

**Vědeckotechnický sborník
Správy železnic,
státní organizace
č. 1/2019**

ISSN 2694-9172

Vydavatel: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace

Sídlo: Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1

IČ: 709 94 234 DIČ: CZ 709 94 234

Jiří Svoboda¹

Úvodní slovo generálního ředitele Správy železniční dopravní cesty, státní organizace

Vážené dámy, vážení pánové,

Správa železniční dopravní cesty, s.o. (dále SŽDC) získává v průběhu liberalizace podmínek přístupu na drážní infrastrukturu výsadní postavení v českém železničním sektoru. Daří se nám naplňovat vytyčenou strategii organizace na cestě k modernímu provozovateli dráhy. Dynamika naší proměny v moderní firmu je neoddělitelně spojená i s viditelnou proměnou tratí, stanic a výpravních budov. V rámci Evropské unie patříme mezi deset největších provozovatelů sítě železničních tratí, jejichž délka vykazuje nejvyšší hustotu v Evropě. Vedle samotné spolehlivé dopravní cesty se snažíme zlepšovat a nabízet dopravcům a cestujícím doprovodný servis. Základ našeho úspěchu spatřujeme ve stabilitě služeb, pro jejichž udržení aktivně vyhledáváme nové zaměstnance. Trhu práce dáváme jasný signál, že nabízíme perspektivní povolání a jistotu zaměstnání.

V souvislosti s posilováním renomé železnice spatřuji vhodnou roli Vědeckotechnického sborníku Správy železnic v šíření poznatků o nejmodernější technice a technologiích. Chci vyjádřit radost a potěšení, že SŽDC převzala odpovědnost za vydávání Sborníku. Velmi si cením podpory široké odborné veřejnosti a institucí ve spojení s tímto rozhodnutím. Věřím, Sborník bude vhodnou platformou pro odborníky z různých oborů železnice a poskytne možnost prostřednictvím jeho stránek dělit se o své objevy, zjištění a zkušenosti a na druhou stranu jeho prostřednictvím mohou nové informace čerpat nejen lidé z každodenního provozu, ale také odborníci ze spolupracujících podniků a organizací i perspektivní budoucí zaměstnanci z řad studentů odborných středních a vysokých škol.

Sborník nese jméno organizace, která mu propůjčuje svůj nový název. Přesto očekávám, že ambicí všech zúčastněných je zachovat postavení Sborníku jako významné odborné publikace napříč všemi drážními obory bez ohledu na příslušnost k jakékoliv obchodní firmě, státní organizaci nebo vědecké a vzdělávací instituci.

Jménem SŽDC i jménem svým děkuji členům redakční rady za jejich významný podíl na zdárném pokračování Sborníku a věřím, že najde očekávaný kladný ohlas u odborné veřejnosti.

Závěrem přeji Sborníku špičkové autorské vědeckotechnické informace, v jejichž šíření a uplatňování spatřuji správnou cestou k cíli, kterým jsou spokojení dopravci, přepravci a cestující na železnici. Vysoké ambice SŽDC jsou nám motivací pro další práci.

Jiří Svoboda
generální ředitel

¹ Bc. Jiří Svoboda, MBA – generální ředitel Správy železniční dopravní cesty, s.o.

Roman Štěřba¹

Úvodní slovo předsedy redakční rady Vědeckotechnického sborníku Správy železnic

Vážení čtenáři,

dostává se vám do ruky první číslo Vědeckotechnického sborníku Správy železnic (dále Sborník). Je mi velkým potěšením, že Správa železniční dopravní cesty, s.o. (dále SŽDC) převzala odpovědnost za edici Sborníku od Českých drah, které Sborník vydávaly od roku 1995 a počet čísel VTS ČD během uplynulých 24 let dosáhl úctyhodného počtu 47. SŽDC si zároveň velmi cení podpory široké odborné veřejnosti a institucí.

Cílem Sborníku je poskytnout odborníkům z různých oborů železnice možnost prostřednictvím jeho stránek dělit se o své objevy, zjištění a zkušenosti a na druhou stranu jeho prostřednictvím mohou nové informace čerpat nejen lidé z každodenního provozu, ale také odborníci ze spolupracujících podniků a organizací i studenti odborných středních a vysokých škol.

Sborník nese jméno organizace, která mu propůjčuje svůj nový název. Přesto však je ambicí všech zúčastněných zachovat postavení Sborníku jako významné odborné publikace napříč všemi drážními obory bez ohledu na příslušnost k jakékoliv obchodní firmě, státní organizaci nebo vědecké a vzdělávací instituci.

Jsme hrdí na to, že s rostoucím významem se SŽDC přihlásila k úsilí pro vydávání čistě odborného periodika, které slouží k vědeckému a technickému růstu celého českého železničního sektoru se snadnou dostupností prostřednictvím internetu. Práce a dostupnost odborných textů je tak pro všechny specialisty a zájemce o drážní dopravu jednoduchá.

Vážení čtenáři,

ještě jednou chci poděkovat všem autorům a kolegům, bez jejichž pomoci by Sborník svoji existenci neuhájil, a vyjádřit přání, aby se do jeho přípravy i nadále zapojovala řada kolegyň a kolegů, a aby byl Sborník i nadále vyhledávaným zdrojem nových zajímavých informací napříč různými obory představující moderní železniční systém jako dopravní obor s mnohaletou historií a tradicí a především perspektivní budoucností.

Roman Štěřba
předseda redakční rady

¹ Doc. Dr. Ing. Roman Štěřba, MBA – odborný poradce generálního ředitele Správy železniční dopravní cesty, s.o.

Diagnostika dynamických účinků ve výhybkách v rámci projektu S-CODE

Ivan Vukušič¹, Daniela Vukušičová², Karel Zaplatílek³, Jan Podroužek⁴, Jiří Apeltauer⁵,
Martina Kratochvílová⁶

Anotace

Článek se věnuje problematice dynamických účinků ve výhybkách. Je zaměřen především na měření a vyhodnocení dynamických účinků. Prezentuje část výstupů z evropského projektu S-CODE. Je rozdělen na současný stav řešené problematiky, teoretickou část a praktické použití vyvíjeného vyhodnocovacího systému s příklady využití na datech změřených při několika měřicích kampaních přímo ve výhybkách v podmínkách plného provozu.

Annotation

This article deals with dynamic effects in the railway switches and crossings. It is focused mainly on measurement and evaluation of the dynamic effects on the crossing. The article presented a small part of the European project S-CODE outputs and it is divided to following parts: current state of the art, theoretical analysis of the problem and practical use of the developed evaluation system with the examples on data measured in condition of full operation in several measurement campaigns.

¹ **Ing. Ivan Vukušič, Ph.D.** - absolvent Stavební fakulty VUT v Brně, inženýrského oboru konstrukce a dopravní stavby, specializace železniční konstrukce a stavby. V roce 2016 obhájil disertační práci Analýza dynamických účinků ve výhybce. Problematice dynamických účinků v železničních výhybkách se věnuje i nadále jako externí zaměstnanec Ústavu železničních konstrukcí a staveb VUT v Brně. Od roku 2007 pracuje ve Výzkumném Ústavu Železničním, a.s. jako vedoucí hodnotitel pro posuzování shody s TSI v subsystému Infrastruktura. Je členem národní technologické platformy Interoperabilita železniční infrastruktury a členem mezinárodní skupiny pro koordinaci notifikovaných osob NB-Rail.

² **Ing. Daniela Vukušičová** - absolventka Stavební fakulty VUT v Brně, oboru konstrukce a dopravní stavby, specializace železniční konstrukce a stavby. Je prezenční studentkou doktorského studijního programu konstrukce a dopravní stavby na Stavební fakultě VUT v Brně na Ústavu železničních konstrukcí a staveb. Věnuje se problematice dynamických účinků ve výhybkách.

³ **prof. Ing. Karel Zaplatílek, Ph.D.** - vysokoškolská studia dokončil v roce 1989 na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě elektrotechnické, obor mikroelektronika. Od roku 1990 pracuje jako akademický pracovník na Univerzitě obrany v Brně (tehdejší Vojenské akademii), kde v roce 1997 obhájil doktorskou disertační práci *Počítačová simulace spínaných obvodů*. V roce 2002 úspěšně obhájil habilitační práci *Počítačová podpora analýzy a syntézy elektronických obvodů*. V roce 2012 se stal profesorem pro obor *Vojenská technika – elektrotechnická*. V současné době pracuje jako profesor na *Katedře vojenské robotiky* Univerzity obrany v Brně, kde se specializuje na počítačové modelování a simulaci složitých reálných systémů v prostředí MATLAB&Simulink. Je autorem či spoluautorem 120 odborných článků v časopisech a sbornících konferencí. Jako hlavní řešitel nebo spoluřešitel se podílel na řešení 15 vědeckých projektů včetně šesti projektů GAČR.

⁴ **doc. dr.techn. Ing. Jan Podroužek** - absolvent Stavební fakulty Vysokého učení technického v Brně v roce 2010 se zaměřením na konstrukce a dopravní stavby. Poté pokračoval ve studiu doktorského studijního programu na Technické univerzitě ve Vídni, kde v roce 2014 obhájil disertační práci na téma identifikace kritických stochastických procesů. Po ukončení doktorských studií se vrátil na VUT v Brně, kde v roce 2019 habilitoval s tématem prostorových materiálů. Je velkým fanouškem železnice a proto neváhal přijmout nabídku na aplikaci metod strojového učení na identifikaci vlaků v přímé koleji i ve výhybce, kde zužitkoval své zkušenosti se stochastickými procesy a jejich reprezentace.

⁵ **Ing. Jiří Apeltauer, Ph.D.** - absolvent Stavební fakulty VUT v Brně, oboru Konstrukce a dopravní stavby, specializace pozemní komunikace. Na Ústavu pozemních komunikací Fakulty stavební VUT v Brně se věnuje statistickému zpracování dat, numerickému modelování, prostorovým úlohám a bezpečnosti.

⁶ **Ing. Martina Kratochvílová** - studentka doktorského programu Konstrukce a dopravní stavby na Stavební fakultě VUT v Brně, kde zároveň v současnosti pracuje jako asistent na Ústavu automatizace inženýrských úloh a informatiky. Její specializací jsou metody strojového učení a matematické modelování.

Klíčová slova

Železniční výhybka, dynamické účinky, vyhodnocení dynamických účinků, geometrie přechodu ve výhybce, projekt S-CODE.

1. Úvod

Výhybky a výhybkové konstrukce jsou klíčovým místem železniční dopravní cesty. Jedná se také o konstrukce, které jsou více dynamicky namáhané, než je tomu u běžné koleje. Ve výhybkách dochází ke změně tuhosti koleje (jsou zde širší a hmotnější pražce, vyšší koncentrace kolejnic, přestavné systémy, apod.), také zde kolo vlaku přechází z jednoho komponentu na druhý (z opornice na jazyk a z křídlové kolejnice na srdcovkový klín, případně naopak), což v závislosti na kvalitě geometrie přechodu způsobí menší či větší dynamický ráz. Se zvyšující se rychlostí, hmotností a intenzitou železniční dopravy se zrychluje opotřebení a degradace jednotlivých komponent, což dynamické účinky jen zvyšuje. Proto je extrémně důležité plánování údržby a včasné zachycení vady zejména v klíčových místech výhybky, kde dochází k největším dynamickým účinkům. Proto je problematice snímání a vyhodnocování dynamických účinků věnována značná pozornost, a to v rámci evropského i celosvětového výzkumu a vývoje. V rámci projektu z Open Call Shift2Rail „Switch and Crossing Optimal Design and Evaluation“ (Optimální návrh a hodnocení výhybek a výhybkových konstrukcí, S-CODE) byla řešena kolektivem autorů i tato problematika. Více o projektu S-CODE je možné najít například tady [30, 32].

2. Současný stav řešené problematiky

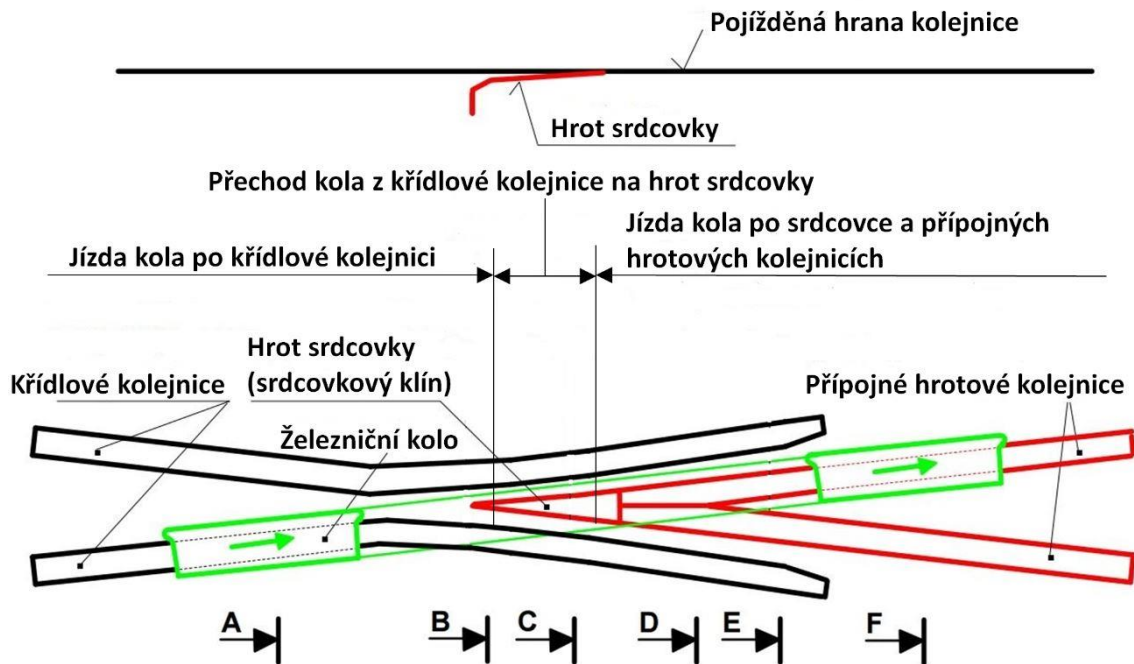
V současnosti existuje několik již existujících diagnostických systémů použitelných pro výhybky. Mezi nejznámější patří: Roadmaster (VAE), Poss (Strukton), Survaig (Vossloh), Intelligent infrastructure (Siemens), Continuous track controlling (FTS) a ESAH (DB). Diagnostické systémy se zaměřují na snímání parametrů jak na samotné výhybce, tak některé i na železničním voze. Kolektiv autorů se chtěl zaměřit na řešení, které nenabízí ani jeden z v současnosti používaných systémů, a to na nízkonákladové chytré řešení, které bude schopné i tak zachytit počátek případné rozvíjející se vady na výhybce. Těžištěm řešení bylo nalezení vhodného systému měření a vyhodnocení dynamických účinků. Na část systému hodnocení dynamických účinků je zaměřen tento článek.

Nejprve je třeba velmi dobře porozumět problematice průjezdu vlaku výhybkou. Proto se na následujících řádcích budeme věnovat vysvětlení jednotlivých pojmů a procesu přejezdu kola vlaku přes výhybku. Dynamické účinky a tím i životnost konstrukce výhybky jsou závislé na dvou zásadních faktorech, a těmi jsou udržení geometrie přechodu v co nejlepším stavu a správný návrh a udržení tuhosti konstrukce výhybky. Tyto dva faktory spolu s rychlostí a hmotností vozidel mají zásadní vliv na velikost dynamických účinků.

2.1. Geometrie přechodu v srdcovce

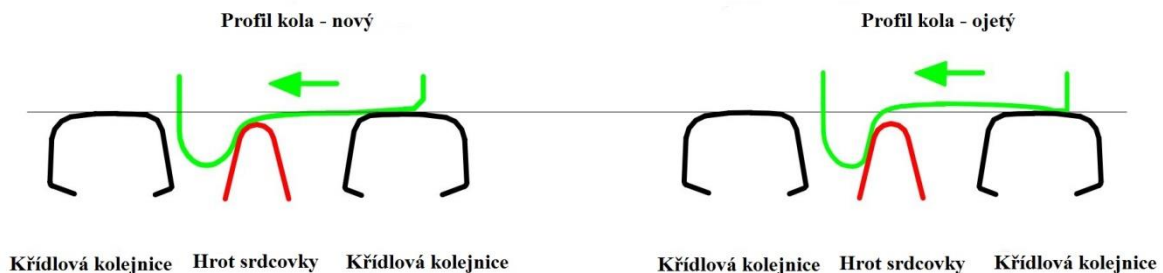
Mechanismus přechodu kola z křídlové kolejnice na hrot srdcovky je velmi složitý prostorový problém. Touto problematikou se dlouhodobě zabývá několik výzkumných týmů, například [1, 2, 3, 4, 5, 6, 33]. Velmi dobře je tato problematika popsána například v [7]. Protože se

jedná o důležitou část pro pochopení problematiky přejezdu kola z křídlové kolejnice na srdcovkový klín, níže uvádíme část převzatou z projektu Rivas.



Obr. 1 Schematické znázornění přejezdu dvojkolí přes srdcovku – pohled shora [7]

Rozdíl mezi ojetým kolem a novým kolem se projeví především v řezu B a C z Obr. 1, kdy kolo přechází z křídlové kolejnice na srdcovkový klín. Na Obr. 2 vlevo je vidět, že nové kolo je již neseno křídlovou kolejnicí a částečně i srdcovkovým klínem. K tomu dochází v šířce srdcovkového klínu okolo 20 mm [7]. U nového kola je tedy přechod plynulý a impaktní zatížení je minimální, zatímco vpravo u kola ojetého (při max. hodnotě dovoleného ojetí) je vidět, že je neseno stále křídlovou kolejnicí a srdcovkový klín je pod kolem o několik milimetrů. V závislosti na ojetí kola může už kousek za tímto místem ojeté kolo doslova spadnout na srdcovkový klín, což generuje velké impaktní zatížení.



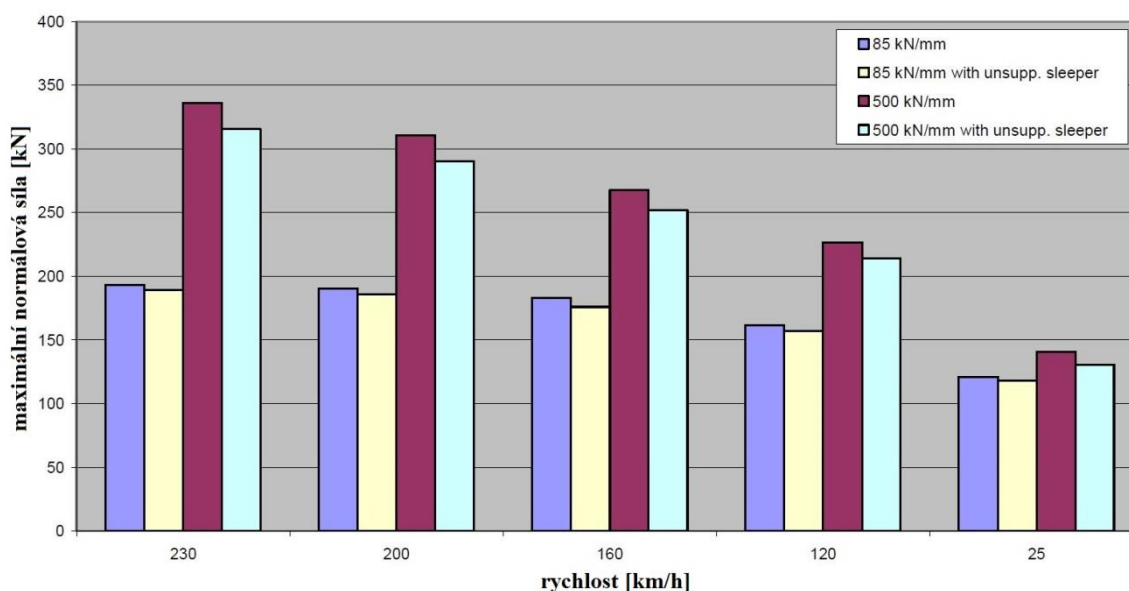
Obr. 2 Řez B – vlevo nové kolo, vpravo ojeté [7]

Z výše uvedeného je zřejmé, že ojeté kolo má jinou trajektorii pohybu a zatěžuje srdcovku větším impaktním zatížením, než je tomu u plynulého přechodu nového kola. Samozřejmě je možné geometrii přechodu částečně přizpůsobit i ojetým kolům, ale kolům s konkávním průřezem nebude možné geometrii přizpůsobit nejspíše nikdy. Geometrie přechodu se ale mění i ojetím srdcovky a špatným podepřením pražců v klíčovách místech přechodu kola a i

tyto aspekty mají velký vliv na rozpad geometrie přechodu a zvýšení dynamického namáhání. Pro výše uvedený příklad je použita konstrukce výhybky s pevnou srdcovkou, protože tento příklad je názornější. K podobným jevům však dochází i ve výměnové části výhybky a ve výhybkách s pohyblivým hrotem srdcovky, i když impaktní zatížení je zde menší.

2.2. Tuhost uložení konstrukce výhybky

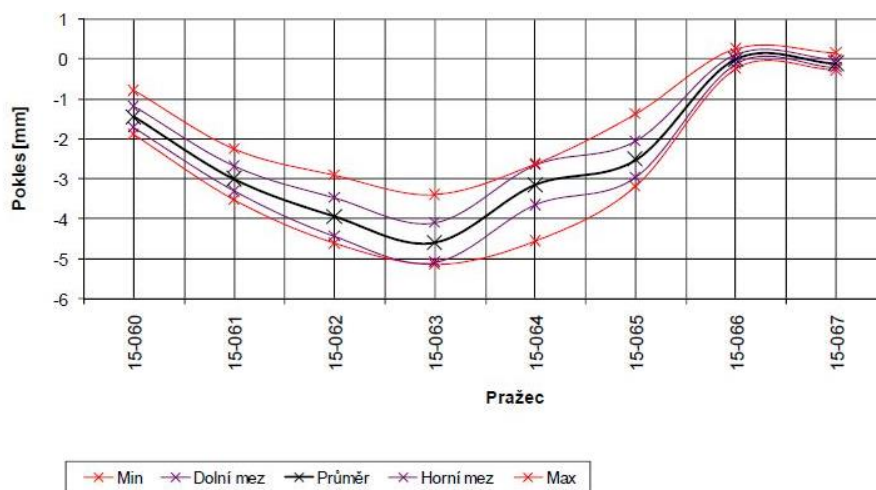
Tuhost uložení kolejnic a pražců ve výhybce je klíčovou záležitostí z hlediska velikosti dynamického zatížení srdcovky. Existuje několik odborných prací, které se této problematice věnují [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Tuhost uložení lze ovlivnit v uzlu upevnění, především volbou vhodné podložky pod patu kolejnice, další možností je použití podpražcových podložek. V rámci projektu Innotrack [8] byl simulován vliv tuhosti na velikost dynamických účinků v srdcovce výhybky. Simulována byla srdcovka výhybky tvaru 1:12-500, tedy výhybka, která je v ČR často používanou konstrukcí zvláště v hlavních kolejích, kde je pojížděna v přímém směru maximální traťovou rychlostí. Z hlediska silového působení na srdcovku byla simulována lokomotiva BR101 s kolovou silou 107 kN, profil kola byl použit referenční S1002 a směr pojezdění proti hrotu. Pro simulaci byly zvoleny dvě tuhosti koleje, klasická 500 kN/mm a poté tuhost snižená na 85 kN/mm použitím pružnější podložky pod patu kolejnice/srdcovky. V obou variantách byl simulován ještě špatně podepřený pražec v oblasti přechodu. Výsledky simulace jsou na Obr. 3. Z výsledků simulace je vidět, že kontaktní normálová síla se zvětšuje s rychlostí vlaků a také, že se výrazně pomaleji zvyšuje, když je tuhost koleje snížena použitím pružnějších podložek pod patu kolejnice. V simulaci také vychází lépe, když je v přechodové oblasti jeden špatně podepřený pražec. Tato záležitost je ale teoretická, neboť v rámci měření provedených Ústavem železničních konstrukcí a staveb Vysokého Učení Technického v Brně v reálném provozu bylo prokázáno, že špatně podepřený pražec v dlouhodobějším horizontu vede k nárůstu dynamických účinků [12, 13, 14].



Obr. 3. Vliv rychlosti vlaku a tuhosti koleje na maximální normálovou sílu [8]

V rámci evropského projektu TURNOUTS [15] bylo modelováno a kalibrováno měřením několik různých úprav na výhybkách a byl sledován jejich přínos na snížení dynamických

účinků. Nejúčinnější se ukázaly úpravy geometrie přechodu ve výhybce v kombinaci s pružnými prvky v konstrukci. Štěrkové lože je velmi důležitou součástí kolejové jízdni dráhy, nese kolejový rošt, přenáší zatížení na pláň tělesa železničního spodku, zajišťuje odpor proti příčnému a podélnému posunutí koleje a také umožňuje směrovou a výškovou úpravu koleje. Ve výhybce je kolejové lože extrémně namáháno především díky impaktnímu zatížení na srdcovkách výhybek. Proto velmi často dochází k drcení hran kameniva kolejového lože na styku s pražcem a k postupnému vytváření volných prostor pod ložnou plochou pražců především přímo pod hrotem srdcovky, kde je zatížení největší. Na několika experimentálních měřeních se potvrdila teorie, že se postupně v okolí srdcovky výhybky vytvoří poklesová kotlina s maximem pod nejvíce zatíženým pražcem v přechodové zóně [12], viz Obr. 4.



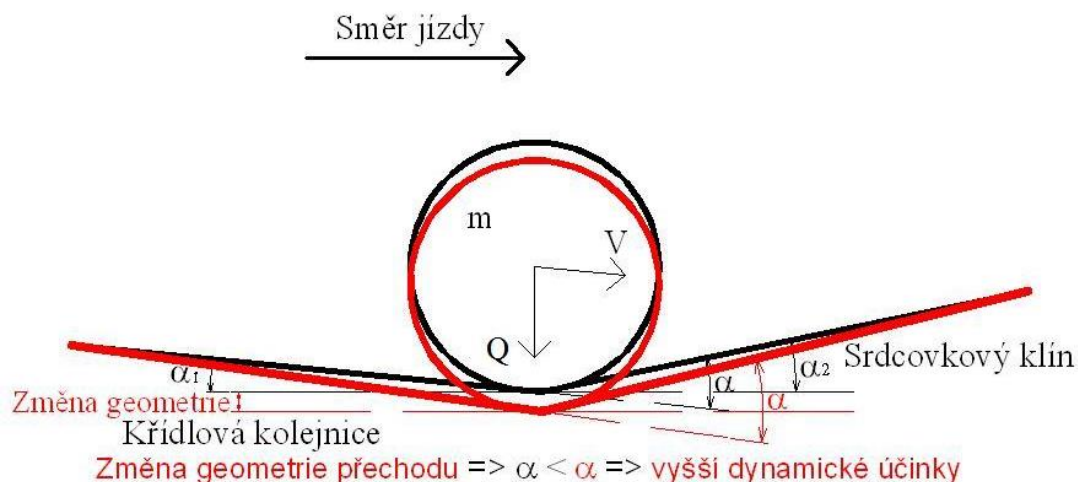
Obr. 4 Průběh poklesů pražců podél srdcovky výhybky pod zatížením [16]

Kvalita podepření pražců hraje klíčovou roli zvláště ve výhybkách, proto by měla být snaha štěrkové lože ochránit před extrémním dynamickým namáháním. Řešením je použití pružných elementů v konstrukci, jako jsou výše popsané podložky pod patu kolejnice a podpražcové podložky. Dalším řešením je včasná redukce dynamických účinků kvalitně a včas provedenou údržbou (podbíjení, broušení a navařování, výměna komponentů ve výhybce). K včasné detekci potřebné údržby by měl přispět i přímo na výhybce nainstalovaný systém pro měření a vyhodnocení dynamických účinků.

3. Teoretický rozbor problematiky

Jak již bylo popsáno výše, přejezd kola klasickou pevnou srdcovou je velmi složitý prostorový problém. Celkově se tato složitá prostorová úloha často zjednodušuje. V ideálním případě je geometrie přechodu navržena tak, že kolo plynule bez poklesu přejíždí z křídlové kolejnice na srdcovkový klín. Toto je však pouze teoretická možnost, protože jak srdcovky výhybky, tak kola, podléhají opotřebení. Zjednodušení spočívá například v tom, že kolo jede po křídlové kolejnici, která se odklání od osy koleje, aby se vytvořil prostor pro srdcovkový klín a jízdni kanál v druhém dopravním směru. Vlivem geometrie kola a křídlové kolejnice kolo často mírně klesá pod úhlem α_1 . Po kontaktu se srdcovkovým klínem kolo opět stoupá pod úhlem srdcovkového klínu α_2 , dokud na konci přechodové zóny opět nezaujme výchozí polohu. Celkový úhel, pod kterým kola „naráží“ na srdcovkový klín je $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$. V tomto

úhlu α je tedy zjednodušeně popsán vliv geometrie přechodu na dynamické zatížení srdcovky výhybky. Na Obr. 5 je zjednodušeně zobrazen výše popsáný problém i s vlivem kvality podepření srdcovky. Jak je z Obr. 5 patrné, špatné podepření (tuhost) konstrukce může podstatně zhoršit celkovou geometrii přechodu reprezentovanou úhlem α a podstatně tak zvýšit dynamické účinky na srdcovce výhybky, což bylo potvrzeno i měřeními [12, 16].

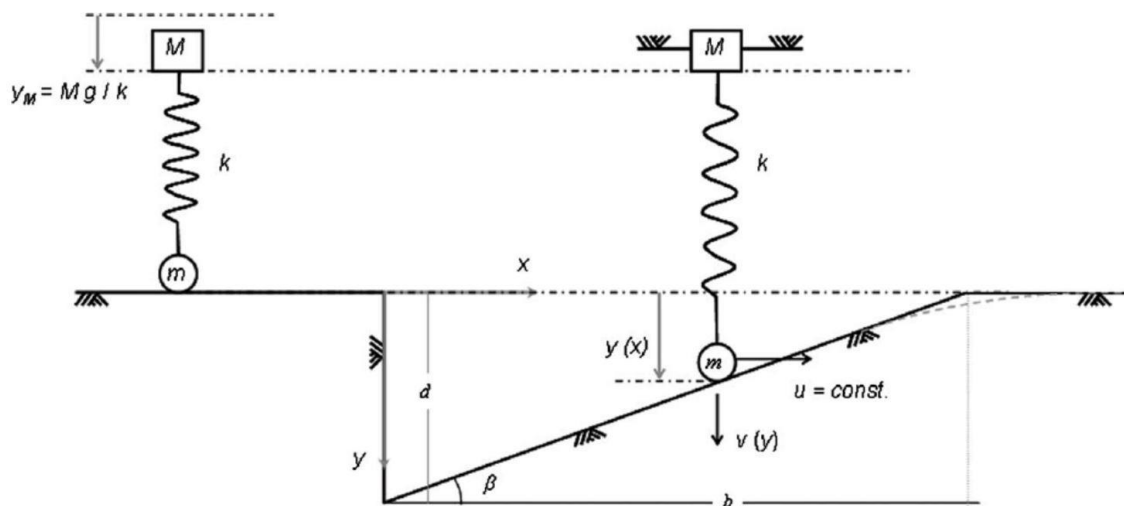


Obr. 5 Přejezd kola přes srdcovku při poklesu pražce pod srdcovkou [12]

Odbornou veřejností je všeobecně přijímána následující hypotéza týkající se dynamického zatížení (dynamického rázu) na srdcovce výhybky. Jedná se o starší, ale stále platnou hypotézu, která je pouze upravována a zpřesňována. První odezva srdcovky na dynamický ráz při přechodu z křídlové kolejnice na hrot srdcovky se odehraje jako „vysokofrekvenční kontaktní proces“ („tvrdý ráz“) a je popsán silou P_1 . S ohledem na stav napjatosti P_1 ovlivní hlavu srdcovky a způsobí typické rozložení kontaktního napětí. Po prvním kontaktu kola s hrotem srdcovky je změna hybnosti neodpružené hmotnosti přenesena na celý systém, který neobsahuje jen srdcovku, ale zahrnuje také sousední kolejnice, podložky pod kolejnicí, pražce a pražcové podloží, tento ráz může být nazýván spíše jako „nízkofrekvenční ohybový proces“ („měkký ráz“), přičemž odpovídající síla je označena jako P_2 . S ohledem na stav napjatosti P_2 ovlivňuje patu srdcovky a kolejnice, kde vzniká napětí od ohybu [17]. Při stanovení životnosti se zpravidla uvažuje právě toto napětí, viz [18]. Podrobněji je problematika vysvětlena například v [12].

3.1. Dynamické síly

V rámci výzkumu [15] se řešitelský kolektiv zabýval modelem, kdy kolo doslova spadne na srdcovkový klín, jak je již uvedeno výše, v případech, kdy je kolo velmi ojeté, nebo má již jízdní plocha konkávní tvar. Taková situace je schematicky zobrazena na Obr. 6. Model byl kalibrován měřeními, dosažené výsledky potvrdily, že kontaktní normálová síla se při pádu na srdcovku zvýšila až trojnásobně.



Obr. 6 Dynamické síly na srdcovce výhybky [15]

V rámci výzkumu [15] uvedeného výše však přejížděli přes srdcovku výhybky lokomotivu rychlostí maximálně $55 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, takže lze předpokládat, že v případech s traťovou rychlostí $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ bude muset srdcovka odolávat mnohem většímu nárůstu kontaktní normálové síly.

Z výše uvedeného je zřejmé, že největší vliv na dynamické síly má pomyslný úhel alfa (viz Obr. 5), který lze charakterizovat jako kvalitu geometrie přechodu. V rámci výzkumu [19] byl zdokumentován vliv geometrie přechodu na velikost dynamických sil. Bylo dokázáno, že se zvětšujícím se úhlem alfa se zvyšují i dynamické účinky. Při zvětšení úhlu alfa o třetinu se zvýšilo zrychlení na srdcovce výhybky až o 40 %. Je třeba podotknout, že měření v rámci výzkumu [19] bylo realizováno při velmi nízkých rychlostech do $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, lze tedy očekávat, že při vyšších rychlostech se bude i velmi malá změna projevovat ve zvýšených dynamických účincích. Výzkumem vlivu geometrie přechodu na velikost dynamických sil se zabýval i projekt Capacity4Rail [20]. Simulace provedené v rámci tohoto projektu rovněž prokázaly přímou závislost kvality geometrie přechodu na velikosti dynamických sil.

Dynamické síly P_1 a P_2 jsou z hlediska frekvenčního složení obtížněji zařaditelné, v odborné literatuře lze nalézt různé hodnoty. Například v [7] je uvedeno, že dynamická síla P_1 se projevuje nad 200 Hz a dynamická síla P_2 se objevuje v oblasti frekvencí 50 Hz až 80 Hz. V dalším výzkumu [19] lokalizují dynamickou sílu P_1 do frekvenčního pásma 70 Hz až 200 Hz a dynamickou sílu P_2 do frekvenčního pásma 20 Hz až 70 Hz, nutno ale dodat, že se opět jednalo o měření při rychlosti vlaků do $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Další výzkum [29] umístil působení dynamické síly P_2 do oblasti frekvencí 40 Hz až 50 Hz a dynamickou sílu P_1 do oblasti frekvencí 150 Hz až 200 Hz, vyšší frekvence okolo 500 Hz až 600 Hz připisují již Hetzrově kontaktu kolo-kolejnice. Další výzkum [20] umístil dynamickou sílu P_1 do oblasti vyšších frekvencí 600 Hz až 800 Hz a dynamickou sílu P_2 do oblasti frekvencí 80 Hz až 140 Hz.

Poměrně rozsáhlá měření dělá ve výhybkách tým Vysokého učení technického v Brně, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Na základě velkých zkušeností z měření [12] rozdělili frekvenční pásma na oblast působnosti dynamické síly P_2 (0 Hz až 150 Hz) a oblast působnosti dynamické síly P_1 (150 Hz až 600 Hz). Poměrně obsáhle se dynamickým silám P_1 a P_2 věnuje práce [9], kde sleduje jednotlivé vlivy na dynamické síly a je jich skutečně hodně. Od rozdílné geometrie přechodu, po rozdílnou tuhost, různé podepření pražců

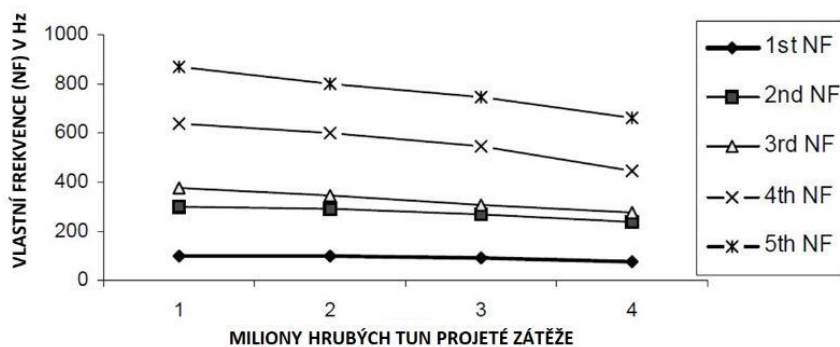
a různé typy železničních vozidel a jejich rozdílnou rychlost přejíždění výhybky. Je pravděpodobné, že se projevy dynamických sil P_1 a P_2 mohou objevovat v širším frekvenčním spektru, jak je uvedeno v [12]. V rámci výzkumu [6] rozdělili oblast frekvencí do 200 Hz a nad 200 Hz. Přičemž do 200 Hz, kde se objevuje dynamická síla P_2 , se jedná o poruchy podepření a nad 200 Hz se jedná o vady na pojížděné ploše kolejnice, zde někde se objevuje vliv dynamické síly P_1 .

Z výše uvedených výzkumů je zřejmé, že se změnou geometrie přechodu, tuhosti a kvality podepření, se budou měnit i dynamické síly P_1 a P_2 , a to jak velikostně, tak frekvenčně. Toho lze využít například při tzv. chytré diagnostice výhybek.

3.2. Kvalita podepření pražce

Existuje několik prací, které se zabývají dynamickým chováním pražců a jeho změnou v závislosti na změně kvality podepření [19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27]. Například v [19, 21] byl zkoumán vliv podepření pražce na rezonanční frekvence. Bylo zjištěno, že rezonanční frekvence se s kvalitou podepření mění, a to směrem k nižším frekvencím. V rámci práce [22] se řešitelé zabývali také vlivem kvality podepření pražce na vlastní frekvence. Zde bylo zjištěno, že největší vliv má kvalita podepření v módu, kdy je pražec brán jako tuhé těleso a jsou uvažovány jen jeho pohyby. Pak především v nižších frekvencích okolo 50 Hz až 60 Hz dochází k největším změnám vlastních frekvencí. Tato záležitost byla potvrzena i dalším výzkumem [25].

Je zřejmé, že se vlastní frekvence pražce mění v závislosti na kvalitě podepření. Ve výhybce, kde k tomu ještě přistupuje vliv geometrie přechodu, je to však složitější a frekvence nemusí klesat, ale můžou i stoupat s rozpadem geometrie přechodu. Každopádně se změnou frekvenčního složení signálu je možné odhalit vznikající vady ve výhybce. V práci [23] je velmi zajímavý výzkum týkající se vlastních frekvencí železničního svršku, které byly získány experimentálně in-situ. Na Obr. 7 níže je pět vlastních frekvencí svršku s betonovými pražci. První vlastní frekvence se pohybuje okolo 100 Hz, což bylo pozorováno i u měření v práci [12]. V práci je rovněž konstatováno, že vlastní frekvence se mění s ohledem na stav podepření kolejového roštu. Tyto poznatky mohou být také využitelné v rámci diagnostiky výhybek.



