



Prinášame riešenia pre bezpečnejšie železnice

Inovatívne riešenia vedúce k zvýšenej spoľahlivosti diagnostiky závad idúcich železničných vozidiel a železničnej infraštruktúry

Ing. Ladislav Smatana
DSRailTech, a.s.

ÚVOD DO PROBLEMATIKY / AKTUÁLNÝ VÝVOJ

- V posledných rokoch dochádza k zvyšovaniu počtu dopravcov na železničnej infraštruktúre a tým pádom aj ku zvýšenej hustote premávky.
- Priamo úmerne sa zvyšujú aj nároky na diagnostické a zabezpečovacie systémy z hľadiska výkonu, flexibility a spoľahlivosti.
- Kľúčom k splneniu týchto nárokov je získanie čo najväčšieho množstva užitočných informácií z média záujmu, ktoré je následne potrebné efektívne vyhodnotiť.
- Diagnostický systém DSRT spoločnosti DSRailTech, a.s. bol navrhnutý a vyvinutý práve pre naplnenie týchto kritérií.



DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT

Diagnostický systém DSRT sa skladá z dvoch hlavných častí:

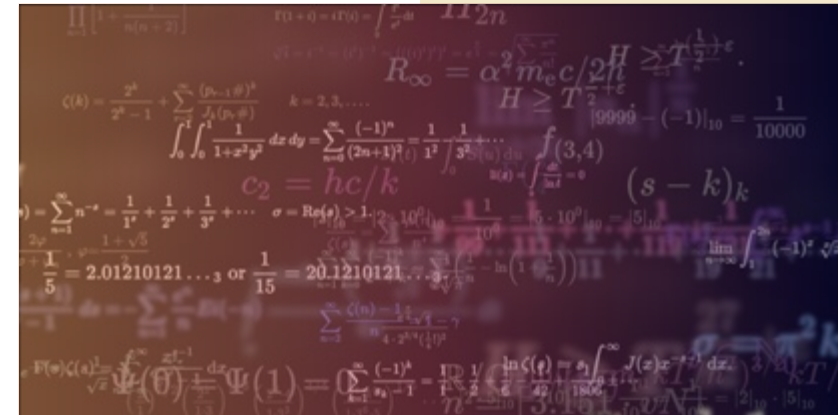
- Platforma merania dynamiky – DMP
- Aplikačný softvér

DMP tvoria:

- Hardvérové komponenty
- Firmware
- Nízkoúrovňový softvér

DMP je rovnaký pre všetky diagnostické aplikácie.

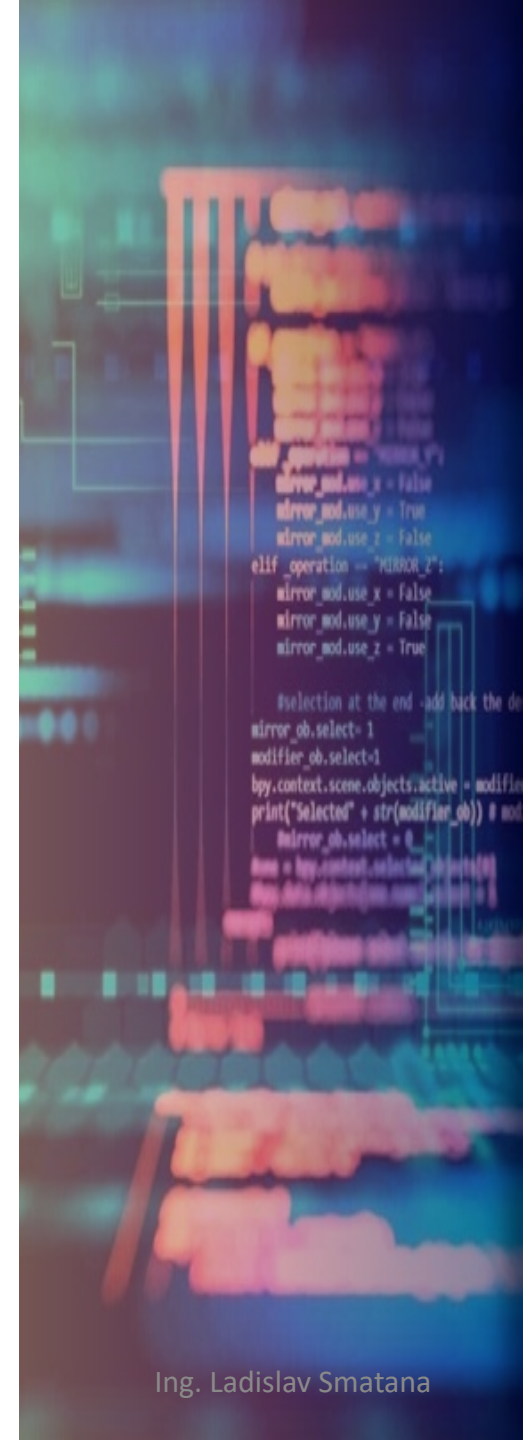
Aplikačný softvér je rôzny podľa konkrétnej diagnostickej aplikácie, ktorá aktuálne beží na diagnostickom systéme DSRT, pričom **simultánne** môže na jednom systéme bežať až **6 diagnostických aplikácií**.



DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT

Platforma merania dynamiky – DMP

- DMP rozpozná vibrácie, ktoré sa šíria v koľajnici, prostredníctvom snímača DXMD, ktorý posiela dáta do DMP Rack-u na spracovanie a vyhodnotenie.
- Vzdialenosť DXMD snímačov od DMP Rack-u môže byť **až 5 kilometrov**.
- Platforma poskytuje možnosť stohovania až 16 DMP Rack-ov prostredníctvom optického vlákna pre pokrytie veľkých vzdialeností alebo pre lokálne pokrytie **až 28 tratí (4 snímače na 1 trať)**.



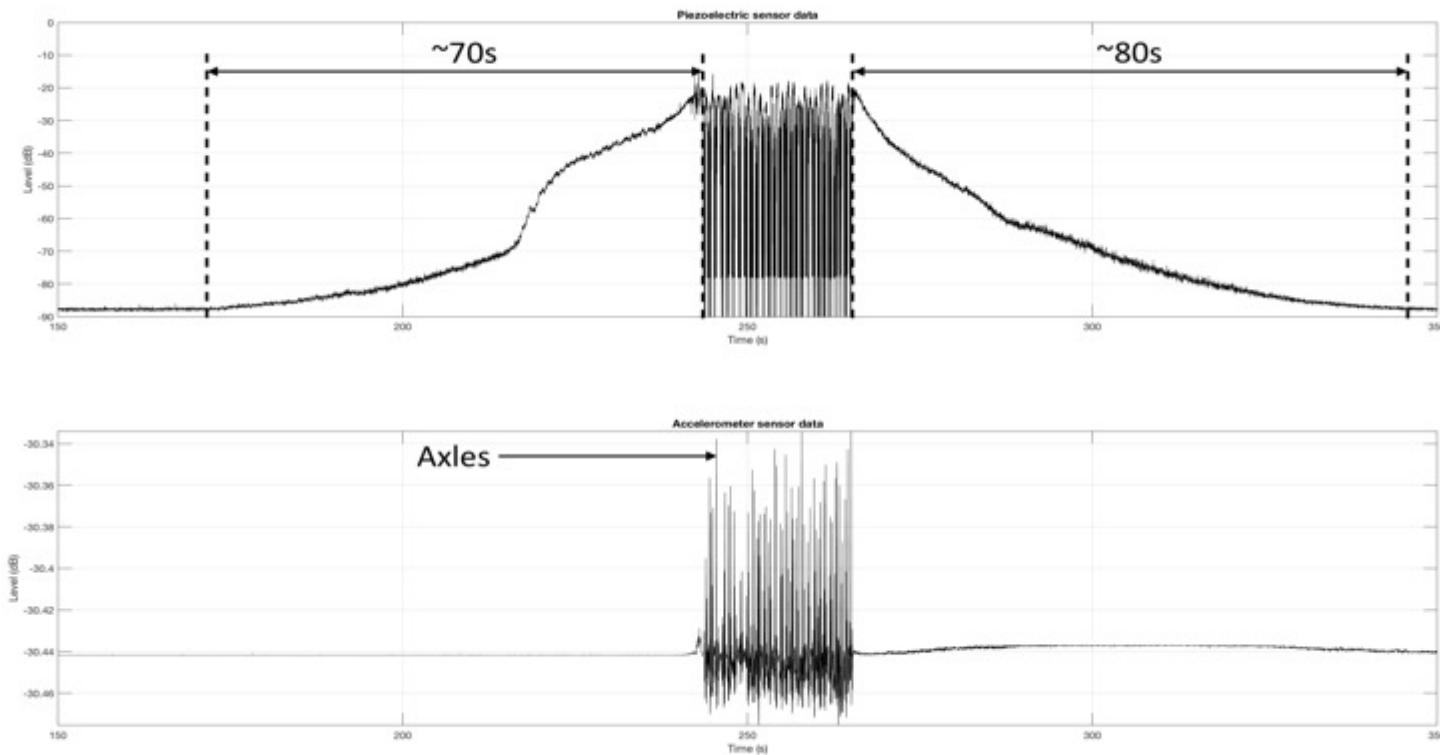
DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT

