

Lukáš Hejzlar<sup>1</sup>

## **Projekt D-Rail – Vývoj nových železničních monitorovacích systémů za účelem snížení počtu a dopadů vykolejení**

**Klíčová slova:** *monitorovací systémy, vykolejení*

### **Úvod**

Projekt D-Rail je řešen v rámci 4. výzvy 7. rámcového programu EU (2007-2013). Jedná se o projekt tříletý, který je řešen v období 10/2011 – 10/2014 (36 měsíců). Pod vedením Univerzity v Newcastlu na něm participuje celkem 20 partnerů, mezi něž patří univerzity, správci infrastruktury, výrobci monitorovacích zařízení, výzkumné organizace, včetně Výzkumného ústavu železničního, a.s. (dále jen VUZ), apod.

VUZ vede pracovní balíček WP6 (Zkoušky a jejich hodnocení) a dále se účastní pracovního balíčku WP7 (Provozní posouzení a doporučení).

Cílem je – na základě definování příčin vykolejování vozidel – vyvinutí nových nebo inovace stávajících monitorovacích zařízení instalovaných buď na trati nebo na vozidle za účelem snižování počtu vykolejení a zmírnění jejich následků. To s sebou přinese snížení nákladů pro provozovatele drážní dopravy, správce železniční infrastruktury i vlastníky kolejových vozidel.



Obr. 1 – Logo projektu D-Rail

---

<sup>1</sup> Ing. Lukáš Hejzlar, 1978, absolvent oboru Kolejová vozidla, Univerzita Pardubice. V současnosti působí jako specialista pro zkoušky, měření a vyhodnocení ve Výzkumném ústavu železničním, a.s. pro oblast měření hluku, vibrací, bezpečnosti proti vykolejení a jízdních vlastností.

## 1 Náplň projektu

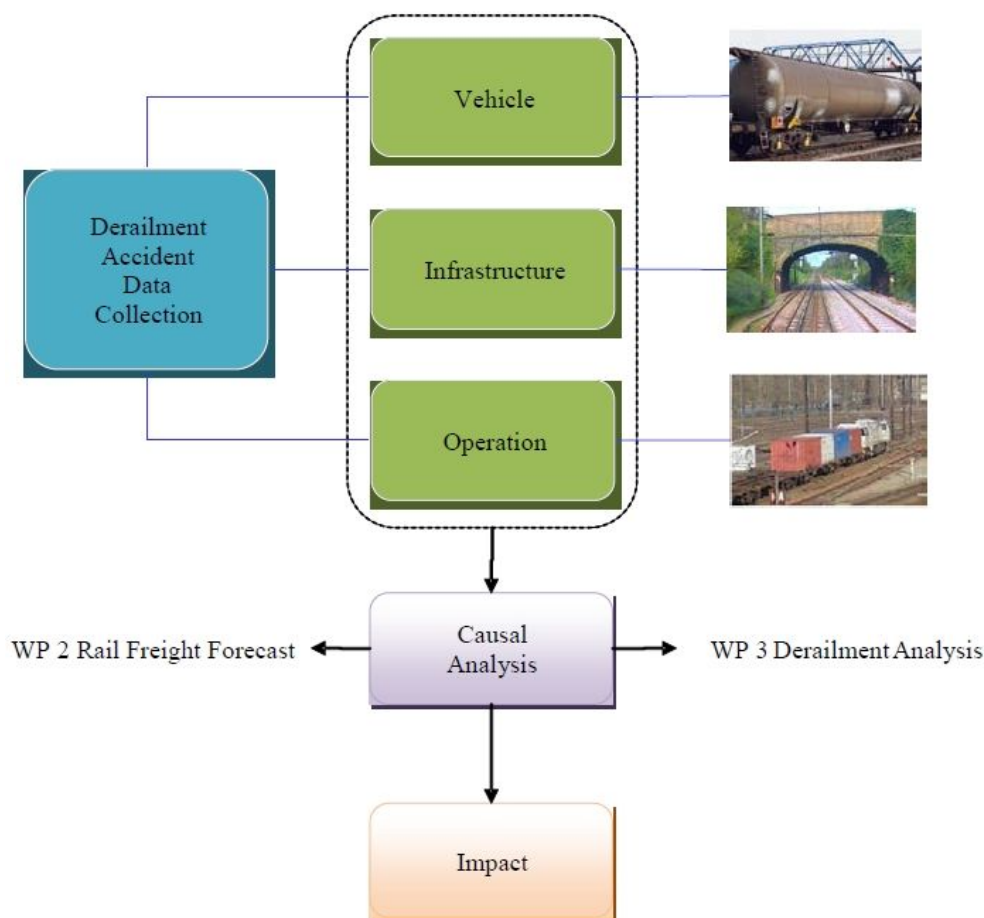
### 1.1 Pracovní balíček 1 – Dopady vykolejení