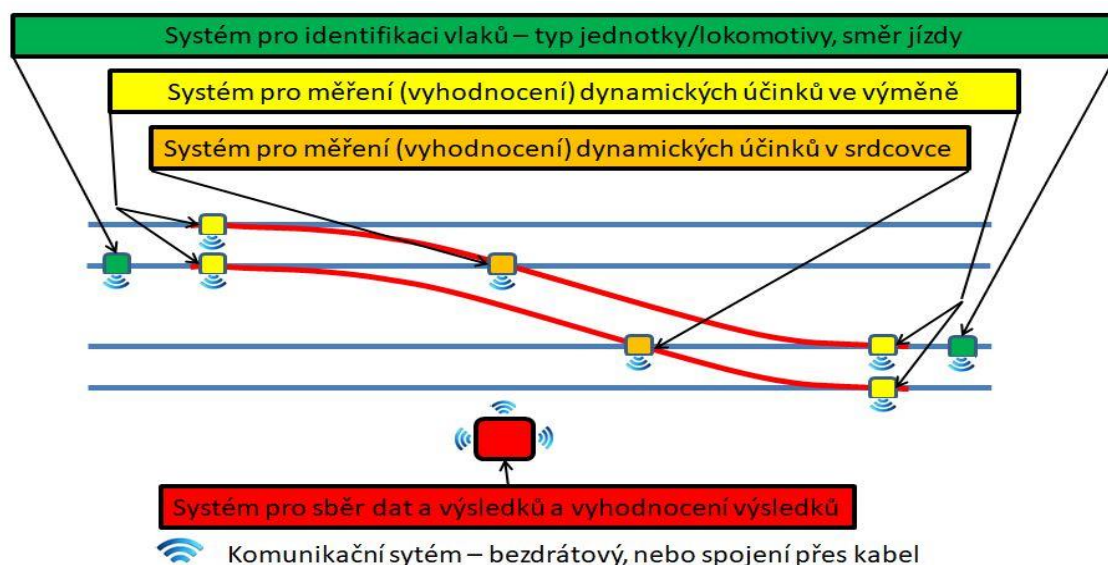
Obr. 7 Vliv projekté zátěže na vlastní frekvence kolejového roštu s betonovými pražci [23]

4. Monitorovací a vyhodnocovací systém diagnostiky dynamických účinků

V rámci projektu S-CODE jsme pro diagnostiku výhybek vybrali především čidla zrychlení vibrací umístěná na kolejnicích a pražcích v blízkosti místa, kde kolo přechází z křídlové kolejnice na hrot srdcovky, a také ve výměnové části, kde kolo přechází z opornice na jazyk. Na kolejnicích byly umístěny tříosé snímače a na pražci jednoosé ve svislém směru. Tříosé snímače na kolejnici jsou důležité, neboť během předchozího výzkumu [12] bylo zjištěno, že v případě rozpadu geometrie přechodu se to může projevit velmi výrazně ve zvýšení zrychlení vibrací v podélném směru vzhledem k ose koleje. V příčném směru je zase možné sledovat, jak kmitá především jazyková kolejnice, což může být z hlediska diagnostiky výhybky také důležitý údaj. Snímače zrychlení vibrací byly vybrány, protože mají pro dlouhodobá měření v koleji velmi vhodné parametry. Jedná se o relativně levná, malá, odolná (teplotně i mechanicky) čidla, s širokým frekvenčním rozsahem, která se také dají poměrně jednoduše připevnit ke konstrukci výhybky, aniž by budily nežádoucí pozornost. Další výhodou je, že vzhledem k umístění na pražci i kolejnici je možné sledovat šíření dynamického rázu z kolejnice do pražce a diagnostikovat tak případně i kvalitu podložky pod patou kolejnice/srdcovky v měřeném místě.

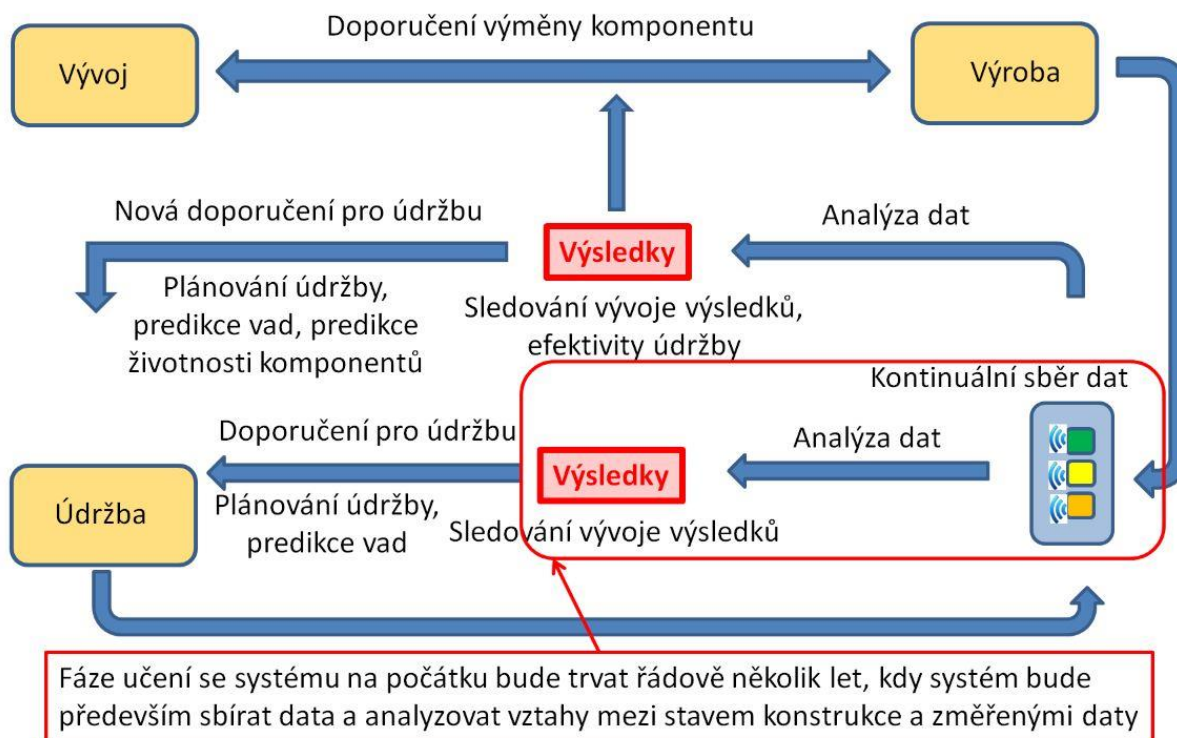
4.1. Systém monitoringu dynamických účinků

Základní představa fungování systému je taková, že se bude skládat z několika samostatných modulů. První modul bude umístěný před výhybkou a jeho úkolem bude na základě změřeného signálu zrychlení vibrací stanovit, o jakou ucelenou jednotku, vlak, nebo lokomotivu se jedná. Tento systém bude schopen díky inteligentnímu systému vyhodnocení dat založenému na principech umělé inteligence a strojového učení rozpoznat konkrétní typ vozu/lokomotivy. Poté vlak projede výhybkou a moduly umístěné ve výměnové části a srdcovce změří a vyhodnotí dynamické účinky. Podle typu vlaku a rychlosti bude vlak zařazen do kategorie, ve které budou výsledky poté porovnávány. Je možné porovnávat pouze stejné typy vlaků se stejnou rychlostí. Vyhodnocovací systém vypočítá ze změřeného signálu velké množství parametrů, jak v časové, tak ve frekvenční rovině. Během prvních dnů fungování systému budou sbírána data, která budou referenční pro různé kategorie vlaků. Poté bude systém hodnotit, jak a které dynamické parametry se v jednotlivých kategoriích mění a podle toho bude doporučovat údržbu. Protože systém bude mít vždy několik kategorií, ve kterých bude hodnotit, tak lze minimalizovat vliv rostoucího ojetí kol vlaků, případně jejich reprofilaci, která bude mít zcela jistě vliv na dynamické účinky. Na dynamické účinky bude mít nepochybně vliv i tuhost uložení (zejména pražců ve šterkovém loži), která se bude během roku měnit i s ohledem na momentální teplotu a srážky. Tyto vlivy je třeba v rámci zkušebního provozu systému také sledovat. Základní představa, jak by mohl být systém rozmístěn na výhybkách, je na Obr. 8.



Obr. 8 Schéma rozmístění systému monitorování a vyhodnocení dynamických účinků na výhybkách

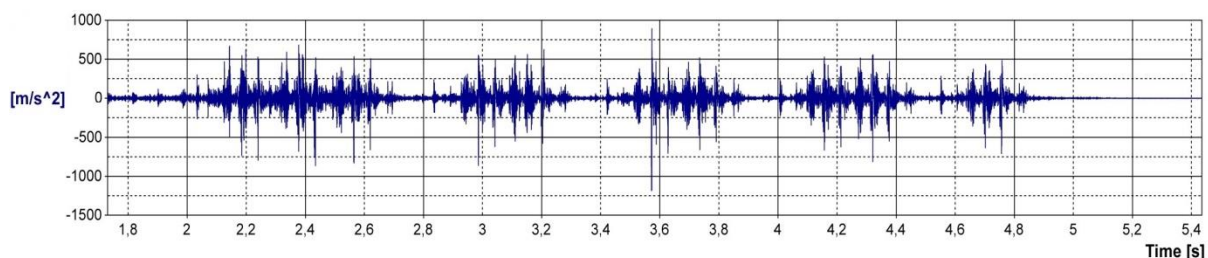
Především je třeba říci, že se bude jednat o dlouhodobý výzkum a sběr dat, než bude systém schopen fungovat zcela autonomně a bude schopen plně využít svého potenciálu. Pro učení systému je zatím stále málo dat, i když na jejich sběru se pracuje (například i v rámci projektu S-CODE). Systém bude schopen se učit na základě již získaných dat, a čím více cyklů údržby výhybky systém bude absolvovat, tím přesněji bude moci fungovat a domníváme se, že bude schopen stanovit v budoucnu i konkrétní typ závady a například i predikovat životnost komponentů ve výhybce. I přesto, že systém se teprve bude učit, tak už dnes by mohl mít přínos pro manažery infrastruktury, protože bude schopen sledovat zvětšující se dynamické účinky, a tím indikovat zvyšující se možnost výskytu vady nebo závady. Základní představa, jak by mohl systém fungovat v budoucnu je na Obr. 9 níže. Systém bude schopen generovat doporučení pro údržbu a řídit plánování údržby výhybek. Po provedené údržbě bude schopen hodnotit efektivnost provedených údržbových prací, což je pro manažery infrastruktury klíčová záležitost. Po provedené údržbě bude tedy systém znovu měřit a analyzovat data a na základě výsledků bude doporučovat a plánovat novou údržbu nebo doporučí výměnu komponentu. Tato doporučení budou mít význam i pro výrobce, který se může připravit na to, že komponent bude třeba vyrobit a vyměnit. Zároveň data získaná během celého životního cyklu komponentu bude možné využít pro budoucí vývoj nových konstrukčních řešení.



Obr. 9 Schéma fungování monitorovacího systému

4.2. Vyhodnocovací systém pro měření dynamických účinků

Analýza dynamických účinků je rozdělena na dvě hlavní části. První částí je samotná analýza různých veličin v časové a frekvenční rovině a druhou je analýza kvality podepření pražce pomocí dvojnásobné integrace signálu zrychlení na pohyby pražce. Rozdělení na dvě části je nezbytné, aby bylo možné říci, zda dynamické účinky narůstají z důvodu ojetí konstrukce nebo z důvodu špatného podepření pražce v klíčové části výhybky. V rámci tohoto článku se budeme věnovat části týkající se parametrů, které popisují dynamické účinky ve výhybce. Snažili jsme se vybrat hodnoty, které je možné velmi jednoduše spočítat s využitím i levné aparatury. Systém bude pracovat s daty změřenými in-situ. Typický signál zrychlení je zobrazen na Obr. 10. Poněkud složitý signál je třeba převést na čísla, která budou dobře reprezentovat jeho charakter a pomohou nám zautomatizovat hodnocení dynamických účinků.



Obr. 10 Signál zrychlení vibrací z křídlové kolejnice – lokomotiva a 4 osobní vozy

4.2.1. Sledované hodnoty v časové rovině

Z hlediska hodnocení signálu v časové rovině jsou velmi důležité maximální a minimální hodnoty (peak). Ty charakterizují působení jednotlivých kol vlaku a mohou odhalit i vadu na kole vlaku. I pouhé sledování vývoje maximálních hodnot může napovědět, že se s konstrukcí něco děje. Proto první hodnotou, kterou budeme ze signálu získávat, bude maximum a minimum. Tím tedy získáme přehled o špičkových hodnotách. Z hlediska hodnocení signálu jako celku je pak nejdůležitější hodnotou RMS zrychlení vibrací. Hodnota RMS je z hlediska hodnocení vibrací v časové oblasti nejdůležitější parametr, protože zahrnuje dobu působení vibrací, a zároveň má přímý vztah k jeho energetickému obsahu. Je tedy měřítkem nebezpečnosti a škodlivosti vibrací. Efektivní hodnota zrychlení vibrací je definována dle vztahu [28]:

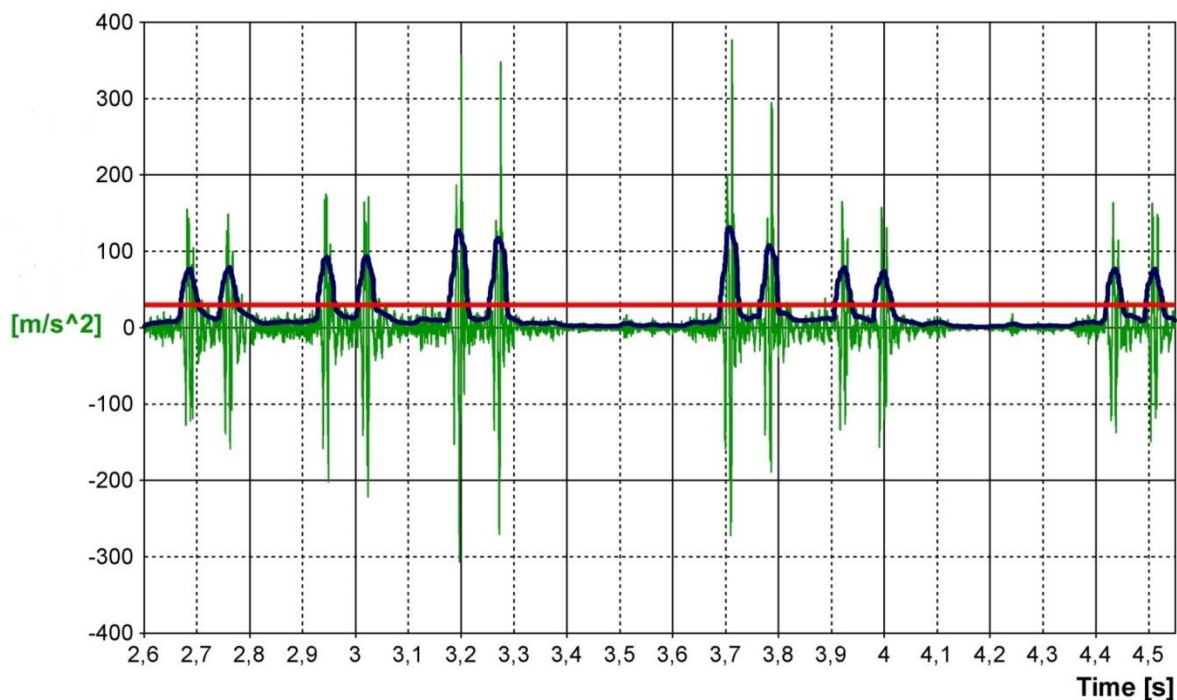
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}, \quad (1)$$

kde $a(t)$ je okamžitá hodnota zrychlení, T doba, pro kterou je třeba efektivní hodnotu určit.

Výhodnější je však využití RMS jako klouzavé hodnoty, a to ve formě plochy pod křivkou klouzavé RMS. Při výpočtu klasické RMS ve formě jedné hodnoty nám s počtem vozů bude hodnota RMS klesat, neboť mezi vozy vždy dojde k uklidnění zrychlení vibrací. Nastane tak paradoxní situace, kdy vlak, který měl o několik vozů víc, má nižší hodnotu RMS, přestože působil na konstrukci výhybky více vozy, a tudíž i větší energií (viz Obr. 11). Všechny tyto negativní aspekty můžeme odstranit tím, že budeme používat plochu pod křivkou klouzavé RMS. Pro výpočet plochy klouzavé RMS jsme využili vzorec (2) s tím, že jsme vždy spočítali hodnotu po 200 vzorcích a posunuli výpočet o jeden vzorek a znovu spočítali hodnotu RMS. Tím lze získat dostatečně přesnou křivku, pod kterou lze spočítat plochu dle vzorce (2):

$$P = \int_a^b f(x) dx, \quad (2)$$

kde P je plocha pod křivkou klouzavé RMS, a a b jsou meze pro výpočet a $f(x)$ je křivka klouzavé RMS.



Obr. 11 Srovnání běžné RMS (červená barva) a klouzavé RMS (modrá barva)

Hodnotu křivky pod klouzavou RMS je možné využít i jako ukazatel dynamické projeté zátěže, může se stát důležitou hodnotou pro hodnocení dynamických účinků na konstrukci výhybky.

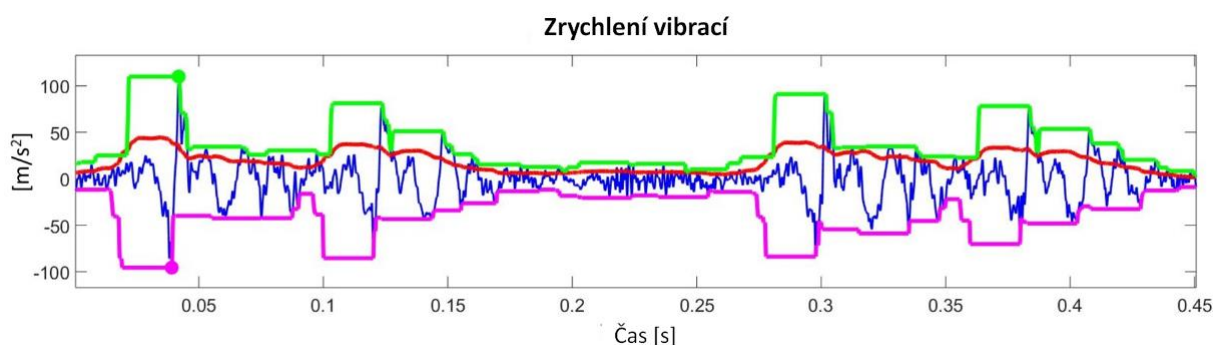
Další zajímavou hodnotou je Crest factor. Crest factor reprezentuje dynamiku signálu, je totiž poměrem mezi špičkovou hodnotou a hodnotou RMS. Čím vyšší je hodnota Crest Factoru, tím větší je dynamika signálu a tím větší jsou dynamické účinky. Crest Factor lze spočítat podle vzorce:

$$Crest\ Factor = \frac{|Maximum|}{RMS}, \quad (3)$$

kde Maximum může být jak maximální, tak minimální hodnota v daný okamžik.

Hodnota Crest Factoru se také osvědčila při hodnocení kvality signálu, pokud je malá, signál bývá poškozený a nelze ho využít pro hodnocení. Rozhodli jsme se pro výpočet Crest Factoru z klouzavého maxima a minima, které jsme podělili klouzavou RMS. Tato hodnota lépe reprezentuje působení celého vlaku, jak již bylo vysvětleno výše. Získali jsme tak další dvě hodnoty Crest Factor(+) a Crest Factor (-).

Na Obr. 12 níže jsou zobrazeny sledované parametry v časové rovině. Maximum je vyznačeno zelenou tečkou, minimum fialovou tečkou. Klouzavé maximum je vyobrazeno zelenou křivkou a klouzavé minimum fialovou křivkou. Klouzavá RMS je vyznačena červenou křivkou. Originální signál zrychlení vibrací (vybrána část lokomotivy) je zobrazen modrou křivkou.



Obr. 12 Grafické znázornění vyhodnocení v časové rovině

4.2.2. Sledované hodnoty ve frekvenční rovině

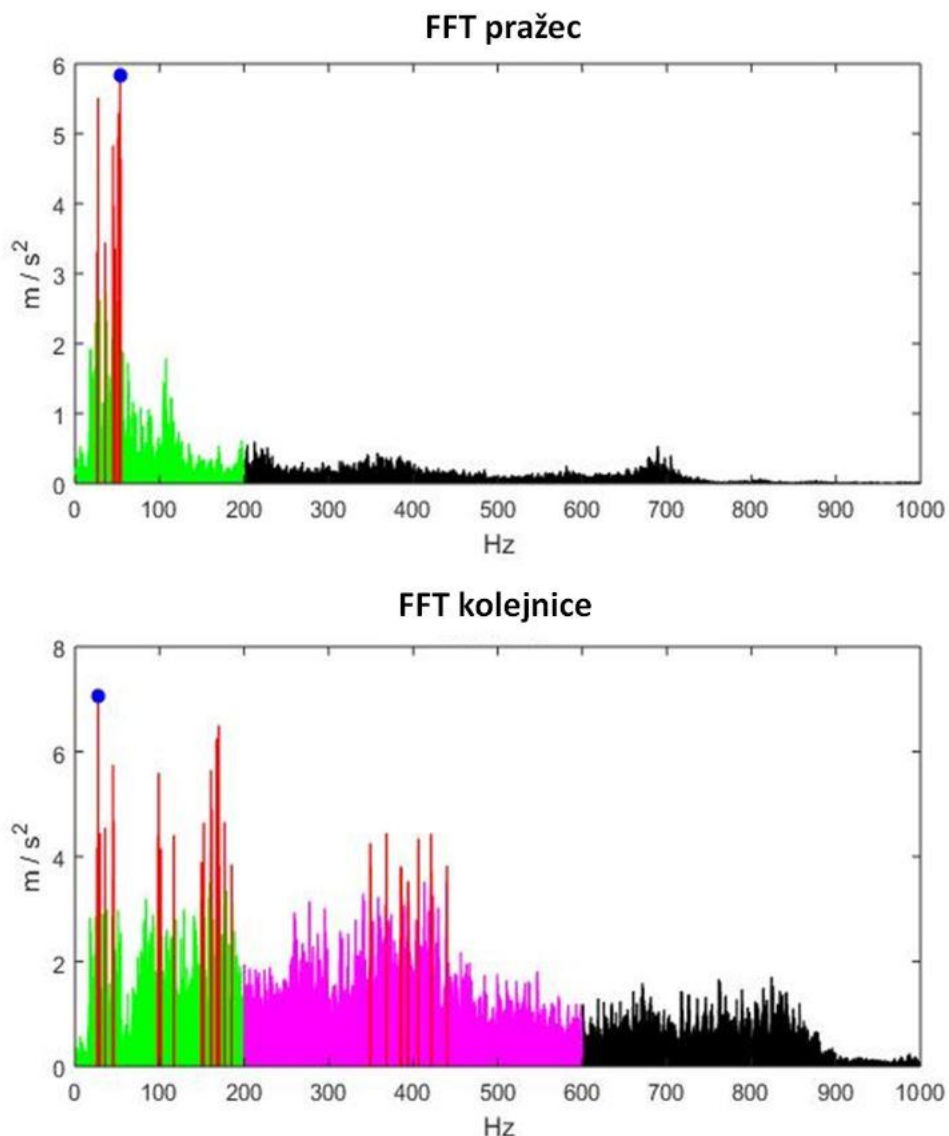
Jak již bylo popsáno výše, se změnou tuhosti uložení pražce nebo se změnou geometrie přechodu ve výhybce se mění i klíčové frekvenční složky. Z frekvenční analýzy je možné získat i detailnější informace o stavu konstrukce. Proto budeme sledovat i frekvenční charakteristiky změřených signálů zrychlení vibrací. Sledované frekvenční pásmo jsme navrhli prozatím 0 Hz až 1000 Hz, se zaměřením především na 0 Hz až 600 Hz. Prvním důvodem je, že nás zajímají především děje dynamické, ve vyšších frekvencích se již realizují spíše děje dynamicko-akustické a akustické. Druhým důvodem je, že plánujeme využití levnější aparatury s nižší vzorkovací frekvencí.

Pro převod signálu z časové do frekvenční roviny jsme se rozhodli využít rychlé Fourierovy transformace (FFT), která je relativně nenáročná na výpočet a lze ji provést i na jednodušších zařízeních. První hodnotou, kterou převádíme frekvenční spektra na čísla, jsou frekvenční intervaly. Inspirovali jsme se závěry projektu In2Rail (jak již bylo popsáno výše) a rozdělili jsme frekvenční intervaly na 0 Hz až 200 Hz a 200 Hz až 600 Hz. Abychom frekvenční interval převedli na číslo, udělali jsme sumu všech frekvenčních hodnot v daném intervalu. Budeme tak schopni sledovat, zda velikost frekvencí v daném intervalu roste či klesá a podle toho hodnotit ojetí výhybky a měnit se tuhost konstrukce. Pro čidla na pražci budeme vyhodnocovat pouze interval 0 Hz až 200 Hz, protože zde nám jde především o změny v tuhosti podepření konstrukce a také proto, že na pražec už se vyšší frekvence většinou nepřenáší. Na kolejnici naopak budeme sledovat oba intervaly, protože nám jde o ojetí konstrukce i změnu geometrie přechodu.

Další hodnoty, které jsme se rozhodli sledovat, souvisí s frekvencí, na které se realizuje největší zrychlení. Tím budeme moci sledovat, jak se mění velikost zrychlení na maximální frekvenci a zároveň, na které frekvenci se toto maximální zrychlení realizuje. Tak budeme moci zjistit, zda se frekvence s největším zrychlením posouvá a kam, což nám rovněž může mnohé napovědět o kvalitě geometrie přechodu ve výhybce a kvalitě podepření konstrukce.

Poslední charakteristikou, kterou jsme se rozhodli sledovat, je rozložení významných frekvencí ve frekvenčním intervalu a jejich celková velikost. Abychom tuto charakteristiku převedli jednoduše i na číslo, udělali jsme sumu všech frekvencí, na kterých je větší zrychlení než polovina maximálního zrychlení na maximální frekvenci. Díky této charakteristice zjistíme, jestli je v signálu jedna dominantní skupina frekvencí, nebo jsou si frekvence velikostně blízké. Pokud navíc frekvence v signálu zrychlení zvýrazníme, získáme

jakýsi čárkový kód, který je možné také využít při diagnostice výhybek. Všechny výše uvedené parametry jsou zobrazeny pro názornost i na Obr. 13.



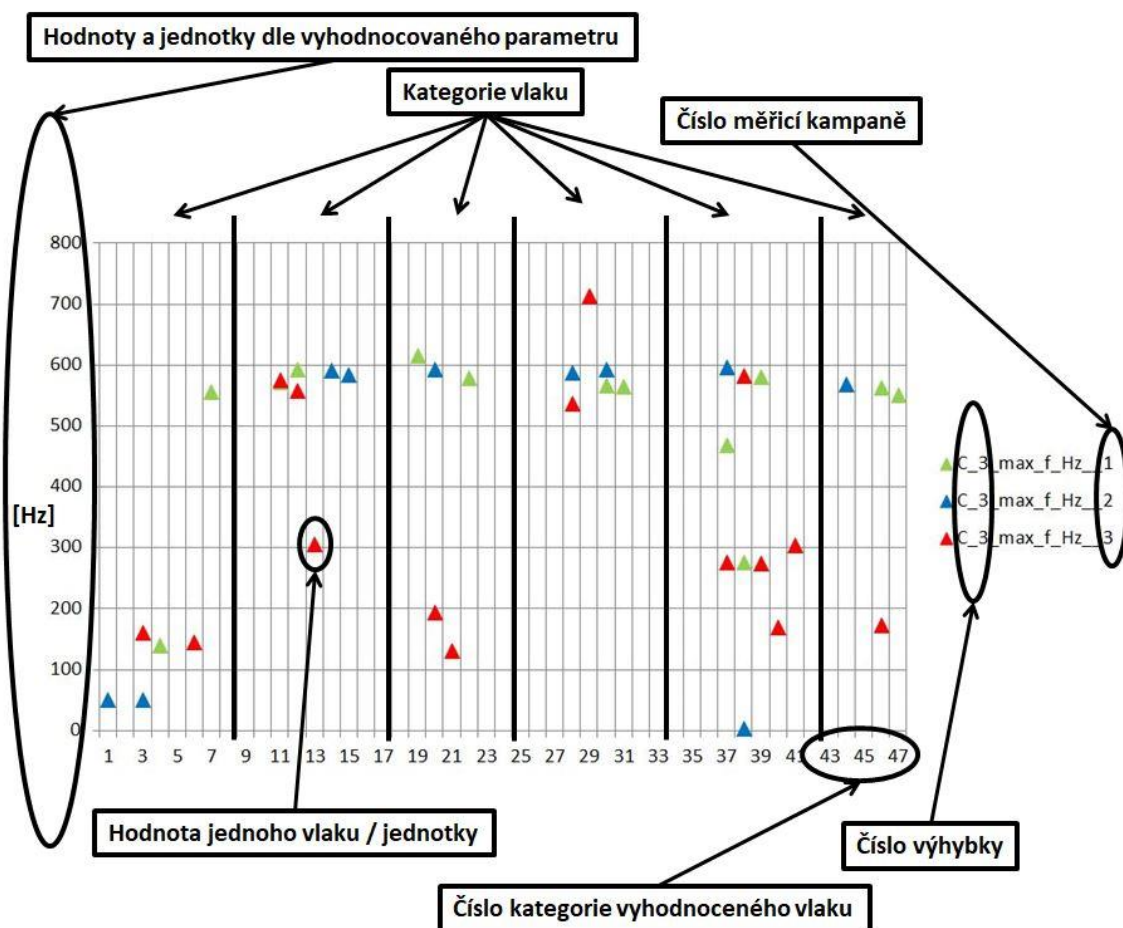
Obr. 13 Grafické znázornění vyhodnocení ve frekvenční rovině

4.2.3. Příklady z vyhodnocení dat

Data, která jsou uvedena v následujících příkladech, byla získána v rámci projektu TA01031297 podpořeného Technologickou agenturou České republiky. Jedná se o tři výhybky ve dvou lokalitách. První lokalitou je žst. Choceň, kde byla třikrát měřena výhybka č. 59 v různém stádiu opotřebení a s různou kvalitou podepření konstrukce. V žst. Choceň byla maximální traťová rychlost $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Druhou lokalitou je žst. Ústí nad Orlicí, kde byly také tři kampaně měření. V lokalitě Ústí nad Orlicí byly měřeny dvě výhybky, které jsou součástí jednoduché kolejové spojky. Výhybka č. 3 je vybavena provozně ověřovaným zpružněním v oblasti uzlů upevnění a výhybka č. 4 má standardní uzel upevnění, který se používá ve výhybkách v ČR. Z měření byly vybrány porovnatelné vlaky. Ucelené jednotky byly hodnoceny jako celek a u dalších vlaků byl pro vyhodnocení vybrán časový výřez, který

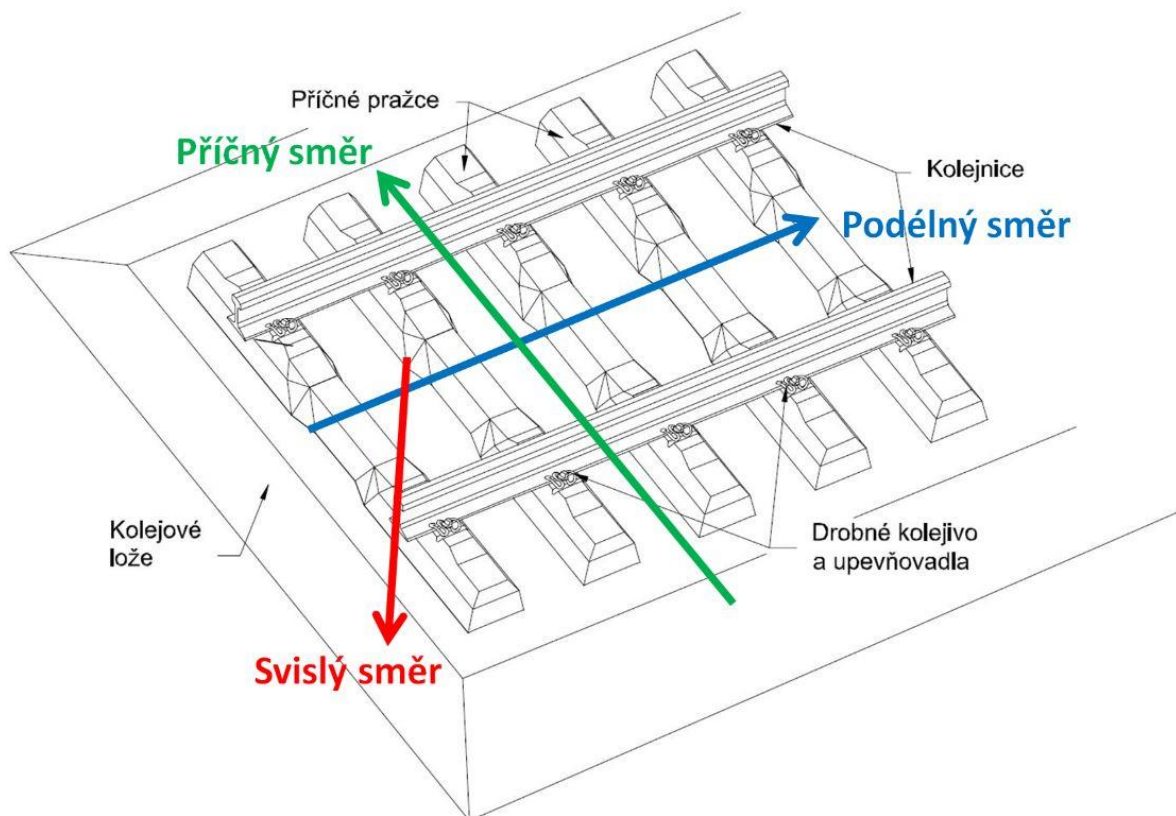
odpovídá průjezdu lokomotivy. Důvodem bylo, že vlaky mají často rozdílné složení vozů, ale lokomotivy jsou vždy stejné. Jednotlivé vlaky byly rozděleny do kategorií a hodnoceny v rámci dané kategorie. V rámci dané kategorie, která je v grafech oddělena tlustou čarou, byly vlaky uspořádány dle rychlostní kategorie. Každá rychlostní kategorie má rozsah 5 km.h⁻¹ (například 160 – 155 km.h⁻¹, 155 – 150 km.h⁻¹, atd.).

Ve vyhodnocení jsou uvedena data z měření zrychlení vibrací na srdcovkách a pražcích pod hrotem srdcovky. Měřeny byly ale i pohyby pražců podél srdcovky výhybky pomocí indukčnostních snímačů dráhy a měli jsme tak možnost pozorovat stav podepření pražců po délce srdcovky výhybky. Srdcovka výhybky č. 59 v žst. Choceň se postupně zhoršovala v parametru poklesu pražců pod zatížením a rozdíly mezi pražci se zároveň zvětšovaly. Mezi prvním a druhým měřením došlo k navaření srdcovky a mezi druhým a třetím měřením k podbití výhybky. Další příklady jsou ze žst. Ústí nad Orlicí, kde se postupně zhoršovalo ojetí výhybky č. 3, která měla nový zpružněný uzel upevnění. První kampaň měření je u všech výhybek zelenou barvou, druhá kampaň modrou barvou a třetí kampaň červenou barvou. Grafy na obrázcích níže jsou rozčleněny do jednotlivých kategorií, kde jsou vždy vypočtené parametry z časové a frekvenční roviny. Pro názornost je vše ještě vyznačeno na Obr. 14.



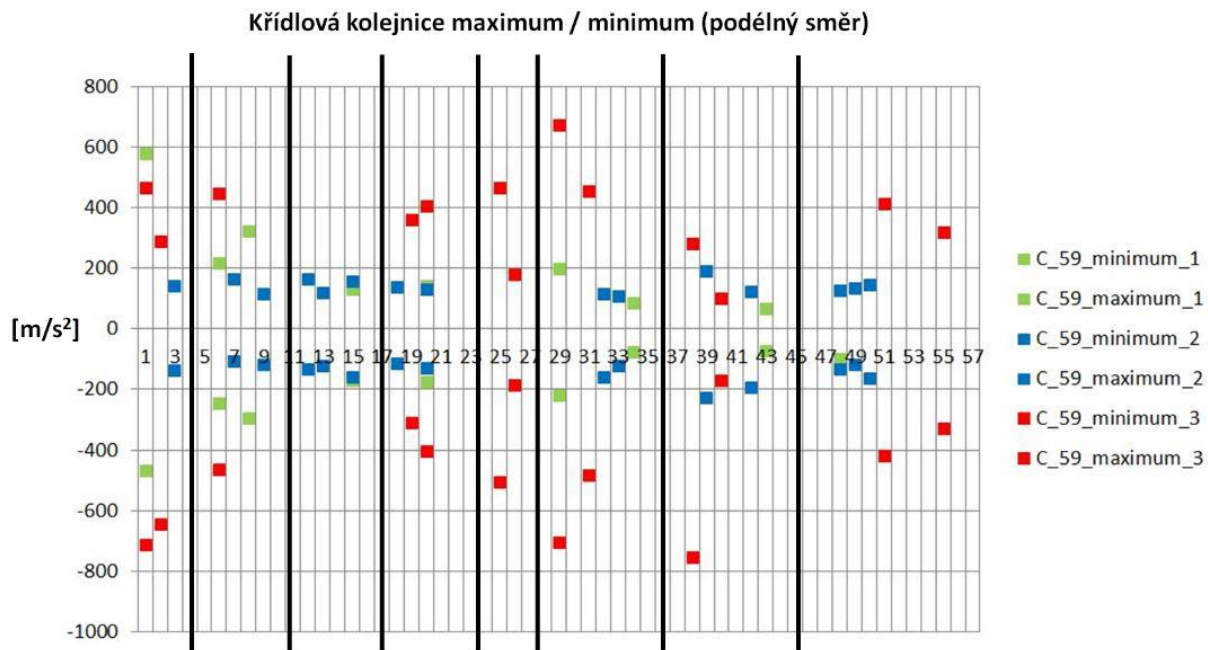
Obr. 14 Popis grafů uvedených ve vyhodnocení

Na Obr. 15 jsou pro názornost zobrazeny směry hodnocení vzhledem ke kolejovému roštu, které jsou dále popisovány ve vyhodnocení.



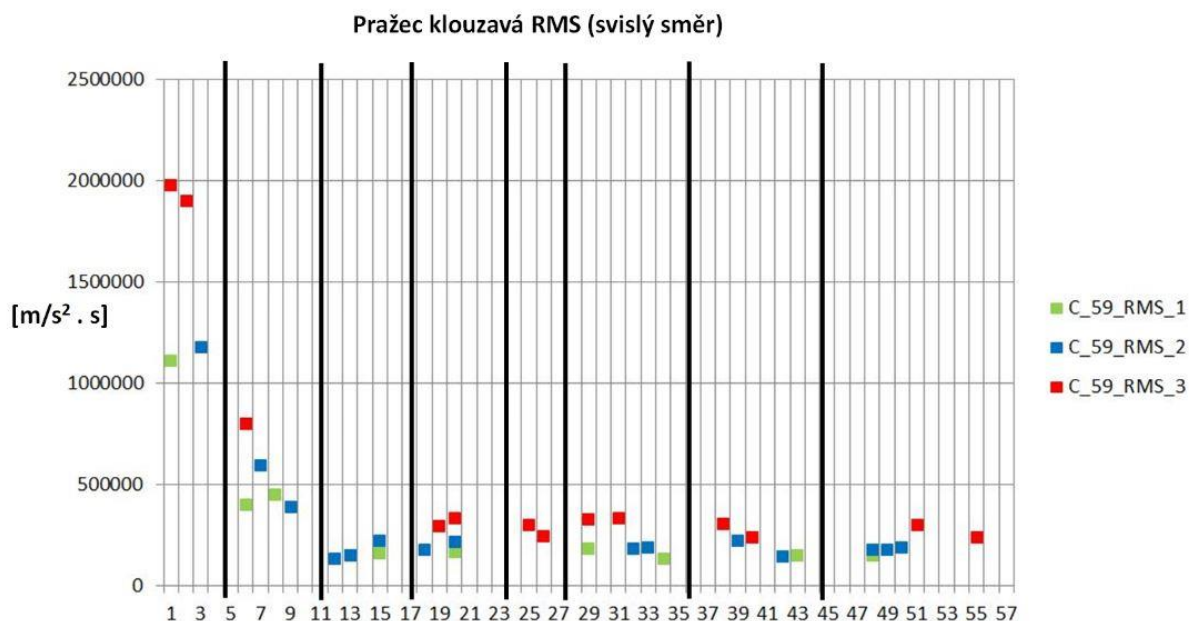
Obr. 15 Směry v popisu vyhodnocení vzhledem ke kolejovému roštu [31]

Graf na Obr. 16 je z křídlkové kolejnice v podélném směru v žst. Choceň pro maxima / minima. Zde je vidět, že největších hodnot je dosaženo při třetím měření, kdy se již geometrie přechodu rozpadá vlivem velkých hodnot poklesů pražců pod zatíženou srdcovkou. Nejnižších hodnot dosahuje u části vlaků druhá kampaň měření, to je možné přičíst opravě navařením srdcovky, což se projevilo v tomto parametru ve snížení rozkmitu mezi maximem a minimem. I na tomto jednoduchém parametru lze vidět, že u třetího měření jsou již hodnoty odskočené u většiny vlaků.