Fyzikálny vstup

- Fyzikálnym vstupom pre diagnostické aplikácie sú **vibrácie**, ktoré sa šíria v koľajniciach.
- Tieto vibrácie sú snímané **veľmi citlivými a odolnými snímačmi DXMD**, ktoré okrem iného obsahujú zákazkovú piezoelektrickú keramiku, ktorá slúži na snímanie vibrácií z diaľky, zákazkovú vysokofrekvenčnú piezoelektrickú keramiku, ktorá slúži na snímanie vibrácií z krátkej vzdialenosti, nízkofrekvenčný akcelerometer na snímanie vibrácií z krátkej vzdialenosti, teplomer na snímanie teploty koľajnice a trojosový akcelerometer pre detekciu odpadnutia/posunutia snímača.
- Snímače teda dokážu zbierať **lokálne vibrácie pri prechode** koľajového vozidla nad nimi, ako aj snímať vibrácie prichádzajúce z veľkých vzdialeností.
- **Dĺžka úseku trate**, ktorú dokáže pokryť jeden systém DSRT závisí od mnohých dynamicky sa meniacich premenných, obzvlášť však od **kvality koľajnic** a **rýchlosti** a **hmotnosti** koľajového vozidla.
- V priemere **jeden systém** dokáže pokryť úsek trate o dĺžke **3km**.
- Doposiaľ **najdlhší úsek pokrytý jedným systémom DSRT bol dlhý ~8km**.
- **Snímač je neinvazívne pripevnený** pod hlavu koľajnice (najefektívnejšie šírenie vibrácií).
- **Vrchný kryt snímača** je vždy presne **prispôsobený profilu koľajnice** pre optimálny prenos vibrácií z nej.

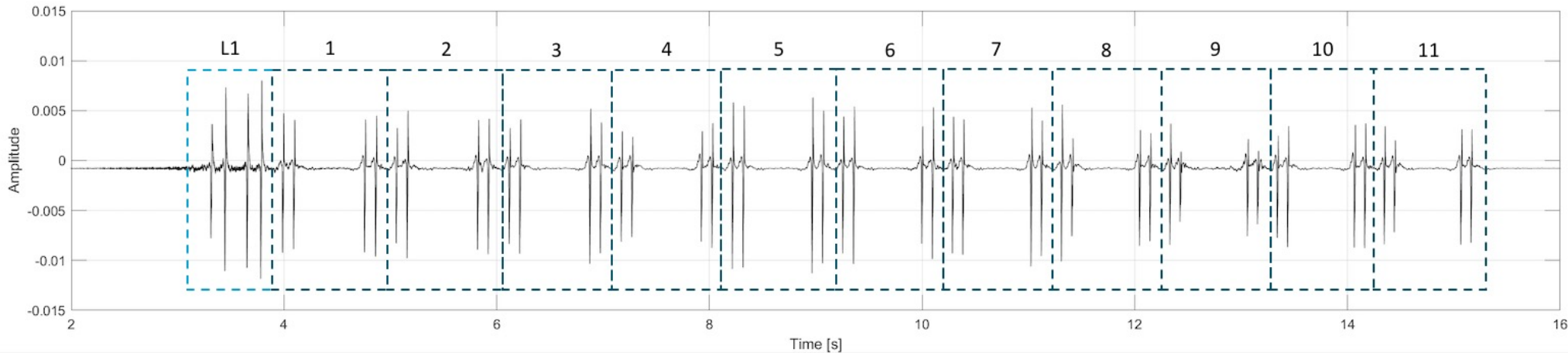


DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT



Obr. 1 Detekcia koľajového vozidla do diaľky a detekcia jednotlivých náprav piezoelektrickými elementami

DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT



Obr. 2 Detekcia jednotlivých náprav akcelerometrom, lokomotíva a 11 vozňov

DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT

Hardvérové komponenty

Všetky hardvérové komponenty sú rozdelené do troch skupín a boli **navrhnuté** a **vyrobené** spoločnosťou **DSRailTech** z dôvodu úspory miesta, zvýšenia výkonu a minimalizovania spotreby.

