neexistuje tedy ani dohledový limit dovolené rychlosti (P). Pro tento účel navrhujeme využít již dnes existující tzv. naváděcí křivku GUI (z angl. *Guidance*), která zajistí kýžené snižování dovolené rychlosti. Je však na zvážení, zda ji použít v novém návrhu tak, jak je to dnes, tedy nejen ke stanovování dovolené rychlosti, ale také k adekvátnímu přizpůsobení polohy dohledového limitu dovolené rychlosti (P), či ji využívat jen v případě, kdy není možno stanovit dohledové limity, protože neexistuje průsečík paraboly brzdícího vlaku s křivkou EBD/SBD. Každopádně v případě jejího nevyužití by dovolená rychlost (ve výše zmíněném případě) zůstala stále na hodnotě konstantní dovolené rychlosti, což se nejeví jako provozně, resp. ergonomicky vhodné.

Pojďme se podívat na simulaci přibližování konkrétního vlaku k cíli (SvL), a to za povolení použití naváděcí křivky GUI v režimu TSM (při novém návrhu jen neexistenci dohledových limitů ETCS). Tato simulace je zachycena v tabulce 1 přílohy č. 1. Zde se nejprve vlak přibližuje k cíli konstantní rychlostí (krok a). Jakmile dostane první indikaci (krok b), začne strojvedoucí ihned brzdit. Po uplynutí doby prodlevy (krok c) začne brzda nabíhat /pozn. zde je náběh zjednodušen, během náběhu brzdy by vlak reálně ujel určitou dráhu, která je pro tuto ilustraci zanedbána/. Následující tři kroky (kroky c, d, e) ukazují, jak dochází vlivem zvyšující se hodnoty odrychlení A_{est} k „odsouvání“ dohledových limitů ETCS, tedy vč. indikačního dohledového limitu, což má strojvedoucí možnost sledovat, jednak tím, že přejde z tzv. Indikačního stavu (žlutá) do stavu zde nově navrhovaného, tzv. normálního (šedá), jednak tím, že se v plánovací oblasti začne vzdalovat tzv. indikační značka (žlutá horizontální úsečka – kroky c, d).

Následně tabulka 1 v příloze č. 1 zachycuje zpomalování vlaku po parabole s konstantním odrychlením $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$ (kroky e až k). Z těchto kroků je patrné, že stávající ETCS – právě v důsledku neuvažování skutečného odrychlení vlaku – reaguje při dohledu cíle (TSM) na přiblížení vlaku ke křivce EBD přechodem do více restriktivních /dohledových/ stavů: do stavu překračování povolené rychlosti (krok h) i do stavu varovného (krok i); zatímco ETCS s novým návrhem chování při dohledu cíle [2] je stále ve stavu normálním (viz kroky e až k). Proto autoři tohoto článku, resp. článku [2] snaží iniciovat na EU úrovni změnu generických specifikací ETCS, tedy zejména systémových specifikací ETCS [1] a specifikací na rozhraní ke strojvedoucímu DMI (z angl. *Driver-Machine Interface*) [3].

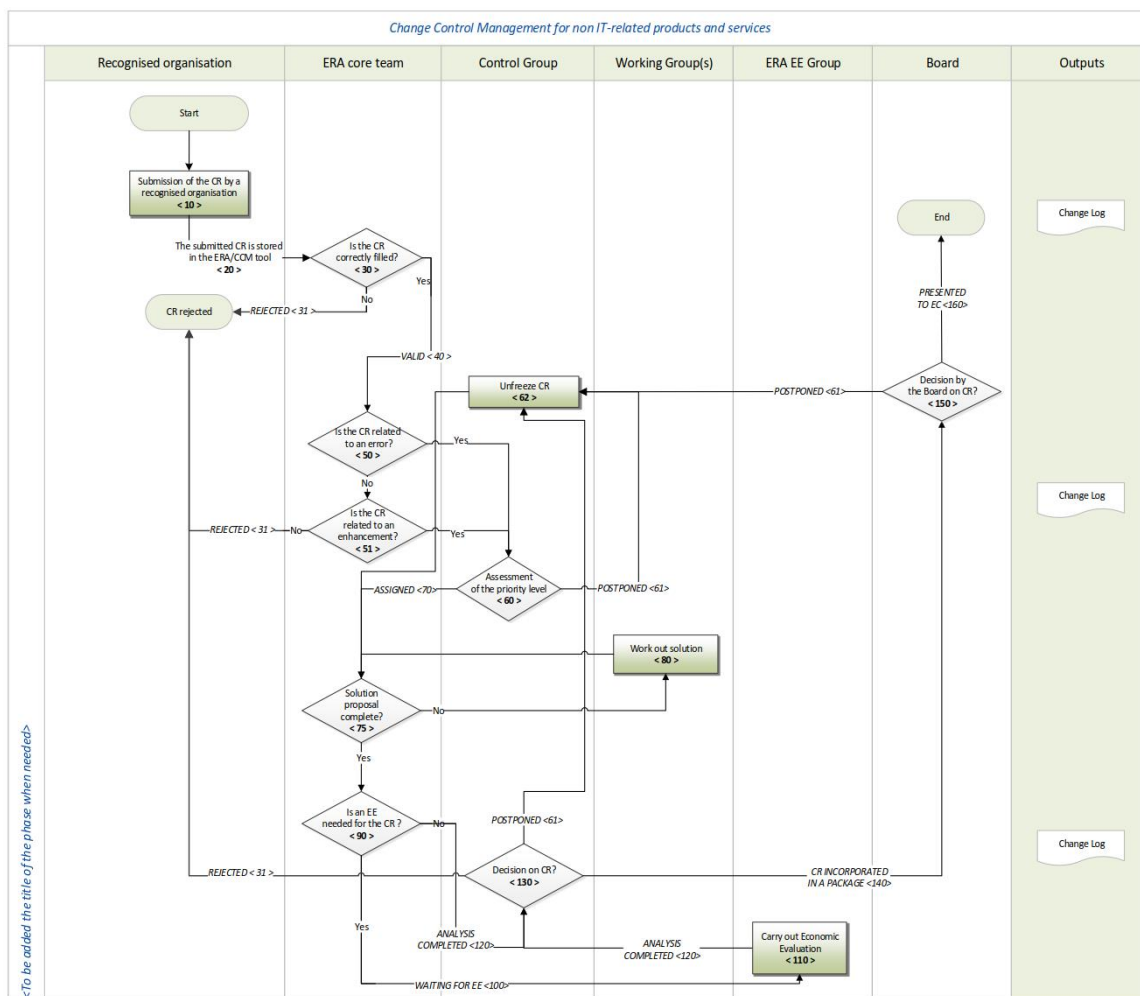
4 Postup pro změnu evropských specifikací ETCS

Vzhledem k tomu, že se autoři tohoto článku, resp. článku [2] snaží o prosazení změny EU specifikací ETCS, aby se tento vlakový zabezpečovač začal chovat při dohledu cíle pro již brzdící vlaky méně restriktivně, zato stále bezpečně, seznamuje tato kapitola stručně čtenáře s procesem s tím souvisejícím.

