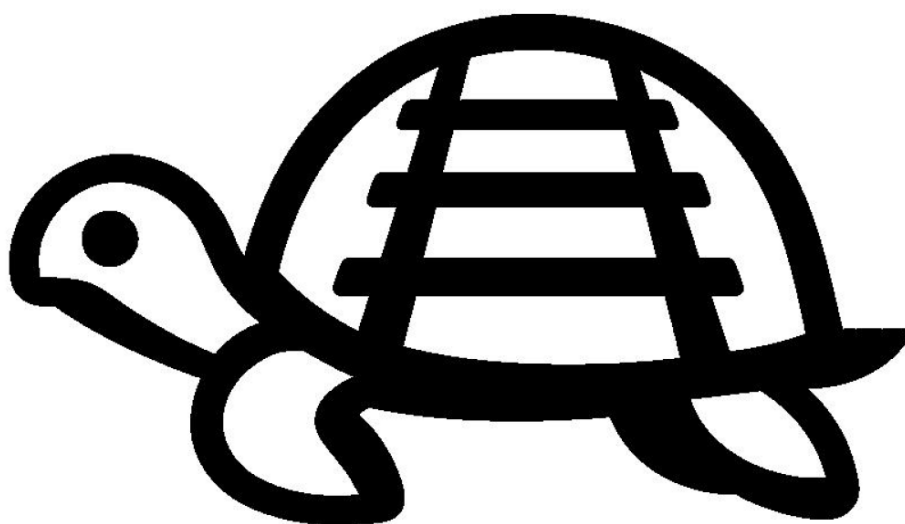


SBORNÍK STUDENTSKÉ VĚDECKÉ KONFERENCE ŽELEZNIČNÍ VÝZKUMNÉ AKTIVITY

8. ročník
2. ZÁŘÍ 2026
PRAHA



ŽELVA 2026

Sborník příspěvků konference ŽELVA 2026

Studentská vědecká konference Železniční
výzkumné aktivity

8. ročník
2. září 2026
Praha

GARANT KONFERENCE/SUPERVISOR
Ing. Leoš Horníček, Ph.D.

EDITOR SBORNÍKU/EDITOR
Ing. Petra Váňová

PŘÍPRAVNÝ VÝBOR KONFERENCE/ORGANIZING COMMITTEE
Ing. Petra Váňová
Ing. Lenka Lomoz, Ph.D.

POŘADATEL
Katedra železničních staveb, Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 2077/7, Praha 6 – Dejvice, 166 29
<http://kzs.fsv.cvut.cz>

tel.: (+420) 224 354 689

SPONZOR KONFERENCE

Strabag a.s.

Jsme hrdí, že můžeme podporovat konferenci ŽELVA 2026.

Těší nás, že přispíváme k propojení akademické sféry a praxe v oblasti železniční infrastruktury.

Pokud Vás láká práce na zajímavých stavebních projektech, rádi Vás přivítáme v našem týmu – na plný úvazek i na brigádách.

Kontakt: rudolf.spachta@strabag.com

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Úvodní slovo

Vážené kolegyně, vážení kolegové, milí studenti,

rád konstatuji, že 8. ročník konference ŽELVA – ŽELEzniční Výzkumné Aktivity, tedy setkání studentů doktorských a magisterských studijních programů, vysokoškolských pedagogů a odborníků z praxe, je již úspěšně za námi.

Konference byla jako již tradičně zaměřena na aktuální trendy ve výzkumu a vývoji konstrukcí a materiálů u kolejové infrastruktury. Jednotlivé příspěvky v podobě teoretických studií, experimentálních analýz, simulací i praktických návrhů řešení byly impulzem pro bohatou diskusi o rozvoji kolejové dopravy v celé její šíři. Věřím, že podněty vzešlé z diskuse pomohou přednášejícím studentům v další fázi řešení jejich výzkumné tematiky.

Konference by se nemohla uskutečnit bez patřičného finančního zajištění. Poděkování za poskytnutý finanční příspěvek patří Fakultě stavební ČVUT v rámci aktivity SVK 11/26/F1 a společnosti Strabag a.s. Děkuji též členkám organizačního výboru konference, které se podílely na přípravě a zdárném průběhu konference. Za velmi přínosnou považuji účast i přednesené prezentace od odbornic a odborníků ze Správy železnic, s.o.

Věřím, že stávající platforma umožňující otevřenou, živou a interdisciplinární diskusi nad řešenými tématy je vnímána jako funkční, a tedy i příslibem pro konání dalších ročníků konference ŽELVA s širokým zastoupením tematicky blízkých univerzit.

Nechť Vám tento sborník slouží jako přehledný souhrn poznatků, k němuž se budete rádi vracet.

Těším se na shledání při příštím, devátém ročníku konference.

Ing. Leoš Horníček, Ph.D.
Katedra železničních staveb
Fakulta stavební ČVUT

Obsah

Krejčí, J. Zavádění systému ETCS v České republice	7
Kuchár, M.; Horák, M. Konstrukce tramvajové tratě	21
Váňová, P.; Lomoz, L. Městská protihluková clona v kombinaci s tramvají 52T	28
Navrátilová, E. Těžké kovy v kolejistických tramvají a jejich možný přenos do biomasy rostlin a živočichů	36
Šurovský, J. COYPU – Nástroj pro hromadný návrh převýšení a simulaci jízdy vlaku	47
Čížek, J. Vliv výšky nástupiště a podlahy železničního vozidla na průběh odbavení cestujících	63

Zavádění systému ETCS v České republice

Ing. Jiří Krejčí¹

ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

Konviktská 293/20, 110 00, Praha 1 – Staré Město

e-mail_1: krejcyj31@fd.cvut.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá zaváděním evropského vlakového zabezpečovacího systému ETCS v České republice, jeho vývojem a postupným přechodem k výhradnímu provozu. Pozornost je věnována také praktickým zkušenostem a problémům, které se při implementaci a provozu systému projeví. Závěrem je nastíněn další předpokládaný vývoj ETCS na české železniční síti.

Klíčová slova

ETCS, ERTMS, výhradní provoz, železniční doprava, interoperabilita, GSM-R, eurobalíza

Implementation of ETCS in the Czech Republic

Abstract

The paper focuses on the implementation of the European Train Control System (ETCS) in the Czech Republic, its development and the gradual transition to ETCS-only operation. Attention is also paid to practical experience and issues encountered during the implementation and operation of the system. Finally, the expected future development of ETCS on the Czech railway network is outlined.

Keywords

ETCS, ERTMS, ETCS-only operation, railway transport, interoperability, GSM-R, eurobalise

1. Úvod

S rozvojem železniční dopravy šel vždy ruku v ruce také vývoj prostředků určených k zajištění její bezpečnosti. Od historických forem signalizace, mezi něž patřilo například používání proutěných košů, přes mechanická návěstidla až po současná světelná návěstidla docházelo k postupnému zdokonalování způsobu řízení a zabezpečení jízdy vlaků. Významnou úlohu přitom sehrála

zejména staniční a traťová zabezpečovací zařízení, jejichž úkolem je vytvářet bezpečné podmínky pro pohyb vlaků ve stanicích a na jednotlivých traťových úsecích.

S postupným zvyšováním rychlosti vlaků však již samotné zabezpečení infrastruktury a předávání návěstních informací strojvedoucím vizuální, příp. zvukovou formou přestávalo být dostačující. Vznikla potřeba technického systému, který by dokázal kontrolovat způsob vedení vlaku a v případě nerespektování stanovených podmínek automaticky zasáhnout. Jednotlivé evropské státy si v průběhu vývoje vytvořily vlastní národní vlakové zabezpečovací systémy. Jejich vzájemná technická nekompatibilita se však postupně stala významnou překážkou mezinárodní železniční dopravy. Přeshraniční provoz vyžadoval buď výměnu hnacích vozidel, nebo jejich vybavení několika různými národními zabezpečovacími systémy.

Jedním z řešení této rozříštěnosti je postupné zavádění jednotného evropského vlakového zabezpečovacího systému ETCS (European Train Control System). Zvyšování bezpečnosti, interoperability a efektivity železniční dopravy patří mezi základní cíle současné evropské dopravní politiky. ETCS je součástí širšího systému ERTMS (European Rail Traffic Management System), jehož základní technologické složky tvoří evropský vlakový zabezpečovací systém ETCS a rádiový komunikační systém. V současnosti je pro rádiovou komunikaci využíván především GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railway), který má být v budoucnu postupně nahrazován systémem FRMCS (Future Railway Mobile Communication System).

Významným mezníkem zavádění ETCS v České republice se stal 1. leden 2025, kdy byl zahájen výhradní provoz pod dohledem ETCS na vybraných úsecích české železniční sítě. V srpnu 2026 následně Správa železnic oznámila dosažení dalšího významného provozního milníku, a to 1 milion vlaků ve výhradním provozu ETCS. Tento údaj dokládá, že ETCS již v České republice nelze považovat pouze za technologii ve fázi zavádění a ověřování, ale za systém, který se stal součástí každodenního železničního provozu. Pozitivní přínos systému potvrzují také zkušenosti samotných strojvedoucích, kteří si navzdory počátečním výhradám k zavádění ETCS na nový způsob provozu postupně zvykli a v řadě případů si již jízdu bez dohledu tohoto systému nedokáží představit.

Význam ETCS pro Českou republiku však nelze omezovat pouze na splnění požadavků evropské interoperability. Dosavadní systém LS je tradičně označován jako liniový vlakový zabezpečovač, ačkoliv toto označení může být z pohledu současného pojetí vlakového zabezpečení diskutabilní. Systém LS totiž především přenáší návěstní informace na stanoviště strojvedoucího a kontroluje jeho bdělost, avšak nezajišťuje kontinuální kontrolu rychlosti a dodržování brzděných křivek. ETCS naproti tomu průběžně kontroluje oprávnění k jízdě vlaku, nejvyšší dovolenou rychlost a dodržování stanovené brzděné křivky a při překročení bezpečných mezí automaticky iniciuje brzdění vlaku. Implementace ETCS proto představuje zásadní změnu v koncepci zabezpečení železniční dopravy v České republice.

Zavádění systému je současně komplexním procesem, který vyžaduje vzájemnou koordinaci jeho infrastrukturní a mobilní části. Za vybudování a provoz infrastrukturní části odpovídá provozovatel dráhy, zatímco vybavení vozidel mobilní částí ETCS je záležitostí provozovatelů drážní dopravy, respektive vlastníků vozidel. Implementace zároveň vyžaduje úpravy navazujících zabezpečovacích a komunikačních technologií, včetně rádiové sítě GSM-R, ověřování kompatibility jednotlivých subsystémů, provedení zkoušek a schvalovacích procesů, přípravu provozních zaměstnanců a vytvoření podmínek pro dlouhodobou správu a aktualizaci systému. Z původně jednotlivých infrastrukturních projektů se tak zavádění ETCS postupně mění v komplexní transformační proces ovlivňující značnou část českého železničního systému.

Cílem článku je analyzovat dosavadní vývoj zavádění systému ETCS v České republice, popsat jednotlivé etapy jeho implementace se zvláštním důrazem na přechod k výhradnímu provozu a identifikovat technické, provozní a organizační faktory, které ovlivňují další rozvoj systému. Součástí hodnocení bude rovněž porovnání původně plánovaných a skutečných termínů implementace ETCS na vybraných traťových úsecích. Cílem bude identifikovat případné odchylky od původních implementačních plánů a diskutovat jejich možné příčiny.

2. Co je to vlastně ETCS

ETCS je standardizovaný evropský systém určený pro zabezpečení jízdy vlaků. Jeho základním principem je bezpečný přenos informací mezi traťovou a mobilní částí a jejich zpracování palubním zařízením. Podle konkrétní aplikační úrovně jsou informace přenášeny prostřednictvím eurobalíz a u ETCS Level 2 také rádiovým spojením mezi vozidlem a radioblokovou centrálou (Radio Block Centre – RBC). Palubní část na základě získaných dat, parametrů vlaku a znalosti jeho polohy stanovuje a kontroluje dovolený průběh jízdy.

Pro provoz ETCS je proto nezbytná funkční součinnost několika subsystémů. Traťová část musí poskytovat správná a bezpečná data, rádiová infrastruktura musí zajistit dostupnou komunikaci a mobilní část na čelním vozidle vlaku musí být kompatibilní s použitou verzí specifikací a konkrétní traťovou aplikací. Významnou roli hraje rovněž vazba RBC na staniční a traťová zabezpečovací zařízení. Z tohoto důvodu nelze ETCS chápat jako izolované zařízení, ale jako systém integrovaný do širší architektury řízení železničního provozu.

V následujících kapitolách jsou charakterizovány jednotlivé aplikační úrovně systému ETCS.

2.1. ETCS L2

ETCS Level 2 představuje liniový vlakový zabezpečovací systém, jehož funkce je založena na nepřetržité obousměrné rádiové komunikaci mezi traťovou a mobilní částí systému. Za pomyslný „mozek řízení“ dané oblasti lze

považovat radioblokovou centrálu (Radio Block Centre – RBC). Ta komunikuje s jednotlivými vlaky a na základě informací získaných ze zabezpečovacího zařízení vytváří a následně předává jednotlivým vlakům oprávnění k jízdě (Movement Authority). Pro určení přesné polohy vlaku na trati jsou v kolejišti umístěny nepřepínatelné eurobalízy, které představují pevné referenční body. Tyto eurobalízy nevyžadují vlastní zdroj elektrické energie. Při průjezdu vozidla jsou prostřednictvím elektromagnetického pole vyzářeného anténou mobilní části ETCS aktivovány a následně odešlou do vozidla uložený telegram obsahující mimo jiné údaje umožňující určit jeho polohu na trati. Mobilní část ETCS přijaté informace zpracuje a využije je ke korekci své průběžně vypočítávané polohy.

Na základě oprávnění k jízdě, informací o infrastruktuře a parametřů konkrétního vlaku stanovuje mobilní část ETCS podmínky jeho další bezpečné jízdy. Průběžně je kontrolována zejména nejvyšší dovolená rychlost a dodržování stanovené brzdné křivky. Pokud strojvedoucí včas nereaguje na požadované snížení rychlosti, systém jej nejprve upozorní a v případě potřeby následně iniciuje brzdění vlaku. Tím je možné zabránit například nedovolenému projetí konce oprávnění k jízdě, který může být stanoven před místem odpovídajícím návěsti „Stůj“. Dohled nad jízdou vlaku přitom probíhá po celou dobu jízdy pod plným dohledem systému ETCS.

ETCS Level 2 lze na železniční infrastruktuře realizovat ve dvou základních variantách, a to se zachováním hlavních návěstidel nebo bez nich. Varianta bez hlavních návěstidel umožňuje ve větší míře využít možnosti systému ETCS a v českém prostředí je spojována s tzv. benefity ETCS. Z pohledu strojvedoucího však zůstává princip jízdy pod plným dohledem ETCS obdobný, neboť rozhodující informace potřebné pro vedení vlaku jsou zobrazovány prostřednictvím rozhraní DMI (Driver Machine Interface) přímo na stanovišti vozidla.

Pro komunikaci mezi RBC a vozidlem je v současnosti na české železniční síti využíván digitální rádiový systém GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railway). Jedná se o železniční rádiový systém technologicky vycházející z mobilních sítí druhé generace (2G), který byl vytvořen speciálně pro potřeby železničního provozu. Rádiové pokrytí jednotlivých tratí zajišťují základnové stanice BTS (Base Transceiver Station), jejichž prostřednictvím je vyslán a přijímán rádiový signál. Rozmístění jednotlivých BTS podél železniční tratě není pravidelné a jejich vzájemnou vzdálenost nelze stanovit jednotnou hodnotou. Ještě před samotnou výstavbou rádiové sítě proto musí být provedeno plánování rádiového pokrytí, při kterém jsou zohledňovány zejména členitost terénu, okolní zástavba, výškové poměry, překážky v okolí tratě a požadovaná úroveň a kvalita rádiového signálu. V zastavěných oblastech nebo ve výrazně členitém terénu tak mohou být základnové stanice rozmístěny přibližně ve vzdálenostech 0,5 až 1 km, zatímco v otevřeném a méně členitém terénu mohou jejich vzájemné rozestupy dosahovat několika kilometrů, přibližně 3–10 km. Možnosti GSM-R již postupně přestávají odpovídat požadavkům na budoucí rozvoj železniční komunikace. Z tohoto důvodu se připravuje jeho postupné nahrazení systémem FRMCS

(Future Railway Mobile Communication System), který je založen na technologiích 5G a službách Mission Critical. Oproti GSM-R má umožnit přenos výrazně většího množství dat a vytvořit komunikační základ nejen pro ETCS, ale také pro další digitalizaci a automatizaci železniční dopravy. Přechod mezi oběma technologiemi bude probíhat postupně a po určitou dobu se proto předpokládá jejich souběžný provoz.

S dalším rozvojem ETCS dochází také k jeho užšímu propojení s dalšími zabezpečovacími zařízeními železniční infrastruktury, mezi která patří přejezdová zabezpečovací zařízení (PZZ). Informace o stavu přejezdu mohou být prostřednictvím RBC zohledněny při jízdě vlaku pod dohledem ETCS, například zavedením odpovídajícího rychlostního omezení při poruše PZZ. Nově je do systému ETCS začleňována také kontrola celistvosti břevna závor, díky čemuž může být jejich stav zohledněn při zabezpečení jízdy vlaku. Tím dochází k dalšímu rozšiřování vazeb ETCS na stávající zabezpečovací technologie.

2.2. ETCS L2 s benefity

Oproti klasickému ETCS L2 vyžaduje ETCS L2 s benefity kromě zavedení výhradního provozu ETCS také odpovídající technické úpravy železniční infrastruktury. Jednou z nejvýraznějších změn je odstranění konvenčních světelných návěstidel a jejich nahrazení stop značkami ETCS a lokalizačními značkami ETCS. Tyto značky označují pro strojvedoucího významná místa infrastruktury, například hranice dopravní nebo jednotlivých traťových oddílů.

Takové uspořádání umožňuje ve větší míře využít potenciál ETCS, například zkrácením následných mezidobí, a tím vytvořit podmínky pro zvýšení kapacity tratě. V závislosti na konkrétních infrastrukturních podmínkách může ETCS současně umožnit zvýšení traťové rychlosti. ETCS L2 bez konvenčních světelných návěstidel přitom není specifikem České republiky, ale je využíváno také v dalších evropských zemích.

2.3. ETCS L1

ETCS Level 1 představuje oproti druhé aplikační úrovni jednodušší řešení zejména z pohledu traťové části systému. Přenos informací mezi tratí a vozidlem probíhá především prostřednictvím eurobalíz, které jsou traťovými elektronickými jednotkami propojeny se stávajícím zabezpečovacím zařízením. Konvenční světelná návěstidla zůstávají zachována a strojvedoucí se při jízdě nadále řídí jejich návěstmi. Na rozdíl od ETCS L2 není pro základní funkci systému vyžadována nepřetržitá rádiová komunikace mezi vozidlem a RBC. I z tohoto důvodu je ETCS L1 vhodné především pro méně zatížené tratě, u nichž není nutné využívat všechny možnosti ETCS L2.

V rámci první aplikační úrovně lze v podmínkách České republiky rozlišit několik způsobů jejího využití. Jedním z nich je ETCS L1 LS (Limited Supervision), při kterém zůstávají hlavním zdrojem informací pro strojvedoucího návěstidla umístěná podél tratě, zatímco ETCS vytváří další úroveň dohledu nad jízdou vlaku. Na základě informací přenesených z traťové

části a vypočtených brzdných křivek systém dohlíží zejména na to, aby vlak neprojel za návěstidlo zakazující jízdu, a v definovaném rozsahu rovněž kontroluje dodržování dovolené rychlosti.

2.4. ETCS STOP a PZV

Zjednodušenou variantu systému ETCS představuje ETCS STOP, jehož hlavním účelem je zabránit nedovolenému projetí návěstidla zakazujícího jízdu. Pokud vlak takové návěstidlo mine, systém iniciuje nouzové brzdění. Současně umožňuje kontrolovat dodržování stanovené nejvyšší rychlosti mezi dopravními a v dopravních. Toto řešení je určeno především pro regionální tratě s nižší intenzitou provozu a traťovou rychlostí do 100 km/h.

Dalším řešením, které se v současnosti na české železnici začíná uplatňovat, je PZV – prostředek pro zastavení vlaku. Z technického hlediska jsou si ETCS STOP a PZV v některých principech podobné. Obě řešení využívají mobilní část ETCS ve vozidle a eurobalízy umístěné v kolejišti, přičemž pro svoji funkci nevyžadují komunikaci s RBC prostřednictvím rádiové sítě GSM-R. Společným účelem je zejména ochrana proti nedovolenému projetí návěstidla zakazujícího jízdu.