Obr. 16 Příklad vyhodnocení minim a maxim na výhybce č. 59 v žst. Choceň

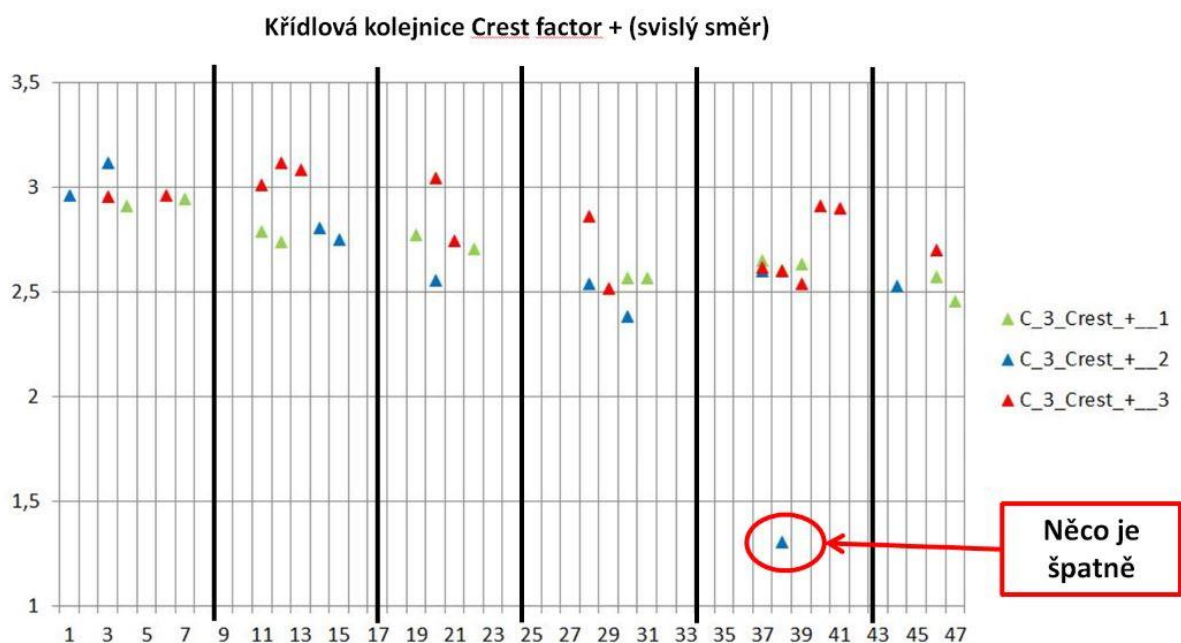
Graf na Obr. 17 je z pražce ve svislém směru v žst. Choceň pro plochu pod křivkou klouzavé RMS. Na hodnotách je vidět, že téměř ve všech kategoriích vlaků jsou hodnoty nejvyšší u posledního měření, dokonce lze sledovat postupné zhoršování od první (zelené) kampaně přes druhou (modrou) kampaň až po třetí červenou kampaň. Zde je vidět postupné zhoršování, což potvrdilo i měření poklesů pražců. Největší rozdíl je mezi druhou a třetí kampaní, což bylo i v poklesu pražců. Tento parametr tedy dokáže dobře zachytit, co se s pražcem děje.



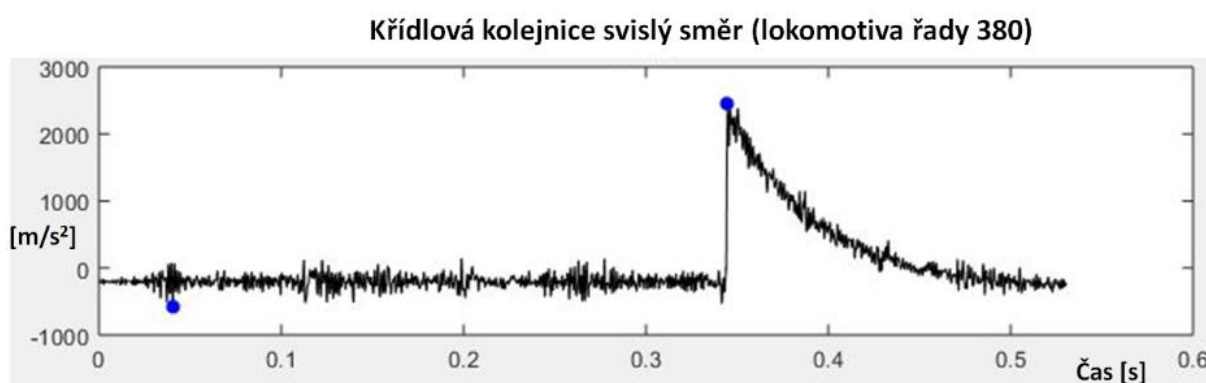
Obr. 17 Příklad vyhodnocení klouzavé RMS na pražci v žst. Choceň

Obr. 17 Příklad vyhodnocení plochy pod křivkou klouzavé RMS na výhybce č. 59 v žst. Choceň

Na Obr. 18 je graf crest factoru na křídlové kolejnici ve svislém směru ze tří kampaní měření na srdcovce výhybky č. 3 v žst. Ústí nad Orlicí. Hodnocení ojetí konstrukce pomocí crest factoru se zdá být přece jen problematictější a z grafu lze sice něco vyčíst, ale hodnoty nejsou jednoznačné. V čem je však crest factor velmi spolehlivý, je detekce špatného signálu zrychlení. Pokud je hodnota crest factoru příliš nízká, jako je tomu na Obr. 18 níže, pak je signál poškozený. Na Obr. 19 je vidět signál zrychlení vibrací, který je poškozený a není vhodný k dalšímu vyhodnocení. Pomocí crest factoru lze poškození signálu odhalit.



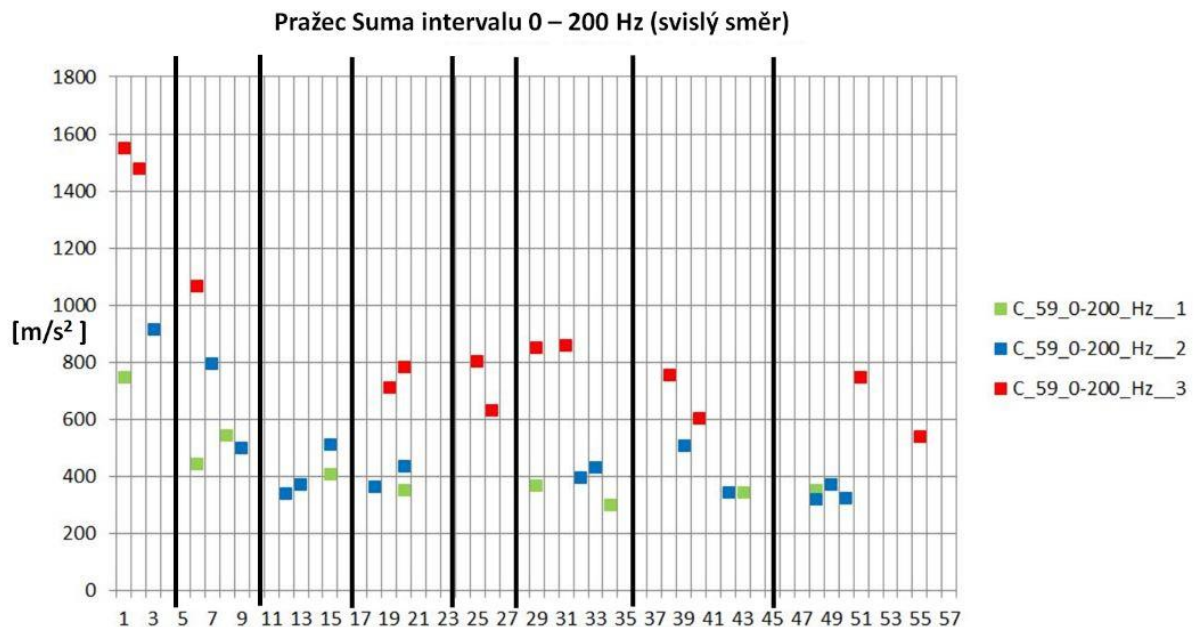
Obr. 18 Příklad vyhodnocení Crest factoru + na výhybce č. 3 v žst. Ústí nad Orlicí



Obr. 19 Poškozený signál zrychlení vibrací na křídlové kolejnici srdcovky č. 3 v žst. Ústí nad Orlicí

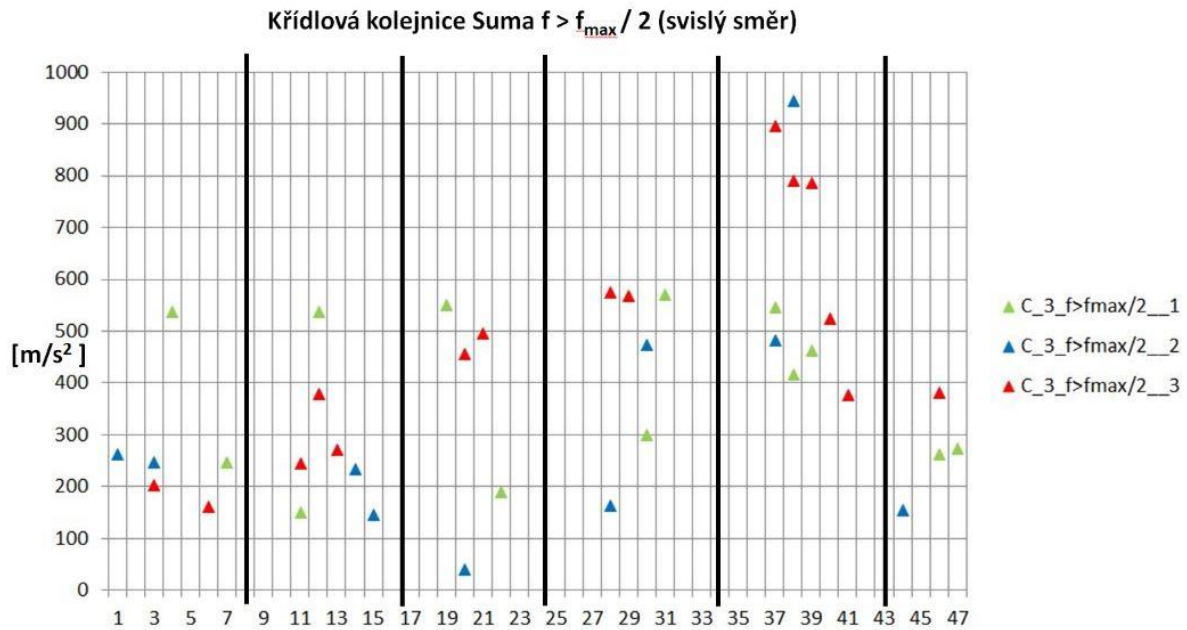
Ve frekvenčním pásmu 0 Hz až 200 Hz by se měly projevit chyby v podepření konstrukce. Nejlépe je to vidět na pražci pod srdcovkou výhybky v žst. Choceň, kde se od první do třetí kampaně měření zhoršoval stav podepření pražce. Na Obr. 20 je graf hodnot sumy všech hodnot zrychlení vibrací ve frekvencích v pásmu 0 Hz až 200 Hz právě pro pražec pod

srdcovkou v žst. Choceň. Jak je vidět, hodnoty se v grafu postupně zvyšují a nejvyšší jsou ve třetí kampani měření, kdy byl pražec podepřen nejhůře. Lze tedy konstatovat, že hodnota sumy ve frekvenčním intervalu 0 Hz až 200 Hz dokáže odhalit vadné podepření pražce, nebo spíše obecněji vadu v geometrii přechodu.



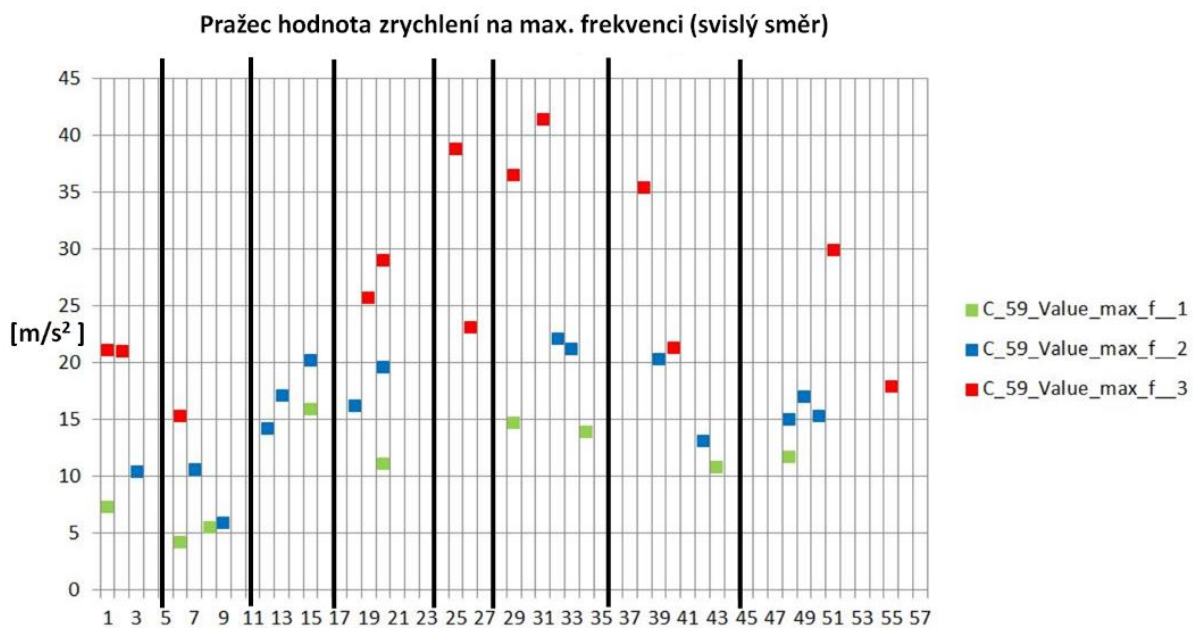
Obr. 20 Příklad vyhodnocení sumy frekvenčního intervalu 0 – 200 Hz na výhybce č. 59 v žst. Choceň

Využití hodnoty sumy všech frekvencí větších než polovina maximální frekvence je bráno jako podpůrný prostředek. U všech měření se prosté použití sumy projevilo jako nedostatečné. Na Obr. 21 je příklad využití u srdcovky č. 3 v žst. Ústí nad Orlicí. Z grafu na Obr. 21 nelze jednoznačně stanovit, zda se geometrie přechodu ve výhybce zhoršuje. Snad jen, že se se zvětšujícím ojetím mění i rozptyl hodnot napříč kategoriemi vlaků. Tuto hodnotu tedy samostatně v analýze lze využít jen obtížně.



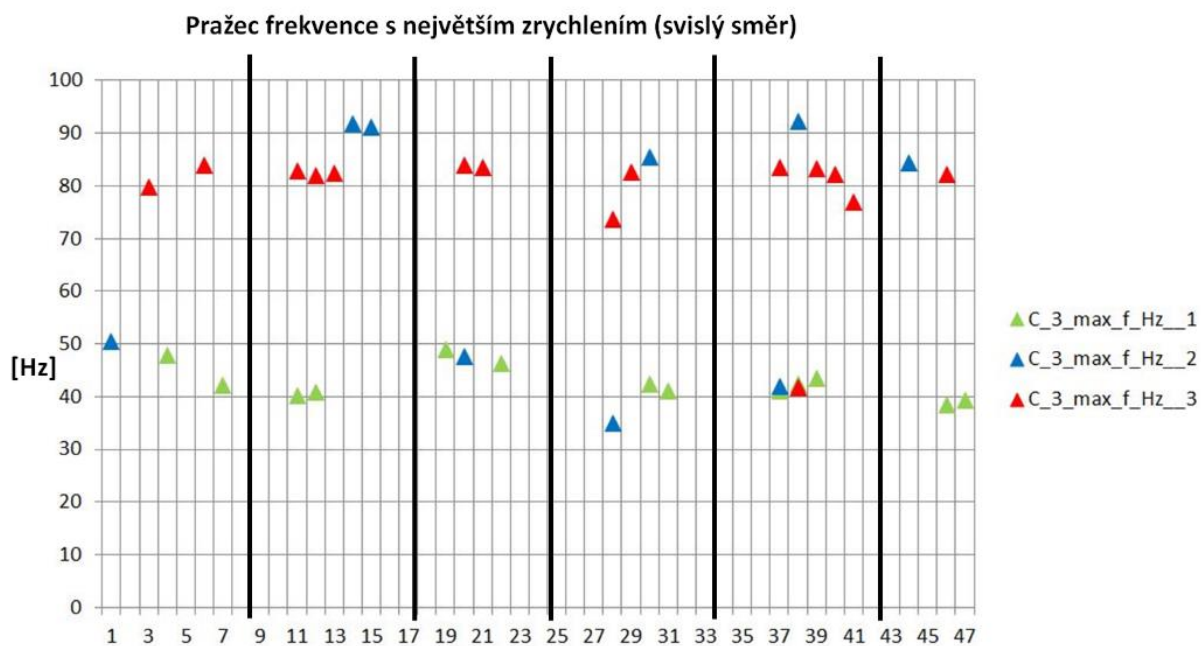
Obr. 21 Příklad vyhodnocení Sumy $f > f_{max} / 2$ na výhybce č. 3 v žst. Ústí nad Orlicí

Velmi jednoduše využitelnou hodnotou je maximální zrychlení na frekvenci v rámci vypočítaného FFT. Na Obr. 22 je graf pro pražec pod srdcovkou v žst. Choceň. Jak se postupně zhoršovalo podepření pražce, tak se i postupně zvyšovala maximální hodnota zrychlení na frekvenci v rámci FFT. Tato hodnota se jeví jako velmi spolehlivá z hlediska hodnocení kvality geometrie přechodu. Na křídlové kolejnici lze nejlépe sledovat změny v geometrii přechodu v podélném směru a platí to i pro hodnotu maximálního zrychlení na frekvenci v rámci FFT.

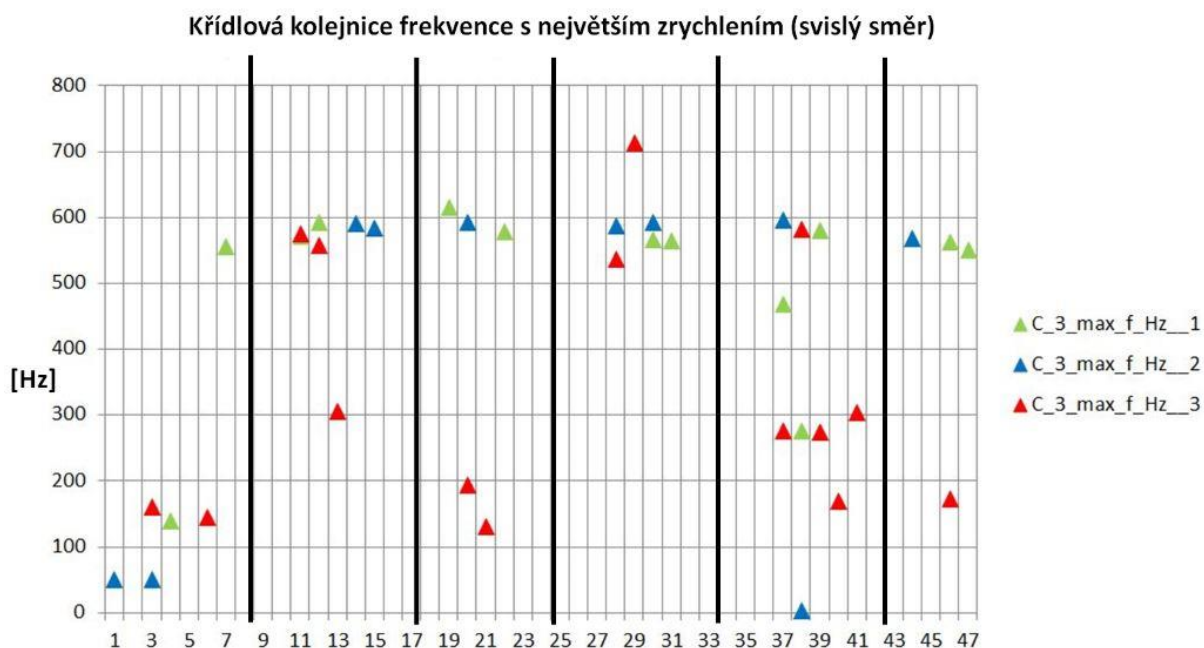


Obr. 22 Příklad vyhodnocení hodnoty zrychlení na max. frekvenci na výhybce č. 59 v žst. Choceň

Sledování frekvence s největší hodnotou zrychlení vychází z teoretických předpokladů uvedených v předcházejících kapitolách. Pro vyhodnocení byla vybrána srdcovka č. 3 v žst. Ústí nad Orlicí, protože na ní nebyla během měřicích kampaní provedena údržba. Na Obr. 23 je graf frekvencí s největším zrychlením na pražci pod srdcovkou. Jak je z grafu patrné, při prvním měření se frekvence pohybovaly okolo 44 Hz, při druhém měření se již u některých vlaků posunuly k vyšším frekvencím okolo 85 Hz a při třetím měření se již téměř všechny hodnoty pohybují okolo 80 Hz. Zdá se tedy, že se zhoršující se geometrií přechodu se mění i hodnoty frekvence s největší hodnotou zrychlení směrem k vyšším hodnotám. Na Obr. 24 je graf z křídlové kolejnice. Zde se naopak zdá, že především u třetího měření se hodnoty přesouvají spíše k nižším hodnotám. Se zhoršující se geometrií přechodu se tedy mohou měnit hodnoty frekvence s největší hodnotou zrychlení a mohou se k sobě blížit hodnoty na pražci a křídlové kolejnici.



Obr. 23 Příklad vyhodnocení frekvence s největším zrychlením na pražci výhybky č. 3 v žst. Ústí nad Orlicí



Obr. 24 Příklad vyhodnocení frekvence s největším zrychlením na křídlové kolejnici výhybky č. 3 v žst. Ústí nad Orlicí

Z výše uvedených analýz je zřejmé, že systém vyhodnocení dynamických účinků je založen na poměrně jednoduše spočitatelných hodnotách v časové a frekvenční oblasti. I tyto jednoduché hodnoty však mohou odhalit zvyšování dynamických účinků, které znamenají zhoršení v geometrii přechodu. Systém může fungovat už teď, ale pro plné využití jeho možností je třeba získat velké množství dat. Pak by mohl systém umět i odhalit typ závady a predikovat vznik vad. Pro tyto funkce počítáme s využitím metod umělé inteligence.

5. Závěr

Výše popsaný systém má potenciál být prospěšný už dnes. Bohužel, zatím nedokáže pracovat autonomně. Na to ještě není dostatečný objem dat, která bychom ale chtěli začít sbírat, jakmile se podaří dokončit vývoj dobře cenově dostupného zařízení pro měření. Pokud bude systém pracovat nepřetržitě a bude mít tím pádem dostatek dat, bude schopen odhalit i jen malý nárůst dynamických účinků. Systém bude schopen odhalit rozpad geometrie přechodu a vyhodnotit stav podepření pražce. V budoucnu, při dostatečném množství dat, by mohl systém predikovat jednotlivé typy vad a rozeznat je od sebe. Je zřejmé, že na dynamické účinky má vliv celková tuhost podepření konstrukce, která se mění s teplotou. Proto bude vhodné sledovat i teplotní změny. Do systému je možné pro tento účel instalovat další čidla, nebo je případně i možnost se pouze spolehnout na nejbližší meteorologickou stanici a stahovat data z ní. Pak je však potřeba počítat s jistou nepřesností v daném místě.

Celkově jsou prozatím výsledky pozitivní a systém se zdá být do budoucna perspektivní. Na jeho rozvoji bude kolektiv autorů pokračovat i nadále. Plánována je spolupráce s kolegy z Univerzity Pardubice a DT – Výhybkárny a strojírny, a.s. na mnohem komplexnějším a uceleném systému monitoringu a hodnocení dynamických účinků na výhybkách, do

kterého budou zapojena i data z měření na železničních vozech. Vše by mělo být zasazeno do ucelené aplikace pro efektivní využití pro manažera infrastruktury. Díky podobnému komplexnímu systému by pak bylo možné se přesunout od údržby korektivní k údržbě preventivní, což by sebou neslo i nemalou úsporu finančních prostředků.

6. Poděkování

Příspěvek byl zpracován v rámci projektu Switch nad Crossing Optimal Design and Evaluation (S-CODE), za finanční podpory společného podniku Shift2Rail Joint Undertaking, číslo grantové smlouvy 730849, a to v rámci evropského programu výzkumu a inovací Horizon 2020.

Kolektiv autorů by chtěl dále poděkovat za spolupráci svým kolegům z VUT v Brně z Fakulty strojního inženýrství, kolegům z Univerzity Pardubice, Dopravní fakulty Jana Pernera a kolegům z DT – Výhybkárny a strojírny, a.s.

7. Literatura

- [1] ZELENKA, J. *Geometrical interaction of railway wheelset by passing through turnouts of Czech Railways corridor tracks*. Česká Třebová: Proceedings of 5th Specialized Conference on Welding in Railway Transport, 2003, pp. 79-86.
- [2] NICKLISCH, D. *SIMPACK-simulations of passing switches and crossings*. December 2008. INNOTRACK Technical report.
- [3] NICKLISCH, D. *SIMPACK-simulations of contact stresses on switches and crossings*. July 2009. INNOTRACK Technical report.
- [4] JOHANSSON, A., B. PÅLSSON, M. EKH, J. C. O. NIELSEN, M. K. A. ANDER, J. BROUZOULIS a E. KASSA: *Simulation of wheel-rail contact and damage in switches and crossings*. Firenze: 8th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems, September 2009. ISSN 0043-1648, 2011.
- [5] DOULGERAKIS, E. *Influence of Switches and Crossings on Wheel Wear of a Freight Vehicle*. KTH, Department of Aeronautical and Vehicle Engineering, Division of Rail Vehicles, 2013. ISSN 1654-7660.
- [6] In2Rail project, *Deliverable D2.3 Embedded & Integrated Sensors: Systems Design Hierarchy Report*.
- [7] MÜLLER, R., B. NELAIN, J. NIELSEN, S. SAID, W. RÜCKER a E. BONGINI. *Description of the vibration generation mechanism of turnouts and the development of cost effective mitigation measures*. Zpráva z projektu RIVAS, code: RIVAS_UIC_WP3-3_D3_6_V02, version 2. 28. 2. 2013.
- [8] *Recommendation of, and scientific basis for, optimisation of switches & crossings – part 1*. Projekt Innotrack. Deliverable report D3. 2011. Project No. TIP5-CT-2006-031415.
- [9] STEENBERGEN, M. J. M. M. *Wheel-rail interaction at short-wave irregularities*. PROEFSCHRIFT, Delft University of Technology: 2008. ISBN 978-90-8570-302-0.
- [10] *Rail Switches and Crossings. Development of new technologies for replacement*. Projekt Mainline, 7th Framework Programme, Final report. 2014. Grant Agreement number 285121.
- [11] MARINE, V.L., M.J.M.M STEENBURGEN a I.Y. SHEETS. *Combating RCF on switch points by tuning elastic track properties*. 8th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheels systems (CM 2009). Firenze, Italy: September 2009.

- [12]VUKUŠIČ, I. *Analýza dynamických účinků ve výhybkách*. Brno: 2015. 157 s., 280 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb.
- [13]VUKUŠIČ, I., SADLEKOVÁ, D., SMUTNÝ, J., PAZDERA, L., TOMANDL, V. AND HAJNIŠ, J. Measurement and analysis of the dynamic effects on the crossings, in CETRA 2014, Department of transportation, Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, 2014. ISSN 1848-9850.
- [14]SADLEKOVÁ, D. *Analýza dynamických účinků působících na výhybkové konstrukce*. Brno: 2013. 63 s., 198 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb.
- [15]BRUNIA, S., I. ANASTASOPOULOS, S. ALFIA, A. VAN LEUVENC a G. GAZETAS. *Effects of train impacts on urban turnouts: Modeling and validation through measurements*. Journal of Sound and Vibration 324 (2009) 666–689. ISSN: 0022-460X.
- [16]VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB. *Měření svislých posunů pražců a vibrací v oblasti srdcovky výhybky č. 21 v žst. Moravany*. Závěrečná zpráva. Brno: říjen 2007, 16 s, 7
- [17]FISCHER, OBERAIGNER, DAVES, WIEST, BLUMAUER a OSSBERGER: *The Impact of a Wheel on a crossing. Die Stosswirkung eines Rades auf das Herzstück einer Weiche*. ZEV Rail Glasers Annalen 129 (2005) 8 August. ISSN: 1618-8330.
- [18]JENKINS, H., J. STEPHENSON, G. CLAYTON, G. MORLAND a D. LYON. *The Effect of Track and Vehicle Parameters on Wheel/Rail Vertical Dynamic Forces*. Railway Engineering International, January (1974).
- [19]KAEWUNRUEN, S. *Monitoring structural deterioration of railway turnout systems via dynamic wheel/rail interaction*. Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation, Volume 1, April 2014. ISSN 2214-6571.
- [20]Capacity for Rail project, “Innovative concepts and designs for resilient S&Cs, Deliverable 13.2”.
- [21]KAEWUNRUEN, S., NGAMKHANONG, C., JANELIUKSTIS, R. AND YOU, R., *Influences of surface abrasions on dynamic behaviours of railway sleepers*, in 24th International Congress on Sound and Vibration (ICSV24), London, 2017.
- [22]KAEWUNRUEN, S. AND REMENNIKOV, A. *Application of vibration measurements and finite element model updating for structural health monitoring of ballasted railtrack sleepers with voids and pockets*, Mechanical Vibrations: Measurement, Effects and Control.
- [23]SADEGHI, J. *Field Investigation on Vibration Behavior of Railway Track*, International Journal of Civil Engineering, vol. 8, no. 3, 2010.
- [24]KAEWUNRUEN, S. AND REMENNIKOV, A. *Current state of practice in railway track vibration isolation: an Australian overview*, Australian Journal of Civil Engineering, vol. 14, no. 1, pp. 63-71, 2016.
- [25]REZAEI, E. *Vibrations of partly supported concrete railway sleeper*, Linköping University, Department of Management and Engineering, Solid Mechanics, 2010.
- [26]AIKAWA, A. *Load Transmission Characteristics and Natural Modes of Ballast Layer*, in Railway Track Science and Engineering International workshop: Ballast- Issues & Challenges, Paris, 5-6 December 2013.
- [27]HASSANKIADEH, S. J. *Failure Analysis of Railway Switches and Crossings for the purpose of Preventive Maintenance*, Department of Management and Engineering, Division of Highway and Railway Engineering, Department of Transport Science, School of Architecture and the Built Environment, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2011.
- [28]NOVÝ, R. *Hluk a chvění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. [389 s]. ISBN 80-01-02246-3.

- [29]BEZIN, Y., GROSSONI, I., AND BRUNI, S. *The assessment of support stiffness on railway crossing dynamics*, in Railway Track Science and Engineering International Workshop- Ballast: Issues and Challenges, UIC Paris, 5 – 6 December 2013.
- [30]<http://www.s-code.info/>
- [31]PLÁŠEK, O., ZVĚŘINA, P., SVOBODA, R., LANGER, V., *Železniční stavby II, modul 3, železniční svršek – kolejnice*, Brno: 2006. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [32]PLÁŠEK, O., SALAJKA, V., ZELENKA, J., KOHOUT, M., RAIF, L., MAREK, T., VUKUŠIČ, I., VUKUŠIČOVÁ, D. *Nová generace výhybek a výhybkových konstrukcí – evropský projekt S-CODE*, Nová železniční technika, 6/2019. ISSN: 1210-3942.
- [33]KOHOUT, M., ZELENKA, J., VÁGNER, J., VOLTR, P., MICHÁLEK, T., HÁBA, A. *Projekt S-CODE: Dynamické účinky kolejového vozidla ve výhybkách*. In *Súčasné problémy v koľajových vozidlách - PRORAIL 2019 : zborník prednášok I*. Žilina: VTS pri Žilinskej univerzite, 2019. s. 309-316 s. ISBN 978-80-89276-58-5.

Lektorovali:

Ing. Jan Fencl, SŽDC, s.o.

Ing. Marek Pětioký, VUZ, a.s.

Libor Lochman¹

Green Deal & priority evropské železnice

Anotace

Rok 2019 je rokem změn na evropské politické scéně: na další pětileté období působí ve vrcholných pozicích nově zvolení členové Evropského parlamentu, od konce roku je ve funkci nově složená Evropská komise. Evropské železnice v čele s CER proto již na začátku roku 2019 schválily program politických priorit pro období 2019–2024. Tyto priority mají jednoznačně posílit úlohu železnice v ekonomice EU.

Nastupující prezidentka Evropské komise, paní Ursula von der Leyen, nadto představila záměr připravit evropský „*Green Deal*“ - akční plán, který bude publikován během prvních 100 dní mandátu nové Komise. Tento plán má zahrnovat snižování emisí skleníkových plynů, zlepšit kvalitu životního prostředí a v obecnosti připravit „*Evropský klimatický zákon*“ pro dosažení klimatické neutrality do roku 2050. Je zřejmé, že nadcházející Green Deal je jedinečnou příležitostí prezentovat železnici jako řešení pro cíle, které před snižováním emisí z dopravy stojí.

Úvod

Evropský „*Green Deal*“ byl ohlášen Ursulou von der Leyen, prezidentkou Evropské komise, jako akční plán, který bude připraven během prvních 100 dní mandátu nové Komise. Tento plán má zahrnovat snižování emisí skleníkových plynů, zlepšit kvalitu životního prostředí a v obecnosti připravit „*Evropský klimatický zákon*“ pro dosažení klimatické neutrality do roku 2050.

Evropské železnice v čele se Společenstvím evropských železničních a infrastrukturních podniků (CER) již na začátku roku 2019 schválily program politických priorit pro období 2019–2024, tedy pro nový Evropský parlament a novou Evropskou komisi. Nadcházející Green Deal je jedinečnou příležitostí představit železnici jako řešení pro cíle, které před snižováním emisí z dopravy stojí.

Železnice je již dnes „zeleným“ druhem motorizované dopravy a vidí proto svoji úlohu v podpoře udržitelné mobility, jakož i v příležitosti dosáhnout vyváženého legislativního rámce v EU i na národních úrovních, který by umožnil férové konkurenční prostředí pro všechny druhy dopravy.

¹ Ing. **Libor Lochman**, Ph.D., výkonný ředitel CER - Společenství evropských železničních a infrastrukturních podniků, Brusel. V letech 1982 - 1987 vystudoval Vysokou školu dopravy a spojů v Žilině, obor sdělovací a zabezpečovací technika. Poté pracoval ve Výzkumném ústavu železničním v oblasti zabezpečovací techniky. Od roku 1992 byl členem týmu ERRI (European Rail Research Institute, Utrecht) pro harmonizaci požadavků na zabezpečovací zařízení a skupiny ERRI pro systémové specifikace ERTMS. Na konci 90. let působil na Generálním ředitelství ČD, odbor Automatizace a elektrotechniky. V letech 2000 - 2005 byl ředitelem Výzkumného ústavu železničního. Od roku 2006 působí ve Společenství evropských železničních a infrastrukturních podniků odpovědný za koordinaci technických aktivit CER. Od roku 2012 je výkonným ředitelem asociace CER.

Priority evropské železnice 2019–2024: zákazník a společnost na prvním místě

Železniční společnosti, členové CER si uvědomují, že železnice bude prosperovat jen tehdy, bude-li atraktivní pro své zákazníky v osobní a nákladní dopravě a současně bude vhodně integrována do dopravně-ekonomické soustavy evropského prostoru. Předkládané cíle tomuto záměru plně odpovídají; železnice má být:

- První volbou z hlediska ceny a kvality služeb pro zákazníky
- Prostředkem pro snižování emisí z dopravy
- Plně integrována do globálního dopravního systému
- Nástrojem zvyšování konkurenceschopnosti evropského hospodářství
- Odpovědným zaměstnavatelem
- Trvale nejbezpečnějším druhem pozemní dopravy

Klíčové podmínky úspěchu

Výše uvedené cíle bude možno dosáhnout jen tehdy, propojí-li se vhodně iniciativy sektoru s politickou vůlí nastavit správné podmínky pro železniční podnikání.

Pro období 2019–2024 si proto železnice stanovily pět základních závazků a předložily soubor odpovídajících politických priorit:



Obrázek č. 1: Závazky železnice

Závazky železnice

I. Progresivní digitalizace

Železnice budou masivně investovat do IT technologií, a to zejména:

- ERTMS včetně nových funkcionalit, které zvýší kapacitu a spolehlivost služeb,
- Nasazení moderních senzorů umožňujících rozsáhlý sběr dat a snížení nákladů na údržbu,
- Plošné zavedení elektronických jízdenek umožňujících integraci přes všechny druhy dopravy a službu od domu k domu,
- Digitalizace služeb pro zákazníky v nákladní dopravě, včetně informace o očekávané době dodání zásilky.

II. Personalizovaný servis

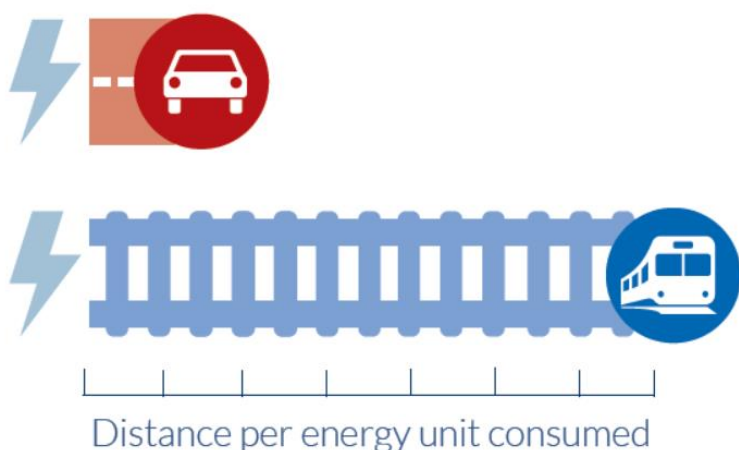
Železnice budou dále zlepšovat zákaznický servis s využitím nových technologií v oblasti osobní i nákladní železniční dopravy

III. „Zelený dopravní mód“

Železnice je motorizovaným druhem dopravy, který nejméně poškozuje životní prostředí. Jako takový je proto zcela zásadní pro naplňování cílů udržitelné mobility. I přesto se železniční společnosti zavazují dále snižovat uhlíkovou stopu.

Do roku 2030 sníží železnice emise skleníkových plynů 30 % pod úroveň 1990 – a to zahrnuje i předpokládaný nárůst objemů osobních i nákladních železničních přepravy.

Rail is 6x more energy-efficient than road due to physical advantages such as lower rolling and air resistance.



Obrázek č. 2: Fyzikální přednosti a energetická efektivnost železnice

IV. Udržitelný model financování železnice

Je pochopitelné, že financování železniční infrastruktury musí být zajištěno primárně z veřejných zdrojů, tak jako tomu je v případě infrastruktury silniční.

Nicméně železniční společnosti intenzivně analyzují možnosti vstupu privátních investorů do sektoru. To, spolu s koncepcí „zeleného financování“ by mohlo přinést tolik potřebné zdroje pro projekty infrastruktury i financování kolejových vozidel

V. Nové tržní příležitosti

Železnice bude rozšiřovat příležitosti euroasijských nákladních přeprav jako alternativy pro námořní i rychlou leteckou dopravu. Znamená to pochopitelně úzkou spolupráci s mimoevropskými partnery.

V oblasti osobní dopravy bude zvýšená pozornost věnována rozvoji turismu jako segmentu, který má potenciál přinést množství nových zákazníků. To samozřejmě nad rámec nových IT aplikací, které zjednoduší přístup cestujících k informacím a k prodeji jízdenek online v multimodální perspektivě.

Priority dopravní politiky

Stabilizace legislativního rámce v železničním sektoru

Železnice v EU nutně potřebují stabilitu a právní jistotu, aby se mohly soustředit na úkoly před kterými stojí: naplňovat požadavky zákazníků v přepravě osob i nákladů, poskytovat služby, které jsou spolehlivé, bezpečné a konkurenceschopné.

Důraz proto musí být v následujících pěti letech kladen na důslednou a bezodkladnou implementaci platné evropské legislativy v jednotlivých členských státech Unie. Jen tak lze zamezit pokračujícímu podfinancování infrastruktury či nedostatečnému pokrývání nákladů u zakázek ve veřejném zájmu – faktorům, které přetrvávají v mnoha zemích, především jižní a východní Evropy.

Podpora digitalizace a inovace

Aby železnice mohla být páteří dopravní soustavou, musí být svými službami atraktivní pro své zákazníky. Přestože mnohá zlepšení již byla uvedena do praxe, stále zůstává řada těch, která je nutno zavést – od revize nákladové struktury, zvýšení produktivity, přes větší flexibilitu služeb a multimodální produkty až po uplatnění inovativních řešení a digitalizaci.

Legislativní rámec musí umožnit a podpořit opatření na automatizaci procesů, sběr a zpracování dat v maximální míře, které digitální technologie budou umožňovat. To včetně postupného uplatňování plně automatického vedení vlaku (v pilotním režimu za přítomnosti strojvedoucího, později i bez něj) jako nadstavby ERTMS.

Opomenout nelze ani nutnost dokončení reformy schvalovacích procesů do června 2020, kdy se Železniční agentura Evropské unie stane centrálním orgánem pro bezpečnostní certifikáty železničních společností a autorizace vozidel

Adekvátní finanční rámec

V rámci stávajícího finančního období (2014–2020) se fond Connecting Europe Facility (CEF) ukázal být velmi úspěšným nástrojem pro investice do dopravní a zejména železniční infrastruktury. Je proto potřebné, aby byl CEF nejenom součástí víceletého finančního rámce (MFF) 2021–2027, ale aby byl i zdatelně posílen.

Železnice totiž nebytně potřebuje dostatečné fondy pro implementaci ERTMS, jejichž financování nelze zajistit z prostředků železničních společností samých. Podpora digitalizačních projektů do budoucna taktéž musí umožnit vstup privátního kapitálu.