4.1 Obecný postup změn specifikací ETCS

Proces jakékoli změny specifikací ETCS je zahájen založením oficiálního požadavku na jejich změnu, tzv. *Change Request* (dále jen CR), (viz krok <20> na obr. 10) a končí prezentací tohoto požadavku, a to včetně pro něj odsouhlaseného řešení,

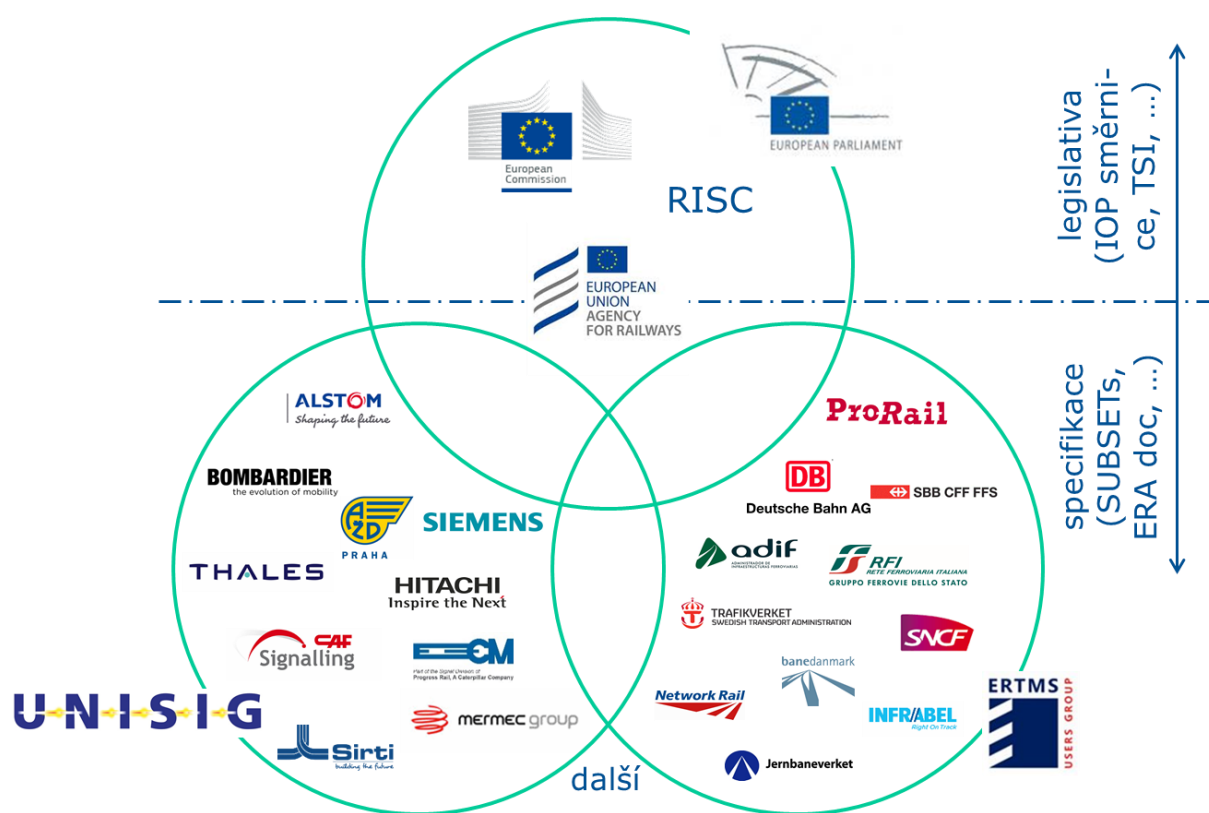
Evropské komisi (*European Commission, EC*) (viz činnost <160> na obr. 10), což činí EU agentura pro železnice (*European Union Agency for Railways, ERA*) v rámci jejího doporučení na aktualizaci TSI CCS, které předává poradnímu orgánu EC složeného ze zástupců členských států, kterým je výbor RISC (*Railway Interoperability and Safety Committee*), k odsouhlasení a následné publikaci Evropskou komisí (EC) v úředním věstníku EU, čímž se odsouhlasené řešení stává součástí TSI CCS, resp. mandatorních dokumentů jejich přílohy A, tedy závazným pro členské státy EU.



Obr. 10 – Proces změny specifikací ETCS; Zdroj: [12]

Mezi těmito kroky je každý takový CR hodnocen z hlediska jeho typu (oprava chyby / vylepšení specifikací ETCS), jeho kritičnosti/výhodnosti, pracnosti, vlivu na TSI CCS a předběžně je u něj hodnocena jeho zpětná kompatibilita, někdy též ekonomická výhodnost. Dále je každý CR analyzován, je pro něj (společně, většinou v několika iteracích – viz diagram na obr. 10) navrženo technické řešení a po jeho odsouhlasení je zkoumána jeho zpětná kompatibilita BCA (z angl. *Baseline Compatibility Analysis*), která se hodnotí v rámci jednotlivých legálních vydání specifikací ETCS, tedy v rámci tzv. Baselines (tj. dnes B2, B3MR1, B3R2), a hledají se nápravná opatření tam, kde by zapracováním navrženého řešení pro daný CR mohla vzniknout případná zpětná nekompatibilita, popř. se opět upravuje jeho technické řešení tak, aby k těmto zpětným nekompatibilitám nedocházelo.

Na činnostech uvedených výše se podílí především organizace uvedené na obr. 11, tedy na vlastních činnostech týkajících se CR se podílí již výše zmíněná ERA, která tyto činnosti zastřešuje a tvoří současně v této oblasti systémovou autoritu, tedy např. rozhoduje v případě absence konsensu účastníků. Dále se těchto činností účastní na straně jedné uživatelé systému ERTMS sdružené v ekonomické skupině EUG (*EEIG ERTMS Users Group*), tedy 11 významných správců infrastruktury ze Španělska, Dánska, Německa, Belgie, Norska, Spojeného království, Holandska, Francie, Itálie, Švýcarska a Švédska (viz obr. 11); na straně druhé pak výrobci tohoto systému sdružené v konsorciu UNISIG (*Union Industry of Signalling*), tedy 10 dodavatelů ETCS (viz obr. 11), mezi nimiž je i česká společnost AŽD Praha. Jako pozorovatel se účastní též vždy jeden zástupce Společenství evropských železničních a infrastrukturních podniků CER (*Community of European Railway and Infrastructure Companies*).



Obrázek 11: Instituce podílející se na procesu změn specifikací ETCS

V případě potřeby se pro konkrétní témata přidávají další organizace, jako například UIC (*Union Internationale des Chemins de fer*), či ROC IG (*Railway Operational Communications Industry Group*), dříve GSM-R IG (*Global System for Mobile Communication for Railway Industry Group*). Občasně prezentují svůj názor i mezinárodní asociace, jako např. EIM (*European Rail Infrastructure Managers*) a další. Ač výčet výše není úplný, je z něj zřejmé, že počet subjektů podílejících se na tvorbě specifikací ETCS je velký a že najít shodu mezi tolika z nich není vždy snadné.

ERA každý měsíc organizuje pracovní jednání pracovní skupiny EECT (*ERA Extended Core Team*, na obr. 10 jen „*ERA core team*“), kam zve zástupce UNISIG a

EUG a kde se tvoří a udržují specifikace ETCS (tedy zejména se řeší jejich změny formou CR). Před každým takovým jednáním probíhá předjednání v pracovních skupinách jak UNISIG, tak i EUG a pracuje se na zadaných úkolech. Na jednáních EECT se už vystupuje s konsolidovanými názory/vstupy za UNISIG, rovněž tak i za EUG. Nadto dle jednacího řádu [13] se například v jednotlivých technických pracovních skupinách konsorcium UNISIG nesmí hlasovat – názor nebo úkoly musí být jednomyslně odsouhlaseny všemi členy, aby mohly být prezentovány jako názor nebo výstup UNISIG, v opačném případě musí rozhodnout řídicí úroveň konsorcium UNISIG, tzv. Steering Committee (UNISIG SC). Navíc najít shodu mezi všemi členy UNISIG, uvážíme-li že každý z členů hájí také zájmy své společnosti, kterou zde zastupuje, opět není vždy snadné.