Tento pracovní balíček poskytuje komplexní přehled o vykolejení nákladních vlaků včetně jejich příčin. Stávající údaje o vykolejení slouží jako výchozí pozice a jejich analýza poskytuje cenné informace o základních příčinách vykolejení a závažnosti jejich dopadů.

Stávající monitorovací technologie a postupy na straně vozidla i infrastruktury určují, jaké účinky budou v současné době monitorovány a účinnost těchto technologií ve vztahu k nákladní dopravě a její bezpečnosti. Jsou rovněž hodnoceny důsledky vykolejení na železniční provoz (poškození vozidla a infrastruktury, přerušení dopravy a zpoždění vlaků) z ekonomického hlediska.

Vykolejení je pro železniční dopravu vždy velkým problémem a to jak z pohledu bezpečnosti, tak z hlediska ekonomického. Příčinou vykolejení nebývá vždy jediný faktor, ale kombinace faktorů na straně infrastruktury, vozidla a provozu. To platí zejména pro nákladní vozy, kterých je mnoho druhů, které jsou různě zatíženy a operují v mnoha různých zemích. Jedním z cílů je výzkum dosavadních případů vykolejení, ke kterým došlo v různých evropských zemích a kdy jsou k dispozici údaje od národních správců infrastruktury, regulačních bezpečnostních orgánů a Evropské železniční agentury (ERA). ERA je také součástí řídicího výboru projektu.

Údaje o těchto nehodách jsou začleňovány do databáze, aby bylo možné určit četnost jednotlivých příčin vykolejení (infrastruktura, vozidlo nebo lidský faktor). Jsou zkoumány dopady vykolejení, a to jak za účelem posouzení závažnosti škod na majetku, tak pro případná doporučení pro zmírnění jejich důsledků, které byly zaznamenány nebo předloženy v průběhu vyšetřování nehody. Databáze tvoří klíčovou platformu pro celý projekt a následnou analýzu a vyšetřování příčin vykolejení.

