Praktické výsledky projektu INNOTRACK v železničním stavebnictví ČR

PRAHA 2013

Praktické výsledky projektu INNOTRACK v železničním stavebnictví ČR

INNOTRACK
Innovative Track Systems

EVROPSKÁ UNIE

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato studie je financovaná z ESF a rozpočtu ČR

Obsah

Obsah, ISBN 2

Zkratky..... 3

1. Zaměření a cíle projektu INNOTRACK 4

1.1 Informace o obsahu projektu 4

1.2 Informace o řešitelském týmu 4

1.3 Informace o způsobu financování 5

1.4 Základní cíle a směry projektu 5

1.5 Struktura projektu 5

2. Charakteristika výsledků projektu INNOTRACK 7

2.1 Výsledky dosažené v jednotlivých částech projektu INNOTRACK (SP1 – SP7) 7

2.2 Řešitelské aktivity české účasti při řešení projektu 11

2.3 Řešitelské aktivity české účasti v projektu po jeho dokončení 11

2.4 Využití výsledků projektu INNOTRACK v České republice 11

3. Podíl českých spoluřešitelů na dosažení cíle projektu INNOTRACK 12

3.1 Z pohledu Provozovatele infrastruktury 12

3.1.2 Zpracování souhrnného materiálu z problematiky zlepšování pražcového podloží ve formě zprávy se statusem Deliverable (Deliverable D2.2.1 State of the art report on soil improvement methods and experience) 12

3.1.3 Výstupy a zjištěné závěry vyplývající z dokumentu Deliverable D2.2.1 13

3.1.4 Praktické aplikace metod zlepšování kvality pražcového podloží 14

3.1.5 Diagnostické metody pro zjišťování kvality a stavu pražcového podloží 15

3.1.6 Kontinuální měření dynamické tuhosti pražcového podloží vozem RSMV 15

3.1.7 Měření tuhosti železničních tratí - obecně 16

3.1.8 Vlastní měření tuhosti vozem RSMV, ČR 2007 17

3.2 Aktivity a výsledky firmy G IMPULS Praha spol. s r.o. 22

3.3 Aktivity a výsledky Českého vysokého učení technického v Praze, Fakulta stavební 31

3.4 Aktivity a výsledky Českého vysokého učení technického v Praze, Fakulta dopravní 38

3.5 Aktivity a výsledky v rámci dílčího projektu SP1 a SP6 47

4. Využití výsledků projektu INNOTRACK zaměřené na další rozvoj železniční infrastruktury České republiky 53

4.1 Úvod 53

4.2 Metody zlepšování kvality pražcového podloží 53

4.3 Diagnostika stavu pražcového podloží 54

4.4 Dílčí projekty SP1 a SP6 54

4.5 Výstupy z projektu INNOTRACK a průmysl 56

5. Snížení nákladů na výstavbu a údržbu železniční infrastruktury v České republice 56

5.1 Investiční náročnost 56
5.2 Urychlení přípravy staveb 57
5.3 Úspory při přípravě a realizaci staveb 57
5.4 Hospodárnost při výstavbě 58
5.5 Nový přístup k projektování staveb 58
5.6 Náklady provozování staveb 58
5.7 Využití výsledků projektu INNOTRACK (dílčí projekty SP1 a SP6) pro snížení nákladů na výstavbu a údržbu železniční infrastruktury v České republice 59
5.8 Doporučení 59
6. Technologická platforma "Interoperabilita železniční infrastruktury" - spolupráce 61
Přílohy: 62
Příloha č. 1 Seznam členů řešitelského týmu projektu INNOTRACK 64
Příloha č. 2 Závěry z Mezinárodní vědecké diskuse konané dne 30.11.2012 na ZC VUZ Velim 64
Příloha č. 3 Tisková zpráva z Mezinárodní vědecké diskuse konané dne 30.11.2012 na ZC VUZ Velim 63
Příloha č. 4 Závěrečný odborný Workshop projektu Innotrack, říjen 2011, Paříž. Aktivní účast české delegace. V příloze 4 příklad posteru (geofyzika) 65
Příloha č. 5 Podmínky ovlivňující strategické záměry modernizace SŽDC 66
Literatura: 73
Zpracovatelský tým 75

ISBN 978-80-905456-1-8

Zkratky

ČD – České dráhy

ČVUT – české vysoké učení technické

DB – Deutsche bahn

EIA, SEA – Posuzování vlivů na životní prostředí

EU – Evropská unie

GPK – Geometrické parametry koleje

GPR – označení georadaru

INNOTRACK - Innovative Track Systems

LCC Life Cycle Costs – Náklady v průběhu životního cyklu

MDČR – Ministerstvo dopravy České republiky

PPP - Public Private Partnership

RAMS - Reliability, Availability, Maintainability, Safety

RCF - Detekce kontaktních únavových vad (Rail Contact Fatigue)

RSMV – Označení vozu pro kontinuální měření dynamické tuhosti pražcového podloží (Rolling Stiffness Measuring Vehicle)

SDC – Správa dopravní cesty

SP – Subproject

SŽDC – Správa železniční dopravní cesty

UIC - Mezinárodní železniční unie

UIC 60 – Označení typu kolejnice

UNIFE - Evropská asociace podniků železničního průmyslu

ŽDC – Železniční dopravní cesta

TŽK – Tranzitní železniční koridor

TEN – T - Transevropská síť - doprava

VZ – Vlakový zabezpečovač

ETCS – Evropský vlakový zabezpečovač (*European Train Control System*)

GSM-R - mezinárodní standard bezdrátové komunikace určený pro železniční aplikace (Global System for Mobile Communications - Railway)

ZZ – zabezpečovací zařízení

1. Zaměření a cíle projektu INNOTRACK

1.1 Informace o obsahu projektu

INNOTRACK je akronymem integrovaného výzkumného projektu s plným názvem Innovative Track Systems, který byl řešen v 6. rámcovém programu pro výzkum, technologický rozvoj a demonstrace Evropské unie (dále jen 6.RP) jako projekt číslo 031415. Řešení projektu probíhalo po dobu 36 měsíců v období 09/2006 – 08/2009.

Projekt naplňoval 5. výzvu 6. RP, který pro oblast dopravy poptával návrhy projektů řešících rozvoj nákladově efektivní vysoce výkonné infrastruktury tratě pro těžkou i lehkou železniční dopravu se smíšeným provozem. Podkladem pro zaměření této výzvy byly i závěry a doporučení Bílé knihy Evropské Komise o dopravě (září 2002), která stanovila pro železniční dopravu ambiciózní cíle do roku 2020 zahrnující:

- zdvojnásobení osobní a ztrojnásobení nákladní dopravy,
- zlepšení cestovního času o 25% - 50%,
- snížení nákladů životního cyklu o 30%,
- snížení hluku o 69 dB pro nákladní dopravu, a 83 dB pro vysoké rychlosti,
- zvýšení bezpečnosti - snížení úmrtí o 75%.

Projekt se zaměřil na řešení jednoho z největších problémů, se kterými se setkávají železnice v Evropě, a sice že náklady na trať představují hlavní součást nákladů pro provozovatele infrastruktury (manažera infrastruktury) a že tyto náklady v posledních 30 letech nijak výrazně neklesly. Přitom za stejnou dobu dosáhly v této oblasti konkurenční druhy dopravy významného snížení nákladů v průběhu životního cyklu (LCC), což představuje pro železniční dopravu podstatné snížení konkurenceschopnosti. Kromě nákladů na trať se pro železniční dopravu stala klíčovou otázkou také otázka hluku. Oba tyto problémy lze řešit pouze zvýšením výzkumu a vývoje a standardizace na evropské úrovni.

1.2 Informace o řešitelském týmu

Projekt INNOTRACK řešil 36 členný mezinárodní tým sestávající ze zástupců evropských železničních podniků, manažerů infrastruktury, institucí, univerzit, laboratoří, výrobců a dodavatelů v následujícím složení:

- 3 evropská sdružení,
- 10 železničních podniků,
- 14 výrobních podniků a dodavatelů prací,
- 9 univerzit a laboratoří.

Řešení projektu INNOTRACK představovalo jedinečnou příležitost spojení manažerů infrastruktury, dodavatelského průmyslu, univerzit a výzkumných institucí v soustředění se na výzkum otázek, které mají významný vliv na snižování nákladů v proběhu životnosti železniční infrastruktury. Výsledky řešení prokazují, že tato jedinečná příležitost byla efektivně využita.

Podrobný seznam členů řešitelského týmu je uveden v příloze č. 1

Z České republiky byli členy řešitelského týmu zástupci:

- České dráhy, a.s. (od zahájení přípravy projektu do 30.6.2008; od 1.7.2008
  - v důsledku organizační změny byl projekt převeden na SŽDC
- Správa železniční dopravní cesty s.o. (od 1.7.2008 do konce projektu v srpnu 2009),
- ČVUT v Praze – Fakulta dopravní a Fakulta stavební,
- G IMPULS Praha spol. s r.o.

Koordinátorem řešení celého projektu byla UIC (Mezinárodní železniční unie) ve spolupráci s UNIFE (Evropská asociace podniků železničního průmyslu). Administrativní část projektu koordinovala francouzská firma ARTTIC SA.

1.3 Informace o způsobu financování

Rozpočet projektu byl téměř 25 mil. EUR s průměrným grantem Evropské unie ve výši ~ 15 MEUR, tj. v průměru 60 %. U jednotlivých členů řešitelského týmu se podíl příspěvku EU lišil v závislosti na podmínkách platných pro typ podniku či organizace členů řešitelského týmu ve smyslu zásad 6.RP.

1.4 Základní cíle a směry projektu

Hlavní zaměření řešení bylo orientováno na snížení LCC (Life Cycle Costs – náklady v průběhu životního cyklu), a zároveň zlepšení RAMS Reliability, Availability, Maintainability, Safety – spolehlivost, dostupnost, udržovatelnost a bezpečnost) konvenčních železničních tratí se smíšeným provozem.

Základním cílem projektu byla inovace základních konstrukčních prvků železničního svršku a železničního spodku kolejí a výhybek včetně nedestruktivní diagnostiky a návrhu metodiky a norem pro minimalizaci LCC až o 30%.

Projekt byl zaměřen na poskytnutí klíčových informací a technologií provozovatelům železniční infrastruktury s cílem uplatňování nejmodernějších technologií na trati, které mohou účinně přispět k optimalizaci LCC v oblastech:

- konstrukce koleje,
- výhybky a výhybkové konstrukce,
- kolejnice,
- logistika pro údržbu koleje a její obnovu.

1.5 Struktura projektu

Projekt byl rozdělen do šesti souvisejících dílčích projektů a jejich řešení navrženo tak, aby bylo zajištěno, že technicky a ekonomicky ověřená řešení/výstupy budou uspokojující pro řešení většiny nákladových problémů evropského železničního systému v oblasti kolejí a výhybek.

Jedná se o dílčí projekty (SP – subproject) a jejich základní řešenou problematiku:

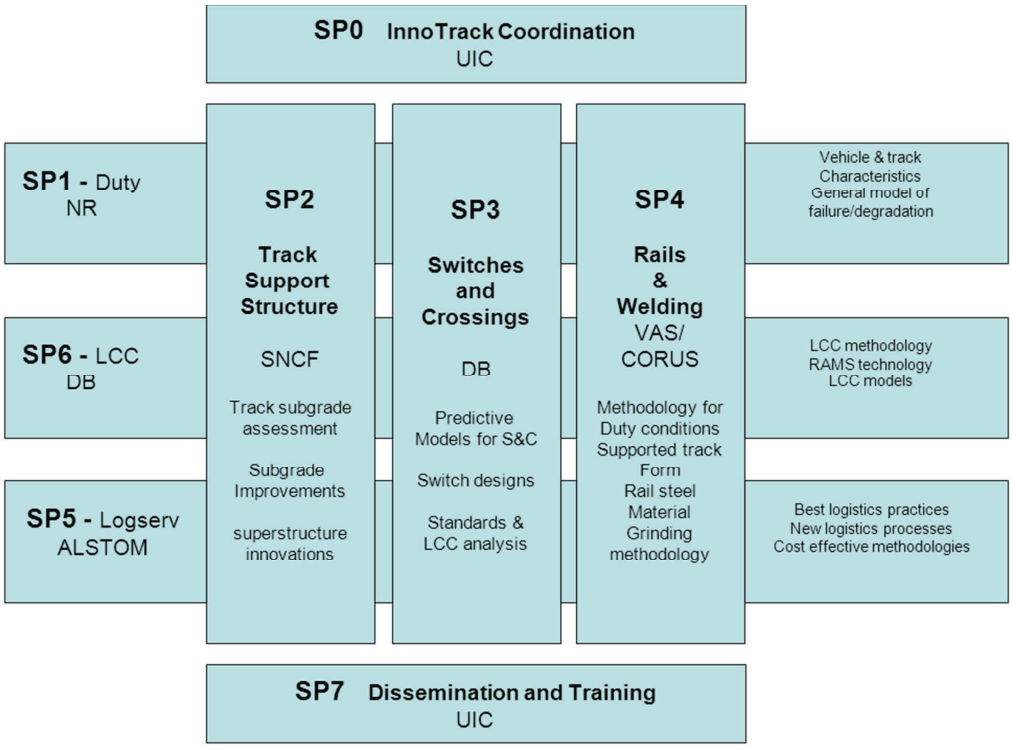
- SP1 – Provozní podmínky (Duty)
  - Charakteristiky koleje a vozidla (Vehicle & track characteristics)
  - Obecný model poruchy/degradace (General model of failure/degradation)
- SP2 – Konstrukce železničního svršku a spodku (Track Support Structure)
  - Vyšetřování pražcového podloží (Track subgrade assessment)
  - Zlepšení pražcového podloží (Subgrade Improvements)
  - Inovace železničního svršku (Superstructure innovations)
- SP3 – Výhybky a výhybkové konstrukce (Switches and Crossings)
  - Prediktivní modely pro výhybky a výhybkové konstrukce (Predictive Models for S&C)
  - Návrh konstrukce výhybek (Switch designs)
  - Normy a LCC analýzy (Standards & LCC analysis)
- SP4 – Kolejnice a svařování (Rails & Welding)
  - Metodika pro konstrukci koleje (železniční svršek a spodek) v provozních podmínkách (Methodology for Duty conditions Supported track Form
  - Materiál oceli kolejnic (Rail steel Material)
  - Metodika broušení (Grinding methodology)
- SP5 – Logistické služby (Logserv)
  - Nejlepší logistické postupy (Best logistics practices)
  - Nové logistické postupy (New logistics processes)
  - Metodiky pro efektivitu nákladovosti (Cost effective methodologies)
- SP6 – LCC
  - Metodika LCC (LCC methodology)
  - Technologie RAMS (RAMS technology)
  - Modely LCC (LCC models)

Mimo shora uvedených 6 dílčích projektů, zaměřených na řešení vlastní problematiky, měl projekt ještě další dva dílčí projekty a to:

- SP0 – Koordinace projektu (INNOTRACK Coordination)
- SP7 – Šíření informací a školení zaměřená na výsledky projektu (Dissemination and Training).

Řešení dílčích projektů SP1, SP5 a SP6 se týkalo problematiky řešené v ryze technických dílčích projektech SP2, SP3 a SP4 (viz schéma projektu).

Základní schéma uspořádání jednotlivých dílčích projektů (SP) v projektu INNOTRACK:



2. Charakteristika výsledků projektu INNOTRACK

2.1

Výsledky dosažené v jednotlivých částech projektu INNOTRACK (SP1 – SP7)

Rozsah a zaměření inovací, jako výstupů z řešení projektu INNOTRACK, je značný. V průběhu řešení projektu bylo zpracováno 140 výstupů, které přestavují celkem cca 11 000 stran textu, 117 zpráv, 16 směrnic (pokynů), založeno a naplněno 7 databází. Nejvýznamnější a podrobný přehled o řešení projektu jako celku i jeho dílčích projektů dává závěrečná publikace INNOTRACK Concluding Technical Report, vydaná UIC v roce 2010, ISBN:978-2-7461-1850-8 (288 stran). V úvodu je uvedeno stručné shrnutí dosažených výsledků projektu a v příloze VI pak seznam všech využitelných výstupů včetně vhodnosti jejich využití pro provoz a pro výzkum. Všechny tematické zprávy (dokumenty charakteru Deliverable a Guidelines), podléhaly připomínkování a revizi ze strany odborného příslušného subjektu.

Postup řešení a informace o dosažených výsledcích byly průběžně publikovány na internetových stránkách projektu: ***www.innotrack.net***; **www.innotrack.eu**, které byly vedeny až do srpna 2010 a jsou dostupné.

Stručně lze navržené inovace rozdělit podle orientace na produkty, procesy a metodiky následovně:

- Produkty:
  - = Nové materiály kolejnicové oceli,
  - = Optimalizace součástí koleje (pražce, pružné prvky),
  - = Inovativní návrhy výhybek,
  - = Zlepšení přestavování a zajištění polohy pohyblivých částí ve výhybce,
  - = Nové řešení pražcového podloží,
  - = Inovativní návrhy konstrukce koleje,
- Procesy:
  - = Senzorové technologie a zpracování signálu,
  - = Metody zlepšovánií zemin,

- Inovativní metody broušení kolejnic,
- Kontrolní a monitorovací metody (techniky),
- lepšené postupy svařování,
- Preventivní a plánovaná údržba,

- Metodiky:
  - Klasifikační metody pro charakteristiky koleje a vozidla,
  - Definování provozních podmínek pro interakci vozidlo/kolej,
  - Zlepšené postupy modelování,
  - Posuzování technických a ekonomických problémů,
  - Celoevropsky akceptovatelné LCC a hodnocení RAMS.
  - Výsledky dosažené v jednotlivých dílčích projektech projektu INNOTRACK představují řešení následujících problematik:

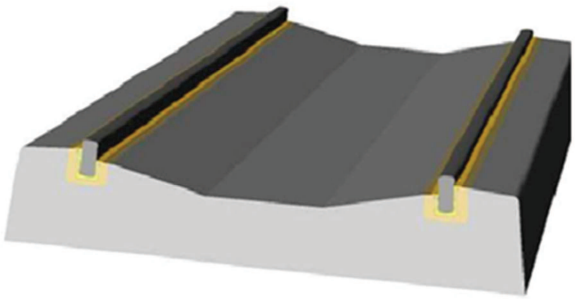
SP1 – Provozní podmínky

- Zjištění provozních nákladů na kolej,
- Zjištění odpovídajících problémů kolejí a výhybek,
- Pochopení prvotní příčiny problémů,
- Navržení priority pro inovace,
- Odstranění nebo zmírnění prvotní příčiny problémů

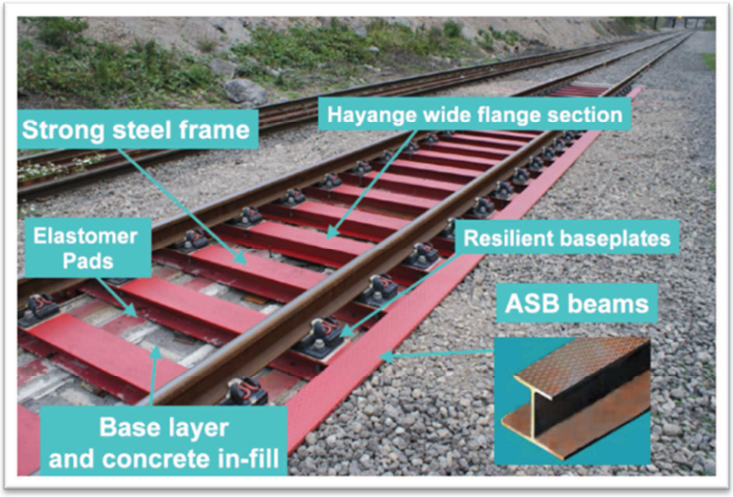
s cílem dosáhnout snížení LCC. Výstupem řešení tohoto dílčího projektu byla zpráva D1.3.3 – Final report on Root Causes of Problem Conditions and Priorities for Innovation. Za dvě převládající příčiny degradace poruchy koleje jsou považovány energie vznikající na kontaktu kolo/kolejnice a neschopnost železničního spodku odolávat provozovanému zatížení.

SP2 – Konstrukce železničního svršku a spodku

- Vyšetřování pražcového podloží,
  - Geofyzikální metody,
  - Měření tuhosti koleje,
  - Penetrometr Panda /endoskopie
  - Metody odběru vzorků,
- Zlepšování pražcového podloží,
  - Svislé piloty,
  - Šikmé piloty
  - Geosyntetika
- Inovace konstrukcí koleje
  - Obr. 1 Betonová deska se zapuštěnými kolejnicemi (návrh firmy Balfour Beatty),



= Obr. 2 Dvouvrstvá ocelobetonová deska, návrh firmy Corus.



Tento dílčí projekt patřil k nejrozsáhlejším. V publikaci INNOTRACK Concluding Technical Report, je v příloze IV INNOTRACK Guidelines uvedeno 16 pokynů zpracovaných v průběhu řešení projektu, z toho je 7 o výstupech z řešení tohoto dílčího projektu:

- D2.1.5 Metodika geofyzikálního vyšetřování závad v koleji
- D2.1.11 Metody měření tuhosti koleje
- D2.1.12 Modelování pražcového podloží koleje
- D2.2.6 Pokyny pro zlepšení pražcového podloží geosyntetiky
- D2.2.8 Pokyny pro zesílení pražcového podloží pilotami
- D2.3.5 Dvouvrstvá ocelobetonová deska – nová konstrukce koleje se sníženou potřebou údržby
- D2.3.6 Výběr systému železniční koleje podle nejlepší hodnotové analýzy

Na dílčí projekt SP2 se také soustředilo zapojení všech českých členů řešitelského týmu, jak je podrobněji uvedeno v kapitole 3 této studie.

SP3 – Výhybky a výhybkové konstrukce

- Přestavování a zajištění polohy pohyblivých částí ve výhybce,
  - Vývoj druhé generace hydraulického přestavníku,
  - Otevřená norma pro rozhraní zajištění polohy pohyblivých částí ve výhybce,
  - Standardní žlabový pražec.
- Optimalizace koleje
  - Optimalizace geometrie výměnové části výhybky,
  - Optimalizace srdcovkové části výhybky
  - Optimalizace materiálu týkajícího se opotřebení (degradace),
  - Optimalizace pružného uložení.
- Predikce selhání a prevence selhání
  - Optimalizace monitorovacích systémů pro stejnosměrné a střídavé napájecí systémy Optimisation of monitoring systems for AC & DC power
  - Algoritmy pro selhání predikce, Algorithms for failure prediction
  - Vytvoření otevřeného standardu pro komunikační rozhraní.

Z řešení SP3 byly zpracovány **3 pokyny:**

- D3.1.5 Doporučení a vědecký podklad pro optimalizaci výhybek a výhybkových konstrukcí – část 1
- D3.1.6 Doporučení a vědecký podklad pro optimalizaci výhybek a výhybkových konstrukcí – část 2
- D3.2.2 Funkční požadavky na žlabové pražce výhybek pro soustavu UIC 60 a jí podobné soustavy

SP4 – Kolejnice a svařování

- Degradace kolejnicové oceli
  - = Minimální pravidla
  - = Výběr jakosti kolejnicového materiálu
  - = Vady squat
  - = Ojetí, vlnkovitost
  - = Trhliny,
  - = Izolované styky.
- Inovativní kontrolní systémy

= Detekce kontaktních únavových vad (RCF) kolejnic

- Správa kolejnic
  - = Inovativní svařovací postupy,
  - = Brousící postupy,
  - = Řízení tření (drsnost pojížděné plochy hlavy kolejnice).

Výstupy z řešení SP4 jsou, mimo jiné, i 4 pokyny:

- D4.1.5 Definitivní pokyny pro používání kolejnic z různých jakostí
- D4.2.6 Doporučení a vědecký podklad pro pravidla minimální činnosti a limity údržby
- D4.3.8 Inovační laboratorní zkoušky pro kolejnicové oceli
- D4.5.5 Pokyny pro řízení broušení kolejnic

SP5 – Logistické služby

- D5.2.3 Zdokonalené logistiky z řešení projektu INNOTRACK

Logistika významně ovlivňuje LCC, tj. náklady na stavbu i údržbu koleje a výhybek. Jde především o vztah mezi dodavateli / výrobci na jedné straně a zhotoviteli / manažery infrastruktury na straně druhé. U provozované koleje k tomu přistupuje i otázka dopadu na omezení provozu z důvodu stavební činnosti a efektivita využití poskytnutých výluk.

SP6 – LCC

- D6.5.4 Pokyny pro LCC a RAMS analýzy

Model prokázal potenciální snížení celkové LCC dosažitelné pro konkrétní železnice, pokud inovace vyvinuté v projektu INNOTRACK jsou plně implementovány.

SP7 – Šíření informací a školení zaměřená na výsledky projektu

V rámci řešení projektu, ale i po jeho skončení byla realizována široká publikační a informační činnost seznamující širokou odbornou veřejnost s postupem řešení projektu a výsledky řešení:

- Zástupci řešitelského týmu prezentovali projekt na řadě národních i mezinárodních konferencích, seminářích a jednáních.

- Byla realizována mezinárodně zaměřená školení, na kterých byli účastníci podrobně seznamováni s nejdůležitějšími výsledky řešení.
- Internetové stránky projektu http://www.innotrack.net byly vedeny až do října 2010 a jsou na nich dostupné základní informace o projektu, o implementaci v průběhu řešení a na adrese http://www.innotrack.net/Reports je možné si stáhnout:
  - výroční zprávy řídícího výboru projektu
  - zprávy (deliverables) z řešení jednotlivých dílčích projektů
  - závěrečnou technickou zprávu „Concluding Technical Report“, která byla v roce 2010 vydána i knižně.
- Z řešení projektu bylo v roce 2011 zpracováno UNIFE technické doporučení, tzv. TecRec (Technical Recomendation)
  - TecRec 200_001: “Rail Reprofiling Management” (Řízení reprofilace kolejnic)
  - TecRec 200_002: “Rail Grade Selection” (Výběr jakosti kolejnicové oceli)
- UIC připravila z řešení SP4 projektu novelu vyhlášku UIC 721 Recommendations for the use of rail steel grades (Doporučení pro použití jakostí kolejnicových ocelí), schválena by měla být v průběhu února 2013.

2.2 Řešitelské aktivity české účasti při řešení projektu

Čeští členové řešitelského týmu projektu INNOTRACK se zaměřili na aktivní účast především v dílčím projektu SP2, kde jejich zapojení bylo velmi významné. V jejích částech týkajících se

- Vyšetřování pražcového podloží a
- Zlepšení pražcového podloží

se aktivně podíleli na řešení jak v oblasti teoretické, tak i v experimentální včetně měření a ověřování v provoze na železniční síti v ČR.

Zástupci ČD / SŽDC byli také zapojeni do dílčích projektů SP1, SP4 a SP6. Podrobně je jejich podíl na dosažení cíle projektu INNOTRACK uveden v kapitole 3 této studie.

O průběhu řešení projektu a dosažených výsledcích informovali čeští členové řešitelského týmu na odborných akcích v tuzemsku i v zahraničí: Souhrn dosažených poznatků prezentovali čeští řešitelé též na závěrečném semináři projektu zaměřeném na problematiku pražcového podloží, který se konal 15. října 2009 na UIC v Paříži.

2.3 Řešitelské aktivity české účasti v projektu po jeho dokončení

Obecně

Z iniciativy Technologické platformy Interoperabilita železniční infrastruktury se v loňském roce uskutečnila dne 30.11.2012 na ZC VUZ Velim Mezinárodní vědecké diskuse, které se zúčastnili zástupci UIC a zástupci z institucí, organizací a podniků z ČR. V příloze č. 2 jsou uvedeny závěry této diskuse a tisková zpráva o jejím konání a cílech (příloha č. 3). Diskuse konkrétně přispěla k upřesnění představ o aplikaci výsledků evropského projektu INNOTRACK v podmínkách české železniční infrastruktury a ke koordinaci postupu s evropskými partnery. Podrobněji je tato aktivita představena v kapitole 6 této studie,

2.4 Využití výsledků projektu INNOTRACK v České republice

Využití výsledků projektu INNOTRACK zaměřené na další rozvoj železniční infrastruktury v České republice je uvedeno v kapitolách 4 a 5 této studie.

3. Podíl českých spoluřešitelů na dosažení cíle projektu INNOTRACK

Čeští účastníci projektu se na řešení podíleli zejména v dílčím projektu SP2 (Konstrukce železničního svršku a spodku), kde se jejich odborné zaměření uplatnilo v oblasti metod zlepšování pražcového podloží, rozvoji geofyzikálních metod a fyzikálním a numerickém modelování pražcového podloží s nízkou únosností. Zástupci manažera infrastruktury (ČD/SŽDC) byli v menší míře zapojeni též do dílčích projektů SP1 (Provozní podmínky), kde se podíleli na tvorbě a naplnění databází vozidel a charakteristik tratí, a SP6 (Náklady životního cyklu). Účast jednotlivých subjektů z České republiky je podrobněji rozvedena v následujících částech této kapitoly.

3.1.1

Z pohledu Provozovatele infrastruktury

V první fázi řešení projektu se zástupce Českých drah (dále jen ČD) a později jako zástupce Správy železniční dopravní cesty (dále jen SŽDC) aktivně zapojil do činností v jednotlivých dílčích projektech z hlediska charakteristiky organizace tj. jako správce železniční infrastruktury. Stěžejní část byla orientována na SP2 Železniční spodek, ale svými poznatky a statistickými údaji přispěl i do dalších řešených oblastí projektu v určených SP.

3.1.2

Zpracování souhrnného materiálu z problematiky zlepšování pražcového podloží ve formě zprávy se statusem Deliverable (Deliverable D2.2.1 State of the art report on soil improvement methods and experience)

V rámci SP2 se ČD (později SŽDC) v první fázi svojí práce zapojily především do oblasti, kde bylo možné nabídnout naše bohaté zkušenosti. Z tohoto důvodu jsme přijali úlohu zpracovatele zprávy o současném stavu poznání, aplikování a zkušenostech s metodami a technologiemi pro účely zlepšování kvality pražcového podloží. Výsledkem měla být zpráva, která by zachycovala současný stav poznání a zkušeností, především u aktivních účastníků projektu INNOTRACK.

S touto filosofií bylo potřeba sestavit strukturu zprávy, aby měla dokumentační a vypovídající schopnost a mohla sloužit jako podklad pro další rozvoj problematiky metod zlepšování pražcového podloží. Jako stěžejní části zprávy byly zvoleny: výčet používaných metod, přehled o používání metod v praxi, přehled souvisejících normativů a dokumentů k jednotlivým metodám a dosavadní rozsah jejich použití.

Přehled uvedených metod byl pro lepší přehlednost zprávy rozdělen do čtyř charakteristických skupin. Jedná se o geosyntetika, stabilizace zemin, zlepšování zemin a ostatní metody.

V přehledu uvedených metod jsou zpracovány dostupné informace, se kterými bylo dále pracováno. Pokud to bylo možné, byl do přehledu zařazen schematický obrázek; dále jsou uvedeny účely použití metody zlepšení, oblast v konstrukci tělesa železničního spodku, kde je možné metodu použít. Další důležitou informací vztahující se k jednotlivým metodám zlepšování je uvedení souvisejících normativů. Zde jsou uvedeny jak mezinárodně platné evropské normy, vyhlášky UIC, tak interní dokumenty jako jsou normy a předpisy subjektů představující správce

železničních infrastruktur zúčastněných členů. Uvedeny jsou rovněž specifické údaje pro každou z metod, především se jedná o stanovené technické a technologické parametry, podmínky pro realizaci a nutná omezení. Poslední uvedené údaje se týkají míry používání v zemích členů konsorcia.

V dalších částech zprávy se s výše uvedenými údaji pracuje ve formě tabulek pro maximální přehlednost a možnost rychlého získání aktuálních informací. Součástí zprávy je i obrazová část s ukázkami praktických aplikací vybraných metod zlepšování konstrukce tělesa železničního spodku.

Uvedená zpráva (D2.2.1) měla termín zpracování do 12. měsíce trvání projektu, protože byla chápána jako jeden z výchozích dokumentů pro další práci v rámci SP2. Sběr dat a informací byl založen na vyplnění připraveného dotazníku, který vyplnili zástupci správců železničních infrastruktur ze zúčastněných zemí. Tyto se poté staly nedílnou součástí zprávy, konkrétně jejími přílohami.

Aktivně se do zpracování zprávy zapojili a informace poskytli zástupci ze 6 zemí, konkrétně ADIF ze Španělska, BV ze Švédska, ČD z České Republiky, DB z Německa, ÖBB z Rakouska a SNCF z Francie. Pro plnohodnotné vyplnění byl vypracován návod s komentářem, aby informace byly vzhledem k filosofii zpracování zprávy relevantní a hlavně porovnatelné. Nutno ještě podotknout, že zpracované dotazníky nebyly jediným zdrojem informací pro zpracování zprávy, ale využilo se i dříve zpracovaných materiálů v rámci již proběhlých úspěšných projektů (např. Sustainable Bridges project, atd.). Při konzultacích se často naráželo na problémy s terminologií používanou v členských zemích, kdy bylo potřeba komentáři v poznámkách doplnit potřebná vysvětlení. Na základě obdržených informací byl postupně vypracován konečný návrh zprávy s tím, že na pravidelných pracovních jednáních SP2 členové seznamováni s postupem na návrhu zprávy a bylo možné provádět její případné korektury a doplnění.