Zvláště je pak potřeba zmínit finanční podporu výzkumu a vývoje, především v rámci pokračování společného programu Komise a sektoru *Shift2Rail* v období 2021-2027

Zajištění korektních podmínek intermodální konkurence

Evropský dopravní systém musí být šetrný k životnímu prostředí a současně konkurenceschopný. Toho lze docílit jen využitím potenciálu všech druhů doprav. Spravedlivé podmínky pro intermodální konkurenci jsou nutným východiskem pro intermodální spolupráci.

V oblasti cenové politiky je potřeba se zaměřit na poplatky za užití dopravní infrastruktury, internalizaci externích nákladů, energetickou politiku a dopady na životní prostředí.

Výše poplatků za užití dopravní cesty na základě ujeté vzdálenosti by měla být zohledňovat opotřebením infrastruktury provozem jednotlivých kategorií vozidel. Nadto by měly být systematicky zavedeny poplatky odvozené od vyvolaných externích nákladů. To by mělo být naplněno v rámci revize Směrnic EU o poplatcích za dopravní cestu v prvních letech po nástupu nových legislativců.

Green Deal – příležitost ke konkrétním krokům

Železniční společnosti – členové CER se shodli, že generální strategie, kterou by měly podporovat instituce EU, jakož i členské státy, musí zahrnovat následující komponenty, má-li úspěšně podpořit udržitelnou mobilitu:

1. Stanovení dílčích závazných kroků pro dekarbonizaci dopravy EU – pro roky 2030, 2040 a 2050.
2. Podpora přesunu osob a nákladů na železnici:
 - a) V oblasti nákladní železniční dopravy je nutno zpracovat akční plán evropských a národních opatření, které umožní podstatné zvýšení tržního podílu železnice – ze současných 17 % až na 30 % do roku 2030.
 - b) V oblasti osobní dopravy podpořit zejména přeshraniční železniční přepravu, až do vzdálenosti 1 000 km.

3. Zavést regulační rámec, umožňující systematické zpoplatňování nákladů na dopravní cestu a platby za znečišťování životního prostředí – a to přes všechny dopravní módy.

Green Deal musí také zohlednit nezbytný finanční rámec, má-li být dosaženo jeho cílů:

1. Podstatné navýšení rozpočtu CEF pro dopravu. Mimo investice do železniční infrastruktury prostředky jsou nutné pro:
 - a) Elektrizaci železniční sítě.
 - b) Digitalizaci, implementaci nového komunikačního systému na základech 5G a především podpora ERTMS.
 - c) Snižování hlučnosti nákladních vozů.
2. Zajištění financování železničního výzkumu a vývoje.
3. Stimulace vstupu privátních investorů do železničních projektů.

Nadcházející strategický dokument se bude muset zabývat také vyvážením legislativního rámce mezi jednotlivými druhy doprav:

1. Implementace poplatků za emisi CO₂:
 - a) Zdanění paliv užívaných v letecké a námořní dopravě.
 - b) Ukončení dotací pro leteckou dopravu (regionální letiště, DPH na letenky...).
2. Legislativní rámec pro zpoplatňování silniční infrastruktury.

Návazné priority:

1. Podpora nízkoemisních druhů dopravy v programu Erasmus+.
2. Odstranění bariér v přeshraničním provozu řádnou implementací regulace TEN-T.
3. Zlepšení propojitelnosti silnice a železnice podporou kombinované dopravy a zajištěním kompatibility silničních návěsů s průjezdnými profily železniční infrastruktury.

Závěr

Evropská železnice je klíčem k dekarbonizaci dopravy v EU a je proto nutné přispět k jejímu rozvoji. Evropský Green Deal a návazná Evropská dopravní strategie musí jednoznačně nastavit cestu k plné dekarbonizaci do roku 2050, a to s výrazným podílem železnice. Cestou jsou nástroje jako uplatnění principu zpoplatnění užití dopravní cesty a produkce škodlivých emisí, patřičné financování zelené mobility a řada dalších podpůrných opatření.

Lektorovali: prof. Ing. Vlastislav Mojžíš, CSc.
DFJP Univerzita Pardubice

doc. Dr. Ing. Roman Štěrba, MBA
FD ČVUT

Otto Pastor, Jiří Zmatlík¹

Regulace v dopravních systémech a dopravních procesech

Klíčová slova: *dopravní systémy, dopravní procesy, statistická regulace, železniční doprava*

Anotace

Článek se zabývá statistickou regulací v rámci dopravních procesů a systémů. Jedná se o statistickou regulaci srovnáním, ve které je zkoumán neshodný procesní výstup. Jsou specifikovány typy regulačních diagramů a jejich matematický popis a potřebná východiska k dalším praktickým aplikacím. Podstatná pozornost je věnována typu p regulačnímu diagramu pro podíl neshodných produktů v logické podskupině. V rámci příspěvku je analyzován počet nutných podskupin pro detekci procesních změn, funkce rozdělení pravděpodobnosti délky přeběhu, průměrná délka přeběhu. Teoretická matematická východiska jsou pro lepší pochopení situace doplněna praktickými aplikacemi užití tohoto typu regulačního diagramu. Širší uplatnění teoretických východisek regulace srovnáním lze nalézt v železniční dopravě, která je preferována z hlediska bezpečnosti, ekologických aspektů a na střední vzdálenosti konkuruje i letecké dopravě. V rámci železniční dopravy lze sledovat například počet zpoždění na jednotlivých tratích, počet výpadků elektrického proudu na elektrifikovaných tratích, podíl nehod na tratích a mnoho dalších technických i ekonomických ukazatelů. Je nezbytné se soustředit na shodu s cílovými či požadovanými hodnotami ukazatelů a hledat příčiny neshod, které přispívají ke zlepšování kvality v železniční přepravě.

The article deals with statistical regulation within the framework of transport processes and systems. This is a statistical regulation by comparison, in which the non-conforming process output is investigated. The types of control diagrams are specified and their mathematical description and the necessary starting points for other practical applications. Substantial attention is paid to the type of the regulatory diagram for the proportion of non-conforming products in the logical subgroup. The contribution analyses the number of subsets required to detect process changes, the function of dividing the probability of the length of the overrun, the average length of the overrun. Theoretical mathematical bases are complemented by practical applications of the use of this type of control diagram for a better understanding of the situation.

¹ Prof. Dr. Ing. **Otto Pastor**, CSc., ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav logistiky a managementu dopravy.
Ing. **Jiří Zmatlík**, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta provozně ekonomická, katedra statistiky

1. Podstata statistické regulace srovnáním

Statistická regulace srovnáním získává informaci o řízené veličině srovnáním s určitým etalonem, přičemž výsledek vypovídá o shodě nebo neshodě. Etalon představuje ideální stav řízené veličiny, který se snažíme dosáhnout, jedná se o cílový stav či cílovou hodnotu. Na rozdíl od regulace měření sleduje diskrétní znaky jakosti podstatné pro užitnou hodnotu výrobku nebo služby. Výrobní proces je charakterizován v čase pomocí počtu neshodných jednotek, podílu neshodných jednotek, počtu neshod nebo podílu neshod na logickou podskupinu. Logická podskupina je normovaný termín pro náhodný výběr jednotek, kdy jednotky byly náhodně v určité časové posloupnosti vybrány z procesu při působení stejných příčin variability (náhodných či systematických).

Statistické regulace srovnáním využívá v praxi čtyř rozdílných typů regulačních diagramů:

- 1.p – diagram – pro podíl neshodných jednotek v logické podskupině**
- 2.np – diagram – pro počet neshodných jednotek v logické podskupině**
- 3.c – diagram – pro počet neshod na standardní kontrolní jednotce**
- 4.u – diagram – pro průměrný počet neshod na kontrolních jednotkách**

Je-li rozsah logické podskupiny konstantní, lze uplatnit všechny odpovídající typy regulačních diagramů. Rozsah podskupiny znamená počet jednotek v rámci náhodného výběru, které byly vybrány v těsném časovém sledu za sebou a sledovány jejich charakteristiky/ charakteristika. Mění-li se rozsah podskupiny, resp. výběru lze využít u a p diagramy. Diagramy p a np jsou založeny na binomickém rozdělení náhodné veličiny, regulační diagramy c a u vycházejí z Poissonova rozdělení náhodné veličiny. Statistická regulace srovnáním používá jediného typu regulačního diagramu ke sledování výrobního procesu, neboť příslušná rozdělení pravděpodobnosti jsou jednoparametrická. Při regulaci měření je výrobní proces sledován v čase z hlediska polohy a variability, neboť předpokládané normální rozdělení je dvouparametrické. Vztahy pro jednotlivé statisticky jsou v **Tab. č. 1**.

Pro n a np typy regulačních diagramů je důležité binomické rozdělení pravděpodobnosti, které má náhodná veličina X nabývající celočíselných hodnot v intervalu $\langle 0, n \rangle$, přičemž pravděpodobnost, že nastane jev A je v každém pokusu konstantní a rovna p. Binomické diskrétní rozdělení je rozdělením výběrů s opakováním.

Funkce rozdělení pravděpodobnosti má tvar:

$$p(x) = \binom{n}{x} \times p^x \times (1-p)^{n-x}$$

Střední hodnota je rovna $E(X)=np$ a rozptyl $D(X)=npq=np(1-p)$. Toto diskrétní rozdělení je vhodné pro výběry s opakováním, nebo pro výběry bez opakování s velkým rozsahem základního souboru. Pro $p \in \langle 0, 0,5 \rangle$ je rozdělení levostranné a pro $p \in \langle 0,5; 1 \rangle$ je rozdělení pravostranné. Rozdělení asymetrická levostranná či pravostranná jsou posuzována na základě třetího normovaného momentu náhodné veličiny koeficientu šikmosti, přičemž levostranná rozdělení vykazují kladný koeficient šikmosti a pravostranná rozdělení záporný koeficient šikmosti. Symetrická rozdělení mají nulový koeficient šikmosti (ideální stav).

Koeficient šikmosti je dán vztahem

$$\alpha_3 = \frac{1-2p}{\sqrt{np(1-p)}} = \frac{q-p}{\sqrt{npq}}$$

je nulový pro $p=0,5$ a pro rozsáhlé podskupiny, přičemž je možno využít aproximace normálním rozdělením, čehož se využívá při konstrukci p a np regulačních diagramů.

Pro $n \rightarrow \infty$ a $p \rightarrow 0$ přechází binomické rozdělení na Poissonovo rozdělení, které je vždy levostranné. Funkce rozdělení pravděpodobnosti (frekvenční funkce) má následující tvar

$$p(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

Střední hodnota $E(X)=\lambda$ a rozptyl Poissonova rozdělení je $D(X) = \lambda$.

Při zavádění statistické regulace srovnáním je doporučováno uplatnění následujícího postupu

<i>1. identifikovat neshody nebo neshodný produkt</i>
<i>2. určit metodiku pro zjišťování neshod nebo neshodného produktu</i>
<i>3. analyzovat faktory výskytu neshod (zabývat se příčinami neshod v rámci procesu)</i>
<i>4. eliminovat příslušné faktory z bodu 3 v nápravných a preventivních opatření</i>
<i>5. zvolit rozsah logické podskupiny a délku kontrolního intervalu</i>
<i>6. stanovit typ odpovídajícího regulačního diagramu, analyzovat statistickou stabilitu nebo nestabilitu výrobního procesu</i>
<i>7. provést hodnocení způsobilosti výrobního procesu</i>
<i>8. uplatňovat statistickou regulaci při řízení výrobního procesu, tj. udržovat proces na stabilní a přípustné/ předvídatelné úrovni.</i>

Základní hodnoty nejsou stanoveny – není stanovena střední hodnota ukazatele/ Základní hodnoty jsou stanoveny - je určena střední hodnota ukazatele				
Statistika	Střední přímka	UCL a LCL (upper control line and lower control line)	Střední přímka	UCL a LCL (upper control line and lower control line)
p	\bar{p}	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p} \times (1 - \bar{p})}{n}}$	p_0	$p_0 \pm 3\sqrt{\frac{p_0 \times (1 - p_0)}{n}}$
np	$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p} \times (1 - \bar{p})}$	np_0	$np_0 \pm 3\sqrt{np_0 \times (1 - p_0)}$
c	\bar{c}	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	c_0	$c_0 \pm 3\sqrt{c_0}$
u	\bar{u}	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	u_0	$u_0 \pm 3\sqrt{\frac{u_0}{n}}$

Tab. č. 1 - **Vztahy pro konstrukci regulačních diagramů pro regulaci srovnáním**

2. Konstrukce a analýza typu p – regulačního diagramu

Typ *p* regulační diagram pro podíl neshodných jednotek na logickou podskupinu vychází z binomického rozdělení a nevyžaduje konstantní rozsah logické podskupiny. V rámci tohoto článku se zaměříme na konstrukci a analýzu tohoto typu regulačního diagramu. Je-li podíl neshodných jednotek *p* známý a roven p_0 ($p=p_0$), pak 3 – sigma regulační meze jsou dány následujícími níže uvedenými rovnicemi

$$CL(\hat{p}_i) = p_0$$

$$LCL(\hat{p}_i) = p_0 - 3\sigma_{p_0} = p_0 - 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$$

$$UCL(\hat{p}_i) = p_0 + 3\sigma_{p_0} = p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}$$

V praxi může nastat situace, že pro nějaké p_0 bude dolní regulační mez záporná, čímž dojde k situaci, že regulačním diagramem nebude možné detekovat poklesy podílu neshodných jednotek. **Proto je nutné uvažovat takový rozsah logické podskupiny, aby dolní regulační mez LCL byla kladná.**

Pak platí následující vztahy

$$p_0 - 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} > 0$$

$$p_0^2 > \frac{9p_0(1-p_0)}{n} \Rightarrow n > \frac{9(1-p_0)}{p_0}$$

Stanovení rozsahu logické podskupiny může vycházet též z následující úvahy.

Změní-li se původní podíl neshodných jednotek $p=p_0$ na hodnotu $p=\delta p_0$, která bude diagramem identifikována s pravděpodobností větší než 50% na každou logickou podskupinu, pak platí pro velikost podskupiny následující vztahy:

$$p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} = \delta p_0 \rightarrow \delta > 0$$

$$3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} = p_0(\delta - 1) \rightarrow n = \frac{9(1-p_0)}{p_0(\delta - 1)^2}$$

Z uvedených vztahů je patrné, že ***p*- regulační diagramy dosáhnou síly k identifikaci malých změn podílu neshodných jednotek pouze rozsáhlou velikostí logické podskupiny, což podstatně zvyšuje náklady na regulaci.**

V praxi obvykle neznáme velikost podílu neshodných jednotek p zvláště u nových procesů. Proto je nezbytné **stanovit postup pro odhad**. Stanovíme p'_0 jako odhad podílu neshodných u podobného procesu nebo vycházíme z minulých hodnot našeho procesu. Dále specifikujeme relativní posuv δ' , který bude identifikován s pravděpodobností 50%. Velikost podskupiny je dána vztahem:

$$n_0 = \frac{9(1-p'_0)}{p'_0(\delta'-1)^2}$$

Poté pozorujeme podskupiny rozsahu n_0 a stanovíme odhad podílu neshodných jednotek v i -té podskupině

$$\hat{p}_i = \frac{x_i}{n_0}$$

kde x_i je počet neshodných v i -té logické podskupině. Je doporučováno volit $m=20$ - 25 podskupin/ náhodných výběrů, potom odhadovaný průměrný podíl neshodných jednotek na logickou podskupinu je roven:

$$\bar{p} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{p}_i$$

K odhadu počtu logických podskupin m je možné použít následující metodu .

Průměrný podíl neshodných jednotek \bar{p} má normální rozdělení se střední hodnotou $\mu=p_0$ a s rozptylem

$$\sigma_p^2 = \frac{p_0(1-p_0)}{mn}$$

přičemž šířka poloviny konfidenčního intervalu je rovna:

$$\Delta = 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{mn}}$$

Podíl neshodných jednotek p je odhadnut s chybou γp_0 Pak platí:

$$3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{mn}} = \gamma p_0$$

$$9 \frac{p_0(1-p_0)}{mn} = \gamma^2 p_0^2 \rightarrow m = \frac{9(1-p_0)}{\gamma^2 p_0 n}$$

Praktická aplikace

Cílem je konstrukce regulačního p diagram pro podíl neshodných jednotek. Odhad podílu p'_0 neshodných je $p'_0=0,18$ a relativní posuv identifikovaný s pravděpodobností 50% je $\delta=1,67$. Pak pro velikost logické podskupiny platí

$$n_0 = \frac{9(1-p_0)}{p_0(\delta-1)^2} = \frac{9(1-0,18)}{0,18(1,67-1)^2} = 91,33$$

$$n_0 = 90$$

Uvažujeme-li s relativní chybou $\gamma=10\%=0,1$ pak počet podskupin o rozsahu $n_0=90$ je dán vztahem.

$$m_0 = \frac{9(1-p_0)}{n_0 p_0 \gamma^2} = \frac{9(1-0,18)}{90 \times 0,18 \times 0,1^2} \cong 46$$

Tab. č.2 - udává počty podskupin pro různé relativní chyby odhadu podílu neshodných jednotek.

γ	0,01	0,05	0,10	0,12	0,15	0,20	0,25
m	4556	183	46	32	21	12	8

Tab č. 1. – **Vztah počtu logických podskupin a různých relativních chyb**

Z Tab. č. 2 vyplývá, že počet logických podskupin m klesá s velikostí relativní chyby odhadu podílu neshodných jednotek.

Provedeme analýzu 3- sigma regulačního diagramu pro data z Tab. č. 3, kde i je číslo podskupiny každá o rozsahu 450 jednotek, x_i značí počet neshodných jednotek v každé podskupině, p_i je podíl neshodných jednotek i -té podskupině.

i	x_i	p_i	i	x_i	p_i
1	9	0,02	11	0	0
2	11	0,024	12	3	0,006
3	10	0,022	13	7	0,015
4	12	0,026	14	13	0,028
5	2	0,04	15	23	0,051
6	14	0,031	16	8	0,017
7	8	0,017	17	2	0,004
8	4	0,008	18	8	0,017

9	9	0,02	19	6	0,013
10	0	0	20	9	0,02

Tab č. 3 – Data výrobního procesu

$$\bar{p} = \frac{1}{20} \sum p_i = \frac{1}{20 \cdot 450} \sum x_i = \frac{158}{9000} = 0,0175$$

$$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0$$

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,018 + 3 \sqrt{\frac{0,018 \times 0,982}{450}} = 0,0368$$

15. podskupina je mimo regulační meze, proto ji vypustíme z výběru a stanovíme nové regulační meze.

$$LCL = 0$$

$$\bar{p} = \frac{1}{19 \times 450} \sum x_i = \frac{135}{19 \times 450} = 0,0158 = 0,016$$

$$CL = 0,016$$

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,016 + 3 \sqrt{\frac{0,016 \times 0,984}{450}} = 0,0337$$

Tyto revidované regulační meze UCL=0,0337; CL=0,016; LCL=0 umožňují udržovat proces na stabilní a přípustné úrovni.

Ke specifikaci účinnosti regulačního p diagramu se používá operativní charakteristika, která vyjadřuje pravděpodobnost, že nebude identifikována změna parametru p_0 na hodnotu δp_0 v jedné logické podskupině. Operativní charakteristika vyjádřená jako $\beta(\delta)$ je dána následujícími níže uvedenými vztahy

$$\beta(\delta) = P(LCL(\hat{p}_i) \leq \hat{p}_i \leq UCL(\hat{p}_i) | p = \delta p_0)$$

$$1. \beta(\delta) = B(UCL(x_i) - 1, n, \delta p_0) - B(LCL(x_i) - 1, n, \delta p_0)$$

$$2. \beta(\delta) = B(UCL(x_i), n, \delta p_0) - B(LCL(x_i), n, \delta p_0)$$

Prvá rovnice platí pokud je LCL celé číslo, druhá rovnice platí v případě, pokud LCL není celé číslo a B je distribuční funkce binomického diskrétního rozdělení.

$$UCL(x_i) = np_0 + 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$$

$$LCL(x_i) = np_0 - 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$$

Jestliže hodnota np_0 je 3÷4 je možné operativní charakteristiku vyjádřit pomocí normovaného normálního rozdělení resp. distribuční funkce tohoto rozdělení

$$\beta(\delta) \cong \Phi\left(\frac{p_0 + 3\sigma(p_0) - \delta p_0}{\sigma(\delta p_0)}\right) - \Phi\left(\frac{p_0 - 3\sigma(p_0) - \delta p_0}{\sigma(\delta p_0)}\right)$$

$$\sigma(p_0) = \sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}}; \sigma(\delta p_0) = \sqrt{\frac{\delta p_0(1-\delta p_0)}{n}}$$

Je možné se také zabývat funkcí $ARL(\delta)$, což je průměrná délka příběhu, nebo-li počet výběrů mezi 2 chybnými signály. Pokud jsou výběry nezávislé, průměrná délka přeběhu lze vyjádřit vztahem, což je střední hodnota geometrického rozdělení.

$$ARL(\delta) = \frac{1}{1 - \beta(\delta)}$$

Praktická aplikace

Sestrojíme operativní charakteristiku $\beta(\delta)$ a funkci průměrné délky přeběhu $ARL(\delta)$ pro 3 sigma p regulační diagram se známým podílem neshodných jednotek $p=p_0=10\%$ a s rozsahem logické podskupiny $n=100$ pomocí distribuční funkce binomického i normálního rozdělení. Hodnoty pro operativní charakteristiku a průměrnou délku přeběhu jsou v Tab. č. 4.

$$p_0=0,1=10\%$$

$$n=100$$

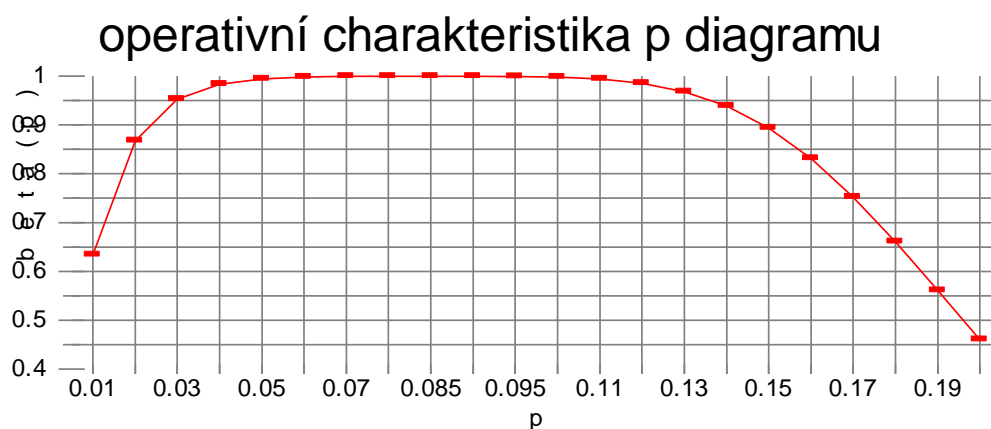
$$\sigma(p_0)=0,03$$

$$UCL=19$$

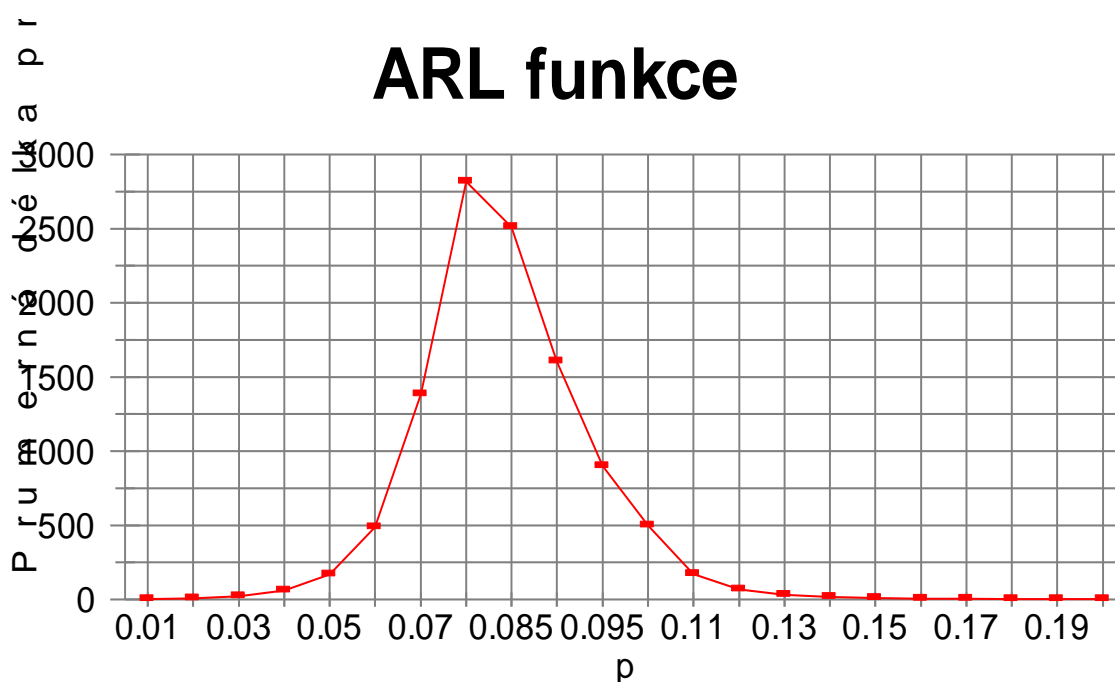
$$LCL=0$$

p	δ	$\sigma(\delta p_0)$	$\beta(p)$ dle binomického rozdělení	$\beta(p)$ dle N rozdělení	ARL(p) dle binomického rozdělení
0,01	0,1	0,00995	0,6340	0,5	2,73
0,02	0,2	0,014	0,8674	0,7625	7,54
0,03	0,3	0,017059	0,9524	0,8795	21,03
0,04	0,4	0,019596	0,9831	0,9371	59,28
0,05	0,5	0,021794	0,9941	0,9668	168,90
0,06	0,6	0,023749	0,9979	0,9824	486,22
0,07	0,7	0,025515	0,9993	0,9907	1382,99
0,08	0,8	0,027129	0,9996	0,9950	2817,74
0,085	0,85	0,027888	0,9996	0,9963	2510,,5
0,09	0,9	0,028618	0,9994	0,9972	16047
0,095	0,95	0,029321	0,9989	0,9975	898,9
0,1	1	0,03	0,9980	0,9973	498,7
0,11	1,1	0,031289	0,9941	0,9940	170,0
0,12	1,2	0,032496	0,9853	0,9840	68,0
0,13	1,3	0,03363	0,9680	0,9626	31,31
0,14	1,4	0,034699	0,9386	0,9251	16,27
0,15	1,5	0,035707	0,8935	0,8686	9,39
0,16	1,6	0,036661	0,8311	0,7934	5,92
0,17	1,7	0,037563	0,7523	0,7028	4,04
0,18	1,8	0,038419	0,6605	0,6027	2,95
0,19	1,9	0,03923	0,5609	0,4799	2,28
0,20	2	0,04	0,4602	0,4013	1,85

Tab č. 4 – Operativní charakteristika a funkce ARL pro p regulační diagram



Obr. č. 1 – Operativní charakteristika p regulačního diagramu



Obr. č. 2 – Průměrná délka přeběhu pro typ p regulačního diagramu

Závěr

Na obrázcích č.1 a č.2 jsou zobrazeny funkce – operativní charakteristika (pravděpodobnost, že skoková změna podílu neshodných produktů nebude identifikována na jedné logické podskupině) a průměrná délka přeběhu v závislosti na podílu neshodných produktů v logické podskupině.

Širší uplatnění teoretických východisek regulace srovnáním lze nalézt zejména v progresivní železniční dopravě. V rámci železniční dopravy lze aplikovat regulační procesy na lokomotivy, jednotlivé tratě v rámci specifikací technickoekonomických ukazatelů, jejichž cílové hodnoty jsou známy či sledovány na vyspělých evropských železnicích. Je nezbytné se soustředit na shodu s cílovými či požadovanými hodnotami ukazatelů a hledat příčiny neshod, které přispívají ke zvyšování kvality v železniční přepravě i z hlediska prevence.

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., Akademie věd ČR, Ústav teorie informace a automatizace
doc. Ing. Josef Bulíček, Ph.D., Univerzita Pardubice, DFJP

Ing. Jan Březina¹

Popis sítě a diagnostika železniční infrastruktury

Klíčová slova: *popis sítě, měřicí supertrasa, informační systém Provozního stavu sítě tratí, diagnostické prostředky, lokalizace dat, validace dat, datový sklad diagnostiky*

Anotace

Článek stručně představuje metody, kterými jsou data z diagnostických prostředků TÚDC naměřena a lokalizována na síti tratí SŽDC, a podrobněji se zaměřuje na zpracování dat v informačním systému Provozního stavu sítě tratí (IS PSST) v oblasti diagnostiky železničního svršku. Během měření i následného vyhodnocení dat je kladen důraz na přesný popis a lokalizaci naměřených dat ve smyslu předpisu SŽDC M12, který definuje metodiku popisu železniční sítě tratí a kolejíšť SŽDC. Certifikovaná a konsolidovaná data z IS PSST v podobě sestav a datových souborů jsou k dispozici jednotlivým stupňům řízení organizace od správců tratí až po manažery infrastruktury pro efektivnější rozhodování v oblasti správy, údržby a oprav železniční infrastruktury.

Annotation

The article concisely introduces methods of TÚDC diagnostics data acquisition and localization in SŽDC rail network. It also focuses on data processing in information system for operational state of rail network (IS PSST) in railway superstructure diagnostics. During the measurement and following data evaluation is emphasized exact description and localization of measured data according to the regulation SŽDC M12, which defines methodology of SŽDC rail network description. Certified and consolidated data from IS PSST as reports and data files are available for particular levels of organization's management, from railway administrators to infrastructure managers, in order to decide more effectively in administration, maintenance and repairs of railway infrastructure.

¹ Ing. **Jan Březina** (*1982), absolvent fakulty dopravní ČVUT v Praze, obor dopravní infrastruktura v území, v současnosti pracuje jako vedoucí Oddělení diagnostiky železničního svršku na pracovišti v Hradci Králové, Technická ústředna dopravní cesty organizační jednotka, SŽDC s.o.

Úvod

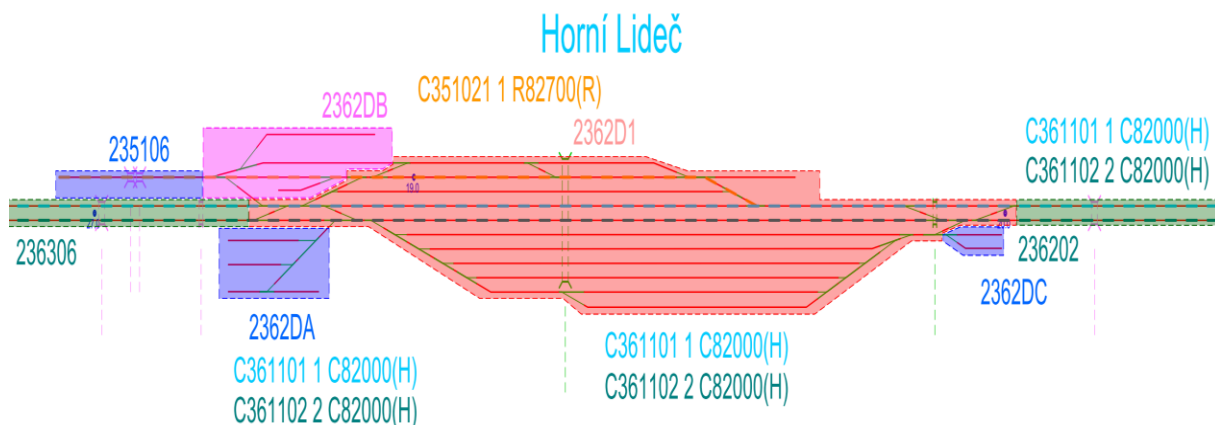
Článek se zaměřuje na způsob, jakým jsou lokalizovány výstupy z diagnostických prostředků na tratích ve správě SŽDC. Tato organizace spravuje přibližně 15 300 km kolejí, které jsou v majetku České Republiky. Diagnostiku železničních tratí má přitom z velké části na starosti její organizační jednotka Technická ústředna dopravní cesty (dále TÚDC). TÚDC provozuje diagnostické prostředky, pomocí kterých v předepsaných pravidelných cyklech sleduje parametry v rámci celé sítě, přitom TÚDC ročně změří celkem přibližně 60 000 km kolejí. Během měření i následného vyhodnocení dat je kladen důraz na přesnou lokalizaci, především z důvodu jednoznačné a přesné identifikace pořízených a zpracovaných dat a k rychlé orientaci na železniční infrastrukturu. Jako příklad je v článku popsán tento proces u diagnostiky železničního svršku, postupně je však tento postup implementován na další oblasti diagnostiky železniční infrastruktury.

Popis sítě

Základním předpisem, který definuje metodiku popisu železniční sítě tratí a kolejišť ve správě SŽDC, je předpis SŽDC (ČD) M12 „Předpis pro jednotné označení tratí a kolejišť v informačním systému ČD“. Ten je doplněn předpisem SŽDC M21 „Topologie sítě a staničení tratí železničních drah“ stanovující pravidla ohledně staničnicků.

Z obou předpisů se pro lokalizaci naměřených dat využívají identifikátory:

- TUDU (traťový a definiční úsek) – šestimístný kód popisující objekt v síti (např. 2362D1 ŽST Horní Lideč, obr. č. 1)
- Kilometrická poloha - číselná hodnota odpovídající staničení v trati



Obrázek 1: Ukázka TUDU, hlavních supertras a navazujících TUDU v ŽST Horní Lideč (zdroj: schemata.tudc.cz)

horní lideč

Výběr supertras: TDNU ZPT

Ozn.	Supertrasa	Kol.	Zdroj	Komentář	Super Z
C82000	C361DN1	1	45300	Horní Lidec st.hr.-Hranice na Moravě	1774287
C82000	C361DN2	2	45300	Horní Lidec st.hr.-Hranice na Moravě	1774289
R82700	C351DN1	1	45300	Bylnice - Horní Lidec	1774564

Výběr složky: Otočit

RTudu	Od Km	Do Km	Jméno	Delka	Super D
236306	21,110	27,261	Horní Lideč st.hr. - Horní Lideč	6151m	1778226
2362D1	18,721	20,019	žst. Horní Lideč	1298,46m	1778227
236202	20,019	28,320	Horní Lideč - Valašská Polanka	8301m	1778228
2362B1	28,320	29,308	žst. Valašská Polanka	987,47m	1778229
236204	29,308	35,327	Valašská Polanka - Vsetín-Bečva	6019m	1778230
2362C1	35,327	37,328	žst. Vsetín-Bečva	2001m	1778231
2362C5	37,328	38,378	žst. Vsetín	1049,80m	1778232
236118	43,433	38,182	Vsetín - Jablůnka	5251m	1778233
236111	28,182	27,141	žst. Jablůnka	1041,22m	1778234

Výběr výhybky:

Číslo	Výh.	Poloha	Omt	RP	♥	Přestav.	Tudu	Od Km Ex.	Do Km Ex.	Stdélka	Čísjv	Rold	VVyh.	KomV.
1D							2362D1	18,721	18,731	9,77	45323	6694455		
6		JCP	u	K	EM		2362D1	18,731	18,764	33,23	45323	6694456	80	Obl-o S49-1-9-300(1660/366)-P-p-HZ-d-K-ZP-N
7		JCL	u	K	EM		2362D1	18,764	18,797	33,23	45323	6694457	80	J S49-1-9-300 -L-p-HZ-d-K-ZP-N
1C							2362D1	18,797	18,801	4	45323	6694454		
9		JAL	u	K	EM		2362D1	18,801	18,834	33,23	45323	6694458	80	J S49-1-9-300 -L-l-HZ-d-K-ZP-N
11		JAP	u	K	EM		2362D1	18,834	18,867	33,23	45323	6694459	80	J S49-1-9-300 -P-p-HZ-d-K-ZP-N
1							2362D1	18,867	19,561	693,54	45323	6694451		
30		JCP	u	K	EM		2362D1	19,561	19,594	33,23	45323	6694460	80	J S49-1-9-300 -P-p-HZ-d-K-ZP-N
1A							2362D1	19,594	19,823	229	45323	6694452		

Obrázek 2: Ukázka složek a rozkladů jedné supertrasy v ŽST Horní Lideč (zdroj: TQI)

Pro potřeby diagnostických prostředků jsou sestavovány tzv. měřicí supertrasy. Základními prvky supertrasy jsou koleje, výhybky a výhybkové konstrukce. Z těchto na sebe navazujících prvků jsou skládány trasy průběžných kolejí. Ty jsou následně děleny na díly (složky) supertras podle toho, zda se jedná o stanice, nebo mezistaniční úseky (obr. č. 2). Každá supertrasa obsahuje informace o TUDU, kilometrické poloze prvku a číslu koleje. Ke každému prvku lze díky jednoznačné identifikaci přiřadit informace ze železničního pasportu (např. maximální traťová

rychlost, převýšení koleje, poloměr oblouku atd.). Supertrasy jsou připravovány specializovaným softwarem na jednotlivých správách tratí a jsou aktualizovány dvakrát do roka v květnu a listopadu v rámci tzv. kampaně. Datové soubory jsou následně certifikovány Odborem traťového hospodářství na GŘ SŽDC a oficiálně zveřejněny na FTP server TÚDC.

Informační systém Provozního stavu sítě tratí

Již více než 10 let SŽDC provozuje informační systém Provozní stav sítě tratí (dále IS PSST). Provozovatelem a správcem systému je TÚDC, která zabezpečuje jeho provoz a další rozvoj. Cílem vybudování tohoto informačního systému bylo získání komplexního souhrnu informací o reálném provozním stavu sítě tratí. Do systému jsou shromažďována data z mobilních diagnostických prostředků a data z ostatní dohledací činnosti na trati.

IS PSST pracuje nad jednotnou lokalizační bází, kterou jsou supertrasy doplněné o pasporty (v našem případě o pasport železničního svršku). Během aktualizace kampaně jsou v IS PSST zaznamenávány změny v supertrasách, tzv. párování. Párování je důležité pro vytvoření vazby na daný prvek supertrasy v předchozí kampani. Pomocí této vazby se všechna dříve naměřená data přepočítají na aktuálně platnou kampaň supertras, což umožňuje vytvářet časové řady a zpracovávat reporty s hodnocením měření v časovém průřezu (ukázka obr. č. 3).

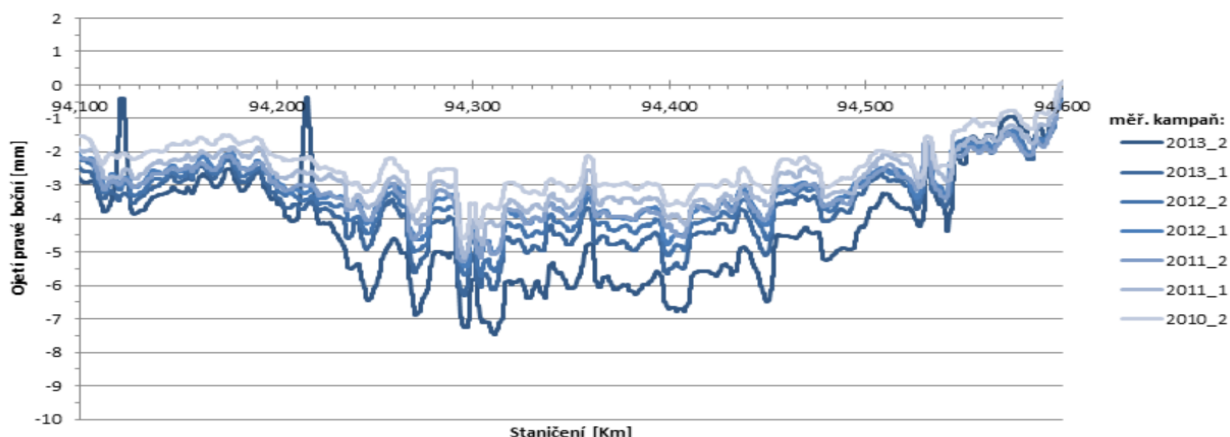
IS PSST se skládá ze dvou modulů:

- SORUT – Systém Operativního Řízení Údržby Tratí
- SMV – modul obsahující data z diagnostických prostředků

SORUT je informační systém operativního zpracování informací získaných z diagnostických prostředků a dohledací činnosti správce tratí. Slouží ke sběru, evidenci a vyhodnocení stavu tratí.

Modul SMV využívá několik středisek TÚDC. Jedná se o hlavní modul pro střediska pracující s diagnostickými prostředky železničního svršku a spodku.