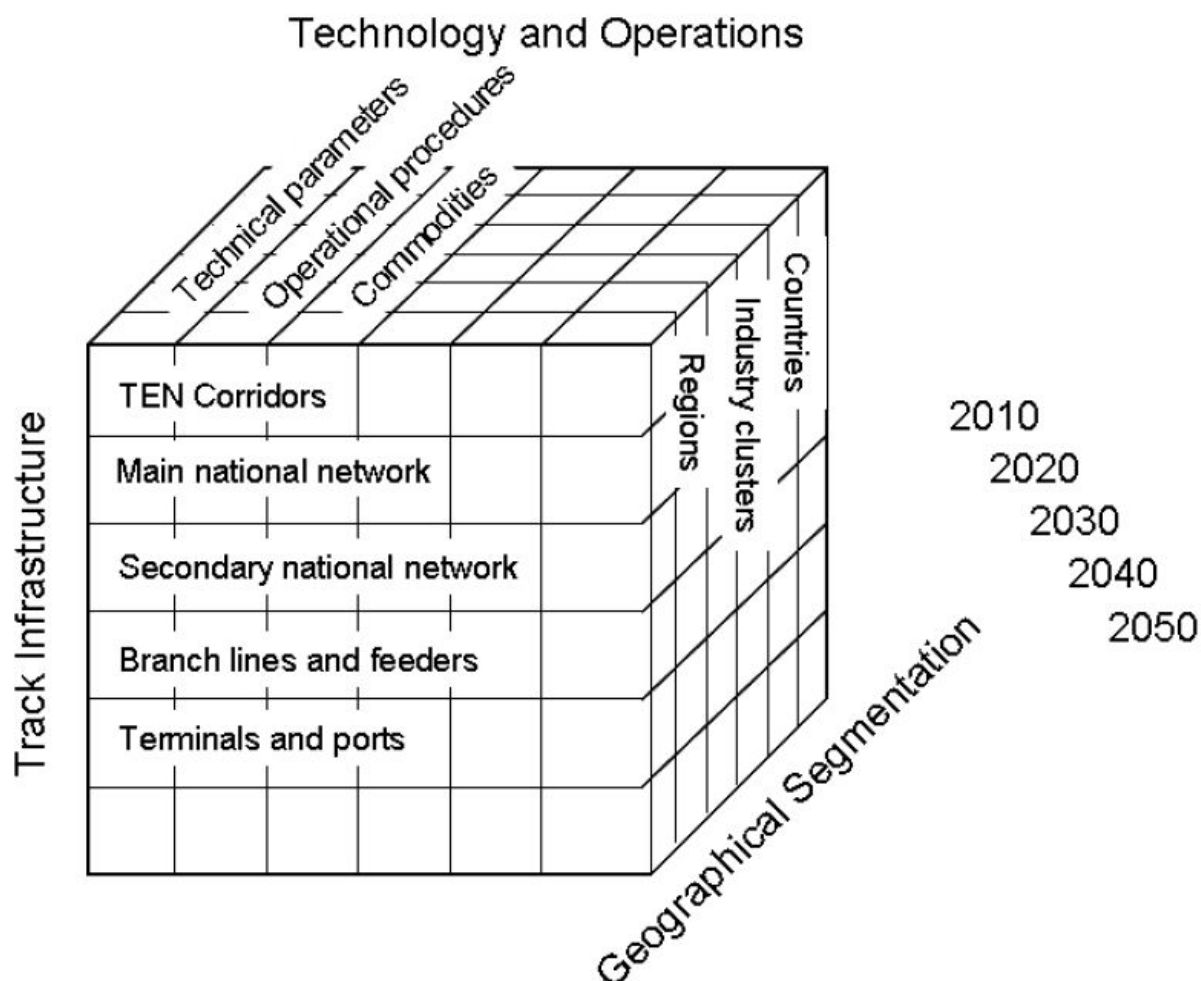


Obr. 2 – Struktura prvního pracovního balíčku

Zdroj: projektové konsorcium

### 1.2 Pracovní balíček 2 – Železniční nákladní přeprava a poptávka po ní

Tento pracovní balíček se zabývá vyhodnocováním předpokládaných budoucích trendů v železniční nákladní dopravě do roku 2050, což v sobě zahrnuje budoucí evropskou železniční politiku a strategii v oblasti nákladní dopravy a pravděpodobný dopad na budoucí provoz a technologie. Budoucí trendy v oblasti nákladní dopravy, logistiky a jejich ekonomických aspektů jsou posuzovány v rámci přehledu na podporu budoucích scénářů případů vykolejení. Tyto případy plynou z analýzy dopadů z prvního pracovního balíčku. Na budoucnost orientovaná analýza nákladů a přínosů v oblasti snižování počtu vykolejení nebo jejich dopadů je možná pouze tehdy, pokud je znám budoucí vývoj železniční nákladní dopravy (jaké komodity se budou přepravovat, jakými typy vozů apod.). Toto vše je náplní tohoto pracovního balíčku.



Obr. 3 – Třírozměrná segmentace dle různých kritérií Zdroj: projektové konsorcium

Předpokládá se třírozměrná segmentace. Jednotlivými segmenty jsou typ infrastruktury (např. koridory, hlavní tratě, vedlejší tratě), dále druh technologie a činností na infrastruktuře (monitorovací systémy, druhy a množství nákladní dopravy) a rovněž geografické rozdíly. Výsledky jsou promítány až do roku 2050.