Rozdíl spočívá především v rozsahu poskytovaných funkcí a předpokládaném způsobu využití. ETCS STOP je koncipován jako trvalé řešení zabezpečení zejména méně zatížených tratí a kromě ochrany proti projetí návěstidla zakazujícího jízdu zajišťuje také kontrolu nepřekročení stanovené rychlosti mezi dopravními a v dopravních. PZV naproti tomu představuje jednodušší bodový prostředek, jehož hlavním účelem je zajištění zastavení vlaku při nedovolené jízdě. Původně bylo navrženo zejména jako provizorní řešení pro modernizační stavby a výluky, při kterých je traťová část ETCS nebo národní vlakový zabezpečovač dočasně vyřazen z činnosti. Novější koncepce však předpokládá jeho využití také na méně vytížených tratích, kde by vybudování plnohodnotné traťové části ETCS nebylo s ohledem na charakter a rozsah provozu ekonomicky účelné.

3. Vývoj implementace ETCS v České republice

Implementace systému ETCS v České republice probíhala a nadále probíhá v několika postupných etapách. Za jeden z prvních významných kroků lze považovat pilotní projekt ETCS Level 2 v úseku Poříčany – Kolín o délce přibližně 22 km. Projekt byl zahájen v červenci 2005 a jeho cílem bylo především ověřit možnosti implementace evropského vlakového zabezpečovacího systému v podmínkách české železnice. Součástí projektu byla jak traťová část ETCS, tak vybavení vybraných železničních vozidel mobilní částí systému. Projekt byl dokončen v roce 2011 a získané zkušenosti byly následně využity při přípravě dalších staveb ETCS na české železniční síti.

Na pilotní projekt navázalo postupné vybavování hlavních koridorových tratí. První rozsáhlou liniovou aplikací se stala stavba ETCS Level 2 v úseku Kolín – Břeclav – státní hranice s Rakouskem a Slovenskem, jejíž realizace byla

zahájena v roce 2012 a dokončena v roce 2018. Na tuto stavbu postupně navazovaly další projekty, díky nimž se ETCS rozšiřovalo na další části tranzitních železničních koridorů a následně i na další tratě české železniční sítě.

Samotné vybudování traťové části ETCS však ještě neznamenal, že všechny vlaky na vybavených tratích byly provozovány pod jeho dohledem. Po určitou dobu zde proto probíhal tzv. smíšený provoz, při kterém byly na tratích vybavených ETCS provozovány jak vlaky jedoucí pod jeho dohledem, tak vlaky bez aktivního dohledu tohoto systému. Přestože tak byla infrastruktura ETCS postupně budována již od první dekády 21. století, k plnému využití bezpečnostního potenciálu ETCS došlo až teprve zavedením výhradního provozu.

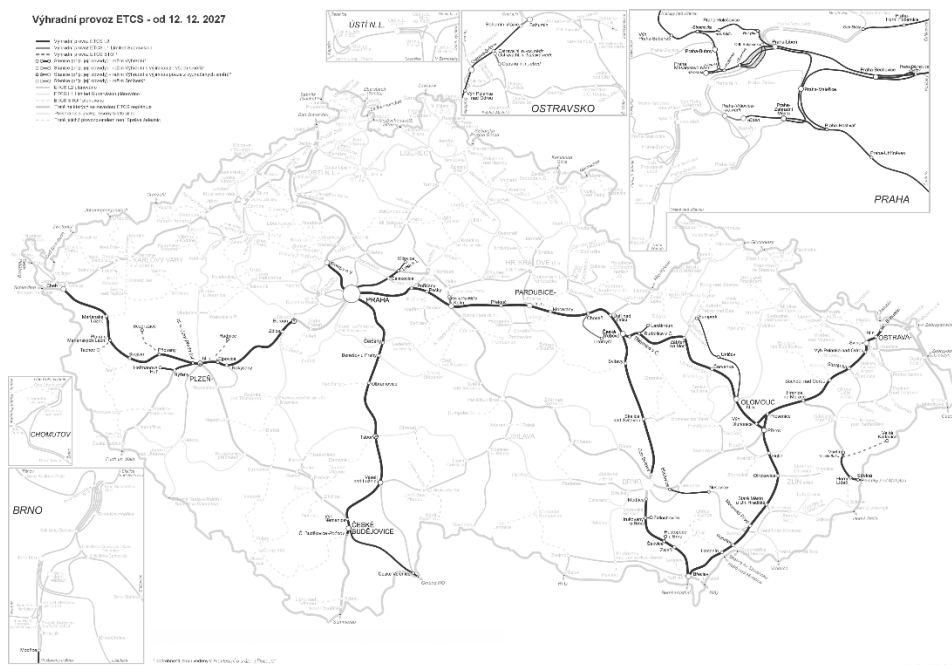
Prvním významným krokem v tomto směru se stala modernizovaná a elektrizovaná trať Olomouc – Uničov. V listopadu 2022 zde byl zahájen zkušební provoz pod dohledem ETCS a následně byl v prosinci téhož roku zaveden výhradní provoz. Trať Olomouc – Uničov se tak stala první tratí v České republice, na které byly všechny pravidelné jízdy vlaků realizovány pod dohledem ETCS. Provoz na této trati měl současně charakter pilotního ověření výhradního provozu před jeho podstatně rozsáhlejším zavedením na hlavních železničních koridorech.

Zásadní zlom nastal v lednu 2025, kdy byl výhradní provoz ETCS postupně zaveden na celkem 622 km hlavních železničních tratí. Vzhledem k rozsahu této změny nebyl spuštěn na všech úsecích současně. Od 1. ledna byl zahájen v úseku Česká Třebová – Olomouc – Dluhonice – Prosenice/Přerov, od 8. ledna na trati Břeclav – Bohumín, od 15. ledna v úsecích Česká Třebová – Adamov a Modřice – Břeclav a od 22. ledna také v úseku Praha-Běchovice – Pardubice – Česká Třebová. Postupné zavádění umožnilo omezit rizika spojená s přechodem tak rozsáhlé části železniční sítě na nový způsob provozu. Zavedení výhradního provozu nebylo pouze otázkou technické připravenosti železniční infrastruktury. Stejně důležité bylo vybavení dostatečného počtu železničních vozidel mobilní částí ETCS a příprava jejich obsluhy. Na začátku roku 2025 bylo systémem ETCS vybaveno 1 803 vozidel a pro provoz pod jeho dohledem bylo proškoleno přibližně 3 500 strojvedoucích. Přejít k výhradnímu provozu tak byl výsledkem dlouhodobé souběžné přípravy provozovatele dráhy, železničních dopravců, vlastníků vozidel, dodavatelů technologií a dalších subjektů zapojených do implementace systému.

Rozšiřování výhradního provozu pokračovalo také v průběhu roku 2025. Od 14. prosince 2025 byl zaveden například v úseku Praha-Libeň – Kralupy nad Vltavou a na vybraných regionálních tratích. Postupně se tak začaly k původním 622 km hlavních tratí připojovat další části železniční sítě. Dalším významným milníkem bude IV. tranzitní železniční koridor ve směru z Prahy do Českých Budějovic. Traťová část ETCS je již v celém úseku do Českých Budějovic dokončena a systém zde může být využíván ve smíšeném provozu. Zahájení výhradního provozu ETCS je plánováno od 13. prosince 2026. Mezi další významné rozšíření je plánováno na prosinec 2027. Výhradní

provoz má být zaveden na III. tranzitním železničním koridoru v úseku Beroun – Plzeň – Cheb, a to od 12. prosince 2027. Ve stejném období se počítá rovněž s výhradním provozem na trati Praha – Lysá nad Labem – Milovice. Traťová část ETCS mezi Prahou a Milovicemi přitom byla uvedena do provozu již v létě roku 2026, takže i zde bude mezi samotným zprovozněním systému a přechodem na výhradní provoz existovat určité přechodné období.

Vedle tratí, na kterých je již ETCS vybudováno nebo se nachází v pokročilé fázi realizace, však stále zůstávají významné části železniční sítě, jejichž vybavení systémem ETCS je připravováno nebo realizováno. Jedná se například o tzv. levobřežní trať v úseku Kralupy nad Vltavou – Ústí nad Labem – Děčín, pravobřežní trať vedenou přes Lysou nad Labem, Mělník, Litoměřice a Ústí nad Labem nebo trať Hranice na Moravě – Vsetín – Horní Lideč – Střelná či „jihočeský trojúhelník“ České Velenice – České Budějovice – Horní Dvořiště. Právě dokončení těchto a dalších staveb bude důležité pro postupné vytvoření souvislé sítě tratí vybavených ETCS. Další postup implementace vychází zejména z Plánu moderního zabezpečení české železnice – Implementace ETCS a Národního implementačního plánu ERTMS České republiky. Tyto strategické dokumenty stanovují harmonogram dalšího rozšiřování systému a koordinují jej s vybavováním železničních vozidel, rozvojem rádiové komunikační infrastruktury a dalšími technologiemi nezbytnými pro postupný přechod české železnice na provoz pod dohledem ETCS.



Obr. 1 Tratě ve výhradním provozu ETCS od 12.12.2027 [1].

4. Problematika implementace ETCS nejen v České republice

Žádný technický systém však nepřináší pouze výhody a jinak tomu není ani v případě ETCS. Vedle zvýšení bezpečnosti a interoperability je jeho zavádění a následný provoz spojen také s řadou technických a provozních problémů, z nichž vybrané jsou popsány v následujících podkapitolách.

4.1. Rozdílné verze systémů

Přestože je základním cílem ETCS vytvoření jednotného evropského vlakového zabezpečovacího systému, jeho dlouhodobý vývoj vedl ke vzniku několika základních specifikací a jejich následných verzí. Vozidlo vybavené starší verzí ETCS tak nemusí být bez dalších technických nebo softwarových úprav automaticky použitelné na všech tratích vybavených tímto systémem.

Praktickým příkladem jsou lokomotivy řady 1216 Taurus ve vlastnictví Českých drah. Ze šesti lokomotiv byly čtyři vybaveny starší verzí ETCS určenou pro provoz v Rakousku, zatímco zbývající dvě systém ETCS neměly. U čtyř vybavených vozidel bylo možné pomocí softwarových úprav umožnit jejich provoz pod ETCS na vybrané části české železniční sítě, nejednalo se však o řešení umožňující jejich plnohodnotné využití na celé síti s výhradním provozem ETCS. České dráhy proto následně rozhodly, že další investice do modernizace těchto lokomotiv nejsou s ohledem na jejich počet a další obnovu vozidlového parku ekonomicky účelné, a v roce 2026 je vyřadily z provozu a nabídly k prodeji.

4.2. Nouzové zastavení

Jedním z problémů, který se projevil zejména v počátcích výhradního provozu ETCS, byla nežádoucí nouzová zastavení vlaků, označovaná jako *tripy*. Samotný *trip* však nelze automaticky považovat za poruchu ETCS. Jedná se o bezpečnostní reakci systému na stav, kdy nejsou splněny podmínky pro další bezpečnou jízdu. Příčina tak může být nejen v traťové nebo mobilní části ETCS, ale také v rádiové komunikaci GSM-R, navazujícím zabezpečovacím zařízení nebo v obsluze.

Významné zkušenosti přinesl výhradní provoz na trati Olomouc – Uničov, kde se mezi řešenými problémy objevovaly také rozpady rádiového spojení mezi mobilní částí ETCS a radioblokovou centrálou RBC. Jedním z následných opatření proto byla optimalizace parametru `T_SECTIONTIMER`, který stanovuje časovou platnost příslušné části oprávnění k jízdě. Při krátkodobém výpadku rádiového spojení totiž nemusí být okamžitá bezpečnostní reakce žádoucí, pokud je spojení během krátké doby opět obnoveno. Během zátěžových zkoušek v roce 2024 se prodloužení hodnoty tohoto parametru na 40 sekund (z původních 18 sekund) ukázalo jako účinné opatření ke zvýšení stability systému a omezení nežádoucích nouzových zastavení.

Ke zvýšení spolehlivosti komunikace prostřednictvím sítě GSM-R významně přispěla také optimalizace umístění vozidlových antén a úprava jejich

bezprostředního okolí, které může ovlivňovat kvalitu přijímaného rádiového signálu.

Při následném zavedení výhradního provozu na hlavních tratích v lednu 2025 již 99,1 % vlaků absolvovalo jízdu pod plným dohledem ETCS bez *tripu*. U zbývajících 0,9 % došlo k bezpečnostní reakci systému, přičemž jednotlivé případy měly různé příčiny. Zkušenosti z prvních let provozu tak ukazují, že významnou součástí implementace ETCS není pouze samotná instalace technologie, ale také její postupná optimalizace na základě zkušeností z reálného provozu.

V průběhu roku 2024 probíhaly na vybraných úsecích připravovaných pro zavedení výhradního provozu zátěžové zkoušky ETCS, jejichž cílem bylo při zvýšeném počtu vlaků ověřit zejména stabilitu komunikace mezi mobilní částí ETCS a RBC prostřednictvím sítě GSM-R a identifikovat příčiny případných nežádoucích nouzových zastavení. První zkouška proběhla v lednu v úseku Břeclav – Staré Město u Uherského Hradiště, další například v úsecích Břeclav – Modřice a Adamov – Česká Třebová. Poslední zátěžová zkouška se uskutečnila ve dnech 27.–29. července 2024 v úseku Praha-Běchovice – Kolín – Pardubice, kde bylo provedeno celkem 160 jízd se 100% dostupností ETCS. Vývoj spolehlivosti systému před zavedením výhradního provozu a následně v pravidelném provozu dokumentují vybrané provozní údaje uvedené v tabulce 1. Při jejich porovnávání je však nutné zohlednit rozdílný charakter jednotlivých sledovaných období, neboť zahrnují jak cílené zátěžové a ověřovací zkoušky, tak běžný provoz vlaků pod dohledem ETCS.

Tab. 1 Vývoj provozní dostupnosti systému ETCS v České republice [15]

Období / provoz	Rozsah	Výsledek
Olomouc–Uničov, 2024	cca 2 000 vlaků/měsíc	dostupnost cca 99,5 %
Zátěžové zkoušky, 1–7/2024	7 úseků, 796 jízd	97,36 %
Běžný provoz, 8–10/2024	tratě připravované pro výhradní provoz	98,65 %
Běžný provoz, 4.–10. 11. 2024	tratě připravované pro výhradní provoz	99,22 %
Ověřovací jízdy SŽ, 8–11/2024	21 307 km	4 tripy (1 na 5 327 km)
Výhradní provoz, 1/2025	> 30 000 vlaků, > 2 mil. km	99,1 % bez tripů / 0,9 % tripů

Hodnota dostupnosti vyjadřuje podíl jízd, při kterých nedošlo k nežádoucímu zásahu ETCS vedoucímu k nouzovému zastavení vlaku. Jednotlivé hodnoty uvedené v tabulce však nejsou vzhledem k rozdílnému charakteru provozu a způsobu jejich vyhodnocení vždy přímo vzájemně porovnatelné.

4.3. Ochrana eurobalíz před mechanickým poškozením

Dalším problémem, který se projevil při provozu systému ETCS, je možnost mechanického poškození eurobalíz umístěných v kolejišti. K jejich poškození může dojít například nezavěšenou šroubovkou železničního vozidla, ledem či sněhem odpadávajícím z podvozků projíždějících vozidel nebo jinými předměty nacházejícími se v kolejišti. Důležité je zmínit, že mechanické poškození eurobalízy nemusí vždy vést k jejímu okamžitému vyřazení z činnosti. V závislosti na rozsahu poškození může docházet k postupnému zhoršování jejích vlastností a následně ke snížení spolehlivosti přenosu informací mezi eurobalízou a mobilní částí ETCS. Z důvodu zvýšeného rizika mechanického poškození jsou ochrannými kryty vybavovány eurobalízy umístěné v kolejích s rychlostí 60 km/h a vyšší.

Na síti Správy železnic se používají dva základní typy, a to BAT-12 společnosti AŽD Praha a ChrT společnosti Chládek & Tintěra. Kryt BAT-12 využívá stávající způsob upevnění balízy, zatímco kryt ChrT je upevňován vrtáním do schválených typů betonových pražců. Tento způsob upevnění byl před jeho zavedením ověřen a schválen výrobcí příslušných typů pražců. Vrtání do betonových pražců však nebylo zpočátku přijímáno jednotně a některá oblastní ředitelství Správy železnic s tímto způsobem upevnění nesouhlasila, zejména z důvodu obav z možného ovlivnění vlastností a životnosti pražců. Rozdílný způsob upevnění jednotlivých typů krytů je významný také s ohledem na konstrukci železničního svršku a použitý typ pražce.



Obr. 2 Eurobalíza s krytem BAT-12 v žst. Lysá nad Labem, [zdroj autor].

4.4. Aktualizace softwaru ETCS

Další problematickou oblastí je nutnost průběžných aktualizací softwaru ETCS. Systém se neustále technicky vyvíjí a v provozu se současně mohou nacházet různé verze, respektive Baseline ETCS. Aktualizace softwaru může být vyvolána například zaváděním nových funkcionalit, odstraňováním zjištěných nedostatků nebo požadavkem na zajištění kompatibility mezi jednotlivými částmi systému.

Potřeba aktualizace však nevzniká pouze v důsledku samotného vývoje ETCS. Změny železniční infrastruktury mohou vyžadovat odpovídající úpravu konfigurace či softwaru traťové části ETCS, aby systém správně zohledňoval aktuální stav infrastruktury. Může se jednat například o změny kolejového uspořádání, zabezpečovacího zařízení, návěstidel, rychlostních poměrů nebo dalších parametrů, které jsou využívány při vytváření oprávnění k jízdě a dohledu nad jízdou vlaku. Každá taková úprava může být následně spojena také s nutností jejího ověření a provedení příslušných zkoušek před uvedením změny do provozu.

5. Závěr

Zavádění systému ETCS představuje jednu z nejvýznamnějších technologických změn na české železnici za poslední desetiletí. Od zahájení pilotního projektu v úseku Poříčany – Kolín v roce 2005 se systém postupně rozšířil na hlavní železniční koridory a od roku 2025 je na více než 600 km tratí využíván ve výhradním provozu. Další rozšiřování bude pokračovat i v následujících letech, přičemž postupně budou přibývat nejen další koridorové úseky, ale také další části železniční sítě.

Dosavadní zkušenosti současně ukazují, že implementace ETCS není pouze otázkou instalace traťové a mobilní části systému. Jedná se o dlouhodobý proces zahrnující vzájemnou kompatibilitu jednotlivých zařízení a verzí ETCS, zajištění spolehlivé rádiové komunikace, úpravy železniční infrastruktury i postupnou optimalizaci systému na základě zkušeností z reálného provozu. Příkladem může být změna parametru T_SECTIONTIMER, která přispěla k omezení nežádoucích nouzových zastavení, nebo dodatečné zavádění ochranných krytů eurobalíz.

Provozní výsledky zároveň ukazují, že počáteční problémy spojené se zaváděním systému se daří postupně omezovat. V lednu 2025 absolvovalo 99,1 % vlaků celou jízdu pod plným dohledem ETCS bez *tripu*, a to při více než 30 000 uskutečněných jízdách. Současně je nutné zdůraznit, že ne každé nouzové zastavení vlaku představuje závadu nebo nežádoucí zásah ETCS. Příkladem je událost na trati Olomouc – Uničov z ledna 2024, kdy došlo k nouzovému zastavení vlaku v důsledku poruchy přejezdového zabezpečovacího zařízení. V tomto případě ETCS reagovalo správně na vzniklý stav a zajistilo bezpečné zastavení vlaku. ETCS tak již nelze v podmínkách České republiky vnímat pouze jako připravovaný evropský vlakový zabezpečovací systém, ale jako běžnou součást železničního provozu, jejíž význam bude s dalším rozšiřováním výhradního provozu nadále růst.

V následujících letech lze zároveň očekávat změnu přístupu k dalšímu rozšiřování systému. Prioritou bude plnohodnotné ETCS zejména na hlavních koridorových tratích, zatímco na méně vytížených tratích se počítá také s využitím jednodušších forem zabezpečení, mezi které patří Prostředek k zastavení vlaku (PZV). Ten využívá prvky ETCS, zejména eurobalízy a mobilní část systému ve vozidle, a funguje na principu bodového zabezpečení jízdy vlaku. PZV může být využito rovněž jako provizorní řešení během modernizačních staveb, kdy je traťová část ETCS na delší dobu vypnuta a její průběžné úpravy podle jednotlivých stavebních postupů by nebyly účelné.

Další rozvoj ETCS tak bude stále více záviset na koordinaci se samotnou modernizací železniční infrastruktury, obnovou zabezpečovacích zařízení a vybavováním železničních vozidel. Výsledkem by mělo být postupné vytvoření ucelené sítě tratí, na které bude možné plně využívat bezpečnostní, provozní a interoperabilní přínosy jednotného evropského vlakového zabezpečovacího systému.

