

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**

**KATEDRA
ŽELEZNIČNÍCH STAVEB**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**MĚŘENÍ DRSNOSTI
A VLNKOVITOSTI U MĚSTSKÝCH
KOLEJOVÝCH DRAH**

2022

**JANA
HOVORKOVÁ**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: HOVORKOVÁ Jméno: Jana Osobní číslo: 484 450
Zadávací katedra: Katedra železničních staveb - K137
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Měření drsnosti a vlnkovitosti u městských kolejových drah
Název bakalářské práce anglicky: Measurement of rail roughness and corrugation in urban rail transport

Pokyny pro vypracování:

V rámci rešeršní části bakalářské práce se zaměřte na metody a možnosti měření drsnosti a vlnkovitosti kolejnic u městských kolejových drah. Při zpracování rešerše se blíže zaměřte na účel a možnosti měření a použití výstupů měřícího zařízení "Salamander".

V rámci praktické části proveďte sérii měření přístrojem Salamander na síti Dopravního podniku hlavního města Prahy. Proveďte měření v návaznosti na probíhající rekonstrukční nebo opravné práce na vybraném úseku, které umožní srovnat stav kolejnice nové, kolejnice přebroušené a případně i kolejnice ojeté provozem. Proveďte vyhodnocení pro sledovaný úsek tratě.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 15610 (73 6341) Železniční aplikace - Emise hluku - Měření drsnosti povrchu kolejnic ve vztahu k hluku valení ČSN 73 6405 - Projektování tramvajových tratí

ČSN EN 13848 (73 6359)

Železniční aplikace - Kolej - Kvalita geometrie koleje

ČSN 73 6360 (73 6360)

Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha

S L Grassie: Rail corrugation: characteristics, causes, and treatments, DOI: 10.1243/09544097JRRT264

Valehrach, J.& kolektiv: Měření skluzových vln na železničních a tramvajových tratích, Certifikovaná metodika Vyhláška č. 177/1995 Sb.

Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává stavební a technický řád drah.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Ondřej Bret

Datum zadání bakalářské práce: 18. 2. 2022 Termín odevzdání bakalářské práce: 15. 5. 2022
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Měření drsnosti a vlnkovitosti u městských kolejových drah** zpracovala samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

Jana Hovorková



Poděkování

Děkuji mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Bretovi za jeho užitečné rady a připomínky a za jeho odborné vedení při zpracování bakalářské práce. Dále děkuji Katedře železničních staveb za zapůjčení přístroje Salamander. Děkuji také zaměstnancům Pražské strojírny, a.s. za vstřícnost při realizaci měření v pražském metru. Ráda bych také poděkovala mé rodině a blízkým, kteří mi byli oporou po celou dobu studia na vysoké škole.



Měření drsnosti a vlnkovitosti u městských kolejových drah

**Measurement of rail roughness
and corrugation in urban rail transport**



Anotace

Bakalářská práce se zabývá problematikou měření vlnkovitosti a drsnosti. Práce se věnuje měření a porovnání stavů kolejnic před a po přebroušení z hlediska vlnkovitosti a drsnosti. V rámci práce je obsaženo také vyhodnocení naměřených dat z měření na traťovém úseku metra na síti Dopravního podniku hl. m. Prahy. S ohledem na vyhodnocení dat je stanoven vliv broušení na stav kolejnic.

Klíčová slova:

Vlnkovitost, drsnost, vada kolejnice, diagnostika, kolejnicový pás, rotační broušení kolejnic, ruční měřicí vozík, Salamander



Summary

The bachelor thesis focuses on monitoring of rail roughness and corrugation. The thesis examines the process of measuring and comparing of a state before and a state after rail grinding of a rail from the point of view of a rail corrugation and an acoustic roughness. Evaluation of measured data is included. These data were acquired by a diagnostics on a selected underground railway of Dopravní podnik hl. m. Prahy. With regard to data evaluation, the effect of grinding on the condition of the rail is determined.