Pokud nastane mezi dotčenými subjekty shoda na všech úrovních tvorby specifikací ETCS (viz spodní část obr. 11), pak přichází ke slovu poradní orgán RISC, který je složen ze zástupců členských států EU (ČR zde má své zástupce dva) a který výrazně ovlivňuje rozhodnutí o tom, zda má Evropská komise návrh o nových specifikacích ETCS od ERA přijmout a zveřejnit je v úředním věstníku EU (a učinit je tedy mandatorními pro členské státy EU), či nikoli. Cesta ke změně specifikací ETCS je tedy dlouhá, náročná, ale potenciálně schůdná.

4.2 Postup z hlediska úpravy funkčního chování ETCS při dohledu cíle

V době uzávěrky tohoto článku byl zástupci České republiky v RISC vznesen dotaz související se zde, resp. v článku [2], uvedeným návrhem vylepšení funkčního chování ETCS při dohledu cíle. Tento dotaz adresovaný Evropské komisi je dalším elementem, vedle publikování článku [2], pro rozpoutání oficiální diskuse na toto téma na EU úrovni. Současně byly s návrhem uvedeným v článku [2] seznámeni zástupci subjektů EUG a CER, na článek byli rovněž upozorněni zástupci ERA a UNISIG. Aktuálně se vyčkává na založení oficiálního požadavku na změnu specifikací ETCS, tzv. Change Request (CR), tedy na zahájení procesu stručně popsaného v předchozí kapitole (viz kap. 4.1).

Závěr

ETCS je vlakový zabezpečovač, který kromě přispívání k zajištění interoperability (tedy propojitelnosti Evropského železničního prostoru), výrazně přispívá k bezpečnosti drážního provozu také tím, že disponuje úplnou kontrolou rychlosti, tedy v základním stavu bezpečně dohlíží, zda okamžitá rychlost vlaku nepřekračuje o povolené limity rychlost konstantní dovolenou (CSM), ale také to, že před blížícím se cílem stále existuje dostatek času/dráhy pro snížení okamžité rychlosti vlaku na novou rychlost cílovou (TSM). ETCS si pro tento případ vytváří na základě vlastností vlaku (zejména brzdného modelu), trati (změny podélného sklonu, zákazy používání určitých druhů brzd apod.) i okamžitého stavu vlaku (okamžitá rychlost a zrychlení) predikci potřebných poloh (tzv. dohledových limitů) pro nejzazší zavedení brzdění, pro různé indikace pro strojvedoucího apod.

Ukazuje se však, že ETCS je při této predikci někdy až příliš restriktivní – viz zkušenosti z provozu např. zde [7], či z pilotního projektu ETCS v ČR, kdy se poprvé testovalo ATO (resp. české AVV z produkce AŽD Praha) nad ETCS. Detailní

analýzou brzdnych křivek, resp. výpočtů dohledových limitů ETCS [2] vyšlo najevo, že ETCS uvažuje pouze dva základní scénáře přibližování se vlaku k cíli, a to:

- jednak scénář, kdy vlak nebrzdí vůbec, a tedy se přibližuje k cíli (např. ke konci oprávnění k jízdě) konstantní rychlostí;
- jednak scénář, kdy vlak navíc ještě směrem k cíli zrychluje.

Toto jsou případy, které je třeba bezesporu dohledem ETCS bezpečně pokrýt.

Avšak ukazuje se, že ETCS by mělo lépe reflektovat i případy, resp. scénáře, které jsou v provozu pravděpodobnější. Jde o situace, kdy strojvedoucí, či automatizační systém (kupř. CRV&AVV) již brzdí k cíli. A v případě, že ETCS nazná, že vlak s daným odrychlením zastaví (sníží dostatečně svou rychlost) ještě před cílem, mělo by toto uvážit a nechat strojvedoucího (či AVV) nerušeně tohoto cíle dosáhnout. Toto splňuje návrh autorů uvedený v článku [2], který je zde v tomto příspěvku více dopracován a rozšířen, zejména z hlediska zobrazování indikací na displeji DMI ETCS (viz příklad při tomto provozním scénáři zachycený v tab. 1 přílohy č. 1, kde je též porovnání s indikacemi, které by dostal strojvedoucí dle dnešního přístupu ETCS). Pro výše uvedené stačí u již brzdících vlaků začít zohledňovat při výpočtech dohledových limitů ETCS vedle okamžité rychlosti též okamžité zrychlení, resp. jeho důvěryhodnou část.

Dle názoru autorů tohoto příspěvku, resp. článku [2] by toto velmi významně pomohlo při dojezdech k cílům obecně. Rovněž tedy i při dojezdu k místu, kde končí oprávnění k jízdě, a tedy by toto řešení, možná i zcela, eliminovalo v tomto případě jak nutnost používání tzv. uvolňovacích rychlostí, tak i nutnost vytváření s tím souvisejících opatření pro eliminaci rizik plynoucích právě z jejich používání (ať již jde o výše zmíněné stavební úpravy na trati [9], či umělé držení výluk za koncem vlakové cesty [10] pro vlak s ETCS, který bude pro dojezd ke konci oprávnění k jízdě využívat právě /nenulovou/ uvolňovací rychlost).

Výše uvedené rozbory lze shrnout konstatováním, že zjednodušení – ač primárně provedená bezpečným (pesimističtější) směrem – spočívající v uvažování pevné ekvivalentní doby náběhu brzd a pohybu vlaku konstantní rychlostí, i když už vlak skutečně brzdí, která jsou navíc použita plošně i mimo oblast jejich fyzikální oprávněnosti, způsobují, že se vlak jedoucí pod dohledem ETCS nemůže přiblížit k brzdě křivce tak, jak by bylo pro plynulý a efektivní provoz potřebné, ale musí buď nepřiměřeně zpomalit o mnoho metrů dříve, anebo musí být přijímána nákladná stavební či jinak omezující opatření na straně infrastruktury.

S určitou nadsázkou lze proto říci, že dnes stojíme před rozhodnutím, zda metry promrhané ne zcela korektním zjednodušením budeme získávat zpět klávesnicí, nebo bagrem...

(Autoři tohoto příspěvku se rozhodli pro první variantu a hledají pro ni podporu v rámci odborné veřejnosti, proto o tomto problému, vč. možných řešeních publikují.)