Literatura

- [1] SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace: Zavádění ETCS. Webová stránka. [cit. 2026-08-15], Dostupné z: <https://etcsinfo.cz/zavadeni-etcs>
- [2] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR: Národní implementační plán ERTMS (2024). Webová stránka. [cit. 2026-08-15], Dostupné z: <https://md.gov.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Narodni-implementacni-plan-ERTMS-%282024%29>
- [3] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR: Aktualizace Plánu moderního zabezpečení české železnice – Implementace ETCS. Webová stránka. [cit. 2026-08-16], Dostupné z: <https://md.gov.cz/Dokumenty/Drazni-doprava/Zeleznicni-infrastruktura/Aktualizaci-Planu-moderniho-zabezpeceni-ceske-zele>
- [4] SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace: SŽDC vybaví úsek Přerov – Česká Třebová evropským vlakovým zabezpečovačem ETCS. Webová stránka. [cit. 2026-08-16], Dostupné z: https://www.spravazeleznice.cz/press/tiskove-zpravy/-/asset_publisher/XdUnb3j5ZVR8/content/szdc-vybavi-usek-prerov-ceska-trebova-evropskym-vlakovym-zabezpecovacem-etcs?inheritRedirect=false
- [5] SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace: Na Uničovce už prakticky nedochází k nouzovým zastavením vlaků. Webová stránka. [cit. 2026-08-16], Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/-/na-unicovce-uz-prakticky-nedochazi-k-nouzovym-zastavenim-vlaku>
- [6] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR: První měsíc provozu vlaků pod výhradním dohledem ETCS celkově splnil očekávání. Webová stránka. [cit. 2026-08-17], Dostupné z: <https://md.gov.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Prvni-mesic-provozu-vlaku-pod-vyhradnim-dohledem-E>

- [7] SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace: Železniční dopravní cesta 2024 – sborník příspěvků. Elektronický dokument. [cit. 2026-08-17], Dostupné z: https://konferencezdc.cz/wp-content/uploads/2024/11/ZDC_2024_Sbornik_www.pdf
- [8] SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace: ETCS a moderní technologie. Webová stránka. [cit. 2026-08-17], Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/dodavatele-odberatele/technicke-pozadavky-na-vyrobyky-zarizeni-a-technologie-pro-zdc/etcs-a-moderni-technologie>
- [9] SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace: SŽ TS 1/2025-Z – Technické specifikace systémů, zařízení a výrobků: Prostředek k zastavení vlaku. Elektronický dokument. [cit. 2026-08-17], Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/142705238/S%C5%BD%2BTS%2B1L2025-Zpdf/f7dc84fc-282a-4441-8865-578a224ed959>
- [10] SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace: Princip fungování systému ETCS. Webová stránka. [cit. 2026-08-18], Dostupné z: https://www.spravazeleznic.cz/en_US/digitalizace/etcs/princip-fungovani-systemu
- [11] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR: Do roku 2033 získá troleje dalších 600 kilometrů tratí, ETCS se rozšíří na hlavní koridory. Webová stránka. [cit. 2026-08-17], Dostupné z: <https://md.gov.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Do-roku-2033-ziska-troleje-dalsich-600-kilometru-t>
- [12] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR: ETCS zvýšil bezpečnost české železnice, další rozvoj má jasné priority. Webová stránka. [cit. 2026-08-18], Dostupné z: <https://md.gov.cz/Media/Na-pravou-miru/ETCS-zvysil-bezpecnost-ceske-zeleznice%2C-dalsi-rozv>
- [13] SPRÁVA ŽELEZNIC, státní organizace: Prohlášení o dráze celostátní a drahách regionálních 2027. Elektronický dokument. [cit. 2026-08-18], Dostupné z: https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/185262916/cj116029_Prohl%C3%A1%C5%A1en%C3%AD%2B2027_CaR_web.pdf/8ab9f5f6-ef97-4c08-bd23-05fc22d6cdce?version=1.0
- [14] ZDOPRAVY.CZ: Před pěti lety nakoupily, nyní je prodávají. České dráhy začaly nabízet své nejrychlejší lokomotivy. Webová stránka. [cit. 2026-08-18], Dostupné z: <https://zdopravy.cz/ceske-drahy-zacaly-prodavat-aurusy-lokomotivy-278272/>
- [15] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR: Výhradní provoz ETCS – Bezpečnost a modernizace železnice. Prezentace, 25. 11. 2024. [cit. 2026-08-20], Dostupné z: https://md.gov.cz/getattachment/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Vyhradni-provoz-ETCS-Bezpecnost-a-modernizace-zel/TK_k_zavadeni_ETCS_25-11-2024.pdf.aspx?utm_source=chatgpt.com

Konstrukce tramvajové tratě

Ing. Martin Kuchár¹, Ing. Matouš Horák²

*Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering,
Veveří 331/95, 602 00 Brno*

e-mail_1: Martin.Kuchar1@vut.cz,

e-mail_2: Matous.Horak1@vut.cz

Abstrakt

Článek se zabývá popisem silově-deformačního chování upevnění kolejnic na železobetonových panelech v konstrukci tramvajových tratí konstrukce DZP. Zkoušky vycházejí z v současnosti platné metodiky měření příčných odporů pražců, bylo ji však nutné upravit z důvodu naprosto odlišného systému upevnění kolejnic. Na základě těchto měření je cíl zjistit závislost příčného odporu proti posunutí uzlu upevnění na velikosti zatěžovací síly a na velikosti utahovacího momentu kotevních šroubů.

Klíčová slova

Tramvajový svršek, kolejnice, panel DZP, příčný odpor upevnění, zkušební aparatura.

Tram Track Construction

Abstract

This paper deals with the description of the force-deformation behavior of rail fastenings on reinforced concrete panels DZP within the tram track. While the testing procedures are based on the currently valid methodology for measuring the lateral resistance of sleepers, modifications were necessary due to a fundamentally different fastening system. Based on these measurements, the goal is to determine the relationship between the fastening node's resistance to displacement, the magnitude of the applied load, and the tightening torque of the anchor bolts.

Keywords

Tram track, rail, DZP panel, lateral fastening stiffness, test apparatus.

1. Úvod

Nasazení plošných panelů namísto běžných pražců je v městském prostředí klíčové kvůli přítomnosti silniční dopravy. Pražce totiž podpírají kolejnice jen bodově, což znamená, že zatížení od projíždějících vozidel není rovnoměrné. Když těžké vozidlo přejede přes místo, kde pod asfaltem pražec chybí, podklad se mírně propadne. Naopak v místech přímo nad pražcem podklad drží pevně. Tento opakovaný tlak vozidel způsobí postupné prokopírovávání pražců nahoru do krytu vozovky. Tento deformační jev se na povrchu projevuje rychlým vznikem lokálních poklesů a následně trhlin v krytu komunikace. Jakmile se povrch vozovky takto mechanicky naruší, do konstrukce trati začne zatékat voda. V zimě tato voda pod povrchem zmrazne, zvětší svůj objem a začne části trati zevnitř deformovat. Pod tlakem projíždějících vozidel se vyplavuje podkladový materiál a pod trati vytváří prázdná místa a povrch ztrácí stabilitu. Velkoplošné panely tomuto procesu předchází tím, že veškeré zatížení od vozidel i tramvají rozkládají rovnoměrně po celé své ploše.

2. Cíle

Článek se zaměřuje na konstrukční úpravu a realizace upravené aparatury pro identifikaci reálného příčného odporu uzlu upevnění v závislosti na velikosti vyvozené síly a velikosti utahovacího momentu v uzlu upevnění. Dalším krokem bude technická diagnostika vybraných poruch GPK na DZP panelech používaných na TT. Na základě této analýzy budou v budoucnu stanoveny postupy pro identifikaci provozních vad a návrhy na jejich odstranění.

Současné laboratorní vybavení pro testování prvků železničního svršku vychází primárně ze schématu zkoušek vykonávaných na pražcích [1], avšak není zcela vhodné pro panely či jiné plošné podpory.

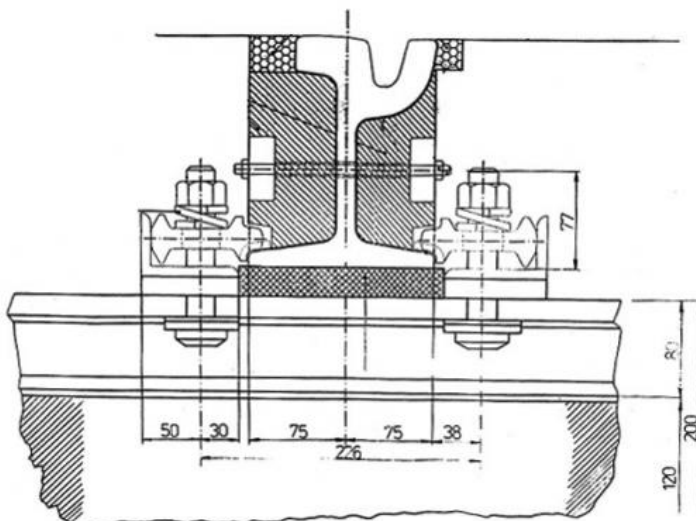
3. Metodologie

3.1. Popis měření konstrukce

Velkoplošné panely DZP tvoří starší systém prefabrikované pevné jízdní dráhy tramvajových tratí. Velkoplošné železobetonové panely s úložnou drážkou představují specifickou tramvajovou konstrukci uplatňovanou v uliční zástavbě [2]. Jejich nasazení je opodstatněno zejména v urbanizovaných prostorech s vysokou intenzitou silniční dopravy vedené po tramvajové trati a v geometricky náročných oblastech, jako jsou kolejová rozvětvení a výhybkové konstrukce [3, 4]. V současné době je tvořena většina úseků TT DPMB v uliční zástavbě právě tímto systémem svršku. Panel plní funkci nosné i roznášecí vrstvy tramvajového svršku v krytu pozemní komunikace [3, 4].

Drážky panelu DZP jsou tvořeny dvojicemi zabetonovaných ocelových kolejnic pro polní či důlní dráhy. Do těchto drážek se umístí uzel upevnění kolejnice. Systém drážkových panelů podporuje různé typy upevnění kolejnic, jak tuhé, tak pružné upevnění. Prostor podél stojiny, popř. pod patou kolejnice je následně vyplněn tvarovými pryžovými profily, které plní funkci jak

ztraceného bednění pro zřízení krytu pozemní komunikace, tak tlumení hluku a vibrací [5, 6].



Obr. 1 Příčný řez tuhého upevnění kolejnice na DZP panelu.

3.2. Typologie poruch a deformací

Provozní spolehlivost tramvajových tratí na panelech DZP je limitována schopností uzlu upevnění dlouhodobě odolávat dynamickým účinkům příčných sil. Při průjezdu tramvajových vozidel dochází vlivem vedení dvojkolí k vyvozování značných sil v příčném směru [8]. Tyto síly se přenášejí z hlavy kolejnice přes stojinu do uzlu upevnění a následně do panelu.

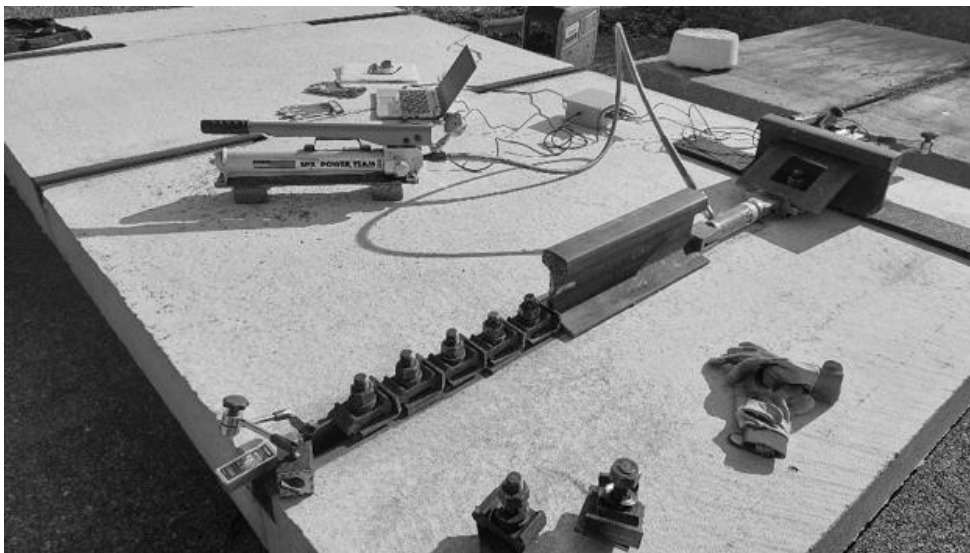
Nedostatečný odpor upevnění, nesprávné utažení svěrek nebo mechanické deformace kontaktních ploch mezi uzlem upevnění a drážkou panelu vede k rozvíjejícím se deformacím. Ty se projevují změnou geometrických parametrů koleje, jako je lokální změna rozchodu nebo nežádoucí pootočení kolejnice ve svislém směru.

3.3. Konstrukční návrh zkušební aparatury

Pro experimentální ověření mechanického chování uzlu upevnění na panelech DZP byla navržena a realizována upravená laboratorní aparatura pro plošné betonové podpory a panely. Konstrukce této aparatury reaguje na konstrukční omezení hydraulických aparatur využívaných pro vytlačování prážců [7].

Aparatura je navržena jako ucelená sestava, která se ukládá na zkoušený panel DZP a je zajištěna oporou v místě druhého (protilehlého) kolejnicového pásu. Tento princip umožňuje univerzální uspořádání zkoušky přímo na panelu.

Hlavní částí navržené aparatury je hydraulický válec, díky kterému jsme schopni působit příčnou silou na požadované místo. Klíčovým prvkem aparatury je nově vyvinutý přítlačný adaptér doplněný o sadu kontrolních snímačů. Tento adaptér je sevřen mezi hydraulickým válcem a kolejnicí a zajišťuje, že vyvozená příčná síla působí v požadovaném směru, čímž se zamezuje nežádoucímu překlopení kolejnice během zatěžování.



Obr. 2 Navržená zkušební aparatura.

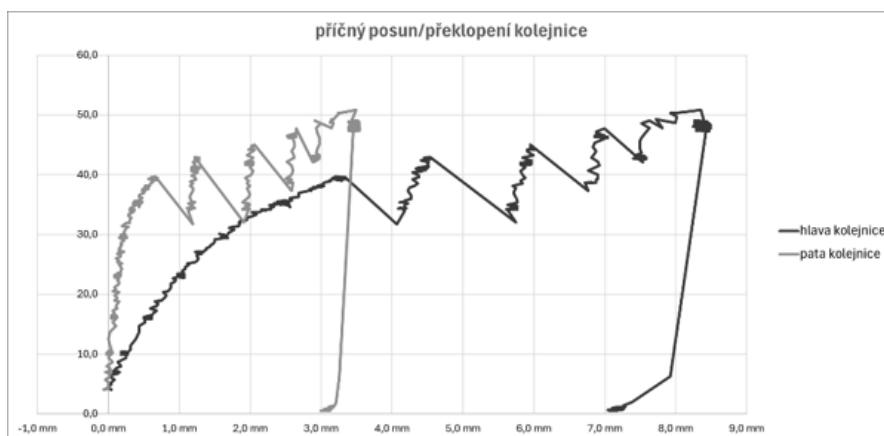
4. Dosavadní výsledky

V rámci experimentální fáze výzkumu byly na navržené laboratorní aparatuře realizovány série zatěžovacích zkoušek na nových i užitých betonových panelech DZP. Pro potřeby měření bylo zvoleno běžně používané tuhé, bezpodkladnicové upevnění. Elastické uložení a tlumení dynamických rázů zajišťuje masivní pryžový pás, na kterém je pata kolejnice přímo usazena. Kolejnice je k panelu mechanicky upevněna pomocí dvojice robustních šroubů s maticemi. Samotný přítlak na patu kolejnice a její stabilizaci zajišťují svěrky v kombinaci s ocelovými úhelníky, které pomáhají přenášet boční síly do tělesa panelu. Primárním výstupem těchto měření je kontinuální záznam silově-deformační odezvy uzlu upevnění při vyvozování příčného zatížení.

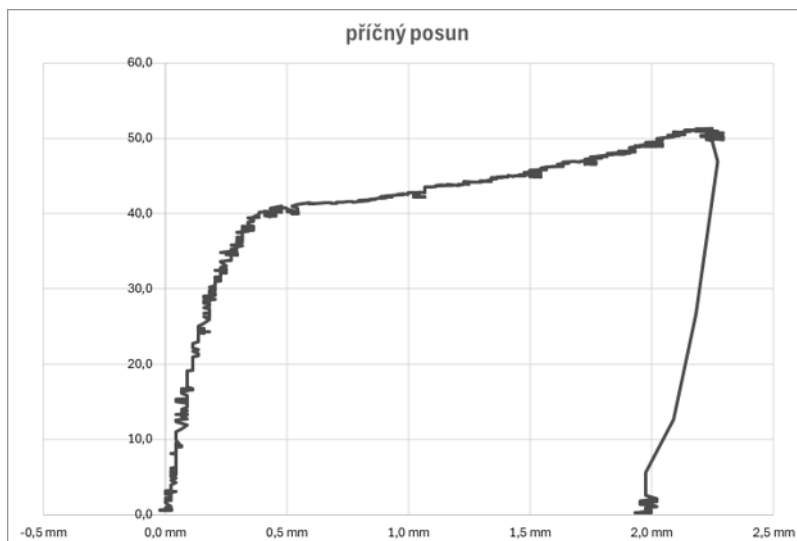


Obr. 3 Detail vybraného tuhého uzlu upevnění.

Získaná data z měřicího řetězce byla vynesena do grafů formou křivek, které vyjadřují závislost příčného posunu kolejnice na velikosti příčné síly. Tyto křivky vykazují analogický průběh u všech testovaných vzorků, což potvrzuje konzistenci chování sledovaného uzlu upevnění. Průběh zkoušek potvrdil, že nárůst deformace neodpovídá lineárnímu zákonu, ale je silně závislý na aktuální hladině dosaženého zatížení a na počátečním stavu vymezení mechanických vazeb v drážce.



Obr. 4 Ukázka grafu z naměřených hodnot snímačů pro příčný posun sledované kolejnice.



Obr. 5 Ukázka grafu ideálního příčného posunu sledované kolejnice.

Při interpretaci získaných výsledků je nutné zohlednit specifické okrajové podmínky realizovaného laboratorního testování, které představují určitá zjednodušení oproti reálnému provoznímu stavu v trati, jako je např. absence svislého přítlaku nebo statický charakter zatěžování.

5. Závěr

Koncepce dalšího postupu spočívá v provádění dalších sérií zkoušek pro získání většího objemu dat. Zpracování naměřených dat by mělo objasnit problematiku, se kterou se dopravní podnik potýká. Následně se provede návrh opatření za účelem předcházení, popř. zmírnění těchto problémů.

Získané hodnoty příčného odporu uzlu upevnění z kapitoly 4 mohou být klíčovým vstupem pro numerické modelování. Naměřené nelineární závislosti síla–posun mohou být vloženy do výpočetního softwaru jako nelineární okrajové podmínky. Tento přístup umožní simulovat reálné chování tramvajové tratě jako celku při průjezdu vozidla a přesně předpovídat namáhání panelů DZP i samotnou změny GPK v uzlových bodech.

Literatura

- [1] AMLER, Dominik. Měření a vyhodnocení příčných odporů pražců v kolejovém loži [online]. Brno, 2026 [cit. 2026-06-24]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí Ing. Miroslava Hruzíková, Ph.D. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zavrecne-prace/detail/162817>
- [2] Podkladové panely VÚIS. Pražské tramvaje [online]. c2001–2026 [cit. 2026-06-24]. ISSN 1801-9994. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocclanku=2006041495>
- [3] ČSN 73 6405: Projektování tramvajových tratí. Praha, 2022.
- [4] ČSN 73 6412: Geometrické uspořádání koleje tramvajových tratí. Praha, 2023.
- [5] SMUTNÝ, Jaroslav, Michal RADIMSKÝ, Luboš PAZDERA, Otto PLÁŠEK a Richard SVOBODA. Snižování hluku od tramvajové dopravy aplikací kolejnicových bokovnic. Akustika. 2007, roč. 2007, čís. Volume 7, s. 20–27. ISSN 1801-9064.
- [6] PLÁŠEK, Otto, Jaroslav SMUTNÝ, Richard SVOBODA a Miroslava HRUZÍKOVÁ. Konstrukce tramvajové jízdní dráhy s opatřením proti šíření hluku a vibrací. In: Environmentální aspekty dopravních staveb: Nová železniční technika. Brno: FAST VUT v Brně, 2010, č. 6, s. 59–66. ISBN 978-80-7204-696-6.
- [7] PEŇÁZOVÁ, Gabriela. Analýza chování železniční koleje na účinky pojezdu železničního vozidla [online]. Brno, 2022 [cit. 2026-06-24]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Vlastislav Salajka. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zavrecne-prace/detail/141014>
- [8] ČSN EN 14363: Železniční aplikace – Zkoušení a simulace pro schvalování železničních vozidel z hlediska jízdních vlastností – Jízdní chování a stacionární zkoušky. Praha, 2024.