Key words:

Rail corrugation, acoustic roughness, rail defect, diagnostics, rail, rotary rail grinding, small measuring trolley, Salamander





Obsah

1	Úvod	13
1.1	Úvod.....	13
1.2	Cíle práce	13
2	Rešeršní část	15
2.1	Předpis S 67 Vady a lomy kolejnic	16
2.2	Vlnkovitost kolejnic a skluzové vlny	18
2.3	Drsnost kolejnic	21
2.4	Hlukové mapy	22
2.5	Měření vlnkovitosti a drsnosti kolejnic.....	23
2.5.1	Ruční měřicí lať	24
2.5.2	Ruční měřicí vozíky	26
2.5.2.1	Popis přístroje Salamander	28
2.5.2.2	Popis měření s přístrojem Salamander	30
2.5.2.3	Vyhodnocení dat v programu Salamander 10.....	32
2.5.3	Měřicí moduly na železniční vozy.....	34
2.6	Odstraňování vad	36
2.6.1	Brusné vozidlo AT2200-12E.....	39
3	Praktická část	41
3.1	Popis měřeného úseku	42
3.2	Popis měření.....	43
3.3	Vyhodnocení naměřených dat.....	44
3.3.1	Vyhodnocení vlivu broušení na periodické deformace temene kolejnice	45
3.3.2	Vyhodnocení vlivu broušení na akustickou drsnost kolejnicového pásu	48
3.3.3	Posouzení vlivu broušení	49
4	Závěr	51
5	Seznam použitých zdrojů	53
6	Seznam obrázků	58
7	Seznam tabulek	59
8	Seznam grafů	59
9	Seznam příloh	59





1 Úvod

1.1 Úvod

Kolejová doprava má v současné době zásadní podíl na nákladní i osobní dopravě na území České republiky s perspektivou dalšího rozvoje. V roce 2019 byl podíl železniční dopravy na celkovém přepravním výkonu nákladní dopravy 28 (16 180 mil. tkm z celkových 58 888 mil. tkm). [1] Jednalo se o druhý nejvyužívanější způsob přepravy věcí, neboť silniční doprava tvořila 67 % celkového přepravního výkonu v nákladní dopravě a ostatní typy přepravy nákladu společně tvořily zbylých 5 %. [1] I přes dominantní roli silniční dopravy zůstává kolejová doprava důležitou strategickou a environmentálně vhodnou variantou přepravy osob i věcí.

Pro co nejefektivnější využití výhod kolejové dopravy je nutné udržovat ji v co nejlepším možném stavu.

Péči o stav kolejové dopravy můžeme rozdělit na údržbu vozového parku a údržbu kolejové infrastruktury. Pro údržbu kolejové infrastruktury je nezbytný pravidelný monitoring stavu kolejových tratí, který umožňuje predikci vzniku vad a plánování oprav. Z pohledu údržby vyhovujícího stavu (z pohledu udržování kolejové cesty ve stavu vyhovujícím předpisům vztaheným ke konkrétní kolejové trati) kolejové trati jsou hlavními kontrolovanými geometrickými parametry koleje rozchod koleje, změna rozchodu, převýšení a zborcení koleje (vzájemný sklon kolejnicových pásů), dále pak i směr a výška.

Neméně důležité je odhalování lokálních vad jako jsou boční opotřebení (ojetí) hlavy kolejnic, příčné či vodorovné trhliny v hlavě kolejnice, lomy kolejnic, odlupování materiálu z pojezděné hrany (shelling) atd. Úplný výčet a specifikace druhů opotřebení kolejnic je obsažena v předpisu. [2]

Tato práce se věnuje dvěma souvisejícím jevům vyskytujících se a kolejnicích, a to vlnkovitosti a drsnosti.

1.2 Cíle práce

Cíle této bakalářské práce lze rozdělit do dvou hlavních oblastí, z nichž první je část rešeršní a druhá část praktická.