Vonkajšie komponenty:

- snímač DXMD a Sensor Fiber Extender, zodpovedný za uzemnenie a ochranu dátových a napájacích liniek pred prepätím a taktiež za konverziu dát z DXMD na optické signály. Je umiestnený v káblovom uzávere.

Vnútorne komponenty:

- nachádzajú sa v kabinete a tvoria 19"-vý 3U DMP Rack. DMP Rack prijíma údaje zo snímačov DXMD, vyhodnocuje ich a poskytuje napájacie a komunikačné zbernice, ktoré rôzne komponenty používajú pre správne fungovanie a pre zdieľanie dát medzi sebou.

Manažment komponenty:

- DSRT Token je prenosné zariadenie určené pre manažment DMP komponentov.



DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT

Aplikačný softvér

- Jednotlivé diagnostické aplikácie používajú pre spracovanie údajov rôzne vyhodnocovacie algoritmy.
- Väčšina algoritmov využíva komplexné matematické modely a je postavená na deep a machine learning-u.
- **Algoritmy sú výsledkom dlhodobej vedeckej činnosti členov R&D oddelenia v rámci spoločnosti.**

Medzi aktuálne ponúkané **diagnostické aplikácie** patria:

- Detekcia plochých kolies – FWDAPP – lokálna detekcia
- Monitoring poškodenia koľajnice – RDMAPP – diaľková detekcia
- Monitoring vykoľajenia nápravy – ADMAPP – diaľková aj lokálna detekcia
- Monitoring prekážok na trati – TOMAPP – diaľková aj lokálna detekcia
- Detekcia nepovoleného vstupu – ITDAPP – diaľková aj lokálna detekcia
- Monitoring deformácie trate – RBMAPP – diaľková aj lokálna detekcia
- Monitoring dynamických vplyvov na výhybky – TNMAPP – diaľková aj lokálna detekcia