Vývoj bočního ojetí pravého kolejnicového pasu v úseku Letohrad - Těchonín km 94,100 - 94,600



Obrázek 3: Ukázka časové řady vývoje bočního ojetí kolejnice v úseku supertrasy
(zdroj: autor)

Modul SMV slouží:

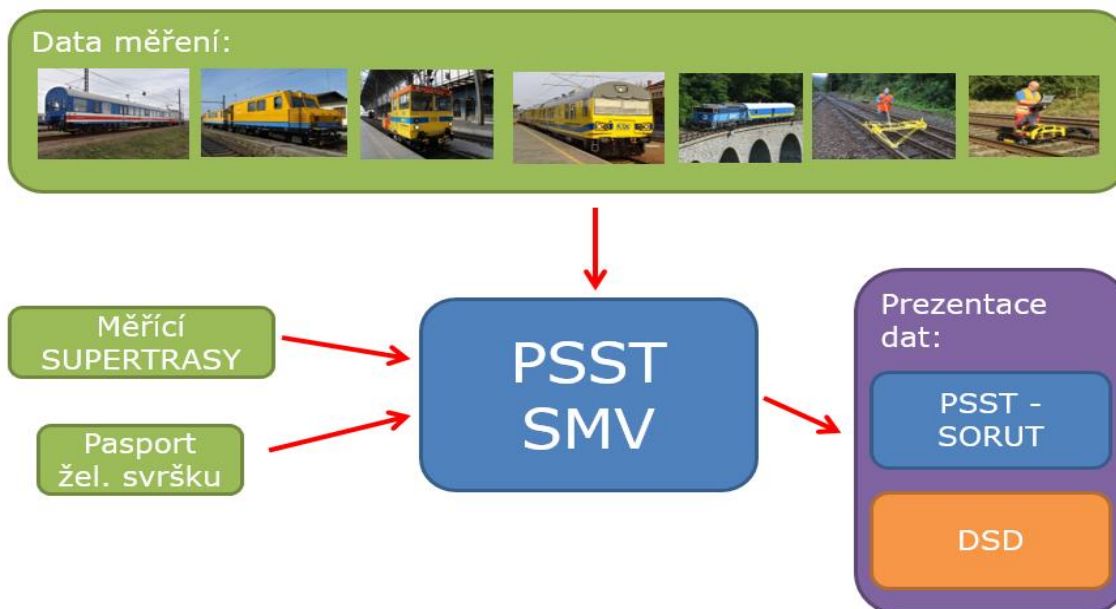
- k ukládání dat z diagnostických prostředků
- k validaci naměřených dat a evidenci reklamací
- ke zpřesnění lokalizace naměřených dat
- k vytváření plánů měřicích jízd
- ke komunikaci s dalšími informačními systémy (např. Compost, DOMIN, DSD)

V současnosti modul SMV umožňuje import dat z diagnostických prostředků pro měření železničního svršku a spodku:

- 1) MVŽSv – měřicí vůz železničního svršku pro měření geometrických parametrů koleje (dále GPK)
- 2) MD.1 – měřicí drezína pro měření GPK
- 3) MMD.1 a MMD.2 – malé měřicí drezíny pro měření GPK
- 4) DJNDT – diagnostická jednotka NDT pro defektoskopickou kontrolu kolejnic
- 5) MVGPR – měřicí vůz pro georadarovou metodu, diagnostika železničního spodku
- 6) KRAB vozík – ruční vozíky pro měření GPK
- 7) ET vozík – ruční vozík pro diagnostiku kolejnic vířivými proudy

Naměřená data z uvedených diagnostických prostředků jsou uložena do databáze a připravena k procesu validace. Pokud se vyskytnou nesrovnalosti a je potřeba data označit za nevalidní, v SMV je provozován modul reklamací, který slouží k evidenci chyb a jejich řešení. Jakmile jsou data označena za validní, jsou připravena k lokalizaci (tzv. čištění dat) na měřicí supertrasy (detailněji popsáno v kapitole Validace a lokalizace naměřených dat). Validní a „vyčištěná“ data jsou uzavřena a prohlášena za certifikovaná. Tato data jsou následně k dispozici

SORUTu a Datovému skladu diagnostiky (dále DSD), který slouží jako prezentační a archivační vrstva SMV.



Obrázek 4: Datové vstupy a výstupy PSST – SMV (zdroj: autor)

Na začátku každé kampaně, předtím než se začnou plánovat měřicí jízdy, je třeba pro jednotlivé měřicí supertrasy určit četnost měření. Z pasportu železničního svršku se načte maximální traťová rychlost supertrasy, podle níž se určí rychlostní pásmo dle normy ČSN 736360-2 „Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba“. Předpis SŽDC S2/3 „Organizace a provádění prohlídek a měření na železničních drahách celostátních a regionálních“ pak stanovuje četnosti měření podle rychlostních pásem. Ze získané četnosti a posledního data měření na dané supertrase vypočte modul plánování lhůtu, ve které se musí uskutečnit následující měřicí jízda. Četnosti jízd se vypočítávají na začátku každé kampaně nově z důvodu změn v pasportech, např. zvyšování traťové rychlosti.

Pro potřeby přípravy plánů jízd diagnostických prostředků je v části SMV zakomponován modul plánování. Plánování je realizováno pomocí aplikace Měřicí vozy, která komunikuje se SMV. Základem je kalendář jednotlivých diagnostických prostředků a katalog supertras. Díly supertras jsou skládány podle navazujících úseků a přiřazovány k jednotlivým dnům v kalendáři v takovém pořadí, aby se daly fyzicky diagnostickým prostředkem projet. Zároveň probíhají kontroly, zda je lhůta měření splněna a zda není jízda v kolizi s výlukou traťového nebo staničního úseku. Kontrola výluk se provádí pomocí komunikace s provozní úlohou Dopravní omezení infrastruktury (dále DOMIN). Pokud je denní plán v pořádku, je uložen do SMV a je

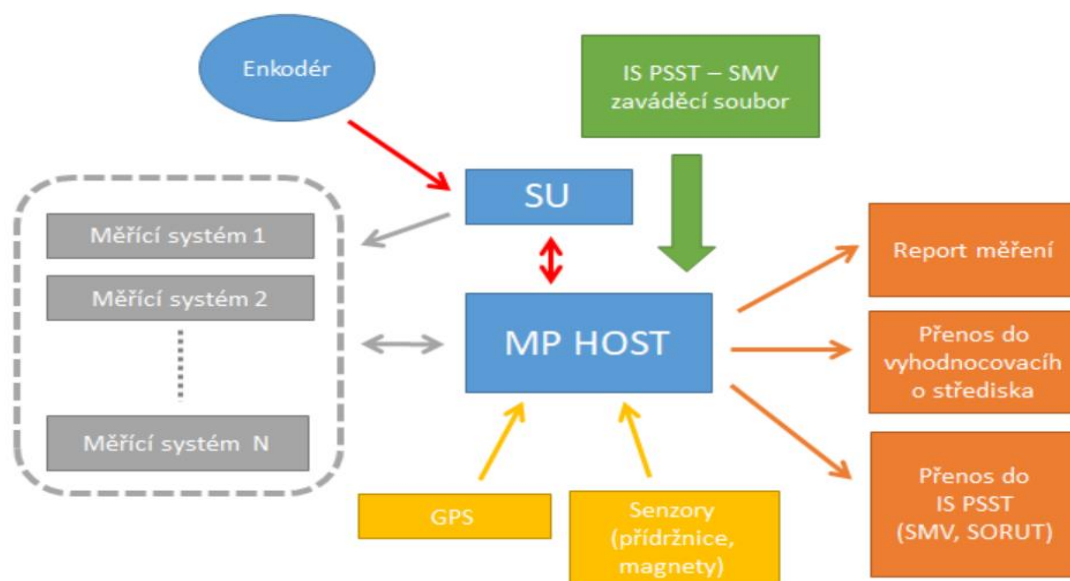
připraven k dalším úlohám. Nejdůležitější úlohou je sestavit tzv. zaváděcí soubor pro lokalizační systém na diagnostickém prostředku.

Zaváděcí soubor je datový formát, který obsahuje informace o denním plánu, dále jaké díly supertras (TUDU) se mají změřit, kilometrické polohy jednotlivých dílů, rychlostní pásmo a doplňující informace pro osádku diagnostického prostředku. Soubor je v textové podobě zasílán na jednotlivé diagnostické prostředky před samotnou jízdou a bez jeho vytvoření není možné naměřená data správně lokalizovat.

Modul SMV je vytvořen modulárně, je tedy možné do systému přidávat další diagnostické prostředky. Připravuje se integrace diagnostických prostředků pro měření prostorové průchodnosti tratí nebo nového vozu pro měření železničního svršku (MVŽSv2) a nové měřicí drezíny (MD.2). Cílem je nastavit u diagnostických prostředků jednotné procesy zpracování naměřených dat, jejich validaci, lokalizaci, certifikaci a poskytnutí dat dalším informačním systémům SŽDC využívajícím jednotnou lokalizaci.

Měřicí systémy a lokalizace

Diagnostické prostředky TÚDC zpravidla obsahují několik měřicích systémů různých výrobců. Každý výrobce se snaží svůj měřicí systém přizpůsobit svým zvyklostem. Aby jednotlivé měřicí systémy komunikovaly mezi sebou stejně a správně přiřazovaly svá naměřená data, obsahují diagnostické prostředky sestavu dvou zařízení, jejichž vývoj zajistila TÚDC.



Obrázek 5: Schématické zobrazení datových toků na diagnostickém prostředku MVŽSv (zdroj: autor)

Jedná se o tato zařízení:

- synchronizační jednotka SU
- lokalizační systém MP HOST

Synchronizační jednotka (dále SU) je měřicí zařízení s připojeným enkodérem. Enkodér, s citlivostí minimálně 2500 pulzů na otáčku, je instalovaný na ložiskovém domku osy (obr č. 7). SU poskytuje měřicím systémům hardwarové dráhové čtvrtmetrové pulzy (dále QMP) nebo přímé výstupy („milimetrové pulzy“) z enkodéru. Vedle toho propojuje MP HOST a připojené měřicí systémy hardwarovými signály pro vzájemné informování připravenosti k měření. Pro přesný výpočet délky pulzu má v sobě SU uloženou informaci o poloměru kola, kterou lze v závislosti na ojíždění dvojkolí měnit. SU slouží ke galvanickému oddělení všech jeho a jím procházejících signálů. Slouží také k simulaci jízdy v případě hledání poruchy.

Aby bylo možné jednotlivá naměřená data z různých systémů jednoznačně spárovat, byla stanovena jedinečná vazba qmpID. Každý čtvrtmetrový pulz QMP vyslaný synchronizační jednotkou je označen číslem qmpID. Toto číslo je při novém startu měření vynulováno a v každém měření označuje pořadové číslo naměřeného vzorku. Vazba qmpID je nezávislá na organizačních změnách, kdy se během měření přejíždí několik obvodů správ tratí, a na lokalizování dat. Kilometrická poloha a názvy dílů supertras jsou pouze atributy, které lze při čištění dat upravovat.

Lokalizační systém TÚDC (dále MP HOST) je základním ovládacím pracovištěm diagnostických prostředků. Jedná se o multifunkční zařízení nadřazené všem připojeným měřicím systémům. MP HOST a měřicí počítače jsou propojeny se synchronizační jednotkou napřímo speciálním datovým kabelem. Dalšími připojenými zařízeními jsou snímače automaticky detekovaných objektů na trati (přidrážnice, magnetické značky, čipy) a přijímač GNSS (Globální družicový polohový systém).



Obrázek 6: Korekční krabička MVŽSv
(autor: T. Charvát)



Obrázek 7: Enkodér na ložiskovém
domku osy MVŽSv (autor: T. Charvát)

MP HOST vytváří:

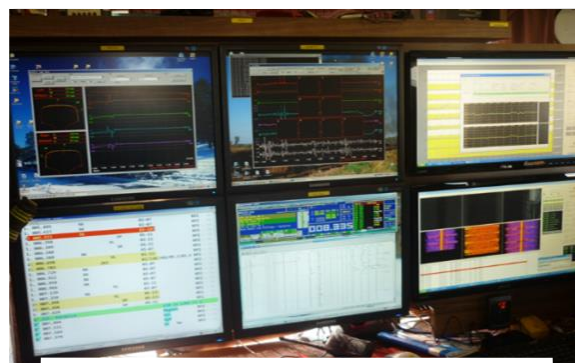
- lokalizační informace
- DM-soubor s daty

MP HOST pro svoji práci používá zaváděcí soubor s popisem denního plánu a základním popisem dílů supertras. Během měření je počítačem MP HOST posílána v reálném čase lokalizační (trasová) informace pro připojené měřicí systémy. Tato lokalizační informace je vždy vztažena ke qmplD. Jednotlivé měřicí systémy si musí odpočítávat své vlastní qmplD na základě QMP získaných od synchronizační jednotky, aby mohly lokalizační informaci z MP HOST správně připojovat k naměřeným datům.

Během měření mají operátoři na diagnostických prostředcích možnost provádět korekce staničení podle viditelných staničnicků podél trati, a to prostřednictvím klávesnice na řídicím stanovišti vpředu (obr. č. 8) nebo pomocí korekčních krabiček (obr. č. 6) na operátorském stanovišti uvnitř soupravy (obr. č. 9). Korekce jsou též prováděny automaticky na hranici TUDU, pokud jsou v kolejišti instalované magnetické značky. Zároveň probíhají v MP HOST pokusy s automatickými korekcemi pomocí GPS souřadnic. V principu se jedná o porovnávání naměřených GPS souřadnic pomocí antény se získanými polohovými souřadnicemi ETRS89 z digitální přehledové mapy (dále DPM). V DPM jsou ke každému staničnicku přiřazeny polohové souřadnice ETRS89.



Obrázek 8: Operátorské pracoviště na MD.1 s MP HOST (zdroj: autor)



Obrázek 9: Operátorské pracoviště na MVŽSv (zdroj: autor)

Od startu měření po ukončení měření přijímá MP HOST od měřicích systémů vybraná naměřená data. Výběr dat je dán služební rukověťí SR103/4 „Využívání měřicích vozů pro železniční svršek s kontinuálním měřením tratě pod zatížením“ (bude nahrazena předpisem SŽDC S2/4) a jedná se o veličiny, které je nutné ihned vyhodnotit a předat správcům tratí, neboli veličiny mající vliv na bezpečnost drážního provozu. Naměřená data z různých měřicích systémů obsahují položku qmplD, podle které je MP HOST spojuje a přiřazuje jim lokalizační informaci. Vše následně ukládá do vlastního výstupního souboru ve formátu DM. Vzniklý DM-soubor je čitelný pouze nástroji TÚDC a splňuje základní požadavky na bezpečný formát. Vytvořený DM-soubor je průběžně zasílán výpočetnímu modulu, který zajišťuje tvorbu sestav

výpisu měření a grafu měření. Obě sestavy jsou přeposílány na síťové tiskárny a během měření tisknuty na adresný tiskopis. Tištěné výstupy jsou ihned po doměření předány správcům tratě. Výpočetní modul vytváří i soubor tzv. zrychlených závad GPK, který se po ukončení měření odesílá do střediska a je importován do IS PSST, aby správci tratí měli aktuální závady do druhého dne v PSST – SORUT. Sestava zrychlených závad v PSST – SORUT je nazývána AGP. Veškeré snahy o lokalizování naměřených dat na diagnostických prostředcích lze chápat jako primární (necertifikovanou) lokalizaci.

Validace a lokalizace naměřených dat

Po ukončení měření jsou data přenášena do vyhodnocovacího střediska. V první fázi jsou pomocí VPN sítě přenášeny DM-soubory, které objemově nejsou velké. DM-soubor lze pomocí prohlížečského programu DMW zobrazit jako graf měření. Proškolení zaměstnanci data prochází, hledají anomálie měření, a pokud jsou data v pořádku, prohlásí DM-soubor za validní. V posledním kroku se může provést import do PSST – SMV.

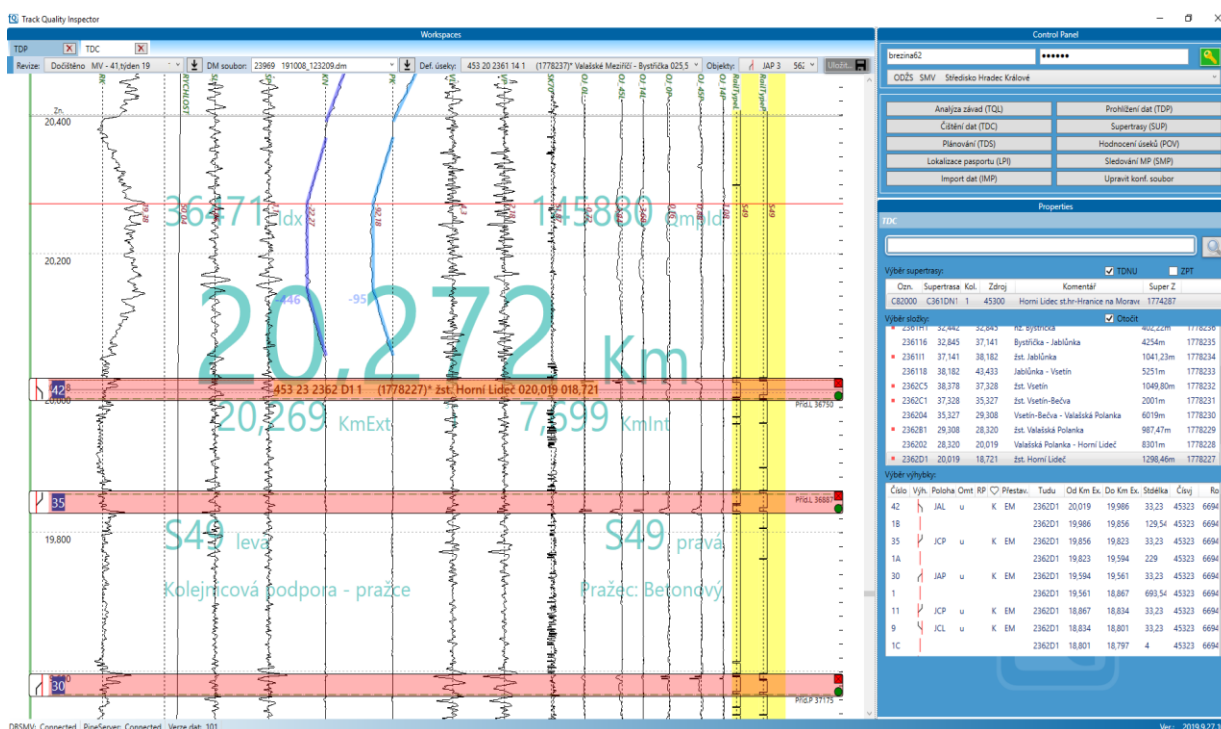
Zbývající data jsou z jednotlivých diagnostických prostředků dopravována do vyhodnocovacího střediska na externích úložištích po ukončení měřicího týdne. Všechna doručená data jsou následně ukládána na interní uložení a importována do PSST – SMV. Řídícím importním souborem je DM-soubor, ke kterému jsou ostatní data pomocí vazby na qmpID připojována. Po importu se provádí zbývající validace dat. Pokud se objeví chyba nebo problémové místo, jsou všechny nestandardní stavy evidovány v IS PSST v modulu reklamací, včetně opatření, které bylo nutné přijmout.

Jakmile jsou všechna data validní a uložena v PSST – SMV, může se začít se zpřesňováním lokalizace (tzv. čištění dat) pomocí specializovaných softwarů. Hodnotitelé v kanceláři využívají následující aplikace:

- TQI – Track Quality Inspector (autor: TÚDC)
- DMWMAP – Data Measurement Viewer Map (autor: TÚDC)
- Měřicí vozy – (autor: HSI–Unicorn)

Primární aplikací je TQI, který vznikl jako grafická nadstavba pro aplikaci Měřicí vozy. TQI umožňuje vyhodnocovačům si z PSST – SMV načíst naměřená data jako graf, který se během měření tiskl online na diagnostickém prostředku. Pracovní obrazovka je v aplikaci rozdělena na dvě části. V první se zobrazuje graf měření a ve druhé katalog supertras, který obsahuje díly supertras a základní stavební prvky (kolej, výhybka a výhybková konstrukce). Na základě ustálených pravidel se uživatel snaží umístit stavební prvek do grafu. Každý prvek totiž vykazuje typické vlastnosti v signálech GPK nebo ojetí kolejnic. Zároveň jsou hodnotitelům k dispozici informace

z čidel (střed přídržnice, magnetické značky) a polohové souřadnice ETRS89, které lze zobrazovat v aplikaci DMWMAP (obr. č. 11). Po umístění minimálně dvou prvků supertrasy začne algoritmus v TQI počítat lokalizační tabulku. Lokalizační tabulka počítá rozdíly mezi ujetou vzdáleností podle enkodéru a stavební délkou prvků supertrasy. Rozdíl musí být menší než nastavené tolerance, jinak se hledají důvody jeho vzniku. Hodnotitel má též k dispozici údaje z dostupných pasportů. U pasportu železničního svršku je možné do stopy převýšení koleje celkové (PKcel) nebo křivosti kvazistatické (KRks) vložit projektované hodnoty převýšení a poloměry oblouků, které se podle vzorce převedou na křivost (obr. č. 10). Cílem práce v TQI je, aby naměřená data nejvíce odpovídala lokalizačnímu podkladu (supertrasám). Výsledkem je vytvoření bodů jistoty, které se přenášejí do aplikace Měřicí vozy.



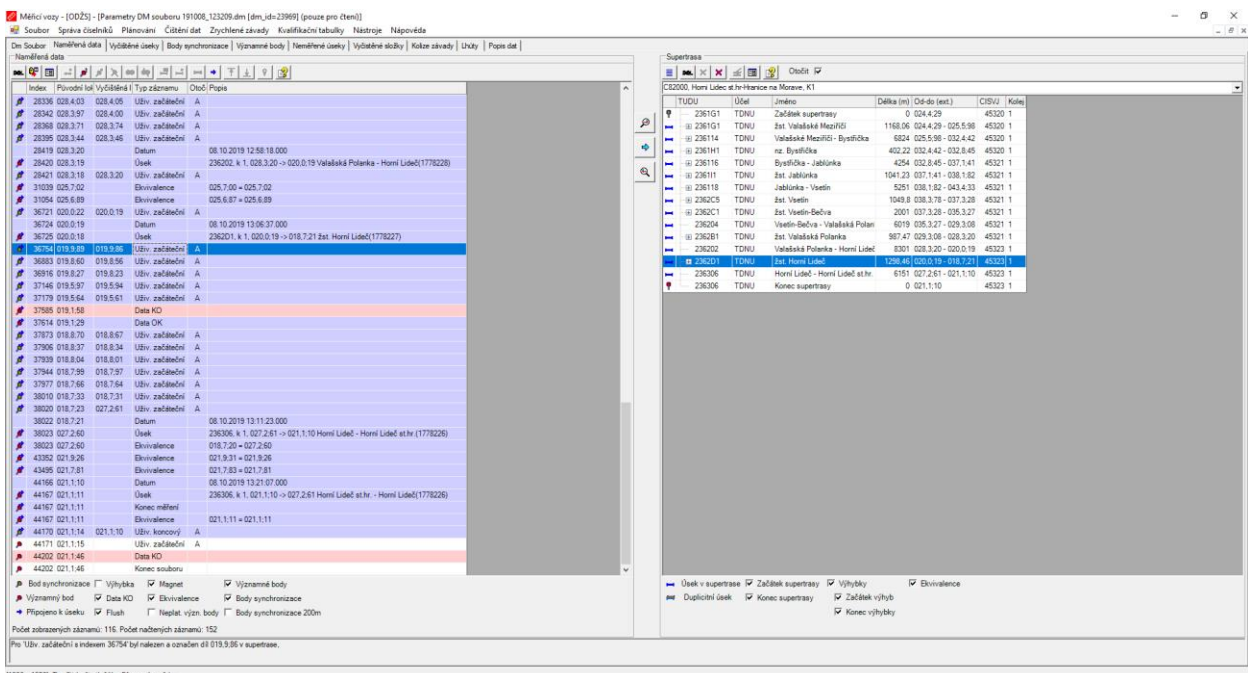
Obrázek 10: Ukázka zlokalizovaných dat v aplikaci TQI (zdroj: autor)

Pomocnou aplikací je DMWMAP, která slouží jako prohlížečka čelních snímků pořízených během měřicí jízdy a pro zobrazení bodů jistoty z TQI v mapě. Čelní snímky jsou vytvářeny a s popisem ukládány každých 20 metrů. K dispozici jsou vlastní podkladová mapa DPM a ortofoto mapa, která je v majetku SŽDC a pravidelně se aktualizuje. V DMWMAP existuje funkce pravítka, pomocí které lze v mapě odměřovat vzdálenost a výsledek si kontrolovat dle ujetí vzdálenosti diagnostickým prostředkem.

Finální aplikací, kterou pracovníci vyhodnocovacího střediska používají, je aplikace Měřicí vozy (obr. č. 12). Jedná se o původní aplikaci vyvinutou při zavádění PSST – SMV do provozu. V průběhu let je tato aplikace stále aktualizována a vylepšována.



Obrázek 11: Ukázka aplikace DMWMAP v propojení s TQI (zdroj: autor)



Obrázek 12: Ukázka pracovní obrazovky aplikace Měřicí vozy (zdroj: autor)

Aplikace slouží:

- k tzv. čištění naměřených dat
- k sestavování plánů měřících jízd a k tvorbě zaváděcího souboru
- k tvorbě rozboru a připravenosti vlaku
- ke správě supertras a vytváření kampaně
- ke správě zrychlených závad
- ke kontrole výluk s plány měření

Vyčištěná data v aplikaci TQI jsou přenesena pomocí bodů jistoty do aplikace Měřicí vozy. Hodnotitelé provedou poslední kontroly a upřesní pořadí měření v daném roce. Následně jsou body jistoty uloženy do změřených úseků. Celý proces čištění končí naplánováním výpočtu nových závad GPK (validních), úsekových hodnocení a sestavení nově zlokalizovaných grafů měření. Lokalizovaná data od hodnotitelů jsou prohlášena za certifikovaná a přenesena do dalších systémů (PSST – SORUT, DSD).

Prezentace výsledků měření

Certifikovaná data jsou prezentována v systémech PSST – SORUT a DSD, ve kterých jsou zveřejněna v následujících formátech výstupů:

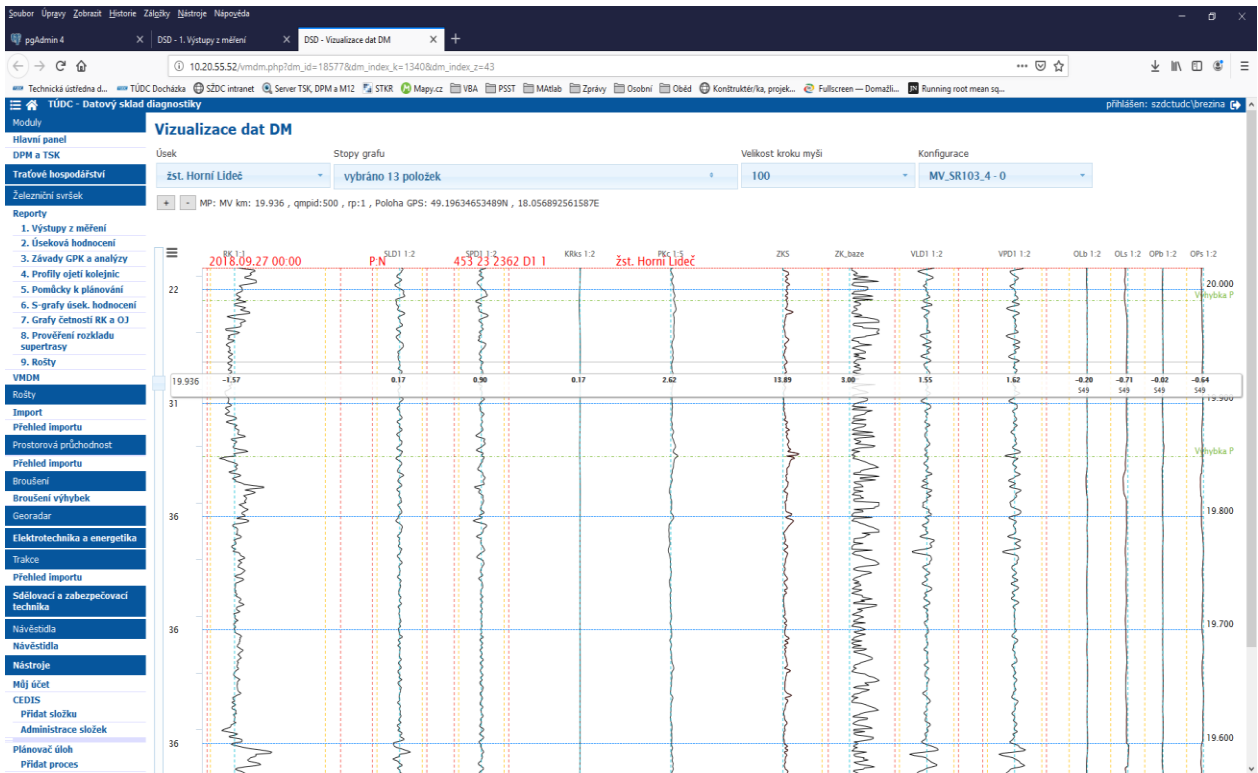
- závady GPK (PSST – SORUT, DSD)
- graf měření (DSD)
- výpis měření (DSD)
- úseková hodnocení (DSD)
- ojetí kolejnic (DSD)
- čelní fotografie (DMWMAP)

Oba systémy vyžadují u každého uživatele přístupová oprávnění (role) přidělená podle pracovního zařazení. Zároveň se uživatelům aplikace stanovuje obvod a rozsah činnosti, podle jejich pracovního zařazení. Nejmenší stanovenou jednotkou je traťový okresek.

Základním výstupem v PSST – SORUT je „Přehled závad“, kde má uživatel řadu možností, jak záznamy vybírat, řadit a třídít. Do přehledu závad jsou zasílány i závady GPK (v případě DJNDT zde uživatel nalezne defektoskopickou hlášenku). Cílem je evidence opatření a následného odepsání závady ve smyslu její opravy.

Datový sklad diagnostiky (DSD) je prezentační vrstvou PSST – SMV. Zde jsou pro uživatele zpracovány analýzy dat ve formě čtyř reportů. DSD zároveň slouží pro dlouhodobou archivaci dat a pro zpracování dat z přehledové mapy DPM (tematizace mapy).

Prvním reportem jsou výstupy z měření, kde si uživatel může stáhnout výpis závad z diagnostických prostředků železničního svršku nebo otevřít digitální graf (obr. č. 13) odpovídající tištěnému grafu.



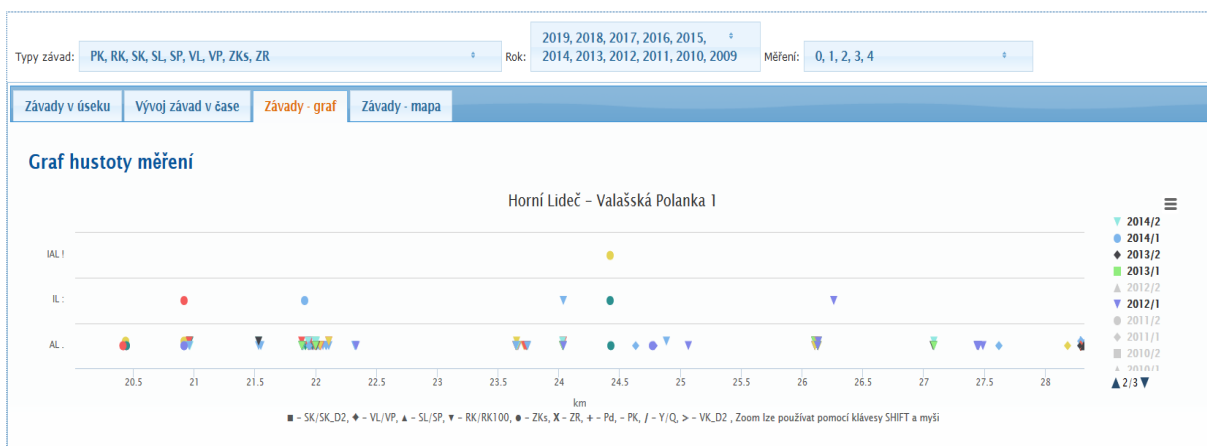
Obrázek 13: Digitální graf s posuvným pravítkem (zdroj: DSD)

Druhým reportem jsou úseková hodnocení (obr. č. 14). Uživatel si může porovnat, jak se jednotlivé parametry GPK vyvíjí v čase.



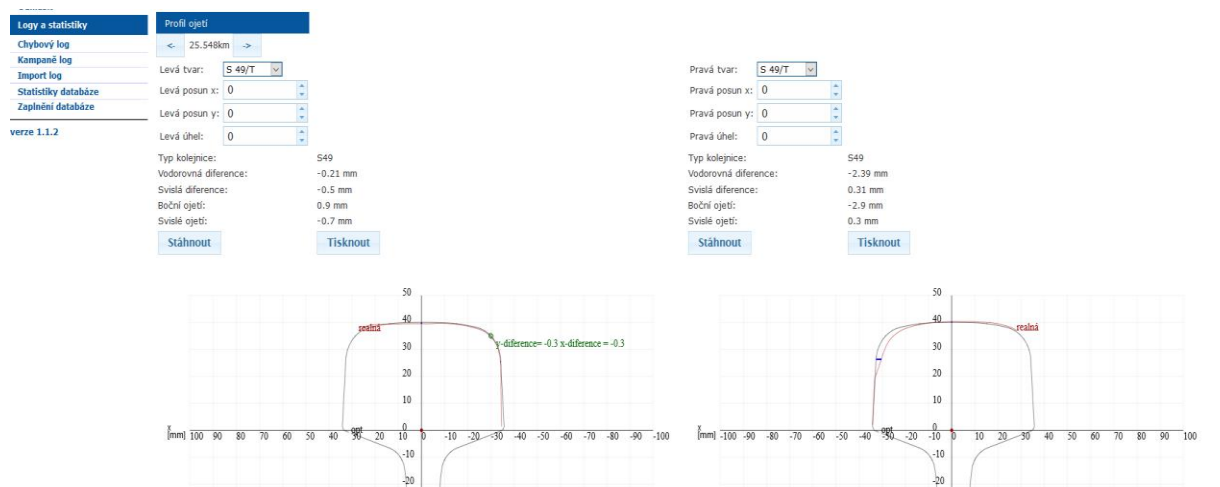
Obrázek 14: Vývoj úsekového hodnocení CZK ve sledovaném období za složku supertrasy (zdroj: DSD)

Třetím reportem jsou závady GPK (obr. č. 15). Jedná se hlavně o grafické vyjádření hustoty výskytu závad GPK v čase. Tedy zda dochází k jejich efektivnímu odstraňování nebo k cycklickému opakování.



Obrázek 15: Graf hustoty závad GPK ve složce supertrasy (zdroj: DSD)

Čtvrtý report slouží k prohlížení příčných profilů hlavy kolejnic (obr. č. 16) a ojetí kolejnic, které byly naměřeny měřicím vozem pro železniční svršek nebo měřicí drezínou.

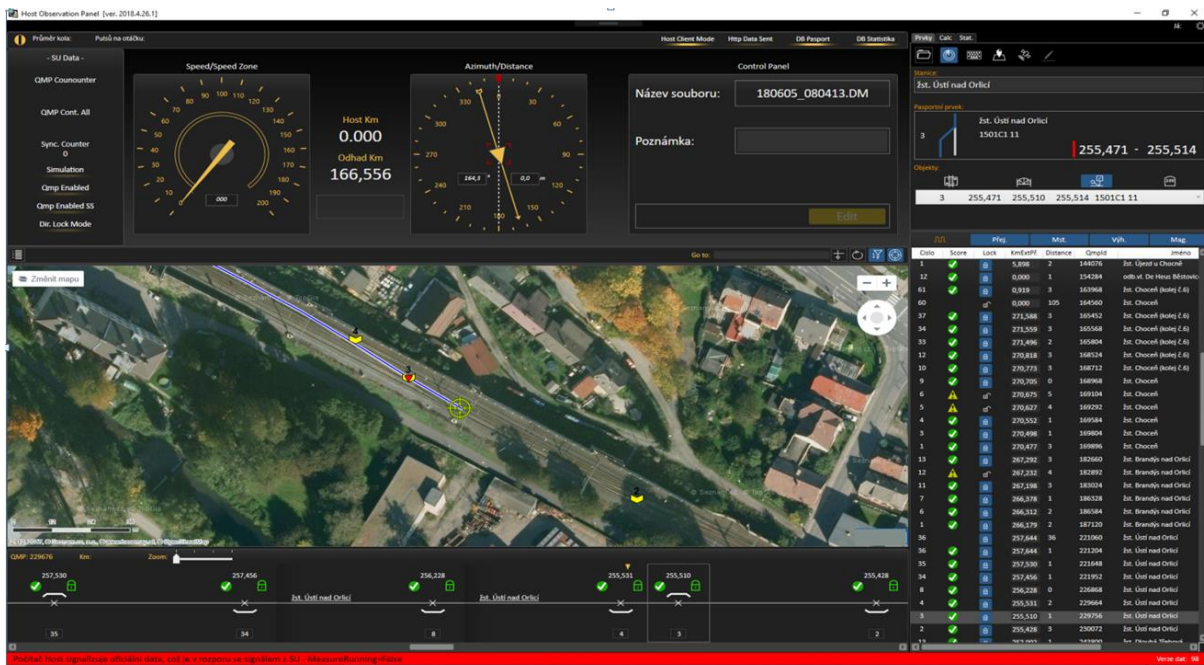


Obrázek 16: Report prohlížení příčných profilů kolejnic (zdroj: DSD)

Závěr

Procesem lokalizace dat se zabývá na TÚDC skupina hodnotitelů. Část procesu je stále závislá na jejich zkušenostech při práci s daty a umístování prvků supertras do grafu v aplikaci TQI. Vývoj v této oblasti je směřován do převzetí části denně realizovaných úkonů měřicími počítači, které v ideálním případě zajistí přesnou lokalizaci dat již na diagnostických prostředcích. Pro tento záměr je sledován proces

využití získaných GPS souřadnic podle podkladové mapy DPM a porovnávání dat s hodnotami z minulých měření. V PSST – SMV by následné procesy měly pracovat již s „vyčištěnými daty“. První testy automatického „čištění“ se nyní realizují na MVŽSv pomocí aplikace HOP (Host Observation Program) (obr. č. 17).



Obrázek 17: Ukázka aplikace HOP sloužící k záznamu měřící jízdy, první pokus o automatické čištění (zdroj: A. Škopek)

Informační systém PSST je připraven na další integraci nových diagnostických prostředků. Cílem je shromáždit všechna data z diagnostických prostředků lokalizovaná na jednotné bázi v jediném systému. Po dokončení projektu TPI (Technického popisu infrastruktury) dojde k vytvoření jednotné lokalizační vrstvy, kterou bude IS PSST plně využívat. Vznikne rovněž vazba na další pasporty, které bude IS PSST moci načítat.

Výsledná konsolidovaná data z IS PSST v podobě sestav jsou již nyní k dispozici jednotlivým stupňům řízení organizace od správců tratí až po manažery infrastruktury. Po integraci dalších systémů na jednotnou lokalizaci bude možné např. provozní úlohy propojovat s úlohami o stavu infrastruktury a efektivněji se tak rozhodovat v oblasti správy, údržby a oprav železniční infrastruktury.

Literatura:

- [1] Ing. Petr Sychrovský: Popis sítě a diagnostika železniční infrastruktury, prezentace z Workshopu „Popis sítě SŽDC“ 9. 1. 2019, GŘ SŽDC Praha, <https://www.sizi.cz/file.php?nid=14068&oid=6697899>
- [2] Ing. Jan Březina, Ing. Petr Procházka, Ing. Karel Tuček: Využití diagnostiky a informačních systémů pro plánování údržby u SŽDC, sborník příspěvků Seminář Železniční dopravní cesta 2018 v Ústí n/L, SŽDC Praha, 2018 – ISBN 978-80-907189-0-6
- [3] SŽDC (ČD) M12: Předpis pro jednotné označování tratí a kolejíšť v informačním systému ČD, ČD Praha, 1. 11. 1999
- [4] SŽDC M21: Topologie sítě a staničení tratí železničních drah, SŽDC Praha, 20. 6. 2019
- [5] Projektová a realizační dokumentace: Měřicí drezína pro diagnostiku železničního svršku MD2, NDCon Logic a.s., <https://ndconlogic.cz/>

Seznam zkratk:

AGP	sestava nevalidních závad GPK v SORUTu, zrychlené závady
ComposT	Composition Train, IS pro tvorbu složení a připravenosti vlaku
CZK	celková známka kvality u hodnocení GPK
DJNDT	diagnostická jednotka NDT
DM	data měření
DMW	prohlížeč naměřených dat
DMWMAP	aplikace pro prohlížení čelních fotek
DOMIN	provozní aplikace (úloha) pro zobrazení omezení infrastruktury
DSD	datový sklad diagnostiky
ERTS89	geodetický standard souřadnicového systému
FTP	služba serveru využívaná pro výměnu dat
GPK	geometrické parametry koleje
HOP	Host Observation Program, aplikace automatické „čištění“
IS PSST	informační systém provozního stavu sítě tratí
MD	měřicí drezína
MMD	malá měřicí drezína
MP HOST	lokalizační systém na diagnostických prostředcích TÚDC
MVGPR	měřicí vůz pro georadarovou metodu
MVŽSv	měřicí vůz železničního svršku
QMP	čtvrtmetrový pulz
qmpID	ID čtvrtmetrového pulzu
SMV	modul PSST obsahující data z diagnostických prostředků
SORUT	systém operativního řízení údržby tratí
SU	synchronizační jednotka na diagnostických prostředcích TÚDC
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
TPI	technický popis infrastruktury

TQI	Track quality inspector, aplikace pro lokalizaci naměřených dat
TÚDC	Technická ústředna dopravní cesty
TUDU	traťový a definiční úsek
VPN	virtuální privátní síť pro přednos dat do intranetu SŽDC

Lektorovali:

Ing. Danuše Marusičová, OSVČ

doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.