Cíle rešeršní části jsou:

- seznámení s problematikou vad kolejnic a souvisejícími předpisy,
- seznámení s akustickou drsností kolejnic,
- popis hlukových účinků vlnkovitosti a akustické drsnosti kolejnic,
- popis možných způsobů monitorování a odstraňování vlnkovitosti a akustické drsnosti kolejnic,



- teoretické seznámení s ručním měřicím vozíkem Salamander (výrobce KŽV s.r.o.) a popis postupu měření s tímto přístrojem.

Cíle praktické části jsou:

- praktické seznámení s ručním měřicím vozíkem Salamander a s postupem měření s tímto přístrojem,
- provedení pilotního měření na zvoleném úseku přístrojem Salamander,
- zjištění stavu vlnkovitosti a akustické drsnosti na měřeném úseku,
- porovnání stavu kolejnicového pásu před a po provedení údržby, vyhodnocení vlivu broušení na zmírnění vlnkovitosti a akustické drsnosti.



2 Rešeršní část

Jak již bylo uvedeno v úvodu, kolejová doprava tvoří významný podíl na celkové přepravě osob i nákladu. Jednou z výhod kolejové dopravy je, že při pohybu kolejového vozidla po koleji dochází k menšímu tření (a tudíž menší energetické ztrátě) mezi dopravní cestou a kolem vozidla, než je tomu u silniční dopravy. Železniční doprava se mimo to vyznačuje i menší hodnotou aerodynamického odporu a větší hodnotou poměru hmotnosti nákladu ku celkové hmotnosti plně naloženého vozidla, než je tomu u dopravy silniční. [3] Z toho plyne, že při provozu kolejových vozidel dochází k nižší zátěži životního prostředí z pohledu spotřeby energie. Pro zachování co nejnižších ztrát energie způsobených třením je důležité o kolejové tratě pečovat. Zanedbání údržby může mít za následek nejen zvýšení spotřeby energie, ale také negativní dopad z hlediska zvýšených emisí hluku v okolí dané dopravní cesty.

Z toho plyne, že je žádoucí udržovat kolejovou dopravu jako celek v co nejlepší *kondici*. Z tohoto důvodu se monitoruje jak stav kolejových vozidel, tak i kolejové dopravní cesty, po které se vozidla pohybují.

Základní požadavky na stav drah v České republice jsou obsaženy ve Vyhlášce č. 177/1995 Sb. [4] Jsou zde uvedeny podmínky a rozsah technickobezpečnostních zkoušek, kontroly a obchůzek tratí platné pro Českou republiku. Pro splnění podmínek je nutno u trati ověřit prostorovou průchodnost, geometrickou polohu koleje, stav sdělovacích a elektroenergetických zařízení atd. Dále jsou zde uvedeny technické podmínky provozuschopnosti dráhy celostátní, regionální a vlečky a samostatně jsou zde specifikovány i technické podmínky provozuschopnosti pro dráhy speciální (metro), tramvajové a lanové. Mimo rozsahů povolených hodnot jednotlivých parametrů jsou zde uvedeny i požadavky na časové intervaly prohlídek dle objektu a předmětu prohlídky. [4]

Tato práce se dále omezuje na monitoring a údržbu kolejové trati jen z pohledu kolejnicových pásů. Aby bylo možné o kolejnice správně pečovat, je nezbytné zabývat se problematikou vad kolejnic. Správná klasifikace vady umožňuje odhalení příčiny jejího vzniku a volbu vhodného opatření, které zabrání jejímu dalšímu rozvoji a dalšímu zhoršení kvality dopravy, případně zjištěná vada předurčí nutnou výměnu kolejnice za novou.

Pro pochopení celé problematiky je potřeba orientovat se v tématu vad kolejnic včetně souvislostí mezi konkrétním poškozením, příčinnou jejich vzniku a možnými následky, ale také vnímat souvislosti mezi různými typy vad.



Právě na dva úzce související jevy, vlnkovitost a drsnost kolejnic, se zaměřuje tato práce. Následující odstavce obsahují popis a dosud známé následky zmíněných jevů a možné historické i současné způsoby jejich odhalování a nápravy a také popis principu sběru a vyhodnocení dat pomocí jedné konkrétní metody.