Literatura:

- [1] ERA – UNISIG – EEIG ERTMS USERS GROUP. ERTMS/ETCS – System Requirements Specification. SUBSET-026, Issue 3.6.0 (Baseline 3 Release 2). Brussels: European Commission (EC), 2016. 701 p.
- [2] MAREK, Jakub – MYLSIVEC, Ivo – DRÁPAL, Bohumil. Modell der ETCS-Bremskurven: Verbesserungsvorschlag für bereits bremsende Züge | The ETCS braking curves model: Proposal for improvements for already braking trains. In *SIGNAL+DRAHT (112) 3/2020 [with corrections of printing errors (Fig. 2, formula (2), and units of speed and acceleration) likely in (115) 6/2020]*. Hamburg: DVV Media Group GmbH, 2020. p. 36–46. ISSN 0037-4997.
- [3] ERA. ERTMS/ETCS – ETCS Driver Machine Interface. ERA_ERTMS_015560, Issue 3.6.0 (Baseline 3 Release 2). Brussels: European Commission (EC), 2016. 263 p.
- [4] MAREK, Jakub. Brzdňý model ERTMS/ETCS a možnosti jeho optimalizace na úrovni aplikace. In *Vědeckotechnický sborník ČD č. 47/2019*. Praha: Generální ředitelství ČD, 2019. 22 s. ISSN 1214-9047. Dostupný z WWW: <<http://vts.cd.cz>>.
- [5] MYSLIVEC, Ivo. *Malé zamyšlení nad brzdovými a zásahovými křivkami ETCS*. In Příspěvek během pracovního setkání pracovníků AŽD a SŽDC. Velké Losiny, 9. 1. 2019. Praha: AŽD Praha s.r.o., 2019. 27 s.
- [6] RAIBR, Martin. Pohled projektanta na proces zavádění ETCS na železniční infrastrukturu ČR. In *9. konference Zabezpečovací a telekomunikační systémy na železnicích*. České Budějovice, 16. 10. 2019. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace (dnes Správa železnic, státní organizace), 2019. s. 22–28. ISBN 978-80-907189-1-3. Dostupný z WWW: <<http://www.ztscb.cz>>.
- [7] TRÖGEL, Martin. *Problematika dojezdu vlaku ke konci oprávnění k jízdě v ETCS z pohledu SŽDC*. Příspěvek na odborném semináři „K aktuálním problémům zabezpečovací techniky XIII“. Plzeň, 23. 5. 2018. Plzeň: ZČU v Plzni, 2018. 22 s. Dostupný z WWW: <https://fel.zcu.cz/cz/about/conferences/2018/seminar_DE/index.html>.
- [8] MAREK Jakub. Brzdné křivky ETCS a možnosti jejich úprav. In *9. konference Zabezpečovací a telekomunikační systémy na železnicích*. České Budějovice, 16. 10. 2019. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace (dnes Správa železnic, státní organizace), 2019. s. 33–37. ISBN 978-80-907189-1-3. Dostupný z WWW: <<http://www.ztscb.cz>>.
- [9] Správa železnic. *Zásady pro návrh technického řešení ETCS ve vazbě na kolejová řešení dopraven*. Praha: Generální ředitelství SŽDC (dnes SŽ), 2018. 6 s.
- [10] MACHÁČEK, Lubomír – PSÍK, Patrik. *VCP – vlaková cesta s prodlouženou ochranou dráhou*. In Příspěvek během pracovního setkání pracovníků AŽD a SŽDC. Velké Losiny, 15. 1. 2020. Praha: AŽD Praha s.r.o., 2020. 9 s.
- [11] POHL, Jiří. *Brzdění nákladních vlaků samočinnou pneumatickou brzdou*. Setkání na Generálním ředitelství SŽDC (dnes SŽ), 11/2018. 49 s.
- [12] European Union Agency for Railways (ERA). Change Control Management Procedure. Valenciennes: ERA, 2017. Issue PRO_CCM_002 V 2.1. 21 p. Accessible from «http://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms_en».

[13] UNIFE. *UNISIG Rules of Procedures*. Brussels: UNIFE, 2008. 18 s.

Lektorovali:

Ing. Tomáš Konopáč, Správa železnic

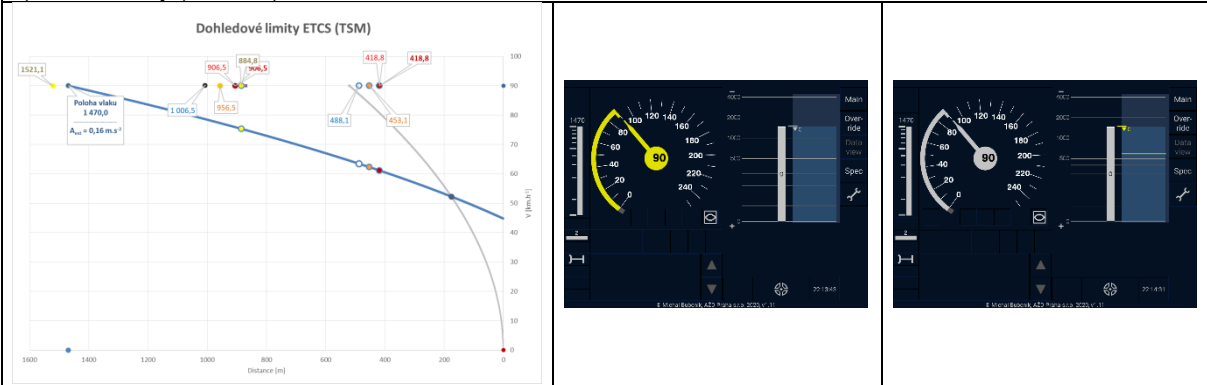
Aleš Pokorný, Drážní úřad

Příloha č. 1: Ukázka přibližování vlaku pod dohledem ETCS k místu, kde končí oprávnění k jízdě – SvL (z angl. *Supervised Location*).

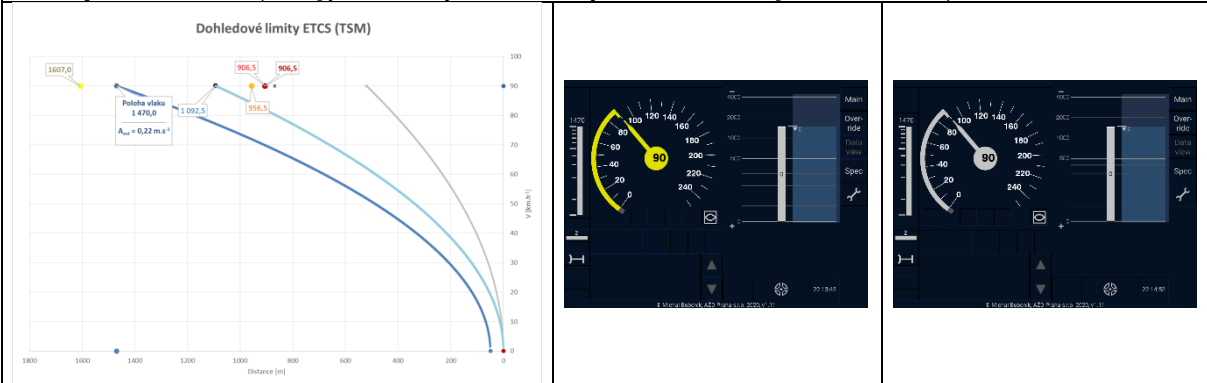
Tab. 1 – Dohledové limity ETCS a zobrazení na displeji DMI pro strojvedoucího (zdroj zobrazení na DMI: Bubeník):