Jako každá tematická zpráva, resp. dokument charakteru Deliverable, podléhala i tato odbornému připomínkování a revizi ze strany odborného subjektu. V tomto případě se jednalo o zástupce Švédského geotechnického institutu pana Görana Holma. Celé připomínkové řízení proběhlo v několika kolech, kdy bylo potřeba reagovat na vznesené připomínky a návrhy. Mnoho z nich bylo přijato jako relevantních, které v konečném efektu byly přínosem pro konečné znění, některé byly naopak zamítnuty jako nepodstatné a zavádějící. Jako výsledek celého snažení byl ve stanoveném termínu vedoucím SP2 představen konsorciu projektu dokument Deliverable D2.2.1, který byl schválen a přijat. V současnosti je tento dokument přístupný na oficiálních webových stránkách projektu INNOTRACK na adrese:

http://www.innotrack.net/IMG/pdf/d221-f3-state_of_the_art_report_on_soil_improvment_methodes_and_experiences.pdf

3.1.3

Výstupy a zjištěné závěry vyplývající z dokumentu Deliverable D2.2.1

Pro další ověřování a rozvíjení v rámci praktických aplikací projektu byly vybrány 3 metody zlepšování, konkrétně vápenno-cementové piloty, vyztužení pomocí geomřížek a hloubkové ukloněné cementové piloty. Zástupci z České republiky se pak v rámci další své činnosti zaměřili na oblast vyztužování pomocí geosyntetik.

Výsledky a závěry zprávy jednoznačně ukázaly, že výběr metody pro zlepšení pražcového podloží ovlivňuje a limituje mnoho faktorů, ke kterým je třeba přihlížet, aby použitá metoda byla efektivní z hlediska účinnosti, trvanlivosti a nákladů. Mezi tyto faktory patří především geologické a geotechnické podmínky, dostupnost technologií, zkušenosti s aplikací v místních podmínkách, časová omezení aplikací a rovněž i finanční nákladnost, především vzhledem k požadované životnosti.

3.1.4

Praktické aplikace metod zlepšování kvality pražcového podloží

Jak již bylo uvedeno výše, po zpracování úvodního přehledového materiálu, v další části byla činnost členů SP2 zaměřena na praktické aplikace navržených inovativních technických řešení a metod, která byla podpořena činností v oblasti diagnostiky a monitoringu, které byly v dalším podrobeny testování a srovnání v různých podmínkách zúčastněných evropských zemí. ČD (SŽDC) se ve své činnosti zaměřily na oblast ověření nových postupů metodou vyztužování pomocí geosyntetických materiálů, k čemuž byly zřízeny zkušební úseky na vybraných tratích železniční sítě v ČR.

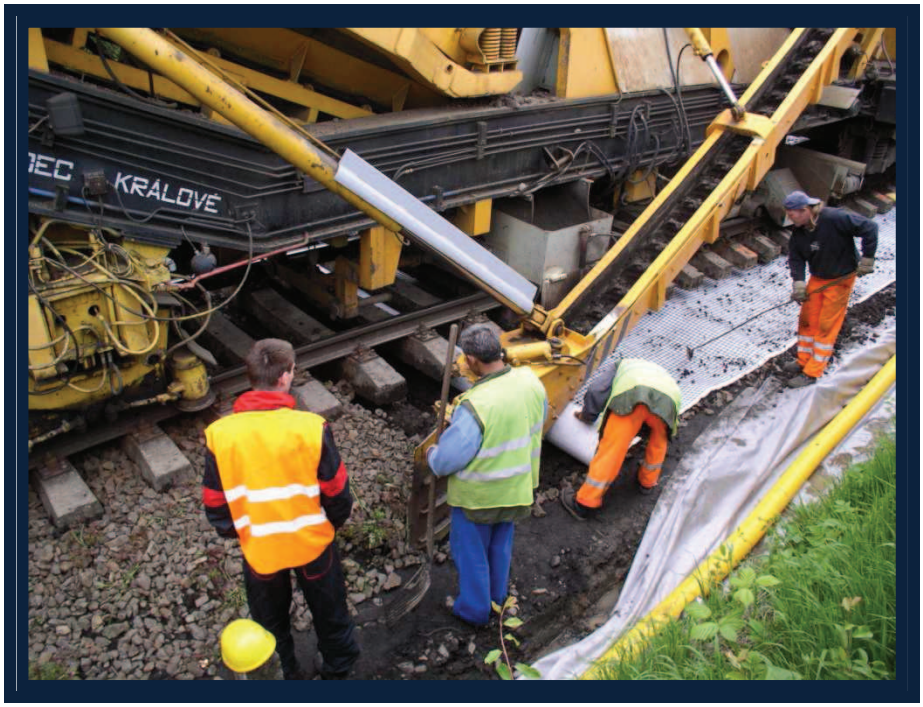
Předmětem zájmu bylo vyzkoušení a ověření funkčnosti a efektivity vyztužení spodní zesílené vrstvy kolejového lože pomocí geomřížek. Tato úprava se v úvaze předpokládala pro tratě celostátní s relativně vyšším provozním zatížením, kde se nepředpokládá v blízké budoucnosti žádná celková rekonstrukce a kde se vyskytují problémová místa z hlediska dlouhodobého udržení požadované kvality geometrických parametrů koleje (GPK). Toto řešení by mělo napomoci ke zpomalení rozpadu GPK koleje a tím prodloužit dobu nutného zásahu a opravy.

Po kratších konzultacích s pracovníky tehdejších Správ dopravní cesty (SDC) byl zvolen úsek na trati Plzeň – České Budějovice, přiléhající k železniční stanici Blovice. Byl to úsek jednokolejné celostátní trati vedený v nehlubokém zářezu, kde docházelo k degeneraci GPK zjevně vlivem nefunkčního podélného odvodnění. V nám odpovídající době zde byly plánovány opravné a údržbové práce, které se svým charakterem nabízely ke zřízení zkušebního úseku s výše uvedenou metodou pro zlepšení kvality pražcového podloží.

Zřizování zkušebního úseku předcházela příprava z hlediska začlenění prací souvisejících se zabudováním výztužného geosyntetika do komplexního harmonogramu opravných prací traťového úseku. Musela se zvolit taková technologie realizace, aby zásadním způsobem neomezila nebo nenarušila plánovaný soubor prací. Vzhledem k charakteru prováděných prací bylo rozhodnuto instalovat výztužný prvek ve fázi odtěžení starého kolejového lože strojní čističkou SČ 600. Tomuto kroku předcházela kompletní rekonstrukce oboustranného podélného odvodnění, což představovalo úplné obnovení kamenných příkopových zídek a obnovu profilu přiléhajících otevřených podélných příkopů. V délce příkopových zídek byly poté zřízeny podélné trativody.

Vzhledem k charakteru zeminy zemní pláně, která při dlouhodobém problému s nefunkčním odvodněním vykazovala vyšší obsah jemných částic, bylo rozhodnuto, že pro vyztužení kolejového lože nebude použito pouze geomřížky, ale využije se možnosti použít geokompozit, v našem případě kombinaci požadované geomřížky s geotextílií, která by měla separační funkci. Před vlastní pokládkou bylo potřeba rovněž zkrátit délku běžně dodávaného geokompozitu (role 50m) na délky, které by bylo možno rozvinout pod zvednutým kolejovým roštem při průjezdu strojní čističky. Předpokládalo se, že by to mohla být délka 25m, ale nakonec se jako schůdná ukázala poloviční délka, tj. 12,5m. Spojování jednotlivých dílů výztužného prvku bylo a přesahem 30cm. Po rozvinutí geokompozitu na pláň tělesa železničního spodku byl úsek zaštěrkován novým kamenivem kolejového lože frakce 32/63. V dalším postupu bylo plánováno pro zvedání a potom podbití strojní podbíječkou do požadované polohy nivelety koleje. Tloušťka kolejového lože byla navržena se zvětšenou tloušťkou +5cm. Při instalaci geokompozitu pochopitelně probíhaly související statické a rázové zatěžovací zkoušky na pláni tělesa železničního spodku a na stávajícím kolejovém loži před jeho odtěžením, včetně odběru vzorků pro laboratorní testy. Dále pak i rázové zatěžovací zkoušky na pláni tělesa železničního spodku při vlastní pokládce, i v pracovních prostorech strojní čističky.

Pro zřízený zkušební úsek byl poté připraven výnos se systémem provozního ověřování, který stanovil pravidla pro sledování, provádění zkoušek a hodnocení dosažených výsledků.



Obr. 3 Pokládka výztužného geokompozitu v pracovním prostoru strojní čističky při současném odtěžování starého kolejového lože

3.1.5

Diagnostické metody pro zjišťování kvality a stavu pražcového podloží

Součástí aktivit v rámci SP2 byly i práce a vývoj na činnostech, které jsou rovněž nedílnou součástí funkčního systému správcovské činnosti na železniční infrastruktuře, konkrétně nedestruktivní diagnostiky stavu trati. V ČR máme rovněž zaveden systém pro používání vybraných nedestruktivních metod, nicméně účast v projektu nám nabídla možnost vyzkoušet metody z partnerských států.

3.1.6

Kontinuální měření dynamické tuhosti pražcového podloží vozem RSMV

Před námi stál úkol vybrat pro nás zajímavou metodu diagnostiky na vhodném úseku trati. Nakonec zde nabyla reálné podoby myšlenka vyzkoušet v podmínkách české železniční infrastruktury švédský vůz (dále RSMV – Rolling Stiffness Measuring Vehicle) železniční společnosti Banverket pro měření dynamické tuhosti pražcového podloží. A pochopitelně toto měření doplnit i systémem námi používaných metod, zde konkrétně souborem nedestruktivních geofyzikálních metod, které prováděli další členové konsorcia projektu z ČR, firma G IMPULS Praha a provedení statických a rázových zatěžovacích zkoušek ve vybraných úrovních kolejového lože pracovníky ČVUT Praha.

Pro měření bylo potřeba vyhledat úseky, kde se vyskytují závady způsobené nestabilitou železničního spodku a jejichž rozsah a charakter bude možné vyšetřit pomocí několika diagnostických metod. Zde se jako vhodné ukázaly úseky ve správě SDC Olomouc a SDC Ostrava, které prošly modernizací jako koridorová trať a kde se opakovaně objevovaly deformace na GPK, které vyžadovaly v poměrně krátkých periodách opakovaná podbíjení. Z pohledu geometrie koleje se jednalo především o závady v podélné výšce, kdy se v některých úsecích trati vytvořila místa s podélnými vlnami v koleji.

Po prostudování záznamů z jízd měřícího vozu pro měření kvality GPK a po konzultacích se zástupci správcovských jednotek byly zvoleny úseky mezi stanicemi Prosenice – Drahotuše a Polom – Suchdol nad Odrou. Na těchto úsecích

bylo v předchozí nedávné době provedeno měření pomocí georadaru, které výskyt závad v pražcovém podloží jednoznačně ukázalo.

Poté započala pečlivá příprava pro realizaci měření, jejíž součástí byla podrobná studie podkladů, kde zástupci správců traťových úseků předem označili nejvíce problémové úseky tratě. Celkem bylo označeno šestnáct problémových úseků na koleji číslo 1 a osm úseků na koleji číslo 2. Úseky byly rozděleny na ty, které vykazovaly závažné problémy opakující se po dlouhou dobu a na úseky s méně závažnými problémy. Součástí přípravy byla i prohlídka úseků s vyznačením míst pro stacionární měření vozem RSMV.

3.1.7

Měření tuhosti železničních tratí - obecně

Svislá tuhost železniční tratě je považována za jednu z důležitých vlastností při posouzení stavu železničních tratí. Tuhost je důležitým parametrem při návrhu železničního tělesa a poskytuje základní informaci pro posouzení potřeby rozsahu údržby stávajících tratí.

Literatura popisuje různé definice pro stanovení svislé tuhosti železničních tratí. Nejjednodušší je přímá definice, kde je tuhost definována jako poměr mezi zatížením (F) a průhybem tratě (z), které jsou funkcí času (t). Zatížení může působit na osu nebo na jedno kolo.

$$k = F(t) / z(t)$$

Je ovšem známo, že celý systém od železničního svršku až do podloží vykazuje nelineární chování a významný vliv na správné stanovení tuhosti má také kontakt mezi pražcem a kolejovýmm ložem. V těchto případech je určení tuhosti mnohem složitější a literatura uvádí mnoho dalších definicí svislé statické a dynamické tuhosti.

Měření tuhosti lze rozdělit do dvou skupin. Měření na místě a kontinuální měření tuhosti železničních tratí. Měření na místě mohou být provedena jako statická, rázová anebo dynamická zkouška, která jsou závislá na vybavení a možnostech vlastního zatěžovacího systému.

Průběžné měření tuhosti je modernější a mnohem náročnější. Příslušná trať se zatěžuje za pohybu vozidla a zároveň se měří příslušný průhyb kolejnice.

Nyní několik drobných informací k historii a vývoji tohoto měřícího zařízení.

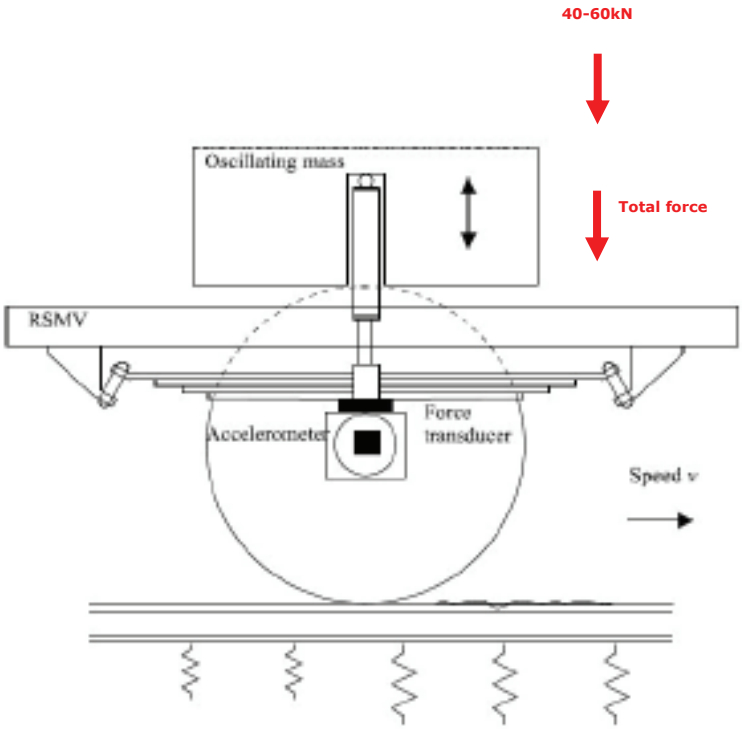
Společnost Banverket prošla historickým vývojem, který začal vývojem měřícího vozu pro dynamické měření tuhosti již v rámci EU projektu Eurobalt II, který se řešil v letech 1998 – 2000.

Rozvoj a potřeba využívání nedestruktivních metod pro diagnostiku tratí umožnily stavbu a vývoj nového měřícího zařízení v letech 2003–2004. Tento vůz je v principu přestavěný dvouosý nákladní vůz. Tento měřící zatěžovací vůz byl používán i při měření mezi Prosenicemi a Suchdolem nad Odrou v květnu 2007.

Banverket používal vůz RSMV pro diagnostiku stavu stávajících železničních tratí a to především v úsecích, určených k modernizaci na vyšší nápravové tlaky a vyšší návrhové rychlosti. Bohužel, nyní v roce 2013 je potřeba smutně konstatovat, že tomu již tak není a vůz s měřícím zařízením již není na švédské železniční infrastruktuře používán. Tuhost, která je vstupním parametrem při návrhu zpevňování, slouží k odhadu potřeby budoucí údržby a posouzení případných vibrací kolejového lože vzhledem k rychlostem dopravního provozu.

Popis zařízení RSMV: Na kolejový rošt dynamicky působí dvě oscilující závaží o hmotnosti 40–60 kN, která jsou umístěna nad jednou nápravou měřícího vozu. Vibrace je hydraulicky řízená a může se pohybovat mezi 3 až 50 Hz. Celková zatěžovací síla na nápravu je 180 kN a působí přímo na osu bez vlivu odpružení železničního vozidla. Vlastní svislá dynamická tuhost je pak vypočítávána z měřené svislé síly a příslušného měřeného zrychlení. Tuhost je vyhodnocena pro příslušnou frekvenci, jako poměr dynamické síly a dvakrát integrovaného zrychlení. Postup vyhodnocení tuhosti s dostatečnou přesností byl vyvinut Banverketem a metodika bere v úvahu i různé rušivé vlivy

vyplývající z vlastního měření. Rychlost jízdy měřícího vozu a volba frekvence oscilujících závaží se vždy volí před měřením s ohledem k očekávanému výsledku a s posouzením problematiky měřené tratě.



Obr. 4 Schema a princip měření vozu RSMV

3.1.8

Vlastní měření tuhosti vozem RSMV, ČR 2007

Měření úseků Prosenice–Drahotuše a Polom–Suchdol n.O. provedl Banverket v květnu 2007. Vlastnímu měření předcházela podrobná studie zájmových úseků ze strany Banverketu, kdy byly zástupci české strany označeny problémové úseky tratě. V těchto úsecích předešlá měření a pozorování prokázala opakující se závady v geometrické poloze koleje. Celkem bylo označeno šestnáct problémových úseků na koleji číslo 1 a osm úseků na koleji číslo 2. Úseky byly rozděleny na ty, které vykazovaly závažné problémy opakující se po dlouhou dobu a na úseky s méně závažnými problémy. Po zvážení problematiky zájmové tratě byl zvolen následující postup měření:

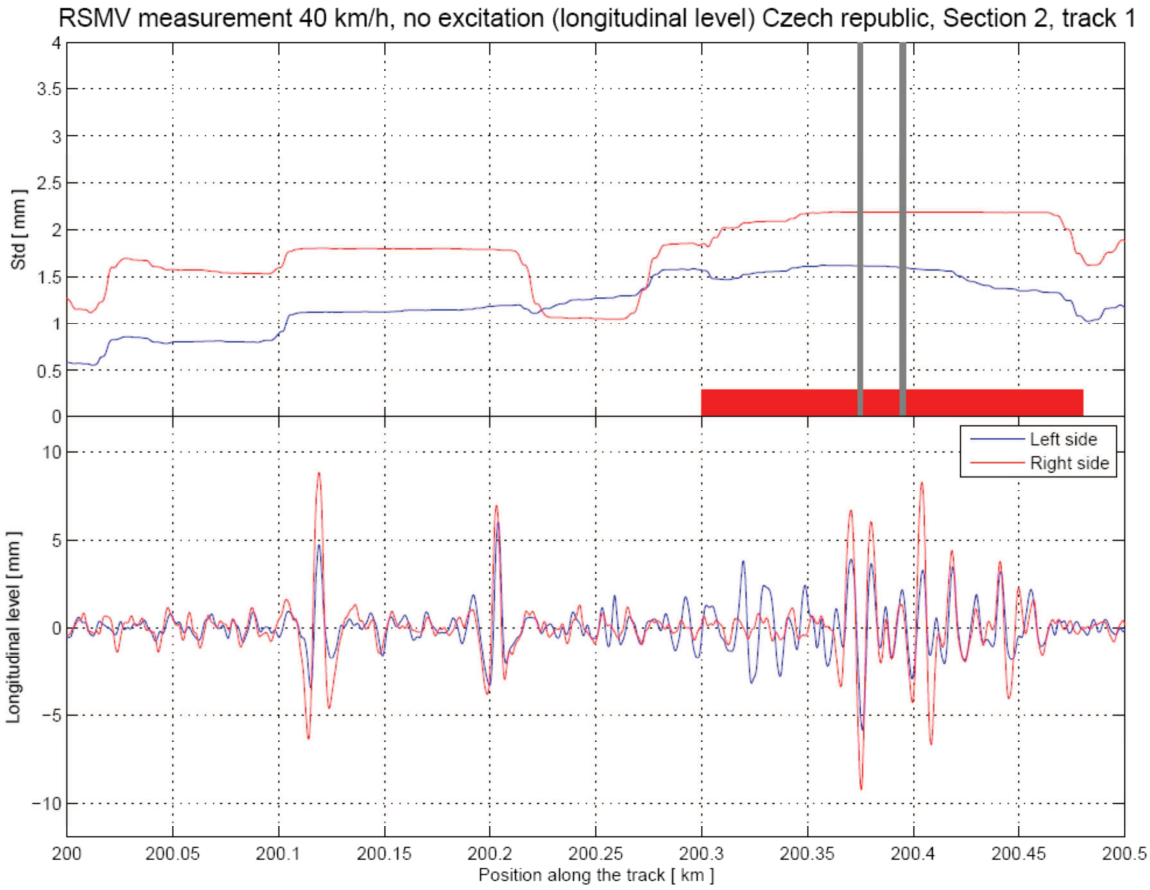
- Jízda rychlostí 40 km/h bez působení dynamického zatížení
- Jízda rychlostí 7 km/h s působením dynamického zatížení 3-20 Hz
- Jízda rychlostí 40 km/h s působením dynamického zatížení 6,8 a 11,4 Hz
- Dynamické zatěžovací zkoušky na určených místech 3-50 Hz a pro potřeby měření firmy G IMPULS Praha bylo zatížení vyvozováno o frekvencích 3, 10, 20, 30, 40 a 50 Hz

Výsledky všech provedených měření jsou prezentovány formou grafů. Pro grafickou přehlednost průběžných měření zahrnuje každá A4 stránka 500 m měřené tratě pro každou kolej. Graficky a podle stupně problémů jsou barevně vyznačeny úseky vykazující závady. Označená jsou také místa dynamických zkoušek na místě a poloha viaduktu.

Zpracování výstupů měření, postupy grafického vyhodnocení a interpretace grafů

Jízda rychlostí 40 km/h bez působení dynamického zatížení

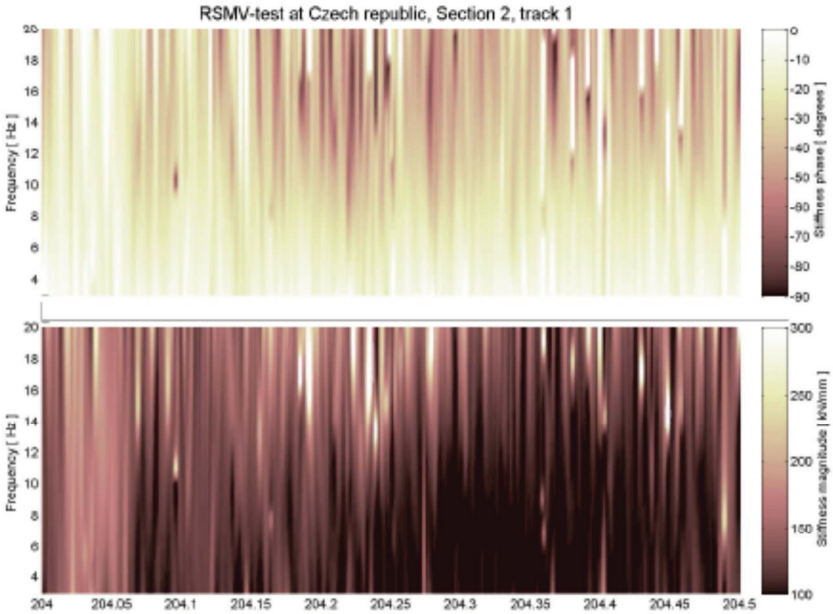
Grafické znázornění ukazuje vyhodnocení vertikální úrovně koleje, podélné výšky. V horní části grafu je vyhodnocena standardní odchylka z úseku hodnocení 200 m pro pravý a levý kolejnicový pas. Svislé čáry v grafu označují polohu dynamických zkoušek na místě. Červeně je označen úsek s opakujícími se závadami v geometrické poloze tratě. V dolní části grafu je vynesena skutečná svislá úroveň levé a pravé koleje, tak jak byla změřena měřícím vozem RSMV firmy Banverket.



Obr. 5 Příklad grafického vyhodnocení měření při jízdě rychlostí 40 km/h bez působení dynamického zatížení

Jízda rychlostí 7 km/h s působením dynamického zatížení 3-20 Hz

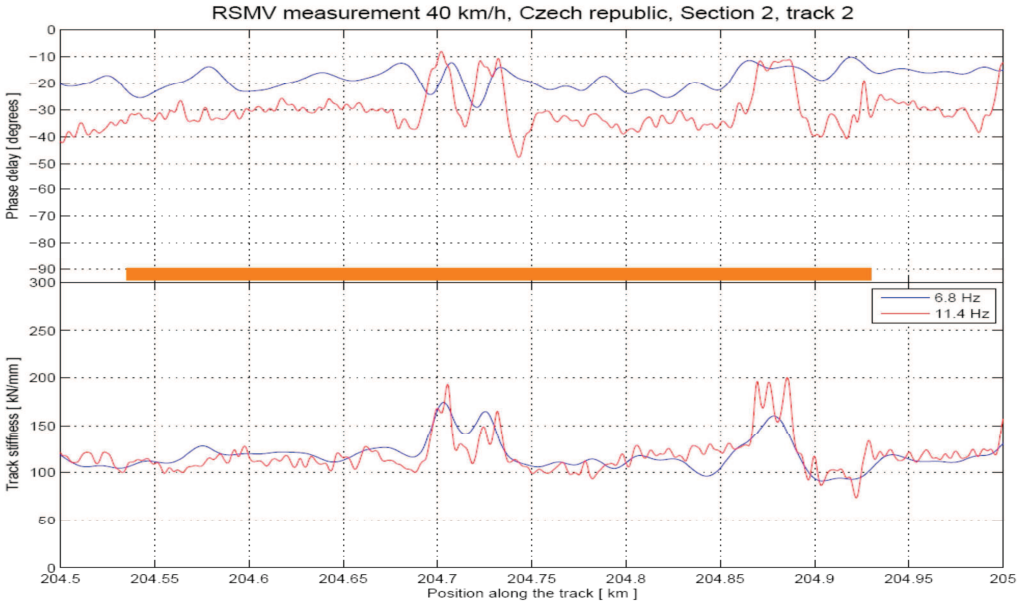
Měření s frekvencemi zatížení mezi 3-20 Hz je zobrazeno v tak zvaném plošném diagramu, kde fázový posun je v horní části grafu a vlastní veličiny svislé tuhosti tratě v dolní části. Velikost měřených veličin je znázorněna barevně. Tmavší barvou je vyjádřena nízká tuhost, která odpovídá vyššímu fázovému posunu.



Obr. 6 Grafického vyhodnocení měření při jízděrychlostí 40 km/h s působením dynamického zatížení 3-20 Hz

Jízda rychlostí 40 km/h s působením dynamického zatížení 6,8 a 11,4 Hz

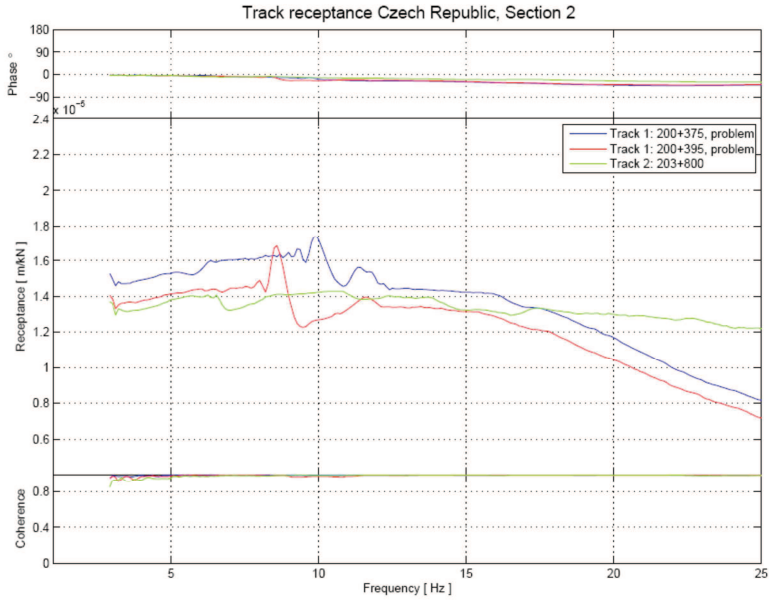
Grafické zobrazení představuje vyhodnocení dynamiky jízdy, kde tuhost byla měřena pro diskrétní frekvence 6,8 a 11,4 Hz. Frekvence jsou vypočítány z rychlosti jízdy a vzdálenosti mezi pražci tak, aby se vyloučil rušivý vliv, který vzniká při průběžném dynamickém měření. V horní části grafu je prezentován fázový posun a v dolní části grafu je vynesena svislá tuhost tratě vyjádřená v kN/mm. V některých případech je zřejmý rozdíl v tuhosti mezi oběma frekvencemi, který je vysvětlován pravděpodobnou rezonancí tratě.



Obr. 7 Příklad grafického vyhodnocení měření, jízda 40 km/h při působení dynamického zatížení 6,8 a 11,4 Hz.

Dynamické zatěžovací zkoušky na místě s frekvencí 3-50 Hz

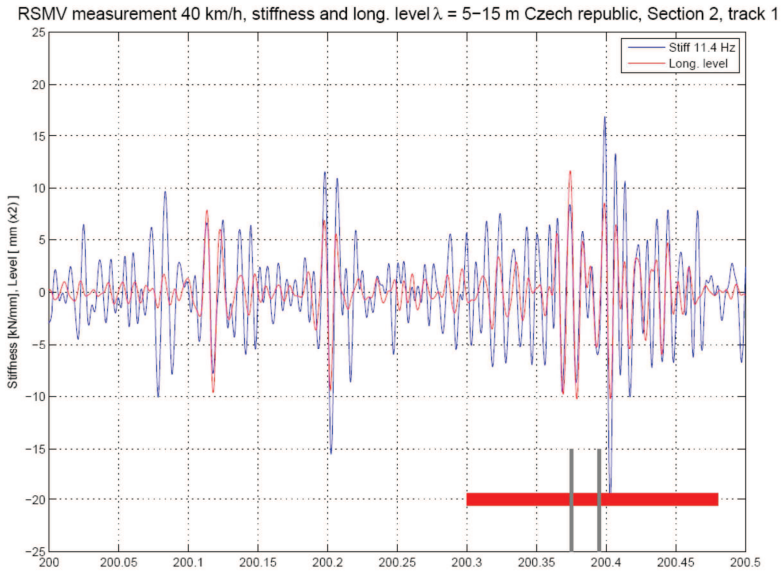
Tři grafy jsou vyneseny jako výsledek zatěžovacích dynamických zkoušek na místě. V horní části je opět znázorněn fázový posun. Ve střední části je měřená hodnota vyjádřená ve formě tak zvané receptance, což je poměr deformace a síly vyjádřené v m/kN. V dolní části je pak diagram doplněn přenosovou funkcí spojitosti (koherence). Ta je v tomto případě matematickým vyjádřením stupně odhadu výsledku fázového posunu a receptance Dobrý odhad poukazující na přijatelné výsledky měření by měl vykazovat koherenci vyšší než 0,8.



Obr. 8 Grafické vyhodnocení výsledku zatěžovacích dynamických zkoušek na místě

Společná prezentace měřených výsledků

Velmi efektivním způsobem vyhodnocení je společná prezentace některých měřených výsledků, která slouží k lepšímu posouzení problémů v daném traťovém úseku. Příkladem je společné znázornění podélné výšky koleje a tuhosti při měřené frekvenci 11,4 Hz. Společný graf umožňuje určení těch částí tratě, kde je zřejmá korelace mezi závadami v geometrické poloze koleje a variací příslušné tuhosti. Pro názornější zobrazení průběhu podélné výšky koleje ve vztahu k tuhosti jsou výšky koleje v grafu vyneseny jako dvojnásobek skutečně změřených hodnot. Obě veličiny byly vyhodnoceny pro vlnovou délku 5–15 m.



Obr. 9 Příklad společné grafické presentace výsledků měření, průběh tuhosti a podélné výšky koleje

Vyhodnocení a závěry měření vozem RSMV na úsecích v České republice

Česká strana a Banverket provedly všechna měření podle předem navrženého harmonogramu na vyloučených kolejích (dvě noční měření) mezi 21. a 23. květnem 2007. Jízdy měřícím vozem a měření na místě byly uskutečněny v souhlasu s navrženým plánem měření. Průběžná tuhost tratě byla změřena na 31,7 km a na 23 vybraných místech bylo provedeno dynamické zatěžování na místě. Měřeny byly obě koleje dvoukolejné tratě. Lze konstatovat, že měření bylo z hlediska plánovaného obsahu úspěšné. Byl dodržen navržený program a vyhodnocení splnilo očekávaný výsledek rozsáhlého a komplikovaného měření.

K posouzení problematiky zájmové tratě byly převážně využity výsledky měření jízdy 40 km/h bez působení dynamického zatížení a jízdy 40 km/h s působením dynamického zatížení 6,8 a 11,4 Hz.

Firma Banverket má bohaté zkušenosti s měřením při rychlosti 7 km/h s působením dynamického zatížení v rozsahu 3-20 Hz. Tato metodika byla úspěšně používána ve Skandinávii pro určení tloušťky velmi měkkých zemin v podloží tratě, jakými jsou velmi měkké jíly nebo rašelina. Z výsledků měření je možno matematicky odvodit rychlost smykových vln v měkkých podložních zeminách. Na měřené trati mezi Prosenicemi a Suchdolem n.O se zeminy tohoto typu v podloží tratě nevyskytovaly.

Původním záměrem dynamických zatěžovacích zkoušek na místě bylo posouzení rozdílů mezi místy, která vykazují závady a místy bez dokumentovaných závad geometrické polohy koleje. Studium výsledků měření na místě neprokázalo význačné rozdíly. Hlavním důvodem je značná variace tuhosti v podélném směru tratě, jak je prokázala průběžná měření. Je možné, že zvolená místa měření nezachytila velmi nízkou anebo naopak vysokou lokální tuhost.