2.1 Předpis S 67 Vady a lomy kolejnic

Výchozím předpisem, který uvádí základní typy vad kolejnic a zároveň obsahuje jejich stručnou charakteristiku, je norma ČSN 73 6374 [5]. „*Tento dokument specifikuje postupy pro plánování provádění reprofilace kolejnic včetně popisu povrchových vad kolejnic.*“ [6]

Vedle tohoto dokumentu však existuje také předpis S 67 [2], který oproti ČSN 73 6374 [5] obsahuje širší škálu vad a popisuje charakteristické lomy kolejnic. Mimo jiné jednotlivým vadám přiřazuje číselné kódy, díky kterým je možné tato poškození detailněji rozlišovat.

Předpis S 67 [2] byl vydán tehdejší státní organizací České dráhy s účinností od 1.2.1997. [7] České dráhy s. o. byla společnost „*integrující v sobě činnosti dopravního podnikání v přepravě osob a zboží spolu s podnikáním v oblasti provozování železniční dopravní cesty v rozsahu celostátních a regionálních drah vlastněných státem*“ [7]. České dráhy s. o. byla provozována až do r. 2003, kdy svým zánikem dala vzniknout 3 samostatným nástupnickým organizacím: České dráhy, a.s., státní organizace Správa železniční dopravní cesty (od r. 2020 přejmenována na Správa železnic, státní organizace) a Drážní inspekce. [7] [8] [9]

Předpis [2] je vhodný pro identifikaci vad a lomů nejen pro železniční dopravní cesty, ale také pro ostatní kolejové dráhy (tramvajové, lanové, speciální, jeřábové atd.). Je rozdělen do dvou částí – Část první: Základní ustanovení [2] a Část druhá: Katalog vad a lomů [2]. V Základních ustanoveních se mimo jiné nachází kategorizace vad z hlediska závažnosti jejich dopadu na bezpečný provoz tratí. Kategorie jsou 4 a jsou značeny písmeny A-D. Vady kategorie A jsou nejzávažnější a vyžadují bezodkladnou nápravu, zatímco do kategorie D spadají vady nejméně závažné, u kterých je jako opatření uvedeno zvýšené pozorování. [2]

Část druhá: Katalog vad a lomů [2] obsahuje údaje potřebné k identifikaci jednotlivých vad. Každá vada je zatříděna do kategorie a označena vlastním číselným kódem, který je zpravidla doplněn o fotografii daného poškození a informace týkající se příčiny vzniku, případně způsobu zjištění. [2]

Uspořádání číslic v kódech není náhodné, ale má svůj význam. Kódy obsahují 3 až 4 číslice, z čehož je nejdůležitější první číslice. Tato číslice nabývá hodnot 1-5 a její význam je následující:



- 1: vady na konci kolejnice (pouze u stykové koleje),
- 2: vady ve střední části kolejnice,
- 3: vady způsobené poškozením kolejnice,
- 4: vady svarů a návarů,
- 5: skryté vady jazyků výhybek. [2]

Čtvrtá číslice bývá oddělena tečkou a značí rozdíl mezi poškozeními se stejnou příčinou či charakterem, ale různými vizuálními či fyzikálními vlastnostmi. [2]

Identifikaci vady dle Katalogu vad a lomů [2] si lze ukázat na následujícím příkladu z Obr. 1, který byl pořízen při osobní obchůzce na bývalé vlečce přístavu Holešovice.