Polohy dohledových limitů ETCS dle [1] vs. [2]	Odpovídající zobrazení na displeji DMI – výpočty dle	
	SUBSET-026 [1]	Marek, Myslivec, Drápal [2]
a) přibližování se k cíli (3 500 m), $V_{est} = 90 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0 \text{ m.s}^{-2}$		
b) první indikace (1 520 m), $V_{est} = 90 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0 \text{ m.s}^{-2}$ /strojvedoucí je vyzván k zahájení brzdění (žlutou barvou); na tuto skutečnost je upozorněn zazněním zvuku S_info – zde se oba přístupy ([1] i [2]) shodují/		
c) zahájení brzdění (1 470 m), $V_{est} = 90 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,05 \text{ m.s}^{-2}$ /dle současných specifikací [1] dostává strojvedoucí stále indikaci (žlutou barvou), zatímco dle nového návrhu [2] přechází do normálního stavu a v plánovací oblasti může sledovat, jak se se zvyšujícím stupněm zabrzdění indikační značka odsouvá dále od čela vlaku, až zcela zmizí (viz krok e), což jen ukazuje, že vlak zastaví (zpomalí) před dohlíženým cílem (neexistuje průsečík paraboly brzdícího vlaku s křivkou EBD, neexistují tedy ani dohledové limity ETCS)/		

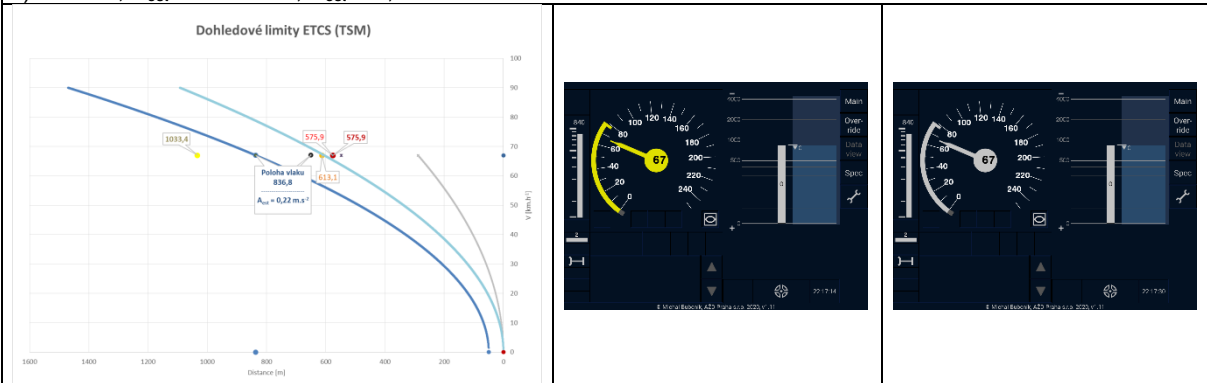
d) náběh brzdy (1 470 m), $V_{est} = 90 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,16 \text{ m.s}^{-2}$



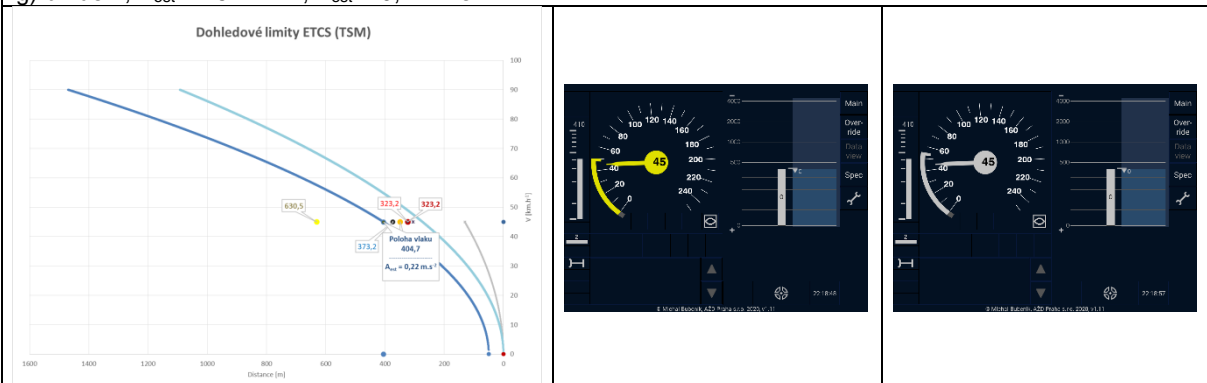
e) náběh brzdy (1 470 m), $V_{est} = 90 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$ (pozn. aktivována naváděcí křivka GUI [světle modrá] s $A_{GUI} = 0,3 \cdot A_{expected}$ [tj. 30 % odrychlení definujícího křivku SBD] ~ cca $0,3 \text{ m.s}^{-2}$)



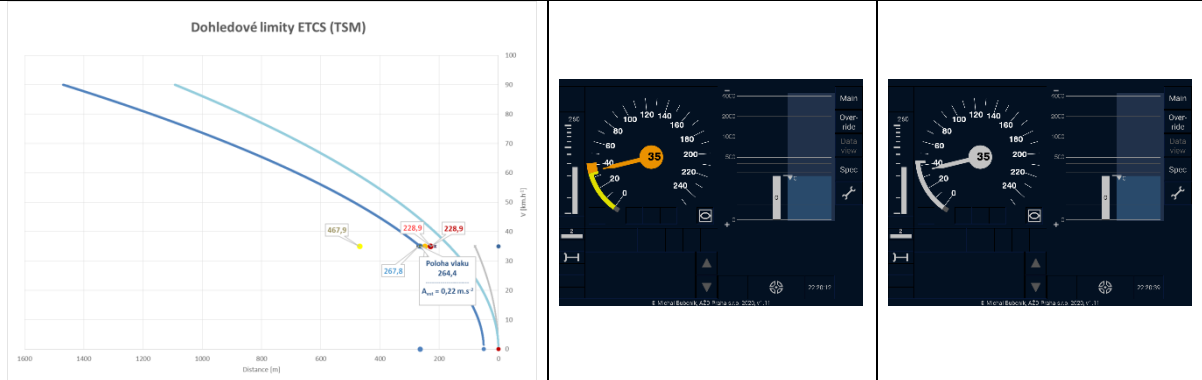
f) brzdění, $V_{est} = 67 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$



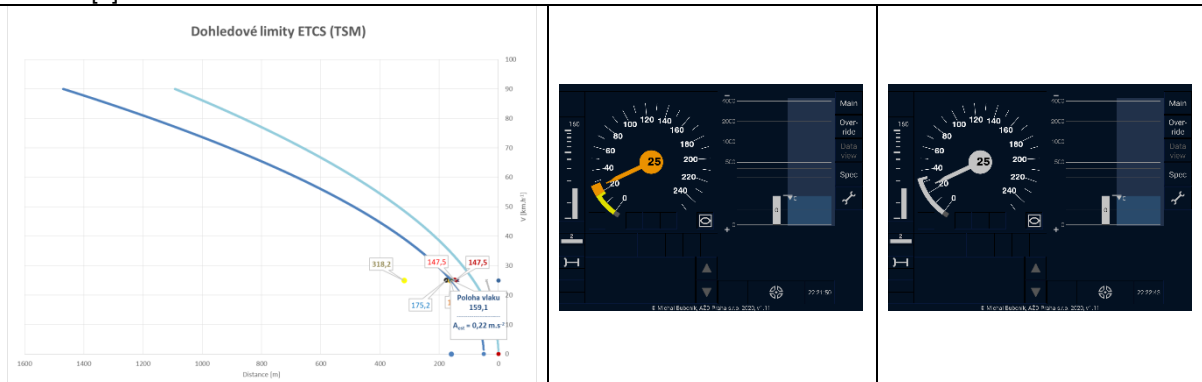
g) brzdění, $V_{est} = 45 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$