Vyhodnocení měření rychlostí 40 km/h bez působení dynamického zatížení a jízdou při 40 km/h s působením dynamického zatížení 6,8 a 11,4 Hz prokázala asi nejlepší výsledky, které jsou použitelné při posouzení příčin závad na zájmových traťových úsecích. Tato trať byla modernizována, ale již od počátku bylo zřejmé, že příčinu závad v GPK je třeba hledat v železničním spodku. Měření prokázala, že právě závady v geometrické poloze se vyskytuji v místech, kde byla změřena větší variace tuhosti v podélném směru tratě. Tato zjištění jsou dokladovatelná na výstupech měření porovnávající podélnou výšku koleje, která souhlasí s měnící se tuhostí tratě pro vlnovou délku 5–15 m.

V tomto případě lze problém hledat buď ve vrstvě stabilizace anebo v zemině podloží. Deformace vzniklé ve spodní stavbě se promítají až do koleje a způsobují vytváření vln, které zaznamenává měřící vůz pro měření geometrie koleje. Vzhledem k tomu, že modernizace se provedla na staré trati, často se v těchto případech problém vysvětluje jako časová paměť podložních zemin. Pokud problém vln pochází již z dob před modernizací tratě, je pravděpodobně, že poměrně tenká vrstva stabilizace nepřeklenula střídání měkčích a tužších míst v podélném směru tratě (variace tuhosti) a vývoj vln pokračuje i po provedené modernizaci.

Závěrem lze z provedeného souboru měření vyvozovat následující závěry a doporučení:

- Celkovou tuhost měřených úseků tratě lze označit za normální a podle zkušeností odpovídá tuhosti měřené na běžných tratích obdobného typu.
- Měření neprokázala oblasti s význačně nízkou tuhostí tratě, vyšší tuhost se jako obvykle vyskytuje v přechodových oblastech na mostní objekty.
- Dynamická tuhost tratě mezi Prosenicemi a Drahotuší se pohybuje kolem 130kN/mm (kolej č. 1) a 117 kN/mm (kolej č. 2). Vyšší hodnoty tuhosti byly změřeny mezi Polomem a Suchdolem n. O. (150–160 kN/mm, kolej č. 1 a kolej č. 2).
- Podle výsledků měření poruchy geometrie tratě tohoto typu je třeba hledat ve spodní stavbě a to ve vrstvě stabilizace nebo v zemině podloží.
- Jestliže problém tvoření podélných vln se projevoval již před modernizací tratě, je pravděpodobné, že stabilizace nebyla dostačujícím řešením pro překlenutí střídající se tuhosti podloží a závady se promítají do koleje i po provedené modernizaci.
- Měření prokázala, že vlnová délka problematické geometrické polohy koleje je omezená mezi 8–12 m. Je známo, že vlastní doprava na trati může značně přispívat k růstu problémů. Geometrie vagónů, rychlost jízdy a dopravní situace na trati by měly být společně posouzeny se zaměřením na souhlasné veličiny týkající se geometrie koleje, měření georadarem a variace tuhosti.

- Rozhodnutí, zda hlavní problém je ve vrstvě stabilizace nebo v zemině podloží, je velmi obtížné určit pouze z měření tuhosti tratě. V tomto případě je vhodné využít provedená měření georadarem (GPR), kde porovnání vln na povrchu a pod vrstvou stabilizace s variací tuhosti v podélném směru by mohly pomoci k lepšímu posouzení stávající situace.
- Průběžné měření tuhosti podává komplexní informaci o zájmovém úseku trati. Pro podrobné odhalení příčin problémů bylo doporučeno vyhloubení kopaných sond v těch místech, kde měření prokázala značné rozdíly v tuhosti. Tento průzkum by měl být proveden v období zvýšené vlhkosti v podložních vrstvách (po delších trvalejších srážkách nebo tání sněhu).
- Podle zkušeností švédských kolegů je posouzení a stanovení příčin problémů ve spodní stavbě velmi složitou záležitostí a ne vždy pouze jeden typ měření může zajistit jednoznačné vysvětlení. Jedině souhrnné posouzení všech dostupných informací, měření, průzkumů a lokální znalost tratě s posouzením všech objektů a funkce odvodnění může v konečné fázi vysvětlit příčinu problémů a v případě potřeby navrhnout správnou rekonstrukci pro definitivní odstranění opakujících se závad.

3.2

Aktivity a výsledky firmy G IMPULS Praha spol. s r.o.

3.2.1

Úvod

G IMPULS Praha spol. s r.o. dostala příležitost podílet se na rozsáhlém projektu INNOTRACK (6. Rámcový program EU), který řešil problematiku technického rozvoje železničních tratí. V tomto programu byla i kapitola věnovaná problematice geotechnických výzkumů (podprojekt 2, pracovní blok 2.1), G IMPULS Praha zodpovídal za problematiku aplikace geofyzikálních metod. V rámci projektu byly provedeny testovací geofyzikální práce ve čtyřech evropských zemích. Cílem prací bylo jednak prověřit možnosti geofyzikálních metod jako takových a dále získat poznatky, nakolik lze zobecnit zkušenosti s aplikací geofyzikálních měření v různých geologických podmínkách a při dodržení bezpečnostních a organizačních předpisů různých železničních správ. Na základě výsledků geofyzikálních měření vznikly následující, veřejnosti přístupné realizační výstupy:

- D 2.1.5 Methodology of geophysical measurement of railway tracks (metodická příručka pro uživatele geofyzikálních metod)

- D 2.1.15 Non-destruktive geophysical methods (zpráva o geofyzikálních měřeních)

- D 2.1.1 In-situ measurement preliminary database, based on information management framework (geofyzikální data uložená do širší databáze ostatních aktivit)

Geofyzikální metody mají ráz metod nedestruktivních, které nenarušují životní prostředí. Jsou neinvazivní, tj. nekladou si při průzkumných pracích nároky na zásah do konstrukce železničního tělesa. Jinými slovy, v principu při měření nedochází k primárním požadavkům na kopné práce, k přípravě přístupových cest pro dopravu přístrojů na lokalitu a podobně. Geofyzikální aparatury jsou snadno přenosné vlastní silou geofyzikálních pracovníků. Geofyzikální průzkum lze organizovat tak, aby nedocházelo k výlukám na železniční trati. Je samozřejmě výhodou, když je

geofyzikální průzkum zorganizován tak, aby byl zařazen do harmonogramu údržby na trati, které bývají spojeny s dopravními výlukami. V tomto případě je možno provádět geofyzikální průzkum komplexněji a také bezpečnost provozu je zajištěna s větším komfortem. V zásadě však, na rozdíl od jiných geotechnických zkoušek a testů, zastavení provozu geofyzika nevyžaduje. Geofyzikální metody sledují různá fyzikální pole a získané výsledky měření mohou být interpretovány tak, aby poskytly informace o geologické stavbě území, popřípadě aby poskytly poznání o geotechnických vlastnostech zkoumaného místa.

3.2.2

Výsledky měření na jednotlivých lokalitách

Geofyzikální testovací měření provedená v rámci projektu INNOTRACK byla uskutečněna na následujících lokalitách:

Česká republika:
Lipník nad Bečvou,
Polousí,
Běchovice.

Španělsko:
Lleida

Švédsko:
Torp
Dvě lokality u Borlänge

Francie:
Montmélian

Prakticky na všech proměřovaných lokalitách byla aplikována metoda refrakční seismiky, seismické tomografie, odporové tomografie a gravimetrie. Měření bylo vesměs uspořádáno tak, že byly vytýčeny dva základní podélné profily po stranách železniční trati. Na těchto profilech byly aplikovány všechny výše zmíněné geofyzikální metody. Pro zjištění situace v místech kolejnic byla použita metoda seismické tomografie. Ta byla prováděna tak, že na jednom z dvojice základních profilů byly situovány seismické geofony a na druhém profilu byly buzeny seismické rozruchy. Tím bylo dosaženo, že byly získány informace o seismických rychlostech i z míst, kam nebylo možno z bezpečnostních důvodů během dopravního provozu vstupovat. Pokud mohla být provedena i traťová uzávěra, byl situován také jeden geofyzikální profil přímo v ose kolejiště. Na tomto profilu bylo měřeno metodou gravimetrickou a seismickou (hlavně seismická refrakce). Měření byla realizována geofyzikálními aparaturami, viz následující přehled:

Seismická aparatura Terraloc Mk 6, v. 2.1, verze 48 kanálů (ABEM, Švédsko),
Multielektrodová odporová aparatura ARS 200E (GF Instruments, Česká republika),
Gravimetr CG-5 (Scintrex, Kanada).

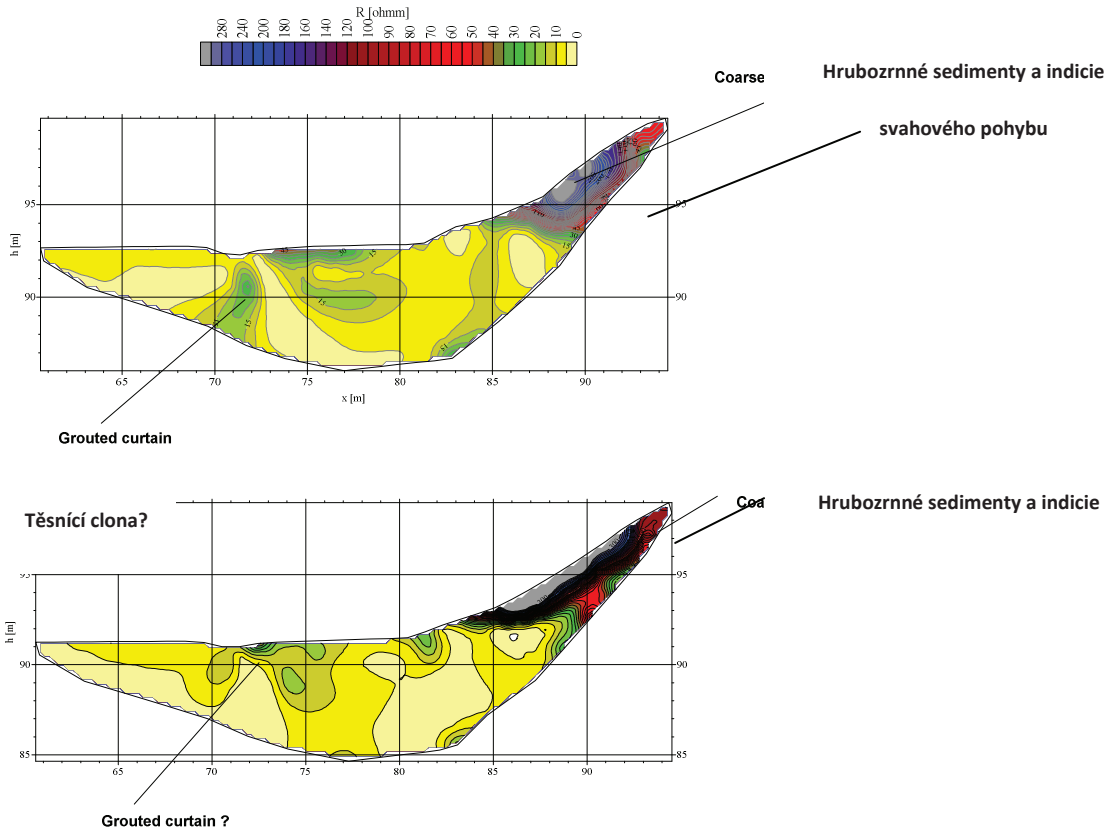
Zpracování naměřených dat proběhlo zejména s využitím následujícího software:

Reflex W (Sandmeier, Německo – zpracování seismických dat),
Res 2DInv (Locke, USA – zpracování odporových dat),
MAG (Geofyzika a.s., Česká republika - zpracování gravimetrie),

Excel (správa databází),
Surfer 9 (grafická zpracování),
Grapher 7(grafická zpracování).

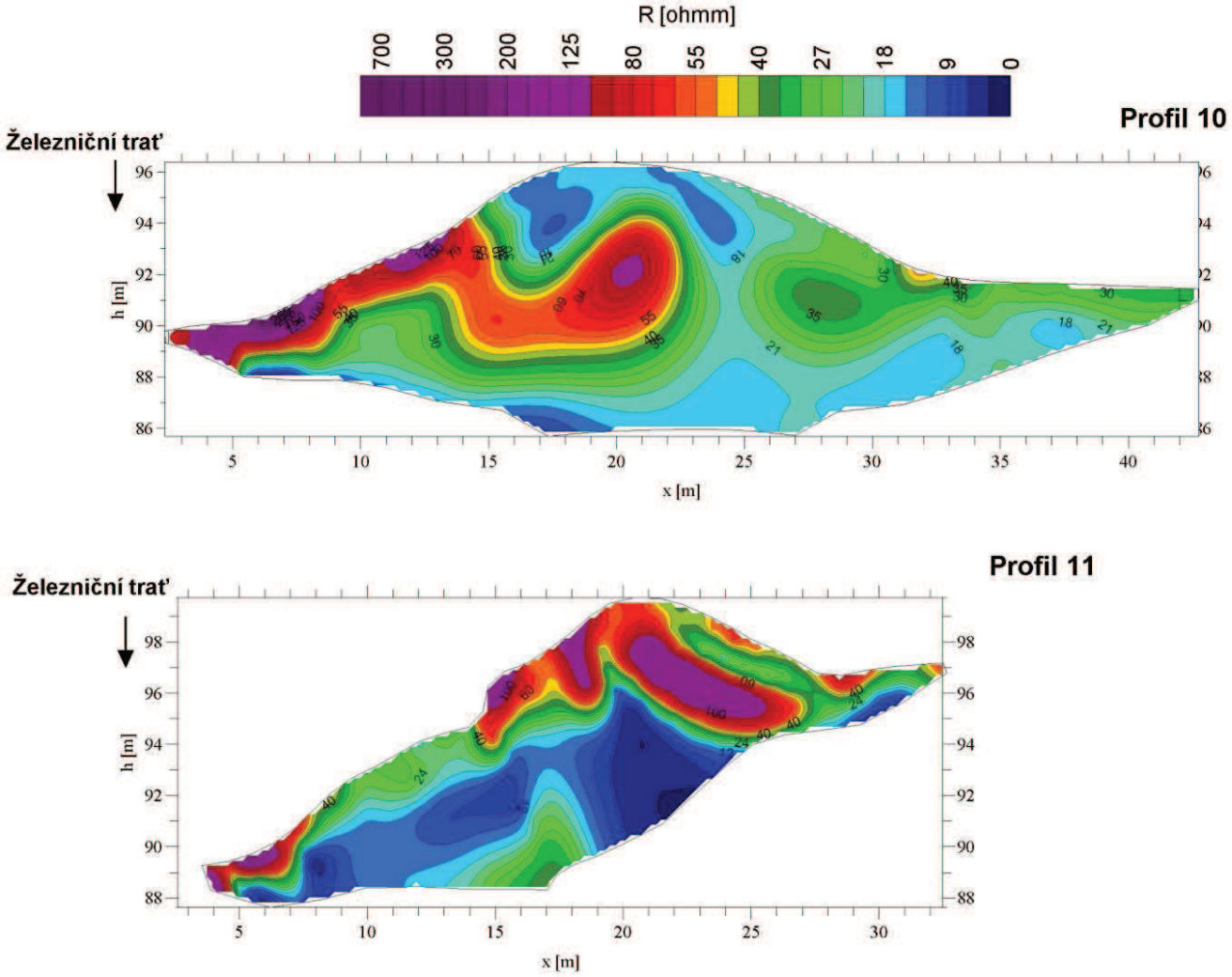
Rozsah zde předkládané zprávy neumožňuje popsat podrobně všechny proměřované lokality, a proto jsou v následující části vybrány typické ukázky, které ilustrují možnosti geofyziky v železničním stavitelství.

Na lokalitě nedaleko města Lleida ve Španělsku byla úspěšně použita metoda odporové tomografie při studiu železničního náspu, který se dostal do havarijního stavu. Násep byl později sanován. Jednou z příčin komplikací se stabilitou náspu je intenzivní zavlažování hospodářské půdy v těsném sousedství železničního tělesa. Zemědělská činnost se projevuje střídáním úrovně hladiny podzemní vody. Podzemní těsnící clona, která má za úkol oddělit základy železničního tělesa od okolí, již zřejmě neplní dobře svou úlohu. Na následujícím Obr. 10 jsou příklady odporových řezů, které přítomnost těsnící clony detekují, stav clony se však s místem mění.



Obr. 10: Odporové řezy z profilů vedených příčně vůči železničnímu náspu. Na profilu uvedeném v horní části obrázku, je zřetelně detekovatelná podzemní těsnící clona. Na profilu situovaném o 50 m dále (spodní část obrázku) se již clona projevuje nezřetelně a zřejmě podlehla degradaci.

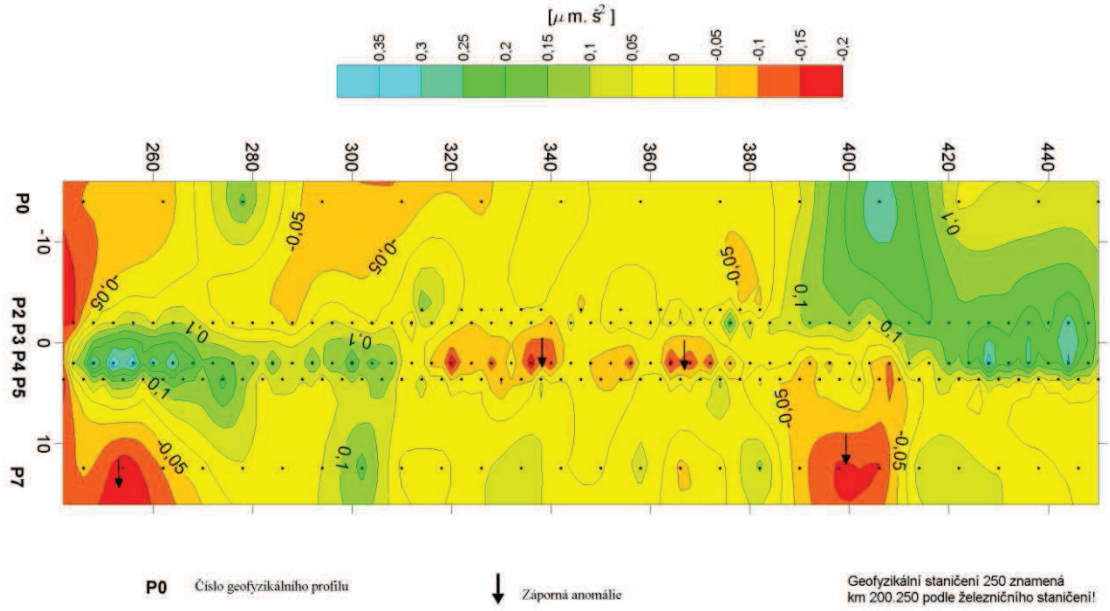
Na lokalitě Lipník nad Bečvou (Česká republika) vznikají deformace (vlnění) kolejnic, a to zejména v místech, kde trať probíhá zářezem. Geofyzikální měření metodou odporové tomografie upozornilo zejména na skutečnost, že trať prochází územím se spraší. Spraše se vyznačují nízkými měrnými odpory (kolem 20 ohmm), jsou namrzavé a objemově nestálé. Vlastní svahy zářezů byly zřejmě v minulosti dobudovávány cizorodými zeminami (navážkami), což se projevuje přítomností vyšších měrných odporů. Svahy zářezů jsou místy náchylné ke svahovým pohybům. Situaci dokumentují dva odporové řezy (profily byly vedeny příčně po svahu a kolmo k trati) zobrazené na Obr. 11.



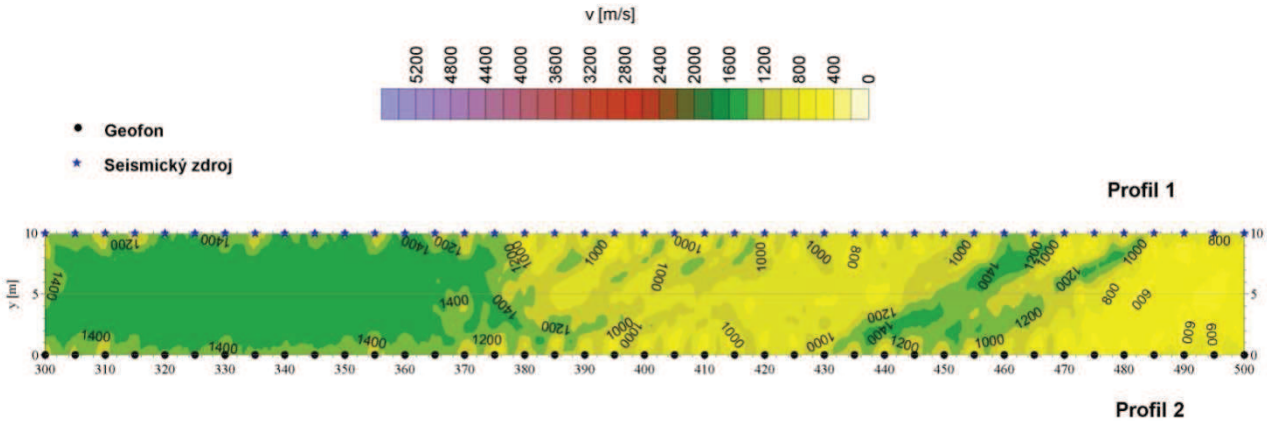
Obr. 11: Odporové řezy z profilů vedených příčně vůči železničnímu náspu. Lokalita Lipník nad Bečvou. Metoda odporové tomografie zřetelně prokázala neuspořádanou skladbu zemin při dotváření svahů nad železničním tělesem. Na prudkých částech svahů, těsně u kolejiště, lze sledovat indicie sesuvných pohybů (válcovité tvary izolinií indikují přítomnost smykové plochy).

Výzkumy v rámci projektu INNOTRACK prokázaly použitelnost měření metodou gravimetrickou (přesněji mikrogravimetrií). Tíhová měření jsou schopna zejména vymezit místa s nedostatkem hmot, tj. například náspy se zvýšenou porozitou nebo přítomností dutin. Na Obr. 12 je uvedena mapa izolinií residuálních Bouguerových anomálií z lokality Lipník nad Bečvou. Oblasti s negativními anomáliemi se většinou shodují s místy, kde jsou zaznamenány problémy s deformacemi kolejnic. Měření zjistilo zejména výraznou anomálii v okolí staničení 400 na profilu P7. Toto místo se shoduje s místem, kde dochází k časté opravě podloží (podbíjení kolejového lože.). Odporový řez vedený v tomto místě zaznamenal indicie sesuvných pohybů ve svahu zářezu.

Na Obr. 13 je uvedena ukázka aplikace seismické tomografie mezi dvěma rovnoběžnými profily. Profily byly vedeny po levém a pravém okraji kolejiště. Měření uspořádané tímto způsobem dovoluje provádět průzkum i tam, kde projíždějí vlaky. Tímto uspořádáním lze tedy měřit i v místech, kde není možné přerušení dopravy. Měření proběhlo na lokalitě Montmélian ve Francii.



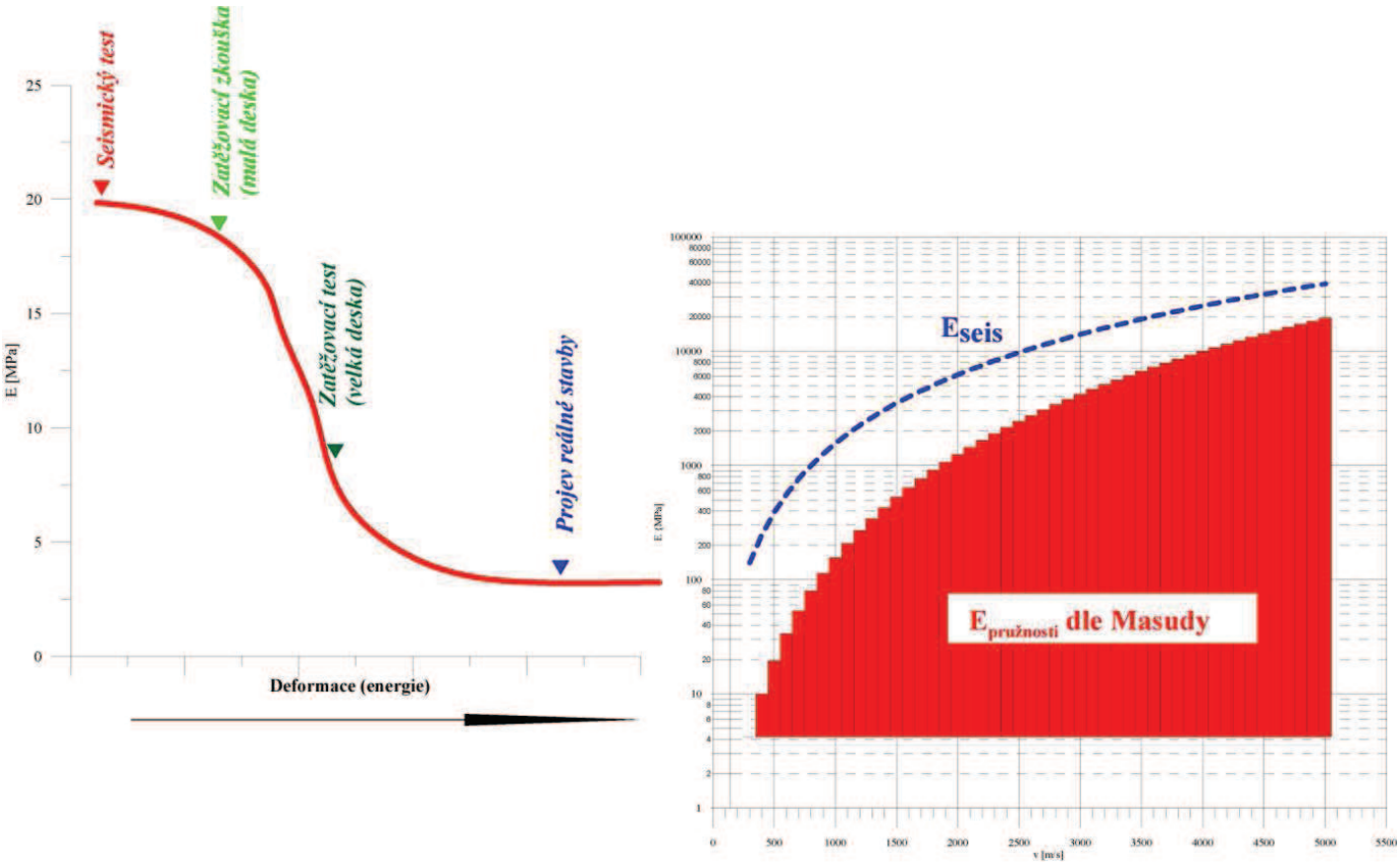
Obr. 12: Příklad výsledku mikrogravimetrického měření na lokalitě Lipník nad Bečvou. Měření zjistilo zejména výraznou anomálii v okolí staničení 400 na profilu P7. Toto místo se shoduje s místem, kde dochází k častému podbíjení kolejového lože pro vyrovnání nivelety koleje.



Obr. 13: Příklad výsledku seismické tomografie mezi dvěma podélnými profily. Proměřovaný úsek je veden v místech bez náspu, v zářezu. V úseku vyšších staničení (od cca 380) klesá seismická rychlost, což svědčí o částečném snížení kompaktnosti pláně tělesa železničního spodku.

Důležitým výsledkem výzkumných prací v rámci projektu INNOTRACK byl závěr, že i v praxi lze využít přímý vztah mezi velikostí šíření seismické vlny a modulem pružnosti. Tento vztah vychází ze skutečnosti, že rychlost seismické vlny je funkcí modulu pružnosti, objemové hmotnosti a Poissonova čísla. Na Obr. 14 je uveden příklad přepočtového grafu mezi rychlostí podélné seismické vlny a modulem pružnosti. Při aplikaci výše jmenovaného vztahu si je nutno uvědomit, že zkoumané prostředí se chová poněkud rozdílně při malých, resp. velkých deformacích. To znamená, že při malých energiích způsobujících deformaci horninového prostředí (např. seismická metoda) získáme větší hodnotu modulu, než jak je tomu u aplikaci velkých energií (například test s velkou zatěžovací deskou). Tento fakt není závadou

pro aplikaci seismické metody. Zjištěná závislost platí pro všechny typy testovacích metod. Pro praktickou aplikaci výsledků seismických měření lze použít korekční vzorec (Masudův vzorec), který moduly stanovené seismickou cestou koriguje na hodnoty odpovídající například zkoušce se standardní zatěžovací deskou danou příslušným předpisem železniční společnosti.

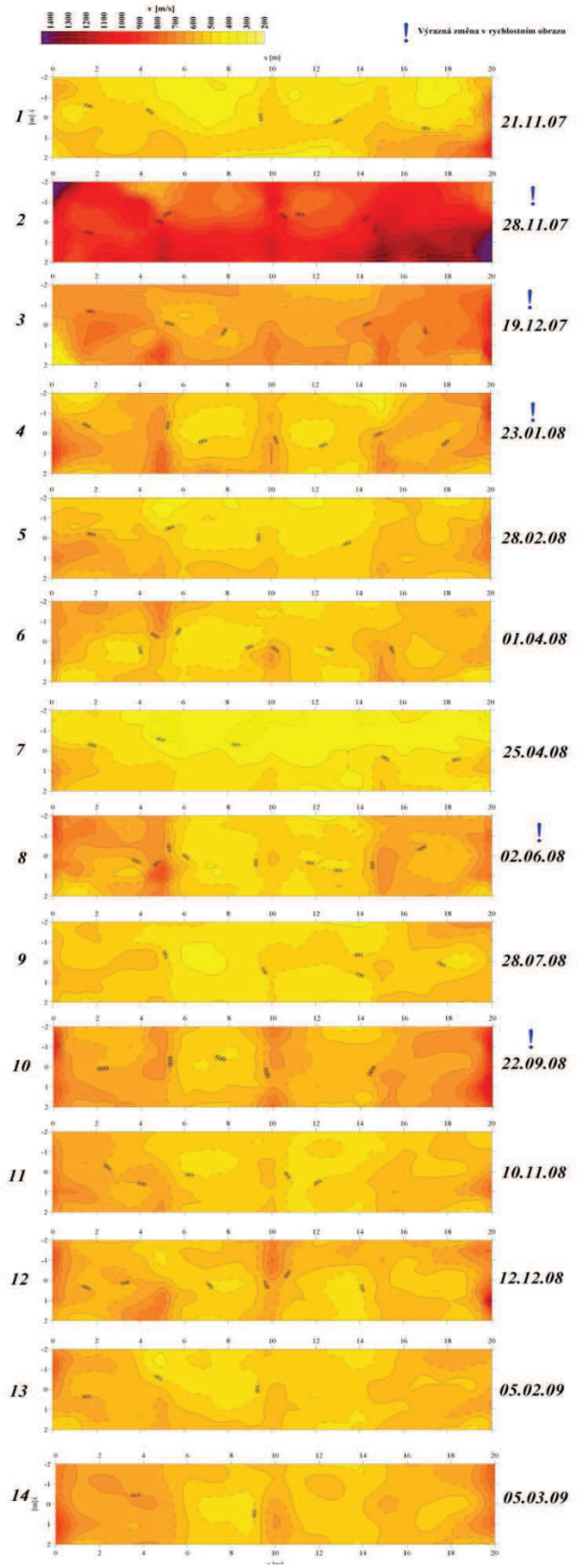


$$E_{seis} = f\,(rychlost, hustota, Poissonovo\ číslo)$$

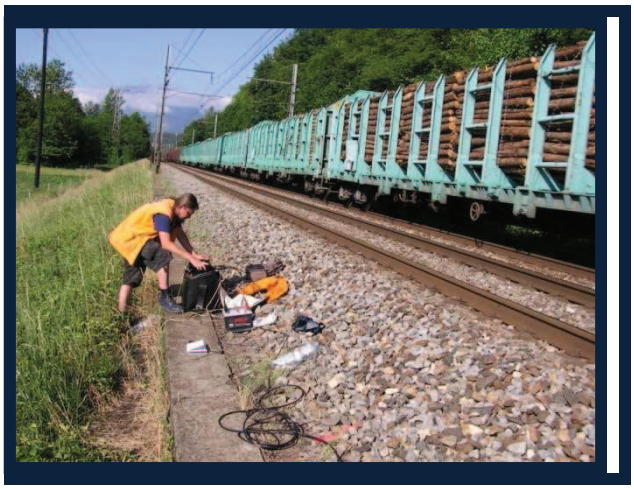
Obr. 14: V pravé polovině obrázku je příklad přepočtu velikosti podélných seismických rychlostí na modul pružnosti E_{seis}. Následně je provedena korekce podle Masudova vzorce. V levé části obrázku je vysvětlení závislosti mezi velikostí deformace (osa x) vůči modulu pružnosti (osa y).

Na Obr. 15 je uveden příklad monitorovacího měření z nádraží v Praze-Běchovicích. V rámci rekonstrukce trati (stavba koridoru) byl do pražcového podloží v místech s cementovou stabilizací vložen systém seismických snímačů. Následně byl sledován vývoj rychlostního seismického obrazu zkoumaného místa. Na obr. 6 je dobře sledovatelné, že krátce po vytvoření stabilizační vrstvy docházelo k výrazným změnám (vyšší seismické rychlosti, a tedy vyšší konsolidace prostředí). Později již nejsou změny seismických rychlostí tak výrazné, nicméně, i v průběhu delšího časového období ve stabilizační vrstvě probíhají určité změny. Tento „metabolizmus“ konstrukční vrstvy zřejmě souvisí například s nechtěným proniknutím vody do vrstvy, výraznou změnou teploty apod.

Na závěr je uveden na Obr. 16 záběr z průběhu terénních prací, charakterizující specifiku práce na železnici. Skupina musí být pro práci proškolena, aby byla zajištěna bezpečnost prací, a to při dodržení místních závazných předpisů. Snímek je převzat z měření ve Francii.



Obr. 15: Monitoring seismických rychlostí ve stabilizované konstrukční vrstvě pod kolejovým ložem (nádraží Praha-Běchovice, koridor). Modrý vykřičník upozorňuje na výraznější změny rychlostí. Barevná škála vyjadřuje velikost seismických rychlostí. Světlejší tóny znamenají nižší rychlost.