Obr. 1: Miskovitě výlomy, bývalá vlečka přístavu Holešovice [Zdroj: Autor]

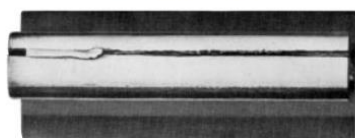
Porovnáním s Katalogem vad a lomů [2] byla vada následně identifikována jako *miskovitě výlomy*, tedy vada č. 112.1/221.1 spadající do kategorie D (viz Obr. 2). Podle prvních číslic kódů přiřazených této vadě je možné určit, že k jejímu vzniku dochází ve střední části kolejnice či v případě stykové koleje i na jejích koncích. V tomto případě tento poznatek může sloužit k potvrzení správné identifikace, jelikož není v rozporu s lokalizací vady ve skutečnosti. [2]



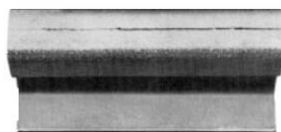
121.1/221.1 (obr. 1)



121.1/221.1 (obr. 2)



121.2/221.2



121.3/221.3

1.	2.	3.
121.1	D	Odlupování a vydrolování kovu na pojižděné ploše kolejnice
121.2	D	
121.3	D	
221.1	D	
221.2	D	
221.3	D	

Příčina: Nesprávnou výrobní technologií dochází již při výrobě kolejnic ke vzniku vlasových trhlin, převalků a plén. Dynamickými účinky vozidel se tyto vady rozšiřují, přičemž se tenké vrstvičky kovu vydrolojí nebo odlupují od pojižděné plochy kolejnice. Povrchové vady metalurgického původu mohou v průběhu svého rozvoje vykazovat vzhled, který je podobný následujícím druhům vad:

- miskovité výlomy (121.1/221.1) – plátky základního materiálu se odlupují z povrchové plochy (obr. 1). Hloubka vady může dosahovat několika mm a má za následek postupné zahlubování pojižděné plochy (obr. 2). Nezaměřovat s místním zahloubením pojižděné plochy 224 nebo s prokluzy 1251/2251 a 1252/2252;
- rýhy (drolení z rýh a žlábků 121.2/221.2) – tříška ze základního materiálu, přibližně stálého průřezu, se odděluje z pojižděné plochy. Délka vady může dosahovat několika metrů. Její hloubka není větší než několik mm;
- jemná podélná trhlina (121.3/221.3) – podélná vada tvaru vlasové trhliny, jejíž hloubka nepřekračuje 2 až 3 mm. Tato vada, která se projevuje velmi brzy po vložení, má tendenci vytratit se v závislosti na opotřebením pojižděné plochy, pokud není spojena s vydrolováním (121.1/221.1). Nezaměřovat se svislou podélnou trhlinou 213.

Zjištění: pohledem

Další opatření: Defektoskopická skupina zaznamená do hlášky vady č. 221.1 a 221.2 jen pokud jsou hlubší než 3 mm. Vadu č. 221.3 dohledat podrobnou kontrolou podle předpisu ČD S 3/4 v příčném směru (z boku hlavy) za účelem rozlišení od vady 213. Miskovité výlomy lze opravit navařováním.

Obr. 2: Miskovité výlomy, předpis S 67 [2]

2.2 Vlnkovitost kolejnic a skluzové vlny

Vlnkovitost (*short wave rail corrugation*) i skluzové vlny (*rail corrugation due to wheel sliding*) jsou dle předpisu [2] společně označeny jako vada č. 2201 spadající do kategorie D (kategorie obsahující vady s nejnižší závažností). [2]

Samostatný kód 2202 přiřazuje předpis vlnovité deformaci hlavy koleje (*long wave corrugation*), tzv. *dlouhým vlnám*. Tato vada spadá převážně do kategorie závažnosti D, avšak v některých případech může být zařazena do kategorie C. V předpisu je délka *dlouhých vln* uvažována mezi 1500 až 3000 mm. [2]

Oproti tomu ČSN 73 6374 [5] rozlišuje vlnkovitost a skluzové vlny jako jednotlivé vady. Vlnkovitost charakterizuje jako „*periodické nerovnosti temene hlavy kolejnice*“ [6] a skluzové vlny jako „*zřetelné prohlubně v jízdni ploše*“ [6]. Norma uvažuje obvyklou vlnovou délku u vlnkovitosti 10-100 mm a u skluzových vln 30-300 mm. Deformaci koleje s obvyklou vlnovou délkou 300-1 000 mm identifikuje jako *vlnovitou deformaci hlavy kolejnice – dlouhé vlny*. [6]