Poděkování

*Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu **FAST–J–25–8806***

Městská protihluková clona v kombinaci s tramvají 52T

Ing. Petra Váňová¹, Ing. Lenka Lomoz²

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Tháškurova 7/2077, 166 29, Praha 6 - Dejvice

e-mail_1: petra.vanova@fsv.cvut.cz,

e-mail_2: lenka.lomoz@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Článek se zabývá aplikací městské protihlukové clony umístěné v úseku tramvajové trati Praha Hloubětín. Zaměřuje se na její popis, umístění a dosažený útlum hluku v městském prostředí, kde běžná protihluková opatření nelze efektivně využít. V roce 2025 byla do provozu zavedená nová tramvaj typu 52T, tento článek popisuje nové poznatky v oblasti redukce hluku v kombinaci městské protihlukové clony a konkrétní nově zavedené tramvaje.

Klíčová slova

Městská protihluková clona, tramvajová trať, tramvaj typu 52T, akustický útlum.

Municipal noise absorbing screen in Combination with the 52T Tram

Abstract

This paper investigates the application of an municipal noise absorbing screen installed along a section of the tramway line in Prague-Hloubětín. The study focuses on the barrier design and location, as well as on the noise reduction achieved in a dense urban environment where conventional noise mitigation measures cannot be effectively implemented. In 2025, the new 52T tram was introduced into regular operation in Prague. The paper presents new findings on noise reduction resulting from the combined effect of the municipa noise absorbing screen and the newly introduced 52T tram, with particular emphasis on their performance under real urban operating conditions.

Keywords

Municipal noise absorbing screen, tram line, 52T Tram, noise reduction.

1. Úvod

Rostoucí nároky na kvalitu života a zdraví obyvatel vedou ke zpřísňování environmentálních požadavků, zejména v obydlených oblastech. Mezi sledované faktory patří i hluk, jehož limity jsou postupně snižovány. V městském prostředí, které je závislé na fungující dopravní infrastruktuře, vzniká hluk nejen ze silniční, ale také z kolejové dopravy [1].

Tramvajová doprava je z ekologického i urbanistického hlediska považována za velmi vhodnou formu městské mobility. Při vyšší intenzitě provozu však může docházet k překračování přípustných hladin hluku. Aktivní opatření, jako je údržba tratí a vozidel, mají své limity, a proto je nutné využívat i opatření pasivní [2].

V Praze již byly instalovány dva zkušební úseky městské protihlukové clony. Tento nízký prvek patří do kategorie pasivní ochrany. Díky umístění přímo u zdroje hluku – v místě kontaktu kola s kolejnicí – účinně snižuje hlukovou zátěž, aniž by narušovala výhled nebo městský ráz. Clona je vyrobena z kompozitu na bázi recyklovaného gumového granulátu pojeného polyuretanem, což přináší výhodu jak z hlediska akustického účinku, tak i udržitelnosti [3].

Tento článek popisuje výsledky posledních měření hluku v kombinaci s tramvajovou soupravou typu 52T, uvedenou do pražského provozu v létě 2025.

2. Městská protihluková clona

Městská protihluková clona (MPHC) představuje nízké protihlukové opatření určené pro aplikaci podél tramvajových tratí v městském prostředí. Ve srovnání s konvenčními protihlukovými stěnami se vyznačuje podstatně menší konstrukční výškou, která u varianty pro tramvajové tratě činí přibližně 30–35 cm nad temenem kolejnice (TK). Toto konstrukční řešení umožňuje její využití zejména v lokalitách, kde z prostorových, technických nebo urbanistických důvodů nelze instalovat standardní protihlukové stěny.

MPHC je možné snadno začlenit do městského prostoru při současném zachování jeho urbanistických a architektonických hodnot. Nízká výška clony minimalizuje zásah do uličního profilu, nenarušuje pohledové vazby a zároveň přispívá ke snížení hlukové zátěže v okolí tramvajové tratě. Vhodné umístění MPHC je především na tratích vedených na samostatném tělese nebo mimo prostor pozemních komunikací, v širším centru měst a na jejich okrajích. Vhodná je jak pro tratě s otevřeným kolejovým ložem, tak pro tratě s travním zákrytem, kde může představovat efektivní variantu protihlukového opatření pro omezení šíření hluku z tramvajového provozu do okolní zástavby [3].

Z hlediska provozního a bezpečnostního představuje MPHC rovněž výhodné řešení díky svému materiálovému a konstrukčnímu provedení. Ve srovnání s masivními betonovými prvky umožňuje rychlou demontáž jednotlivých segmentů, což je významné zejména při mimořádných událostech

vyžadujících zásah složek integrovaného záchranného systému, například při dopravních nehodách nebo pádu osob do kolejíště.

Pro experimentální ověření účinnosti tohoto typu protihlukového opatření byly v síti Dopravního podniku hl. m. Prahy realizovány dva zkušební úseky na tramvajových tratích, a to v lokalitě Praha-Modřany a v Praze-Hloubětíně [3]. Tento článek se zabývá měřením a hodnocením hluku v Praze Hloubětíně, proto se následující text bude věnovat popisu této lokality.

2.1. Konstrukční řešení MPHC – Praha Nový Hloubětín

V lokalitě Praha–Hloubětín byla městská protihluková clona (MPHC) instalována v červnu 2018. Lokalita byla zvolena s ohledem na intenzivní rozvoj bytové výstavby v bezprostřední blízkosti tramvajové trati vedené na samostatném tělese. Posuzovaný úsek se nachází částečně v přímé koleji a částečně ve směrovém oblouku o poloměru 400 m. Konstrukci tramvajového svršku tvoří širokopatní kolejnice 49E1 uložené na betonových pražcích B03 ve šterkovém loži frakce 32/63. Celková délka instalované MPHC činí 55 m, přičemž 45 m bylo realizováno podél koleje ve směru do centra a přibližně 10 m u koleje ve směru z centra v prostoru zastávky a přechodu Vozovna Hloubětín [3].

V lokalitě Nový Hloubětín byla použita konstrukce založená na betonovém základovém pásu vyztuženém nevodivou kompozitní sklolaminátovou mříží. Toto řešení bylo zvoleno za účelem omezení šíření bludných proudů. Do základu byly integrovány ocelové trubky pro usazení jednotlivých dílců (Obr. 1).

Pryžový segment je tvořen spodním a horním dílcem, přičemž oba jsou vyrobeny z pojeného SBR granulátu s definovanou zrnitostí. Spodní dílec má tvar kvádrů o rozměrech 600 × 400 × 250 mm (délka × výška × šířka). Stěna orientovaná ke koleji je opatřena vlnitým povrchem zvyšujícím akustickou pohltivost, zatímco ostatní plochy jsou hladké. Na vrchní straně je provedena středová drážka pro vsunutí latě zajišťující spolupůsobení dílců a zvyšující jejich stabilitu. Na bočních stranách je provedeno zazubení eliminující prostup hluku mezi sousedními dílci. Horní dílec má rovněž tvar kvádrů, doplněného výstupkem orientovaným směrem ke koleji. Výška horní části je 100 mm, šířka na horním líci je 330 mm. Vnitřní část dílců byla odlehčena dřevěnou konstrukcí a polystyrenovou výplní. Vzdálenost clony od osy koleje byla 1450 mm ve spodní části a 1370 mm v horní části, přičemž výška nad temenem kolejnice činila 300 mm (Obr. 2) [5].



Obr. 1 Výstavba MPHC v lokalitě Praha Hloubětín.



Obr. 2 Výsledná aplikace MPHC v lokalitě Praha Hloubětín.

3. Tramvajové soupravy ve sledovaném úseku

V rámci měření v listopadu 2025 byly v dostatečném počtu opakování zaznamenány průjezdy tramvajových vozidel typu Škoda 15T ForCity Alfa a Škoda ForCity Plus Praha 52T. Oba typy představují plně nízkopodlažní

vícečlánkové tramvaje určené pro provoz na tramvajové síti hlavního města Prahy.

Tramvaj Škoda 15T ForCity Alfa je pětičlánkové, plně nízkopodlažní vozidlo vybavené čtyřmi otočnými trakčními podvozky. Konstrukce podvozků umožňuje radiální průjezd oblouky a omezuje velikost příčných sil vznikajících v kontaktu kola s kolejnicí. Zdrojem hluku při provozu jsou zejména valivý hluk vznikající v kontaktu kola a kolejnice, hluk při průjezdu oblouky, trakční zařízení a pomocné pohony vozidla. Při brzdění se uplatňuje elektrodynamická i mechanická kotoučová brzda v závislosti na provozním režimu.

Tramvaj Škoda ForCity Plus Praha 52T (Obr. 3) je rovněž pětičlánkové, plně nízkopodlažní vozidlo. Je vybavena kombinací dvou volně otočných a dvou částečně otočných trakčních podvozků. Vozidlo využívá novou generaci trakční výzbroje a elektromechanický brzdový systém s preferovaným využitím elektrodynamického brzdění a rekuperace energie, čímž je omezeno využití mechanických brzd při běžném provozu. [6] Stejně jako u vozidla 15T představuje dominantní zdroj hluku při běžných jízdních rychlostech valivý hluk vznikající interakcí kola a kolejnice, doplněný hlukem trakčního zařízení a pomocných pohonů.



Obr. 3 Průjezd tramvajové soupravy typu 52T v měřeném úseku.

4. Měření hladin akustického tlaku

Předmětem tohoto článku je měření a vyhodnocení hluku realizovaného v listopadu 2025 v lokalitě Praha – Hloubětín. Pro ověření účinnosti městských protihlukových clon (MPHC) byly provedeny rozsáhlé měřicí kampaně. Tato měření probíhala v souladu s normou ČSN EN ISO 3095 a zaměřovala se na určení reálné účinnosti a akustické stálosti clony.

Pro měření hladin akustického tlaku z tramvajového provozu byly zvoleny 2 měřicích bodech, ve kterých probíhalo měření současně. První měřicí bod se nacházel v místě s MPHC a druhý v místě bez MPHC.

Měření probíhalo ve vzdálenosti 7,5 metru od osy koleje, ve výšce 1,2 metru nad temenem kolejnice.

Zaznamenávány byly časové průběhy ekvivalentních hladin akustického tlaku $L_{Aeq(1s)}$ s časovou konstantou F (Fast). Pro vyhodnocení jednotlivých průjezdů tramvají byla použita hladina zvukové expozice L_{AE} . Útlum hluku vlivem MPHC byl stanoven jako energetický rozdíl mezi průměrnými hladinami L_{AE} pro jednotlivé kategorie vozidel s clonou a bez ní. Naměřená kombinovaná nejistota měření byla stanovena na ± 2 dB.

V rámci měření byly zachyceny průjezdy v dostatečném počtu opakování u tramvajové soupravy typu 15T a 52T.

Následující tabulka 1 uvádí hodnoty dosaženého útlumu s použitím MPHC při průjezdu tramvajových souprav typu 15 T, tabulka 2 uvádí naměřená data a útlum při průjezdu souprav typu 52 T.

Tab. 1 Útlumu hladin akustického tlaku při průjezdu tramvaje 15T

	S MPHC			Bez MPHC		
číslo průjezdu	typ tramvaje	L_{AE} [dB]	doba průjezdu [s]	L_{AE} [dB]	doba průjezdu [s]	ÚTLUM [dB]
1	15T	72,2	7	77,0	5	4,8
2	15T	73,0	6	77,2	5	4,2
3	15T	72,2	5	76,7	5	4,5
4	15T	72,1	4	76,5	5	4,4
5	15T	72,3	6	76,8	4	4,5
6	15T	72,8	5	77,4	5	4,6
7	15T	73,1	4	77,9	4	4,8
8	15T	73,6	5	78,2	5	4,6
9	15T	73,0	6	77,7	5	4,7

Tab. 2 Útlum hladin akustického tlaku při průjezdu tramvaje 52T

	S MPHC			Bez MPHC		
číslo průjezdu	typ tramvaje	L_{AE} [dB]	doba průjezdu [s]	L_{AE} [dB]	doba průjezdu [s]	ÚTLUM [dB]
1	52T	72,6	6	78,0	4	5,4
2	52T	70,4	6	75,9	5	5,5
3	52T	72,3	5	77,8	5	5,5
4	52T	76,7	5	82,1	4	5,4
5	52T	73,0	6	78,2	4	5,2
6	52T	72,2	6	77,2	4	5,0

Výsledky uvedené v tabulkách 1 a 2 potvrzují účinnost městské protihlukové clony při průjezdu obou sledovaných typů tramvajových souprav.

U tramvajových souprav typu 15T byl stanoven útlum hladiny zvukové expozice LAE v rozmezí 4,2 až 4,8 dB, přičemž naměřené hodnoty vykazovaly pouze malou variabilitu mezi jednotlivými průjezdy. U vozidel typu 52T byl zjištěn útlum v rozmezí 5,0 až 5,5 dB, rovněž s nízkým rozptylem naměřených hodnot.

Nízká variabilita výsledků u obou sledovaných typů vozidel svědčí o dobré opakovatelnosti zachycených průjezdů. Dosažené hodnoty útlumu potvrzují, že městská protihluková clona představuje účinné pasivní protihlukové opatření pro omezení šíření hluku z tramvajového provozu.

5. Závěr

V lokalitě Praha Hloubětín je dlouhodobě a opakovaně prováděno měření hladin akustického tlaku. Výsledky vykazují, že městská protihluková clona představuje efektivní a perspektivní opatření pro snížení hlukové zátěže v blízkosti tramvajových tratí, zejména v hustě zastavěných městských oblastech, kde nelze využít konvenční protihlukové stěny. V rámci posledního měření byly zachyceny i průjezdy nově nasazené tramvajové soupravy typu 52T. Naměřený útlum vlivem MPHC při průjezdu této soupravy dosahoval přibližně 5,0–5,5 dB. Tento výsledek je nejvyšším dosaženým útlumem, který se podařil na této trati zachytit. Jedná se o výhodnou kombinaci protihlukového opatření a typu tramvajové soupravy. Přibližně o jeden decibel nižších výsledků útlumu dosahovala clona při průjezdech tramvajové soupravy typu 15T. Obě soupravy mají rovné bočnice vozové skříně, proto je účinnost MPHC při průjezdu těchto typů tramvají výraznější než jiné kombinace. Dosažená hodnota snížení hlukové zátěže může přispět ke zlepšení akustických podmínek v okolí tramvajových tratí vedených v zastavěném území.

Literatura

- [1] ČÍŽKOVÁ, P. and L. LOMOZ. Comparison of efficacy of low and high acoustic screens. *Akustika*. 2014, 22(22), 28-36. ISSN 1801-9064.
- [2] ČÍŽKOVÁ, P. and L. LOMOZ. The effectiveness of a low height noise barrier. In: 14th GeoConference on ECOLOGY, ECONOMICS, EDUCATION AND LEGISLATION. 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2014, Albena, 2014-06-17/2014-06-26. Sofia: STEF92 Technology Ltd., 2014. pp. 711-718. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7105-18-6. DOI 10.5593/SGEM2014/B52/S20.094
- [3] Lomoz, L. Aplikace městské protihlukové clony na území hl. města Prahy In: Sborník 102. akustického semináře. Praha: Česká akustická společnost, 2022. ISBN 978-80-01-07047-5.
- [4] Váňová, P.; Bret, O. The Municipal Noise Absorbing Screen in Praha Modřany, *Akustika*. 2017, 28(28), 3-12. ISSN 1801-9064.
- [5] Bret, O. Aplikace inovativní protihlukové clony na tramvajové trati v Praze – Hloubětíně In: *Doprava, zdraví a životní prostředí*. Brno: CDV -

Centrum dopravního výzkumu, 2018. p. 73-81. ISBN 978-80-88074-62-5.

- [6] HINČICA, Libor. Nová tramvaj Škoda 52T pro Prahu odhalena. Československý Dopravák [online]. 10. 1. 2024 [cit. 30. 9. 2026]. Dostupné z: <https://www.cs-dopravak.cz/nova-tramvaj-skoda-52t-pro-prahu-odhalena/>

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS26/047/OHK1/1T/11.

Těžké kovy v kolejištích tramvají a jejich možný přenos do biomasy rostlin a živočichů

Ing. Eva Navrátilová

Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta

Zemědělská 1665/1 613 00 Brno

e-mail: *xnavra15@mendelu.cz*

Abstrakt

Tramvajová kolejiště představují specifické městské prostředí, kde může v důsledku provozu docházet k akumulaci potenciálně toxických prvků, zejména těžkých kovů. Přestože je jejich výskyt dobře popsán v jiných antropogenně zatížených prostředích, informace o jejich akumulaci přímo v ekosystému tramvajových kolejišť a přenosu do živých organismů jsou dosud omezené. Cílem výzkumu je stanovit koncentrace vybraných těžkých kovů (Pb, Cu, Cd, Zn a Ni) v biologických indikátorech tramvajových kolejišť a porovnat je s analogickými městskými stanovišti. Výzkum probíhá v Praze, Brně a Ostravě, kde bylo v každém městě vybráno pět tramvajových točen a pět kontrolních stanovišť. Pro hodnocení bioakumulace byly zvoleny mechorosty a terestrický koryš. Součástí analýz je také odumřelá rostlinná hmota jako potenciální zdroj potravy terestrických koryšů. Výzkum hodnotí míru kontaminace tramvajových kolejišť a využitelnost vybraných organismů jako bioindikátorů antropogenního zatížení. Výsledky mohou přispět k lepšímu pochopení environmentálních rizik spojených s tramvajovou dopravou a k efektivnějšímu monitoringu a managementu tramvajových kolejišť.

Klíčová slova

Tramvajová kolejiště, těžké kovy, isopodi, mechy.

Heavy Metals in Tram Tracks and Their Potential Transfer to Plant and Animal Biomass

Abstract

Tram tracks represent a specific type of urban environment where the accumulation of potentially toxic elements, particularly heavy metals,

may occur as a result of tram operation. Although their occurrence has been well documented in other anthropogenically impacted environments, information on their accumulation directly within tram track ecosystems and their transfer to living organisms remains limited. The aim of this research is to determine the concentrations of selected heavy metals (Pb, Cu, Cd, Zn, and Ni) in biological indicators from tram track loops and compare them with analogous urban sites. The research is being conducted in Prague, Brno, and Ostrava, with five tram track sites and five corresponding control sites selected in each city. Bryophytes and a terrestrial crustacean were selected for the assessment of bioaccumulation. Dead plant material is also included in the analyses as a potential food source for terrestrial crustaceans. The research assesses the level of contamination in tram track environments and the potential of selected organisms as bioindicators of anthropogenic pollution. The results may contribute to a better understanding of environmental risks associated with tram transport and support more effective monitoring and management of tram track environments.

Keywords

Tram tracks, heavy metals, isopods, mosses.

1. Úvod

Toxické prvky, mezi které patří i těžké kovy, vážně ohrožují suchozemské i vodní ekosystémy. Do životního prostředí se uvolňují v důsledku antropogenních činností, jako je např. vypouštění odpadních vod, používání chemických hnojiv nebo spalování fosilních paliv [1,2]. Je tedy na místě hlídat hladinu těžkých kovů ve všech ekosystémech, i v těch městských, a patřičně reagovat.

Kolejiště tramvají se často nacházejí v bezprostřední blízkosti obytných zón, chodníků, parků či škol. Koroze nebo opotřebení kolejnic a brzdových systémů může vést k uvolňování těžkých kovů (např. Cu, Zn, Pb, Cr, Ni) do okolní půdy, prachové frakce či odtoků dešťové vody. Vzhledem k blízkosti lidí je riziko přímé expozice vyšší než u tratí, které bývají situovány mimo hustě obydlené oblasti [3].

Tramvajový provoz je charakteristický častými zastávkami, rozjezdy, brzděním a změnami rychlosti – všechny tyto faktory zvyšují mechanické opotřebení kolejnic, kol a trolejového vedení. Z tohoto důvodu může městská tramvajová trať produkovat významné množství nevýfukových emisí (tzv. non-exhaust emissions) zahrnujících částice s těžkými kovy [4].