Obr. 16: Měření se seismickou aparaturou Terraloc. Montmélian, Francie.

3.2.3

Závěry

Z naměřených dat a jejich zpracování plyne, že geofyzikální data prokazatelně přinášejí informace, které lze dále interpretovat pro potřeby geologického, hydrogeologického a hlavně geotechnického výzkumu. Deformace kolejnic, degradace kolejového lože i dalších konstrukčních vrstev jsou primárně velmi často spojeny s podceněním komplikované geologické situace v místě události. Máme na mysli takové jevy, jako je nepříznivý vliv tektonické stavby, sesuvných projevů v blízkém okolí železnice, nebo kolísání hladiny podzemní vody. **Péče o bezporuchový provoz tratí je spojen, mimo jiné, i s realizací spolehlivého geologického průzkumu a následného geologického dozoru. Do komplexu geologického servisu patří i geofyzikální měření**. Geofyzikální průzkum je zejména důležitý v následujících fázích prací:

- **v období zahájení studia vzniklých potíží, kdy je nedostatek zásadních informací a kdy je nutno bez větších finančních a organizačních opatření získat rychle první poznatky o geotechnických vlastnostech zkoumaného místa.**
- **v období po standardním geologickém průzkumu, kdy je nutno dořešit některé otázky pomocí podrobných měření.**
- **v období po dokončení sanačních prací doporučujeme aplikaci geofyzikálního monitoringu stavby, aby bylo zaručeno, že pokud by došlo k opakování nepříznivých jevů, budou tyto skutečnosti zjištěny včas (na začátku problémů).**

Měření na lokalitách ve Švédsku, Francii, Španělsku i České republice umožnily porovnat použití geofyziky za různých podmínek. Tím máme na mysli jak podmínky geologické stavby, tak ale i praxi řízení traťového provozu různými evropskými provozovateli železnic. Ani v jednom případě geofyzikální skupina nenarazila na problémy, které by byly specifické pro určité teritorium. Aplikace geofyzikálních metod byla pro jednotlivé lokality obdobná a organizace prací nemusela být podstatněji přizpůsobována místním požadavkům. **Lze tedy konstatovat obecnou použitelnost geofyzikálních metod v evropském teritoriu s tím, že zkušená geofyzikální skupina může zajišťovat práce nejenom v domácím prostředí, ale i na jiných místech v Evropě.**

Z měření provedených v rámci projektu INNOTRACK vyplynul určitý základní model, jak postupovat hospodárně a účelně při organizaci geofyzikálního měření. Tento model lze samozřejmě upravovat podle potřeb té které situace, nicméně bylo prokázáno, že vesměs lze úvodní práce organizovat následovně:

- pokud jsou k dispozici ze zájmového místa již dříve naměřená radarová data, doporučujeme data prostudovat, popřípadě reinterpretovat. Radarový průzkum poskytne první informace, na základě kterých lze vymezit oblasti, které vyžadují podrobnější průzkum pomocí dalších geofyzikálních metod.
- v následující etapě doporučujeme, aby geofyzik navrhnul rozsah území, které bude proměřováno. Rozsah proměřovaného území vždy přesahuje asi o dvě třetiny rozsah místa s vlastním defektem trati. Běžné je navržení dvou geofyzikálních profilů vedených paralelně s tratí. Měření situovaná na profily vedené mimo trať umožňují provádět geofyzikální průzkum nezávisle na provozu trati. Výluky na trati v tomto případě nejsou nutné. Pokud je možno provádět geofyzikální práce v době výluky na trati, je doporučeno situovat alespoň jeden geofyzikální profil také do kolejiště. Jako základní komplex geofyzikálních metod doporučujeme komplex seismiky, metody odporové tomografie a gravimetrie. Nedílnou součástí seismiky musí být i seismické prozařování (seismická tomografie) mezi profilem jdoucím po levé a pravé straně trati. Tímto způsobem dosáhneme, že získáme i informace o geotechnických podmínkách přímo v ose koleje.

3.2.4

Přínosy z dosažených řešitelských výsledků

V rámci projektu INNOTRACK byla vypracována komplexní metodika aplikace geofyzikálních měření pro železniční stavitelství. Náklady na výzkum byly příznivě ovlivněny tím, že v letech 2001 až 2004 byl řešen výzkumný úkol hrazený Ministerstvem dopravy ČR a jehož výsledkem byla první metodická příručka pro aplikaci komplexu geofyzikálních metod na železnici v České republice, a to

Pokyny pro použití nedestruktivních geofyzikálních metod v diagnostice a průzkumu tělesa železničního spodku.

Pokyn byl vydán s platností od 1.1.2006. Zmíněný metodický pokyn umožnil optimalizovat navazující výzkumné práce v celoevropském rozměru a následně vytvořit evropskou metodickou příručku, tj.

D 2.1.5 Methodology of geophysical measurement of railway tracks (metodická příručka pro uživatele geofyzikálních metod).

Dá se tedy konstatovat, že čeští geofyzikální experti mají značné odborné zkušenosti a jsou na špici evropského geofyzikálního výzkumu pro železniční stavebnictví a mají dokonale zvládnutou i legislativu spojenou s používáním geofyzikálních metod. Nyní je velmi naléhavé uvést všechny tyto procesy do každodenní praxe. To znamená zvládnout následující postupné kroky:

1. Provázat domácí *Pokyny pro použití nedestruktivních geofyzikálních metod v diagnostice a průzkumu tělesa železničního spodku* i evropskou příručku *D 2.1.5 Methodology of geophysical measurement of railway tracks* se základními závaznými evropskými normami a také směrnicemi SŽDC tak, aby se nezapomínalo zahrnovat geofyziku do projektů pro výstavbu, pravidelnou údržbu i nápravu nenadálých škod spojených se železničními konstrukcemi. V současné době není odborná veřejnost v tomto směru vždy řádně informována či motivována.
2. Vytvořit databázi geofyzikálních dat (včetně obchodních podkladů o zakázkách), která bude soustřeďovat všechna geofyzikální data získaná na pozemcích SŽDC. Databáze bude přístupná i pro studijní potřeby. Tím je míněno porovnávání naměřených dat při opakovaných měřeních (monitoring), vytváření statistických analýz ze zjištěných havarijních událostí či získáváni možnosti dlouhodobého vyhodnocování úspěšnosti jednotlivých pracovních postupů. V návaznosti na databázi je možno vytvářet standardy hlavních řešitelských postupů, které budou zahrnovat jak kvalitativní, tak i kvantitativní hlediska. Kvalitativními hledisky se rozumí minimální požadavky na rozsah měření, metodiku měření a jejich přesnost. Kvantitativními hledisky se rozumí norma minimálního potřebného času na splnění daného úkolu. Normy nutného spotřebovaného času umožní posuzovateli cenových nabídek objektivizovat rozhodnutí, zda nabídnuté dodavatelské ceny ve veřejných soutěžích jsou reálné, či nikoliv.

I když nejsou v současnosti k dispozici rozsáhlejší poznatky, které by přesněji ocenily úspory spojené se včasnou aplikací geofyzikálních metod v každodenní železniční praxi, je možno očekávat při splnění předchozích údajů značné úspory spojené s údržbou tratí a s omezením nevyžádaných výluk při traťovém provozu (neočekávaná skalní zřícení, svahové pohyby, náprava porušení GPK apod.). Z dřívější domácí i zahraniční praxe je známo, že při plánování nákladů na geofyzikální průzkumy velkých staveb (například vodní díla, silniční stavby) se považovalo za rentabilní investovat do geofyziky přibližně 3 procenta ceny budoucí investice, tj. že tyto vynaložené náklady přinesou úspory vyšší, spojené s úspornějším projektem stavby či údržbou stavby. **Od důsledného a soustavného**

nasazení geofyzikálních metod do komplexu geotechnických průzkumů, defektoskopie a monitoringu tratí tedy můžeme očekávat milionové úspory.

Pozn.: Jako jeden z aktuálních příspěvků k diskusi o úsporách, které přináší řádný geotechnický průzkum, lze uvést například článek Ivana Beneše, viz link

http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/geotechnika/geotechnicky-pruzkum-pro-zakladani-staveb-1577.html.

3.3

Aktivity a výsledky Českého vysokého učení technického v Praze, Fakulta stavební

3.3.1

Fyzikální modelování železničních konstrukcí s nízkou únosností zemní pláně a aplikace výztužných geosyntetik

Pro celostátní a regionální železniční tratě je při srovnání s tratěmi hlavními (koridory) charakteristická nižší kvalita pražcového podloží a také nižší úroveň a frekvence traťové údržby. Výzkumné zaměření projektu INNOTRACK bylo orientováno právě na tyto tratě nižšího významu, které však v jednotlivých evropských zemích tvoří nemalou část železniční sítě a do budoucna představují výzvu ke zvýšení jejich kvality a užitných vlastností z pohledu zvyšujících se požadavků na přepravní rychlost, nápravovou hmotnost a minimalizaci přerušení dopravy.

Chování železniční konstrukce s pražcovým podložím s nízkou únosností zemní pláně bylo sledováno prostřednictvím parametrizované série laboratorních měření v měřítku 1:1 a získaná data byla použita pro zpracování sofistikovaných numerických modelů na Fakultě dopravníČVUT v Praze . Na základě identifikace potřeb a požadavků subjektů zapojených do projektu INNOTRACK byla laboratorní měření zaměřena na vliv nízké únosnosti pražcového podloží, proměnné tloušťky kolejového lože a vliv aplikace pružných podpražcových podložek pod pražcem na deformace a únosnost železničního svršku a spodku. Jednotlivé modelové konstrukce byly vystaveny statickému zatížení i dlouhodobému cyklickému zatížení odpovídajícímu reálnému zatížení v trati.

Železniční konstrukce s nízkou únosností pláně tělesa železničního spodku byla dále podrobena sérii laboratorních zkoušek, při nichž byl sledován vliv použití vybraných typů výztužných a stabilizačních geosyntetických materiálů při jejich aplikaci pod konstrukční vrstvu, pod kolejové lože i v obou úrovních. Výzkum byl zaměřen zejména na perspektivní oblast použití geosyntetických materiálů přímo pod kolejové lože nebo do její spodní části, neboť toto řešení nabízí v porovnání s aplikací pod konstrukční vrstvu snadnější a ekonomicky příznivější variantu zlepšení kvality stávajících tratí nízké kvality. Tato problematika byla dále sledována i v reálných podmínkách v rámci provozního ověřování na jednokolejné železniční trati u železniční stanice Blovice.

3.3.2

Laboratorní sledování odezvy železničních konstrukcí s nízkou únosností zemní pláně pod zatížením

Na Fakultě stavební ČVUT v Praze byla provedena série laboratorních měření na železničních konstrukcích s nízkou únosností zemní pláně v měřítku 1:1. Měření byla realizována v experimentálním boxu o rozměrech 2 x 1 x 0,8 m (Obr. 17).

Obr. 17: Měření v experimentálním boxu

Pro zachování neměnných vlastností podloží byl reálný materiál zemní pláně v laboratoři nahrazen pryžovými deskami se známými vlastnostmi. Pryžové desky jako náhrada reálné zeminy umožnily simulovat konstantní nízkou únosnost zemní pláně a minimalizovat nezanedbatelný vliv proměnné vlhkosti zeminy při dlouhodobých zkouškách. Simulována tak byla zemní pláň s únosností vyjádřenou statickým modulem přetvárnosti dle německé metodologie s hodnotami 20 MPa, resp. 30 MPa. Konstrukční vrstva pražcového podloží byla tvořena směsí drceného kamene (štěrkodrtí) s konstantní tloušťkou 20 cm. Kolejové lože bylo sledováno ve třech proměnných tloušťkách, a sice 25 cm, 35 cm a 45 cm pod pražcem. Železniční svršek byl s ohledem na velikost experimentálního boxu tvořen polovinou předpjatého pražce (bez a s nalepenou podpražcovou podložkou) vystrojeným 0,5 m dlouhým kusem kolejnice a bezpodkladnicovým pružným upevněním.

Jednotlivé modelové případy byly zatěžovány přes hlavu kolejnice staticky v řádu desítek zatěžovacích cyklů, přičemž vnášené zatížení odpovídalo třem různým nápravovým zatížením: 225 kN, 250 kN a 275 kN. Sledována tak byla odezva konstrukce pro případ zvýšení nápravového zatížení nad standardní hodnotu zatížení na nápravu 225 kN. Vybrané modelové konstrukce byly též podrobeny dlouhodobému cyklickému zatěžování s frekvencí 3 Hz a celkovým počtem 250 tisíc zatěžovacích cyklů (Obr. 18). V průběhu zatěžování byly sledovány poklesy jednotlivých vrstev železniční konstrukce a před a po zatěžování byly měřeny statické a rázové zatěžovací zkoušky na povrchu jednotlivých sledovaných vrstev. Řada dalších provedených laboratorních zkoušek sloužila pro stanovení doplňujících parametrů.

Obr. 18: Cyklické zatěžování konstrukce v experimentálním boxu

Na základě výsledků experimentálních měření bylo konstatováno:

1. Dlouhodobé cyklické zatěžování v porovnání s krátkodobým statickým lépe odpovídá skutečnému zatěžování konstrukce pražcového podloží na železniční trati. Rozhodující pro určení potřebného počtu cyklů je zjištění závislosti hodnoty pružného poklesu jednotlivých vrstev pražcového podloží, především štěrku, případně štěrkodrtě, na počtu cyklů zatížení.
2. Z experimentálních měření na modelech pražcového podloží z nestmelených materiálů zatěžovaných cyklickým zatížením vyplynul obecný závěr, že při měření poklesů a únosnosti jednotlivých vrstev pražcového podloží postačí cyklické zatížení min. 100 000 cyklů k dostatečné konsolidaci modelové konstrukce pražcového podloží. Při použití 250 000 cyklů zatížení se zpravidla již dosáhne dokonalé konsolidace všech vrstev pražcového podloží.
3. Na základě měření se zvyšujícím se zatížení na nápravu byl stanoven vztah mezi přírůstkem zatížení a přírůstkem poklesu pražce bez a s podpražcovou podložkou. V případě pražce s podpražcovou podložkou byly zaznamenány několikanásobně vyšší hodnoty poklesu pražce, zatímco přírůstek poklesu při zvyšujícím se zatížení byl v procentuálním vyjádření významně menší.
4. Byla stanovena závislost trvalého poklesu pražce na tloušťce kolejového lože pod pražcem pro případ pražce bez pružné podpražcové podložky i pražce s pružnou podpražcovou podložkou.
5. Byl stanoven vliv aplikace vybraného typu podpražcové podložky na velikost trvalého poklesu pražce a povrchu konstrukční vrstvy při aplikaci 250 000 zatěžovacích cyklů.

Podrobné výsledky měření byly uvedeny ve dvou zprávách [1], [2] a závěry shrnuty do pokynu [3] a kapitoly v závěrečné technické zprávě projektu [4]. Zmíněný pokyn byl zpracován pod vedením ČVUT v Praze ve spolupráci s SNCF.

3.3.3

Laboratorní sledování odezvy železničních konstrukcí s nízkou únosností zemní pláně a aplikací výztužných geosyntetik

Při výstavbě a zejména rekonstrukcích železničních tratí na méně únosném podloží se již běžně uplatňují výztužné geosyntetické prvky. Jejich správnou aplikací do konstrukce pražcového podloží lze dosáhnout nejen žádoucího zvýšení únosnosti, ale též zlepšení dlouhodobé stability koleje. Úsilí badatelů se v současné době soustřeďuje zejména na hledání optimálních kombinací parametrů geosyntetika a sypaniny a na vyšetřování vlivu dlouhodobého cyklického zatížení na vyztužené konstrukce.

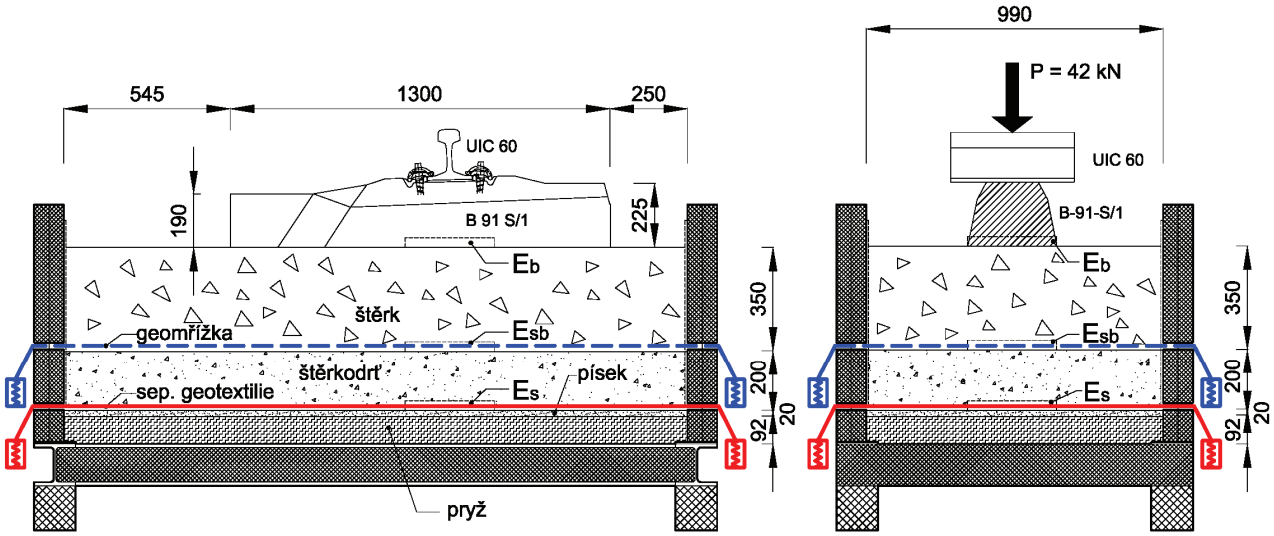
Výztužná geosyntetika se v závislosti na požadovaných přínosech umisťují na zemní pláň, na rozhraní podkladních vrstev a kolejového lože nebo přímo do kolejového lože. Přestože bylo prokázáno, že výztužné účinky geosyntetik s rostoucí hloubkou jejich uložení významně klesají, z praktického hlediska není vhodné geosyntetikum ukládat do hloubky menší než 200 mm pod ložnou plochu pražce. Tato minimální hloubka může být ještě významně větší v závislosti na typu používaných mechanizačních prostředků, zejména podbíječek a čističek kolejového lože.

S ohledem na rostoucí potřebu zvyšování únosnosti a životnosti stávajících železničních tratí v Evropě byla v rámci řešení projektu INNOTRACK provedena laboratorní sledování vlivu vložení výztužných geosyntetik (geomřížek, geotextilií, geokompozitu) do pražcového podloží. Zvláštní pozornost byla věnována aplikaci geomřížek a geokompozitu přímo pod kolejové lože.

Sledování účinnosti výztužných geosyntetik v pražcovém podloží bylo opět provedeno v experimentálním boxu Fakulty stavební ČVUT v Praze o rozměrech 2,0 x 1,0 x 0,8 m. Základní modelová konstrukce byla složena ze čtyř vrstev. Málo únosné podloží bylo simulováno pryžovými deskami, na kterých byla uložena vrstva suchého křemičitého písku o tloušťce 20 mm pro umožnění žádoucího zaklínění zrn štěrkodrtě. Únosnost podloží byla zvolena tak, aby povrch vrstvy křemičitého písku odpovídal CBR 2-3 %, což po přepočtu na statický modul přetvárnosti dle DIN 18 134 odpovídá hodnotě EV_2 = 11-15 MPa. Na vrstvu písku byla uložena podkladní vrstva ze štěrkodrti frakce 0/32 mm o tloušťce 200

mm po zhutnění. Na podkladní vrstvu byla uložena vrstva kolejového lože z hrubého drceného kameniva frakce 32/63 mm o tloušťce 350 mm po zhutnění. Kamenivo pro podkladní vrstvu i kolejové lože splňovalo veškeré parametry pro použití na železničních tratích v České republice. Na zhutněný povrch kolejového lože byla umístěna polovina pražce z předpjatého betonu s 0,5 m dlouhým kusem kolejnice upevněným prostřednictvím pružných svěrek typu Skl.

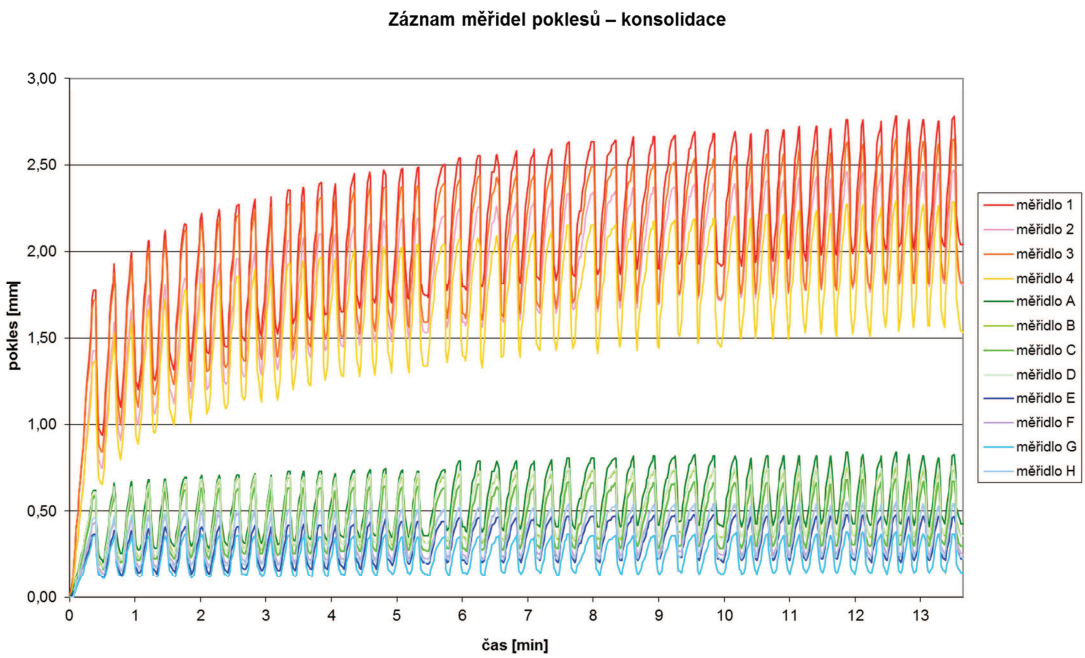
Celkem bylo provedeno a změřeno 8 modelových konstrukcí, z nichž jedna byla bez vyztužení geosyntetickými prvky, čtyři s geosyntetiky na rozhraní podkladní vrstva/zemní pláň (netkaná geotextilie, tkaná geotextilie, geokompozit, geomřížka) a tři s výztužnými geomřížkami na rozhraní kolejové lože/podkladní vrstva a současně se separační geotextilií na rozhraní podkladní vrstva/zemní pláň (Obr. 19). Použity byly 3 typy výztužných geomřížek - tkaná, svařovaná, extrudovaná - běžných výrobních typů s podobnými deklarovanými vlastnostmi pro umožnění vzájemného porovnání výsledků měření. Při dodávce geosyntetik a jejich měření bylo úzce spolupracováno s rakouskými partnery z projektu z Tencate Geosynthetics.



Obr. 19: Schéma modelové konstrukce s geosyntetiky ve dvou výškových úrovních

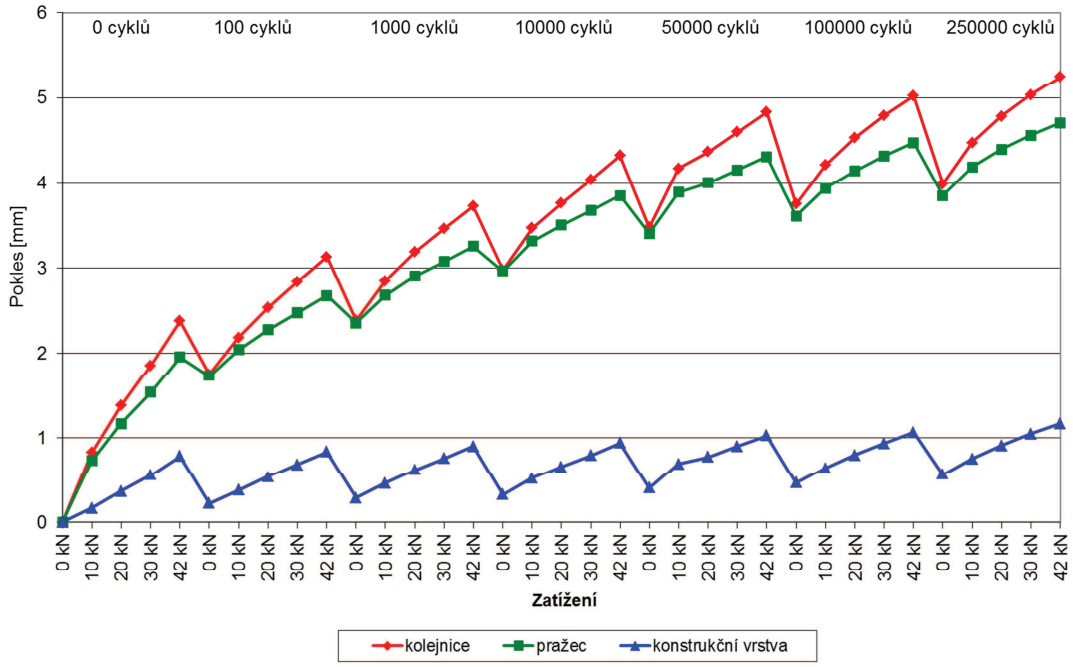
Modelové konstrukce byly zatěžovány silou odpovídající běžnému nápravovému zatížení 225 kN. V režimu krátkodobého cyklického zatěžování byla kolejnice opakovaně 50krát zatížena pomocí manuálního hydraulického lisu. V režimu dlouhodobého cyklického zatěžování byla hlava kolejnice automaticky zatěžována v rozmezí 2 - 42 kN se sinusovým průběhem a frekvencí 3 Hz v celkovém objemu 250 000 zatěžovacích cyklů. Tento počet zatěžovacích cyklů odpovídá průměrné denní intenzitě dopravy 25 vlaků s 20 čtyřnápravovými vozy po dobu 4 měsíců.

Při krátkodobém cyklickém zatěžování byly sledovány poklesy 12 měřených bodů digitálními snímači s přesností 0,01 mm. Poklesy byly měřeny ve 3 různých výškových úrovních – na povrchu pražce, na rozhraní kolejového lože a podkladní vrstvy a na rozhraní podkladní vrstvy a písku, přičemž v každé výškové úrovni byly poklesy měřeny ve 4 bodech stejně vzdálených od průsečíku osy kolejnice a osy pražce (Obr. 20).



Obr. 20: Záznam z měření poklesu vrstev při krátkodobém cyklickém zatěžování konstrukcí

Při dlouhodobém cyklickém zatěžování byly poklesy měřeny na patě kolejnice, povrchu pražce a na rozhraní kolejového lože a podkladní vrstvy, a to ve stejných polohách jako u krátkodého zatěžování. Hodnoceny byly velikosti poklesů po 100, 1 000, 10 000, 50 000, 100 000 a 250 000 zatěžovacích cyklech (obr. 21).



Obr. 21: Záznam z měření poklesu vrstev při dlouhodobém cyklickém zatěžování konstrukcí

Po provedeném zatěžování modelových konstrukcí a měření poklesů byla současně s postupným rozebíráním konstrukcí měřena únosnost na povrchu jednotlivých vrstev (kolejové lože, podkladní vrstva, simulovaná zemní pláň) pomocí statické zatěžovací zkoušky a doplňkově též rázovými zatěžovacími zkouškami. Zatěžovací desky byly umisťovány na upravený povrch do místa největšího zatížení, tj. pod průsečík osy poloviny pražce a kolejnice, případně do jiných profilů na podélné ose poloviny pražce.

Z výsledků provedených experimentů vyplynulo zejména:

1. Srovnávací měření provedená na modelových konstrukcích při relativně nízkém stupni konsolidace pražcového podloží prokázala, že je možné je použít pro orientační vzájemná porovnávání výsledků a tím i k hledání optimální kombinace typů a pozice geosyntetik.
2. Po krátkodobém cyklickém zatížení vykázaly modelové konstrukce vyztužené geosyntetiky větší sedání kolejového lože než konstrukce nevyztužená. To je způsobeno nedokončenou konsolidací kolejového lože, která se vyznačuje dosažením žádoucího kontaktu mezi zrny kameniva a geomřížkou. Z tohoto ohledu je manuální zatěžování v řádu desítek zatěžovacích cyklů nedostatečné.
3. U modelových konstrukcí s vloženými geosyntetiky byl zaznamenán znatelný rozdíl mezi konstrukcemi s jedním geosyntetikem a se dvěma geosyntetiky. Velmi dobré výsledky byly zaznamenány v případě uložení geokompozitu na konstrukční vrstvu a též v případě uložení svařované geomřížky pod kolejové lože v kombinaci se separační netkanou geotextilií umístěnou pod konstrukční vrstvu.
4. Modelová konstrukce s extrudovanou geomřížkou uloženou pod kolejové lože vykázala o cca 15 % vyšší hodnotu únosnosti na povrchu kolejového lože ve srovnání s konstrukcí se stejným geosyntetikem umístněným pod konstrukční vrstvu.
5. Pro získání zásadních poznatků o chování konstrukcí bez vyztužení geosyntetika postačuje rozsah zatížení 100-250 tis. cyklů. V případě konstrukcí vyztužených geosyntetickými materiály je doporučeno rozšířit zatěžování do 500 tis. cyklů s ohledem na delší proces konsolidace systému.
6. Na základě krokového měření poklesu sledovaných vrstev v průběhu cyklického zatěžování lze predikovat další chování konstrukce při vyšším počtu zatěžovacích cyklů.

Podrobné výsledky měření byly uvedeny ve zprávě [16] a závěry shrnuty do pokynu [17]. Výsledky měření byly též průběžně prezentovány prostřednictvím příspěvků na konferencích [18-20] a článku v impaktovaném časopisu [21]. Zmíněný pokyn byl zpracován pod vedením ČVUT v Praze ve spolupráci s Tencate Geosynthetics a ADIF.

3.3.4

Dlouhodobé provozní ověřování vlivu vloženého geokompozitu do kolejového lože

V květnu 2008 byl poblíž železniční stanice Blovice na jednokolejné celostátní trati České Budějovice – Plzeň založen 185 m dlouhý úsek pro provozní ověřování účinnosti geokompozitu vloženého do kolejového lože. S ohledem na charakter problémů s geometrii koleje v kombinaci s blátivými místy v dané lokalitě (Obr. 22) byl zvolen geokompozit TENSAR SS30-G (kombinace dvouosé monolitické geomřížky a netkané geotextilie), který byl do spodní části kolejového lože uložen pomocí strojní čističky SČ 600 současně s čištěním a obnovou kolejového lože. Tato technologie vložení výztužného geosyntetika do kolejového lože za účelem zvýšení stability geometrických parametrů koleje nebyla do té doby na železniční síti v České republice realizována.

Obr. 22: Pohled na zblácená místa ve zkušebním úseku před aplikací geokompozitu do kolejového lože

Jako hlavní metoda hodnocení zkušebního úseku bylo zvoleno průběžné sledování geometrické polohy koleje pomocí měřicího vozu s kontinuálním záznamem. Tato metoda byla rozšířena o sledování únosnosti pražcového podloží pomocí statických (Obr. 23) a rázových zatěžovacích zkoušek a laboratorní kontrolu vlastností vzorků geokompozitu, odebraných z kopaných sond. Jako protizátěž byl při statických zatěžovacích zkouškách použit motorový univerzální vozík MUV, vůz na úpravu trakčního vedení MVTV, případně dvoucestný bagr MHS.

Obr. 23: Měření statického modulu přetvárnosti ve zkušebním úseku

Harmonogram provádění zkoušek byl navržen tak, že první měření se uskutečnilo současně s vložením geokompozitu do kolejového lože a další pak v intervalu cca 6 měsíců po dobu tří let. V průběhu řešení projektu INNOTRACK byly realizovány dvě měřicí kampaně v roce 2008 a dvě kampaně roce 2009.

Důležitým poznatkem byla skutečnost, že technologie vkládání gekompozitu pomocí strojní čističky použitého typu se neukázala jako optimální řešení. Prostor mezi zvednutým kolejovým roštem a podkladní vrstvou nebyl dostatečný pro rozvinutí role geosyntetika větší délky a manipulace tudíž byla obtížná. Z výsledků jízd měřícího vozu při porovnání zkušebního a přilehlého referenčního úseku byla na grafech parametrů geometrie koleje konstatována lepší kvalita geometrie ve zkušebním úseku, především u parametrů vertikálního směru. Při konfrontaci se stavem železničního tělesa pomocí zatěžovacích zkoušek a výsledků laboratorních testů však bylo zjištěno, že obnova odvodnění pražcového podloží nebyla provedena v dostatečné míře a v kolejovém loži se již po 6 měsících od aplikace geokompozitu začala objevovat jemnozrnná zemina zemní pláně protlačovaná skrz geokompozit působením pumpovacího efektu. Přesto byl účinek vyztužení kolejového lože pomocí stabilizačního geokompozitu ve zkušebním úseku patrný, zejména ve srovnání s přilehlým úsekem bez aplikace geosyntetika. Na základě získaných poznatků se Správa železniční dopravní cesty, s.o., rozhodla pokračovat v provozním ověřování této konstrukce i v letech 2010 a 2011 a paralelně založit další zkušební úsek pro ověřování nové metody vyztužování kolejového lože stabilizačními geosyntetiky v železniční stanici Holýšov.