Norma tyto periodické výškové vady hlavy kolejnice dělí dle vlnového rozsahu do 4 pásem:



- 10-30 mm,
- 30-100 mm,
- 100-300 mm,
- 300-1 000 mm. [10]



Obr. 3: Vlnkovitost [11]

V některých případech, zejména při krátké vlnové délce, může být vlnkovitost rozlišena pohledem na kolejnicový pás. Vlnkovitost se vyznačuje periodickou změnou výškového opotřebení hlavy kolejnice a v případě krátkých vlnových délek ji lze identifikovat podle střídajících se lesklých (světlých) a hrubších (tmavých) plošek. [12] Tento způsob monitoringu ale není zcela vhodný, jelikož pouhým pozorováním nelze stanovit její přesnou amplitudu ani periodu a při delší vlnové délce by ji nebylo možné rozeznat vůbec. Z tohoto důvodu se vlnkovitost detekuje měřicími zařízeními, které jsou popsány dále v této práci.

Jako příčina vzniku vlnkovitosti přispívá hrubost povrchu nové kolejnice, zvolená konstrukce železničního svršku a především konkrétní způsob zatěžování kolejnic na daném úseku trati v čase. Vlnkovitost je pozorována a dokumentována u tratí železničních, tramvajových i u drah speciálních (metro). Hloubka vlnkovitosti i skluzových vln bývá 0,1 až 1,2 mm. [13]

Specifikem skluzových vln je, že vznikají v místech se zvýšeným prokluzem kol (ve směrovém oblouku na vnitřním kolejnicovém pásu) a jejich amplituda se pohybuje v rozmezí 100-300 mm. [2] [13]



Vlnkovitost má stejně jako většina ostatních poškození kolejnic vliv nejenom na další opotřebení trati, ale v důsledku dynamických účinků může být sledována i vyšší hladina emisí hluku v okolí dopravních cest. [2] Dalším následkem jízdy vozidla po trati s poruchou vlnkovitosti bývá rozvibrování kolejnic, což může způsobovat uvolňování upevňovadel. [12] V rozvinutějších případech může vlivem vlnkovitosti docházet i k poškození podloží tratě a statickému poškození okolních budov a konstrukcí. [14]



Obr. 4: Skluzové vlny [Zdroj: Autor]

Aby se zamezilo těmto negativním dopadům, je nezbytná pravidelná diagnostika koleje, která je podkladem pro plánování údržby. Včasným provedením správného ošetření imperfekce kolejnice je poté zamezeno zhoršení jejího stavu a případnému rozvoji dalších poruch. Diagnostika by měla být prováděna v souladu s vyhláškou [4], případně dalšími předpisy vztahujícími se ke konkrétní trati.

Vlnkovitost a skluzové vlny lze zmírňovat či plně odstraňovat vhodným způsobem úpravy stavu kolejového pásu. Příkladem takové úpravy může být broušení nebo frézování. [5]

Ani nově vyrobená kolejnice není ideálně rovná, a právě z tohoto důvodu bývá vhodné odstranění vlnkovitosti nové kolejnice provedením



preventivní úpravy profilu kolejnice (u městské kolejové dopavy nejčastěji broušením) ještě před jejím uvedením do provozu. [15] V praxi bývá postup běžně takový, že se nový úsek trati nechá přebrousit těsně před uvedením do provozu (zpravidla několik dní), čímž se odstraní nedokonalosti kolejnic z výroby, a tím dochází ke snížení rizika brzkého rozvinutí vlnkovitosti na daném úseku. Toto broušení lze považovat za preventivní, jelikož se provádí zpravidla vždy a požadavek na jeho provedení nebývá založen na výsledcích měření skutečného stavu rozvinutí vlnkovitosti kolejnic.