VUT v Brně, Fakulta stavební

Marie Vopálenská¹

Inovativní řešení železničního průmyslu pro udržitelnou mobilitu

Klíčová slova: *udržitelná mobilita, železnice, interoperabilita evropského železničního systému, TSI - technická specifikace pro interoperabilitu, Evropská komise, ERA – Agentura Evropské unie pro železnice, subsystém, SERA – Single European Railway Area, bezpečnost, železnic, Bílá kniha o dopravě, směrnice, nařízení/rozhodnutí, železniční balíček, mobilita a služby pro zákazníky, vodík, vodíková mobilita, TEN-T*

Anotace: Udržitelná doprava by měla splňovat určitou kvalitu života, která zahrnuje čisté ovzduší, tiché rezidenční čtvrti a ekonomickou prosperitu bez škodlivých dopadů na zdraví a životní prostředí a vyčerpávání omezených přírodních zdrojů. Odvětví dopravy stále způsobuje přibližně pětinu emisí skleníkových plynů v EU, což z něj po energetickém průmyslu dělá druhý největší sektor způsobující emise skleníkových plynů. Vzhledem k rostoucí závislosti EU na dovozu fosilních paliv a jejímu závazku splnit ambiciózní cíle snižování emisí CO₂ musí odvětví dopravy snížit emise uhlíku. Železnice je jen velmi málo závislá na dovezeném fosilním palivu, ale také jednoznačně vyniká vysokou energetickou účinností, nízkými specifickými emisemi CO₂ a rostoucím využíváním obnovitelných zdrojů.

Sustainable transport should meet a certain quality of life, including clean air, quiet residential quarters and economic prosperity without damaging health and environmental impacts and depletion of limited natural resources. The transport sector still causes about a fifth of the EU's greenhouse gas emissions, making it the second largest sector, after the energy industry, which is causing greenhouse gas emissions. Given the increasing dependence of the EU on fossil fuel imports and its commitment to achieving ambitious CO₂ reduction targets, the transport sector must reduce carbon emissions. The railway is very little dependent on imported fossil fuel, but also clearly stands out for its high energy efficiency, low specific CO₂ emissions and the increasing use of renewables.

Udržitelná mobilita

Světová komise pro životní prostředí a rozvoj ustavená zvláštním shromážděním OSN definovala udržitelnou dopravu jako „uspokojení potřeb mobility současných generací bez omezení potřeb mobility budoucích generací“. Udržitelná doprava by měla splňovat určitou kvalitu života, která zahrnuje čisté ovzduší, tiché rezidenční čtvrti a ekonomickou prosperitu bez škodlivých dopadů na zdraví a životní prostředí a vyčerpávání omezených přírodních zdrojů.

¹ Ing. Marie Vopálenská: 2014 - dosud doktorandské studium na UNIVERZITĚ PARDUBICE, DFJP, absolventka CZU, Fakulty ekonomické, obor Informatika. Od roku 2003 působí jako generální ředitelka ACRI - Asociace podniků českého železničního průmyslu (www.acri.cz).

Problém udržitelnosti dopravy není pouze technický, tj. zajišťování kvalitní dopravní infrastruktury a vývoj vozidel, ale dotýká se též společensko-ekonomických otázek jako veřejné výdaje v dopravě, úroveň, kvalita a nabídka dopravy.

Mobilita osob a zboží již v dávných dobách umožňovala rozvoj obchodu a prosperitu regionů. Současný globalizovaný svět nabízí téměř neomezené možnosti pro cestování, obchodování po celém světě. Negativní dopady jako znečištění ovzduší, hluk, dopravní kongesce, skleníkové plyny, nehody a další se promítají do ceny za dopravu v podobě externích nákladů.

Rozvoj železniční dopravy je v souladu s Bílou knihou EU o dopravě jako součástí Strategie Doprava 2050 jednou z priorit EU. Železniční doprava, ať už osobní dálková na hlavních koridorových tratích, rovněž městská/příměstská/regionální nebo nákladní doprava, představuje jeden z nejekologičtějších a nejbezpečnějších způsobů dopravy. Navzdory svým výhodám má dnes železnice oproti očekávání stále nízký podíl na dopravě. Jak uvádí Evropský parlament, pokud má být dosaženo konečného cíle pro snížení emisí uhlíku, tedy snížení CO₂ emisí o 80% v odvětví dopravy do roku 2030, má právě růst železniční dopravy velký potenciál pro dosažení těchto parametrů. S ohledem na uvedené jsou v Bílé knize Evropské komise o dopravě z března roku 2011 [1] stanoveny dva klíčové cíle:

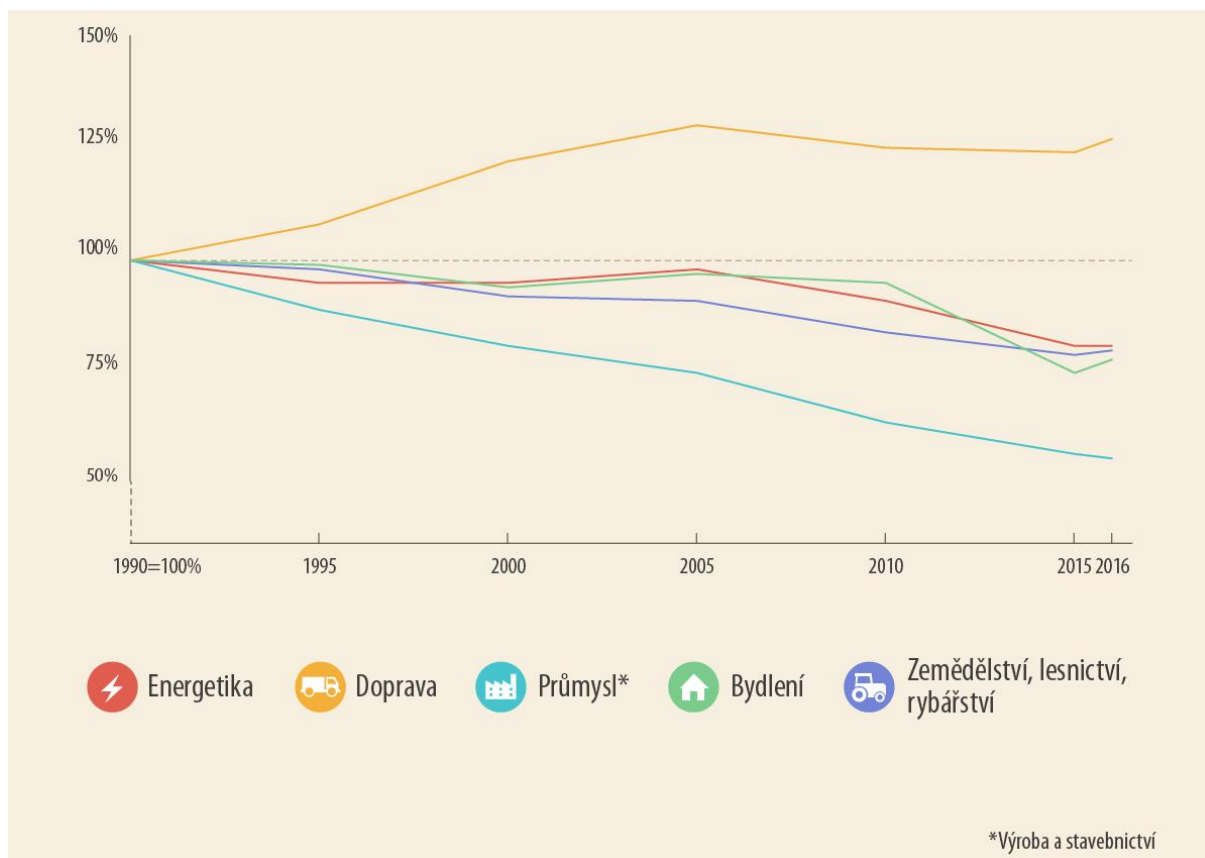
- 30 % silniční přepravy nákladu nad 300 km by mělo být do roku 2030 převedeno na jiné druhy dopravy, jako např. na železniční či lodní dopravu, a do roku 2050 by to mělo být více než 50 %. Napomoci by tomu měly i účinné a evropské koridory pro nákladní dopravu. Splnění tohoto cíle si rovněž vyžádá zavedení vhodné infrastruktury.
- Dokončit do roku 2050 evropskou vysokorychlostní železniční síť. Ztrojnásobit do roku 2030 délku stávajících vysokorychlostních železničních sítí a udržovat hustou železniční síť ve všech členských státech. Většina objemu přepravy cestujících na střední vzdálenost by do roku 2050 měla probíhat po železnici.

K dosažení tohoto závazku je nezbytná podpora výzkumu a vývoje železničního odvětví s cílem dosažení maximálně bezemisní veřejné dopravy (železniční i městské) a snížení spotřeby fosilních paliv.

Výroba prvků železniční infrastruktury a kolejových vozidel je řazena mezi odvětví s vyšší technologickou náročností, tzv. medium hi-tech odvětví. Čeští výrobci v železničním průmyslu patří svojí kvalitou i cenovou konkurenceschopností k žádaným dodavatelům nejen v rámci České republiky, ale i v rámci zemí EU a dalších zemí. Železniční průmysl vytváří přidanou hodnotu 26 mld. Kč, se zahrnutím nepřímého a indukovaného efektu je to ovšem téměř 52 mld. Kč a do HDP přispívá ve výši 1,3%. V odvětví je zaměstnáno 20.000 zaměstnanců přímo a 50.000 nepřímo. Export tvoří 56% z celkového obrátu odvětví.

Snižování emisí

V protikladu stále rostoucími emisemi z dopravy, emise železničního sektoru se v posledních třech desetiletích významně snížily a tento trend pokračují i nadále.



Obrázek 1 – Emise CO₂ v EU, Vývoj emisí CO₂ v jednotlivých odvětvích (1990 – 2016), zdroj Eurostat [4]

Odvětví dopravy způsobuje přibližně pětinu emisí skleníkových plynů v EU s trendem postupného růstu, což z něj po energetice dělá druhý největší sektor způsobující emise skleníkových plynů. Vzhledem k rostoucí závislosti EU na dovozu fosilních paliv a jejímu závazku splnit ambiciózní cíle snižování emisí CO₂ musí odvětví dopravy snížit emise uhlíku. Železnice je jen velmi málo závislá na dovezeném fosilním palivu, ale také jednoznačně vyniká vysokou energetickou účinností, nízkými specifickými emisemi CO₂ a rostoucím využíváním obnovitelných zdrojů.

Podle článku č.2 Závěrečného protokolu světové klimatické konference v Paříži ze dne 12.12.2015 [2] budou přijata a uskutečněna taková opatření, aby cílové oteplení Země nepřesáhlo hodnotu 1,5 až 2 °C vůči předindustriálnímu období. Do roku 2015 bylo spalováním fosilních paliv předáno do zemského obalu zhruba 1 500 miliard t CO₂ a oteplení Země vůči předindustriálnímu období dosáhlo cca 1,0 °C. Z jednoduchého propočtu vyplývá, že při současném tempu antropogenní produkce CO₂ (2015: 32 miliard t CO₂/rok) nás dělí od absolutního zákazu dalšího spalování fosilních paliv již jen 23 let (při limitu oteplení Země o 1,5 °C), respektive 47 let (při limitu oteplení Země o 2 °C).

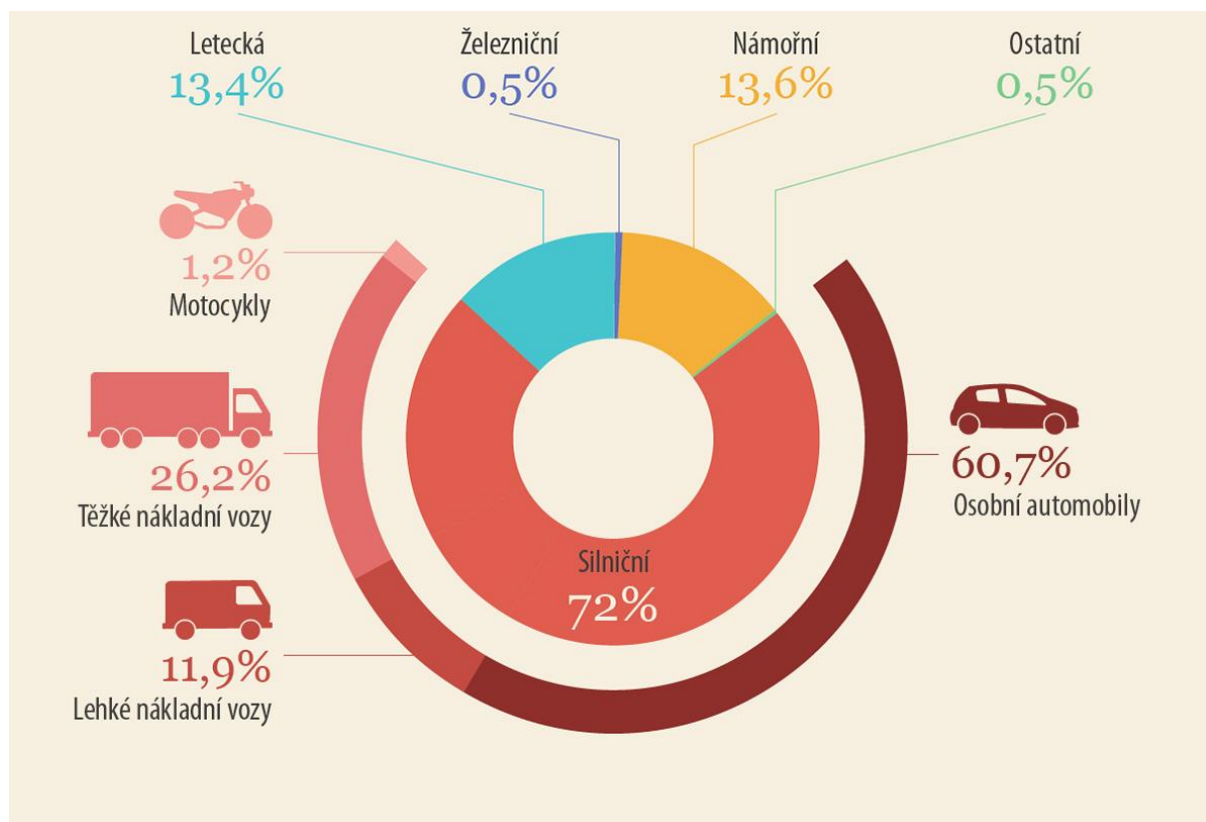
To je pro dopravu v ČR velmi zásadní zpráva, neboť 98 % energie pro dopravu zajišťují ropné produkty a jejich náhražky a jen 2 % elektrická energie. Ve své dosavadní struktuře je doprava v ČR již ve velmi blízké budoucnosti neudržitelná.

Je důležité zrealizovat usnesení vlády ČR č. 362/2015 [3], které pro dopravu předepisuje do roku 2030 snížit spotřebu ropných paliv o 9 000 miliard kWh/rok a zvýšit využití elektrické energie o 1 900 miliard kWh/rok. Toto se dá uskutečnit především substitucí ve veřejné dopravě a to vyšším využitím dopravy kolejové. Důvodem je násobně nižší energetická náročnost kolejové dopravy i mnohanásobně vyšší rentabilita využití investic, kdy průměrný automobil je využíván 2 % denního času, zatímco prostředky veřejné dopravy kolem 60 %.

K dosažení tohoto závazku též napomůže podpora výzkumu a vývoje s cílem dosažení maximálně bezemisní veřejné dopravy (železniční i městské) a snížení spotřeby fosilních paliv.

Železniční doprava

Dle údajů Eurostatu mám největší podíl na zvýšení emisí CO₂ má právě silniční doprava a to 72%, železniční se podílí pouhým 0,5%, viz. obr. 2. Výrazný podíl na zvýšení emisí má právě automobilová doprava a to i v souvislosti s rozvojem urbanizace v posledních desetiletích. Lze předpokládat, že tento trend bude pokračovat i nadále. Výsledkem je, že doprava ve městech a aglomeracích nyní představuje 40 % emisí CO₂ a 70 % emisí jiných znečišťujících látek pocházejících ze silniční dopravy; navíc je hlavním zdrojem dopravního přetížení, které stojí ročně téměř 100 miliard EUR nebo 1 % HDP EU. Doprava ve městech musí proto čelit výzvě zvýšeného požadavku na mobilitu a bezpečnost při současném snížení emisí znečišťujících látek.



Obrázek 2 Emise CO₂ produkované v dopravě – Podíl emisí podle druhu dopravy (2016), zdroj Evropská agentura pro životní prostředí

Železniční průmysl nabízí řešení pro městskou dopravu s nízkými nebo dokonce nulovými emisemi CO₂ a dalších znečišťujících plynů. Tramvaje, metro a příměstské vlaky jsou nejméně znečišťujícím prostředkem veřejné dopravy v městských oblastech. Kromě toho se železniční průmysl zavázal ke zlepšení energetické účinnosti svých výrobků prostřednictvím nových technologií, jako jsou hybridní technologie, snižování hmotnosti, rekuperace brzděné energie, nové trakční technologie, optimalizované provozní parametry a alternativní řešení ekologického napájení.

Železnice by proto měla hrát ústřední úlohu v budoucích politikách EU v oblasti udržitelné městské mobility, protože je klíčovým prvkem řešení současných otázek znečištění, emisí skleníkových plynů a přetížení dopravy. Jako takové by mělo být zajištěno přiměřené financování projektů spojených s železniční dopravou, a to jak na úrovni EU, tak na národní úrovni s ohledem na velké ekonomické, environmentální a sociální výhody.

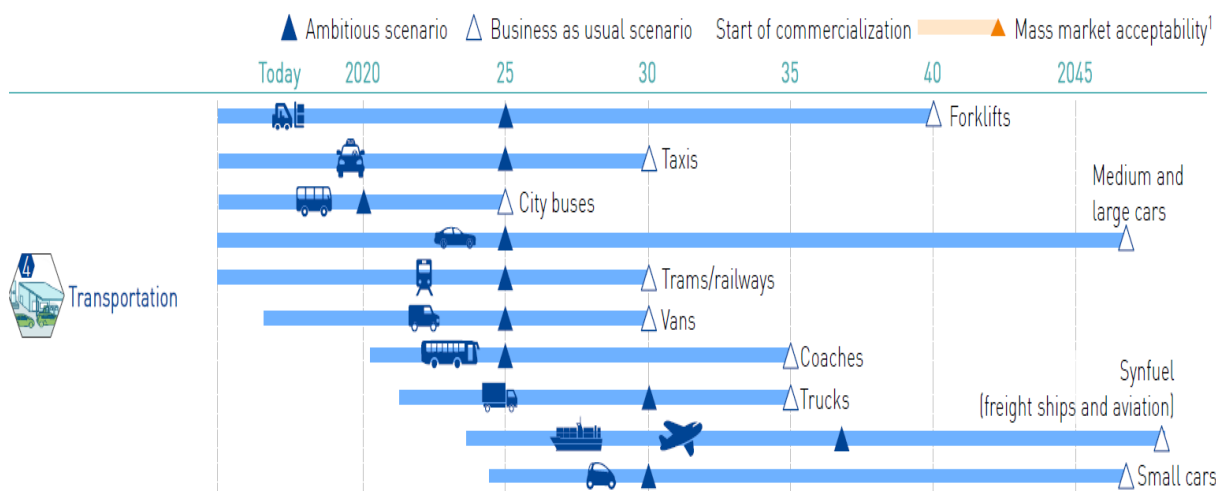
Investice do městské dopravy jsou zásadní. V zájmu udržení dynamiky a dalšího posílení rozvoje městských železničních systémů je nutné zajistit dostatečné financování ze strany EU i ČR pro budoucí činnosti v oblasti výzkumu a vývoje v městské kolejové dopravě.

Inovativní řešení železničního průmyslu se zaměřením na kolejová vozidla

Železniční doprava je v porovnání se silniční dopravou ekologičtější druhem dopravy, přesto je v rámci udržitelného rozvoje důležité v tomto dopravním módu dosáhnout přechodu ze spalovacích na elektrické pohony nebo hybridní pohony .

Jedním z takových řešení může být i **vodíková technologie**. Podstatou vodíkových technologií v dopravních prostředcích je palivový článek. Toto elektrochemické zařízení mění chemické energie na energii elektrickou, která je, v závislosti od koncepce pohonu, využívána buď přímo na pohon elektromotorů, nebo pro kontinuální dobíjení akumulátorů. Technické řešení na bázi vodíku poskytuje nulové lokální emise, nízkou hlučnost a jízdní vlastnosti spojené s použitím elektromotoru. Výhodou je i rychlost plnění.

Od roku 2015, kdy byl zpracován původní Národní akční plán čisté mobility (NAP CM) [5], došlo v oblasti vodíkové mobility k určitému pokroku. Technologie vodíkových palivových článků umožňuje nasazení nejen v oblasti osobní silniční dopravy, ale i nákladní silniční dopravy a také v dopravě železniční či letecké, viz. následující obrázek.



Obrázek 3 – Mapa evropské vodíkové mobility, zdroj Hydrogen Roadmap Europe

Co se týká rozvoje využití vodíku v železniční dopravě, významný pokrok udělal francouzský výrobce Alstom, který dodá 14 vodíkových vlakových souprav pro oblast Dolního Saska v Německu, s předpokládaným provozem od konce roku 2021. Mezi výrobce vodíkových vlaků se řadí i společnost Siemens, která v tomto směru spolupracuje s kanadským výrobcem palivových článků Ballard Power Systems Inc a nabízí elektrické trakční jednotky jak v provedení pro liniové elektrické napájení, tak i v provedení akumulátorovém (kombinace trolej/lithiový akumulátor), či vodíkovém. Tyto firmy chtějí společně vyvinout novou generaci palivových článků, které by se vyznačovaly mimořádně dlouhou životností, vysokým výkonem a vyšší účinností. Japonská společnost East Japan Railway oznámila strategii testování nové vlakové soupravy na vodíkový pohon v roce 2021.

V obecné rovině je problematika čisté mobility obsažena ve všech základních strategických materiálech vlády ČR pro oblast energetiky, dopravy a životního prostředí. V oblasti energetiky se jedná o Aktualizovanou státní energetickou koncepci (ASEK) [6], která jednak definuje strategické priority pro tento sektor národního hospodářství a dále formuluje strategie do roku 2040. Mezi dílčí priority s přímou vazbou na čistou mobilitu patří pokles spotřeby kapalných paliv, zvýšení účinnosti spalovacích motorů a zvýšení užívání alternativní pohonných hmot – CNG a elektromobility.

Dalším řešením jsou již odzkoušené a funkční **hybridní pohony elektrických jednotek doplněné o energetické úložiště vystavěné na akumulátorové baterii**. Je to možný krok k redukci ekologicky méně šetrných dieselových vlaků. Vozidlo bude možno přepnout do režimu bateriového napájení povelom prostřednictvím nadřazeného řízení. Energetická úložiště mohou mít různou energetickou kapacitu podle potřeb provozovatele pro zajištění běžného provozu. Na elektrickou energii dodanou energetickým úložištěm umí kolejová vozidla ujet až několik desítek kilometrů. Škoda Transportation dodala se stejnou technologií tramvaje tureckých měst Konya a Eskisehir.

Z pohledu technického řešení, Škoda vyvinula vlastní modulární energetické úložiště pro tramvajové aplikace, kdy každý kontejner toho úložiště se skládá z tepelně izolované kasematy s trakční baterií a integrovaným monitorovacím systémem, aktivního kapalinového chladicího zařízení a GBT pulzního měniče pro

nabíjení/vybíjení, který při vybíjení zvyšuje napětí trakční baterie na požadované napětí meziobvodu. Energetické úložiště je vystavěno na akumulátorových článcích s chemismem nLTO, s vysokou proudovou zatížitelností při dosažení vysoké cyklické životnosti a s umožněním fáze dobíjení i při záporných teplotách. Z pohledu bezpečnosti je potom možno každý kontejner odpojit jak dálkově (lanovodem) ze salonu vozu, tak při údržbě na střeše vozu. Pro práce v bateriovém kontejneru je potom nutno rozpojit baterii na úseky o napětí cca 120V. Základní jmenovité napětí tohoto řešení je potom 432V [7]. Zařízení je koncipováno tak, aby bylo možno jej volitelně přidat na tramvaj, protože mnoho operátorů plánuje paralelně obsluhovat jak bateriové, tak i standardní tramvaje.

Technologie bateriových energetických úložišť je ve Škodě využívána napříč produktovým spektrem, kdy nosným produktem jsou parciální trolejbusy, kde bateriové úložiště energie s velkým úspěchem nahradilo na pozici range extenderu dieselelektrický generátor. Dále má Škoda ve svém produktovém portfoliu BEV busy a to jak v konfiguraci HP (umožňuje rychlodobíjení) s vlastním řešením dobíjecí stanice, tak v konfiguraci HE (se standardním dobíjením, na přání s možností dobíjení trakční baterie vozidla z trolejového vedení), což je řešení, které je v současné době na trhu preferováno. Doplňkem k těmto klíčovým řešením je potom produkt autobusu se sériovým hybridním pohonem.

Závěr

Železnice je nejméně znečišťujícím prostředkem veřejné dopravy, na celkovém znečištění se podílí 0,5% emisí CO₂. Modální přechod dopravy na železnici by měl být základem všech dopravních strategií vedoucích ke snížení emisí CO₂.

Zásadní kroky nutné pro zajištění udržitelné mobility a snížení emisí:

1. Železnici jako základ udržitelné mobility a její propojení s jinými druhy dopravy s nízkým obsahem uhlíku, např. s možností sdílení jízdních kol a parkovacích míst na železničních nádražích/stanicích;
2. Podpora výzkumu a vývoje železničního průmyslu s cílem dosažení maximálně bezemisní veřejné dopravy a snížení spotřeby fosilních paliv.
3. Zajištění rozvoje energeticky účinných řešení a nových koncepcí vozidel, jako jsou hybridní lokomotivy a jednotky nebo vozidla poháněná bateriemi pro krátké úseky tratí, které není možné elektrifikovat;
4. Zajistit dostatečnou modernizaci a rekonstrukci stávajících tratí a výstavbu nových traťových úseků, zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti provozování drážní dopravy, zvýšení propustnosti a kapacity tratí zajištěním interoperability především v oblasti zabezpečovacího zařízení.
5. Podpora využívání železniční dopravy prostřednictvím spravedlivých rámcových podmínek založených na zásadách „uživatel platí“ a „znečišťovatel platí“ oproti konkurenčním druhům dopravy.

Seznam obrázků

- Obr. 1 Emise CO₂ v EU, Vývoj emisí CO₂ v jednotlivých odvětvích (1990 – 2016), zdroj EUROSTAT
- Obr. 2 Emise CO₂ produkované v dopravě – Podíl emisí podle druhu dopravy (2016), zdroj Evropská agentura pro životní prostředí
- Obr. 3 Mapa evropské vodíkové mobility, zdroj Hydrogen Roadmap Europe

Použitá literatura

- [1] BÍLÁ KNIHA - Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje. KOM/2011/0144
- [2] Závěrečný protokol světové klimatické konference v Paříži, odkaz na web: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en
- [3] Usnesení Vlády ČR č. 362/2015 o státní energetické koncepci ČR, odkaz na web: <https://apps.odok.cz/attachment/-/down/VPRA9WRFQN0R>
- [4] Emise skleníkových plynů, zdroj Eurostat, web odkaz: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/f/f1/Greenhouse_gas_emissions_by_IPCC_source_sector%2C_EU28%2C_2014.png
- [5] Národní akční plán čisté mobility, odkaz web: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/\\$FILE/SOP_SZP-NAP_CM-20160105.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOP_SZP-NAP_CM-20160105.pdf)
- [6] Státní energetická koncepce, 12/2014, odkaz web: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52826/60155/632395/priloha004.pdf>
- [7] Produktový list, ŠKODA TRANSPORTATION

Lektorovali: Prof. Ing. Tatiana Molková, Ph.D., Univerzita Pardubice
Ing. Jiří Pohl, SIEMENS Mobility

Dopravní sál FD – železniční laboratoř pro výuku i výzkum

Martin Leso¹, Dušan Kamenický²,
Petr Koutecký³, Adam Hlubuček⁴

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

Anotace: Článek se zabývá představením Dopravního sálu FD ČVUT v Praze jakožto nepostradatelné výukové pomůcky. Představuje čtenáři technické řešení celého projektu a popisuje současné i budoucí výzkumné aktivity probíhající na tomto pracovišti.

Annotation: The article describes Rail transport control hall at the Faculty of Transportation Sciences of TU Prague applied as a tool for teaching. It introduces technical solution of entire project and describes current and future research activities done at the Department of Transport Telematics.

Úvod

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

¹ **doc. Ing. Martin Leso, Ph.D.**, nar. 1976, absolvent ČVUT v Praze, Fakulta dopravní; v současnosti působí na ČVUT v Praze, Fakultě dopravní, K620 Ústav dopravní telematiky, zabývá se problematikou řízení a zabezpečení železniční dopravy

² **Ing. Dušan Kamenický**, nar. 1986, absolvent ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, v současnosti působí na ČVUT v Praze, Fakultě dopravní, K620 Ústav dopravní telematiky, zabývá se problematikou řízení a zabezpečení železniční dopravy

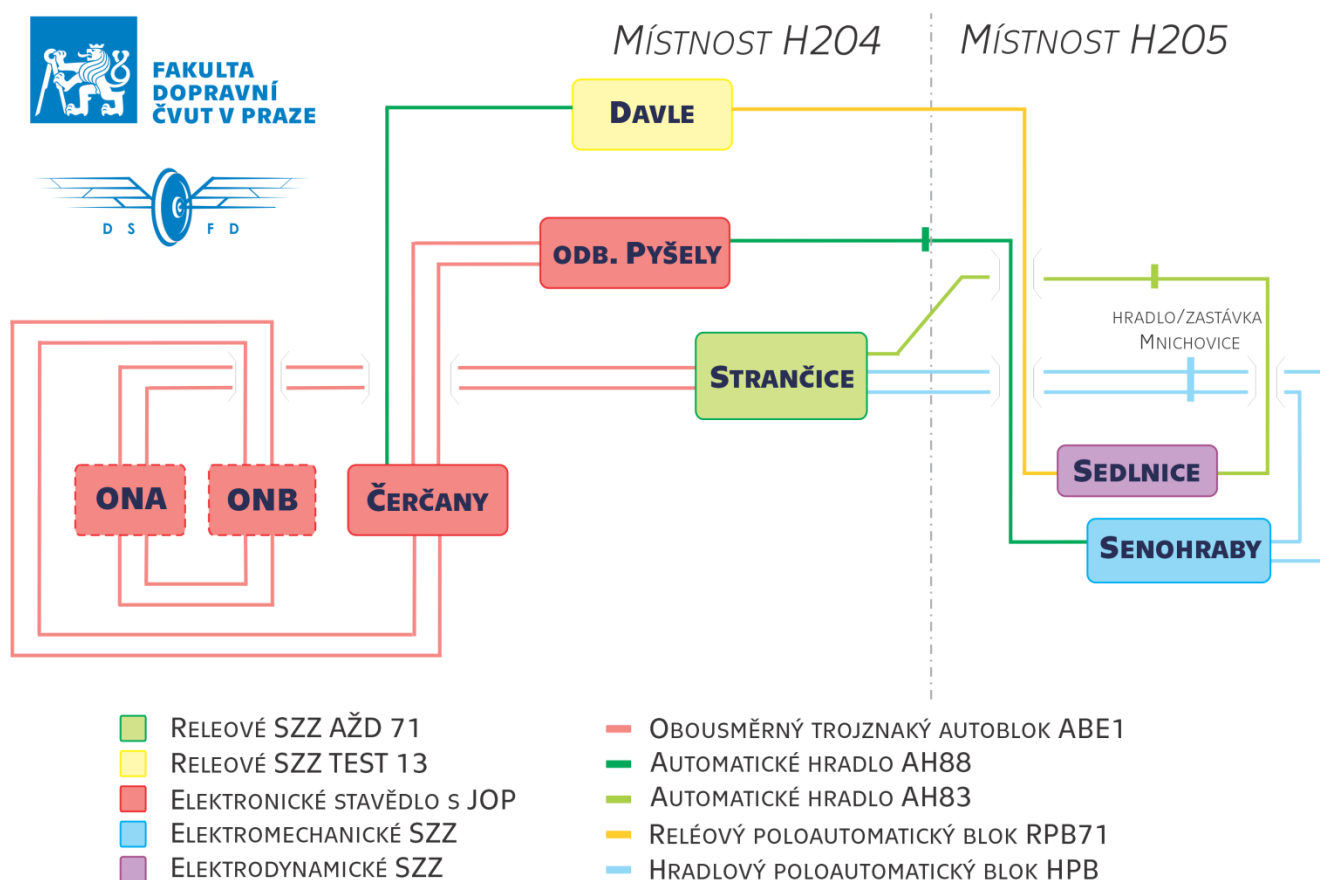
³ **Ing. Petr Koutecký**, nar. 1986, absolvent ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická; v současnosti působí na K620 Ústav dopravní telematiky, zabývá se problematikou řízení a zabezpečení železniční dopravy

⁴ **Ing. Adam Hlubuček**, nar. 1990, absolvent ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, v současnosti působí na ČVUT v Praze, Fakultě dopravní, K620 Ústav dopravní telematiky, zabývá se problematikou datového popisu železničního systému

1. Koncept Dopravního sálu Fakulty dopravní

Dopravní sál Fakulty dopravní (DSFD) je specializovanou laboratoří ČVUT FD na problematiku řízení a zabezpečení železničního provozu. DSFD od roku 2000 vznikal a je dále řešen v rámci studentského projektu 20X1SS – *Dopravní sál Fakulty dopravní*⁵. V rámci projektu studenti přímo realizují veškeré technologie zabezpečovacích a řídicích systémů. Instalované technologie umožňují identické ovládání zabezpečovacích a řídicích systémů jako ve skutečném provozu. Z finančních a prostorových důvodů nejsou v dopravním sále umístěna celá železniční zabezpečovací zařízení. Jsou zde instalovány části převzaté ze skutečných zabezpečovacích zařízení, zejména ovládací prvky, se kterými přichází do kontaktu obsluha (JOP, řídicí pulty). Ostatní části reálných zabezpečovacích zařízení, které tvoří například vnitřní logiku jednotlivých staničních a traťových zabezpečovacích zařízení, jsou simulovány pomocí mikrokontrolerů a specifického programového vybavení. Protože se jedná o simulaci funkce zabezpečovacího zařízení, je požadována věrnost a úplnost ovládání, není však požadována bezpečná funkce „fail-safe“ jako u skutečných zabezpečovacích zařízení. Tato skutečnost má vliv především na úsporu prostoru a finančních nároků řešení projektu.

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

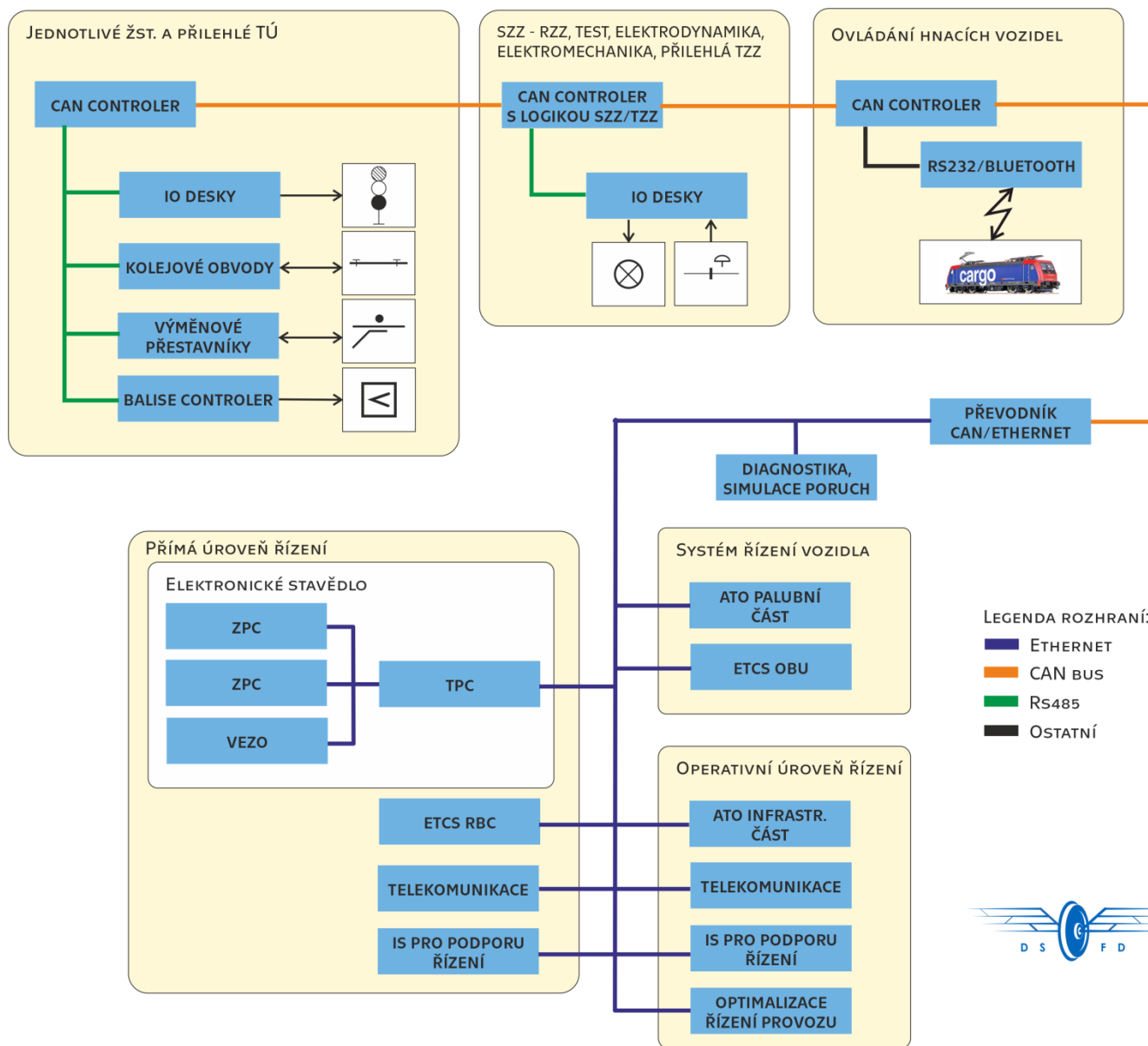


Obr. 1 Schéma kolejiště DSFD

⁵ Web projektu - <http://dsfd.fd.cvut.cz>

1.1. Řídicí systém DSFD

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



Obr.2 Architektura řídicího systému DSFD

Kolejiště je vybaveno vlastními elektronickými moduly umožňující stavění výhybek (elektromotorický přestavník), svícení návěstidel a detekci obsazenosti infrastruktury (kolejové obvody). Všechny řídicí moduly jsou propojeny páteřní sběrnicí typu CAN-BUS, která zajišťuje datovou komunikaci se všemi moduly a řídicími částmi. Řídicí systém obsahuje rovněž diagnostický systém, který umožňuje kromě diagnostiky rovněž funkce nezávislého nastavování poruch infrastrukturních prvků (návěstidla, kolejové obvody, přestavníky). Pro umožnění lokalizace polohy vozidel jsou v infrastruktuře instalovány lokalizační prvky – tzv. balízy, které

umožňují každému vlaku zjistit konkrétní identifikační číslo tohoto prvku v daném místě kolejiště. Přenos informace z balízy na vozidlo probíhá v infračerveném spektru. Mezi řídicím počítačem a vozidlem dochází k periodické obousměrné datové komunikaci s využitím technologie Bluetooth. Směrem z vozidla jsou přenášeny informace o aktuální poloze vlaku (ID poslední přečtené balízy, odometrie – počet otáček motoru, směr jízdy vozidla). Na vozidlo se vysílají povely o požadovaném směru a rychlosti jízdy. Zvolená koncepce řízení vozidel umožňuje plně automatický provoz bez nutnosti manuálního řízení vozidel s výjimkou posunů, při kterých je nutné vozidla řídit manuálně. Tento koncept rovněž umožňuje předvedení řízení vozidel s technologií ERTMS/ETCS, jejichž principy se postupně v DSFD zavádějí.