### 1.3 Pracovní balíček 3 – Analýza vykojení a jeho prevence

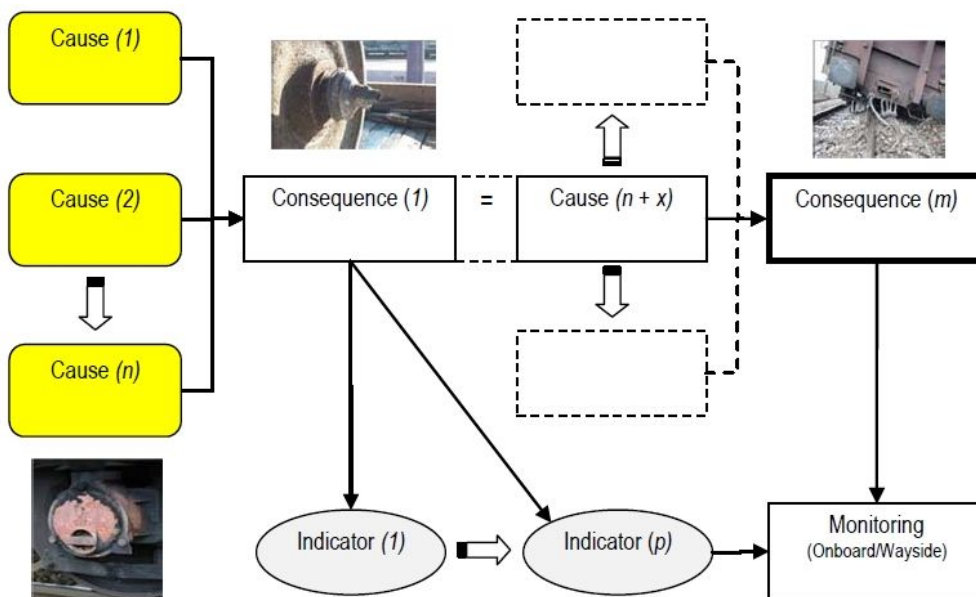
Zde jsou posuzovány scénáře případů vykojení založené na analýze jejich příčin. Tato analýza byla provedena v rámci prvního pracovního balíčku za účelem podpory budoucích vylepšení. Je vyšetřováno několik mechanismů vykojení a jejich ovlivňujících faktorů – jak na straně vozidla, tak na straně infrastruktury – pro pochopení komplexního železničního systému. Tyto budou rovněž posuzovány ve vztahu k budoucímu nákladnímu systému tak, aby bylo možné zahrnout takové aspekty, jako jsou vyšší provozní rychlost, vyšší únosnost tratí a zavádění nových konstrukčních řešení nákladních vozů.

Mechanismy vykolejení a klíčové ovlivňující faktory jsou kvantifikovány ve vztahu k současným případům nehod a jejím následkům za účelem prokázání zásadní změny v oblasti prevence. Pomocí zkoušek dochází k ověření klíčových simulovaných parametrů a prokázání následného snížení počtu vykolejení. Ekonomické přínosy analýzy vykolejení jsou hodnoceny metodami RAMS a LCC.

Zkoumání příčiny vykolejení a identifikování způsobu prevence lze provést pomocí dvou přístupů:

- Analýza příčin a následků vykolejení. Zde se uplatňuje celkové hodnocení sloužící k identifikaci řetězce událostí, jež vedou k vykolejení. Cílem je tento řetězec efektivním způsobem přerušit dříve, než dojde ke katastrofální chybě. Takový přístup je vhodný pro analýzu vykolejení způsobeného např. lidským faktorem nebo postupně se vyvíjející technickou závadou.
- Analýza mechanismů vykolejení a zmírnění jejich následků. Zde se podrobné technické zkoumání provádí u vybraných mechanismů vykolejení. Každý takový mechanismus (např. šplhání okolků) totiž zahrnuje množství ovlivňujících parametrů (např. rozchod koleje, profil kola nebo kolejnice atd.). Tento přístup je vhodný v případě, kdy vykolejení souvisí s provozními podmínkami, při kterých zatížení přesáhne kritickou míru bezpečnosti proti vykolejení. Cílem je zde definovat tyto provozní podmínky (což předpokládá i kombinaci odpovídajících parametrů) tak přesně, jak je to jen možné, aby se vykolejení předešlo (nebo aby jeho riziko bylo minimalizováno) co nejefektivnějším způsobem. To vyžaduje detailní znalost o tom, které parametry mají jak velký vliv a jak spolu souvisí.