Podrobné výsledky měření a zjištěné poznatky byly uvedeny v článku v impaktovaném časopisu [21] a dále prezentovány prostřednictvím příspěvků na konferencích [22-23].

3.4

Aktivity a výsledky Českého vysokého učení technického v Praze, Fakulta dopravní

3.4.1

Využití moderních numerických metod v oblasti zvyšování únosnosti zemní pláně a pro stanovení výztužného efektu geosyntetik

Vzhledem k velké náročnosti laboratorních i polních měření a narůstajícímu výpočetnímu výkonu došlo v minulých dekádách k prudkému rozvoji metod hodnocení navrhovaných konstrukcí využívajících techniku numerického modelování. Počítačové simulace jsou efektivním nástrojem pro rychlé hodnocení odezvy systému na měnící se vstupní parametry. Využití numerických metod v porovnání s experimentálními přístupy přináší nemalou časovou i finanční úsporu. Pro získání věrohodných výsledků je třeba model ověřovat buď pomocí analytického řešení, nebo častěji experimentu. Parametrizace modelu umožňuje plnou automatizaci numerické analýzy a vyhodnocování jejích výsledků.

V první části s názvem “Numerical modelling of poor quality sites” bylo numerické modelování využito pro vytvoření souboru nomogramů pro železniční konstrukce s nízkou únosností zemní pláně a pro stanovení deformačního chování různých typů železniční konstrukce pod zatížením. Zde byly vytvořeny modely všech možných železničních konstrukcí a pomocí inverzního výpočtu stanoveny křivky pro snadné určení konstrukce pro stanovený deformační modul v závislosti na dané únosnosti zemní pláně.

Ve druhé části bylo využito numerického modelování pro zhodnocení výztužného efektu geosyntetik a porovnání různých návrhů konstrukce železniční trati lišících se použitými typy geosyntetik a jejich umístěním v železničním tělese. Důležitým bodem v této části práce byla parametrická studie spolupůsobení geosyntetika v závislosti na jeho typu, velikosti ok a způsobu spolupůsobícího efektu pomocí kontaktních prvků, či jednoduššího rozkladu sil při svislém zatížení.

Ve třetí části se využilo numerického modelování pro zkoumání vyztužování konstrukce železničního tělesa pomocí svislých a šikmých vápenocementových pilot. Byly provedeny studie vlivu vzdálenosti mezi svislými, či šikmo vedenými vrty, jejich průměru a překrývání a byla stanovena jejich míra pro vyztužení konstrukce železničního spodku vyjádřená pomocí poměru přetvárného modulu bez vyztužení a za použití pilot. V tomto textu jsou uvedeny pouze výsledky ze studie vyztužování konstrukce železničního tělesa šikmými pilotami.

Vytvořené modely by měly být přiměřeně jednoduché, aby při zachování dostatečně věrného popisu zkoumaného problému nekladly přílišné požadavky na výpočetní techniku. Dalším požadavkem na modely bylo, aby byly co nejvíce parametrické. To usnadní sledování chování modelu v závislosti na měnících se vstupních parametrech a umožní automatizované a cyklické provádění výpočtu.

3.4.2

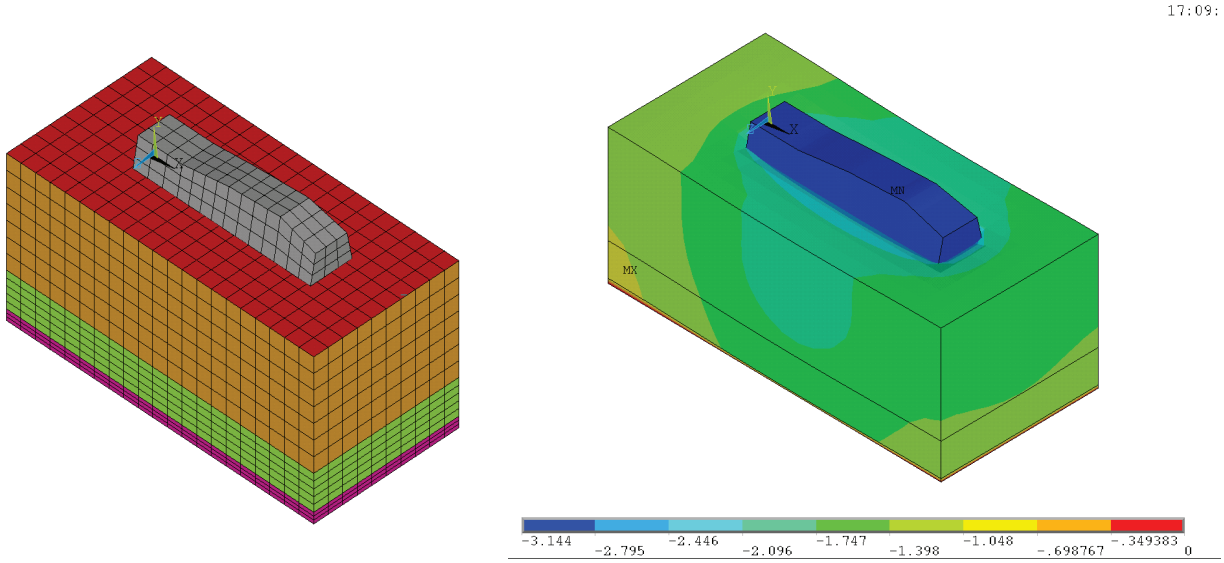
Úvod

Numerická analýza deformačního chování pomocí metody konečných prvků (MKP) se sestává ze tří částí: sestavení modelu (preprocessing), řešení (solution) a vyhodnocení výsledků (postprocessing). Na začátku tvorby modelu je třeba definovat vlastnosti materiálů, které jsou v modelu uvažovány, a zvolit vhodné typy elementů, z nichž bude vytvořena konečněprvková síť. Další fází je vytvoření geometrie, která zcela (nebo v rámci zjednodušení přibližně) odpovídá zkoumané mechanické soustavě. Vytvořená geometrie je následně rozdělena na síť konečných prvků. Po vytvoření sítě jsou definovány okrajové podmínky (podepření soustavy a její zatížení). To je provedeno buď na uzlových bodech sítě (odebráním stupňů volnosti, předepsáním posunutí nebo zadáním sil) nebo na částech geometrie, např. na plochách nebo hranách. Když je konečněprvková síť podepřena a zatížena, následuje samotné numerické řešení. Jde-li o úlohu bez nelinearit materiálových (plastické chování materiálu) a geometrických (velké deformace či nelineární kontakt), lze řešení provádět v jednom kroku. V případě nelineární úlohy je třeba řešení provést v několika zatěžovacích krocích, v nichž je zatížení aplikováno postupně. Závěrečnou částí numerické analýzy je vyhodnocení a interpretace výsledků.

3.4.3

Stanovení nomogramů pro železniční konstrukce s nízkou únosností zemní pláně

Ve spolupráci s Fakultou stavební ČVUT v Praze byly vytvořeny numerické modely odpovídající experimentálnímu boxu použitému při laboratorních měření na železničních konstrukcích s nízkou únosností zemní pláně. Tento box měl rozměry 2 × 1 × 0,8 m.



Obr. 24: MKP model laboratorního boxu (vlevo) a příklad výsledků numerického výpočtu – hodnoty třetích hlavních napětí (tlaky) v konstrukci.

Nejprve byla provedena studie kvality MKP sítě pomocí série parametrických výpočtů, která ověřila konvergenci výpočtů a stanovila optimální dělení oblasti na elementy.

Pro počáteční výpočty sloužící k optimalizaci a zpřesňování modelu byla velikost elementů stanovena na 100 mm. Tato hodnota byla zvolena jako největší společný dělitel všech vodorovných rozměrů experimentálního boxu. Tím bylo zajištěno, že všechny sousedící prvky měly odpovídající si uzlové body ve stejné poloze, což je důležité při definování vzájemné interakce sousedících vrstev. (Model pražce byl kvůli vzájemné poloze uzlových bodů rozdělen na prvky o délce hran 50 mm.) Další možnou velikostí elementů bylo 50 mm a 25 mm, bylo však třeba posoudit, zda by takové zjemňování sítě mělo vzhledem k náročnosti na strojový čas smysl. Toto posouzení provedené porovnáním hodnot poklesů zjištěných při výpočtech s různou velikostí elementů je uvedeno v tabulce.

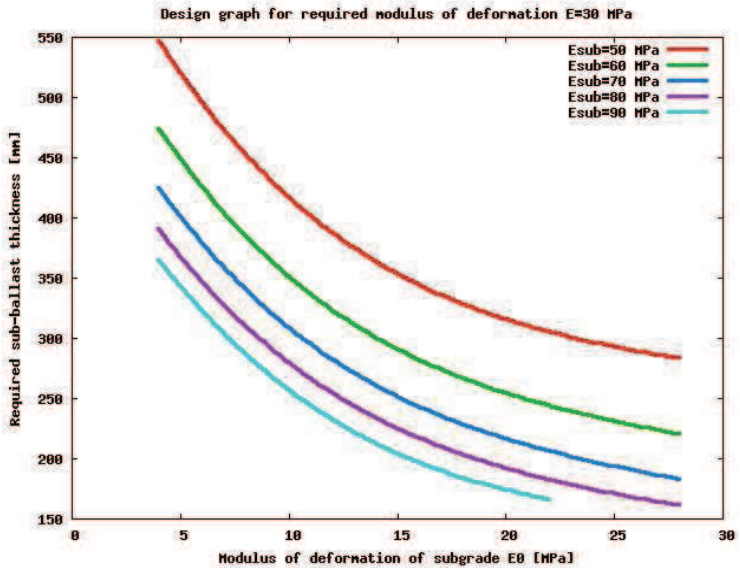
Velikost elementů	**Hodnoty poklesů**		
	Pražec	***Podkladní vrstva***	***Zemní pláň***
100	0,825	0,663	0,361
50	0,753	0,617	0,365
25	0,753	0,624	0,365

Tab 1: Konvergenční studie – stanovení optimální velikosti elementů

Jak je patrné z tabulky, hodnoty výsledku se při změně velikosti elementů ze 100 mm na 50 mm mění až o 9,5%. Při dalším zjemnění na prvky o velikost 25 mm však již k výrazné změně výsledků nedochází. Jako nejvhodnější tedy byla zvolena velikost prvků 50mm, protože další zjemnění už výsledek nezpřesní.

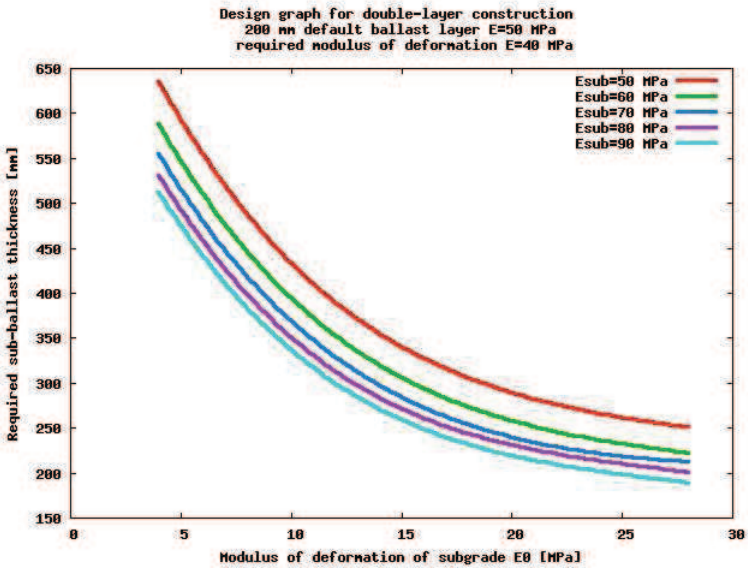
Cílem práce bylo tedy vytvořit novou metodiku pro snadný a rychlý návrh či posouzení konstrukce železničního spodku za použití mnohovrstvého MKP modelu. MKP modely byly ověřeny pomocí série laboratorních zkoušek v experimentálním boxu. Výsledky numerických modelů byly prezentovány formou návrhových grafů pro konstrukci železničního spodku pro danou únosnost. Modely byly tvořeny nejprve jako rovinné (rovinná deformace), později jako plně prostorové, reflektující reálné okrajové podmínky. Model laboratorního boxu byl rovněž rozšířen na in-situ podmínky železniční trati.

Všechny návrhové grafy byly stanoveny pro požadovaný deformační modul v rozmezí 30 MPa až 90 MPa s krokem 5 MPa. Deformační modul použitého štěrku byl rovněž variován v 5 MPa přírůstcích.



Obr. 25: Příklad výsledného nomogramu pro požadovaný deformační modul 30 MPa

MKP modely byly dále rozšířené pro dvouvrstvou konstrukci, kde nejen tloušťka štěrkodrtě byla variována, ale modely byly plně parametrické. Použití těchto nomogramů je obdobné, jako pro jednovrstvý model, tedy pro požadovaný modul přetvárnosti lze snadno určit tloušťky jednotlivých vrstev, jsou-li známy jejich deformační moduly.



Obr. 26: Příklad nomogramu pro dvouvrstvý model a požadovaný deformační modul 30 MPa

Výsledky všech modelů byly prezentovány formou návrhových tabulek a návrhových grafů pro všechny možné konstrukce (jednovrstvé a dvouvrstvé) pro požadované deformační moduly ve zprávách [24-26] a závěry shrnuty do směrnice [27]. Výsledky měření byly též průběžně prezentovány prostřednictvím příspěvků na odborných konferencích, např. [28].

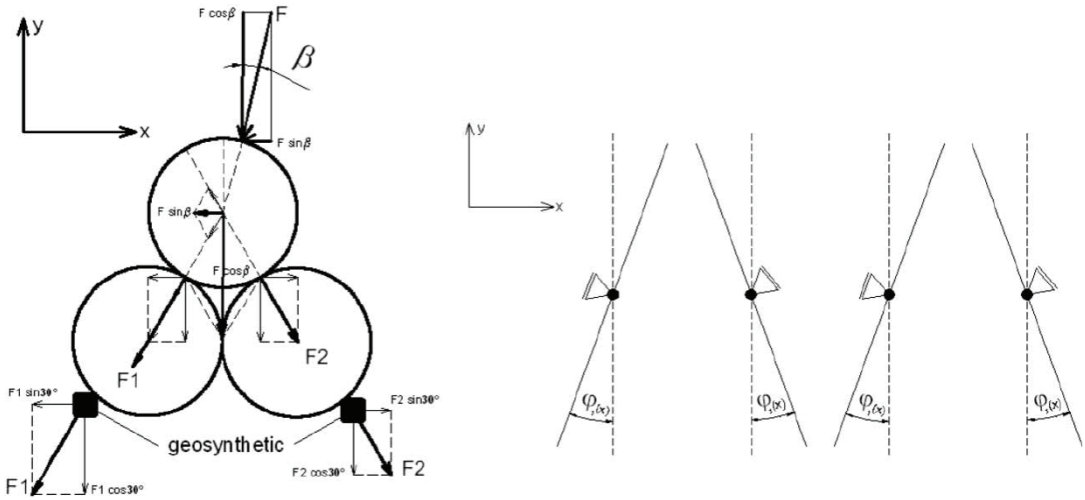
3.4.4

Modelování výztužného efektu různých typů geosyntetik používaných v konstrukci železničního spodku

Pro stanovení výztužného efektu geosyntetik používaných při výstavbě či rekonstrukci železničních tratí na méně únosném podloží byly vytvořeny MKP modely nejprve experimentálního boxu, ve kterém byly prováděny laboratorní měření na Fakultě stavební, ČVUT v Praze. Geosyntetika od různých výrobců byla aplikována buď přímo na zemní pláň, na rozhraní kolejového lože a podkladních vrstev nebo přímo do kolejového lože.

Prvním úkolem numerického modelování bylo nalézt správný způsob popisu interakce daného syntetika se zeminou zemní pláně, nebo v případě geomřížek s kamenivem. Odlišný způsob modelování byl použit pro popis výztužného a separačního efektu. Pro popis separačního efektu tkané geotextilie bylo použito kombinace skořepinových elementů s ohybovou tuhostí blízkou nule. Vrstva skořepinových elementů popisujících geotextilii byla pokryta na obou stranách kontaktními elementy, které simulovaly správné spolupůsobení s prostorovými elementy použitými pro popis konstrukce železničního spodku. Interakce byla popsána pomocí správně zvoleného koeficientu tření pro daný typ geotextilie.

Interakce mezi geomřížkou a štěrkem musela být modelována odlišným způsobem. Byla zvolena možnost použití vložených okrajových (geometrických) podmínek, které reprezentují roznášení zatížení ze zrn štěrku na oka geomřížky a tak zaručují dobrý popis zvýšeného výztužného efektu geomřížky. Tento způsob modeluje uzamčení jednotlivých zrn štěrku mezi oka geomřížky a pomocí matematického rozboru roznášení síly mezi jednotlivými zrny štěrku a geomřížkou jsou stanoveny ony vložené geometrické podmínky simulující rozklad sil.



Obr. 27: Způsob roznášení sil mezi zrny vyztužovaného materiálu a oky geosyntetika – modelování pomocí vložených okrajových podmínek

V závislosti na výsledcích experimentálního ověřování účinnosti výztužných geosyntetik v pražcovém podloží provedeném v experimentálním boxu Fakulty stavební ČVUT v Praze byly provedeny závěry pro modelování výztužného efektu různých typů geosyntetik použitých ve vícevrstvé konstrukci železničního spodku. Z výsledků 8 modelových konstrukcí (první konstrukce byla bez vyztužení pro komparativní účely), kde ve čtyřech modelech bylo použito geosyntetika na rozhraní podkladní vrstva/zemní pláň (netkaná geotextilie, tkaná geotextilie, geokompozit, geomřížka) a tři s výztužnými geomřížkami na rozhraní kolejové lože/podkladní vrstva a současně se separační geotextilií na rozhraní podkladní vrstva/zemní pláň byly stanoveny závěry pro správné numerické modelování výztužného efektu.

Toto bylo provedeno pomocí parametrické MKP studie, kdy bylo cílem získat numerické hodnoty průměrných poklesů vypočtené numerickou simulací shodné s výsledky experimentu. Zjednodušeně shrnuto, v použitých MKP modelech byly použity tři způsoby pro modelování interakce mezi geosyntetikem a okolním materiálem. První typ reprezentuje vyztužení pomocí geotextilií, kde je modelován minimální výztužný efekt vzhledem k disproporci mezi velikostí zrn vyztužovaného materiálu a velikosti ok tkané geotextilie. V tomto modelu je modelována zejména separační a filtrační schopnost geotextilie. Druhý model reprezentoval geokompozit a byl simulován pomocí výše zmiňované vrstvy skořepinových elementů pokryté na obou stranách kontaktními elementy, pro které byl stanoven koeficient tření tak, aby byly minimalizované odchylky mezi měřenými svislými poklesy a poklesy stanovenými pro stejný způsob zatížení numerického modelu. Třetím modelem je model pro modelování výztužného efektu geomřížky, kde experimentálně zjištěný výztužný efektl dosahoval hodnot až 20% a byl modelován pomocí vložených geometrických podmínek.

Predikce chování vyztužené železniční konstrukce bylo tedy stanoveno pomocí kombinace numerických modelů a laboratorních experimentů. Úkolem bylo najít vhodné vyjádření pro stanovení poklesů v závislosti na zatěžovacích cyklech. Byla stanovena následující tři matematická vyjádření dlouhodobého deformačního chování:

$$S_N=S_1N^b \qquad (1)$$

$$S_N=a+b\,log_{10}\,N \qquad (2)$$

$$S_N=S_1(1+C\,log_{10}\,N) \qquad (3)$$

kde S_N je svislá deformace (posun) po N – zatěžovacích cyklech, S_1 je svislý posun v prvním zatěžovacím cyklu, N je celkový počet zatěžovacích cyklů a a, b, C jsou empirické konstanty. Úkolem bylo fitování těchto funkcí pro popis dlouhodobého chování na výsledky experimentů tak, aby byla umožněna predikce dlouhodobého chování vyztužené konstrukce železničního spodku. Hodnoty empirických konstant byly stanoveny na základě minimalizace odchylek mezi experimentálně měřenými poklesy a poklesy vypočtenými v numerických simulacích. Minimalizace byla provedena na základě metody nejmenších čtverců, tedy byl minimalizován následující výraz:

$$J=\sum(y_{experiment}(t)-y_{výpočet}(t))^2/N$$

	Funkce	Funkce (Matlab)	Chyba	a	b
1	$S_N=S_1N^b$	y(i)=y(1)*x(i)^a	0.017014	0.07657	-
2	$S_N=a+b\,log_{10}\,N$	y(i)=a+b*log10(x(i))	0.005058	1.697559	0.502801
3	$S_N=S_1(1+C\,log_{10}\,N)$	y(i)=y(1)*(1+a*log10(x(i)))	0.006168	0.275	-

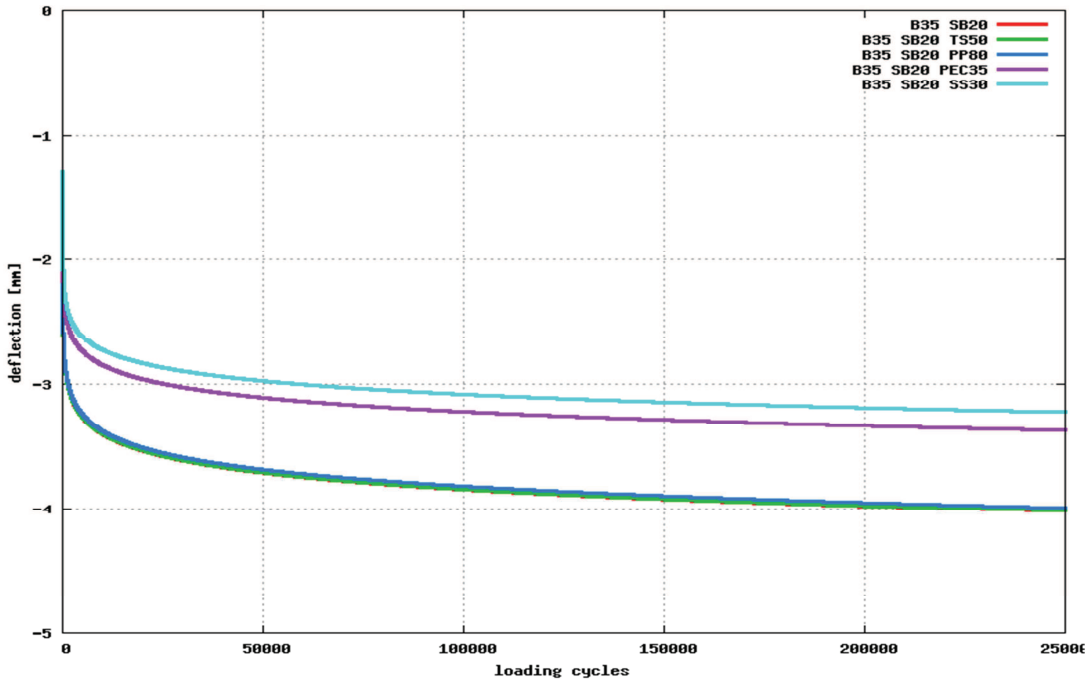
Tab. 2: Srovnání přibližných funkcí pro predikci dlouhodobého chování

Nejlepšího výsledku bylo dosaženo pro druhou uvedenou funkci ($S_N=a+b\,log_{10}\,N$). Třetí uvažovaná funkce ($S_N=S_1(1+C\,log_{10}\,N)$) je závislá na hodnotě poklesu v prvním zatěžovacím cyklu, který je možno získat z numerické simulace. První uvažovaná funkce není vhodná pro aproximaci měřených poklesů.

3.4.5

Modelování chování pro 50 cyklů

Prvním krokem bylo nafitovat experimentální data. Pro každý způsob vyztužení bylo deformační chování MKP modelu stanoveno ve dvou krocích. Nejprve byla provedena numerická analýza deformačního chování pro měřených 50 cyklů a stanoveny hodnoty parametrů pro obě uvažované funkce. Ve druhém kroku byly určeny elastické deformace a celkové hodnoty posunů byly stanoveny jako součet elastických a trvalých deformací za použití aproximační funkce již nafitované na experimentální data. Tento způsob umožňuje rychlý způsob komparace výztužného efektu daného typu geosyntetika vloženého do MKP modelu. Takto je pak možno rychle porovnávat vliv různých kombinací geosyntetik na vývoj trvalých poklesů a to i z dlouhodobého hlediska.

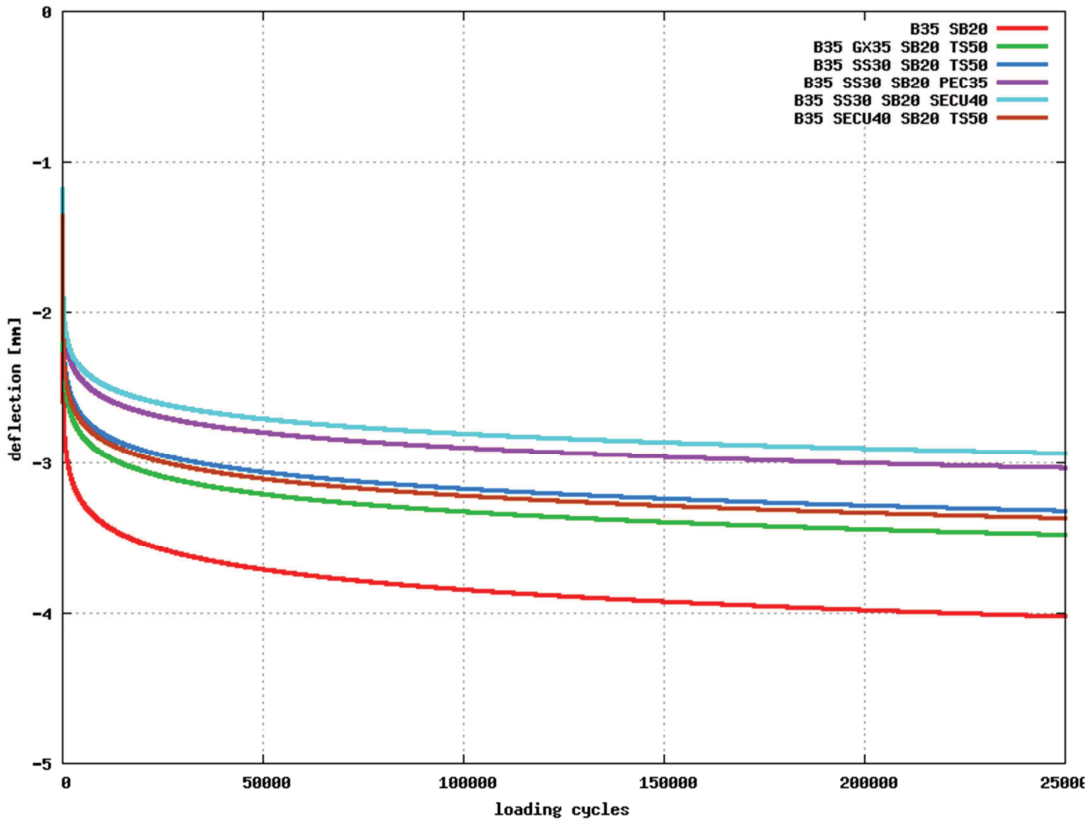


Obr. 28: Chování jednovrstvé konstrukce v dlouhodobém schématu – výsledek numerického modelování, na vodorovné ose je počet cyklů (přejezdů vlaků), na svislé ose pak pokles pražce.

3.4.6

Modelování dlouhodobého chování geosyntetika

Obdobný přístup byl zvolen pro stanovení výztužného efektu geosyntetika v dlouhodobém měřítku. Parametry uvažovaných funkcí stanovené pro jednotlivé typy geosyntetik byly použity pro stanovení závislosti dlouhodobého poklesu na počtu cyklů (přejezdů vlaků). Tyto závislosti byly vyneseny do grafů pro různé typy vyztužení a pro různé typy použitých geosyntetik. Výsledky lze vykreslit rovněž jako redukci trvalých poklesů vůči nevyztužené konstrukci a tak snadno porovnat jednotlivé typy vyztužení.



Obr. 29: Dlouhodobé chování konstrukce s geosyntetiky ve dvou výškových úrovních, na vodorovné ose je počet cyklů (přejezdů vlaků), na svislé ose pak pokles pražce.

3.4.7

Shrnutí

Numerická simulace se ukázala jako mocný nástroj pro predikci dlouhodobého chování modelové konstrukce vyztužené geosyntetikem, ať už v jedné, nebo více vrstvách. Získání relevantních výsledků je podmíněno nejen správným materiálovým modelem pro geosyntetikum, ale rovněž správným modelováním interakce mezi ním a vyztužovaným materiálem (štěrk, štěrkodrť). Je rovněž nutné použít jiné přístupy pro popis interakce mezi vyztužovaným materiálem a geomřížkou (vložené geometrické podmínky) nebo tkanou geotextilií (reprezentovanou skořepinovými elementy s kontaktními prvky na obou stranách).

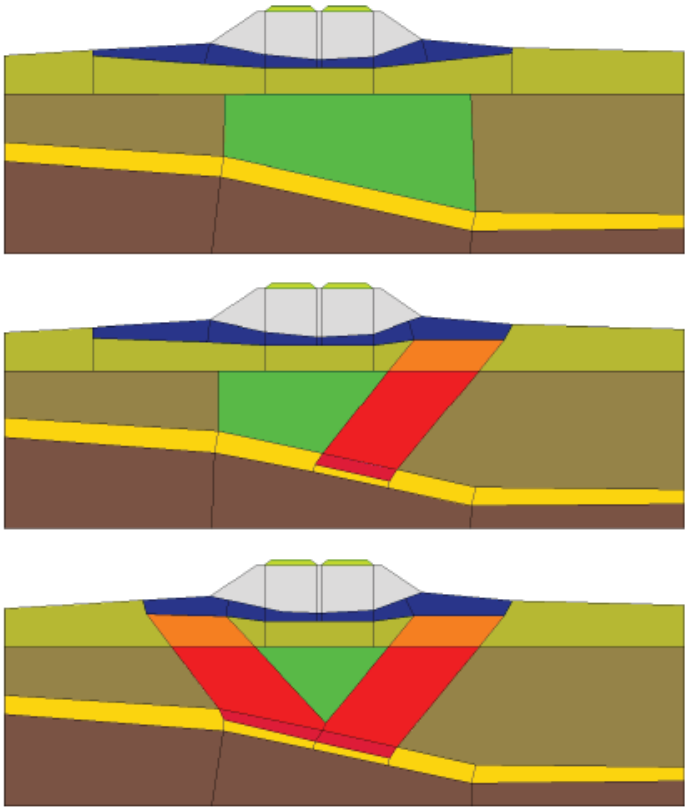
Pomocí MKP a evolučních vztahů je rovněž možné provést predikci dlouhodobého chování železniční konstrukce vyztužené geosyntetikem. Je však nutné si uvědomit, že je zapotřebí numerické modely verifikovat pomocí experimentů prováděných buď v laboratorních podmínkách, nebo in-situ. Odladěné a verifikované MKP modely je pak možné použít pro optimalizaci výztužného efektu vybraného typu geosyntetika a to i ve více vrstvách, nebo pro predikci vývoje dlouhodobých deformací.

Výsledky všech modelů byly prezentovány ve výsledné zprávě [6] a závěry shrnuty do směrnice [7]. Metodika, celkový postup i detailní popis numerických modelů a obecné závěry pro numerické modelování výztužného efektu geosyntetik byly prezentovány rovněž v impaktovaném časopise [31].

3.4.8

Výpočtová studie vyztužení železničního spodku pomocí šikmých vápenocementových pilot

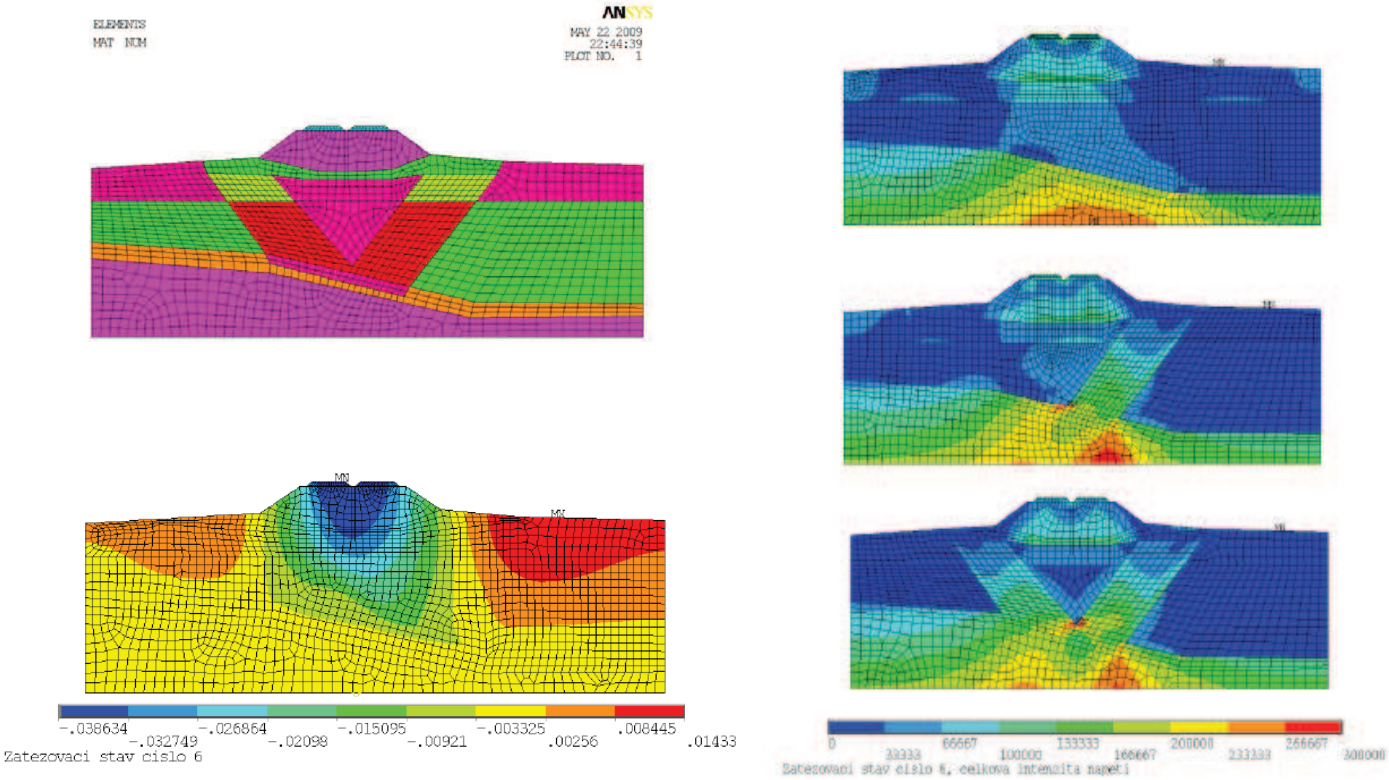
Dalším úkolem bylo posouzení přínosu vyztužování železničního spodku pomocí šikmých vápenocementových pilot. Byla provedena deformační analýza předmětného úseku a srovnány hodnoty posunů, deformací a napětí v referenčním modelu (nevyztužený model bez pilot) s výsledky modelů vyztužených jednostranně, či oboustranně šikmými pilotami. Výsledky MKP řešení byly použity pro optimalizaci výsledného řešení. Studie vycházela z potřeb rekonstrukce vybrané trati ve Švédsku, na které se podílela firma Banverket, která byla jedním z účastníků projektu INNOTRACK.