1.2. Typy zabezpečovacích zařízení v DSFD

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

Ze staničních zabezpečovacích zařízení jsou v rámci DSFD zastoupeny:

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

Jednotlivé mezistaniční úseky jsou vybaveny také typickými traťovými zabezpečovacími zařízeními:

1. Tříznaký obousměrný automatický blok;
2. Automatické hradlo;
3. Hradlový poloautomatický blok;
4. Reléový poloautomatický blok;



Obr. 3 Reléové zabezpečovací zařízení



Obr. 4 Elektromechanické zabezpečovací zařízení



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



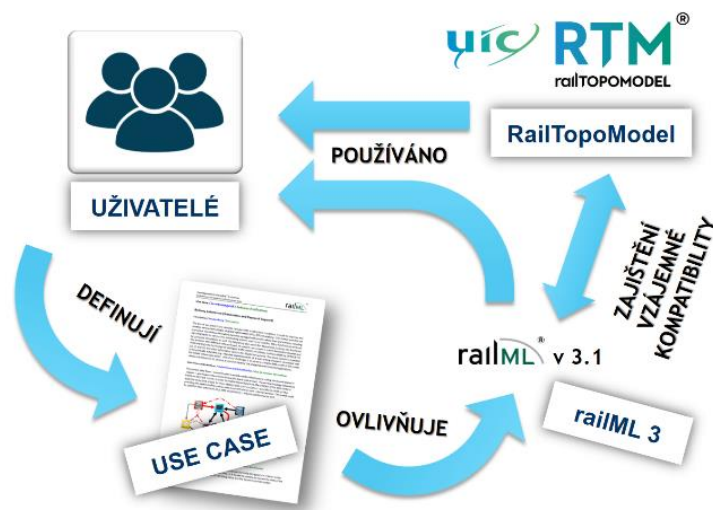
Obr. 6 Pohled na kolejíště a pracoviště dispečerů v pozadí

2. Výzkum v Dopravním sále Fakulty dopravní

Prostředí DSFD dále slouží také pro výzkum nových technologií řízení a zabezpečení provozu na železnici. Koncepce DSFD byla již od počátku svého vývoje (cca rok 2000) řešena s výhledem na možnost realizace technologií zaměřených na tzv. „Inteligentní dopravní systémy“. Hlavním předpokladem těchto systémů je zvládnutí systému přímého řízení pohybu vlaku (uzavřená řídicí smyčka). To znamená, že všechny vlaky musí být vybaveny palubní technologií pro řízení vlaků a poskytování informací o vlaku (zejména přesná poloha a celistvost soupravy). Infrastruktura musí být pokryta bezdrátovým přenosovým systémem zajišťující „on-line“ komunikaci s vlaky a řídicí ústřednou. Tyto předpoklady umožňují realizaci zcela nových přístupů k řešení problematiky zajištění bezpečného pohybu vlaků a realizace automatizačních a optimalizačních procesů vedoucích k vyšší využitelnosti (spolehlivost a kapacita) železniční dopravy než bylo dosud možné. V DSFD jsou proto realizovány projekty, které mají za cíl vývoj a následné ověření v laboratorních podmínkách principů inteligentních systémů na železnici. V následujícím textu jsou uvedeny základní komponenty ITS-R, které jsou vyvíjeny a ověřovány v prostředí DSFD.

2.1. Datový popis infrastruktury

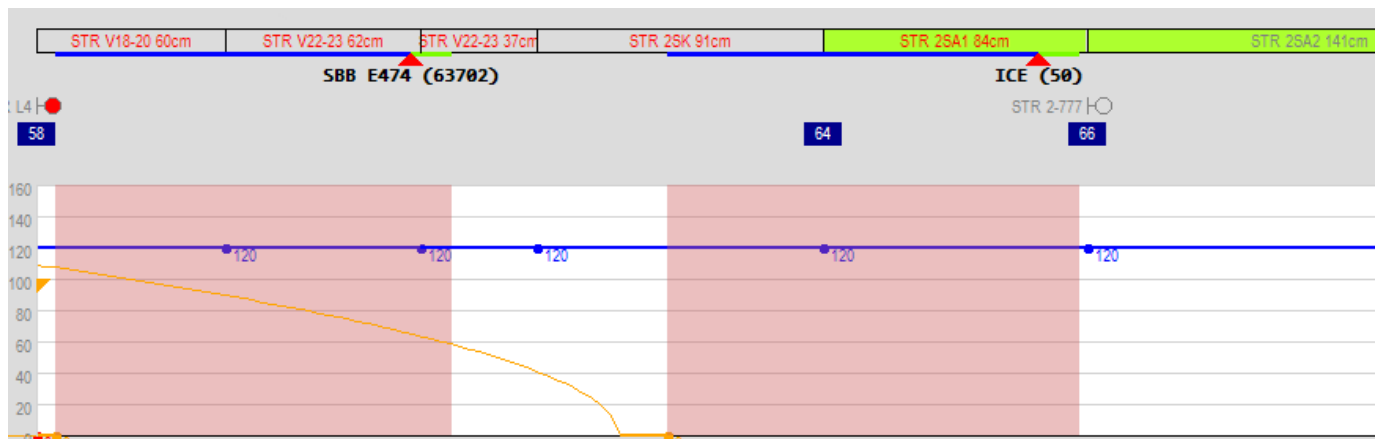
Pro realizaci inteligentního systému řízení železničního provozu jsou klíčové informace popisující dopravní cestu, po které se vlaky pohybují. Tato informace zahrnuje nejenom koleje, ale rovněž všechny objekty, případně také tok informací, důležitých pro obsluhu dopravní cesty, jízdy vlaků ale i přepravu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



Obr. 7 Metodiky UIC RailTopoModel a railML

2.2. Systém řízení a zabezpečení „inteligentních vozidel“

V DSFD se realizuje technologie známá pod označením ERTMS/ETCS, která je v současné době uplatňována na skutečné železnici v Evropě i po celém světě. Unikátem DSFD je postupná implementace všech aplikačních úrovní řízení železničního provozu (aplikační úroveň 1, 2 i 3) tak, aby bylo možné následně demonstrovat výhody a nevýhody jednotlivých řešení. Velkou principiální výzvou je zejména realizace aplikační úrovně 3, která již zcela využívá vlastností „inteligentních vozidel“ s minimalizací vybavenosti infrastruktury. Využívá se plně přímé datové komunikaci vlaku s infrastrukturní částí, kdy je povolení k jízdě (či další doplňkové informace, jako nejvyšší dovolená rychlost apod.) předáváno na vlak výhradně datově bez dosavadního způsobu prostřednictvím návěstidel rozmístěných kolem tratě na pevně daných místech. Kromě toho, že pohyb vlaku je tedy plně pod „on-line“ kontrolou, lze tento přístup s výhodou využít pro tzv. „flexibilní řízení“ provozu tak, že lze oprávnění k jízdě (délka úseku, kam může vlak pokračovat v jízdě) měnit dynamicky podle dopravní situace a pohybu dalších vozidel. Tím lze maximalizovat využití kapacity železniční infrastruktury. Společně s nasazením dalších prostředků operativního řízení provozu lze tak i výrazně zvýšit spolehlivost řízení železnice. Hlavním přínosem tohoto řešení je rovněž výrazná minimalizace drahých a náročných technologií v infrastruktuře. Musí však být vyřešeny všechny otázky bezpečného a spolehlivého řízení provozu za všech předvídaných okolností, včetně řešení poruchových stavů. Zvládnutí právě těchto provozních a bezpečnostních pravidel se dnes jeví jako klíčové k reálnému nasazení této technologie. V prostředí DSFD lze většinu těchto okolností bezpečně zkoušet a simulovat.



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

2.3. Systém automatizace a optimalizace řízení železničního provozu

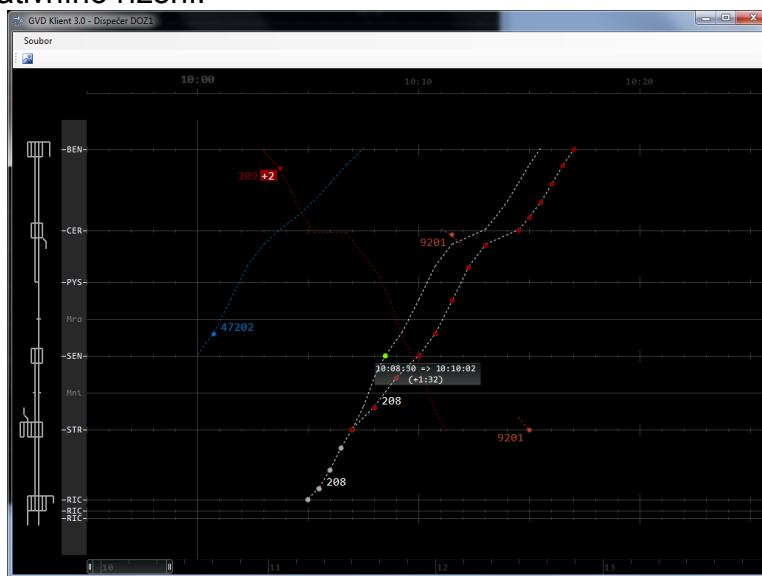
V návaznosti na oba předchozí projekty se v DSFD realizuje systém umožňující automatizace postupů řízení a IT podporu v jednotlivých fázích řízení provozu. Cílem tohoto projektu je zavést takový automatizační a řídicí systém, který umožní zcela autonomní pohyb všech vlaků na kolejišti. Vlak se budou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



Obr. 9 Struktura úrovní systému řízení železniční dopravy

Daná úloha spočívá v nutnosti aplikace „inteligentních“ algoritmů, které „vypočítají“ v dostatečném časovém předstihu optimální řešení konfliktů v jízdách vlaků a udržování vlaků v požadovaných časových polohách. Projekt realizuje v současné době nové přístupy podle evropských trendů, kdy proces řízení železnice je rozdělen do tří úrovní – strategické, operativní

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



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

2.4. Simulátor kolejového vozidla

V DSFD se v současné době realizuje simulátor kolejového vozidla. Hlavní zaměření tohoto simulátoru je určeno pro simulaci a školení řízení kolejového vozidla s národními (LS) a interoperabilními (ETCS) vlakovými zabezpečovacími systémy. Předmětem školení strojvedoucích by měl být zejména nácvik a upevnění postupů ovládní řídicích, automatizačních, zabezpečovacích a informačních systémů za běžných provozních situací i za nestandardních nouzových či kritických situací. Simulátor má rovněž umožnit výrazným způsobem zvýšit efektivitu školení a zácvičku na nové technologie ERTMS/ETCS, která zavádí jinou filozofii řízení a kontroly jízdy vozidla oproti současnému stavu. Filozofie kontroly jízdy vozidla pod dohledem systému ERTMS/ETCS je založena na periodické kontrole dodržení rychlosti i velikosti odrychlení (vyjádřeno dynamickým rychlostním profilem - brzdovou křivkou), což vyžaduje od strojvedoucího zvýšené soustředění a rozdělení koncentrace mezi pohled na trať a další ovládací prvky vozidla a displej DMI zobrazující informace nutné k bezpečnému vedení kolejového vozidla. Proto simulátor kolejových vozidel v DSFD bude konstruován jako plný simulátor včetně kinematické pohybové plošiny. Tím by mělo být dosaženo velmi realistického vjemu strojvedoucího při řízení kolejového vozidla.



Obr. 11 Stanoviště strojvedoucího pro simulátor kolejových vozidel
(zdroj Škoda Transportation, a.s.)

Závěr

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

Použité zkratky

ATO	Automatic Train Operation
CAN	průmyslová sériová sběrnice (Controller Area Network)
DSFD	Dopravní sál Fakulty dopravní ČVUT
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	jednotný evropský vlakový zabezpečovač (European Train Control System)
FD	Fakulta dopravní
GVD	grafikon vlakové dopravy
IS	informační systém
ITS-R	Intelligent Transport System-Railway
JOP	jednotné obslužné pracoviště
RZZ	reléové zabezpečovací zařízení
SZZ	staniční zabezpečovací zařízení
TZZ	traťové zabezpečovací zařízení

Lektorovali:

Ing. Jaroslav Grim, Ph.D.

Ing. Pavel Kolář, SŽDC, s.o., CDP Praha

Václav Cempírek, Ivana Indruchová, Libor Kavka ¹

Inovativní železniční vůz – inteligentní vlak

Klíčová slova: *železnice, nákladní doprava, inteligentní vlak, inovativní vagón*

Anotace

Příspěvek řeší technické požadavky na inovativní železniční nákladní vůz. Takový vůz musí mít nižší hlukové emise, optimální vlastní hmotnost, nízké provozní náklady, elektropneumatickou brzdu a logistický potenciál.

Vlak sestavený z takových vozů dosáhne nákladové úspory na provozní profese, výkaz vozidel, zpráva o brždění a další dokumentace bude prováděna automaticky. Celkové přepravní náklady budou konkurenceschopné silniční nákladní dopravě.

Summary

The paper deals with technical requirements for innovative railway freight wagons. Such a car can have noisy emissions, low net weight, low running costs, electro-pneumatic brake and logistical potential.

A train made up of available trucks to save the cost of operating professions, vehicle management, braking report and other documentation will be performed automatically. Total transport costs will be competitive road freight transport.

1. Inovativní železniční nákladní vůz a inteligentní vlak

1.1 Inovativní železniční nákladní vůz

Inovativní nákladní vůz (viz Obr. 1) vychází ze zkušeností a praxe z automobilového, leteckého a kosmického průmyslu, kde jsou sběrnice dat dlouhodobě vyzkoušeny.

Důležitým komponentem pro automatizaci železniční nákladní dopravy bude zavedení digitálního automatického spřáhla, zajištění dostatečné kapacity elektrické energie a bezpečná datová komunikace ve vlakové soupravě.

¹ **Václav Cempírek**, Prof., Ing., Ph.D., 1954, (Vysoká škola dopravy a spojů v Žilině, Fakulta provozu a ekonomiky železniční dopravy), zaměření – intermodální doprava, logistika, přepravní technologie, Vysoká škola logistiky, o.p.s. Přerov

Ivana Indruchová, Ing., 1981, (Univerzita T. Bati Zlín, Fakulta managementu a ekonomiky), zaměření – logistika dopravy a skladování, ČSAD Hodonín, a.s.

Libor Kavka, Ing., Ph.D., 1973, (Vysoká škola báňská Ostrava, Fakulta hornicko-geologická, zaměření automatizace), informační systémy, modelování procesů, Vysoká škola logistiky, o.p.s. Přerov



Obr. 1: Inovativní nákladní vůz SggnS SBB

Zdroj: vlastní

Společné zavedení těchto funkcionalit otevře značné možnosti pro efektivní železniční provoz. Spřáhlo, musí zajistit propojení vzduchového potrubí, elektrického kabelu a datové sběrnice. Na základě funkčnosti těchto požadavků lze převést řadu pracovních pozic prováděných manuálně na automatický provoz. Digitální automatické spřáhlo (viz Obr. 2), zajistí automatické spojení a rozpojení nákladních vozů na základě datového příkazu.



Obr. 2: Automatické spřáhlo pro nákladní vozy

Zdroj: autor

Inovace pro železniční nákladní vůz požadují 5 kritérií – tichý provoz, nízkou vlastní hmotnost vozu, logistické využití, vysoký proběh vozu, nízké náklady životního cyklu. Vybavení nákladního vozu elektropneumatickou brzdou se zatím nedaří, v osobní dopravě je využívána již řadu let. V železniční nákladní dopravě je použita např. Severní Americe, Austrálii a Jižní Africe. Vyznačuje se tím, že jednotlivé brzdy vozidel jsou uvedeny do činnosti ve stejný okamžik, bez ohledu na délku vlakové soupravy. U vzduchové tlakové vlakové brzdy je průrazná rychlost tlakového vzduchu v potrubí omezena na 280 ms^{-1} . Elektropneumatická brzda se vyznačuje nižšími rázy ve vlakové soupravě, což je výhoda pro dlouhé vlakové soupravy. Výhodou je rovněž homogenní rozdělení zatížení na brzdový systém a dvojkolí vozů. Zavedení elektropneumatické brzdy je důležité i s ohledem na zavádění ETCS (evropského vlakového zabezpečovacího systému), protože náběh brzdy u dlouhých vlakových souprav je jedním z omezujících prvků nově zaváděného způsobu zabezpečení jízdy vlaku. Nastavení cílové rychlosti při brzdění probíhá snadněji než u konvenční brzdy. Tyto výhody představují vysoké finanční výdaje pro operativní využití elektropneumatické brzdy. Vedle elektrického vedení s napětím 110 V podle normy UIC je nutné paralelní průběžné vzduchové vedení propojené na hlavní vzduchojem.

Elektrickou energii lze získávat z fotovoltaických článků nebo nápravového generátoru. Datová komunikace mezi telematickou jednotkou a serverem probíhá v současnosti pomocí mobilní radiokomunikace.

Budoucí využití pro digitální zkoušku vlakové integrity podpoří spolehlivý a bezpečný přenos informací o sestavě vlaku. Výhledově se musí stanovit, jaká elektrická zařízení budou požadována u nákladních vlaků a s jakým elektrickým výkonem. Na základě toho bude stanoveno požadované napětí pro vlakovou soupravu. Zjišťuje

se, jaká data budou přenášena u inteligentního nákladního vlaku mezi vozem a hnacím vozidlem (vlakovou lokomotivou) a jaké z toho vyplynou požadavky pro doručení zpráv. Důležité je, aby systém byl robustní, spolehlivý a nákladově příznivý.

1.2 Automatizace pracovních procesů

Automatizace pracovních procesů je klíčovou rolí pro zvýšení konkurenceschopnosti železniční dopravy. Využití telematiky zvýší možnosti pro automatizaci manuálních činností u železničních nákladních vozů a vlakové soupravy. Cílem je nahradit manuální pracovní předpisy a vizualizaci zkoušky. Automatizace činností zabezpečí:

- a) provedení úplné a jednoduché zkoušky brzdy,
- b) výpočet brzdících procent,
- c) zjištění řazení vozů ve vlakové soupravě; vygenerování výkazu vozidel,
- d) kontrolu sestavené vlakové soupravy,
- e) digitalizaci technické prohlídky vozu (dnes je technická prohlídka náročná na personál a čas, musí být vykonána před každým odjezdem sestaveného vlaku nebo tranzitního vlaku po ujetí stanovené vzdálenosti),
- f) informace pro provádění oprav a údržby.

1.3 Inovativní nákladní vůz základní předpoklad pro inteligentní vlak

Inovativní nákladní vůz a inteligentní nákladní vlak je více než pouze jejich součet. Společným spojením propůjčují železniční nákladní dopravě enormní posun v produktivitě. To by mohlo zajistit její větší podíl v mixu přepravních výkonů. Synergie digitalizace a automatizace musí být pro celou vlakovou soupravu. Teprve takové nasazení otevře cestu pro konkurenceschopnou nákladní železniční dopravu. Účinná železniční nákladní doprava potřebuje zlepšit rámcové konkurenční podmínky. K tomu patří výkonná a spolehlivá infrastruktura, tak jako finanční a politická podpora výzkumu a technologií pro vozidlový park.

Inteligentní nákladní vlak se stane milníkem k cestě digitální automatizované železniční nákladní dopravy 21. století.

Digitální automatické spřáhlo s integrovaným propojením elektrického kabelu a datové sběrnice je srdcem inteligentního nákladního vlaku. Jeho zavedením dosáhneme předpoklady pro digitalizaci a automatizaci procesů železniční nákladní dopravy a umožní v provozu zvýšit ekonomickou efektivitu.

2. Praktické aplikace

2.1. SBB Cargo

SBB Cargo (Nákladní dopravce Švýcarských spolkových drah) intenzivně pracuje na inovacích v nákladní dopravě prostřednictvím různých projektů. Nákladní vozy jsou vybavovány inteligentními technologiemi, např. zjišťováním hmotnosti nákladu jako pomůcka pro nakládání; monitorování stavu uzávěru ložného prostoru (plomba), identifikačním označením vozidel pomocí RFID; monitorováním teploty v ložném

prostoru a polohy vozu na trase nebo kontrolou napájení chladírenských kontejnerů prostřednictvím sítě SBB.

Inovativní nákladní vozy se vyznačují technickými parametry - nižší hlučností, lehčí konstrukcí a jsou výkonnější než dříve. V polovině roku 2018 byl zahájen čtyřletý zkušební provoz 16 modernizovaných vozů. Ve spolupráci s řadou odesílatelů a průmyslových partnerů byla sestavena první vlaková souprava, která je nejdříve testována na švýcarských železnicích a od poloviny roku 2019 i v mezinárodním provozu. Očekává se, že vozy ujedou více než 400 tis. kilometrů ve zkušebním provozu. Na konstrukci vozu se podíleli ve spolupráci Technická inovační společnost pro železniční nákladní dopravu (TIS) s výrobcí komponentů. Projekt byl podpořen Spolkovými úřady pro životní prostředí (FOEN) a pro dopravu (BAV).

Koncept "inovatívního vozu", označovaný také "5L vůz", vychází z nových inovativních technických řešení. Pět inovativních návrhů představuje hlavní zlepšení, které nákladní vůz přinese: tichou jízdu, nízkou vlastní hmotnost, výkonnost (delší proběhy), logistickou přizpůsobivost a nákladovou orientovanost z pohledu životního cyklu. Vlaková souprava je složena z kontejnerových vozů Sggs, které jsou vybaveny řadou inovativních komponentů. Patří sem například radiálně nastavitelná dvojkolí v rámu podvozku namísto pevné montáže. Výsledkem je nižší hluk a menší opotřebení jízdních obrysů kol, tzn., že nejen dopravci mají prospěch z nákladní dopravy, ale také ti, kteří žijí v blízkosti železniční trati.

Namísto běžných špalíkových brzd jsou použity kotoučové brzdy. Dvojkolí jsou navíc vybavena tlumičem hluku. Dochází tak k významnému snížení hluku o 5 až 10 decibelů ve srovnání s převážnou většinou nákladních vozů, které byly v poslední době z důvodu snížení hluku vybaveny kompozitními brzdovými špalíky. Inovativní nákladní vůz již není významně hlučnější, než jsou osobní vozy. Kromě toho je vybaven automatickým spřáhlem; jedná se o důležitý krok pro automatizaci provozu, protože automatická spřáhla, zvyšují účinnost řadících a posunovacích prací ve vlakotvorných stanicích.

2.2 Společnost Molinari Rail Systems GmbH

Společnost Molinari Rail Systems GmbH (D) uvedla do zkušebního provozu inovovaný plošinový vůz řady Sggs vybavený bateriovým paketem „rCe-Powerpack“ viz Obr. 3, který je sestaven z 8 modulových článků (56 kW) s dobíjením pomocí hydraulického nápravového generátoru. Elektrický proud je určen pro pohon chladicího agregátu u mrazírenských kontejnerů nebo výměnných nástaveb. Autonomní napájení zajišťuje dodávku elektrického proudu při prostoji vozů např. z dopravních důvodů v železničních stanicích při změně trakce anebo v seřadovacích stanicích při sestavě nákladních vlaků. Bateriový paket je řízen a regulován elektronickým a kontrolním systémem.



Obr. 3: Hydraulický nápravový generátor

Zdroj: autor

Závěr

Inovativní nákladní vůz vybavený elektropneumatickou vlakovou brzdou a digitálním automatickým spřáhlem přinese snížení celkových nákladů na železniční nákladní přepravu a tím se nákladní doprava stane konkurenceschopnou na přepravním trhu. Očekává se převedení přepravy zboží ze silniční nákladní dopravy na železniční nákladní dopravu. Cesta to nebude jednoduchá, protože inovace železničních vozů si vyžádá nemalé finanční prostředky na vývoj a výzkum a s tím spojenou politickou podporu. Vše bude nutné i z důvodu příznivějšího vlivu železniční nákladní dopravy na životní prostředí než vykazuje silniční nákladní doprava. Uplatnění se nabízí především pro ucelené nákladní vlaky, protože časté manipulace s vozy u jednotlivých vozových zásilek, např. při vlakovorbě, budou klást vysoké nároky na spolehlivost zajištění propojení vzduchového potrubí, elektrického vedení a datové sběrnice. Jak již bylo uvedeno, bude kladen vysoký požadavek na spolehlivost a kvalitu železniční infrastruktury.

Literatura

1. Weissbuch Intelligenter Güterzug. Vydavatel: TSI Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr. červen 2019
2. CEMPÍREK, Václav. Nákladní železniční vůz budoucnosti má řadu inovací. *Logistika*, 2018, roč. XIV, č. 6, str. 34. ISSN 1211-0957

Lektorovali:

Ing. Petr Nachtigall, Ph.D., UPCE, DFJP
Michal Roh, ČD Cargo

Rudolf Vávra¹, Vít Janoš²

Dálková železniční osobní doprava v relacích Praha – Drážďany/Cheb

Klíčová slova: dálková železniční osobní doprava, přepravní poptávka, dopravní nabídka, taktový jízdní řád, konstrukce tras, kapacita dráhy

Anotace

Tento článek se zabývá prověřením technologických možností variantního koncepčního řešení dálkové železniční osobní dopravy v relacích Praha – Ústí nad Labem – Dresden/Cheb. Nejprve je popsáno stávající dopravní řešení v těchto relacích z pohledu technických a technologických okrajových podmínek. Zároveň jsou analyzovány přepravní vztahy v řešené oblasti, na jejichž základě je prověřován rozsah nabídky pro nové možnosti koncepčního řešení těchto dálkových linek. Následně jsou formulovány technologické podmínky omezující konstrukci tras vlaků těchto linek, načež jsou jednotlivé varianty konstrukčně prověřeny. Modelové taktové trasy jsou následně vyhodnoceny z pohledu interakcí a technologických konfliktů a je doporučeno provozně nejvhodnější řešení.

Long-Distance Railway Passenger Transport in Prague – Ústí and Labem – Dresden/Cheb Relations

This paper is focused on testing of technological possibilities of transport concept variants of long-distance railway passenger between Praha – Ústí and Labem – Dresden/Cheb. At first, there is described the existing operational concept in researched relations from the point of view of technical and technological boundary conditions. Then, transport demand in these relations is analysed, on which basis the extent of transport supply is tested for new conceptual possibilities of these long-distance lines. Formulation of technological conditions restricting construction of trains paths of these lines follows, whereupon the individual variants are tested from the constructional point of view. Designed model periodic paths are subsequently assessed from interactions and technological conflicts viewpoints, which results to recommendation of the most operationally appropriate solution.

¹ **Ing. Rudolf Vávra** se zabývá technologií a tvorbou nabídky veřejné (zejména železniční) dopravy. Vystudoval bakalářský a magisterský studijní program Technika a technologie v dopravě a spojích na Fakultě dopravní ČVUT v Praze, kde studuje doktorský obor Technologie a management v dopravě a telekomunikacích. Ve své disertační práci se zabývá přepravní optimalizací velikosti pásem ve víceúrovňové obsluze území. Projektuje železniční linky v organizaci Integrovaná doprava Středočeského kraje (IDSK).

² **Ing. Vít Janoš, Ph.D.** se zabývá dopravní technologií, koncepcí veřejné dopravy a dopravním plánováním. Na Fakultě dopravní ČVUT v Praze vystudoval magisterský obor Management a ekonomika v dopravě a spojích a následně doktorský obor Inženýrská informatika. Je odborným asistentem na Ústavu logistiky a managementu dopravy FD ČVUT v Praze. Od roku 2002 byl na FD ČVUT v Praze hlavním řešitelem a spoluřešitelem více než 50 projektů v oblasti veřejné dopravy, prosazovatelem integrálního taktového grafikonu na české železnici a autorem či spoluautorem více než 70 odborných článků a publikací.

Úvod

Atraktivitu železničního spojení (obecně spojení veřejnou dopravou) ovlivňuje nejen cestovní doba, ale též např. četnost tohoto spojení a počet přestupů. U dálkových železničních relací, u nichž je to opodstatnitelné z hlediska přepravních vztahů a z hlediska cestovní doby, resp. jejího srovnání s dopravou silniční (ať už individuální automobilovou, či veřejnou autobusovou), by měla být nabídka (ideálně přímého) spojení každou hodinu (alespoň ve špičce) určitým standardem.

Tento článek se zaměřuje na dálkovou železniční dopravu na linkách Praha – Ústí nad Labem – Dresden (a dále Berlin/Hamburg) a Praha – Ústí nad Labem – Cheb. Tyto dvě linky jsou dnes provozovány ve 2hodinovém taktu, přičemž v úseku Praha – Ústí nad Labem jsou vedeny ve vzájemném časovém prokladu do výsledného hodinového taktu. Pro řešení vzájemných interakcí těchto linek budou zohledněny tratě:

- 090 Praha – Ústí nad Labem – Děčín,
- 130 Ústí nad Labem – Klášterec nad Ohří,
- 140 Klášterec nad Ohří – Karlovy Vary – Cheb,
- Děčín – Schöna – Bad Schandau – Pirna – Dresden.

Na těchto tratích jsou ve dvouhodinovém taktu provozovány:

- linka vlaků EuroCity linky Ex5 Praha – Ústí nad Labem – Děčín – Německo,
- linka rychlíků linky R15 Praha – Ústí nad Labem – Karlovy Vary – Cheb,
- linka rychlíků linky R20 Praha – Ústí nad Labem – Děčín (v období přepravních špiček posílena ve špičkovém směru na hodinový takt).

V dalších kapitolách bude nejprve popsán stávající provozní koncept těchto linek a provedena analýza přepravních vztahů, u kterých se předpokládá, že opodstatní vedení všech těchto linek (přínejmenším ve špičkách, alespoň v části trasy) v hodinovém taktu. Následuje formulace technologických podmínek omezujících konstrukci tras řešených dálkových linek. Poté jsou již zkonstruovány trasy těchto linek dle technologických možností, a to v různých variantách (dosažení různých taktových uzlů těmito linkami, různé soupravy použité na těchto linkách apod.). Následně je provedeno vyhodnocení konstrukce tras a ze vhodných tras jsou sestaveny variantní provozní koncepty.

1 Analytická část

V analytické části je nejprve popsán stávající provozní koncept řešených linek dálkové dopravy, následně jsou charakterizovány přepravní vztahy osob v řešené oblasti.

1.1 Popis stávajícího provozního konceptu řešených dálkových linek

➤ Linka Ex5

Linka Ex5 Praha – Ústí nad Labem – Děčín – Dresden – Berlin/Hamburg/Kiel/Leipzig (do konce platnosti jízdního řádu 2018/19 označena jako linka Ex3) sehrává roli prvního (expresního) přepravního segmentu, spoje této linky zastavují mezi Prahou hl.n. a Dresden Hbf ve stanicích: Praha-Holešovice, Ústí nad Labem hl.n., Děčín hl.n. a Bad Schandau [1, 2].

Linka je provozována ve 2hodinovém taktu a je na českém území konstruována tak, aby v úseku Praha hl.n. – Ústí nad Labem hl.n. tvořila 60minutový proklad s linkou R15. Dosahuje uzlu Praha hl.n. cca v minutě 30 (odjezd v S:30 / příjezd v L:30), v žst. Ústí nad Labem hl.n. se vyskytuje cca v poloze L:45 (směr Drážďany) / S:15 (směr Praha), v Drážďanech dosahuje uzlu L:00 [2].

➤ **Linka R15**

Linka R15 Praha – Ústí nad Labem – Cheb (do konce platnosti jízdního řádu 2018/19 označena jako linka R5) sehrává roli smíšeného přepravního segmentu: v úseku Praha hl.n. – Ústí nad Labem hl.n. plní roli prvního (expresního) přepravního segmentu, v úseku Ústí nad Labem – Karlovy Vary – Cheb plní roli druhého (rychlíkového) přepravního segmentu. Spoje této linky zastavují mezi Prahou hl.n. a Chebem ve stanicích a zastávkách: Praha-Holešovice, Ústí nad Labem hl.n., Teplice v Čechách, Bílina, Most, Jirkov zastávka, Chomutov město, Chomutov, Kadaň-Prunéřov, Klášterec nad Ohří, Ostrov nad Ohří, Karlovy Vary, Chodov, Sokolov a Kynšperk nad Ohří [1, 2].

Linka je provozována ve 2hodinovém taktu. V úseku Praha hl.n. – Ústí nad Labem tvoří hodinový proklad s linkou Ex5. Dosahuje uzlu Praha hl.n. cca v minutě 30 (odjezd v L:30 / příjezd v S:30), žst. Ústí nad Labem hl.n. dosahuje v časové poloze cca S:45 (směr Cheb) / L:15 (směr Praha), žst. Most cca v minutě 30 (L:30 směr Cheb / S:30 směr Praha), žst. Kadaň-Prunéřov v poloze S:00, žst. Karlovy Vary v poloze S:45 (směr Cheb) / L:15 (směr Praha) a uzlu Cheb v minutě 30 (příjezd v L:30, odjezd v S:30) [2].

➤ **Linka R20**

Linka R20 Praha – Ústí nad Labem – Děčín sehrává roli druhého (rychlíkového) přepravního segmentu. Spoje této linky zastavují mezi Prahou hl.n. a Děčínem hl.n. ve stanicích a zastávkách: Praha-Holešovice, Praha-Podbaba, Kralupy nad Vltavou, Hněvice, Roudnice nad Labem, Bohušovice nad Ohří, Lovosice a Ústí nad Labem hl.n. [1, 2].

Linka je provozována v základním 2hodinovém taktu, avšak se zahuštěním během přepravních špiček pracovních dnů na hodinový takt. Konstruktivně je linka dána dosažením uzlu Lovosice v S:00, díky čemuž dosahuje žst. Praha hl.n. cca v poloze S:50 (odjezd) / L:10 (příjezd), žst. Ústí nad Labem hl.n. v poloze S:15 (směr Děčín) / L:45 (směr Praha) a žst. Děčín hl.n. neostře cca v minutě 30 (po S:30 příjezd / před L:30 odjezd) [2].

1.2 Charakteristika přepravních vztahů osob

Pro analýzu přepravních vztahů v řešené oblasti byla vybrána ta sídla, která jsou obsluhována řešenými dálkovými linkami Ex5, R15 a R20 (každému místu zastavení z přepravních důvodů je přiřazena obec, na jejímž území dané místo zastavení leží, příp. další větší města, kterou jsou s touto obcí či místem zastavení geograficky a zároveň dopravně spojena). V řešené oblasti byly tedy pro analýzu přepravních vztahů vybrány obce: Praha, Kralupy nad Vltavou, Štětí, Roudnice nad Labem, Bohušovice nad Ohří, Terežín, Lovosice, Litoměřice, Ústí nad Labem, Děčín, Dresden, Teplice, Duchcov, Bílina, Most, Litvínov, Jirkov, Chomutov, Kadaň, Klášterec nad Ohří, Ostrov, Karlovy Vary, Chodov, Sokolov, Kynšperk nad Ohří,

Cheb. V případě linky Ex5 byla nad rámec řešeného úseku Praha – Dresden vybrána do analýzy přepravních vztahů ještě města Berlin a Hamburg.

➤ **Vnitrostátní přepravní vztahy**

Pro analýzu vnitrostátních přepravních vztahů je použita publikace *Sčítání lidu, domů a bytů* [3] z roku 2011, je však třeba zmínit některé nedostatky použití této publikace pro analýzu přepravních vztahů:

- uvádí pouze dojížděku do zaměstnání a do škol, ostatní přepravní vztahy neuvádí,
- vzhledem k dotazníkovému způsobu získávání dat je možná nedostatečná nebo chybná vyplněnost sčítacích formulářů, která se do výstupních dat promítne,
- jedná se o stará data (z roku 2011), novější nejsou k dispozici (příští sčítání bude provedeno v roce 2021), data tak nemusí reflektovat aktuální stav.

Tabulka 1 zobrazuje přepravně silné dálkové relace (s dojížděkovými vztahy nad 500 dojíždějících), které vzešly z analýzy vnitrostátních přepravních vztahů v řešené oblasti. Dále tato tabulka zobrazuje porovnání cestovních dob v těchto relacích vlakem (při použití linek Ex5, R15, či R20) oproti cestovní době autem (dle plánovače tras) a autobusem (při použití přímých spojení nebo v případě kombinace autobusu a pražské MHD spojení s jedním přestupem). Z těchto cestovních dob byly vypočteny koeficienty cestovní doby jako podíly cestovní doby vlakem a cestovní doby autem, resp. autobusem (koeficienty cestovní doby nižší než 1,25 jsou podbarveny zeleně).

Tabulka 1: Dálkové vnitrostátní relace v rámci řešené oblasti s více než 500 dojíždějícími dle SLDB 2011 a porovnání cestovních dob v těchto relacích při použití železniční dopravy (linek Ex5, R15, R20), IAD a veřejné linkové dopravy. Zeleně jsou podbarveny koeficienty cestovní doby nižší než 1,25. Zdroj: [2, 3, 4, 5].

Relace	Dojížděka dle SLDB 2011	Cestovní doba vlak (min)	Cestovní doba IAD (min)	Koeficient cestovní doby vlak/IAD	Cestovní doba bus (min)	Koeficient cestovní doby vlak/bus
Děčín – Praha	587	85,5	80,5	1,062	–	–
Teplice – Praha	640	91,5	58,0	1,578	73,5	1,245
Karlovy Vary – Praha	648	188,5	101,5	1,857	132,6	1,422
Chomutov – Praha	679	135,5	77,0	1,760	118,0	1,148
Roudnice n. L. – Praha	702	53,5	35,5	1,507	46,7	1,146
Litoměřice – Praha	764	84,5	47,5	1,779	75,2	1,124
Most – Praha	954	116,5	71,5	1,629	102,6	1,135
Ústí n. L. – Praha	1 246	68,3	57,5	1,188	71,3	0,958

➤ **Přepravní vztahy mezi ČR a Německem**

Pro analýzu přeshraničních přepravních vztahů není publikace *Sčítání lidu, domů a bytů* [3] vhodným zdrojem. Pro ně je použit *Transtools* [6], což je dopravní model

Evropy z roku 2005. Z hlediska analýzy přepravních vztahů má *Transtools* tyto nedostatky:

- jedná se jen o model [7], mohou tedy existovat různě velké odchylky od reálného stavu (je však předpokládána dostatečná kalibrace modelu),
- jedná se o model z roku 2005, systém se však neustále vyvíjí, hodnoty přepravních vztahů tedy nemusí reflektovat aktuální stav.

Je důležité zmínit, že hodnoty získané z modelu *Transtools* nelze porovnávat s hodnotami získanými ze *Sčítání lidu, domů a bytů*, neboť *Sčítání lidu, domů a bytů* poskytuje pouze údaje o dojížděci do škol a zaměstnání, zatímco model *Transtools* uvádí i další typy přepravních vztahů.

Tabulka 2 zobrazuje přepravní vztahy mezi Prahou a německými městy Dresden, Berlin a Hamburg dle modelu *Transtools* (součet za oba směry a přes všechny dopravní prostředky). Dále tato tabulka zobrazuje pro tyto relace obdobné porovnání cestovních dob, jako bylo provedeno výše u vnitrostátních relací.

Tabulka 2: Vybrané dálkové přeshraniční relace ČR – Německo a porovnání cestovních dob v těchto relacích při použití železniční dopravy (linky Ex5), IAD a autobusové dopravy. Zeleně jsou podbarveny koeficienty cestovní doby nižší než 1,25. Zdroj: [2, 4, 5, 6].

Relace	Přepravní vztahy dle Transtools 2005	Cestovní doba vlak (min)	Cestovní doba IAD (min)	Koeficient cestovní doby vlak/IAD	Cestovní doba bus (min)	Koeficient cestovní doby vlak/bus
Praha – Dresden	2 910	136,0	88,0	1,545	115,7	1,175
Praha – Berlin	12 403	247,0	204,0	1,211	273,2	0,904
Praha – Hamburg	5 873	396,0	354,5	1,117	595,6	0,665

➤ **Vyhodnocení analýzy přepravních vztahů**

Z analýzy přepravních vztahů a porovnání cestovních dob vyplývá, že v hodinovém taktu by měly být provozovány (alespoň ve špičce) [8]:

- linka Ex5 alespoň v úseku Praha – Děčín, v případě zájmu na německé straně by však (výhledově s ohledem na plánované zkrácení cestovní doby Dresden – Berlin) bylo vhodné zavést hodinový takt až do Berlína,
- linka R15 alespoň v úseku Praha – Ústí nad Labem – Chomutov.

U linky R20 lze zvážit další rozšíření hodinového taktu alespoň v úseku Praha – Ústí nad Labem.

2 Omezující technologické podmínky pro konstrukci tras

V této kapitole jsou stanoveny omezující technologické podmínky pro konstrukci tras řešených dálkových linek Ex5, R15 a R20.

2.1 Taktový jízdní řád

Taktový jízdní řád je typem jízdního řádu (dále jen JŘ) s pevným mezidobím mezi spoji, interval mezi stejnosměrnými spoji téže linky se u taktového JŘ nazývá doba taktu. Na rozdíl od intervalového JŘ se taktový JŘ vyznačuje jednotnou osou symetrie na různých linkách (ve střední Evropě je jako úzus stanovena základní osa

symetrie v cca X:00). Osa symetrie je čas, ve kterém dochází k systematickému setkávání protisměrných spojů téže linky [9].

Taktový uzel je takové místo v síti, ve kterém dochází k systematickému setkávání spojů více linek. Rozlišujeme hlavní taktový uzel (v něm dochází v čase symetrie k setkávání protisměrných spojů linek, a tudíž k systematickým návaznostem mezi těmito linkami), a vedlejší taktový uzel (který se nachází v polovině časové vzdálenosti mezi osami symetrie, setkávají se zde tudíž spoje linek vždy jen v jednom směru, v opačném směru o polovinu doby taktu později).