Proces posouzení příčin a následků vykolejení je schematicky uveden na obrázku 4. Pro vybrané mechanismy vykolejení jsou identifikovány klíčové faktory spolu s limitními podmínkami, které vedou k (vysokému riziku) vykolejení. Jsou stanoveny hlavní ovlivňující parametry vedoucí k těmto podmínkám a také rozsahy hodnot parametrů, odpovídající provozním podmínkám, které jsou buď bezpečné, vyžadující monitorování (údržbu) nebo jsou nepřijatelné. Zjištěné parametrické rozsahy vytváří rámec pro stanovení limitních hodnot pro monitorovací systémy a údržbových (monitorovacích) schémat, která pomohou zabránit dosažení limitní fáze v provozu. Tento přístup rovněž umožňuje identifikovat technologie, které pomáhají zlepšit účinnost monitorovacích metod, stejně jako provozní nebo údržbové metody ke snížení rizika vykolejení.



Obr. 4 - Proces posouzení příčin a následků vykolejení Zdroj: projektové konsorcium

#### 1.4 Pracovní balíček 4 – Inspekční a monitorovací technologie

Tento pracovní balíček poskytuje podrobný přehled a kritické zhodnocení stávajících inspekčních a monitorovacích technologií vztahujících se k předcházení a zmírňování následků vykolejení. Uvedené technologie se vztahují jak k vozidlům, tak k železniční infrastruktuře a jejich vzájemné interakci. Posuzována jsou rovněž stávající technická řešení v oblasti sledování vozidel pomocí RFID technologie. Na základě zjištění získaných z předešlých pracovních balíčků jsou vyvinuta příslušná efektivní řešení ke zlepšení stávajících inspekčních a monitorovacích systémů včetně funkčních a provozních požadavků.

V současné době již různé takové systémy provádějící přímé nebo nepřímé monitorování stavu ve vztahu k možnosti vykolejení na trhu existují. Tyto mohou být nainstalovány buď na vozidle (včetně identifikačních systémů vlaků) nebo na infrastruktuře. Dále je možné získávat údaje o trati ze specializovaných měřicích vozů pro železniční svršek. Provedený přehled se zaměřuje na všechny aspekty dosavadních dostupných technologií.

Příklady takových systémů je např. "technologie založená na měření vibrací" (na vozidle) nebo "sledování stavu dvojkolí" (z trati). Technologie založená na měření vibrací umožňuje průběžné hodnocení zrychlení vyvolaných traťovými nerovnostmi, které v extrémním případě mohou být hlavní příčinou vykolejení. Naproti tomu systémy založené na sledování stavu dvojkolí umožňují automatické rozpoznávání typických povrchových vad kol a dále měření kritických parametrů dvojkolí majících vliv na bezpečnost proti vykolejení, jakými jsou průměr kola, šířka a výška okolku, rozkolí, nekruhovitost kola a jeho profil. Tyto druhy inspekčních a monitorovacích systémů provádějí svoji činnost na projíždějících vozidlech.



Posouzení monitorovacích a inspekčních systémů je založeno na požadavcích a poznatcích třetího pracovního balíčku, kdy se hodnotí očekávané systémové výstupy z hlediska nejdůležitějších faktorů, jako je efektivita, vč. analýzy LCC a RAMS, uživatelská přívětivost a dopady na provoz a údržbu. Jedním z důležitých výstupů tohoto posouzení je jasná identifikace těch systémových aspektů vyžadujících zlepšení nebo inovaci s cílem snížit počet vykolejení.