Těžké kovy se v půdě a prachu mohou kumulovat a díky své dlouhé době rozkladu a možné biologické dostupnosti představují riziko pro zdraví lidí (expozice inhalací prachových frakcí, přímým kontaktem s půdou či nepřímou

cestou potravního řetězce). Například u železnic bylo v okolní půdě prokázáno, že koncentrace Ni, Cd a Pb výrazně klesaly s vzdáleností od koleje – což ilustruje přímý vliv kolejiště na kontaminaci okolí [5].

2. Výzkum těžkých kovů v hromadné dopravě a urbánním prostředí

O výzkumu těžkých kovů přímo v tramvajových kolejištích, kterým se zabývá tento projekt, je prozatím známa pouze publikace z jihu Polska s tím, že její primární cíl se týká floristického výzkumu. Těžké kovy byly analyzovány pouze v substrátu, přičemž bylo zjištěno, že kvůli výskytu těchto toxických látek (hlavně pak olova) dochází ke specifickému složení druhů s dominantou nitrofytů a metalofytů [3].

Existují i nevědecké publikace, např. článek z Německa, který uvádí výskyt železa, křemíku, manganu, mědi, chromu, ale také polyaromatických uhlovodíků, na listech rozchodníků ve vegetačním pásu [6].

Prozatím nebyl zjišťován vliv těžkých kovů v tomto specifickém prostředí na mechorosty ani na živočichy. Tato problematika byla studována hlavně v ruderních oblastech, jako jsou opuštěné továrny apod., nebo ve vlakových kolejištích [7, 8]. Mezi nejčastěji analyzované kovy s výskytem v organickém materiálu pak patřily: kadmium, olovo, zinek, měď, nikl [7, 9, 10, 11]. Jednalo se ovšem ale také např. o stříbro, arsen, kobalt, rtuť, vanad, mangan nebo molybden [11, 12, 13, 14].

Příkladem je studie věnovaná analýzám těžkých kovů v mechorostech. Jejím cílem bylo ukázat, že mechorosty jsou mnohem lepší indikátoři znečišťujících látek než cévnaté rostliny. Tuto hypotézu se povedlo potvrdit, jelikož mechorosty jsou schopné nasávat vodu a s ní i živiny celým povrchem těla [11]. Díky této skutečnosti se mechy ukázaly jako ideální organismus z říše rostlin pro řešení problematiky těžkých kovů. Tuto skutečnost potvrdili např. i odborníci v Seattlu, kteří experimentovali s hladinami těžkých kovů v epifytických mechorostech [12].

A co se týče analýz těžkých kovů v živočiších, nejvíce se osvědčili terestrickí koryši. Jedná se totiž o rozkladače, kteří zkonsumují téměř veškerou tlející rostlinnou hmotu. Příkladem je studie z Tuniska, jejíž autoři skrze stínku obecnou (*Porcellio scaber*) zjišťovali hladinu těžkých kovů v industriálních oblastech [7].

Důležitá informace, která ze všech nalezených publikací vyplývá je tak, že právě skrze organismy (nejlépe mechorosty a terestrické koryše) můžeme snadno a přesně změřit hladinu těžkých kovů a jejich dopad na životní prostředí [7, 11].

3. Vlastní výzkum

Analýza těžkých kovů představuje jednu z dílčích částí vlastního doktorského výzkumu zaměřeného na ekologii tramvajových kolejišť. V rámci tohoto výzkumu jsou tramvajová kolejiště sledována z několika hledisek,

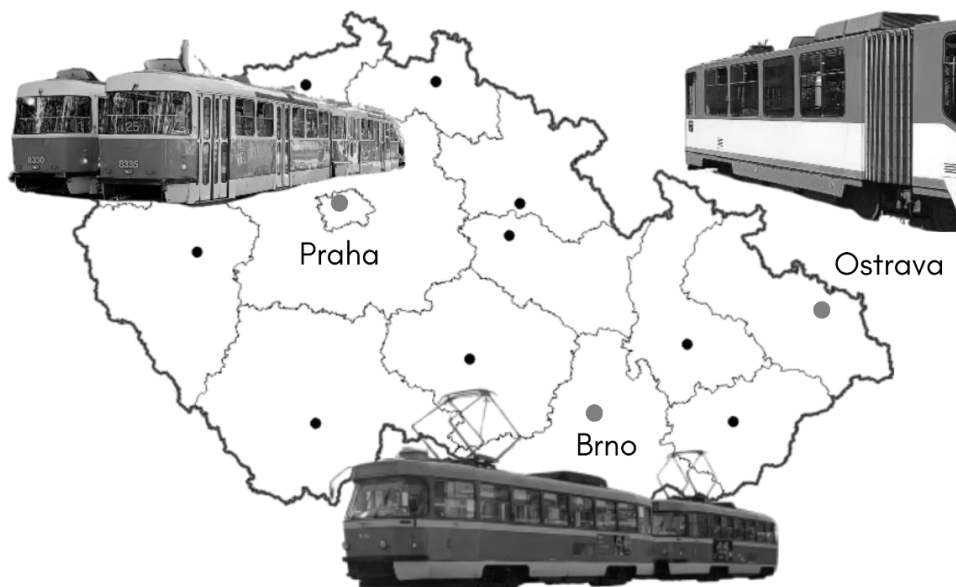
příčemž pozornost je věnována také jejich floristické, bryologické a zoologické složce. Vzhledem k charakteru tramvajového provozu a umístění kolejíšť v urbanizovaném prostředí je důležité věnovat pozornost také možnému výskytu a akumulaci potenciálně toxických prvků v organismech tato stanoviště osidlujících. Z tohoto důvodu byly v rámci vlastního výzkumu analyzovány vybrané těžké kovy v mechorostech, terestrických korýších a odumřelé rostlinné hmotě. Cílem je zjistit, zda a v jaké míře dochází k akumulaci těchto prvků v organismech žijících v prostředí tramvajových kolejíšť. Výzkum v současné době stále probíhá a tento příspěvek proto slouží především k nastínění sledované problematiky a představení metodického postupu, který je v rámci výzkumu využíván. Výsledky laboratorních analýz budou předmětem dalšího zpracování po jejich dokončení.

Dílčí cíle výzkumu:

1. Změřit obsah vybraných těžkých kovů v odumřelé rostlinné hmotě a vybraných organismech (mechorosty, terestrické korýši).
2. Zjistit dopad proměnných na organismy vyskytující se v tramvajových kolejíštích.
3. Porovnat koncentraci těžkých kovů v tramvajovém kolejíšti a v okolním městském prostředí, pak mezi sledovanými městy a mezi odebíranými vzorky

3.1. Lokalita

Pro výzkum těžkých kovů v ekosystému tramvajových kolejíšť byla vybrána 3 města České republiky: Praha, Brno a Ostrava (viz Obr. 1). Tato města byla vybrána na základě různého způsobu používání potenciálně znečišťujících látek při provozu tramvají, rozdílů v klimatických parametrech (viz Tab. 1) a míry atmosférického znečištění.



Obr. 1 Mapa se sledovanými městy (autorka: Ing. Eva Navrátilová).

Tab. 1 Klimatické parametry sledovaných měst (data byla získána z databáze Českého hydrometeorologického ústavu jako průměrné hodnoty za období 2016–2025 (Praha – meteorologická stanice Karlov, Brno – meteorologická stanice Tuřany, Ostrava – meteorologická stanice Slezská Ostrava))

Parametr/město	Praha	Brno	Ostrava
Nadmořská výška	průměrná 235 m n. m., nejvyšší 399 m n. m., centrum 177 m. n. m.	průměrná 237 m n. m., nejnižší 190 m. n. m., nejvyšší: 479 m n. m.	průměrná 227 m n. m., nejvyšší 336 m n. m., nejnižší 208 m. n. m.
Průměrná roční teplota	+ 11,49 °C	+ 11,1 °C	+ 10,62 °C
Roční úhrn srážek	472,71 mm	528,77 mm	695,85 mm

Opomenuty nebyly ani parametry spojené s vozovým parkem jednotlivých dopravních podniků [15, 16, 17]. Intenzita pojezdu tramvají by totiž měla být přímo úměrná úniku znečišťujících látek z jednotlivých vozů (viz Tab. 2).

Tab. 2 Parametry týkající se vozového parku sledovaných měst (údaje k roku 2024)

Parametr/město	Praha	Brno	Ostrava
Délka tramvajové tratě	~ 150 km	~ 70,4 km	~62,7 km
Počet tramvajových zastávek	292	179	101
Počet linek	~ 35	11	16
Počet přepravených osob	~344,9 mil.	~210,273 mil.	~44,901 mil.

Výběr zastávek

V každém městě bylo vybráno 5 zastávek (viz Tab.3). Jednalo se o konečné zastávky, tedy točny, které nabízely dostatečně velkou plochu pro odběr vzorků. Ke každé zastávce bylo vybráno i analogické městské stanoviště, např. sídliště, parkoviště nebo park (viz Obr. 2 a 3). V každém z měst tedy bylo vybráno celkem 10 odběrových lokalit.

Tab. 3 Seznam sledovaných tramvajových zastávek

Zastávka/Město	Praha	Brno	Ostrava
1.	Výstaviště	Čertova rokle	Hlavní nádraží
2.	Dlabačov	Královo pole nádraží	Martinov
3.	Nádraží Braník	Vozovna Medlánky	Budišovice, zátiší
4.	Sídliště Ďáblice	Modřice smyčka	Poruba, Vřesínská
5.	Nádraží Hostivař	Novolíšeňská (točna)	Nová huť, jižní brána



Obr. 2 a 3 Ukázka lokalit: tramvajová točna Čertova rokle a k ní analogický areál Mendelovy univerzity se stanovištěm ideálním pro terestrické korýše (autorka fotografií: Ing. Eva Navrátilová).

3.2. Sledované organismy

Mechorosty

Mechorosty představují velmi perspektivní biologickou skupinu pro studium akumulace těžkých kovů – díky svým biologickým vlastnostem (velká povrchová expozice, schopnost iontové výměny atd.) dokážou rychle akumulovat těžké kovy z atmosféry nebo vodních roztoků. Existuje řada studií, které tuto schopnost potvrzují (např. sorpce Pb, Cd, Zn ve vodních nebo atmosférických kontextech). Mechy jsou jakožto absorbanti těžkých kovů již vyzkoušené a se slibnými výsledky. Jednalo se ovšem o odběry z jiných antropogenních ekosystémů než kolejistiště, např. staré továrny, vlaková kolejistiště apod [7, 11, 12].

Pro analýzu kolejistiště byla vybrána směs se dvěma nejčastějšími druhy v nich nalézanými, tedy rohozubem nachovým (*Ceratodon purpureus*) a prutníkem stříbřitým (*Bryum argenteum*).

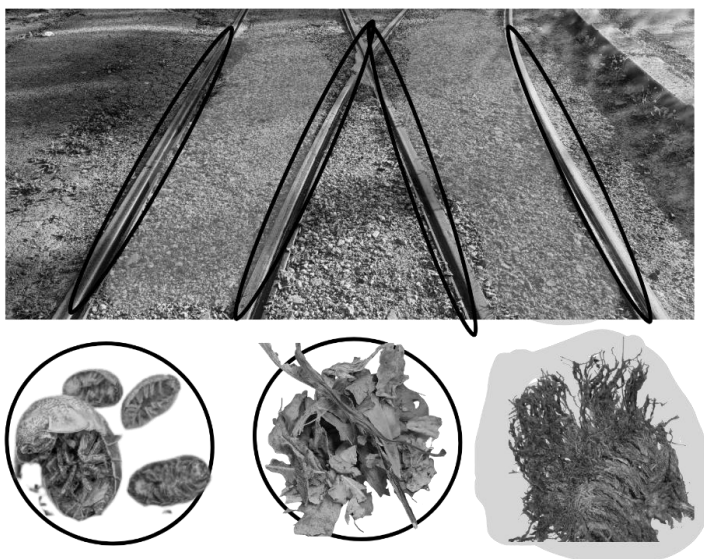
Svinka obecná (*Armadillidium vulgare*)

Svinka obecná je terestrický korýš, který je významným bioindikátorem kontaminace těžkými kovy v půdě. Díky svému životu v detritu a přímému kontaktu s půdními částicemi dochází k akumulaci kovů, zejména v hepatopankreatu, který slouží k ukládání minerálů a metabolismu látek. U svínek byly prokázány vysoké koncentrace zinku, mědi, olova a kadmia, přičemž akumulace často koreluje s úrovní znečištění prostředí. Tyto organismy tak poskytují cenné informace o míře těžkých kovů v ekosystémech a umožňují sledování antropogenní zátěže půdních substrátů. Existuje mnoho studií i závěrečných prací, které se zabývají akumulací těžkých kovů v těchto živočiších [7, 11, 18].

Přímo svinka byla vybrána proto, že v rámci tramvajového kolejiště se jednalo o nejčastějšího koryše i bezobratlého živočicha. V kolejovém svršku se vyskytovaly ve velice hojných počtech.

Odumřelá rostlinná hmota

Rostl. hmota odebírána jako směs ze žlábků kolejnice (viz Obr. 4) (potenciální potrava pro svinky obecné). Jednalo se zejména o směs listů dřevin rostoucích v blízkosti kolejiště.



Obr. 4 Sledovaný organický materiál se znázorněním metodiky odběru.

3.3. Analyzované kovy

Pro analýzy byly vybrány tyto kovy: olovo (Pb), měď (Cu), kadmium (Cd), zinek (Zn) a nikl (Ni). Všechny tyto kovy byly již v minulosti analyzovány v rámci vlakového kolejiště a byly taktéž nalezeny v tělech bezobratlých živočichů [7, 9, 10, 11]. Jejich výskyt v tramvajových kolejištích je tedy očekávaný.

Až na kadmium a zinek jsou tyto kovy součástí maziv a motorových olejů. U mědi je navíc pravděpodobné vyšší množství, jelikož je vylučována z motoru tramvají skrze vybrušování měděných lamel o uhlíkové kartáče [19, 20].

3.5. Předběžné výsledky

Výzkum akumulace těžkých kovů v organismech tramvajových kolejišť je v současné době stále probíhající. Odebrané vzorky jsou aktuálně podrobovány analýze pomocí atomové absorpční spektrofotometrie, jejímž

cílem je stanovení koncentrací vybraných kovů v biologickém materiálu. Vzhledem k tomu, že laboratorní analýzy a následné statistické zpracování dat dosud nebyly dokončeny, není v této fázi možné prezentovat konečné výsledky.

Předpokládá se, že výsledky umožní posoudit míru akumulace vybraných kovů v organismech obývajících tramvajová kolejiště a případně odhalit rozdíly mezi jednotlivými lokalitami či skupinami organismů. Výsledky budou po dokončení analýz a jejich vyhodnocení dále využity v rámci doktorského výzkumu a předpokládá se jejich zpracování do podoby vědecké publikace v odborném recenzovaném časopise.

Na základě dosavadních poznatků a charakteru sledovaného prostředí byly stanoveny následující **hypotézy**:

H1: Koncentrace vybraných těžkých kovů v biologickém materiálu z tramvajových kolejišť budou vyšší než koncentrace v biologickém materiálu z analogického městského prostředí.

H2: Mechorosty, svinka obecná a odumřelá rostlinná hmota se budou lišit v koncentracích akumulovaných vybraných těžkých kovů.

H3: Koncentrace vybraných těžkých kovů v biologickém materiálu budou souviset s charakterem jednotlivých lokalit.

H4: Koncentrace vybraných těžkých kovů v biologickém materiálu se budou mezi jednotlivými městy (Brnem, Ostravou a Prahou) lišit.

4. Závěr

Těžké kovy představují významný environmentální problém, neboť se mohou v životním prostředí dlouhodobě akumulovat a v závislosti na své koncentraci a biologické dostupnosti negativně ovlivňovat organismy i člověka. Tramvajová kolejiště přitom představují specifickou součást městského prostředí, kde se vliv dopravní infrastruktury prolíná s přítomností vegetace a každodenního pohybu obyvatel. Sledování akumulace těžkých kovů v biologickém materiálu proto může přispět k lepšímu pochopení environmentálních podmínek těchto stanovišť a jejich možných rizik.

Význam tohoto výzkumu spočívá také v jeho možném přínosu pro hodnocení kvality městského prostředí. Výsledky mohou pomoci identifikovat případné rozdíly v míře zatížení jednotlivých tramvajových lokalit a měst a zároveň ukázat, zda mohou mechorosty, svinka obecná a odumřelá rostlinná hmota sloužit jako vhodné materiály pro biomonitoring kovů v prostředí tramvajových kolejišť. Získané poznatky tak mohou být využitelné nejen pro další ekologický výzkum městských ekosystémů, ale také jako podklad pro posuzování environmentálních rizik spojených s dopravní infrastrukturou a pro hledání způsobů, jak případná rizika pro obyvatele měst minimalizovat.

Literatura

- [1] Fatema K., Shoily S. S., Ahsan T., Haidar Z., Sumit A. F. & Sajib A. A. (2021): Effects of arsenic and heavy metals on metabolic pathways in cells of human origin: Similarities and differences. *Toxicology Reports* 8: 1109–1120. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.05.015>
- [2] Jiang H., Cai L., Wen H., Hu G., Chen L. & Luo J. (2020): An integrated approach to quantifying ecological and human health risks from different sources of soil heavy metals. *Science of The Total Environment* 701. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134466>
- [3] Woźnica P., Urbisz A., Franiel I. & Urbisz A. (2016): Tram tracks as specific anthropogenic habitats for the growth of plants. *PeerJ*. Dostupné na: 10.7287/PEERJ.PREPRINTS.2606V1 [navštíveno 17. 10. 2024]
- [4] Fruhwirt D., Nöst T., Leonhardt P., Leitner M., Brunnhofer P., Bode G., Michael S. & Rodler J. (2024): Characterization of emissions from axle-mounted rail disc brakes. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 130: 104181. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104181>
- [5] Safadoust A., Khaleghi S. & Kolahchi Z. (2025): Environmental risks of heavy metals in railway soils: Challenges to ecosystem management. *Science of the Total Environment* 974: 179217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179217>
- [6] Schreiter H. & Kappis C. (2013): Effect and Function of Green Tracks. *Grüngleisnetzwerk*. Dostupné na: <http://www.gruengleisnetzwerk.de/images/downloads/effects.pdf> [navštíveno 17. 10. 2024]
- [7] Ghemari C., Waterlot C., Ayari A., Leclercq J., Douay F. & Nasri-Ammar K. (2017): Assessment of heavy metals in soil and terrestrial isopod *Porcellio laevis* in Tunisian industrialized areas. *Environmental Earth Science* 76. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6946-5>
- [8] Samarska A., Zelenko Y. & Kovrov O. (2020): Investigation of Heavy Metal Sources on Railways: Ballast Layer and Herbicides. *Journal of Ecological Engineering* 21: 32–46. <https://doi.org/10.12911/22998993/127393>
- [9] van Straalen N. M., Butovsky R. O., Pokarzhevskii A. D., Zaitsev A. S. & Verhoef S. C. (2001): Metal concentrations in soil and invertebrates in the vicinity of a metallurgical factory near Tula (Russia). *Pedobiologia* 45: 451–466. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00099>
- [10] Köhler H., Körtje K. & Alberti G. (1995): Content, absorption quantities and intracellular storage sites of heavy metals in Diplopoda (Arthropoda). *Biomaterials* 8: 37–46. <https://doi.org/10.1007/BF00156156>
- [11] Jiang Y., Fan M., Hu R., Zhao J. & Wu Y. (2018): Mosses Are Better than Leaves of Vascular Plants in Monitoring Atmospheric Heavy Metal Pollution in Urban Areas. *International Journal of Environmental*

- Research and Public Health* 15: 1105.
<https://doi.org/10.3390/ijerph15061105>
- [12] Kondo M. C., Zuidema C., Moran H. A., Jovan S., Derrien M., Brinkley W., De Roos A. J. & Tabb Loni P. (2022): Spatial predictors of heavy metal concentrations in epiphytic moss samples in Seattle, WA. *Science of The Total Environment* 825. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153801>
- [13] Lu X., Gu A., Huang C., Wei Y., Xu M., Yin H. & Hu X. (2021): Assessments of heavy metal pollution of a farmland in an urban area based on the Environmental Geochemical Baselines. *Journal of Soils and Sediments* 21: 2659–2671. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02945-8>
- [14] Tóth Z., Dombos M. & Hornung E. (2023): Urban soil quality deteriorates even with low heavy metal levels: An arthropod-based multi-indices approach. *Ecological Applications* 33. <https://doi.org/10.1002/eap.2848>
- [15] Brněnské komunikace a.s. (2026): *Ročenka dopravy Brno 2025*. Brněnské komunikace a.s., Brno.
- [16] Tramvaje. In: *Pid.cz*. Online. Praha (2024). Dostupné na: <https://pid.cz/tramvaje/> [navštíveno 17. 10. 2024]
- [17] Tramvaje. In: *Dpo.cz*. Online. Ostrava (2024). Dostupné na: <https://www.dpo.cz/149-dpo/spolecnost/vozy/tramvaje.html> [navštíveno 17. 10. 2024]
- [18] ISOP portál (2024): Svinka obecná. *Armadillidium vulgare* (Latreille, 1804). AOPK ČR. Dostupné na: <https://portal.nature.cz/w/druh-67047#/> [navštíveno 17. 10. 2024]
- [19] Grigoratos T. & Martini G. (2015): Brake wear particle emissions: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 2491–2504.
- [20] Font O., Moreno T., Querol X., Martins V., Sánchez Rodas D., de Miguel E. & Capdevila M. (2019): Origin and speciation of major and trace PM elements in the Barcelona subway system. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 72: 17–35. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.03.007>

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu IGA26-AF-IP-042 s názvem Těžké kovy v kolejistích tramvají a jejich možný přenos do biomasy rostlin a živočichů.