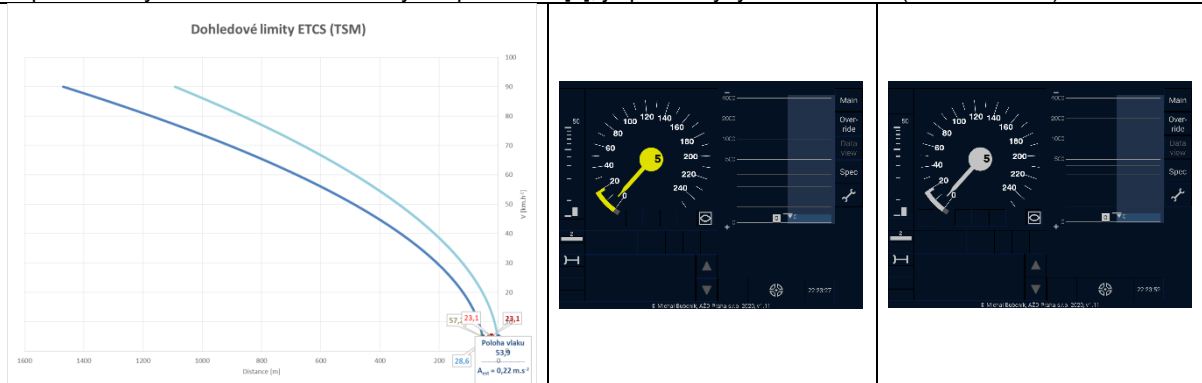
h) brzdění, $V_{est} = 35 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$ /dle současných specifikací [1] je strojvedoucí varován (oranžovou barvou), že překračuje dovolenou rychlost; dle nového návrhu [2] varován není/



i) brzdění, $V_{est} = 25 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$ /dle současných specifikací [1] je strojvedoucí varován (oranžovou barvou, nyní již i akusticky [trvalým zněním zvuku S2_warning]), že se blíží k rychlosti zásahové; dle nového návrhu [2] takové varování nenastává/



j) brzdění, $V_{est} = 5 \text{ km.h}^{-1}$, $A_{est} = 0,22 \text{ m.s}^{-2}$ /rychlost vlaku se opět dostává pod „křivku“ dovolené rychlosti a přestává být varován i dle současných specifikací [1], je pouze vyzván k brzdění (žlutou barvou)/



k) vlak zastavuje 50 m před dohláženým cílem (SvL)

Jiří Zmatlík¹, Otto Pastor²

Řízení jakosti a metrologie v dopravních systémech a dopravních procesech

Klíčová slova: measurement system, measuring parts according the same measurement method, process stability behaviour, forecasting behaviour, measurement equipment.

ANOTACE

Článek specifikuje vlastnosti měřicích systémů, které jsou základem aplikace regulace transportních procesů v transportních systémech. Kvalita získaných dat z měřicích systémů dominantně ovlivňuje kvalitu regulačních a dalších navazujících řídicích procesů. V technické praxi se rozlišují jednodušší a složitější měřicí systém. U složitějšího měřicího systému je stejná část měřena několikrát, pomocí několika operátorů dle stejné metodiky měření. Metodikou řešení složitějších měřicích systémů je analýza rozptylu s interakcí, případně analýza rozptylu bez interakce. Je možné separovat variabilitu částí, operátorů a případně měřicích prostředků. Pro vlastní hodnocení měřicích systémů je specifikována hodnotící škála charakterizující jejich vhodnost k užití při měření ve výrobních, transportních a netechnologických procesech.

¹ 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.

² 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.

ABSTRAKT

The article specifies the characteristics of the measuring systems that are the basis for the application of transport process control in transportation systems. The quality of the data obtained from the measuring systems dominantly affects the quality of the control and other downstream control processes. In technical practice, a simpler and more complex measuring system is distinguished. For a more complex measuring system, the same part is measured several times, using several operators according to the same measurement methodology. The methodology for solving more complex measuring systems is the analysis of variance with interaction, or analysis of variance without interaction. It is possible to separate the variability of parts, operators and, where appropriate, measuring instruments. For the actual evaluation of measuring systems, the evaluation range characterising their suitability for use in measurements in production, transport and non-technological processes is specified.

Úvod

Článek se zabývá statistickou analýzou a statistickými atributy měřicích systémů, které dle naměřených dat mapují vlastnosti výrobních a nevýrobních procesů a transportních systémů. V úvodu jsou specifikovány indexy způsobilosti měřicích zařízení, které jsou komplexnější a přísnější než měřicí systémy pro výrobní a transportní procesy. Jsou specifikována hodnocení jednoduššího měřicího systému, který je postupně rozšiřován o svou komplexnost, ve které lze specifikovat vliv měřené části a vliv operátora na opakovaná měření stejné části a vztahy vzájemné variability a komparací. Pro vlastní hodnocení měřicích systémů je specifikována hodnotící škála charakterizující jejich vhodnost k užití při měření ve výrobních, transportních a netechnologických procesech. Pro hodnocení separace variability operátora a měřené části se často v technické praxi využívá analýza rozptylu, analýza rozptylu bez interakce měřené části a operátorů nebo analýza rozptylu s interakcí měřené části a operátorů.

1. Požadavky na způsobilost měřících systémů aplikovatelných v dopravních systémech a procesech

Pro specifikaci a hodnocení měřícího systému nebo měřícího zařízení lze využít indexů způsobilosti, které posuzují normativní požadavky na měřící systémy v dopravních procesech. Jsou přísnější než indexy způsobilosti výrobních procesů a systémů. Hodnocení se provádí před vlastním použitím měřícího zařízení. Analýza je založena na opakovaných měření etalonu o určité jmenovité hodnotě, která by měla odpovídat středu daného tolerančního pole. Pracovník při stanovené metodice měření provede minimálně 30 opakovaných měření pomocí testovaného měřícího zařízení. Data se zobrazí v pořadí měření v průběhovém diagramu, přičemž se zkoumá statistická stabilita, tzn. zda hodnoty nejsou ovlivněny vymežitelnými/specifickými příčinami variability, které je třeba odstranit z naměřených hodnot a zásadním způsobem analyzovat. Analyzují se též trendy dat, periodicitu a nenáhodná uskupení signalizující přítomnost vymežitelných příčin variability. Pro měřící zařízení byly navrženy níže uvedené indexy způsobilosti měřících zařízení, přičemž před vlastním výpočtem je nutné ověřit normalitu dat například pomocí χ^2 testu dobré shody či pomocí Kolmogorovova – Smirnovova testu.

$$C_g = \frac{0,2(USL - LSL)}{6\sigma_g}$$

$$C_{gk} = \frac{0,1(USL - LSL) + (x_r - \bar{x})}{3\sigma_g}$$

USL horní toleranční mez

LSL dolní toleranční mez

x_r přijatá referenční hodnota

\bar{x} aritmetický průměr naměřených hodnot (etalonová hodnota)

$\hat{\sigma}_g$ odhad směrodatné odchylky výběrových průměrů opakovaných výběrů

$$\hat{\sigma}_g = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Indexy C_g a C_{gk} zohledňují pouze variabilitu naměřených hodnot, kterou porovnávají s vymezenou částí tolerančního pole. Je-li hodnota indexu $C_{gk} > 1,33$, pak je měřící zařízení či měřící systém považován za způsobilý. Index C_g zohledňuje shodnost měření a index C_{gk} zohledňuje shodnost a systematickou chybu měření. Měřící systém lze považovat za způsobilý, je-li variabilita charakterizovaná hodnotou $6 \sigma_g$ menší nebo maximálně rovna 15 % šířky tolerančního pole. Tyto indexy jsou mnohem přísnější než samotné indexy způsobilosti pro výrobní a nevýrobní technologické a transportní procesy.