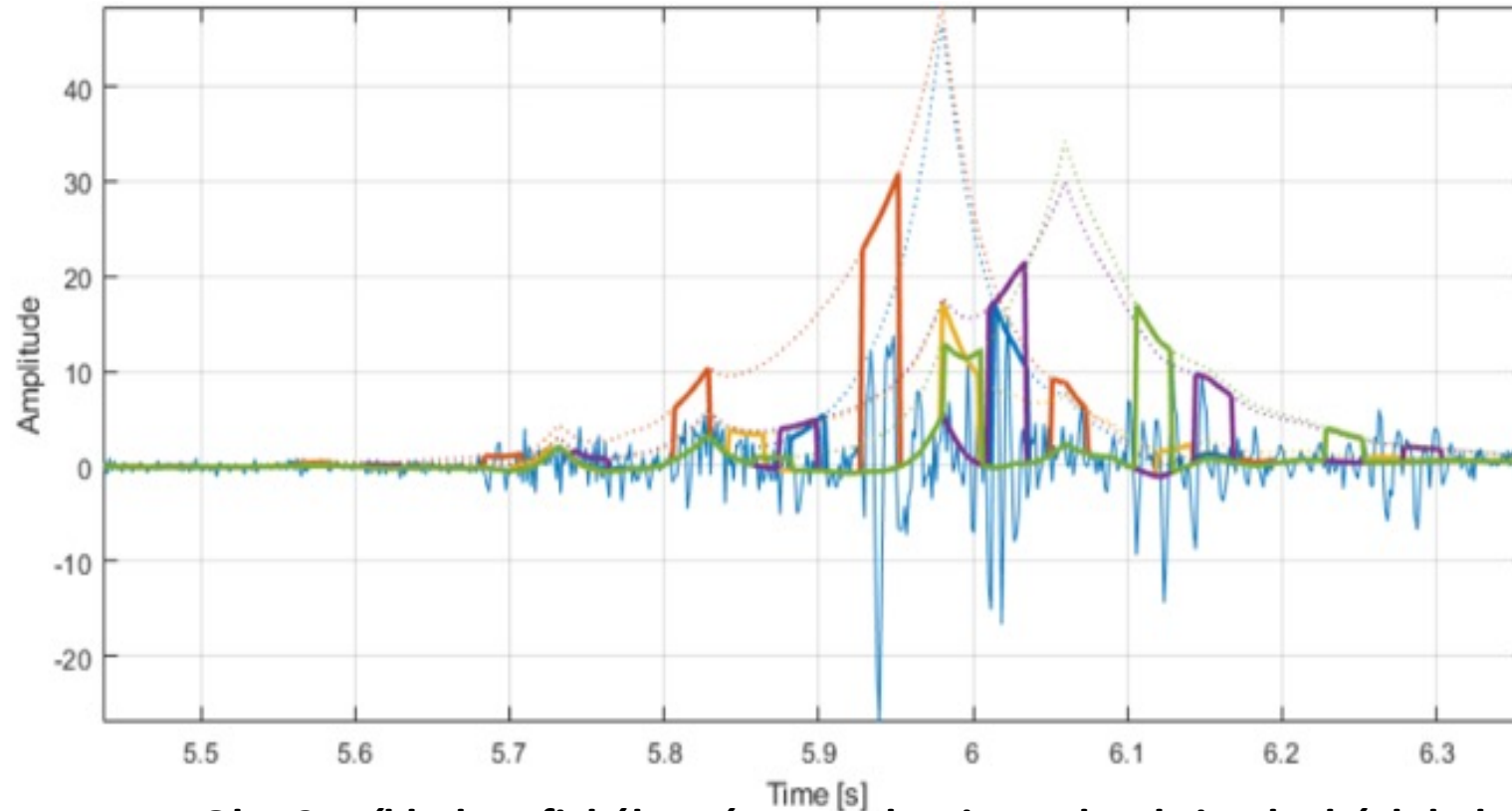


DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT

- Inštalácia DXMD je rýchla a **nevyžaduje prerušenie prevádzky** na trati.
- Pozostáva z **odstránenia nečistôt** a hrdze spod hlavy koľajnice v mieste, kde bude DXMD nainštalované a jeho následného **nalepenia** silným lepidlom na očistené miesto.
- DXMD sú pridržiavané dvomi na mieru navrhnutými **DSRT magnetmi**.
- DXMD káble sú vhodné na priame uloženie do zeme alebo ponechanie na povrchu.



DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT



Obr. 3 Príklad grafického výstupu algoritmu detekcie plochých kol

Na obrázku je možné vidieť ako je pravdepodobnostný framework schopný identifikovať a lokalizovať ploché kolesá a to aj v prípade, ak sú vstupné signály do určitej miery nejednoznačné.

DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT

Equation (4) can be rewritten as shown in (14).

$$\begin{aligned}
 p(Z_{4,6}^* | Z_3^*, Y_3) &= \left[\sum_{Y_4} p(Y_4 | Y_3) \cdot p(Z_4^* | Z_3^*, Y_4) \cdot \sum_{Y_5} p(Y_5 | Y_4) \cdot p(Z_5^* | Z_4^*, Y_5) \cdot \sum_{Y_6} p(Y_6 | Y_5) \cdot p(Z_6^* | Z_5^*, Y_6) \right] \\
 (14) \quad &= \left[\sum_{Y_4} p(Y_4 | Y_3) \cdot p(Z_4^* | Z_3^*, Y_4) \cdot \sum_{Y_5} p(Y_5 | Y_4) \cdot p(Z_5^* | Z_4^*, Y_5) \cdot p(Z_6^* | Z_5^*, Y_5) \right] \\
 &= \left[\sum_{Y_4} p(Y_4 | Y_3) \cdot p(Z_4^* | Z_3^*, Y_4) \cdot p(Z_{5,6}^* | Z_4^*, Y_4) \right] \\
 &= p(Z_{4,6}^* | Z_3^*, Y_3)
 \end{aligned}$$

Note how the terms marked in blue show terms that could define a recursion. Thus, for $t > 1$, term $p(Z_{t+1,T}^* | Z_t^*, Y_t)$ can be calculated as shown in equation (15).