COYPU – Nástroj pro hromadný návrh převýšení a simulaci jízdy vlaku

Ing. Jakub Šurovský¹

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Thákurova 7/2077, 166 29, Praha 6 - Dejvice

e-mail_1: surovjak@cvut.cz

Abstrakt

V roce 2026 jsou naplno rozšířené nástroje pro tvorbu personalizovaných aplikací prostřednictvím nástrojů umělé inteligence (AI). Simulační software COYPU a doplňkový nástroj COYPU Feeder vznikly právě díky využití agentních nástrojů AI a slouží k převodu polylinií z otevřených datových zdrojů (OpenStreetMap) do formátu LandXML (nástroj COYPU Feeder), respektive k výpočtu převýšení a nedostatku převýšení dle ČSN 73 6360-1 a simulaci jízdy vlaku (nástroj COYPU). Příspěvek dále uvádí případovou studii železniční trati 092 Kralupy nad Vltavou – Neratovice a srovnává stávající jízdní dobu s teoreticky dosažitelnou jízdní dobou pro vozidla typu DMU a BEMU a pro dopravní koncept osobního a spěšného vlaku. Zdrojová data byla získána prostřednictvím COYPU Feeder z OpenStreetMap, samotný výpočet nového převýšení a simulace jízdní doby byla zajištěna v softwarovém nástroji COYPU.

Klíčová slova

Železnice, převýšení, nedostatek převýšení, trakční mechanika, regionální dráha, optimalizace geometrických parametrů koleje, simulace jízdní doby, digitální dvojče, simulační software COYPU, bateriová elektrická jednotka (BEMU), motorová jednotka (DMU), spěšný vlak, osobní vlak.

COYPU – The Simulation Tool for Batch Processing of Cant Design and Simulation of the Driving Dynamics of a Train

Abstract

In 2026, tools for developing customized applications utilizing artificial intelligence (AI) systems have become widely adopted. The simulation software COYPU and the supplementary tool COYPU Feeder were developed through the use of agentic AI tools; they serve to convert polylines from open data sources (OpenStreetMap) into the LandXML format (COYPU Feeder), as well as to calculate cant and cant deficiency according to ČSN 73 6360-1 and simulate train driving dynamics (COYPU). Furthermore, the paper presents a case study of railway line 092 Kralupy nad Vltavou – Neratovice, comparing current travel times with theoretically achievable travel times for DMU and BEMU rolling stock across both regional train and regional express operational concepts. Source data were acquired from OpenStreetMap via COYPU Feeder, while the calculation of the refined cant and the travel time simulations were conducted within the COYPU software framework.

Keywords

Railway, cant, cant deficiency, driving dynamics, branch lines, track geometry optimization, travel time simulation, digital twin, COYPU simulation software, battery-electric multiple unit (BEMU), diesel multiple unit (DMU), regional express, passenger train.

1. Úvod

Železniční síť v České republice se vyznačuje vysokou hustotou a nerovnoměrným vytížením. Také parametry železničních tratí nejsou v zásadě homogenní, rychlostní profil nevyjímaje. Statistická ročenka Správy železnic, s.o., uvádí z celkových 11 496 km průběžných traťových a hlavních staničních kolejí rychlost vyšší než 80 km/h pouze u 38,86 %, což velmi zjednodušeně odpovídá podílu elektrizovaných tratí (35,26 %) [1].

Cílem tohoto příspěvku není hledat příčiny vedoucí ke stávajícím, leckdy nevyhovujícím jízdním dobám, ale nabídnout univerzální nástroje, kterými lze zrychleně a v prvním přiblížení posoudit potenciál stávajícího směrového vedení železničních tratí.

2. Současné výzvy a příležitosti

2.1. Jízdní doby a traťové rychlosti

Na četných relacích je jízdní doba vlaku ve srovnání s osobním automobilem nebo autobusem vyšší o desítky až stovky procent. Jedná se například o trasy Praha - Písek, Praha - Dobříš, Praha - Liberec, Praha - Jihlava, ale i relace Brno - Olomouc a v zásadě o většinu propojení sídel obsluhovaných vlaky jedoucími po dráze železniční regionální. Snižování jízdních dob je klíčové i z pohledu každodenní dojížděky, neboť dle hypotézy publikované Marchettim v roce 1994 [2] existuje konstantní objem času, který člověk stráví denně přesouváním se. Dle jeho výzkumu se jedná o jednu hodinu [2]. Výsledné teritorium, které lze v rámci tohoto času dosáhnout, se pak přirozeně liší podle použitého dopravního prostředku, stavu infrastruktury, ale třeba také délky intervalu v případě veřejné hromadné dopravy.

V roce 1974 Zahavi [3] uvedl, že zkracující se jízdní doby nutně nevedou k nižšímu celkovému času strávenému na cestách, ale ke zvyšování množství aktivit, které průměrný člověk za den zrealizuje. Toto zjištění je zcela v souladu s později publikovanou konstantou o hodnotě jedna hodina. Výsledkem zvyšování rychlosti tak nemusí být nutně samotné zkrácení doby strávené ve vlaku, ale především rozšíření oblasti, kterou je možné železniční dopravou pokrýt ve stanoveném časovém limitu [3].

Na otázky, jakým způsobem zajistit kratší jízdní doby, případně vyšší rychlosti, pravděpodobně neodpovědí následující kapitoly, ale především pak další navazující práce rozvíjející toto téma. Nabízí se v některých případech použití vlakotramvajů (a aplikace tramvajových technických norem a předpisů), přeložky stávajícího směrového vedení, výstavba vysokorychlostních tratí, zrušení nebo vyšší zabezpečení železničních přejezdů, provoz vozidel s vyšší akcelerací a mnoho dalšího. Pro informované rozhodování je však možné využít simulačních nástrojů, z nichž některé budou dále představeny.

2.2. Pokročilá simulace a uživatelsky přívětivé programové vybavení

Mezi moderní přístup správy svěřeného majetku v podobě železniční sítě patří využití BIM (*Building Information Modeling* [4]), SHM (*Structural Health Monitoring* [5]), případně systém „*asset managementu*“ [6] [7]. Schopnost rozhodovat se na základě co největšího množství již dostupných dat je však v praxi stále omezená, a to z mnoha důvodů. Mezi ně ze subjektivního pohledu autora patří omezená dostupnost hlubokých znalostí výše uvedených řešení, nedostupnost programového vybavení s otevřeným zdrojovým kódem, které by bylo udržováno ve stavu aktuálního poznání a kde by odpadaly potíže s omezenou dostupností vzhledem k vysokým licenčním poplatkům a komplikované distribuci. Další omezení mohou být čistě administrativní, tedy například nízký stupeň automatizace korporátních procesů, respektive vysoká časová náročnost práce se stávajícími programy při existujícím vysokém

množství vzájemně nesynchronizovaných a neprovázaných předpisů a směrnic a z toho plynoucí obecná neakceschopnost a nízká flexibilita.

Stávající programové vybavení navíc často obsahuje zastaralé, případně neintuitivní uživatelské rozhraní. Samotný uživatel má pak často jen velmi omezenou možnost tyto procesy a rozhraní upravit. Způsob modelování dopravních staveb známý z videoher, který spočívá v okamžité vizualizaci ve 3D, intuitivním uživatelském rozhraní a vysokým stupněm propojení s dalšími dimenzemi modelu (náklady, čas) je tak zatím stále výjimkou jak v případě projektování železničních staveb (BIM), tak v případě dalších souvisejících oblastí. Výjimkou je například program KorFin [8]. Pro Českou republiku však není lokalizován.

2.3. Agentní systémy umělé inteligence

Cílem agenta (z lat. *agere*, dělat) je autonomně provádět zadané úkoly, vnímat prostředí, vytvářet a plnit cíle, adaptovat se na změny [9] [10]. Pro počítač v roli agenta se užívá obecného termínu „strojové učení“. V současné době (srpen 2026) se však pojmem agentní nebo agentická umělá inteligence (dále jako AI) rozumí takový systém, který dokáže po zadání výzvy navrhnout způsob řešení a samostatně pracovat po dlouhé časové období v řádu hodin na konkrétním, často velmi komplexním, problému [9].

Použití agentních systémů AI je možné například v případě osobních elektronických asistentů, ale také pro vývoj počítačových programů. Nástroj AI v podobě klasického chatbota je v tomto případě totiž méně výkonný než komplexní agentická AI, která může pracovat s lokálními soubory, upravovat je, samostatně provádět testy, odhalovat chyby v programu a spravovat online repozitáře a verze kódu. Odpadá tak nutnost například ručně přepisovat výstupy z příkazového řádku, případně popisovat vlastnosti a charakteristiku již existujícího kódu, neboť moderní systém agentické AI (například Google Gemini v CDE Antigravity [11] nebo Claude Code [12] [13]), jak již bylo zmíněno, disponuje přímou schopností tyto soubory číst.

3. COYPU a COYPU Feeder

Právě moderní nástroje AI byly použity při vývoji programů označených jako COYPU a COYPU Feeder. Oba tyto nástroje stále procházejí vývojem a jsou k dispozici veřejně pod MIT licencí s otevřeným zdrojovým kódem na adresách <https://github.com/surovskyjk/COYPU> (program COYPU), respektive <https://github.com/surovskyjk/Coypu-Feeder> (COYPU Feeder). Oba nástroje jsou napsány v programovacím jazyku Python a při vývoji byly využity nástroje Google Gemini (příprava výzev – promptů [11]) a Claude Code (včetně modelu Claude Fable 5 [12][13]).

3.1. COYPU Feeder

COYPU Feeder je specializovaná desktopová aplikace (vyvinutá v Pythonu s grafickým rozhraním v *PySide6*), která slouží k získávání dat železničních

tratí z OpenStreetMap (přes Overpass API či OSM relace) a jejich převodu na přesnou geometrii ve standardním formátu LandXML 1.2 [14]. Výsledná data jsou optimalizována pro železniční software COYPU i běžné CAD/BIM nástroje (např. Autodesk Civil 3D, Bentley OpenRail). Aplikace provede uživatele intuitivním 8krokovým průvodcem: od vyhledání trati (podle čísla v jízdním řádu, názvu, offline seznamu ~240 českých tratí nebo výřezu mapy), přes výběr a úpravu konkrétních kolejí (uživatel má možnost jejich spojování a dělení), až po automatickou detekci stanic/zastávek a výpočet jejich staničení pro účely následného využití v programu COYPU.

Primární účel programu je převod lomených čar (*polylines*) na matematicky hladké a spojitě trasování podle ČSN 73 6360-1 [15]. Pro oblouky je zjednodušeně ve všech případech použita sekvence *přímá* → *přechodnice* (*klotoida*) → *kružnicový oblouk* → *přechodnice* → *přímka*. Jádrem je editovatelný tečnový polygon, který umožňuje interaktivní i poloautomatickou konsolidaci oblouků stejného směru, ruční posun vrcholů na mapě (s režimem zamykání/odemykání), vkládání a mazání vrcholů tečnového polygonu, úpravu poloměrů směrových oblouků a délek přechodnic v reálném čase. Součástí je také výpočet nivelety vzorkováním terénních dat — primárně z ČÚZK DMR 5G [16], v případě nedostupnosti nebo odmítnutí ze strany poskytovatele data jsou použita OpenTopoData [17] — a vyhodnocení odchylek (příčných řezů) mezi navrženou geometrií a původním OSM záznamem.

Po technické stránce aplikace kombinuje *PySide6* (*Qt*) s integrovanou interaktivní mapou v *Leaflet.js* (vykreslovanou přes *QWebEngineView* s optimalizací na HTML5 Canvas a podporou vrstev jako OpenRailwayMap [18] [19] či katastr ČÚZK [16]). Všechny geometrické výpočty probíhají v metrickém souřadnicovém systému (pro ČR S-JTSK / EPSG:5514 přes knihovnu *pyproj*) s 9místnou plovoucí přesností a klotoidy jsou řešeny pomocí Fresnelových integrálů. Architektura je optimalizována pro okamžitou odezvu. Stav rozpracované práce lze ukládat do vlastního XML formátu projektu (*coypuf*), který uchovává kompletní geometrický model i stanice bez závislosti na síťovém připojení.

První publikovaná verze programu COYPU Feeder byla vyvinuta pro SVOČ 2026 [20]. Uživatelské rozhraní je zobrazeno na obrázku 1.



Obr. 1 Prostředí programu COYPU Feeder.

3.2. COYPU

Aplikace COYPU je specializovaný desktopový program pro analýzu a návrh geometrie železničních tratí a simulaci jízdní doby a trakční kinematiky vlaků podle české normy ČSN 73 6360-1 [15]. Program načítá směrové a výškové vedení trasy z formátu LandXML [14] (přímé, přechodnice, kružnicové oblouky, převýšení a podélný profil) a volitelně informace o stávající traťové rychlosti dle tabulek traťových poměrů z formátu XML. Geometrické jádro využívá iterační konvergenční algoritmus, který navrhuje nejvyšší dovolené převýšení koleje v souladu se zadanými omezeními, vypočítává nedostatek převýšení, hlídá časové změny GPK v případě vzestupnic (strmost, součinitel změny nedostatku převýšení a náhlou změnu nedostatku převýšení) a odvozuje profil nejvyšší dovolené traťové rychlosti pro různá rychlostní pásma (V100, V130, V150) v návrhovém (nové hodnoty převýšení) režimu a "as-built" režimu (stávající převýšení, pouze úprava nedostatku převýšení). Součástí aplikace je také modul umožňující provést posun osy koleje o maximální zadanou hodnotu, a to ve vybraných případech předem definované posloupnosti dílčích prvků směrového vedení (podporovány jsou nativně sekvence *přímá-kružnicový oblouk-přímá* a *přímá-přechodnice-kružnicový oblouk-přechodnice-přímá*).

Druhou stěžejní částí je trakční simulace, která numerickou integrací pohybových rovnic (s krokem 1 metr) počítá jízdu vlaku pomocí dvoufázového algoritmu (chod dopředu a dozadu). Zohledňuje tažné síly vozidel definované po částech polynomy druhého stupně, jízdní odpory dle Davisovy rovnice [21], sklonové poměry, obloukové odpory (Röcklův vzorec), brzdné zpomalení, délku soupravy a zastávky se stanovenými pobyty [22][23][24]. Aplikace navíc disponuje dávkovým zpracováním, jež umí spojovat více LandXML souborů, automaticky vyhodnocovat matice variant (kombinace různých zastávkových

režimů, normových přístupů a citlivostních analýz) a prezentovat je v porovnávacím dashboardu.

Z technického hlediska je aplikace napsána v Pythonu s grafickým rozhraním postaveným na PySide6 (Qt). Využívá pás karet, dokovací panely s přizpůsobitelným rozvržením, interaktivní mapový prohlížeč s vrstvou OpenRailwayMap a rychlé vykreslování grafů přes *pyqtgraph* se vzájemně synchronizovaným kurzorem přenášejícím polohu kurzoru v grafu na mapu. Výpočty běží asynchronně ve více vláknech (*QThread*), projekty se ukládají do vlastního komprimovaného archivu *.coypu* s automatickým obnovením po pádu a navrženou geometrií lze exportovat zpět do LandXML 1.2 [14] nebo vygenerovat protokoly v PDF, LaTeXu, Markdownu a CSV.

Aplikace COYPU byla původně vyvinuta jako pomocný nástroj k diplomové práci [25]. Prostředí aplikace COYPU je uvedeno na obrázku 2.



Obr. 2 Prostředí programu COYPU.

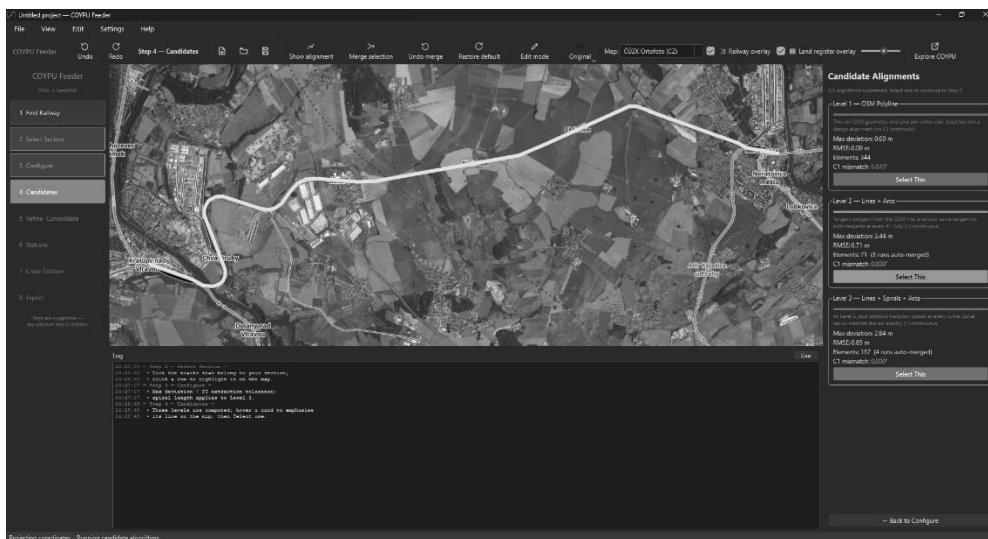
4. Případová studie: Železniční trať 092 – Kralupy nad Vltavou – Neratovice

Za účelem prezentace aktuálního stavu programů COYPU Feeder a COYPU byla provedena případová studie železniční trati 092 Kralupy nad Vltavou – Neratovice. Jedná se o regionální železniční trať nacházející se ve středních Čechách, traťová rychlost je nejvýše 60 km/h. Většina trati je neelektrizovaná.

Pro případovou studii byla použita otevřená data o směrovém vedení trati z OpenStreetMap/OpenRailwayMap [18] [19], informace o povrchu pocházejí z 5G bodů veřejně publikovanými ČÚZK [16], resp. ze služby OpenTopoData [17]. Trakční charakteristiky vozidel byly získány v odborné literatuře.

Níže je uveden pracovní postup pro kompletní posouzení potenciálu jízdní doby pro zadanou železniční trať.

Prvním krokem je spuštění programu COYPU Feeder, výběr železniční trati a zadání parametrů projektu. Poté si uživatel může zvolit, jaký způsob popisu osy koleje vyžaduje (původní lomená čára, kombinace přímých a kružnicových oblouků, anebo osu koleje tvořenou přímými úseky, přechodnicemi – klotoidami a kružnicovými oblouky). Tato fáze je zobrazena na obrázku 3.



Obr. 3 Fáze výběru formátu popisu osy koleje.

Dále může uživatel v přehledném editoru spojovat dílčí elementy, redefinovat tečnový polygon (výběrem dvou budoucích tečen a stisknutím příslušného tlačítka dojde ke konsolidaci mezilehlých elementů a zjednodušení osy). Podrobnosti ukazuje obrázek 4.



Obr. 4 Uživatelská úprava poloměrů oblouku, délky přechodnic a dalších parametrů.

Jistou nevýhodou je omezená přesnost, avšak pro účely (předběžné) studie ji lze považovat stále za dostačující. Jen velmi omezené přesnosti lze dosáhnout při stanovování délky stávajících přechodnic (s přihlédnutím ke způsobu sběru dat pro OpenRailwayMap [18] a navíc tolerancemi dle ČSN 73 6360-2, které limitují stanovení délky přechodnice i pro geodetické metody [26]), případně stanovení přesného poloměru oblouku a jejich dílčích částí u složených oblouků. Pro účely této studie byla délka přechodnic velmi zjednodušeně plošně stanovena na 50 m. Je však téměř jisté, že skutečná délka přechodnic bude obvykle kratší. Pro předběžnou identifikaci potenciální jízdní doby však lze tento předpoklad považovat za dostatečný a může představovat například aproximaci eventuální budoucí větší rekonstrukce, avšak stále za využití stávajících pozemků a valné většiny drážního tělesa. Maximální odchylka 3,15 m se nachází v prostoru směrového oblouku s velkým středovým úhlem a malým poloměrem za mostem přes Vltavu v Kralupech ve směru Neratovice, kdy je zřejmě ve skutečnosti složený oblouk aproximován pouze jediným obloukem (kružnicový oblouk, na obou stranách přechodnice). I přes tuto chybu činí průměrná odchylka vůči OpenStreetMap 0,56 m. Osu koleje lze dále zpřesnit i díky ortofotomapě ČÚZK [16].