Obr. 30: Geometrický model použitý pro MKP výpočet: a) srovnávací model bez vyztužení šikmými pilotami, b) model jednostranně vyztužený c) model oboustranně vyztužený.

Obr. 30 ilustruje geometrii použitých srovnávacích modelů. Tyto modely vznikly na základě dokumentace firmy Banverket. Posouzení únosnosti dané konstrukce bylo posouzeno s ohledem na použitelnost trati bez nutnosti výluky provozu. V době vzniku studie bylo prováděno měření na testovacím úseku, kde bylo provedeno jednostranné vyztužení trati a provedena různá in-situ měření (měření poklesů, georadar apod.) MKP modely, které byly vytvořeny pro účel studie, reflektovaly všechny tři stavy týkající se dané trati. Referenční model byl použit pro výpočet deformací testovacího úseku před rekonstrukcí a pro určení stavu na jiných místech trati. Druhý model, kde je zachyceno jednostranné vyztužení, dokumentoval měřený úsek a reprezentoval i stav, kdy je provedena při výstavbě šikmá pilotová stěna pouze z jedné strany, jedná se tedy o asymetrické vyztužení, které bylo také zapotřebí posoudit. Třetím modelem je cílový stav, kdy vyztužení je provedeno z obou stran a z pilot je vytvořen klín. Všechny modely byly řešeny v několika zatěžovacích stavech, reprezentujících provoz na dané dvoukolejné trati. Bylo tedy zapotřebí uvažovat

zatížení na jedné nebo druhé koleji, či na obou kolejích zároveň. Geometrický model byl diskretizován na síť konečných prvků a provedeny výpočty všech zatěžovacích stavů.



Obr. 31: Síť konečných elementů pro oboustranně vyztužený model a příklad pole svislých posunutí pro vybraný zatěžovací stav (vlevo). Srovnání intenzity napětí pro všechny tři varianty (tedy bez vyztužení, s jednostranným a oboustranným vyztužením (vpravo).

Výsledky numerické studie prokázaly, že pozitivní vliv na rozložení deformací i napětí v železničním spodku má nejen symetrické vyztužení šikmými pilotami z obou stran (finální stav), ale i částečné řešení s pilotovou stěnou pouze z pravé strany, které je realizováno v průběhu výstavby. Pro výstavbu tedy bylo vzhledem k existujícím podmínkám podloží doporučeno provádět výstavbu nejprve na pravé straně, kdy dochází ke zvýšení stability železničního spodku. Ten byl takto schopen přenášet značně vysoké spojité ekvivalentní zatížení o velikosti 175 kPa při zatížení na obou kolejích. Z dalších výsledků numerické studie je zapotřebí uvést zejména fakt, že výsledný stav s pilotovou stěnou po obou stranách nezaznamenal žádný problém v prověřovaném rozsahu zatížení, tedy do 200 kPa, a to v žádném uvažovaném zatěžovacím stavu.

Závěrem bylo možné konstatovat, že pomocí numerického modelování vyztužení železničního spodku pomocí šikmých vápenocementových pilot bylo možné kvantifikovat zvýšení únosnosti vybraného úseku železniční tratě ve Švédsku. Z hlediska technického řešení je tak zkoumaný postup řešením problému, kterým byla klíčová rekonstrukce daného úseku bez přerušení provozu na této důležité trati.

Podrobné výsledky měření byly uvedeny ve zprávě [28] a závěry shrnuty do směrnice [29]. Výsledky měření byly též průběžně prezentovány prostřednictvím příspěvků na konferencích [30-32].

3.5

Aktivity a výsledky v rámci dílčího projektu SP1 a SP6

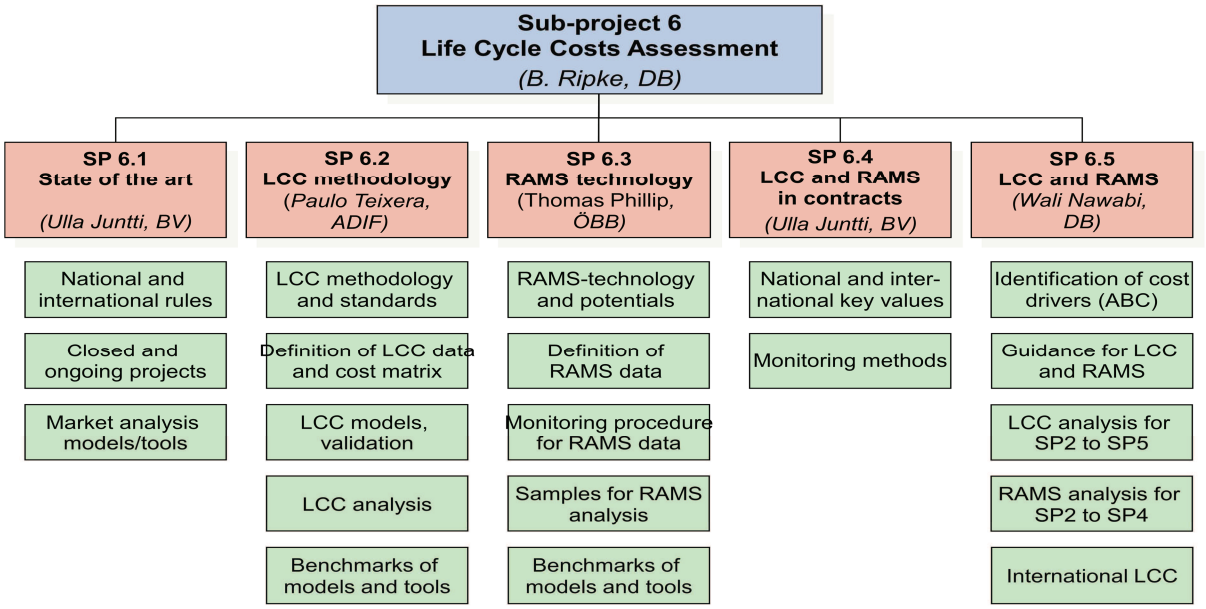
Zapojení zástupců ČD, později SŽDC do části dílčího projektu **SP1 – Provozní podmínky (Duty)**, spočívalo především v poskytnutí relevantních informací pro naplnění databází – databáze vozidel a databáze charakteristik tratí. Z těchto dat byly zpracovány, pro vozidla, databáze reprezentativních vozidel [D1.1.1.] a jejich charakteristik a databáze evropsky využitelných charakteristik vozidel D1.1.2. Pro tratě vznikla metoda pro převod naměřených veličin jednotlivých provozovatelů infrastruktury do segmentu „virtuální trať“ D1.2.1. Dále vznikly další upravené a zpracované databáze využitelné pro návrh využití LCC v jednotlivých segmentech tratí.

Dalším z výsledků bylo potvrzení evropsky typického rozložení údržbových prací majících největší vliv na tvorbu nákladů spojených s údržbou. Především v těchto segmentech je vhodné hledat technická řešení vedoucí k úspoře stanovené v začátku projektu. Jedná se o oblasti: Výhybky a výhybkové konstrukce, kolejnice (samostatně) a dále kolejový svršek (bez kolejnic). U všech těchto oblastí jsou hlavními příčinami vzniku závad problémy v přenosu energie mezi kolem a kolejnicí a dále pak neschopnost železničního spodku odolávat vlivům od provozovaných vozidel– závěrečná zpráva základních příčin problémových podmínek a priorit pro inovace D1.3.3.

Získaná data byla dále zpracována tak, aby v rámci dílčího projektu SP6 mohla být využita jako srovnávací hodnoty pro porovnání nově navrhovaných řešení porovnáním nákladů na údržbu po dobu životnosti (metoda LCC). Použitím LCC je dosaženo zajištění rovnováhy mezi technickým řešením a ekonomickými aspekty.

Zapojení do dílčího projektu **SP6 – LCC** nebylo v původních plánech ČD ani později SŽDC. Avšak vzhledem k tomu, že skupiny SP1 a SP6 pracovaly provázaně a koordinovaně, a to jak po stránce personální, tak po stránce provázanosti dat, naskytla se později možnosti se jednání skupiny SP6 zúčastňovat jako pozorovatel bez aktivní účasti. Této možnosti zástupce SŽCD využil.

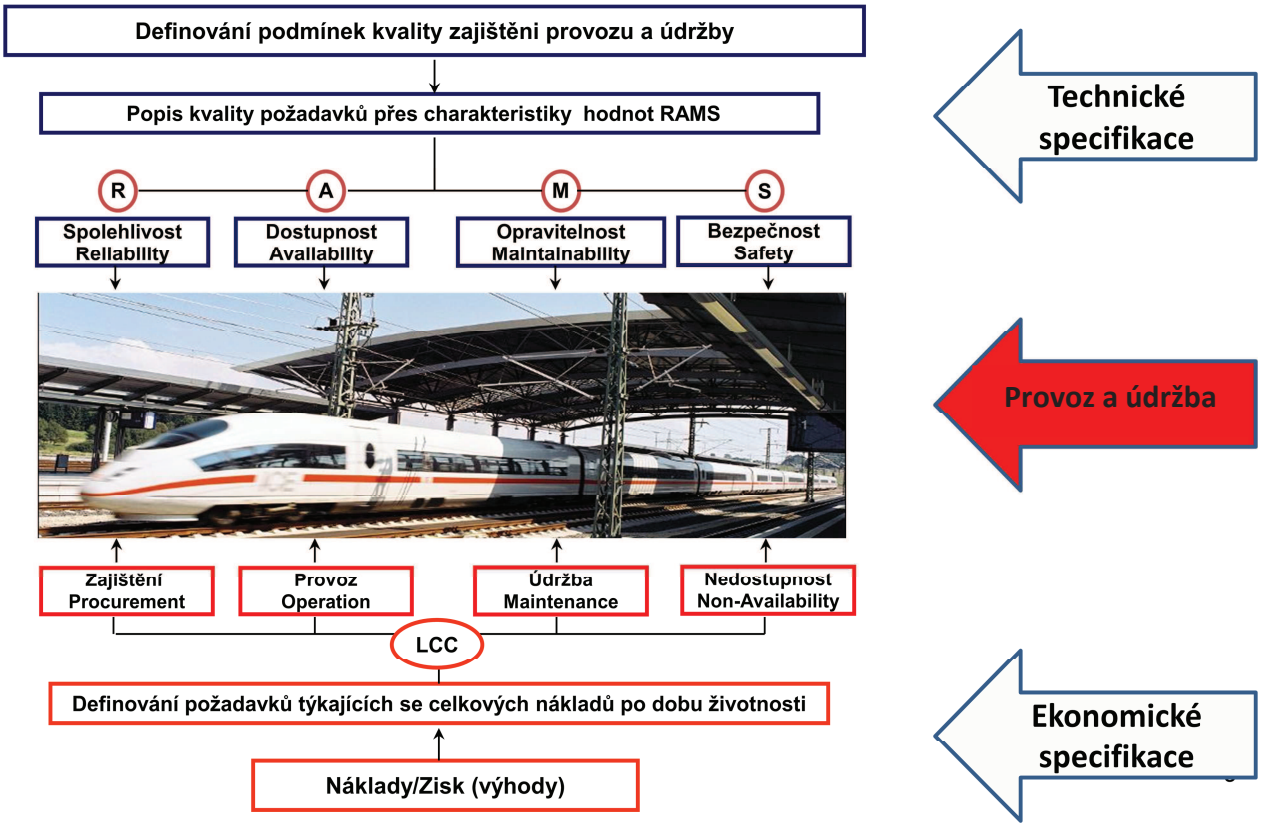
Specifikem této části projektu bylo zapojení se do ověřování praktických výsledků všech ostatních dílčích projektů INNOTRACK a to především v její druhé polovině, kdy se výsledky začaly hodnotit právě pomocí metody LCC. Rozpracování posouzení klíčových parametrů pro určení nákladů po dobu životnosti (LCC) bylo náplní právě dílčího projektu SP6. Jak byl projekt SP6 detailně členěn je zřejmé z přiloženého schématu (Obr. 32).



Obr. 32 Členění dílčího projektu SP6

Jednou z hlavních náplní dílčího projektu SP6 byla verifikace navržených řešení z jiných dílčích projektů ve vztahu k technicko-ekonomickému posouzení vhodnosti řešení. Základní technické specifikace v procesu jsou zastoupeny v přístupu RAMS (Reliability, Availability, Maintanalibity a Safety). Ekonomické specifikace pak zastupuje v projektu INNOTRACK metoda LCC. Jejich naplnění a spojení se prezentuje funkčním provozem. Provoz naopak určuje využití některých technologií. Struktura provozu, především pak vlakové pauzy, výrazně ovlivňují výše ostatních nákladů

spojených s údržbou. Vazba mezi provozem, technickými a ekonomickými specifikacemi je znázorněna na následujícím schématu (Obr. 33).



Obr. 33 Vazba mezi provozem, technickými a ekonomickými specifikacemi

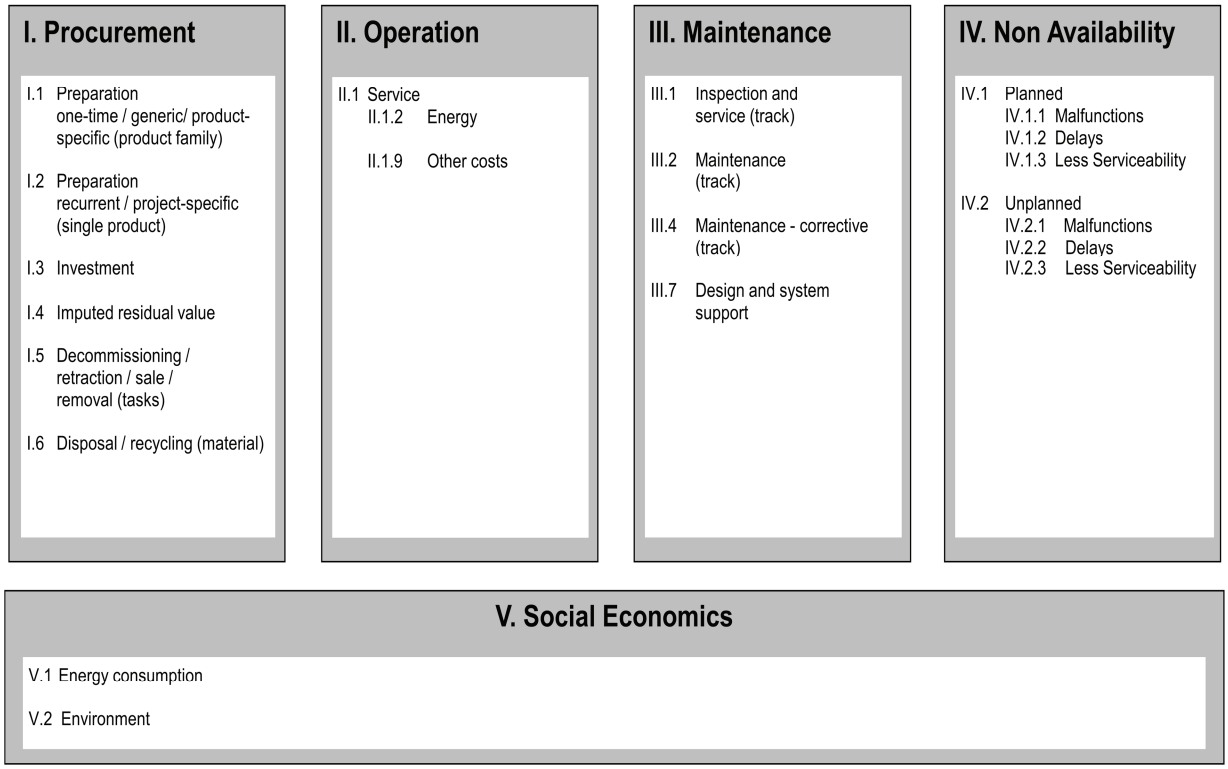
3.5.1

Co je to LCC?

LCC (Life Cycle Cost) je analýza technických a ekonomických potřeb pracující se sběrem, systematickou analýzou a cíleně orientovanou správou nákladů u všech technických řešení, produktů a postupů od první do poslední fáze (vznik a až úplná likvidace) jednoho životního cyklu (stavby, technického řešení). V průběhu výpočtu je stále počítáno s diskontní sazbou, která zásadně ovlivňuje výsledek výpočtu. LCC v porovnání s klasickou metodou porovnání výdajů a nákladů je více komplexnější a zahrnuje v sobě nejširší technicko-ekonomický pohled na danou problematiku. LCC je pro železniční odvětví výhodná minimálně ze dvou důvodů - jedná se o komplexní posouzení zhodnocení vložených finančních prostředků po dobu investice v řádech několika desetiletí a je to efektivní podpůrný nástroj pro závažná rozhodnutí při výběru technologií a postupů, zvláště jedná-li se o nové technologie. Avšak i u porovnání již více zažitých metod je LCC výrazným pomocníkem.

Jedním z důležitých bodů při práci s LCC je určení okrajových podmínek při zachování definovaných požadavků na kvalitu provozu a parametrů údržby. Jedná se o stanovení CBS (nákladové benefitová struktura), PBS (produktová benefitová struktura) a životních fází porovnávaných veličin. Tímto vzniká ve výpočetním modelu třírozměrná struktura pro výpočet vlastních LCC. Kvalitním stanovením těchto podmínek budou v kalkulaci LCC promítnuty veškeré náklady nejen na technické řešení, ale i náklady související se zajištěním provozu v době potřeby pravidelné údržby. Vše v požadovaných periodách. Základní strukturu vrcholové úrovně cenové matice ukazuje následující Obr. 34:

Cost matrix – top level



Obr. 34 Základní struktura vrcholové úrovně cenové matice

Jednotlivé parametry této cenové matice lze dále zpřesňovat. Jako příklad vezměme z matrice např. položku “investice”.

1.3 Investice

1.3.1 Prvotní investice

1.3.2. Re-investice

1.3.2.1. Materiál

1.3.2.2.Logistika

1.3.2.3.Výluky

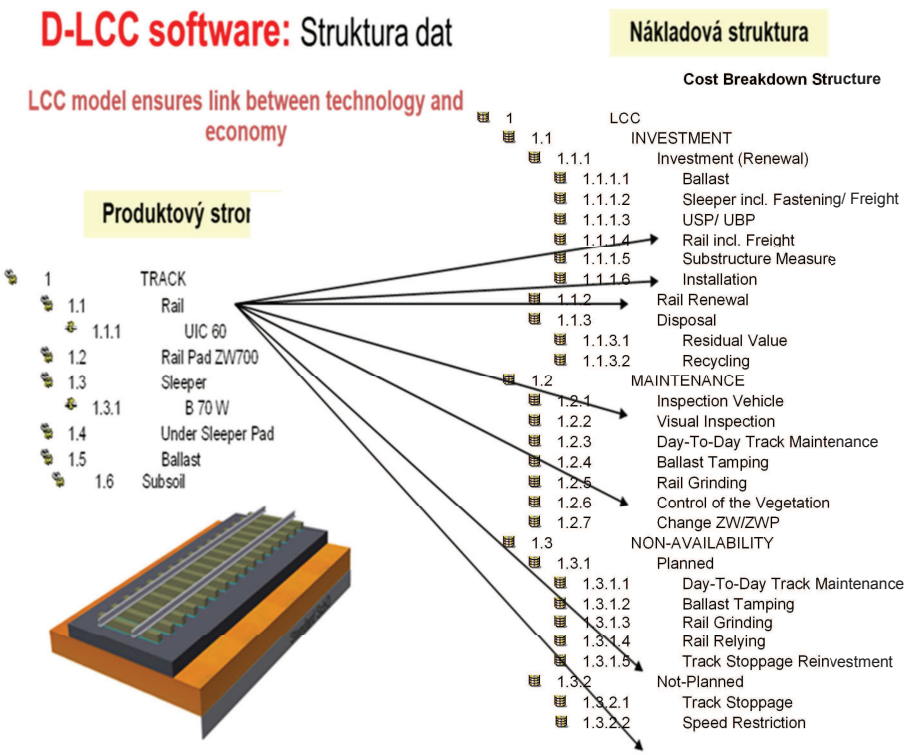
1.3.2.4. Vložení

1.3.2.5. Ostatní

Pro každý dílčí krok můžeme definovat náklady v čase, počty jejich opakování, vliv některých kroků na omezení/rozšíření rozsahu délky výluky atp.

Důležitým faktorem, který ovlivňuje výsledky posouzení LCC a se kterým je zapotřebí vždy počítat, je výše diskontní sazby, která je zahrnuta do všech výpočtů. Do výpočtů se zařazuje i vliv inflace.

Na dalším Obr. 35 je znázorněna část detailní struktury a provázanosti jednotlivých položek dat v program D-LCC.



Obr. 35 Část detailní struktury a provázanosti jednotlivých položek dat v program D-LCC

V rámci projektu INNOTRACK byla prezentována pracovní verze software D-LCC, který po zadání jednotlivých parametrů umožňuje tyto složité vztahy vypočítat a porovnat jednotlivá řešení mezi sebou. Výsledkem může být I grafický výstup. Program byl v době projektu v podstatě hotov, pracovalo se na jeho zjednodušení a řešila se možnost financování jeho šíření.

Jako zjednodušený příklad využití programu a prezentaci některých jeho výsledků uveďme porovnání dvou použitých technických řešení konstrukce železničního svršku - klasická konstrukce žel. svršku (příčné pražce ve štěrkovém loži) s novou konstrukcí pevné jízdní dráhy, představené v projektu INNOTRACK. Jedná se o konstrukci B-BEST se souměrnou kolejnicí společnosti Balfour Beaty.

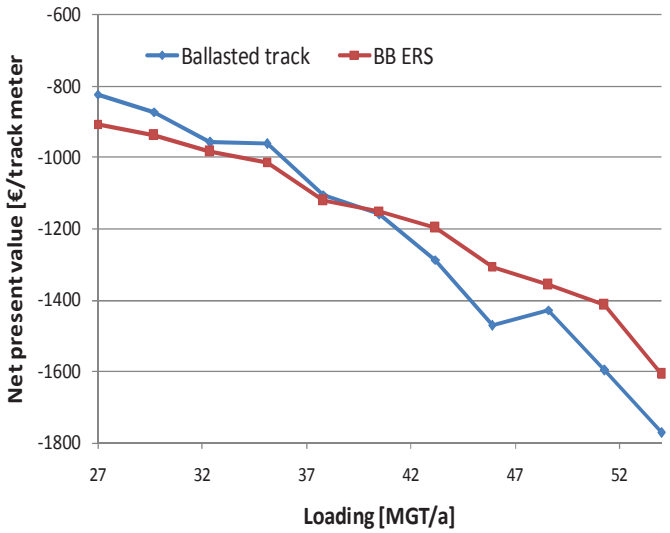
LCC – pevná jízdní dráha / klasický svršek

Parameter	Referenční konstrukce Klasický svršek	Nová konstrukce PJD B-BEST
Service life Track	40 years	≥ 60 years
Rail Type, Service life	UIC 60 20 years	BB ERS 36 years
Support of rail	Discrete	Continuously
Construction of track	Ballast	Concrete
Service life of elastic rail support	Change with sleeper after 40 years	Change with rail
Remark: estimated value for BB ERS		

Obr. 36 Základní charakteristiky jednotlivých systémů – část 1:

Cost block	Data structure	Referenční konstrukce Klasický svršek	Nová konstrukce PJD B-BEST
Investment	Euro Cycle Source Quality	515 – 600 €/Tm*) load dependent, nom. 40 year DB intern Experts / Analysis	644 - 827 €/Tm load dependent, nom. 60 year BB Estimation / Experts
Operation	Euro Cycle Source Quality	N/a	N/a
Maintenance Rail renewal	Euro Cycle Source Quality	154 – 202 €/Tm load dependent, nom. 20 year DB Intern Experts / Analysis	168-207€/tm + 68 €/tm supp. load dependent, nom. 36 year BB, DB intern Estimation / Experts / Analysis
Maintenance Rail grinding	Euro Cycle Source Quality	Load dependent load-, radius dependent , 3 year DB Intern Experts / Analysis	Same like ballasted tracks
Maintenance Track levelling	Euro Cycle Source Quality	Load dependent load dependent , nom. 4 year DB Intern Experts / Analysis	Consideration of one week point in soil

Obr. 37 Základní charakteristiky jednotlivých porovnávaných systémů – část 2:



Výsledky:

Graf znázorňuje vliv traťového zatížení na LCC.
V případě pevné jízdní dráhy byly zahrnuty náklady na dodatečnou úpravu zeminy.
V tomto případě jsou identické LCC dosaženy při 38 MGT / rok.
Pro vyšší zátěž jsou LCC pro pevnou jízdní dráhu nižší než pro relevantní štěrkové lože.
Bod zlomu nastává mezi 10 a 20 lety.

Obr. 38 Závěrečné grafické vyjádření výsledků:

3.5.2

Závěr:

Metoda LCC poskytuje přesná, interpretačně jasná data, která v sobě zahrnují veškeré náklady po dobu životnosti konstrukce (produktu) a zároveň v sobě zahrnují i další náklady vyvolané daným technickým řešením. Metodou lze mezi sebou porovnávat jednotlivá řešení daného problému a její pomocí hledat úspornější, však technicky funkční, varianty vedoucí k úspoře finančních zdrojů a to od fáze přípravy až po fázi úplného odstranění navrženého řešení po uplynutí jeho životnosti. Metoda LCC je u některých provozovatelů infrastruktury standardně používána při rozhodovacích procesech – jedná se především o DB. Nastavení klíčových parametrů je možno modifikovat na základě potřeb jednotlivých provozovatelů infrastruktury, nicméně LCC se jeví jako životaschopný nástroj porovnání jednotlivých procesů v rámci celé EU. K dosažení tohoto cíle je však potřeba na projektu ještě dále pracovat.

4. Využití výsledků projektu INNOTRACK zaměřené na další rozvoj železniční infrastruktury České republiky

4.1

Úvod

Primárně je nutné znát záměry rozvoje SŽDC v České republice. Následně lze analyzovat možnosti aplikace projektu INNOTRACK. Výstupy projektu INNOTRACK mohou být využitelné pro modernizaci ŽDC, která vychází ze skutečností uvedených v příloze č. 5:

- díky optimalizaci životního cyklu projektů je možná realizace projektů, které by jinak nebyly reálné (ekonomická efektivita projektu díky optimalizaci životního cyklu)
- díky přínosům aplikace závěru INNOTRACK bude tažena ekonomika projektu
- optimalizace údržby jako taková

Projekt INNOTRACK, jeho náplň a rozsah, s sebou přinesl nové pohledy, poznatky, výměnu zkušeností a možnost vyzkoušet nové postupy, metody a technologie v části oblasti železniční infrastruktury. Na druhou stranu není možné jeho výsledky chápat jako dogma a beze zbytku přijímat zpracované závěry jako jedinou možnou správnou cestu při rozhodování a řešení vlastních potřeb a problémů, vždy je potřeba toto nové přijímat s rozvahou a zdravým rozumem.

4.2

Metody zlepšování kvality pražcového podloží

Při zpracování zprávy o metodách zlepšování pražcového podloží (Deliverable D2.2.1) bylo zřejmé že česká strana má s uvedeným tématem bohaté zkušenosti a má co v této oblasti nabídnout. Pozitivním zjištění rovněž byla rozmanitost a variabilita metod používaných u nás, která z výsledků zprávy vyplynula. Je potřeba říci že je to hlavně zásluhou modernizace koridorových tratí a v neposlední řadě i variabilními geologickými a geotechnickými podmínkami, na které bylo potřeba při výběru vhodné metody reagovat.

Co je pro naši stranu především přínosné, je možnost konzultace, konfrontace a diskuse nad použitím daných metod u jednotlivých zúčastněných členů řešení projektu, rovněž i inspirace pro variantní použití apod. To je i případ námi použitého výztužného prvku v kolejovém loži, který je v našich podmínkách dále testován. Na základě prvního zkušebního úseku u žst. Blovice byl z naší iniciativy zřízen další zkušební úsek v žst. Holýšov, kde přímo ve staniční koleji je testován vliv vyztužení pomocí geokompozitu s geomřížkami čtvercového i moderního trojúhelníkového tvaru. Pro účely použití v ČR a případného zařazení mezi standardní řešení je potřeba objektivně vyhodnotit dosažené výsledky a

především stanovit i související záležitosti pro výběr vhodného prvku podle místních podmínek, způsob instalace, apod. Rovněž se tady stále nabízí možnost diskuse o výsledcích s kolegy z projektu.

Jako možnost se nabízí i použití metod, které u nás použity doposud nebyly, ovšem je třeba přihlédnout k jejich technologické i finanční náročnosti a relevantně posoudit, zda pro případné použití u nás je vůbec reálné o nich uvažovat.

4.3

Diagnostika stavu pražcového podloží

V oblasti diagnostiky stavu tělesa železničního spodku, případně stavu trati, projekt přinesl soubor metod a systémů, které je možné pro tyto účely využít. V této problematice byla opět provedena i praktická aplikace vybraných souborů metod a nám to přineslo příležitost vyzkoušet v našich podmínkách zařízení u nás nepoužívané (vůz RSMV). Dosažené výsledky bylo možné přiřadit ke zjištěním získaným metodami u nás používanými a jednoznačně rozšířilo poznatky o stavu měřených traťových úseků.

Studium a příklady používání diagnostiky v rámci projektu INNOTRACK ukázaly, že bez této činnosti se žádný správce železniční infrastruktury neobejde, protože pro rozhodování nutně potřebuje znát co nejobjektivnější informace o stavu infrastruktury.

Náklady na pořízení a používaní diagnostických prostředků jsou nemalé, a proto je potřeba pečlivě uvážit, jakou cestou se ubírat. Nutné je vyjít ze současného používaného systému, ze kterého je potřeba získávat maximum informací a zároveň jej i dále rozvíjet. Úplně nové diagnostické prostředky, se kterými jsme se v projektu seznámily, představují vysoké finanční náklady na pořízení, ale je potřeba mít na zřeteli, že se nejedná jen o jejich nákup, ale i o náklady na jejich začlenění do praxe. U SŽDC je dlouhodobě rozvíjeno používání komplexu nedestruktivních metod na bázi geofyziky, v současné době především georadaru. Tyto se v našich podmínkách osvědčily a v současnosti jsou činěny další zásadní kroky pro jejich masovější nasazení a využívání jejich výstupů, což se jistě ukáže jako relevantní řešení v současné ekonomicky obtížné době.

4.4

Dílčí projekty SP1 a SP6

Jedním z významných bodů projektu INNOTRACK bylo zapojení mimo provozovatele infrastruktury jednotlivých členských států i výrobců jednotlivých komponentů. V průběhu projektu byla členům zveřejněna některá technicko-ekonomická data výrobců, na jejichž základě se mohla navržená řešení porovnat opravdu v reálných číslech (náklady na výrobu, prodejní ceny).

Spolupráce provozovatelů infrastruktury a výrobců je v podstatě možná. Je však nutno nastavit model, kdy provozovatel infrastruktury definuje svoje přesné potřeby a výrobce na ně reaguje výzkumem takových řešení, která jsou např. netradiční, ale plně funkční a ekonomicky výhodná. Není možno být nadále výrobci zneužíván a nucen k odebírání jimi produkovanými výrobky v jejich kvalitě a návrhu.

Naopak projekt INNOTRACK ukázal, že některá prezentovaná řešení jsou výrobci prezentována jako tendenční v jejich prospěch a velmi záleží na jejich interpretaci. Rovněž nastavením některých okrajových podmínek lze ovlivnit posouzení „tak aby to vyšlo“, nicméně použité modely v projektu INNOTRACK toto dostatečně ochránily.

V rámci diskusních fór projektu bylo mezi provozovateli infrastruktury diskutováno mnoho dalších témat, ale především praktických zkušeností provozovatelů infrastruktury, které se přímo v projektu INNOTRACK neobjevily.

V součtu s těmito tématy lze vyvodit některé závěry, vedoucí ke snížení nákladů na výstavbu a údržbu železniční infrastruktury v ČR.