2. Specifikace jednoduchého měřícího systému v dopravních systémech

Jednodušší měřící systém je specifikován skutečností, že měřená část je měřena stejným měřícím zařízením a stejným operátorem dvakrát dle stejné metodiky měření. Operátor nezná hodnotu měřené části, tedy při druhém měření stejné části nebude předchozí hodnotou žádným způsobem ovlivněn. Předpokládejme následující model pro měření i -té části.

$$x_i = a_i + e_{xi} ; y_i = a_i + e_{yi} ; i = 1, 2, \dots, n ;$$

Proměnná a_i představuje „správnou - etalonovou“ hodnotu měření i -té části, e_{xi} a e_{yi} jsou náhodné chyby 1. a 2. měření i -té části. Hodnoty e_{xi} , e_{yi} jsou hodnoty nezávislé náhodné veličiny se střední hodnotou $E(e_x) = E(e_y) = 0$ a s rozptylem $D(e_{xi}) = D(e_{yi}) = \sigma^2$. Směrodatná odchylka σ je variabilita spojená s měřícím systémem a s metodou měření. **Směrodatná odchylka σ charakterizuje variabilitou měření.**

Správné hodnoty a_i byly získány tak, že n částí bylo náhodně vybráno ze stabilního výrobního procesu. ξ_p představuje aritmetický průměr etalonových hodnot a σ_p^2 charakterizuje jejich rozptyl. V rámci modelu se zavede proměnná α_i , která se nazývá vliv i -té části. **Model pro hodnocení měřícího systému je patrný z následujících vztahů.**

$$\xi_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i; \quad s_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n}}$$

$$\sigma = \frac{s_d}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{n}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{2(n-1)}}$$

$$\alpha_i = a_i - \xi_p$$

$$x_i = \xi_p + \alpha_i + e_{xi}$$

$$y_i = \xi_p + \alpha_i + e_{yi}$$

$$E(d_i) = E(x_i - y_i) = E(e_{xi} - e_{yi}) = 0; \quad D(d_i) = D(e_{xi} - e_{yi}) = 2\sigma^2$$

Charakteristika měřicího systému se stanovuje nejen pomocí směrodatné odchylky σ , ale také procenty ze specifické tolerance $USL - LSL$ pomocí následujícího vztahu. Hodnota $5,15 \sigma$ představuje v normálním rozdělení 99 % všech hodnot.

$$\%Op = \frac{100 \times 5,15 \hat{\sigma}}{\text{tolerance}} = \frac{100 \times 5,15 \hat{\sigma}}{USL - LSL}$$

Op opakovatelnost měřicího systému

Model měření nebo měřicího systému rozšířenějšího pohledu vychází z předpokladu, že měření jsou prováděna stejným měřicím zařízením dle stejné metodiky měření, přičemž měřicí proces realizují různí operátoři.

Model je však nutné rozšířit o b_x a b_y , což jsou hodnoty identicky rozdělených náhodných proměnných se společným průměrem ξ_0 a s rozptylem σ_0^2 závislým na operátorech. Vliv operátora charakterizují centrované proměnné β_x a β_y . **Model měřicího systému rozšířený vychází z následujících rovnic:**

$$x_i = a_i + b_x + e_{xi}$$

$$y_i = a_i + b_y + e_{yi}$$

$$\xi_0 = E(b_x) = E(b_y)$$

$$\beta_x = b_x - \xi_0$$

$$\beta_y = b_y - \xi_0$$

$$\mu = \xi_0 + \xi_p$$

Hodnota μ představuje celkový průměr, který pro všechna pozorování musí být konstantní.

Rozšířený model měřicího systému je možné napsat pomocí následujících rovnic, ze kterých vyplývá vliv měřené části a vliv operátora na vlastní měřicí proces.

$$x_i = \mu + \alpha_i + \beta_x + e_{xi}$$

$$y_i = \mu + \alpha_i + \beta_y + e_{yi}$$

$$d_i = x_i - y_i = \beta_x - \beta_y + e_{xi} - e_{yi}$$

$$D(\bar{d}) = E(\bar{d}^2) = 2\sigma_0^2 + 2\frac{\sigma^2}{n}$$

$$\bar{d} = \bar{x} - \bar{y} = \beta_x - \beta_y + \bar{e}_x - \bar{e}_y$$

$$\sigma^2 = \frac{s_d^2 n}{2(n-1)}$$

Vztahy pro hodnocení komplexnějšího pohledu na měřicí systém vycházejí z následujících rovnic:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\bar{d}}{2} - \frac{s_d^2}{2 \times (n-1)}}; \quad \sigma = \frac{s_d}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{n}{n-1}}$$

$$\sigma_{Op \wedge Rp} = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_0^2} = \sqrt{\frac{s_d^2}{2} + \frac{\bar{d}^2}{2}}$$

Hodnocení měřicího systému je možné na základě procente ze specifické tolerance. Níže uvedené vztahy specifikují procenta opakovatelnosti a reprodukovatelnosti ze specifické tolerance.

$$\%Rp = 100 \times \frac{5,15 \times \hat{\sigma}_0}{USL - LSL}$$

Rp reprodukovatelnost měřicího systému

$$\%Op \wedge Rp = \frac{100 \times 5,15 \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2}}{USL - LSL}$$

Byla vypracována následující škála pro hodnocení měřících systémů na základě reprodukovatelnosti a opakovatelnosti:

0-10 %	výborný měřicí systém
10-20 %	dobry měřicí systém
20-30 %	ještě dostatečný měřicí systém
nad 30 %	neakceptovatelný měřicí systém

Aplikační problém

Je charakterizován měřicí systém, kterým bylo měřeno 12 částí dvěma operátory. Hodnoty měření jsou v tab. č. 1, přičemž hodnota specifické tolerance USL-LSL je rovna 30.

ČÁST	1. Operátor (x_i)	2. Operátor (y_i)	d_i = x_i - y_i	d_i²
1	14	15	-1	1
2	12	9	3	9
3	15	14	1	1
4	16	14	2	4
5	15	15	0	0
6	13	14	-1	1
7	13	11	2	4
8	16	15	1	1
9	14	12	2	4
10	13	14	-1	1
11	14	14	0	0
12	15	13	2	4
Celkem			10	30

Tab. č. 1 – Hodnoty měření pro stanovení vlastností měřícího systému

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n} - (\bar{d})^2} = 1,3437$$

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n d_i = 0,83$$

$$Op \rightarrow \sigma = \frac{s_d}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{n}{n-1}} = \frac{1,3437}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{12}{11}} = 0,9924$$

$$Rp \rightarrow \sigma = \sqrt{\frac{d^2}{2} - \frac{s_d^2}{2(n-1)}} = \sqrt{\left(\frac{10}{12}\right)^2 \times \frac{1}{2} - \frac{1,3437^2}{22}} = 0,515$$

$$\%Rp = \frac{100 \times 5,15 \times \hat{\sigma}_0}{USL - LSL} = \frac{100 \times 5,15 \times 0,515}{30} = 8,84\%$$

$$\%Op = \frac{100 \times 5,15 \times \hat{\sigma}}{USL - LSL} = \frac{100 \times 5,15 \times 0,9924}{30} = 17,04\%$$

$$\begin{aligned} \%Op \wedge Rp &= \frac{100 \times 5,15 \times \sqrt{\sigma^2 + \sigma_0^2}}{USL - LSL} = \frac{100 \times 5,15 \times \sqrt{0,9924^2 + 0,515^2}}{30} \\ &= 19,19\% \end{aligned}$$

Dle klasifikace lze považovat měřicí systém za dobrý. Opakovatelnost a reprodukovatelnost tvoří 19 % ze specifické tolerance.