V následujícím kroku jsou automaticky načteny stanice a zastávky, tedy všechna místa, kde lze očekávat zastavení za účelem nástupu a výstupu cestujících (obrázek 5).



Obr. 5 Načtení stanic.

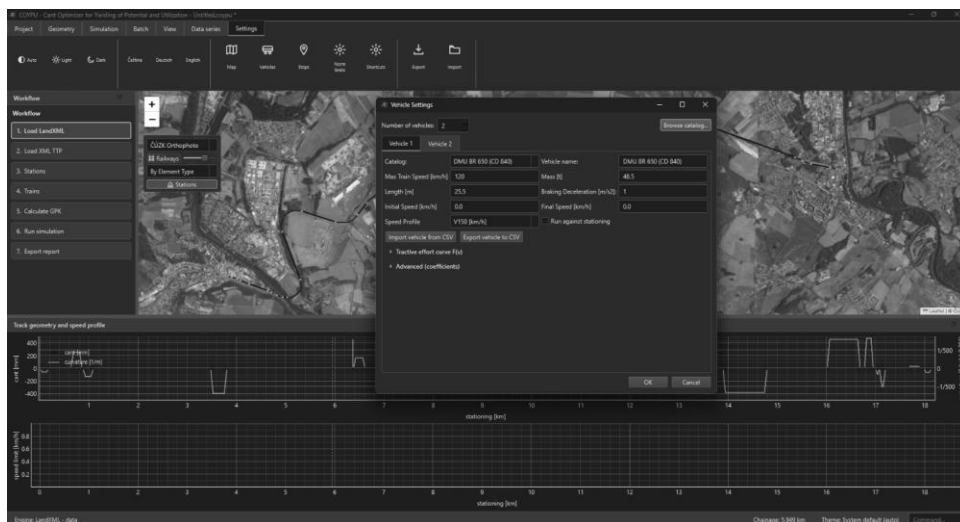
Předposledním krokem je možnost provést analýzu „výškového rozdílu ekvidistanty osy koleje“, což je v principu jednoduché posouzení rozdílu výšek mezi domnělou aktuální osou koleje a případnou směrově posunutou osou koleje v případě přeložky. Posledním krokem je pak export osy koleje do

formátu LandXML [14], eventuálně uložení rozpracovaného projektu ve formátu *coypuf*.

Následující kroky byly již provedeny v programu COYPU. Po otevření LandXML souboru vytvořeného v programu COYPU Feeder je vhodné provést nastavení „návrhového přístupu“ dle ČSN 73 6360-1, tedy volby, pro které GPK bude použita jaká návrhová hodnota (standardní, mezní, minimální/maximální) [15], dále nastavení vozidel (katalog tří základních vozidel, generické BEMU, motorového vozu 810 a motorového vozu 840/841 je k dispozici přímo v aplikaci) a import zastávek (příslušný .csv soubor je automaticky vyexportován spolu s LandXML souborem). Nastavení vozidel je znázorněno na obrázku 6. Pro brzdné zpomalení je počítáno s konzervativní hodnotou $b = -0,45 \text{ m/s}^2$ [27]. Pobyt ve stanicích a zastávkách je uvažován v délce 30 s [28]. Osobní vlak zastavuje ve všech stanicích a zastávkách, spěšný vlak pouze v Neratovicích, Úžicích a Kralupech nad Vltavou.

Dále byly zvoleny návrhové hodnoty GPK a nedostatku převýšení dle ČSN 73 6360-1. Pro nedostatek převýšení byly zvoleny maximální hodnoty, pro náhlou změnu nedostatku převýšení a strmost vzestupnice mezní hodnoty a pro součinitel změny nedostatku převýšení minimální hodnoty (tedy umožňující nejrychlejší možnou změnu nedostatku převýšení v přechodnici).

Nejvyšší návrhová rychlost je uvažována 160 km/h. Celkem byly simulovány čtyři dílčí scénáře – osobní vlak a spěšný vlak (regionální expres), a to pro generickou BEMU jednotku (bez konkrétní specifikace výrobce či typu) a pro motorový vůz řady 840/841 (DMU) [23] [29] [30]. V případě generické BEMU je uvažována také maximální rychlost 160 km/h (zjednodušeně bez vlivu jízdy na baterie / pod trolejovým vedením), nejvyšší rychlost motorového vozu řady 840/841 činí 120 km/h.

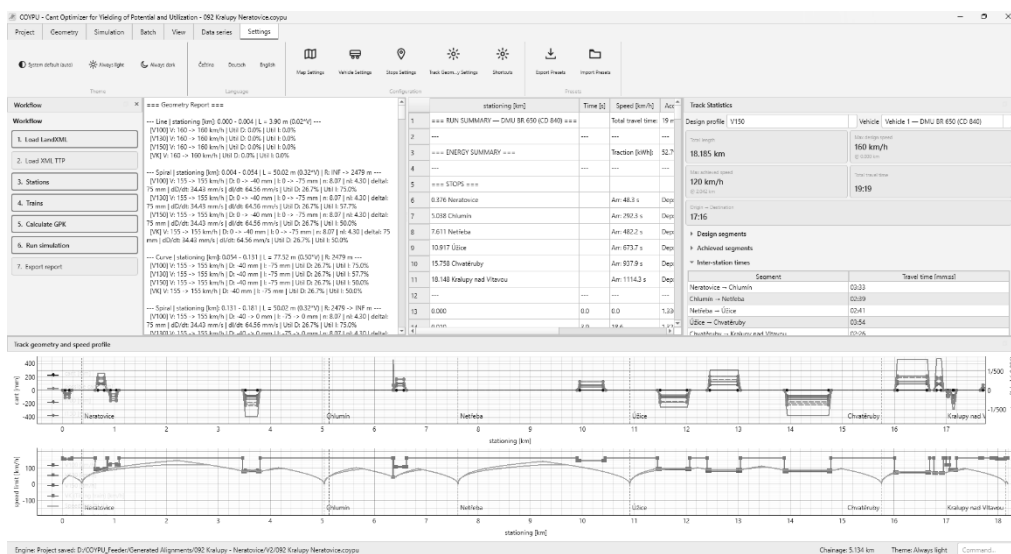


Obr. 6 Nastavení počtu a parametrů vozidel.

Následně je proveden výpočet převýšení a v následujícím kroku také výpočet jízdních dob. Výstup je jednak grafický (obrázek 7), tak v textové, resp. číselné podobě reportů (výstupních zpráv, obrázek 8).



Obr. 7 Grafický výstup aplikace COYPU.



Obr. 8 Textový výstup aplikace COYPU.

Výsledkem jsou následující simulované teoretické jízdní doby (tabulka 1 níže). Za účelem prezentace přesných výsledků a eventuální replikovatelnost simulace nebyly hodnoty zaokrouhleny na 0,1 min (6 s), k zásadnímu ovlivnění výsledků nedošlo. Simulovanou pravidelnou jízdní dobu uvádí tabulka 3, kdy

došlo k údajům z tabulky 1 k připočítání přírážky 4 % [28], [31] a zaokrouhlení na celé půlminuty. Nejvyšší dosažené rychlosti jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 1 Simulovaná teoretická jízdní doba v úseku Neratovice – Kralupy nad Vltavou

Vozidlo / Koncept	Osobní vlak [mm:ss]	Spěšný vlak [mm:ss]
Generické BEMU	16:57	12:44
Motorový vůz 840/841	17:16	13:13

Tab. 2 Nejvyšší dosažená rychlost

Vozidlo / Koncept	Osobní vlak [km/h]	Spěšný vlak [km/h]
Generické BEMU	145 km/h	158 km/h
Motorový vůz 840/841	120 km/h	120 km/h

Tab. 3 Simulovaná pravidelná jízdní doba v úseku Neratovice – Kralupy nad Vltavou a srovnání s osobním autem (jízdní doba dle služby Mapy.com) [32]

Vozidlo / Koncept	Osobní vlak [mm:ss]	Spěšný vlak [mm:ss]
Generické BEMU	17:30	13:00
Motorový vůz 840/841	18:00	13:30
Jízdní řád 2026	24:00	není
Osobní auto (IAD)	28:00	není

Přestože je již aktuální jízdní doba osobního vlaku při nejvyšší traťové rychlosti 60 km/h ve srovnání s osobním automobilem kratší, je samotné nádraží na zdroji i cíli cesty skutečně výjimečný případ a nereflktuje obvyklé cesty. K jízdní době je tak pro každého cestujícího nutné individuálně dopočítat i dobu, po kterou se dostává na nádraží a z nádraží. Čím je kratší jízdní doba vlaku, tím se však zvětšuje i oblast, která je v rámci zadaného konstantního časového rozpočtu dosažitelná i pro cestu vlakem [2].

5. Závěr

Moderní nástroje umělé inteligence jsou schopné v roce 2026 vytvořit pokročilé nástroje pro získávání vstupních dat (v tomto případě osy koleje) a jejich následné zpracování.

V případě dostatečného testování lze vytvářet kvalitní personalizované aplikace, které mohou zvýšit efektivitu práce a rozsah získaných informací. Výsledkem by tak v ideálním případě měla být například rozhodnutí o konzervaci specifické železniční trati založená na přesně zacílených informacích a údajích o případném potenciálu daného směrového vedení.

Z pohledu praktické využitelnosti nástrojů COYPU Feeder a COYPU ukazuje případová studie železniční trati 092 (Kralupy nad Vltavou – Neratovice) možný potenciál snížení jízdní doby, aniž by bylo nutné provádět zásadní zábory pozemků v okolí trati. Simulovaná pravidelná jízdní doba pro jednotku BEMU a regionální expres (spěšný vlak) činí mezi Neratovicemi

a Kralupy nad Vltavou 13 minut. Pro DMU není patrný zásadní rozdíl, jízdní doba činí 13,5 minuty. Naopak v případě osobního vlaku činí simulovaná pravidelná jízdní doba 17,5 minuty (generická BEMU), respektive 18 minut (DMU). Oproti pravidelné jízdní době dle jízdního řádu 2026 (24 minut) jde o pokles o 27,08 % (BEMU, osobní vlak), respektive 25,00 % (DMU, osobní vlak), v případě spěšného vlaku a jednotky BEMU dokonce 45,83 %. Výsledná simulovaná pravidelná jízdní doba pro generickou BEMU jednotku a spěšný vlak (13 minut) také zásadním způsobem překonává osobní automobil (28 minut). Úspora jízdní doby zvýšením rychlosti ze 120 km/h (DMU) na 160 km/h (BEMU) však není zásadní.

Literatura

- [1] SPRÁVA ŽELEZNIC, S.O. Statistická ročenka 2025. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2026. Dostupné také z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/190706420/Statisticka%C3%A1+ro%C4%8Denka+2025/e12d009c-d5b9-4b49-9f46-c2fc883c7faf>
- [2] MARCHETTI, Cesare. Anthropological invariants in travel behavior. *Technological Forecasting and Social Change*. 1994, 47(1), 75-88. ISSN 0040-1625. Dostupné z: doi:10.1016/0040-1625(94)90041-8
- [3] ZAHAVI, Yacov. *Traveltime Budgets and Mobility in Urban Areas*. Washington, D.C: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1974.
- [4] *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice: Technology Foundations and Industry Practice*. Cham: Springer International Publishing, 2018. ISBN 978-3-319-92861-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-92862-3
- [5] FARRAR, Charles R. a Keith WORDEN. *Structural Health Monitoring: A Machine Learning Perspective*. John Wiley & Sons, 2013. ISBN 978-1-119-99433-6.
- [6] KIRWAN, Andy a Teodor GRADINARIU. *Guidelines for the Application of Asset Management in Railway Infrastructure Organisations*. International Union of Railways (UIC), 2010. ISBN 9782746118782. Dostupné také z: <https://www.uic.org/>
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 55000:2024 - Asset management — Vocabulary, overview and principles: 2024 - Asset management — Vocabulary, overview and principles. 2nd ed. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2024. Dostupné také z: <https://www.iso.org/standard/55000.html>
- [8] A+S CONSULT, GmbH. *KorFin: Software for 3D Track Alignment and Spatial Planning: Software for 3D Track Alignment and Spatial Planning*. Dresden: A+S Consult GmbH Forschung und Entwicklung, 2025. Dostupné také z: <https://www.korfin.de/>
- [9] ČESKÁ ASOCIACE UMĚLÉ INTELIGENCE. *Slovník pojmů* [online]. 2026 [cit. 2026-08-23]. Dostupné z: <https://asociace.ai/slovník-pojmu/>
- [10] RUSSELL, Stuart, Peter NORVIG a Ernest DAVIS. *Artificial intelligence: a modern approach: a modern approach*. 4th ed. Upper Saddle River:

- Prentice Hall, 2022. ISBN 978-1-292-40113-3. Dostupné také z: http://lib.yzu.am/disciplines_bk/efdd4d1d4c2087fe1cbe03d9ced67f34.pdf
- [11] GOOGLE. Google Gemini. Google, 2026. Dostupné také z: <https://gemini.google.com/>
- [12] ANTHROPIC, PBC. Claude Code. San Francisco, California: Anthropic, PBC, 2026. Dostupné také z: <https://claude.ai/>
- [13] ANTHROPIC, PBC. Claude for Windows. San Francisco, California: Anthropic, PBC, 2026. Dostupné také z: <https://claude.ai/>
- [14] LANDXML.ORG. LandXML Schema v1.2. 2008. Dostupné také z: <http://www.landxml.org/schema/LandXML-1.2/LandXML-1.2.xsd>
- [15] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 73 6360-1: Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha - Část 1: Projektování: Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha - Část 1: Projektování. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020, s. -52.
- [16] ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ. Geoportál ČÚZK: Prostorová a katastrální data (DMR 5G, Ortofoto ČR, Katastr nemovitostí): Prostorová a katastrální data (DMR 5G, Ortofoto ČR, Katastr nemovitostí) [online]. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2026 [cit. 2026-08-23]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz/>
- [17] SNOW, Andrew. OpenTopoData: Elevation API: Elevation API [online]. 2026 [cit. 2026-08-23]. Dostupné z: <https://www.opentopodata.org/>
- [18] OPENRAILWAYMAP CONTRIBUTORS. OpenRailwayMap [online]. 2026 [cit. 2026-08-23]. Dostupné z: <https://www.openrailwaymap.org/>
- [19] OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. OpenStreetMap [online]. OpenStreetMap Foundation, 2026 [cit. 2026-08-23]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org/>
- [20] ŠUROVSKÝ, Jakub. Použití agentního systému umělé inteligence pro tvorbu personalizovaných aplikací v oblasti železničního stavitelství. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2026, s. -22.
- [21] DAVIS, JR., W. J. The Tractive Resistance of Electric Locomotives and Cars. General Electric Review. General Electric Company, Railway Engineering Department, 1926, 29(10), 685-707.
- [22] MICHÁLEK, Tomáš a Jaromír ZELENKA. Trakční mechanika. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2018. ISBN 978-80-7560-175-9.
- [23] KACHE, Martin. Fahrdynamik der Schienenfahrzeuge: Grundlagen der Leistungsauslegung sowie der Energiebedarfs- und Fahrzeitberechnung: Grundlagen der Leistungsauslegung sowie der Energiebedarfs- und Fahrzeitberechnung. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2024. ISBN 978-3-658-41712-3. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-658-41713-0
- [24] PACHL, Jörn. Systemtechnik des Schienenverkehrs: Bahnbetrieb planen, steuern und sichern: Bahnbetrieb planen, steuern und sichern. 7. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013. ISBN 978-3-8348-2587-2.
- [25] ŠUROVSKÝ, Jakub. Refinement the Existing Railway Route Alignment by Augmentation the Cant and Cant Deficiency to Minimize Train Travel Time.

- Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2026, s. - 142.
- [26] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 73 6360-2: Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha - Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba: Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha - Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2009, s. -36.
- [27] MICHÁLEK, Tomáš a Jiří ŠLAPÁK. Vliv elektrifikace trati Klatovy-Železná Ruda na jízdní doby a spotřebu energie. Vědeckotechnický sborník ČD. 2016, (42), 1-17.
- [28] SPRÁVA ŽELEZNIC, S.O. SŽ SM069: Směrnice pro tvorbu jízdního řádu a přidělování a využívání kapacity dráhy: Směrnice pro tvorbu jízdního řádu a přidělování a využívání kapacity dráhy. Ve znění změny č. 1 až 6. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2025. Dostupné také z: <https://www.spravazeleznic.cz/>
- [29] KACHE, Martin. Zusatzmaterialien zum Lehrbuch „Fahrdynamik der Schienenfahrzeuge“ zu Kapitel 3 „Fahrwiderstandskräfte“ [online]. Německo, 2023 [cit. 2026-08-23].
- [30] CHUDLAŘSKÝ, Ondřej. Simulační ověření spotřeby aku vozidla na trati Tábor–Bechyně. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2023. Dostupné také z: <https://dk.upce.cz/entities/publication/e21b166f-a715-4f53-9b3d-5aad04e58db3>
- [31] FEDERÁLNÍ MINISTERSTVO DOPRAVY. ČSD V7: Trakční výpočty: Trakční výpočty. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1982.
- [32] SEZNAM.CZ, a.s. Mapy.com [online]. Praha: Seznam.cz, a.s, 2026 [cit. 2026-08-23]. Dostupné z: <https://mapy.com/>

Dostupnost dat a zpětná vazba

Zdrojový kód aplikací, v případě vybraných verzí také spustitelné verze programu (.exe), jsou veřejně k dispozici na platformě GitHub. Výstupy vytvořené v rámci předkládané případové studie jsou k dispozici u autora této práce. Postup jejich získání je v práci transparentně popsán a může být v zásadě bez větších potíží replikován.

Použití umělé inteligence při přípravě příspěvku

Při psaní příspěvku i tvorbě prezentovaných programů byly použity nástroje AI, a to například Google Gemini (Flash 3.7) a Claude (Code s modely Sonnet/Opus/Fable 5). V případě, že jsou příslušné prompty dostupné, je může autor příspěvku na vyžádání poskytnout.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl na základě zpracované diplomové práce na Fakultě stavební ČVUT v Praze, na základě zpracovávané diplomové práce na Technické univerzitě v Mnichově a vychází z poznatků získaných ve SVOČ

2026. Autor děkuje za akademickou i finanční podporu během úspěšně ukončeného magisterského studia na FSv ČVUT v Praze.

Vliv výšky nástupiště a podlahy železničního vozidla na průběh odbavení cestujících

Ing. Jiří Čížek

ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

Konviktská 293/20, 110 00, Praha 1 – Staré Město

e-mail: cizekji4@fd.cvut.cz

Abstrakt

Tento příspěvek popisuje průběh průzkumu zaměřeného na průběh výstupu a nástupu cestujících v železničních zastávkách. Dále je prověřena závislost průměrného času výstupu a nástupu v závislosti na výšce nástupiště a podlahy železničního vozidla nad temenem kolejnice.

Klíčová slova

Nástupiště, železniční stanice, železniční zastávka, nástup a výstup cestujících, bezbariérovost, železniční dopravní technologie.

The Influence of Platform Height and Railway Vehicle Floor Height on the Process of Boarding and Alighting

Abstract

This paper describes a survey focused on the process of boarding and alighting in railway stops. Furthermore, the paper examines the relationship of passenger boarding and alighting times and height difference between platform and vehicle floor.

Keywords

Platform, railway station, railway stop, passenger boarding and alighting, barrier-free solutions, railway transport technology.

1. Úvod

Autor se ve své disertační práci věnuje problematice hodnocení variantních konfigurací nástupišť v železničních stanicích. Jedním z hodnotících kritérií je provozní a dopravní technologie. Cílem této optimalizační úlohy je v kontextu řešené problematiky minimalizovat technologické časy při různých úkonech,

například křižování nebo přestupu mezi vlaky. Zatímco pohyb kolejových vozidel lze relativně jednoduše namodelovat prostřednictvím dostupných nástrojů, problematika dopravního chování cestujících či technologických postupů železničního personálu je v praxi často řešena odhadem, na základě historické zkušenosti či zjednodušenými výpočty [1, 2].

Za účelem vytvoření sady dat popisujících odbavení cestujících během pobytu v zastávce a dalších technologických procesů byl proveden terénní průzkum ve třech různých lokalitách. Tento příspěvek popisuje náplň průzkumu, dále prezentuje naměřené výsledky a vyhodnocuje část ze zjištěných dat, konkrétně vztah mezi výškou nástupiště a výškou podlahy vozidla vůči temeni kolejnice.