Pokud tedy chceme zahájit proces snižování nákladů na výstavbu a údržbu železniční infrastruktury v České republice, musí dojít především:

- ke změně pohledu a přístupu k železniční infrastruktuře jako k celku,
- nastavení dlouhodobé státní koncepce tak, aby tato koncepce nebyla ovlivňována politickými boji a mocenskými hrami. Nekoncepčnost vede často k výběrům řešení, která jsou již za několik málo let technicky zastaralá, parametry neodpovídají možnostem zapojit se do mezinárodních vazeb,
- změna finanční politiky do dopravní infrastruktury. Pokud je jedinou ortodoxní snahou vlády ušetřit nyní na vstupních nákladech do infrastruktury za každou cenu, v některých případech budoucí generace může za provoz a údržbu těchto zařízení zaplatit mnohonásobně více. Pokud je snahou vlády naopak prosazovat neúměrně drahá a nefunkční řešení, je i toto špatně (např. zvedací most nad Labem v Kolíně),
- dokončení úpravy majetkových vztahů mezi jednotlivými subjekty,
- zrychlení a zpružnění tvorby zákonů a vyhlášek, které umožňují snadné zavádění moderních výrobků a technologií do praxe,
- omezit, na rozumnou úroveň, vliv nevládních organizací na tvorbu a realizaci vybraných řešení. Železnice musí být vždy chápána jako obecně prospěšná stavba. Nevládním organizacím musí být srozumitelně a jasně objasňovány specifika železniční dopravy,
- změnit vliv průmyslových lobby. Provozovatel infrastruktury je mnohdy závislý na zvůli výrobců. Provozovatel Infrstruktury musí zadávat požadavky a výrobce na ně musí reagovat svou nabídkou, ne naopak,
- Provozovatel infrastruktury musí mít možnost porovnávat místní výrobce s výrobci zahraničními,
- v rámci platnosti pravidel interoperability umožnit proces využívání konstrukcí a technologií v zahraničí nasazených v rutinním provozu,
- otevření se ostatním evropským trhům tak, aby proces schvalování technických řešení neblokoval soutěž firem ve veřejných zakázkách,
- jediné kriterium nejnižší cena u veřejných nabídek nemusí vždy přinášet nejvhodnější technická řešení,
- nevhodné řešení rozdělení provozovatele infrastruktury, dopravce a jiné subjekty,
- nelze brát odděleně investice do nové infrastruktury a náklady na její údržbu, provozování železniční cesty a provoz kolejových vozidel po této cestě (problematika styku kola a kolejnice),
- již ve fázi projektové přípravy je nutno mít jasno, co se od investice nebo opravy očekává. Úspora nákladů v této fázi se může projevit několikanásobně vyššími náklady při realizaci, kdy je nutno některé parametry v rámci výstavby, nebo v blízké době nutno měnit,
- nutnost zavedení využití posouzení pomocí LCC jako standardního procesu pro všechny rozhodovací procesy při práci provozovatele infrastruktury,
- LCC zahrnout jako další posouzení ekonomického hodnocení investic jakéhokoliv druhu,
- vyšší podíl monitoringu infrastruktury pomocí nových technologií,

- jednoznačné a uzákoněné dodržování pravidelné údržby vedoucí k pomalejšímu rozvoji některých vad. Výhody tohoto přístupu může prokázat metoda LCC.

4.5

Výstupy z projektu INNOTRACK a průmysl

Poznatky získané z řešení projektu INNOTRACK jsou uplatňovány u výrobců, kteří je dokáží dále rozvíjet při návrhu zcela nových produktů nebo je aplikují pomocí vhodné formy technických inovací do stávajících řešení. K těmto se bezesporu řadí také společnost DT - Výhybkárna a strojírna, a.s. Prostějov (dále jen DT), která patří mezi významné producenty železničních a tramvajových výhybek a výhybkových konstrukcí dodávaných nejen pro SŽDC, s.o., ŽSR, dopravní podniky, ale i pro zahraniční zákazníky z celého světa. Aplikace poznatků získaných z výstupů z projektu INNOTRACK je součástí Přílohy č. 6.

Převážná část dílčího projektuSP3 „Výhybky a výhybkové konstrukce“ byla věnována vývoji a aplikaci včasné a přesné diagnostiky zaměřené na sběr dat z konstrukce vložené do kolejiště bez nutnosti přerušovat provoz. Pro správce infrastruktury je finančně výhodné vady detekovat a odstraňovat v co nejkratší době po jejich vzniku, kdy jsou vady ještě plně nerozvinuté a neohrozí tedy bezpečnost provozu. Jejich odstranění je navíc finančně i časově nenáročné. V rámci projektu vznikly dva zkušení úseky (Švédsko, Německo), kde probíhají praktické zkoušky.

5. Snížení nákladů na výstavbu a údržbu železniční infrastruktury v České republice

5.1

Investiční náročnost

Jedním z hlavních ukazatelů při posuzování efektivnosti investic do dopravních staveb jsou investiční náklady na jednotlivé stavební akce. Dalším důležitým ukazatelem je kvalita realizovaných staveb, která podmiňuje délku jejich životnosti v provozuschopném stavu. Kvalita staveb v mnoha případech není dostatečná, což se projevuje v nákladech na potřebnou údržbu. Proto je nutné nastavit efektivní kontrolní mechanizmy a stanovit konkrétní odpovědnost jednotlivých subjektů a osob. Ve strategických materiálech MDČR a SŽDC s.o. je sice pamatováno na snižování investiční náročnosti železničních staveb a zajišťování kvality a tím i konkurenceschopnosti, ale přijímaná opatření jsou realizována velmi pomalu a hlavně zatím nepřinášejí potřebné výsledky. Za velmi přínosné lze považovat, že kniha 7 Sektorové strategie obsahuje zásady hodnocení finanční náročnosti projektů železniční infrastruktury. Jedná se nejenom o vytipování projektů, jejichž finanční náročnost neodpovídá dopravním ani celospolečenským přínosům, ale i o návrh na úpravu těchto projektů v další fázi předrealizační přípravy.

Investice do výstavby a obnovy dopravní infrastruktury jsou významnými položkami veřejných rozpočtů. Optimalizace vkládaných prostředků do výstavby, ale i údržby je prioritou. Optimalizace rozhodovacích procesů,

hledání technických standardů staveb, materiálů vedoucích ke snížení nákladů výstavby a souběžné nastavení úrovně údržby infrastruktury, podpořené kvalitní diagnostikou, která umožňuje správné načasování údržby, opravy či rekonstrukce, jsou předpokladem rozvoje dopravní infrastruktury v rámci omezených zdrojů financování. Další oblastí je hledání stabilních zdrojů pro financování oprav, údržby a rozvoje dopravní infrastruktury. Výrazné omezení finančních zdrojů využitelných pro výstavbu nové infrastruktury dopravních cest a dopravních terminálů nutí stále více vytvářet podmínky pro partnerství veřejného a soukromého sektoru (projekty PPP).

Předpokladem hospodárnosti a vyšší kvality železničních staveb je rozšíření znalostního systému aktualizovaných technických předpisů, harmonizovaných norem a osvojení nových technologií, které vycházejí z aplikovaného výzkumu. Zároveň je nutné zvýšit efektivitu kontrolních mechanizmů a vypracovat kritéria efektivní údržby železniční infrastruktury. Neprodleně je nutné zavést nezávislou expertizu nákladů staveb sledující efektivitu a účelnost vynakládaných zdrojů v celém životním cyklu projektu.

5.2

Urychlení přípravy staveb

Dopravní infrastruktura je nákladná a dlouhodobá investice, a proto posouzení jednotlivých variant včetně hodnocení vlivu na životní prostředí musí být důkladné a s účastí veřejnosti. Celý proces je vždy náročný a může probíhat jen za předpokladu konstruktivního přístupu všech stran. Samotný proces EIA a SEA by neměl být vnímán jako nástroj k zablokování procesu přípravy a realizace, ale jako nástroj k optimalizaci posouzení dopadů záměru na životní prostředí a obyvatelstvo a k výběru environmentálně příznivé varianty. Nejlevnější řešení nemusí být vždy řešení optimální.

Z hlediska zapojení veřejnosti je nejdůležitější fází územní plánování, procesy SEA a EIA. I v územním řízení musí mít veřejnost dostatečný prostor pro uplatnění požadavků, mělo by se však jednat o požadavky, které nebylo možné zohlednit v předchozích fázích projednání. Procesy musí být nastaveny tak, aby jednou schválený a uzavřený proces se znovu neotvíral a nevracel na počátek. To by vedlo k velkým celospolečenským ztrátám a časové prodlevě v přípravě staveb. Lhůty pro možnost zahájení soudního přezkumu vydaných rozhodnutí musí být časově omezené.

Předpokladem racionalizace zmíněného procesu je novelizace právních předpisů, které tuto oblast upravují.

5.3

Úspory při přípravě a realizaci staveb

Příprava a realizace železničních staveb je náročná a v celém procesu bude vždy dostatek prostoru pro hledání úspor. Důležitou oblastí pro úspory je navrhování odůvodněných parametrů železniční infrastruktury. Parametry vždy musí odpovídat dopravním prognózám. V případě železniční infrastruktury má propustnost odpovídat prognózovaným výkonům a zároveň kritériím předepsaným evropskými směrnicemi. Dalším faktorem, který zvyšuje cenu staveb, je rozsah vyvolaných investic, pomocí kterých samospráva, jako neopomenutelný účastník územních a stavebních řízení, podmiňuje vydání souhlasu vybudováním jiných investic, které funkčnost řešené stavby přímo nepodmiňují.

Ekonomická recese v minulých letech přiměla hledat možnosti úspor v rozpočtech na jednotlivé stavby. Jedním z témat byla i vyšší transparentnost podmínek pro výběr zhotovitele staveb, která měla mít za cíl elektivní veřejné výběrové řízení, a tím snížení ceny díla. Obecně je tento přístup vítaný, ovšem v některých případech bylo nastavení

těchto pravidel spíše kontraproduktivní. Jedním z těchto problémů je možnost operativních změn technického řešení, které bylo vyvoláno nepředvídatelnými okolnostmi při stavbě.

Výběr zhotovitelů a projektantů staveb v souladu se zákonem o veřejných zakázkách je klíčový z hlediska dosažení optimální nabídky. Ne vždy je výběr zhotovitele na základě nejnižší ceny optimální, důležité je především splnění kvalifikačních kritérií a tím zajištění potřebné kvality díla. Do budoucna je však nutné počítat s tím, že při posuzování nabídek na projekt i realizaci stavby bude hrát významnou roli veličina, která představuje celoživotní náklady stavby.

5.4 *Hospodárnost při výstavbě*

Resort stavebnictví je jedním z největších spotřebitelů přírodních zdrojů. V budoucnu se musí podstatně lépe hospodařit se všemi, zejména neobnovitelnými, materiálovými a energetickými zdroji. Podklady pro poznání materiálových a výrobních toků pro jednotlivé druhy staveb lze získat z analýzy celoživotního cyklu staveb. Takováto analýza se již dnes uplatňuje v řadě vyspělých zemí. Zahrnuje v sobě kromě jiného také dopady na mikroklima, na okolní infrastrukturu, vytváří předpoklady pro řešení vnějšího prostředí vyšších celků, zdravotních a bezpečnostních faktorů obyvatel. V evropských zemích budou problémy stávajících i nových staveb společné, zejména v oblasti parametrů týkajících se energetické bilance, požadavků na životní prostředí a úspornosti materiálových zdrojů. Analýza celoživotního cyklu staveb umožní stanovit skutečné hodnoty staveb a technologií a případně vyčíslit ztráty při nesprávném hodnocení jednotlivých plánovacích systémů. Proto je třeba zdůraznit, že zavádění této analýzy je úkolem všech účastníků investičního procesu, včetně bankovních ústavů.

5.5 Nový přístup k projektování staveb

Nové pojetí spočívá v navrhování staveb od těžby materiálů a výroby stavebních prvků pro stavby až po ohodnocení pozůstatků staveb po skončení jejich životnosti. Jde o systém navrhování, který se uplatňuje jako uzavřený materiálový cyklus s nejvyšší návratností materiálů, použitých na stavbách, do nového koloběhu. Filosofie uzavřeného cyklu vytváří podmínky pro vývoj méně škodlivých technologií realizace staveb. V podstatě jde o znovuvyužití všech materiálů, které byly do stavebního procesu vloženy. Cílem je stoprocentní recyklace všech v úvahu přicházejících materiálů z demolovaných staveb. Nové pojetí projektování tedy vyžaduje mimo jiné také zásadní projektovou přípravu recyklační fáze. K tomu však bude nutno prohloubit znalosti projektantů v oblasti krajinotvorby, místních energetických zdrojů a klimatických procesů. Směr nového projektování je nastolen, má své oprávnění a měl by být proto i výzvou pro věcně příslušné vysoké školy.

5.6 Náklady provozování staveb

Stále více se prosazuje myšlenka zahrnovat do nákladů na pořízení stavby celý cyklus života stavby. To znamená všechny stádia navrhování, provádění, provozu až po její demolici a zhodnocení pozůstatků po stavbě. Jde o provádění celkové analýzy celoživotního cyklu stavby a ekonomické rozvahy o nákladech. Počátek úvah o zavádění této analýzy spadá do doby, kdy vznikly problémy při hledání optimálního financování staveb veřejného sektoru. Vyplývá to z toho, že ani nejbohatší země nemají dostatečné prostředky na krytí požadovaných investic ze svých rozpočtů. Systém ekonomické rozvahy o nákladech stavby umožňuje v případě státních zakázek účast soukromého sektoru, neboť zajistí všechny potřebné podklady o investiční náročnosti zakázky. Na základě toho se partneři mohou rozhodovat, zda do investice vložit své prostředky nebo nikoliv. Hlavním problémem je přesnější vyjádření nákladových položek, které je nutno specifikovat v rámci návrhu stavby. Jde o optimalizaci nákladů v období provozu, nákladů na údržbu a cyklus oprav, případně výměn dožitých konstrukcí. Je zřejmé, že právě v těchto cyklech provozu stavby mohou být dosaženy největší úspory.

Postupné zavádění ekonomických rozvah o nákladech staveb bude přinášet přesnější data, která umožní přesnější vyjádření celkových nákladů na stavby. V této oblasti by měly vyvíjet aktivitu především investiční útvary státních

zakázek ve spolupráci s projekčními organizacemi. Je známo, že projektová dokumentace dopravních staveb financovaných ze zdrojů Státního fondu dopravní infrastruktury podléhá odborné expertize. Její úroveň a rozsah ve vztahu k nákladům během celoživotního cyklu stavby se jeví jako nedostatečný. Postupné zlepšení úrovně a změna rozsahu prováděných expertiz jsou řešitelné intenzivnější spoluprací investorů a projekčních organizací např. s vysokými školami.

5.7

Využití výsledků projektu INNOTRACK (dílčí projekty SP1 a SP6) pro snížení nákladů na výstavbu a údržbu železniční infrastruktury v České republice

Posouzení sledováním nákladů po dobu životnosti mohou být podrobena téměř všechna rozhodnutí, nebo alespoň většina rozhodnutí, která provozovatel infrastuktury činí. Základním krokem k tomuto využití je naučit se stanovovat hraniční podmínky a možnost porovnávat řešení mezi sebou – vždy mít reálný vztažný model.

V současné době začíná na tratích, kde je přes den vysoká frekvence osobní a v nočních hodinách vysoká frekvence nákladní dopravy, ubývat čas vhodných vlakových pauz, které by šly využít k pravidelné údržbě, pokud je tato prováděna. V budoucnu budou tato volná okna ještě vzácnější, možnost údržby bude v podstatě nulová. Pomocí RAMS a LCC lze zvolit správné metody oprav, rekonstrukcí a technologických postupů o investičních a opravných pracíchvedoucích k tomu, že nás tento parametr nebude natolik omezovat.

Jedním z trendů je trať, po které se pohybují inspekční vlaky, pravidelné úkony jsou prováděny rovněž pomocí pohybujících se strojů, jejichž rychlost práce roste. Příkladem může být vysokorychlostní broušení, které „nereprofiluje“ poškozenou hlavu kolejnice, ale svými účinky pouze koriguje drobné vznikající vady hlavy kolejnice.

Metoda LCC nepřináší žádné konkrétní kroky vedoucí ke snížení nákladů na výstavbu a údržbu železniční infrastruktury. Je však rozhodně nástrojem, který efektivně a objektivně pomůže porovnat, kam dlouhodobě jednotlivá navržená řešení povedou a to ve vztahu k efektivnosti vynaložených nákladů. Nejen v době realizace, ale i v průběhu celého životního cyklu stavby.

5.8

Doporučení

Metoda LCC by měla jednoznačně doplnit současně používané metody posouzení efektivnosti vynaložených finančních prostředků vkládaných do železniční infrastruktury v ČR. Tomuto je potřeba přizpůsobit národní legislativu a následně interní předpisy a směrnice SŽDC. Proces integrace LCC jako metody uznávané v rámci celé Evropy je započat, je jen otázkou času, kdy bude rozpracován natolik, aby jej mohl převzít jakýkoliv členský stát tak, aby s jeho pomocí bylo možno vyhodnocovat např. i efektivní vynakládání peněz EU pro státy bývalého východního bloku. Není ještě jasné, zda se zvolí přístup DB, která je v této oblasti pravděpodobně nejdále. U vyspělých evropských železnic je nějaká modifikace LCC, pokud se nejedná o LCC v pravém slova smyslu, již dnes využívána a nakonec nebude až tak důležité, o čí základy se tato metoda nakonec bude opírat. Důležité je, že se tímto směrem bude posuzování efektivnosti ubírat. A na to bychom měli být připraveni.

6. Technologická platforma "Interoperabilita železniční infrastruktury" - spolupráce

Technologická platforma "Interoperabilita železniční infrastruktury" jako organizační forma spolupráce Operačního programu podnikání a inovace podporuje přípravou a realizací konkrétních aktivit rozvoj podnikání českého průmyslu - železničního stavebního průmyslu, průmyslu produkujícího sdělovací a zabezpečovací zařízení a průmyslu zajišťujícího elektrizaci železnic. Hlavním nástrojem jsou inovace, sledovaným přínosem posílení konkurenceschopnosti a související komerční úspěšnosti průmyslových společností sdružených v Technologické platformě.

V návaznosti na zaměření činnosti se Platforma podílí na formulaci obsahu a stanovení cílů evropských projektů orientovaných na rozvoj železniční infrastruktury a věcně souvisejících železničních i dopravních projektů, jejich řešitelském zabezpečení a na přípravě podmínek pro aplikaci výsledků jejich řešení v železniční průmyslové a provozní praxi, jako jedné z účinných aktivit jejich celkového komplexu organizovaných a zajišťovaných Technologickou platformou. Tato skutečnost byla východiskem i pro účast Platformy a jejích členů na vyřešeném evropském projektu INNOTRACK, přípravě projektu MAINLINE v současném období řešeném s věcně navazujícím obsahem, v novém projektu předloženém v rámci poslední výzvy 7. Rámcového programu výzkumu a vývoje (7RP) "Nový koncept evropské železniční infrastruktury".

Platforma se rovněž podílí na přípravě témat zaměřených na další rozvoj evropské železniční infrastruktury budoucího programu Horizon 2020.

Projekt INNOTRACK je prvním velkým evropským projektem sledujícím rozvoj systémů i prvků evropské železniční infrastruktury. Tato skutečnost byla inspirací pro účast českých spoluřešitelů tohoto projektu s orientací na řešitelský příspěvek v rámci

- teoretické části řešení a souvisejícího modelování
  - *Fakulta dopravní ČVUT*
- experimentů, zkoušek a ověřování
  - *Fakulta stavební ČVUT*
- geofyzikálních metod diagnostiky železniční infrastruktury
  G-Impuls

i

- organizačních a koordinačních činnostech usměrňujících práce na projektu
  - *České dráhy - Správa železniční dopravní cesty*

Česká spoluřešitelská účast, charakter šíře věcných výstupů projektu byly pro Technologickou platformu hlavním východiskem pro volbu forem a věcné zaměření spolupráce i doporučený výběr výsledků projektu navrhovaných k aplikaci v podmínkách české železniční infrastruktury vč. časových etap této aplikace. Dále zhodnocení celkového podílu českých spoluřešitelů na dosažení cílů projektu a souvisejícím vyhodnocení jejich zkušeností jako předpokladu pro účast na věcně navrhovaných formulacích zadání projektů předkládaných do národních programů a výzkumných témat, která jsou navrhovaná v rámci přípravy programu Horizon 2020.

Uvedené návrhy budou rovněž využívány jako podklad pro aktualizaci Implementačního akčního plánu Technologické platformy.

Pracovní podíl řídícího týmu a sekretariátu Technologické platformy na projektu INNOTRACK:

- Příprava podmínek pro účast českých řešitelů na projektu INNOTRACK, součásti evropského Rámcového programu výzkumu a vývoje, v součinnosti s vedoucím projektu Dr. Korpancem (odpovědným pracovníkem instituce, která projekt předložila - Mezinárodní unie železniční) a upřesnění věcného zaměření české účasti na projektu INNOTRACK s později jmenovaných vedoucím projektu Dr. Paulsenem
- zajištění koordinační role předsedou Správní rady Technologické platformy prof. Jírou v rámci české účasti v projektu INNOTRACK
- Příprava a zajištění cyklu akcí sledujících výběr výsledků a návrh časových fází jejich aplikace, podíl na přípravě jejich implementace v podmínkách české železniční infrastruktury, její výstavby, modernizace a údržby
- Mezinárodní vědecká diskuse s účástí pracovníků UIC podílejících se na řízení prací na projektu INNOTRACK a přípravě podmínek pro "evropskou" aplikaci výsledků jeho řešení v průmyslové praxi a provozní praxi železničních podniků
- Zpracování Studie zaměřené na český řešitelský podíl na projektu INNOTRACK a dosažení jeho celkových výsledků i jejich využití v podmínkách české železniční infrastruktury
- Seminář, jeho diskuse, zaměřená na komplexní využití závěrů a poznatků Mezinárodní vědecké diskuse a navazující Studie především spojených s rozšířením poznatků ve výuce na vysokých i středních odborných školách a zaměření diplomových i doktorských prací na vysokých školách
- Technologická platforma vyvolala jednání s odpovědnými vedoucími pracovníky projektu INNOTRACK o věcných souvislostech obsahu a výsledků řešení tohoto projektu s projekty majícími navazující věcné zaměření
- řešeným evropským projektem MAINLINE (s účastí společnosti SKANSKA - členem Technologické platformy)
- připraveným projektem "Nový koncept železniční infrastruktury" předloženým v rámci 6. Výzvy 7. Rámcového programu výzkumu a vývoje (včetně přípravy české účasti prostřednictvím subdodávky členu konsorcia, který má dílčí odpovědnost za část řešení navazující na věcný obsah české řešitelské nabídky)

Návrhy závěrů a doporučení aktivit Technologické platformy spojených s účastí v projektu INNOTRACK a využití jeho výsledků budou projednány s funkcionářem Správy železniční dopravní cesty pověřeným koordinovat spolupráci s Technologickou platformou. Současně budou informováni experti Správy pověření sledovat a usměrňovat spolupráci s Technologickou platformou v jednotlivých věcných oblastech její činnosti. O záměrech a doporučeních cyklu akcí Technologické platformy, spojených s výsledky projektu INNOTRACK bude rovněž informován ředitel Odboru drah, železniční a kombinované dopravy Ministerstva dopravy. Součástí uvedených jednání Technologické platformy s představiteli a experty Správy železniční dopravní cesty a Ministerstva dopravy bude doporučení výstupů projektu INNOTRACK, především výsledků projektu z oblasti železničního spodku, spojených s konkrétními výsledky účasti českých spoluřešitelů projektu.

Příloha č. 1 Seznam členů řešitelského týmu projektu INNOTRACK – dodám, pokud ho nezpracoval někdo jiný

Seznam členů řešitelského týmu projektu INNOTRACK

Evropské asociace	
UIC (koordinátor projektu)	European Federation of Railway Trackwork
UNIFE	
Železniční podniky a organizace	
ADIF / Spain	ProRail / Netherlands
Banverket / Sweden	Rail Safety & Standards Board / UK
ČD / Czech Republic	RFF / France
DB Netz / Germany	SNCF / France
Network Rail / UK	**SŽDC / Czech Republic**
ÖBB / Austria	
Podniky železničního průmyslu	
Alstom / France	**G-Impuls / Czech Republic**
ARTTIC / France	Goldschmidt Thermit / Germany
Balfour Beatty Rail / UK	Speno International / Switzerland
Carillion / UK	TenCate Geosynthetics / Austria
Contraffic / Germany	VAE / Austria
Corus / UK	voestalpine Schienen / Austria
Damill / Sweden	Vossloh Cogifer / France
Univerzity a výzkumné ústavy	
Chalmers University of Technology / Sweden	University of Birmingham / UK
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées / France	University of Karlsruhe / Germany
Manchester Metropolitan University / UK	University of Newcastle / UK
Praha Technical University (ČVUT) / Czech Republic	University of Southampton (ISVR) / UK
TU Delft / Netherlands	

Příloha č. 2 Závěry z Mezinárodní vědecké diskuse konané dne 30.11.2012 na ZC VUZ Velim

Účastníci Vědecké mezinárodní diskuse doporučují:
A)

- Ministerstvu dopravy ČR,
- Správě železniční dopravní cesty, s.o.
- výrobcům materiálů, technologií a diagnostických prostředků,
- zhotovitelům prací na železničním svršku i spodku při investiční výstavbě i údržbě tratí,
- projektovým, výzkumným a zkušebním ústavům,
- technickým univerzitám.

1) Co nejširší využití výstupů z projektu INNOTRACK v rámci České republiky, především pak výstupů prezentovaných z oblasti železničního spodku, jejich promítnutí do technických předpisů a případně norem.

2) Nedestruktivní diagnostiku železničního spodku využívat
   - při přípravě staveb a jako průkaz kvality při přejímce staveb a při skončení záruční lhůty,
   - v průběhu životnosti monitorovat stav železniční spodku jako podkladu pro včasné plánování údržby tratí.

3) Účast českých subjektů na mezinárodních akcích připravovaných UIC v roce 2013 v návaznosti na projekt INNOTRACK:
   - Jaro 2013 - konference k problematice LCC a RAMS v oblasti železniční infrastruktury,
   - V prvním pololetí 2013 Seminář UIC k problematice řešení v projektu INNOTRACK, SP2 „Track support structure“.

B)
Technologické platformě „Interoperabilita železniční infrastruktury“:

- Zajistit překlad do češtiny všech prezentací přednesených na dnešní diskusi,
- Navrhnout priority a způsoby využívání výstupů z projektu INNOTRACK.

Účastníci Mezinárodní vědecké diskuse rovněž doporučují MD ČR a SŽDC posoudit aplikaci systému řízení kvality železničních staveb využívající zkoušek, posuzování a certifikace se zapojením dalších nezávislých a nestranných subjektů (akreditovaných a autorizovaných osob).

Příloha č. 3 Tisková zpráva z Mezinárodní vědecké diskuse konané dne 30.11.2012 na ZC VUZ Velim

Diskusní setkání se uskutečnilo 30. listopadu 2012 v prostorách Zkušebního centra Výzkumného ústavu železničního ve Velimi.
Cílem projektu INNOTRACK byla příprava podmínek pro další modernizaci výstavby a navazující údržby evropské železniční infrastruktury.
Organizátorem akce byla Technologická platforma "Interoperabilita železniční infrastruktury". Diskuse byla součástí projektu POSTA financovaného z větší části z evropských prostředků v rámci českého Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.
Diskuse se zúčastnili představitelé Mezinárodní unie železniční (UIC), která tento evropský projekt řešený v 6. Rámcovém programu výzkumu a vývoje EU řídila - pan Hans Günter Kersten, ředitel odboru "Železniční systém" UIC a pracovník odpovědný za sledování postupné implementace výsledků projektu INNOTRACK železničními podniky a železničním průmyslem členských zemí Unie, Laurent Schmitt.

Diskuse se dále zúčastnili zástupci českých univerzit, výzkumných i projektových ústavů a průmyslových společností - členů Technologické platformy.
Čeští spoluřešitelé projektu z Českého vysokého učení technického (ČVUT), Akademie věd České republiky, českého podniku G - Impuls a Správy železniční dopravní cesty (ČD/SŽDC) představili svůj řešitelský podíl, který významně přispěl k dosažení celkových cílů projektu INNOTRACK.
V průběhu Diskuse byl zvláště oceněn aktivní příspěvek jejích účastníků, ředitele odboru Ministerstva dopravy Ing. Kušníra a poslance prof. Cempírka, člena Hospodářského výboru Poslanecké sněmovny Parlamentu České republiky a celkový přínos organizátora české řešitelské účasti na projektu INNOTRACK prof. Jíry z ČVUT, zastávajícího funkci předsedy Správní rady Technologické platformy - organizátora Diskuse.

Závěry Diskuse, které budou postoupeny českým i evropským orgánům a partnerům se soustředily:

- na potřebné systematické hospodaření v přípravě staveb, jejich projektování, realizaci a provozování,
- na přípravu podmínek pro sledování celoživotních nákladů staveb, umožňující m.j. zprůhlednit využívání způsobu financování formou PPP a odhalit existující reservy.

V případě konkrétních doporučení k využití nových (moderních) technických prostředků a technologií se Diskuse zaměřila zvláště na využití:

- vhodných materiálů s delší životností včetně bezúdržbových komponent a širšího využívání recyklovaných materiálů,
- optimálních typů konstrukcí železničního svršku a spodku, především z hlediska jejich životnosti a nákladů na provozování,
- nových efektivních technologií údržby a oprav železniční infrastruktury.

Mezinárodní vědecká diskuse potvrdila, že je účinnou formou nezbytné výměny názorů a stanovisek týkajících se problematik majících odborně náročný, v řadě případů vědecký charakter.
Diskuse konkrétně přispěla k upřesnění představ o aplikaci výsledků evropského projektu INNOTRACK v podmínkách české železniční infrastruktury a ke koordinaci postupu s evropskými partnery. Prokázala schopnost českých řešitelů evropských projektů, především českých akademických pracovníků, na jejich řešení se podílet s prokazatelným společným přínosem pro české a evropské partnery.

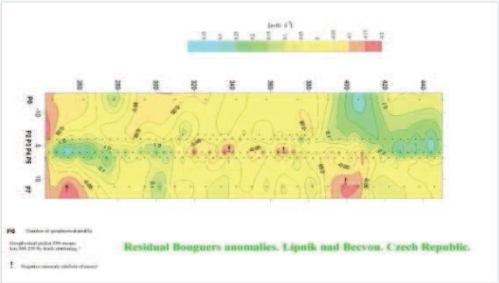
Příloha č. 4 Závěrečný odborný Workshop projektu Innotrack, říjen 2011, Paříž. Aktivní účast české delegace.

METHODOLOGY OF GEOPHYSICAL INVESTIGATION OF TRACK DEFECTS

Geophysical methods are non destructive tests which can give important information about geotechnical conditions of the trackbed and subgrade. The geophysical methods are environmentally friendly. Some geophysical results can be translated from geophysical values (for example seismic velocity) to geotechnical quantities (for example modulus of elasticity). The geophysical methods which are principal for geotechnical investigation on tracks are as follows:

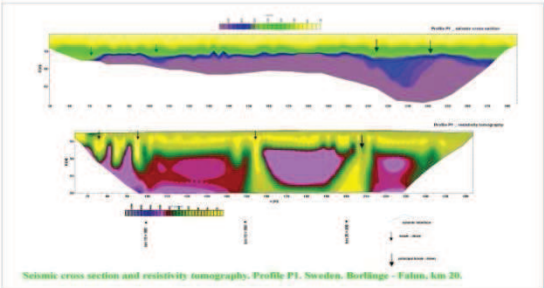
Geoelectrical methods (including geological radar),
Seismic methods,
Gravimetric method.

Examples of geophysical measurements:



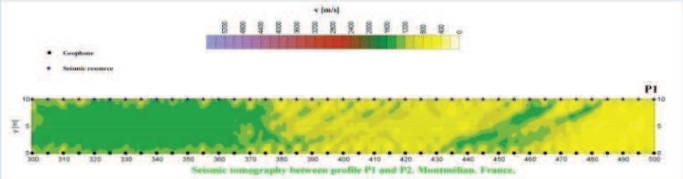
Residual Bouguers anomalies. Lipník nad Bečvou. Czech Republic.

Geophysical methods were pilots for Innotrack Project in the different geological conditions on the area as follow:
Lipnik Locality (Czech Republic , eastland)
Polousi Locality (Czech Republic, eastland),
Bechovice Locality (Czech Republic, middle part of the Republic),
Torp Locality (Sweden, Norrköping),
Borlänge Localities (Central Sweden),
Lleida Locality (Spain, Catalonia),
Montmélian Localities (France, Savoy).

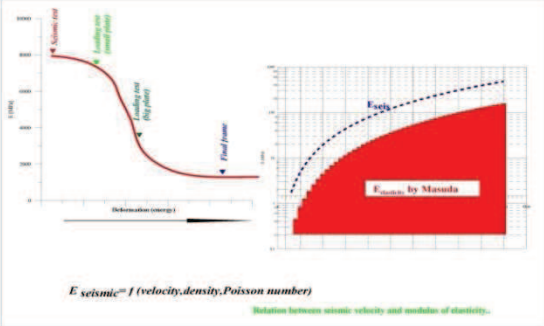


Seismic cross section and resistivity tomography. Profile P1. Sweden. Borlänge - Falun, km 20.

Seting out of geophysical profiles. Vreten. Sweden.



Seismic tomography between profile P1 and P2. Montmélian. France.



Relation between seismic velocity and modulus of elasticity.

APPLICABLE RESULTS:

1. Geophysical methods supplement the sporadic net of bore holes, borrow pits and standard geotechnical test.

2. The geological radar (partly also resistivity profiling) is recommended for primary investigation on the long distances (1 km and more). The geological antennas are placed on the special frame which is fixed on the measuring railway car or on the engine. The quick geophysical methods can detect the geophysical anomalies and warm that any sector of a track is in danger. The suspicious sectors can be recommend for more detailed measurement with the optimal complex of geophysical methods.