### *1.5 Pracovní balíček 5 – Integrace monitorovacích technologií*

Pátý pracovní balíček má za úkol vyvinout a integrovat různé traťové a vozidlové monitorovací koncepty (včetně identifikace vozidla), které předcházejí vykolejení, do železničního provozu. Monitorovací koncepty obsahují popis, jak integrovat různé monitorovací systémy a technologie do širšího železničního systému. Monitorovací koncepty obsahují aspekty, jako jsou rozhraní, protokoly, přenos dat, databázové systémy, akční plány apod. Vhodné koncepty mají být vyvíjeny a vybírány na základě analýzy RAMS a LCC. To vede k informacím o průměrných nákladech spojených s nákupem, provozem a údržbou monitorovacích zařízení a o hodnocení zvýšení bezpečnosti. Tento pracovní balíček je velmi závislý na interakci s ostatními pracovními balíčky, zejména na parametrech, které ukazují na míru bezpečnosti proti vykolejení, na využití stávajících technologií a systémů a celkové aspekty nákladů.

### *1.6 Pracovní balíček 6 – Zkoušky a jejich hodnocení*

Šestý pracovní balíček pomocí zkoušek na vybraných zkušebních místech ověří, že navrhované změny nákladního železničního systému snižují pravděpodobnost vykolejení a pomáhají tak zvýšit bezpečnost. K ověření zlepšení železničního systému jsou na vhodná zkušební místa a na vybrané nákladní vozy nainstalovány vybrané monitorovací systémy. Během zkoušek jsou stávající i nové technologie vyhodnoceny ke stanovení míry zvýšení bezpečnosti proti vykolejení. Výsledky zkoušek mohou zároveň poskytnout zpětnou vazbu pro analýzu vykolejení za účelem ověření simulací a navrhovaných zlepšení. Tím je zajištěno, že doporučení z předešlých pracovních balíčků byla správná.

### *1.7 Pracovní balíček 7 – Provozní posouzení a doporučení*

Tento pracovní balíček poskytuje souhrn hlavních zjištění v oblasti bezpečnosti proti vykolejení a využívá analýzu RAMS pro nejlepší a nejhorší případ s cílem identifikovat dopady monitorování vozidel na spolehlivost, dostupnost a bezpečnost železničního systému. Je provedeno ekonomické hodnocení monitorovacích konceptů s ohledem na LCC a sociálně-ekonomické dopady a hodnocení rizik pro příslušné stavy vozidel a monitorovacích systémů. Sedmý balíček rovněž poskytuje odhad snížení počtu vykolejení a dopadu pro různé monitorovací koncepty a také připravuje návod pro využití budoucích monitorovacích konceptů pro zjištění rizik vykolejení a nutnosti údržby.

V rámci analýzy RAMS indikuje hodnocení rizik navrhovaných monitorovacích konceptů snížení počtu vykolejení jako funkci počtu monitorovacích systémů.

Analýza LCC řeší otázku snižování nákladů na vykolejení a monitorovací systémy. Rovnováha mezi nárůstem investic, údržbou a provozními náklady je porovnána s výdaji ušetřenými snížením počtu nehod.

Monitorovací systém může být použit nejen k identifikaci kritických parametrů vozidla, ale také pro kvazi-kontinuální sledování jeho stavu. Oba aspekty mají významný dopad na spolehlivost, dostupnost a především na bezpečnost systému. Proto je možné použít monitorovací systémy jako podporu pro řízení údržby vozidel, což může mít i své ekonomické výhody.

#### *1.8 Pracovní balíček 8 – Šíření a využití informací*

Osmý pracovní balíček vytváří specializované webové stránky, kde jsou dostupné výsledky projektu. Podporuje výměnu znalostí a dovedností mezi týmy partnerů, šíření informací mezi širokou veřejností, zainteresované strany a odborníky z oblasti průmyslu a výzkumu. Je zodpovědný za přípravu příslušných materiálů určených k šíření.