2. Metodika měření a terénní průzkum

2.1. Přehled sledovaných parametrů

V rámci přípravy průzkumu bylo třeba definovat rozsah zaznamenávaných údajů. Jako identifikační údaje pro snadnou orientaci byly stanoveny číslo vlaku a čas jeho odjezdu z lokality měření. Následující parametry pak byly vyhodnoceny jako relevantní pro navazující zpracování a dostatečné pro případné dohledání nezměřitelných údajů či identifikaci nestandardních situací:

- vozová řada;
- počet vystupujících cestujících;
- počet nastupujících cestujících;
- doba od zastavení vozidla do výstupu prvního cestujícího;
- doba výstupu;
- doba nástupu;
- doba vyčkávání do souhlasu s odjezdem;
- doba od souhlasu s odjezdem do rozjezdu vlaku;
- zpoždění vlaku.

K výše uvedeným údajům pak byly dodatečně dohledány parametry:

- výška nástupiště nad temenem kolejnice [dále též TK];
- výška podlahy vozidla nad TK;
- šířka dveří vozidla;
- kategorie vlaku.

2.2. Upřesnění vybraných parametrů

Aby bylo možno vztáhnout naměřené údaje k ucelenému toku cestujících, parametry počet vystupujících a nastupujících cestujících v sobě nezahrnují cestující, kteří nastupují mimo tento jednoznačně identifikovatelný proud. Toto se týká zejména cestujících nastupujících opožděně za uceleným proudem. Byl-li u měřených dveří přítomen vlakvedoucí či průvodčí, byl započítán pouze v případě, že vystupoval spolu s uceleným proudem. Do nástupu započítán není. Pokud nastala situace, že cestující na zastávce

vystoupil a opět nastoupil za účelem uvolnění nástupního prostoru, je považován za součást proudu vystupujících i nastupujících cestujících. Dítě přepravované v dětském kočárku je rovněž započítáno jako cestující.

Zastavení vozidla je definováno jako okamžik ukončení pohybu vozidla. Výstup prvního cestujícího je okamžik, kdy tělo cestujícího vstoupí do dveřního rámu. Obrat toku vystupujících a nastupujících cestujících je definován jako polovina doby mezi ukončením výstupu posledního vystupujícího a začátkem nástupu prvního nastupujícího. Situace, kdy se tyto proudy časově překrývají, je popsána v kapitole 2.5. Nástup je ukončen průchodem posledního nastupujícího dveřním rámem. Pokud je výstup nebo nástup nulový, je i tato doba nulová. Vyčkávání je určeno jako doba od posledního nástupu do okamžiku, kdy vlakvedoucí dává strojvedoucímu návěst souhlas s odjezdem. U vlaku bez vlakvedoucího se za ukončení vyčkávání považuje okamžik aktivace zvukové signalizace před zavřením dveří. Rozjezd vlaku je stanoven jako okamžik, kdy je souprava uvedena do pohybu.

2.3. Průběh průzkumu

Byly provedeny tři samostatné terénní průzkumy:

- 24. 4. 2026 13:00-17:00, žel. zast. Chomutov město;
- 30. 4. 2026 13:00-17:00, žel. zast. Praha-Podbaba;
- 29. 5. 2026 14:30-16:30, žel. zast. Černošice.

Sčítač (při vyšší frekvenci cestujících dvojice sčítačů) si vždy před příjezdem vlaku zvolil jedny konkrétní dveře a věnoval se dění v nich až do posledního nástupu. Následně se soustředil na činnost vlakvedoucího. Vzhledem k tomu, že se sčítač soustředil pouze na jediné dveře soupravy, není možno výsledky průzkumu považovat za standardní průzkum frekvence cestujících.

Všechny výše popsané údaje byly následně zaznamenány do papírového archu. Časové údaje byly měřeny pomocí stopek v mobilním telefonu. Zároveň byl v případě nestandardní situace zaznamenán stručný komentář. Celkem bylo do měření zapojeno 5 sčítačů.

Černošice		směr Revnice		Datum:		Čas měření:			Poznámka		
Odjezd	Vlak	Vozidlo	Obrat cestujících		Technologické doby [s]						
			Výstup	Nástup	Zastavení	Výstup	Nástup	Vyčkávání			Odjezd
14:38	8844										
14:48	9946										
15:08	8846										
15:18	9948										
15:38	8848										
15:48	9950										
16:08	8850										
16:18	9952										

Obr. 1 Ukázka připraveného záznamového archu [Autor].

2.4. Popis lokality

Lokality byly zvoleny tak, aby měření obsáhlo různé kombinace výšky vozidel (nízkopodlažní vozidla i vozidla konvenční stavby) s různými výškami nástupišť.

Zastávka Chomutov město je vybavena dvojicí vnějších nástupišť výšky 300 mm nad temenem kolejnice konstrukce Tischer, nástupní hrana je tvořena prefabrikovanými panely, zbývající plocha nástupiště je zpevněna asfaltobetonovou směsí. Délka nástupišť je 240 metrů, v délce 65 metrů jsou nástupiště zastřešena. Přístup je mimoúrovňový podchodem. Bezbariérový přístup na nástupiště je umožněn pouze k nástupišti č. 1 z přilehlé ulice Stromovka. Na nástupiště č. 2 neexistuje bezbariérová přístupová cesta. Vzhledem k probíhající modernizační akci a související denní výluce byla většina vlaků (cca do 16.30) odbavena od nástupiště č. 1 [3].

V zastávce Praha-Podbaba se nachází dvojice vnějších nástupišť výšky 550 mm nad temenem kolejnice. Nástupní hrana je tvořena prefabrikovanými dílci, povrch nástupiště tvoří zámková dlažba doplněná o signální a varovný pás v souladu s TSI PRM. Délka obou nástupišť je 220 metrů, v délce 75 metrů je zřízeno zastřešení. Přístup k oběma nástupišťům je mimoúrovňový, podchod pod kolejištěm je přístupný buď schodištěm, nebo šikmou rampou [3, 4].

Železniční zastávka Černošice má dvojici vnějších nástupišť výšky 300 mm nad temenem kolejnice. Konstrukci nástupišť tvoří modifikovaná sestava Tischer s prefabrikovanými deskami. Ostatní plochy nástupišť mají cementobetonový povrch. Délka nástupišť je 206 a 237 m, je však v obou případech přerušena přejezdem (P264 a P265). Nástupiště ve směru Beroun je zastřešeno v délce 45 m. Nástupiště pro opačný směr je vybaveno dvěma konstrukcemi zastřešení o délkách 25 a 40 metrů, mezi kterými se nachází objekt čekárny s verandou. Přístup k nástupišťům je možný buď podchodem se schodišti, nebo po výše zmíněných přejezdech. Zde je třeba zmínit, že při obsazení kolejí jsou přejezdy až do uvolnění souvisejících kolejových obvodů ve výstraze, a vzniká tak potenciálně nebezpečná situace, kdy cestující

přecházejí kolejiště navzdory tomu, že to přejezd zakazuje. Přejezd P265 je z tohoto důvodu doplněn atypickým výstražným zařízením, které signalizuje průjezd vlaku po druhé koleji, aby se alespoň částečně snížilo riziko střetu vlaku s osobou [3].



Obr. 2 Železniční zastávka Černošice [Autor].

2.5. Identifikace nestandardních situací

Během průzkumů bylo zaznamenáno několik situací, které měly významný vliv na rychlost výstupu či nástupu. Konkrétně se jednalo o následující případy:

- výstup/nástup cestujícího s jízdním kolem či koloběžkou;
- výstup/nástup cestujícího s dětským kočárkem či s dítětem předškolního věku;
- výstup/nástup cestujícího s jinou formou omezení schopnosti pohybu nebo orientace;
- neplynulý přechod mezi proudem vystupujících a nastupujících cestujících;
- nástup cestujícího při probíhající výpravě vlaku;
- jiné narušení průběhu výpravy vlaku.

Data, která byla takto ovlivněna, lze považovat za validní. Jedná se o situace, které se v železničním provozu vyskytují běžně a vstupují do případného modelování technologických časů. V případě, že taková situace nastala, byla na místě vyhodnocena a s doplňujícím komentářem zařazena do sady dat. Později však mohou být tyto záznamy odstraněny v rámci filtrace dat (viz dále) [5].

3. Výsledky průzkumu

3.1. Přehled naměřených dat

V rámci průzkumů bylo naměřeno celkem 181 validních výsledků (85 výstupů, 96 nástupů). 40 měření bylo provedeno na vlacích kategorie R, 13 na kategorii Sp a 128 na kategorii Os. Počet unikátních vlaků je 67. Některé vlaky byly zaznamenány více sčítači, vždy se však jednalo o jiné dveře. Počet zaznamenaných cestujících dosáhl hodnoty 949, do průzkumu je zařazeno 15 vozových řad.

Typ vozidla	471	640	650	654	655	818	845	ABfbdtn	B	Bdmtee	Bdmteeo	Bdtn	Bee	Bpee	IJ
Výška podlahy vozidla nad TK [m]	0,550	0,550	0,550	0,600	0,600	0,530	1,210	1,255	1,225	1,250	0,550	1,255	1,225	1,225	1,250

Obr. 3 Výška podlahy vozidel zařazených do průzkumu [6, 7, 8, 9, 10, 11].

Skutečná výška podlahy nad temenem kolejnice se může mírně lišit například na základě převýšení v konkrétní zastávce, obsazení vozu či jeho technickém stavu. Uvedené hodnoty jsou výrobní charakteristikou vozů převzatou z uvedených zdrojů.

3.2. Vymezení řešené problematiky

Tento příspěvek se zaměřuje na závislost mezi rychlostí výstupu a nástupu cestujících a rozdílem výšky nástupiště a podlahy vozidla nad temenem kolejnice. Autor si je vědom, že na výsledky mohou mít vliv i další faktory, například:

- šířka dveří vozidla [2, 12];
- počet vystupujících a nastupujících cestujících [13];
- uspořádání interiéru vozidla [2, 12];
- kategorie vlaku;
- sociologické složení cestujících [5].

Těmto problematikám se autor plánuje ve svém výzkumu dále věnovat.

3.3. Postup a interpretace výsledků

V prvním kroku bylo provedeno oddělení datových sad na výstup a nástup. Jako výsledkový ukazatel byl zvolen průměrný definovaný podíl celkového času výstupu/nástupu ku počtu vystupujících/nastupujících cestujících. Tento ukazatel se vypočítá pro každý jeden vlak.

Dále byla provedena filtrace dat. 10 % nejnižších a 10 % nejvyšších naměřených hodnot je ze zpracování vyřazeno. Výsledná data mají následující formát:

Bod	Směr	Datum	Čas	Vlak	Vozidlo	Výstup počet [os.]	Výstup čas [s]	Výška voz. [m]	Výška nást. [m]	Rozdíl výšek [m]	Prům. čas výstupu [s/os.]
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	12:55	28130	655	12	16,94	0,6	0,55	0,05	1,41
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	12:55	28130	655	11	17,86	0,6	0,55	0,05	1,62
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	13:02	688	Bpee	3	4,22	1,225	0,55	0,675	1,41
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	13:02	688	Bpee	3	4,80	1,225	0,55	0,675	1,60
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	13:19	9634	640	2	2,07	0,55	0,55	0	1,04
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	13:27	28132	655	11	11,90	0,6	0,55	0,05	1,08
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	13:49	6914	640	2	1,47	0,55	0,55	0	0,74
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	13:49	6914	640	5	6,45	0,55	0,55	0	1,29
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	13:54	28134	655	6	7,00	0,6	0,55	0,05	1,17
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	14:19	9636	471	3	4,00	0,55	0,55	0	1,33
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	14:19	9636	471	5	4,42	0,55	0,55	0	0,88
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	14:27	28136	655	12	10,44	0,6	0,55	0,05	0,87
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	14:27	28136	655	9	8,24	0,6	0,55	0,05	0,92
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	14:49	6916	640	6	5,61	0,55	0,55	0	0,94
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	14:54	28138	655	25	20,74	0,6	0,55	0,05	0,83
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	15:02	684	B	1	2,26	1,225	0,55	0,675	2,26
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	15:19	9640	471	8	6,91	0,55	0,55	0	0,86
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	15:19	9640	471	3	2,98	0,55	0,55	0	0,99
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	15:27	28140	655	10	10,42	0,6	0,55	0,05	1,04
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	15:27	28140	655	7	5,90	0,6	0,55	0,05	0,84
Praha-Podbaba	Kralupy nad Vltavou	30.04.2026	15:49	6918	640	1	1,69	0,55	0,55	0	1,69

Obr. 4 Ukázka souboru dat [Autor].

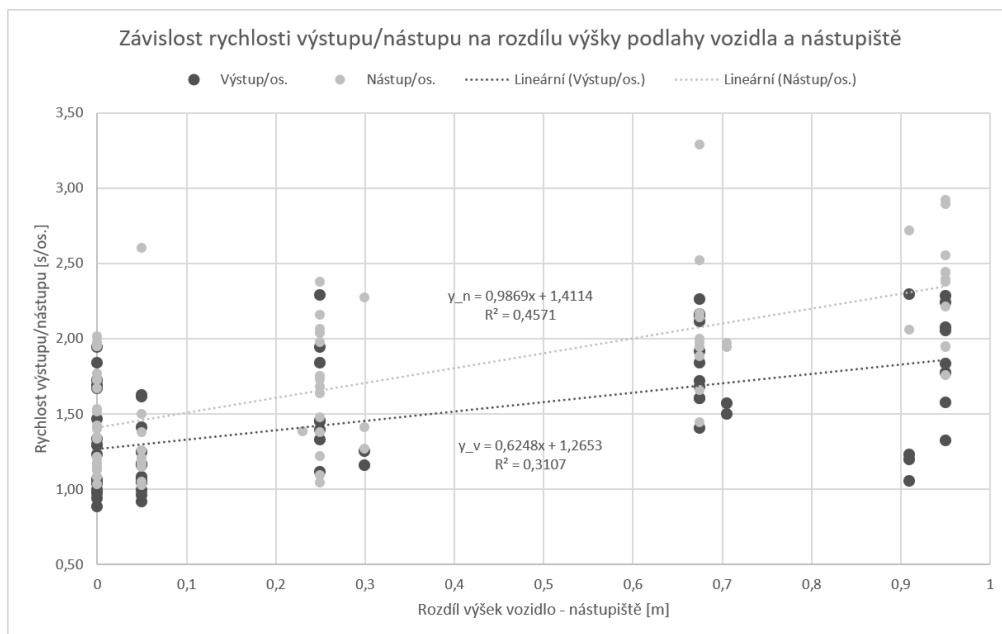
Pro data byly následně testovány různé regresní modely. Tabulka níže zobrazuje pro výstupní i nástupní data exponenciální a lineární regresi a pro polynomickou regresi druhého a třetího řádu hodnotu koeficientu determinace R^2 .

R2	V	N
exp	0,303	0,457
lin	0,311	0,457
poly2	0,333	0,458
poly3	0,334	0,458

Obr. 5 Hodnoty koeficientu determinace R^2 [Autor].

Z porovnání modelů vyplývá, že nejvyšší úroveň přesnosti modelu vykazuje polynomická regrese 3. řádu. Přesto však ukazatel R^2 dosahuje řádově hodnot do 50 % pro výstupní i nástupní data, modely tedy nelze považovat za dostatečně vypovídající a hodnota průměrného času výstupu a nástupu musí být závislá i na jiných faktorech. Pro další zpracování bude vhodnější aplikace jiného modelu, například vícenásobné lineární regrese.

Data jsou prezentována v následujícím grafu. Je zřejmý spojitý charakter dat závislých na čase, zatímco hodnoty parametru rozdílu výšek nástupišť a podlahy vozu mají diskrétní podobu. Pro ukázkou jsou v grafu uvedeny také modely lineární regrese.



Obr. 6 Závislost rychlosti výstupu a nástupu cestujících na výškovém rozdílu nástupiště a podlahy vozidla [Autor].

V každém případě lze spolehlivě říci, že rostoucí rozdíl výšky nástupiště a podlahy vozidla negativně ovlivňuje rychlost výstupu a nástupu cestujících. To lze demonstrovat i na následující ukázce naměřených dat, kdy uvedená hodnota je mediánem pro zadané okrajové podmínky (v závorce je uveden počet validních měření):

- nízkopodlažní vozidlo, výška nástupiště 550 mm nad TK
 - výstup 1,12 s/os (32)
 - nástup 1,33 s/os (33)
- nízkopodlažní vozidlo, výška nástupiště 300 mm nad TK
 - výstup 1,36 s/os (8)
 - nástup 1,64 s/os (13)
- vozidlo klasické stavby, výška nástupiště 550 mm nad TK
 - výstup 1,72 s/os (13)
 - nástup 1,97 s/os (12)
- vozidlo klasické stavby, výška nástupiště 300 mm nad TK
 - výstup 1,80 s/os (14)
 - nástup 2,29 s/os (18)

4. Závěr

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že:

- obecně platí, že bezbariérové rozhraní nástupiště – vozidlo urychluje výstup a nástup cestujících;
- závislost průměrného času výstupu/nástupu na rozdílu výšky podlahy vozidla a nástupiště existuje;
- regresní modely založené pouze na tomto faktoru však vykazují nedostatečné výsledky a nelze je považovat za validní;
- je pravděpodobný vliv dalších faktorů.

V další práci autor předpokládá redefinici vstupních parametrů a aplikaci dalších modelů s cílem dosáhnout co nejvyšší spolehlivosti. Na základě těchto úprav bude vytvořen model, který s přijatelnou přesností umožní odhadnout průměrný čas nástupu či výstupu cestujících v závislosti na zadaných parametrech. Takový model bude využitelný v úlohách modelování dopravní technologie. Autor předpokládá následně jeho implementaci do své disertační práce.

Literatura

- [1] KECMAN, Pavle a GOVERDE, Rob M. P. Predictive modelling of running and dwell times in railway traffic. *Public Transport*. 2015, č. 7, s. 295-319.
- [2] JACURA, Martin. *Dopravní obslužnost území*. Disertační práce. Praha: ČVUT v Praze Fakulta dopravní, 2010.
- [3] Interní zdroje Správy železnic, státní organizace.
- [4] ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 73 4959, Nástupiště a nástupištní přístřešky na drahách celostátních, regionálních a vlečkách. 2026.
- [5] HOLLOWAY, Katherine et al. Effect of vertical step height on boarding and alighting time of train passengers. *Journal of Rail and Rapid Transit*. 2015, roč. 230, č. 4, s. 1234-1241.
- [6] 94 54 1 471 (CityElefant). Online. In: Nastoupil.com. 2011. Dostupné z: <https://nastoupil.com/vozy-ridici-pripojne-motrove/vozy-motorove/94-54-1-471/>. [cit. 2026-08-31].
- [7] *RegioPanter*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RegioPanter>. [cit. 2026-08-31].
- [8] VT 628 (*Südostbayernbahn*). Online. In: ÖPNV-Info. 2000-. Dostupné z: <https://www.oepnv-info.de/reisen/bahnreisen/informationen-zur-barrierefreiheit-und-ausstattung-von-zuegen/fahrzeuginformationen-nahverkehr/vt-628-suedostbayernbahn>. [cit. 2026-08-31].
- [9] *Obrazová galerie osobních vozů*. Online. In: Parostroj. 2004-. Dostupné z: <https://www.parostroj.net/katalog/ov/images.php?strana=3&obdobi=0&typ=0>. [cit. 2026-08-31].

- [10] RADOSAVLJEVIĆ, Aleksandar et. al. Rolling stock doorways compatibility with platforms at Serbian Railways. *FME Transaction*. 2017, roč. 45, č. 1, s. 77-82.
- [11] *Viaggio Comfort – emotion@rail*. Online. In: Siemens. 2012. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:65e137d93be4ff8bb4120242196bccb5db88cc55/image-viaggio-comfort-english.pdf>. [cit. 2026-08-31].
- [12] THOREAU, Roselle et. al. Train design features affecting boarding and alighting of passengers: Train design affecting boarding and alighting. *Journal of Advanced Transportation*. 2017, roč. 50, č. 8, s. 2077–2088.
- [13] HARRIS, Nigel G. Train boarding and alighting rates at high passenger loads. *Journal of Advanced Transportation*. 2006, roč. 40, č. 3, s. 249-263.

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za podpory projektu SGS25/097/OHK2/2T/16 Optimalizace konfigurace železničních stanic na tratích regionálního významu.

Název: Sborník příspěvků konference ŽELVA 2026

Editor: Ing. Petra Váňová

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala: Fakulta stavební
Katedra železničních staveb
Thákurova 7, Praha 6 – Dejvice, 166 29
(+420) 224 351 111

ISBN: 978-80-01-07597-5

Vydání: první

Počet stran: 73

Praha 2026