Lze definovat, že rozptyl individuálních měření x_i a $y_i \Rightarrow D(x_i) = D(y_i) = \sigma_m^2$ se dá rozložit do Pythagorova vztahu dle rovnice:

$$\sigma_m^2 = \sigma_p^2 + \sigma_{R \wedge R}^2$$

Rozptyl měření je dán rozptylem měřených částí a rozptylem měřicího systému daného opakovatelností a reprodukovatelností. V praxi pro rozhodování o adekvátnosti měřicího systému se zavádí **index determinace** ζ_I definovaný následující rovnicí:

$$\zeta_I = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_m^2} = 1 - \frac{\sigma_{Rp \wedge Op}^2}{\sigma_m^2}$$

Tento index nabývá hodnot z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$ a charakterizuje intenzitu závislosti mezi měřenou částí a individuálním měřením. Čím je jeho hodnota blíže k 1, tím složky

reprodukovatelnosti a opakovatelnosti měření jsou nižší a měřicí systém je vhodnější pro měření.

V praxi se zavádí funkce indexu determinace nazývaná diskriminační poměr, který je definován následujícím vztahem.

$$D = \sqrt{\frac{1 + \zeta_I}{1 - \zeta_I}} = \sqrt{\frac{2\sigma_m^2}{\sigma_{Rp \wedge Op}^2} - 1}$$

Diskriminační poměr je monotónně rostoucí funkce korelačního indexu, je-li $D=1$, pak měření neidentifikuje variabilitu produktu. **Diskriminační poměr se používá pro rozhodování, zda je vhodné zlepšit transportní, výrobní nebo technologický proces, nebo samotný měřicí systém.** Je-li hodnota D menší než 2, je měřicí proces nevyhovujícím, a naopak hodnota diskriminačního poměru menší než 4, pak měřicí proces potřebuje zásahy pro vylepšení.

3. Hodnocení složitějších měřících systémů pomocí analýzy rozptylu

Hodnocení složitějších měřících systémů je možné provést na základě analýzy rozptylu, která vychází z rozkladu součtu čtverců na jednotlivé složky. Metodika bude demonstrována na hypotetickém příkladě.

Provedeme analýzu měřícího systému pomocí dvoufaktorové analýzy rozptylu. Deset částí bylo vybráno z výrobního procesu a měřeno dvakrát třemi operátory. Cílové hodnota pro měření je $\tau = 2,234$ cm a toleranční meze jsou $USL = 2,239$ cm a $LSL = 2,229$ cm. Data jsou obsažena v následující tabulce č. 2.

i\j ČÁST	1. OPERÁTOR	2. OPERÁTOR	3. OPERÁTOR
1	2,2333; 2,2337	2,2332; 2,2338	2,2336; 2,2339
2	2,2338; 2,2341	2,2342; 2,2340	2,2345; 2,2344
3	2,2338; 2,2341	2,2340; 2,2337	2,2342; 2,2335
4	2,2327; 2,2324	2,2325; 2,2328	2,2322; 2,2331
5	2,2340; 2,2344	2,2345; 2,2345	2,2345; 2,2349

6	2,2346; 2,2340	2,2345; 2,2349	2,2342; 2,2339
7	2,2338; 2,2343	2,2341; 2,2341	2,2341; 2,2344
8	2,2345; 2,2345	2,2355; 2,2353	2,2348; 2,2353
9	2,2331; 2,2326	2,2332; 2,2335	2,2330; 2,2333
10	2,2343; 2,2341	2,2345; 2,2346	2,2341; 2,2338

Tab. č. 2 – Data pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu

Tabulka č. 3 - charakterizuje očekávaný součet čtverců pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu s interakcí a bez interakcí.

ZDROJ VARIABILITY	SOUČET ČTVERCŮ	STUPNĚ VOLNOSTI	PRUMĚR ČTVERCŮ	
Části	0,0000256	9	0,000002845	Analýza rozptylu s interakcí
Operátoři	0,0000007	2	0,000000366	
Části x Operátoři	0,0000018	18	0,000000100	
Rezidua	0,0000023	30	0,000000076	
Celkem	0,0000304	59		
Části	0,0000256	9	0,000002845	Analýza rozptylu bez interakcí
Operátoři	0,0000007	2	0,000000366	
Rezidua	0,0000041	48	0,000000085	
Celkem	0,0000304	59		

Tab. č. 3 – Součet čtverců pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu

Následující Tabulka č. 4 popisuje charakteristiky měřícího systému při použití dvoufaktorové analýzy rozptylu s interakcí a bez interakcí.

Dvoufaktorová analýza s interakcí	Dvoufaktorová analýza bez interakcí
σ -opakovatelnost 0,000275	σ -opakovatelnost 0,000291
% - opakovatelnosti 14,17 %	% - opakovatelnosti 15,01 %
Reprodukovatelnost 0,00016	Reprodukovatelnost 0,000119
% reprodukovatelnosti 8,25 %	% reprodukovatelnosti 6,11 %
Rp & Op 0,000318	Rp & Op 0,000315
% Rp & Op 16,39 %	% Rp & Op 16,21 %
σ_p – směr. odchylka částí 0,000676	σ_p – směr. odchylka částí 0,000676
σ_m – směr. odchylka měření 0,000747	σ_m – směr. odchylka měření 0,000748

Tab. č. 4 – Charakteristika měřicího systému

Porovnáním charakteristik měřicího systému zjistíme, že jsou téměř shodné a měřicí systém je považován za dobrý. Na 5% hladině významnosti byla testována hypotéza, 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:

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

Literatura

- [1] Mykiska, A. – Chmelík, V. – Matušů, M. *Řízení a zabezpečování jakosti*. ČVUT Praha, 1998
- [2] Nenadál, J – Noskiewičová, D. – Petříková, R – Plura, J. – Tošenovský, J. *Moderní systémy řízení jakosti*. Management Press, 1998
- [3] Nenadál, J. *Měření v systémech managementu jakosti*. Management press, 2001
- [4] *Normy managementu jakosti ČSN EN ISO 9000: 2000*. Český normalizační institut, 2000
- [5] Piskáček, B. – Kašová, V. – Zmatlík, J. *Řízení jakosti*. ČVUT Praha, 2001
- [6] Plura, J. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Computer Press, 2001

- [7] Pyzdek, T. Guide to SPC, Volume 2, *Applications and Special Topics*. Publishing Inc., Tuscon, Arizona, 1992
- [8] Tošenovský, J. – Noskiewičová, D. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Montanex a.s., 2000
- [9] Tošenovský, J. *Statistika v řízení jakosti*. DTO, Ostrava, 1995

Lektorovali:

doc. Ing. Ivan Nagy, CSc., FD ČVUT

doc. Ing. Josef Bulíček, Ph.D., DFJP UPCE