$$(15) \quad p(Z_{t+1,T}^* | Z_t^*, Y_t) = \sum_{Y_{t+1}} p(Y_{t+1} | Y_t) \cdot p(Z_{t+1}^* | Z_t^*, Y_{t+1}) \cdot p(Z_{t+2,T}^* | Z_{t+1}^*, Y_{t+1})$$

Note how the term in blue concerns a calculation for future values, thus, this recursion starts for $t + 1 = T$ and continues backwards in time until the desired t is reached, where $p(Z_T^* | Z_{T-1}^*, Y_{T-1})$ is calculated as shown in (16).

$$(16) \quad p(Z_T^* | Z_{T-1}^*, Y_{T-1}) = \sum_{Y_T} p(Y_T | Y_{T-1}) \cdot p(Z_T^* | Z_{T-1}^*, Y_T)$$

As the recursive terms are calculated backwards in time, this algorithm can be called the backwards algorithm.

In matrix-vector form, equation (15) can be written as shown in equation (17).

$$(17) \quad \beta_t = \Psi(\psi_{t+1} \odot \beta_{t+1})$$

where $\beta_t(i) = p(Z_{t+1,T}^* | Z_t^*, Y_t = i)$ is a column vector, $\psi_{t+1}(i) = p(Z_{t+1}^* | Z_t^*, Y_{t+1} = i)$ is a column vector, $\Psi(i, j) = p(Y_{t+1} = j | Y_t = i)$ is the transition matrix, and \odot is the Hadamard product or elementwise vector multiplication.

Similarly, equation (16) can be written as shown in equation (18).

$$(18) \quad \beta_{T-1} = \Psi \psi_T$$

where $\psi_T(i) = p(Z_T^* | Z_{T-1}^*, Y_T = i)$.

Finally, equation (9) can be written in matrix-vector form as shown in equation (19).

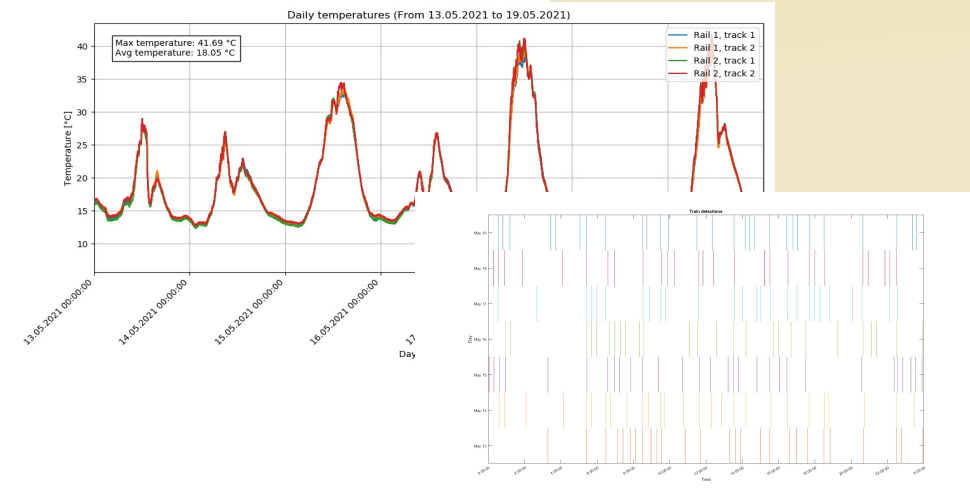
$$(19) \quad \gamma_t = \frac{g_t}{\sum g_t} = \frac{\alpha_t \odot \beta_t}{\sum g_t}$$

- Vývoj aplikácií DSRT sa riadi vedeckou metódou. Začína **vytvorením hypotézy (modelu)**, ktorá je následne **aplikovaná** a dôkladne **testovaná** na zozbieraných údajoch. Výstupy sú potom konfrontované s údajmi z iných meraní.

DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM DSRT

Systém taktiež informuje o:

- **teplote koľajnice**
- **rýchlosti koľajového vozidla (vrátane rýchlosti jednotlivých náprav)**
- **počte náprav, počte vozňov**
- **smeru jazdy koľajového vozidla**
- **počte koľajových vozidiel za definované obdobie.**



Keďže systém DSRT dokáže snímať, spracovať a vyhodnotiť vibrácie veľmi bohaté na informácie, nárastom súboru zosnímaných a vyhodnotených údajov sa potvrdzujú hypotézy, že technológia je vhodná aj na **dynamické váženie koľajových vozidiel** a to aj pri rýchlostiach minimálne **do 200km/h** za použitia totožného hardvéru.

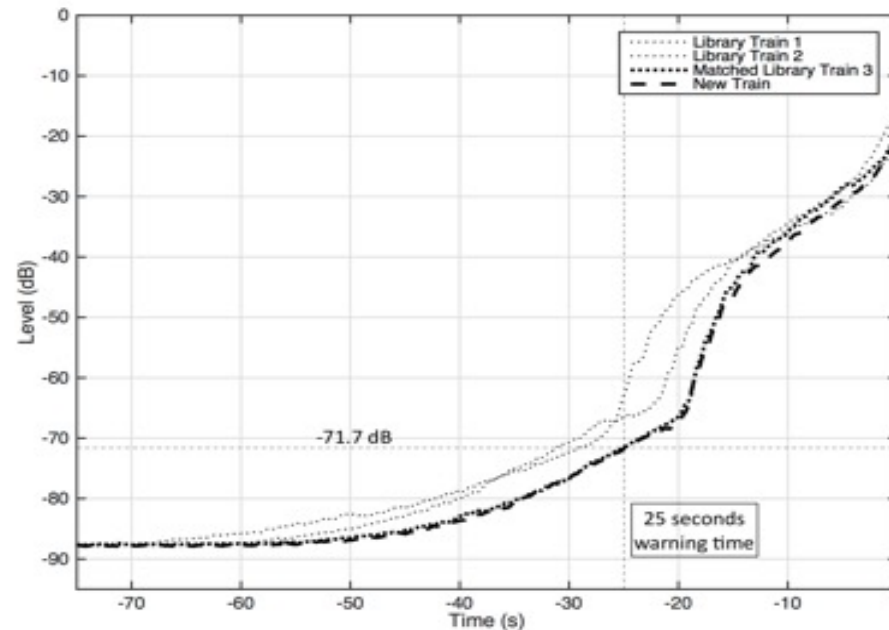
Diagnostický systém DSRT je tiež použiteľný pre určité zabezpečovacie aplikácie:

- Monitoring koľajových vozidiel
- Monitoring obsadenia trate (napríklad pre trate D1 a D3)

Certifikácia funkčnej bezpečnosti požadovaná pre zabezpečovacie zariadenia je vo fáze prípravy a bude sa realizovať v roku 2022.



MONITORING KV



Obr. 4: Grafický výstup odhadu príchodu koľajového vozidla k snímačom DXMD (využiteľné pre zaistenie konzistentného času varovanie na železničných priestech)

Obrázok znázorňuje ako **aplikácia porovnáva** čerstvo spozorované koľajové vozidlo s predošlými **prejazdmi** koľajových vozidiel uloženými v jej **lokálnej knižnici** a následne nachádza **zhodu**. V tom prípade **algoritmus dokáže predpovedať kedy poslať signál** signalizačným zariadeniam na základe želaného času od príchodu koľajového vozidla k železničnému priestech.

ZÁVER

- Diagnostický systém DSRT môže výrazne **prispieť k zvýšenej spoľahlivosti a presnosti** diagnostických údajov a tým **znižit škody a náklady** užívateľa spojené s falošne pozitívnymi údajmi resp. nedetegovanými neželanými udalosťami.
- Keďže systém včas dokáže detegovať prekursorov nehôd, je vhodný aj ako **nástroj prediktívnej údržby**.
- Systém DSRT pomôže užívateľom výrazne **ušetriť náklady** spojené s obstaraním, inštaláciou (nevyžaduje prerušenie premávky) a údržbou systému (samodiagnostika).
- V neposlednom rade je systém **šetrný k životnému prostrediu** počas celej svojej životnosti a pri jeho odstránení.



ĎAKUJEM ZA POZORNOSŤ

DSRailTech, a.s.

Lípová 1444/20, 120 00 Prague, Czech Republic

DSRailTech Slovakia, s.r.o.

Letná 11/45, 040 01 Košice, Slovak Republic



info@dsrailtech.com