➤ **Konkrétní požadavky na linky Ex5, R15 a R20**

Konkrétní požadavky vyplývající z principů taktového jízdního řádu, které jsou dále kladeny na linky Ex5, R15, R20 při konstrukci jejich tras, jsou následující:

- vzhledem k výsledkům analýzy přepravních vztahů musí být trasy těchto dálkových linek konstruovatelné v 60minutovém taktu,
- linky budou mít jednotnou osu symetrie, přičemž bude respektován středoevropský úzus, tedy osa symetrie v cca X:00 – přesněji bude osa symetrie odvozena od drážďanského S-Bahnu, jehož trasy nebudou oproti stávajícímu stavu nijak měněny,
- linka Ex5 bude dosahovat taktového uzlu Dresden – variantně v poloze X:00, resp. L:00 (v souladu se stávajícím stavem) a v poloze X:30 (v souladu s plánem německého Spolkového ministerstva dopravy a digitální infrastruktury [10] pro rok 2030),
- linka R15 bude dosahovat taktového uzlu Cheb – variantně v poloze X:30 (v souladu se stávajícím stavem) a v poloze X:00, resp. L:00 (v souladu s plánem německého Spolkového ministerstva dopravy a digitální infrastruktury [10] pro rok 2030),
- linka R20 bude v souladu se stávajícím stavem dosahovat uzlu Lovosice v poloze X:00, resp. S:00.

2.2 Ostatní linky provozované na řešených železničních tratích

Konstrukci tras linek Ex5, R15 a R20 však omezují / mohou omezovat i další linky provozované na řešených železničních tratích. Jedná se o následující linky a jejich konstrukční polohy.

➤ **Linka R14 Ústí nad Labem – Děčín – Česká Lípa – Liberec – Pardubice**

Dálková linka R14 (v úseku Ústí nad Labem – Liberec do konce platnosti jízdního řádu 2018/19 označena jako linka R15) omezuje konstrukci tras linek Ex5 a R20. U linky R14 bude zachován dvouhodinový takt, bude zachováno také její křížování v žst. Benešov nad Ploučnicí, z čehož vyplývá i (přibližné) zachování její časové polohy na trati 090. U varianty, v níž bude linka R15 dosahovat uzlu Cheb v poloze X:30, bude také v ideálním případě sledováno zachování přípojných vazeb mezi linkami R14 a R15 v Ústí nad Labem.

➤ **Linka R25 Plzeň – Žatec – Chomutov – Most**

Dálková linka R25 omezuje konstrukci tras linky R15. U linky R25 bude zachován dvouhodinový takt s dosažením uzlu Most v poloze L:00, dále bude zachováno její křížování v žst. Žatec západ, odsud vyplývá (přibližné) zachování její časové polohy na trati 130.

➤ **S-Bahn Dresden S1 Meißen – Coswig – Dresden – Pirna – Bad Schandau – Schöna**

Linka S1 drážďanského S-Bahnu omezuje linku Ex5 na dvoukolejném úseku Pirna – Schöna (v úseku Dresden – Pirna využívá linka S1 jinou dvoukolejnou trať než linka Ex5). Při konstrukci tras linky Ex5 nebude četnost ani poloha linky S1 nikterak měněna, bude brána jako fixní vstupní omezující podmínka.

➤ **Linka U1 Děčín – Ústí nad Labem – Most – Chomutov – Kadaň-Prunéřov**

Linka U1 omezuje konstrukci tras všech řešených dálkových linek. Konstrukční poloha linky U1, která vychází z dosažení uzlu Děčín v poloze X:30, uzlu Ústí nad Labem v poloze X:00 a uzlu Most v poloze X:00, nebude měněna, bude zachován hodinový takt v úseku Děčín hl.n. – Most a dvouhodinový takt v úseku Most – Kadaň-Prunéřov. V žst. Děčín hl.n. a v žst. Most (zde jen v poloze S:00) bude také zachován krátký obrát soupravy, přičemž minimální doba obratu je 6 minut. Dále je žádoucí, aby v úsecích Děčín hl.n. – Ústí nad Labem hl.n. a Ústí nad Labem hl.n. – Most nedocházelo k předjíždění spojů linky U1 řešenými dálkovými linkami, neboť by poměrně silným regionálním přepravním proudům v Ústeckém metropolitním regionu byla předjetím prodloužena cestovní doba.

➤ **Linka U2 Most – Chomutov – Klášterec – Karlovy Vary**

Linka U2 omezuje konstrukci tras linky R15. U spojů Most – Chomutov – Klášterec nad Ohří, které jsou provozovány přibližně dle taktového JŘ, bude zachován jejich dvouhodinový takt s dosažením uzlu Most v poloze S:00, taktéž bude zachována směrová vazba na linku R25 od Klášterce nad Ohří ve směru Žatec, resp. opačně. U krátkých spojů Kadaň-Prunéřov – Klášterec nad Ohří bude zachován dvouhodinový takt s těsnou přestupní vazbou na linku U1 v žst. Kadaň-Prunéřov. Ostatní spoje této linky v podstatě nejsou provozovány systematicky, jejich trasy pro konstrukci tras řešených dálkových linek tudíž nejsou považovány za omezující.

➤ **Linka S4/U4 Praha – Kralupy nad Vltavou – Lovosice – Ústí nad Labem**

Linka S4/U4 omezuje konstrukci tras všech řešených dálkových linek. U této linky bude zachován hodinový (resp. špičkový hodinový) takt v úseku Ústí nad Labem – Kralupy nad Vltavou a půlhodinový takt v úseku Kralupy nad Vltavou – Praha Masarykovo nádraží. Zachováno bude též dosažení uzlu X:00 v Ústí nad Labem (včetně krátkého obratu soupravy – minimální doba obratu je 6 minut) a uzlu X:30 v Lovosicích. V úseku Lovosice – Praha Masarykovo nádraží nebude vyžadováno zachování stávající časové polohy linky, je však žádoucí, aby linka zůstala celistvá v celé trase Ústí nad Labem – Praha (tedy bez nepřiměřeného prodloužení celkové cestovní doby Ústí nad Labem – Praha touto linkou vlivem nepřiměřeně dlouhých dob pobytů v nácestných stanicích a zastávkách). Dále je žádoucí, aby nedocházelo k předjíždění spojů linky S4/U4 řešenými dálkovými linkami v úseku Ústí nad Labem hl.n. – Lovosice a Kralupy nad Vltavou – Praha, neboť by silným přepravním proudům, které existují v těchto relacích, byla předjetím prodloužena cestovní doba.

➤ **Linka U24 Ústí nad Labem – Litvínov**

Linka U24 omezuje konstrukci tras linky R15. U linky U24 bude v souladu s jejím cílovým provozním konceptem požadován špičkový hodinový takt vlaků Ústí nad Labem hl.n. – Litvínov s dosažením žst. Ústí nad Labem hl.n. v poloze X:30 (včetně krátkého obratu soupravy, přičemž minimální doba obratu je 6 minut). Je též nutné,

aby k míjení protisměrných spojů této linky docházelo ještě na dvoukolejně trati 130, hraničním způsobem míjení je křížování v žst. Oldřichov u Duchcova.

➤ **Linka U28 Děčín – Bad Schandau – Sebnitz – Dolní Poustevna – Rumburk**

Linka U28 omezuje konstrukci tras linky Ex5. U spojů linky U28 jedoucích v celé trase linky bude zachován dvouhodinový takt, v žst. Bad Schandau bude zachována vazba na linku S1 S-Bahnu Dresden (v poloze L:15 / S:45), v žst. Děčín hl.n. bude zachována vazba na linku U1 a ideálně též na dálkovou linku ve směru Ústí nad Labem a Praha. Krátkým špičkovým spojům Děčín – Schöna nebude konstrukce linky Ex5 podřízena.

3 Návrh variantních tras

V této kapitole jsou zkonstruovány variantní trasy řešených dálkových linek Ex5, R15 a R20. Ke konstrukci tras byl použit software Fahrplanbearbeitungssystem.

3.1 Linka Ex5

Trasy linky Ex5 byly zkonstruovány pro lokomotivu Siemens Vectron a 9 vozů klasické stavby. Celkem byly zkonstruovány 3 trasy pracovní nazvané DR00-A, DR00-B a DR30.

➤ **Trasa DR00-A**

Trasa DR00-A linky Ex5 dosahuje v Drážďanech taktového uzlu X:00. Dále je ve směru z Prahy do Drážďan konstrukčně dána takto (v opačném směru je trasa konstruována symetricky):

- průjezd v žst. Lovosice nejpozději v následném mezidobí před odjezdem vlaku linky U4 ve směru Ústí nad Labem,
- průjezd v žst. Pirna nejdříve v příjezdném mezidobí po příjezdu vlaku linky S1 S-Bahnu Dresden ze směru Bad Schandau.

➤ **Trasa DR00-B**

Trasa DR00-B linky Ex5 dosahuje v Drážďanech taktově taktového uzlu X:00. Dále je ve směru z Prahy do Drážďan konstrukčně dána takto (v opačném směru je trasa konstruována symetricky):

- příjezd do žst. Ústí nad Labem hl.n. nejdříve v příjezdném mezidobí po příjezdu vlaku linky U4 od Lovosic,
- odjezd z žst. Ústí nad Labem nejpozději v následném mezidobí před odjezdem vlaku linky U1 ve směru Děčín.

➤ **Trasa DR30**

Trasa DR30 linky Ex5 dosahuje v Drážďanech taktového uzlu X:30. Dále je ve směru z Prahy do Drážďan konstrukčně dána takto (v opačném směru je trasa konstruována symetricky):

- odjezd z žst. Děčín hl.n. nejpozději v následném mezidobí před odjezdem vlaku linky U28 ve směru Bad Schandau – Rumburk,
- příjezd v žst. Pirna nejdříve v příjezdném mezidobí po příjezdu vlaku linky S1 S-Bahnu Dresden ze směru Schöna.

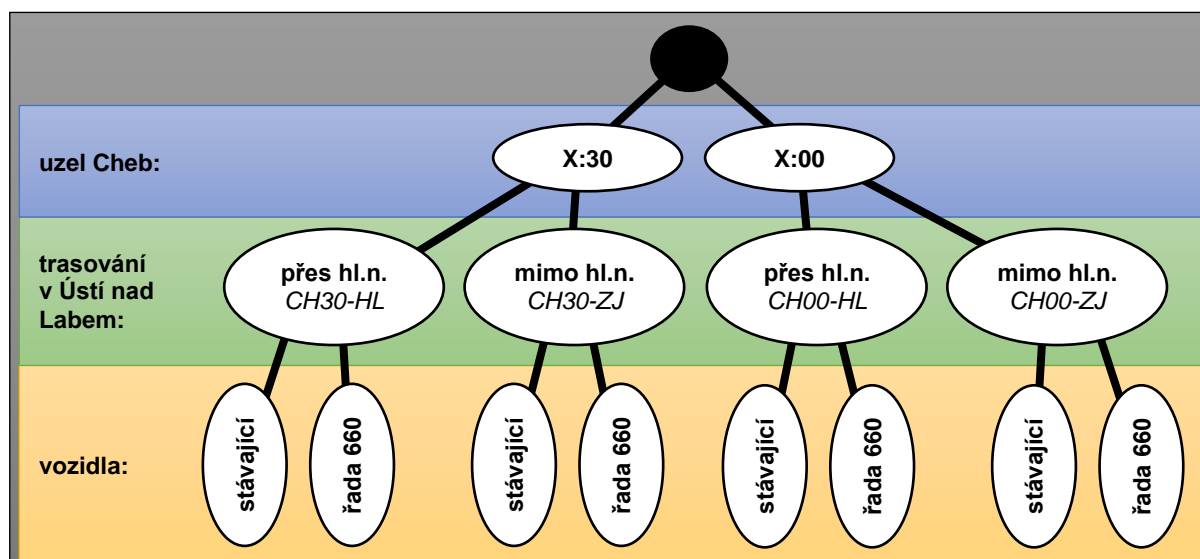
3.2 Linka R15

Pro linku R15 Praha – Ústí nad Labem – Cheb bylo zkonstruováno celkem 8 tras lišících se:

- dosažením taktového uzlu Cheb (v minutě 30, či v minutě 00),
- trasováním v Ústí nad Labem (v souladu se stávajícím stavem přes obvod osobního nádraží žst. Ústí nad Labem hl.n., či mimo tento obvod, tj. přímo z žst. Ústí nad Labem západ na obvod jih žst. Ústí nad Labem hl.n.),
- vozbou (použití stávajících vozidel, či vozidel s lepšími dynamickými vlastnostmi).

Stávající vozidla jsou zastoupena lokomotivou řady 151 v úseku Praha – Ústí nad Labem, resp. lokomotivou řady 362 v úseku Ústí nad Labem – Cheb a 6 vozy klasické stavby. V případě trasování mimo obvod osobního nádraží žst. Ústí nad Labem hl.n. je uvažováno nasazení lokomotivy řady 362 v celé trase Praha – Cheb. Jako souprava s lepšími dynamickými vlastnostmi byla zvolena pětidílná elektrická jednotka řady 660 InterPanter.

Obrázek 1 schematicky zobrazuje přehled všech variant tras zkonstruovaných pro linku R15.



Obrázek 1: Schématický přehled variant zkonstruovaných tras linky R15. Zdroj: autor.

➤ Trasa CH30-HL

Trasa CH30-HL linky R15 dosahuje taktového uzlu Cheb v poloze X:30. Trasována je přes obvod osobního nádraží žst. Ústí nad Labem hl.n. Dále je ve směru z Prahy do Chebu konstrukčně dána takto (v opačném směru je trasa konstruována symetricky):

- průjezd v žst. Lovosice nejpozději v následném mezidobí před odjezdem vlaku linky U4 ve směru Ústí nad Labem,
- průjezd v žst. Oldřichov u Duchcova nejdříve v příjezdném mezidobí po příjezdu vlaku linky U24 ve směru Louka u Litvínova,
- příjezd do žst. Klášterec nad Ohří nejdříve v příjezdném mezidobí po příjezdu vlaku linky U2 od Mostu.

➤ **Trasa CH30-ZJ**

Pro trasu CH30-ZJ platí stejné konstrukční podmínky jako pro trasu CH30-HL. Rozdíl je pouze v tom, že trasa CH30-ZJ není vedena přes obvod osobního nádraží žst. Ústí nad Labem hl.n.

➤ **Trasa CH00-HL**

Trasa CH00-HL linky R15 dosahuje taktového uzlu Cheb v minutě 00. Trasována je přes obvod osobního nádraží žst. Ústí nad Labem hl.n. Dále je ve směru z Prahy do Chebu konstrukčně dána takto (v opačném směru je trasa konstruována symetricky):

- příjezd do žst. Most nejdříve v příjezdném mezidobí po příjezdu vlaku linky U1 ze směru Děčín,
- odjezd z žst. Most nejpozději v následném mezidobí před odjezdem vlaku linky U1, či U2 ve směru Chomutov.

➤ **Trasa CH00-ZJ**

Trasa CH00-ZJ má stejné konstrukční podmínky jako trasa CH00-HL, pouze je vedena mimo obvod osobního nádraží žst. Ústí nad Labem hl.n.

3.3 Linka R20

Pro linku R20 Praha – Ústí nad Labem – Děčín byly zkonstruovány 2 trasy lišící se vozbou:

- stávající vozba (stejnoseměrná lokomotiva řady 162 a 7 vozů klasické stavby),
- souprava s lepšími dynamickými vlastnostmi (třídílná + pětídílná elektrická jednotka řady 660).

S ohledem na stanovené omezující podmínky (dosažení uzlu Lovosice v X:00), je možné v podstatě sestavit pro linku R20 jen jednu trasu. Přípustné jsou jen drobné časové posuny (v řádu jednotek minut) tak, aby byly zachovány návaznosti v žst. Lovosice. V závislosti na nasazených vozidlech (mají rozdílné jízdní doby) se tak v zásadě liší časová poloha jen v úsecích Děčín – Lovosice (mimo) a Lovosice (mimo) – Praha.

4 Vyhodnocení zkonstruovaných tras

V této kapitole jsou trasy zkonstruované v kapitole 4 podrobeny zhodnocení, při kterém je hledán vzájemný soulad mezi trasami linek Ex5, R15 a R20 a též soulad s regionálními linkami. Výsledkem je tedy vyřazení takových tras, které nejsou vhodné pro další zpracování.

Téměř jednoznačně je dána trasa linky R20, neboť je zafixována dosažením taktového uzlu X:00 v Lovosicích tak, aby bylo možné dosáhnout vazeb na návaznou linku U11 a další regionální (autobusové) linky.

Pro výběr nevhodných tras linek Ex5 a R15 jsou použita následující pravidla:

- 1. podmínka: Pokud trasa nuceně vyvolá posun linky R20, který by měl za důsledek rozvázání přípojů v žst. Lovosice, je vyhodnocena jako nevhodná a není s ní dále v práci počítáno.
- 2. podmínka: Pokud trasa vyvolá nucené předjetí linky R20, nebo je nutno v neúměrné výši uměle zvyšovat jízdní doby či pobyty trasy, aby k předjetí

linky R20 nemuselo dojít, je vyhodnocena jako nevhodná a není s ní dále v práci počítáno.

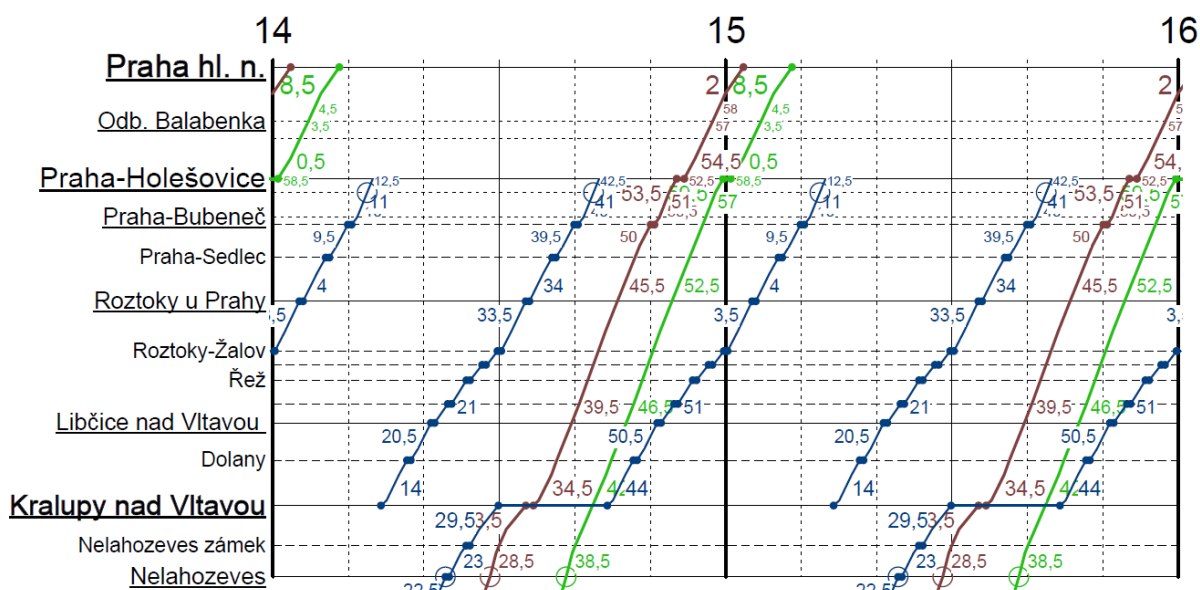
- 3. podmínka: Pokud trasa v kombinaci s trasou linky R20 znemožní zkonstruování přesného 30minutového taktu linky S4 v úseku Kralupy nad Vltavou – Praha Masarykovo nádraží, nebo je kvůli tomu nutno v neúměrné výši uměle zvyšovat jízdní doby či pobyty trasy, je vyhodnocena jako nevhodná a není s ní dále v práci počítáno.
- 4. podmínka: Pokud trasa v kombinaci s trasou linky R20 vyvolá předjetí linky S4 v úseku Kralupy nad Vltavou – Praha Masarykovo nádraží, nebo je nutno v neúměrné výši uměle zvyšovat jízdní doby či pobyty trasy, aby k předjetí linky S4 PID v tomto úseku nedošlo, trasa je vyhodnocena jako nevhodná a není s ní dále v práci počítáno.
- 5. podmínka: Pokud trasa v kombinaci s trasou linky R20 vyvolá narušení celistvosti linky S4/U4 (tedy by nuceně došlo k neúměrně dlouhé době pobytu v alespoň jedné z nácestných stanic či zastávek linky S4/U4 – tolerovány budou za účelem předjetí pobyty do 10 minut), nebo je nutno v neúměrné výši uměle zvyšovat jízdní doby či pobyty trasy, aby k narušení celistvosti této linky nedošlo, je vyhodnocena jako nevhodná a není s ní dále v práci počítáno.

K podmínce č. 5 je nutno uvést, že při dosažení uzlu Lovosice v X:30 linkou S4/U4 je pro zachování celistvosti této linky a pro zachování možnosti přestupu mezi linkami R20 a S4 nezbytné provést její předjetí linkou R20 v žst. Kralupy nad Vltavou (tedy shodně s dnešním stavem).

4.1 Linka Ex5 Praha – Ústí nad Labem – Německo

U linky Ex5 byly pro další zpracování doporučeny trasy DR00-A a DR30.

Trasa DR00-B byla vyřazena jako nevhodná, neboť by buď bylo nutné linku S4 předjet trasou DR00-B v některé ze stanic mezi Kralupy nad Vltavou a Prahou-Holešovicemi-Stromovku (podmínka č. 4), nebo by v opačném případě došlo k narušení celistvosti linky S4 cca 15minutovým pobytem v Kralupech nad Vltavou (podmínka č. 5), viz obrázek 2.

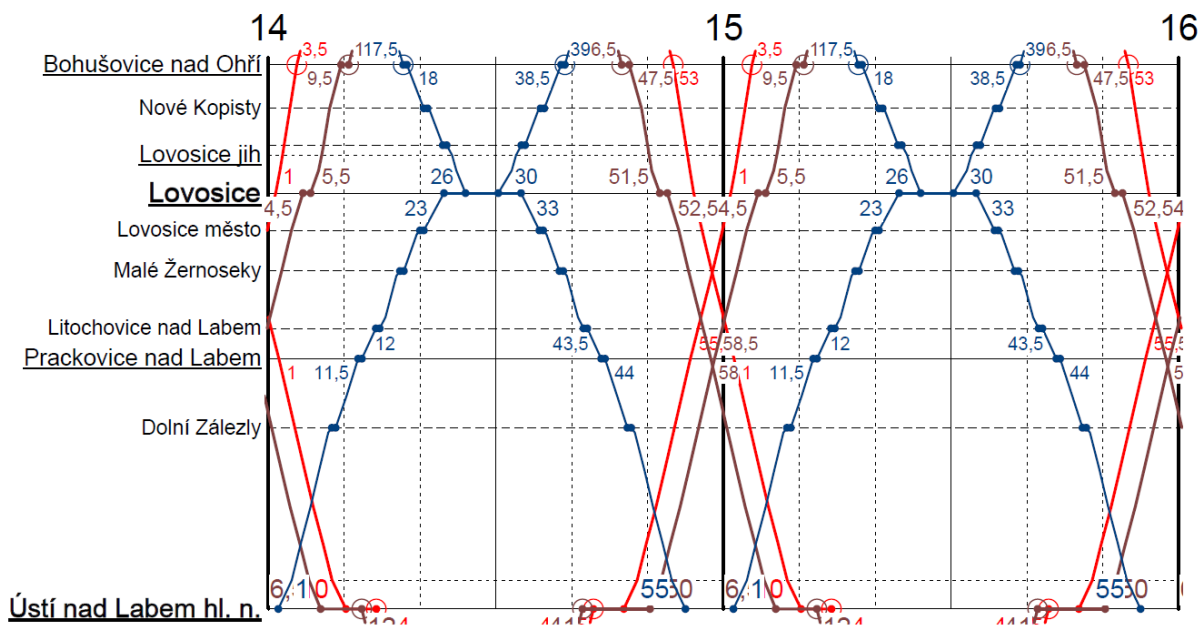


Obrázek 2: Sled vlaků linek R20, Ex5 (v trase DR00-B) a S4 PID v úseku Nelahozeves – Kralupy nad Vltavou – Praha hl.n., předjetí vlaku linky S4 v žst. Kralupy nad Vltavou jak vlakem linky R20, tak vlakem linky Ex5. Zeleně je zobrazena linka Ex5, hnědou barvou linka R20, modře linka S4.

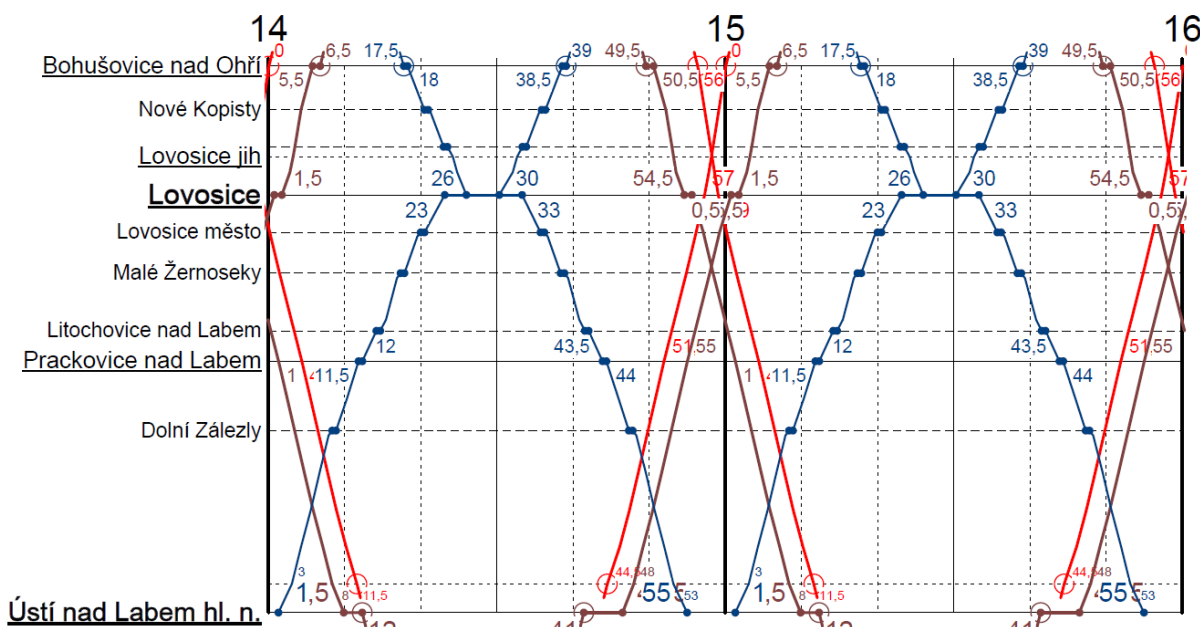
4.2 Linka R15 Praha – Ústí nad Labem – Cheb

U linky R15 byly pro další zpracování doporučeny všechny trasy, které dosahují uzlu Cheb v časové poloze X:30, jmenovitě trasy CH30-HL a CH30-ZJ.

Trasy, které dosahují uzlu Cheb v časové poloze X:00, jmenovitě trasy CH00-HL a CH00-ZJ, byly vyřazeny jako nevhodné. Důvodem jejich vyřazení je, že s ohledem na jejich konstrukční polohu na tratích 130 a 140 je buďto vyvolán posun tras linky R20 takový, že nebude požadovaným způsobem dosaženo taktového uzlu Lovosice X:00 (podmínka č. 1), viz obrázky 3 a 4, nebo by bylo nutno vlaky linky R20 předjet v některé z nácestných stanic mezi Ústím nad Labem a Prahou (podmínka č. 2).



Obrázek 3: Sled vlaků linek R15 (v trase CH00-HL) a R20 v úseku Ústí nad Labem hl.n. – Lovosice – Bohušovice nad Ohří, nevhodné dosažení uzlu Lovosice linkou R20. Červeně je zobrazena linka R15, hnědou barvou linka R20 a modře linka U4.



Obrázek 4: Sled vlaků linek R15 (v trase CH00-ZJ) a R20 v úseku Ústí nad Labem hl.n. – Lovosice – Bohušovice nad Ohří, nevhodné dosažení uzlu Lovosice linkou R20. Červeně je zobrazena linka R15, hnědou barvou linka R20 a modře linka U4.

5 Návrh provozního konceptu

Z tras, které byly zhodnoceny jako vhodné pro další zpracování, byly sestaveny dva provozní koncepty. V obou jsou trasy linek R15 a R20 zkonstruovány pro elektrické jednotky řady 660. Při návrhu provozních konceptů není řešena situace v uzlu Praha, z kritických míst především situace na Odb Balabenka, v úseku Odb Balabenka – Praha hl.n. a také v žst. Praha hl.n. (technologické intervaly a obsazení staničních kolejí).

5.1 Provozní koncept – varianta „svazek“

V první variantě navrženého provozního konceptu se trasy linek Ex5 a R15 dostávají v úseku Ústí nad Labem – Praha do svazku. Použita je trasa DR00-A linky Ex5 a trasa CH30-HL linky R15.

Svazek těchto linek není z přepravního hlediska příliš vhodný, neboť cestujícím jsou v relativně krátkém časovém rozestupu nabídnuty v relaci Ústí nad Labem – Praha dva spoje expresního segmentu, poté je však k dalšímu spoji expresního segmentu téměř hodinový rozestup (který je vyplněn linkou druhého přepravního segmentu – linkou R20). Za účelem vyšší přepravní atraktivity je snahou zajistit mezi trasami linek Ex5 a R15 co největší rozestup, proto je předjetí linky S4 těmito linkami realizováno ve dvou různých stanicích (v žst. Lovosice linkou Ex5 a v žst. Bohušovice nad Ohří linkou R15).

Výhodou tohoto provozního konceptu je, že je možno jej realizovat v krátkodobém horizontu – aniž by bylo nutno měnit časovou polohu taktových uzlů Cheb (X:30) a Dresden (X:00).

Síťová grafika tohoto provozního konceptu je k vidění v příloze 1.

5.2 Provozní koncept – varianta „proklad“

Ve druhé variantě provozního konceptu se dostávají linky Ex5 a R15 v úseku Ústí nad Labem – Praha do 30minutového prokladu. Použity jsou trasa DR30 linky Ex5 (uzel Dresden X:30) a trasa CH30-HL linky R15 (uzel Cheb X:30).

Proklad se z přepravního hlediska jeví výhodněji, neboť nabídne cestujícím v relaci Ústí nad Labem – Praha atraktivnější nabídku (lépe časově rozprostřené spoje expresního segmentu). Vzhledem k cestovní době Dresden Hbf – Ústí nad Labem hl.n. linky Ex5 a cestovní době Cheb – Ústí nad Labem hl.n. linky R15 lze navíc dosáhnout v žst. Ústí nad Labem hl.n. vedlejšího taktového uzlu v poloze X:15 / X:45 s přestupem „za roh“, tedy pro cesty v relaci Dresden – Ústí nad Labem – Cheb a zpět.

Nevýhody navrženého provozního konceptu jsou:

- nepřilíš ostré dosažení uzlu Lovosice X:00 linkou R20, přestupní vazby na linku U11 jsou tak velmi těsné a v podstatě bez rezerv (avšak minimální přestupní doby jsou dodrženy),
- nerovnoměrné rozložení nabídky spojů v úseku Ústí nad Labem hl.n. – Děčín hl.n., kde z žst. Ústí nad Labem hl.n. odjíždějí v krátkém sledu za sebou, v cca 30minutovém okně, linky U1, R20, Ex5, příp. také R14 a v následujícím 30minutovém okně nejede žádný spoj. Krátký sled mezi vlaky linek R20 a Ex5 v úseku Ústí nad Labem – Děčín lze případně řešit zkrácením linky R20 jen do úseku Praha hl.n. – Ústí nad Labem hl.n.

Síťová grafika tohoto provozního konceptu je k vidění v příloze 2.

Závěr

V článku byly prověřeny nové koncepční možnosti řešení dálkové železniční dopravy v prostoru Praha – Dresden/Cheb. Nejprve byl analyzován stávající provozní koncept dálkových linek Ex5 Praha – Ústí nad Labem – Děčín, R15 Praha – Ústí nad Labem – Cheb a R20 Praha – Ústí nad Labem – Děčín. Následně byla provedena analýza přepravních vztahů v předmětné oblasti, a to jak těch vnitrostátních, tak těch přeshraničních. Pro dálkové relace se silnými přepravními vztahy pak byla ověřena konkurenceschopnost železniční dopravy (z hlediska cestovní doby) oproti alternativním dopravním prostředkům. Z analýzy přepravních vztahů jasně vyplynulo, že zavedení hodinového taktu (alespoň v době přepravních špiček) na obou linkách (Ex5 přinejmenším v úseku Praha – Děčín, ideálně až do Berlína, na R15 přinejmenším v úseku Praha – Chomutov) by bylo přepravně odůvodnitelné

Pro návrh změn provozního konceptu bylo dále nezbytné formulovat omezující technologické podmínky pro konstrukci tras řešených linek. Mimo technologických podmínek bylo nezbytné zohlednit i síťové vazby a zapojení do taktových uzlů, a to jak v případě přímo řešených linek (u linky Ex5 uzel Dresden, u linky R15 uzel Cheb, u linky R20 uzel Lovosice), tak i v případě souvisejících linek. Zachování funkčnosti těchto síťových vazeb představovalo v návrhu řešení silnou okrajovou podmínku.

Na základě stanovených omezujících podmínek pak byly zkonstruovány variantní trasy řešených dálkových linek. Celkem byly zkonstruovány tři trasy pro linku Ex5, osm tras pro linku R15 a dvě trasy linky R20. Tyto trasy byly následně zhodnoceny. Při zhodnocení tras linek Ex5 a R15 byl zejména hledán soulad s trasou linky R20 a regionální linkou S4/U4. Jedna trasa linky Ex5 a čtyři trasy linky R15 byly vyhodnoceny jako nevhodné a byly vyřazeny.

Ze zbylých vhodných tras byl následně sestaven návrh dvou přepravně i provozně možných provozních konceptů, kdy každá z nich zohledňovala jiné polohy taktových uzlů a jiné řešení vzájemného prokladu dálkových linek. První provozní koncept byl navržen pro udržení taktových uzlů ve stávajících polohách – tedy Dresden X:00 a Cheb X:30. Trasy dálkových linek Ex5 a R15 se v tomto provozním konceptu dostávají na jejich společném úseku Ústí nad Labem – Praha do (netěsného) svazku. Druhý provozní koncept byl navržen pro případ zapojení linky Ex5 v Drážďanech do taktové skupiny X:30. V této variantě dochází mezi Ústím nad Labem a Prahou k 30minutovému prokladu linek Ex5 a R15. Obě cílově nalezené a technologicky realizovatelné varianty tedy umožňují jak rozšíření provozu odpovídající přepravním proudům v řešené oblasti, tak poskytují i variantní výběr z pohledu potřebných vazeb v síti.

Literatura

- [1] MDČR. Plán dopravní obslužnosti území vlaky celostátní dopravy: zásady objednávky dálkové dopravy pro období 2017–2021 [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Verejna-doprava/Financni-ucast-statu/Plan-dopravni-obsluhy-uzemi-vlaky-celostatni-dopra/Plan-dopravni-obsluhy-uzemi-2017-2021.pdf.aspx>.
- [2] SŽDC. Jízdní řád platný do 14. 12. 2019 [online]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/cestujici/jizdni-rad>.

- [3] ČSÚ. Sčítání lidu, domů a bytů 2011. Praha: 2013. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/scitani-lidu-domu-a-bytu-2011>.
- [4] CHAPS. Vyhledání spojení. IDOS.cz [online]. Dostupné z: <https://jizdnirady.idnes.cz/>.
- [5] Seznam.cz. Plánovač tras. Mapy.cz [online]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?planovani-trasy>.
- [6] EC JRC IPTS [European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies]. Transtools [online]. 2018. Dostupné z: <http://energy.jrc.ec.europa.eu/transtools/index.html>.
- [7] Janoš, V.; Kříž, M. Using of the EVA Model in the Czech Republic. In: Road and Rail Infrastructure V, Proceedings of the Conference CETRA 2018. Zagreb: University of Zagreb, 2018. p. 1369-1376. ISSN 1848-9850. ISBN 978-953-8168-25-3.
- [8] Janoš, V.; Kříž, M. Pragmatic Approach in Regional Rail Transport Planning. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. 2018,(100), 35-43. ISSN 0209-3324.
- [9] Drábek, M.; Pospíšil, J. Fluctuations in Passenger Railway Service Period. In: Young Transportation Engineers Conference 2018. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 2018. p. 1-8. ISBN 978-80-01-06464-1.
- [10] BMVI [Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur]. Infrastruktur für einen Deutschland-Takt im Schienenverkehr. BMVI. 2019. Dostupné z: <https://www.bmvi.de/goto?id=316588>.
- [11] Drábek, M.; Janoš, V.; Michl, Z. Quantitative Determination of Bottlenecks in Railway Networks with Periodic Service. In: Proceedings of 20th International Conference Transport Means 2016. Kaunas: Kauno technologijos universitetas, 2016. pp. 594-598. ISSN 1822-296X.

Přílohy

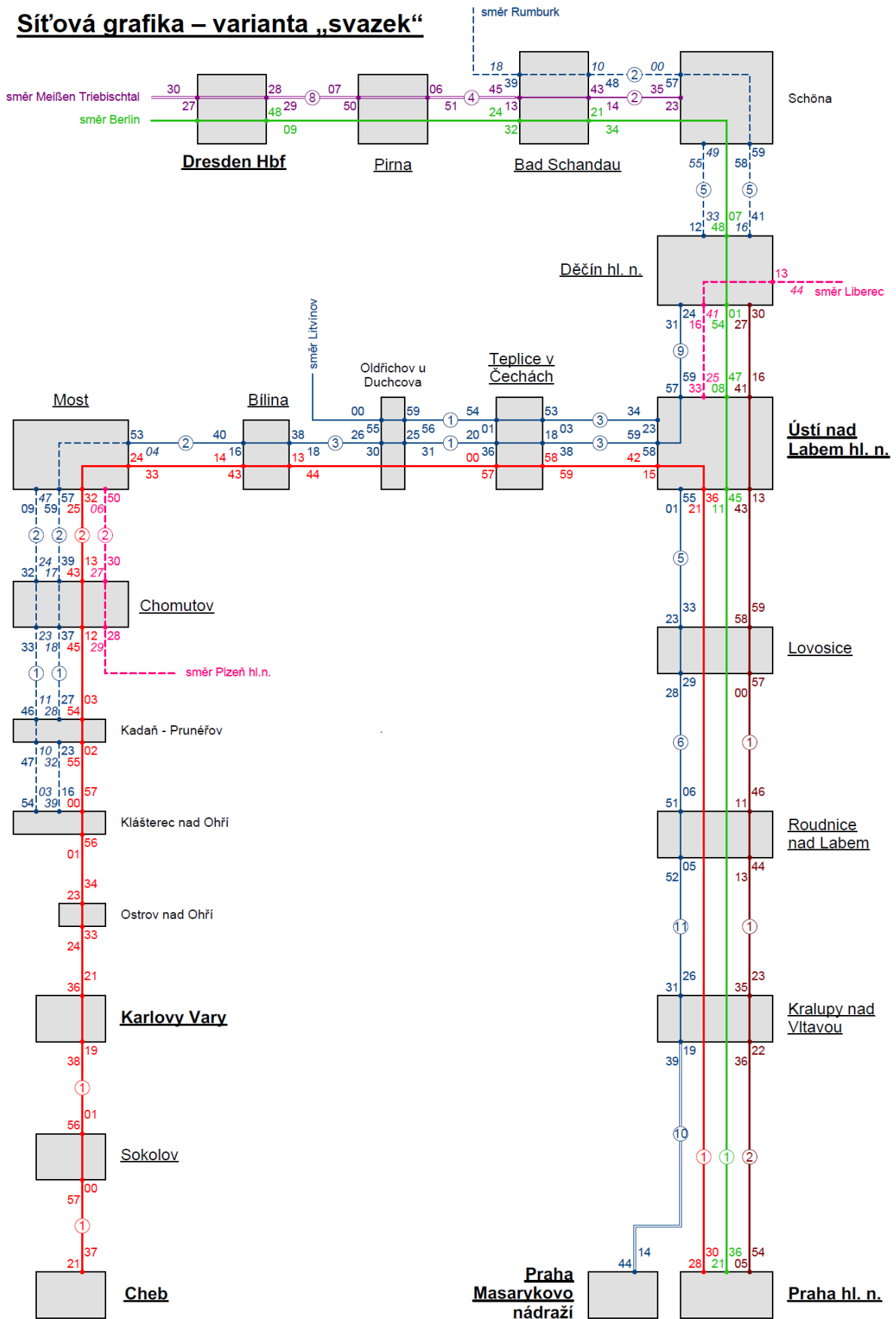
Příloha 1: Síťová grafika provozního konceptu ve variantě „svazek“.

Lektorovali:

Ing. Jindřich Kušnír, MDČR

Ing. Vladimír Kostelný, ČD, a.s.

Síťová grafika – varianta „svazek“



Příloha 2: Síťová grafika provozního konceptu ve variantě „proklad“.

Síťová grafika – varianta „proklad“