3. As we said above, complex of geophysical methods is recommended for detailed measurement, mostly seismic measurement, resistivity tomography and gravimetric method. We can measure on the two profiles which are parallel with the track for most of the cases. The profiles are close to the track body, but not in the danger zone with a reach of the rails. So the measurement can be executed without requirement to track closure. Information from rail zone is profited from seismic tomography which is executed between profiles on the left and right side of the track. The resistivity tomography gives information about a distribution of the geoelectrical conditions in the cross section (profile). The low resistivity is typical for clay, higher resistivity indicates sand or gravel and high resistivity indicates bedrock. The gravity measurement can detect difference between structures with distinct densities.

CONCLUSIONS:

THE GEOPHYSICAL TESTING FOR INNOTRACK PROJECT PROVIDED FOR EVIDENCE THAT GEOPHYSICAL METHODS CAN RELIABLE, QUICKLY, IN DETAIL AND RELATIVE CHEEP INFORM ABOUT GEOTECHNICAL CONDITIONS IN THE RAIL LINE. THE SYSTEMATIC RECORD OF THE GEOPHYSICAL METHOD TO THE COMPLEX OF THE GEOTECHNICAL TEST INCREASES SAFETY FACTOR ON THE TRACK. THE EFFECT OF THE GEOPHYSICAL APPLICATION CAN BE FATHER ENHANCED BY LONG-TERM MONITORING OF THE QUESTIONABLE DISTANCES ON THE TRACK.

THE RELIABLE INFORMATION ABOUT GEOTECHNICAL (GEOPHYSICAL) CONDITIONS OF THE TRACK BODY CAN HELP ALSO FOR OPTIMUM OPTION OF A TECHNOLOGY FOR SUBGRADE IMPROVEMENTS.

INNOTRACK Innovative Track Systems

For more detailed information see report DG 2.1.5 and D 2.1.15.

Impals Praha

4

příklad posteru (geofyzika)

Příloha č. 5 Podmínky ovlivňující strategické záměry modernizace SŽDC

V současné době vychází potřeby modernizace ŽDC z následujících skutečností:

Příležitosti: ropná krize, nejrychlejší dopravní prostředek na střední vzdálenosti, kapacitní a rychlá doprava v aglomeracích

Hrozby: nedostatek kapacity, nízká rychlost, příliš dlouhá modernizace jednotlivých klíčových tratí, nedostatečná harmonizace podmínek, objíždění ČR →ČR se stane periferií uprostřed Evropy

Evropský kontext: Bílá kniha pro dopravu

- Železnice je chápána jako páteř dopravy na střední a dlouhé vzdálenosti (300 – 900 km u osobní dopravy, u nákladní i více)
- součást bezpečnostní politiky (nehodovost, řešení pro předpokládaný ropný šok a energetickou krizi)
- Zvýšení podílu železnice na přepravních výkonech
- Potřeba v předstihu řešit kapacitu a kvalitu železnice

Nástroje:

- jednotný dopravní trh
- rozvoj infrastruktury
- rozvoj technologií
- harmonizace podmínek mezi druhy dopravy

Revize sítě TEN-T:

- vytvoření páteřní sítě zvlášť pro nákladní a osobní dopravu s cílem garantovat dostatek kapacity pro nákladní dopravu
- v podmínkách ČR většina tratí pro smíšenou dopravu, nutno respektovat rychlostní parametry osobní dopravy
- evropský koncept výstavby VRT

SŽDC chce řešit primárně následující nedostatky:

Nízké rychlostní parametry infrastruktury:

- historický dluh (nevhodné trasování + navíc řada trvalých i dočasných omezení rychlosti)
- modernizace převážně ve stávající stopě – pouze omezené zvýšení rychlosti s řadou propadů, dlouhodobě silně negativní vliv na cestující (výluky, zpoždění, prodloužení jízdních dob)
- železnice konkurenceschopná oproti automobilu např. pouze u 9 % spojení sousedních krajských měst
- často obrácení rolí (páteřní autobus na dálnici vs. železnice jako „venkovská“ doprava), a z toho plynoucí opakující se úvahy o rušení tratí (mimo větší města nebo aglomerace je železnice obvykle neefektivní pro místní obsluhu)

Nedostatek kapacity:

- řada úseků v okolí velkých měst – hustá příměstská a dálková doprava
- nevyplývá přímo z počtu vlaků, nýbrž z rozdílu rychlostí mezi nimi („traktor na hlavní silnici“)

- s nástupem „open-access“ konkurence v osobní dopravě se problémy na nejvytíženějších úsecích prohlubují (viz například problémy se sestavou JŘ regionální dopravy na Kolínsku, Pardubicku a Ústeckoorlicku)
- ohrožení zejména pro nákladní dopravu – chybí kapacita pro deklarovaný přesun ze silnice na železnici

V souladu s národní i evropskou dopravní politikou se musí ČR v oblasti infrastruktury zaměřit na **následující úkoly:**

1. Nová rychlá páteř v dálkové dopravě
2. Napojení pražského mezinárodního letiště na železnici
3. Dokončení modernizace koridorů a uzlů
4. Kapacita a rychlost pro nákladní dopravu
5. Kapacita pro příměstskou dopravu
6. Zajištění základních požadavků interoperability
7. Zlepšování parametrů ostatní sítě
8. Elektrizace tratí
9. Rozvoj technologií
10. Využití regionálních tratí

Nová rychlá páteř v dálkové dopravě

- nová politika TEN-T předpokládá zvýšení konkurenceschopnosti železnice budováním/modernizací tratí pro vyšší rychlosti (nejméně 200 km/h a více)
- zásadní pro páteřní roli železnice v osobní dopravě
- zahájením stavby VRT se teprve začne snižovat 40letý náskok silniční dopravy
- v podmínkách ČR koncept rozpracován do podoby tzv. rychlých spojení
- velký význam pro uvolnění kapacity stávajících tratí pro nákladní dopravu
- vedle vysoké traťové rychlosti v mnoha případech zásadním přínosem zkrácení trasy
- Nové tratě využitelné i pro rychlou nákladní dopravu
- Bez zásadních investic do novostaveb tratí nelze od železnice očekávat nabídku moderních dopravních služeb

Napojení pražského mezinárodníholetiště na železnici

- povinnost vyplývající z TEN-T
- Praha je jediným letištěm srovnatelné velikosti v Evropě navíc v hlavním městě bez kolejového napojení
- nutno řešit současně s kvalitním a kapacitním spojením Praha - Kladno
- možná etapizace výstavby od Kladna směrem do centra Prahy

Dokončení modernizace koridorů a uzlů

- snaha maximum staveb dokončit ze stávajícího OPD
- některé stavby budou přesto realizovány v příštím finančním období
- nejproblematičtější je vzhledem k dlouhodobému vývoji uzel Brno
- po roce 2015 se předpokládá nutnost dokončit uzly Plzeň (část), Praha (část), Kralupy n. V., Pardubice, Česká Třebová, Brno a Ostrava
- z traťových úseků železničních koridorů budou po roce 2015 zbývat úseky, Praha – Beroun, Choceň – Ústí nad Orlicí a Nemanice – Ševětín

- s výjimkou střední části IV. TŽK (Benešov – Tábor – České Budějovice) jsou stávající modernizované koridory rychlostně či kapacitně nedostačující, nelze je považovat za cílový stav železnice nebo dokonce označovat jako „vysokorychlostní“
- hlavním účelem modernizace železničních koridorů bylo odstranění dlouhodobé podudržovanosti a zabránění dalšímu snižování traťové rychlosti

Kapacita a rychlost pro nákladní dopravu

- rozvoj konceptu nákladních koridorů
- využití zejména stávajících modernizovaných koridorů + dalších důležitých tratí
- nová kapacita pro nákladní dopravu převedením dálkové dopravy na tratě RS
- v období 2014-2020 potřeba modernizace zejm. tratí Kolín – Nymburk – Děčín + Hranice na Moravě – Horní Lideč, Ústí nad Labem – Chomutov, Ostrava – Havířov – Český Těšín a dalších
- zachování volné kapacity pro rozvoj nákladní dopravy
- podpora vleček a terminálů = zdroje a cíle

Kapacita pro příměstskou dopravu

- rozvoj příměstské dopravy
- nedostatečná kapacita, nutné zkapacitnění
- zpomalování dálkových vlaků, přenášení zpoždění na příměstské vlaky
- potřeba oddělit „rychlou“ a „pomalou“ dopravu – postupná výstavba tratí RS nebo dalších kolejí
- nutnost řešit také obraty vložených vlaků v části trasy
- v Praze a Brně je dlouhodobě potřebné vytvoření zcela nové trasy pro příměstskou dopravou v centrech měst (Nové spojení II, SJKD)

Zajištění základních požadavků interoperability

- ERTMS primárně v tranzitních směrech
- odstraňování dalších překážek (průjezdný průřez, hmotnost na nápravu atd.)
- vyšší atraktivita pro tranzit = lepší šance na spolufinancování dalších investic

Zlepšování parametrů ostatní sítě

- klíčové zejména zvýšení rychlosti
- zlepšování infrastruktury nejen „velkými“ akcemi, ale i drobnými opatřeními (investiční i neinvestiční), financování hlavně z národních prostředků
- zvyšování rychlosti ve stávající stopě: moderní vozidla = rychlejší průjezd oblouky + přenos kódu VZ = rychlost vyšší než 100 km/h
- odstraňování omezení rychlosti (pomalé jízdy, přejezdy)
- zlepšení dostupnosti železnice: nové zastávky, úprava polohy stávajících, popř. zrušení nevyhovujících
- drobné investiční akce – výhybny, spojky atd.
- postupné zdvojkolejnění významnějších tratí (SŽDC má extrémně vysoký podíl jednokolejných tratí, množí se kritika výlukové činnosti, dochází k přenosu provozních nepravidelností a celkově nižší kvalitě dopravních služeb)

Elektrizace tratí - elektrická trakce nezávislá na ropě, úspora trakčních nákladů, úspora jízdních dob
potřeba zejména:

- u tratí zatížených nákladní dopravou
- u tratí se silnou příměstskou dopravou
- vytvoření ucelených vozebních ramen v elektrické trakci
- do budoucna – možný přechod na jednotnou trakční soustavu 25 kV 50 Hz
- nutno komplexně řešit odstranění míst s přerušenou dodávkou trakčního proudu na stejnosměrné i střídavé síti – rekonstrukce a koncepce napájecích stanic

Rozvoj technologií

- ETCS, GSM-R; otázka na síti mimo TEN-T
- dálkové řízení jako běžná součást modernizace ZZ, popř. ucelené stavby na dokončených úsecích žel. koridorů
- prioritně na vytížených tratích – efektivnější řízení kapacity dopravní cesty
- postupně centralizace řízení provozu na celé síti (úspora zaměstnanců)
- řízení dopravy v uzlech – kratší zábrzdné vzdálenosti, automatické stavění vlakových cest
- postupný rozvoj koncepce zabezpečovacího zařízení s ohledem na provozní požadavky
- telematické systémy
- dispečerská centra včetně přípravy na mimořádnosti, úzký kontakt se zástupci dopravců

Využití regionálních tratí

- další osud závisí na politice objednatelů
- potřeba oddělit tratě s potenciálem a bez něj
- u tratí s potenciálem potřeba zrychlení: průjezdy některých zastávek + odstranění propadů rychlosti
- často slouží nejen denní dojížďce do škol a zaměstnání, ale také turistické frekvenci (kola, lyže) – rozvoj hospodářsky slabých regionů, popř. umožňují ekologicky šetrnou dopravu nákladů v hůře přístupných oblastech (zejm. doprava dřeva v horských oblastech)
- dostatečná „pohotová kapacita“ pro případ náhlého vzniku přepravní potřeby (například kalamitní situace) je jedním z důvodů existence železnice, v úvahu je nutné brát i potřeby provozních odklonů

Příloha č. 6 Aplikace poznatků získaných z výstupů z projektu INNOTRACK z pohledu výrobce výhybek a výhybkových konstrukcí

Úvod

Poznatky získané z řešení projektu INNOTRACK jsou uplatňovány u výrobců, kteří je dokáží dále rozvíjet při návrhu zcela nových produktů nebo je aplikují pomocí vhodné formy technických inovací do stávajících řešení. K těmto se bezesporu řadí také společnost DT - Výhybkárna a strojírna, a.s. Prostějov (dále jen DT), která patří mezi významné producenty železničních a tramvajových výhybek a výhybkových konstrukcí dodávaných nejen pro SŽDC, s.o., ŽSR, dopravní podniky, ale i pro zahraniční zákazníky z celého světa. Čím dál častěji jsou požadována kvalitativně vyspělejší řešení splňující kritéria moderní železniční infrastruktury, která jsou úzce spjata se zvyšováním rychlosti, nápravového zatížení, komfortu jízdy, ale na druhé straně také se snižováním nákladů na údržbu během celého životního cyklu výrobku. Velmi významným aspektem se stává posuzování vlivu druhů dopravy na životní prostředí. Bílá kniha o

dopravě, vydaná EU v roce 2011, jasně stanovuje cíle a prostředky jak silniční nákladní dopravu nahradit dopravou železniční a letecké či automobilové spojení velkých měst nahradit vysokorychlostní železnicí. Česká republika, díky své poloze ve středu Evropy, by se měla stát nedílnou součástí evropského železničního systému. Implementace nových poznatků a řešení získaných při realizaci projektu INNOTRACK by k tomu mělo výrazně pomoci. Výstupy projektu vnímá DT - Výhybkárna a strojírna, a.s. především jako soubor poznatků, doporučení a nových řešení, které byly získány s cílem vytvoření nákladově efektivní a vysoce výkonné drážní infrastruktury za předpokladu uplatnění inovativních řešení, která mají přinést snížení jak investiční podmíněnosti, tak nákladů na údržbu. Dosažení tohoto cíle je z pohledu výrobce spojeno s praktickým uplatněním výstupů projektu při výrobě komponent železničních výhybek. Mezi nejvýznamnější patří řešení problematiky ve třech oblastech - životnost srdcovek, zpružnění uzlů upevnění ve výhybkách a návrhu výhybek pro vysoké rychlosti.

Optimalizace srdcovek

Obr. 1 Povrchové vady na odlitku srdcovky

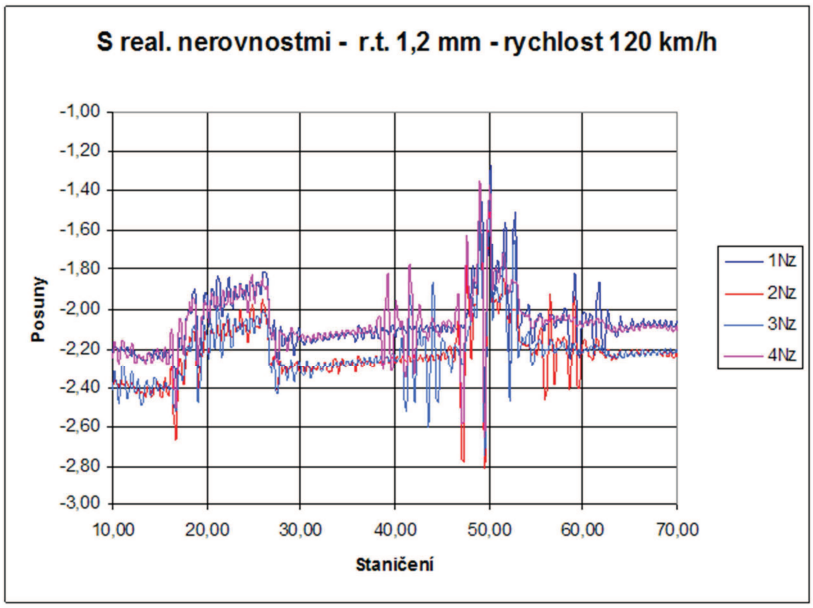
V oblasti konstrukce srdcovek vystupuje jako vysoce žádoucí priorita řešení redukce rázového impulsního zatížení v místech přechodu kola a tím získání vyššího potenciálu pro snížení nákladů na údržbu. S problematikou optimalizace geometrie horních pojížděných ploch vyvstává také potřeba řešení pružnosti konstrukčních vrstev, její kvalita a údržba tak, aby byla omezena degradace materiálu povrchových vrstev srdcovky vyvolaná průjezdem kol přes oblast přechodu hrot - křídlová kolejnice obr. 1. Tato problematika je aktuální nejen u odlévaných srdcovek, ale také montovaných, kde je možné vhodným tvarováním pojížděných ploch při opracování dosáhnout zrovnoměrnění vertikálních poklesů kol po délce srdcovky. Je nutné však podotknout, že na životnost srdcovek má vliv celá řada dalších faktorů, mezi něž patří také tvar jízdního profilu kola. Ten je díky své tvarové variabilitě limitující z pohledu návrhu geometrie horních pojížděných ploch srdcovky a možného ataku křídlové kolejnice. Zvyšování užitných hodnot srdcovek je spojeno s kvalitou vstupního materiálu, tepelným zpracováním, podmínkami instalace do nových nebo dlouhodobě provozovaných výhybek, preventivní údržbou broušením a řadou dalších vlivů. Životnost výrobku není jen o kvalitě produktu, ale neobejde se také bez následné pravidelné údržby prováděné správcem železniční dopravní infrastruktury. Vhodná volba jakosti materiálu exponovaných dílů výhybek (srdcovky, jazyky) je závislá na předpokládaných podmínkách užití. Rozhodující je především jejich umístění do řádu koleje, rychlost pojíždění vozidly, zatížení na nápravu, směrové poměry, geometrie konstrukce apod. Požadavky na materiály používané ve výhybkách jsou obecně vyšší a než pro běžnou kolej železniční dráhy, u které dochází z velké části k absenci rázového zatížení v kontaktu kolo - kolejnice. Mechanické vlastnosti materiálů a jejich únavové vlastnosti jsou rozhodující pro životnost dílů. Nelze však očekávat, že použití kvalitnějších materiálů přinese automaticky snížení nákladů na údržbu. Kvalitní materiály sice vykazují vyšší mechanické vlastnosti s hodnotami R_e nad 1 100 MPa, ale na druhé straně se vyznačují nižší tažností, jenž je určující pro zajištění dobré odolnosti proti opotřebení. Vhodná volba jakosti oceli je bezesporu důležitou oblastí v komplexu parametrů podílejících se na zvyšování životnosti exponovaných dílů výhybek a zajímavým podnětem k řešení pro dodavatele jak kolejnicových materiálů, tak i odlitků. Zkušenosti s provozováním srdcovek z materiálů s austenitickou, bainitickou a jemně perlitickou strukturou ukazují na specifické vlastnosti chování materiálu při provozu. Tomu odpovídá také intenzita servisních prací na odstraňování kontaktně - únavových vad a opotřebených vrstev materiálu s vyčerpanou plasticitou. Výběr jakosti materiálu je nutné volit s ohledem na velikost poloměru oblouku a předpokládanou intenzitu dopravy vyjádřenou množstvím projeté zátěže za rok. V tomto ohledu je nutné zmínit, že v trendu volby jakosti materiálu podle uvedených kritérií (R, T_f) zaostáváme a

v řadě případů nekoresponduje volba jakosti materiálu se specifickými podmínkami užití a s ohledem na očekávanou životnost. Důsledkem je pak výrazné zkrácení životnosti dílů výhybek v trati.

Pro vývoj inovativních řešení v konstrukci výhybek mohou být pro DT přínosem tyto výsledky projektu Innotrack:

Deliverable D 3.1.4 Summary of results from simulations and optimisation of switches
Deliverable D 3.1.5 Recommendation of, and scientific basis for, optimisation of switches &crossings - part1
Deliverable D 3.1.6 Recommendation of, and scientific basis for, optimisation of switches &crossings - part2
Deliverable D 3.1.7 Results from laboratory testing of frog materials in Kirchmöser
Deliverable D 4.1.4 Rail degradation algorithms
Deliverable D 4.1.5 Definitive guidelines on the use of different rail grades

Odstraňování nehomogenit kolejové jízdní dráhy



Obr. 2 Nespojitost svislých posunutí po délce výhybky

Provoz železniční dopravy je spojen se vznikem dynamických účinků vyvolaných jízdou vozidel přes úseky s rozdílnými tuhostmi kolejové jízdní dráhy. Nespojitosti ve stlačení temen kolejnic s sebou přináší vyšší zatížení součástí železničního svršku a spodku, které se časem projevují jako závady GPK. Ve výhybkách jsou k těmto nespojitostem superponovány další vlivy např. různé délky pražců, odlišné způsoby uložení jazyků a kolejnic, rozdílné výšky profilů kolejnic aj. Řešení otázek optimalizace tuhosti stlačení temen kolejnic po délce výhybky v návaznosti na úseky trati před a za výhybkou jsou předmětem řešení návrhu uzlů upevnění se zpružněním tak, aby rázy a vibrace byly zcela nebo částečně eliminovány co nejblíže místa svého vzniku tj. v místě styku kolo - kolejnice. Cílem všech známých řešení je vhodnou volbou tuhostí po délce výhybky utlumit/pohltit energii rázů a vibrací tak, aby nedocházelo k jejich dalšímu šíření. Ke splnění tohoto účelu musí být součásti železničního svršku – výhybky navrženy a musí být schopny tuto energii rázu akumulovat. Při návrhu uzlů upevnění je nezbytné respektovat celý systém kolejové vozidlo – železniční svršek – železniční spodek tak, aby výsledné řešení přineslo očekávaný efekt. Řešení problematiky eliminace přenosu dynamických účinků od projíždějících vozidel do oblasti železničního svršku a spodku představuje víceparametrický problém založený na nelineárním chování celé dynamické soustavy zahrnující kolejnice, uzly upevnění, betonové pražce a konstrukční vrstvy železničního svršku a železniční spodek. Jedná se o problematiku širokého rozsahu s řadou obtížně definovatelných okrajových podmínek, které mohou výrazně ovlivňovat návrh výsledného řešení díky rozpětí hodnot, kterých mohou v praxi nabývat. Dosud získané poznatky z řešení této problematiky v DT v rámci projektu TAČR TA01031297 „Zvyšování kvality jízdní dráhy ve výhybkách pomocí zpružnění“ budou dále diskutovány z pohledu ověření možnosti kontinuálního měření tuhosti ve výhybkách.

Deliverable D 3.1.11 Results of continuous RSMV stiffness measurements on switches at DB

Výhybky pro vysoké rychlosti

Obr. 3 Výměnová a srdcovková část výhybky J60-1:33,5-8000/4000/∞

I když nejsou v současnosti k dispozici podrobnější informace o budování tratí označovaných jako „rychlá spojení RS“, je pro ně nutné s předstihem zahájit přípravu vhodných výhybek. Z hlediska rychlosti jízdy se bude jednat o štíhlé vysokorychlostní výhybky s nepřerušenou pojížděnou hranou, které výrazně eliminují dynamické účinky přenášené do vozidla i koleje, zvyšují komfort cestujících, snižují hlučnost při průjezdu a vzhledem k délce přechodových oblastí ve výměně a srdcovce se očekává také snížení provozního opotřebení pojížděných ploch. Rozměry podobné vysokorychlostní výhybky geometrie J60-1:33,5-8000/4000/∞ jsou na obr. 3. Výše uvedené přínosy mají vliv na úsporu budoucích servisních nákladů v průběhu životního cyklu výrobku, prodloužení životnosti konstrukce a tím i snížení spotřeby materiálu a energie na výrobu nových dílů a údržbu trati. Hlavním ekonomickým přínosem použití vysokorychlostních výhybek štíhlých geometrií ve vhodných místech trati (rozvětvení trati do více kolejí, odbočky z tratí rychlých spojení, umístění ve spojkách) je snižování energetických ztrát způsobených propadem rychlosti zejména ve spojkách a při jízdě do odbočky, kdy u vytížených tratí lze spočítat návratnost vyšších investičních výdajů v řádu měsíců. Další vývoj výhybek v DT určených pro vysoké rychlosti bude zaměřen na návrh štíhlejšího typu výhybky pro rychlost jízdy do přímého směru 350 km/h a odbočného směru 200 km/h. Tím by měla být dokončena celá řada standardních typů výhybek DT vhodných pro využití při budování tratí rychlých spojení s tím, že dokončení vývoje a validace tohoto typu vysokorychlostní výhybky směřuje za rok 2020. Dispoziční návrh počítá s využitím klotoidních přechodnic, PHS, zpružněných systémů upevnění ve svislém směru, žlabových pražců dle připravovaného evropského standardu. Vítaná je především standardizace rozměrů žlabového pražce (šířka 350 mm), která přispěje ke zrovnoměrnění rozdělení pražců s ohledem na zajištění vyrovnaného poklesů temen kolejnic při zatížení. Výhybka by měla být vybavena moderními prvky pro ovládání, monitoring a diagnostiku stavu výhybky tak, aby bylo možné provádět samodiagnostiku jednotlivých částí výhybky. Dle připravovaného evropského standardu by taktéž mělo dojít ke standardizaci rozhraní pro řídící systémy výhybek (oddělení snímání a kontroly polohy od napájecí soustavy), což by umožnilo zjednodušení celého systému zabezpečení rozhraní bez ztráty spolehlivosti a bezpečnosti.

Deliverable D 3.2.2 Functional requirements for hollow sleepers for UIC60 and similar types of switches
Deliverable D 3.2.3 Functional requirements for the open standard interface for electronic interlocking

Z projektu INNOTRACK jsou pro nás přínosná témata zaměřená na řešení zlepšování vlastností srdcovek (matriál, geometrie pojížděných ploch), omezování dynamických účinků a dosahování delší životnosti. S tím souvisí také odstraňování nehomogenit kolejové jízdní dráhy ve výhybkách aplikací zpružnění ve svislém směru a také problematika řešení odstraňování nespojitostí v podporách (různé rozdělení pražců). Moderní informační technologie nabízí možnost aplikace prvků pro sledování provozního stavu výhybek a také je třeba se zaměřit na standardizaci řídicích systémů výhybek, které jsou předmětem připravovaných evropských standardů, jenž bychom jako výrobce měli respektovat.

Literatura:

[1] Vědeckotechnický sborník Českých drah (neimpaktované periodikum vyd ISSN 1214-9047) - http://www.ceskedrahy.cz/tiskove-centrum/magaziny-a-periodika/vedeckotechnicky-sbornik-cd/-1893/

= č. 24 – 7.11.2007 – Ing. Václav Michajluk, Ing. Petr Jasanský: INNOTRACK Innovative Track Systems.

= č. 27 – 6.6.2009 – RNDr. Michal Tesař, Doc. Ing. Ondřej Jiroušek, Ph.D., Petr Štěpánek: Numerické modelování hodnot elektrické permitivity štěrkového lože a možnosti využití výsledků pro správu železničních tratí.

= č. 31 – 17.6.2011 – Ing. Petr Jasanský – Ing. Václav Michajluk: Využití vybraných výstupů z projektu INNOTRACK.

[2] Konference Železnice 2007, Praha 27.- 28.11.2007, Ing. Václav Michajluk, Ing. Petr Jasanský (České dráhy, a.s.): Základní charakteristika projektu INNOTRACK.

[3] INNOTRACK – Concluding Technical Report, UIC 2010, ISBN:978-2-7461-1850-8:

= Petr Jasansky, SZDC: 4.2.3 Soil improvement of a bad drainage zone using geogrid,

= Jaroslav Barta, G IMPULS: 4.1.8 Geophysical methods

= Leos Hornicek, CTU: 4.1.5 Poor quality sites modelling: laboratory experiments and numerical simulations

[4] Zvláštní číslo IMechE Journal of Rail and Rapid Transit in 2010 - čeští autoři: Barta, Jirousek, Hornicek

[5] Schválený návrh projektu INNOTRACK a dokumenty z jeho řešení,

[6] Informace z internetových stránek projektu: www.innotrack.net; **www.innotrack.eu**,

[7] Publikace: INNOTRACK – Concluding Technical Report, UIC 2010, ISBN:978-2-7461-1850-8,

[8] Internetové stránky Vědeckotechnického sborníku Českých drah: http://www.ceskedrahy.cz/tiskove-centrum/magaziny-a-periodika/vedeckotechnicky-sbornik-cd/-1893/

[9] Prezentace Laurenta Schmitta (UIC) z Mezinárodní vědecké diskuse konané dne 30.11.2012 na ZC VUZ Velim

[10] Bárta J. (2010): A methodology for geophysical investigation of track defects. Proc. IMechE Vol. 224 Part F: J. Rail and Rapid Transit.

[11] Odborný článek v recenzovaném časopise:
Bárta J. (2009): Methodology of geophysical measurement of railway tracks. EGRSE, rok 2009, ročník XVI, číslo 1, 2.

[12] Deliverable 2.1.3 First phase report on the modelling of poor quality sites, 2008.

[13] Deliverable 2.1.16 Final report on the modelling of poor quality sites, 2009.

[14] Guideline D2.1.12 GL Modelling of the track subgrade, 2009.

[15] Horníček, L.: Poor quality sites modelling: laboratory experiments and numerical simulations. In: INNOTRACK. Concluding Technical Report. Paris: International Union of Railways, 2010, p. 61-62. ISBN 978-2-7461-1850-8.

[16] Deliverable 2.2.9 Subgrade reinforcement with geosynthetics, 2009

[17] Guideline D2.2.6 GL Guideline for subgrade reinforcement with geosynthetics, 2009

[18] Horníček, L.: Laboratorní sledování účinku výztužných geosyntetik v konstrukci pražcového podloží v rámci projektu INNOTRACK. In: Sborník přednášek Železniční dopravní cesta. Děčín: VOŠ a SPŠ stavební, 2009, s. 55-58.

[19] Horníček, L. - Lidmila, M. - Tyc, P.: Lab Measurements of Ballasted Track Models Reinforced by Geosynthetics at Different Levels. In: Railway Engineering-2009 [CD-ROM]. Edinburgh: University of Edinburg, 2009, p. 1-11. ISBN 0-947644-65-2.

[20] Jiroušek, O. - Horníček, L. - Jíra, J. - Kunecký, J. - Kytýř, D. - et al.: Behaviour of a Ballasted Track under Cyclic Loading: Numerical and Laboratory Investigations. In: Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing [CD-ROM]. Stirling: Civil-Comp Press Ltd, 2009, vol. 1, ISBN 978-1-905088-31-7.

[21] Horníček, L. - Tyc, P. - Lidmila, M. - Krejčiříková, H. - Jasanský, P. - et al.: An investigation of the effect of under-ballast reinforcing geogrids in laboratory and operating conditions. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2010, vol. 224, no. 4, p. 269-277. ISSN 0954-4097.

[22] Horníček, L. - Lidmila, M. - Jasanský, P.: Zkušební úsek s výztužným geokompozitem v kolejovém loži. In: Geosyntetika v stavebníctve. Žilina: EDIS, 2009, s. 109-114. ISBN 978-80-8070-977-8.

[23] Horníček, L. - Lidmila, M. - Jasanský, P.: Zkušenosti z provozního ověřování výztužných geokompozitů v kolejovém loži. In: Geosyntetika v stavebníctve. Žilina: EDIS-vydavatelstvo ŽU, 2011, s. 43-48. ISBN 978-80-554-0316-8.

[24] Deliverable 2.1.3 First phase report on the modelling of poor quality sites, 2008.

[25] Deliverable 2.1.16 Final report on the modelling of poor quality sites, 2009.

[26] Guideline D2.1.12 GL Modelling of the track subgrade, 2009.

[27] Horníček, L.: Poor quality sites modelling: laboratory experiments and numerical simulations. In: INNOTRACK. Concluding Technical Report. Paris: International Union of Railways, 2010, p. 61-62. ISBN 978-2-7461-1850-8.

[28] Jiroušek, O. - Horníček, L. - Jíra, J. - Kunecký, J. - Kytýř, D. - et al.: Behaviour of a Ballasted Track under Cyclic Loading: Numerical and Laboratory Investigatiofns. In: Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing [CD-ROM]. Stirling: Civil-Comp Press Ltd, 2009, vol. 1, ISBN 978-1-905088-31-7.

[29] Deliverable 2.2.9 Subgrade reinforcement with geosynthetics, 2009

[30] Guideline D2.2.6 GL Guideline for subgrade reinforcement with geosynthetics, 2009

[31] Jiroušek, O., Jíra, J., Hrdlička, O., Kunecký, J., Kytýř, D., Vyčichl, J., & Doktor, T., Numerical Modelling of the Reinforcing Effect of Geosynthetic Material Used in Ballasted Railway Track. Journal of Rail and Rapid Transit, 2010, 224(F4), 259–267.

[32] Deliverable 2.1.5 Methodology of geophysical measurement of railway tracks (metodická příručka pro uživatele geofyzikálních metod)

[33] Deliverable 2.1.15 Non-destruktive geophysical methods (zpráva o geofyzikálních měřeních)

[34] Deliverable 2.1.1 In-situ measurement preliminary database, based on information management framework (geofyzikální data uložená do širší databáze ostatních aktivit)

Zpracovatelský tým studie INNOTRACK

- Prof. Ing. Josef Jíra, CSc.
- Ing. Danuše Marusičová
- Doc. Ing. Ondřej Jiroušek
- Ing. Leoš Horníček, PhD.
- Ing. Václav Michajluk
- Ing. Radek Čech
- Ing. Pavel Stoulil
- Ing. Ivo Malina,CSc.
- RNDr. Jaroslav Bárta
- RNDr. Michal Tesař
- Ing. Petr Jasanský
- Ing. Antonín Věchet
- Ing. Roman Adamek
- Ing. Karel Šaroch
- Zdena Ziková
- Tomáš Dohnal

INNOTRACK
Innovative Track Systems

Zájmové sdružení právnických osob
„Interoperabilita železniční infrastruktury“
Technologická platforma

Kodaňská 1441/46
Praha 10 - Vršovice 100 10