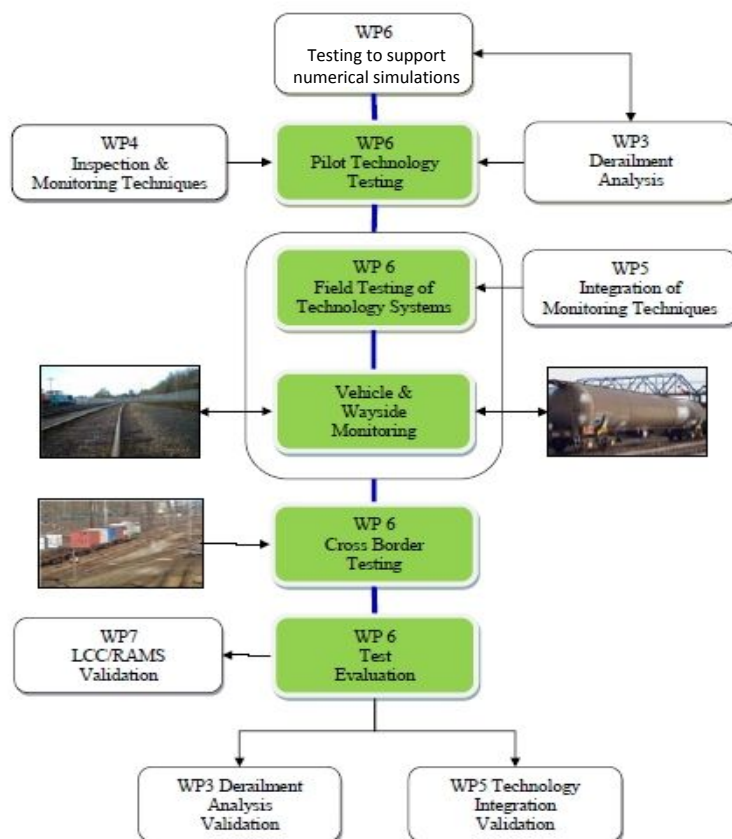
#### *1.9 Pracovní balíček 9 – Řízení projektu*

Cílem posledního, devátého pracovního balíčku je zajistit řízení a koordinaci celého projektu, dosažení jeho cílů. Spravuje projektovou strukturu: výbory, řídicí postupy, celkový plán jakosti, registry rizik, nástroje pro řízení projektů, interní webové stránky, apod. Zajišťuje finanční a smluvní řízení projektového konsorcia, včetně dodržování dohody o založení konsorcia.



## 2 Šestý pracovní balíček – „Zkoušky a vyhodnocení“ pod vedením Výzkumného ústavu železničního

Jak bylo řečeno v úvodu tohoto příspěvku, VUZ byl pověřen vedením šestého pracovního balíčku s názvem „Zkoušky a jejich hodnocení“, který je rozčleněn na pět dílčích úkolů:



Obr. 5 – Struktura šestého pracovního balíčku

Zdroj: projektové konsorcium

### a) Zkoušky pro ověření výpočtových simulací

Úkol se zabývá podporou modelování a simulací prováděných v třetím balíčku (analýza vykolejení) a ověřováním klíčových parametrů hodnocení. Ve třetím balíčku byly identifikovány dvě klíčové otázky, které je nutné ověřit zkouškou. Jedná se o vliv příčného ohybu na lom paty kolejnice a dále o šplhání okolku u dvounápravových vozů. Místem pro uvedené ověřovací zkoušky se stal nepřevýšený oblouk o poloměru 150 m, který se nachází ve Zkušebním centru VUZ Velim. Oblouk je vybaven měřicími řezy pro měření příčné a svislé síly působící při průjezdu vozidla mezi kolem dvojkolí a kolejnicí. Šplhání okolku je měřeno pomocí zařízení sestávajícího ze šesti laserových snímačů.

#### b) Zkoušky pilotní technologie

Druhý úkol se zabývá pilotním testováním stávajících a nových technologií za účelem podpory provádění zkoušek ve Zkušebním centru VUZ. Místem k provádění těchto úvodních zkoušek je zkušební centrum v Barrow Hill poblíž Chesterfieldu ve Velké Británii. Zde se nacházejí krátké zkušební koleje, koleje pro údržbu lokomotiv a široká škála vozidel. Místo je vhodné pro zkoušení při nízkých rychlostech a v úvodní fázi hodnocení stávajících a potenciálních nových monitorovacích systémů instalovaných buď na trati nebo na vozidle. Pilotní zkoušky podpoří posouzení stávajících monitorovacích technologií a jejich prvotní navrhovaná zlepšení, která jsou považována za klíčová pro dosažení snížení počtu vykolejení na základě zjištění třetího a čtvrtého pracovního balíčku, a to před plnou implementací systému ve Zkušebním centru VUZ.

Jako pilotní monitorovací systém byl vybrán inspekční systém jízdní plochy kola. Jedná se o bezkontaktní systém, který je schopný v provozu automaticky monitorovat povrch jízdní plochy kola pomocí kamer s vysokým rozlišením. Dokáže detekovat takové vady kol jako jsou plochá místa, praskliny, vydrolování materiálu apod.

#### c) Zkoušky integrovaných technologií

Tento úkol je zaměřen na hlavní zkušební činnost ve Zkušebním centru VUZ Velim v České republice a na implementaci vybraných monitorovacích konceptů. Zkušební centrum zahrnuje velký a malý zkušební okruh, S-oblouk, pomocné koleje, dynamický zkušební stav apod., kde mohou být zkoušeny monitorovací systémy instalované na vozidlo nebo na trať a které jsou vybrány na základě zjištění čtvrtého a pátého pracovního balíčku.

Pro zkoušky ve Zkušebním centru VUZ byl vybrán snímač nestability vozidla, který je umístěn na rámu podvozku. Toto zařízení je určeno k detekci abnormálních hodnot vibrací nebo rázů na úrovni podvozku a signalizaci, že s vozidlem není něco v pořádku.



Obr. 6 – Schéma velkého a malého zkušební okruhu Zkušební centra VUZ

Zdroj: VUZ

#### d) Přeshraniční zkoušky

Čtvrtý dílčí úkol je zaměřen na využití stávajících vybraných monitorovacích technologií instalovaných na vozidla a na trať, včetně jejich případných vylepšení, k prokázání schopnosti fungovat v železničním provozu ve všech členských státech EU. Pro ověření účinnosti monitorovacích systémů jsou vyhodnoceny a porovnány dva konkrétní systémy ve dvou sousedních státech, kdy jedním z nich je Německo. Výsledky zkoušky poskytují důkaz praktických a ekonomických dopadů na zavádění technologií detekce vykolejení v dalších státech EU.

Pro tyto zkoušky byl vybrán hraniční přechod v oblasti Hamburku.

#### e) Vyhodnocení zkoušek

Poslední úkol se zabývá vyhodnocením výsledků získaných ze zkoušek provedených ve Velké Británii a v České republice a z přeshraničních zkoušek v Německu. Výsledky budou vědecky vyhodnoceny a porovnány s výsledky simulací a modelování. Poskytnou tak důležitou validaci poznatků plynoucích z pracovních balíčků 3, 5 a 7. Vyhodnocení výsledků, včetně zkušebních postupů, technické a provozní proveditelnosti vyvinutých technologií pro snižování počtu vykolejení rovněž poslouží jako materiál pro budoucí evropskou standardizaci.

## Závěr

Závěrem je možno uvést, že v době psaní tohoto příspěvku vstupuje řešení projektu do fáze zkoušek vybraných monitorovacích konceptů. Pracovní balíčky 1 a 2 již ukončily svou činnost. Z práce třetího balíčku vyplynuly požadavky na ověření konkrétních problémů v oblasti mechanismů vedoucích k vykolejení. Balíček čtvrtý poskytl dva monitorovací koncepty, z nichž jeden bude zkoušen ve Velké Británii a druhý v České republice. Pátý balíček bude v součinnosti s balíčkem šestým porovnávat vlastnosti monitorovacích systémů mezi dvěma sousedními státy EU. Výsledky vyhodnocení všech uvedených zkoušek poskytnou validaci nejen pracovním balíčkům 3 a 5, ale také podklad pro analýzu RAMS a LCC, zpracovávanou v balíčku sedmém.

Autor předpokládá, že po skončení a vyhodnocení projektu seznámí čtenáře VTS ČD s nejdůležitějšími a nejzajímavějšími poznatky.

Praha, duben 2014

Lektorovali:

doc. Ing. Jaromír Zelenka, CSc.  
Univerzita Pardubice

Ing. Tomáš Heptner  
VÚKV a.s.