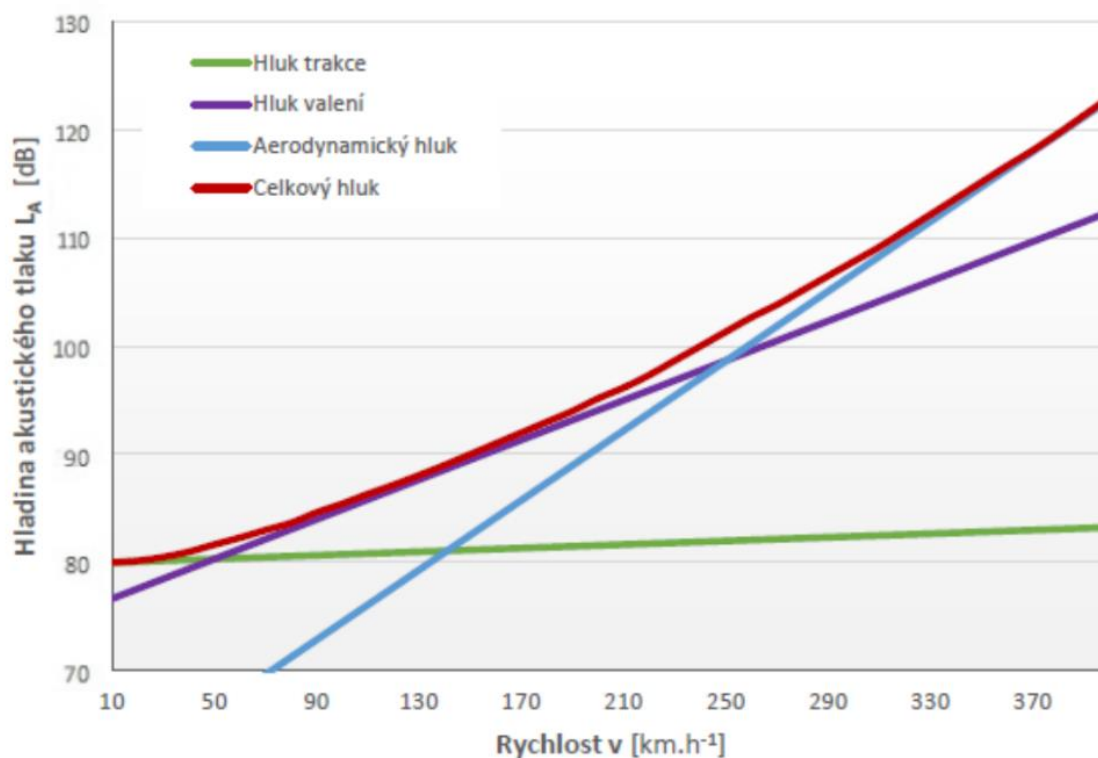
2.3 Drsnost kolejnic

Drsnost kolejnice (*Acoustic roughness*) je dle ČSN 73 6341 [16] definována jako změna výšky *pojízdné plochy* kolejnice spojená s vyvoláním hluku při pojezdu kolejového vozidla. [16]

V souvislosti s drsností kolejnice nemluvíme jen o pojízdné hraně kolejnice, neboť klíčová je interakce plochy kola a kolejnice při pojezdu, ke kterému dochází po ploše, která je svou šířkou význačná, a nelze ji tudíž zjednodušit pojmem *hrana*. Při přímém měření běžnými přístroji se zpravidla omezujeme jen na část pojízdné plochy při temenu kolejnice. Oproti tomu při měření nepřímými akustickými metodami analyzujeme drsnost celého povrchu pojízdné plochy, a to jak temeno hlavy kolejnice, tak i pojízdnou boční stranu hlavy kolejnice. Přesné určení pojízdné plochy závisí na interakci konkrétního kolejnicového pásu a dvojkolí vozidla při konkrétním pojezdu.

Na rozdíl od vad z předešlé kapitoly nenajdeme charakteristiku a zařazení drsnosti v předpisu [2]. Drsnost není z hlediska bezpečného provozu na trati závadou a z tohoto důvodu není klasifikována jako poškození kolejnice, které by bylo třeba monitorovat a odstraňovat.

Důvodem k monitorování a zmírňování či odstraňování drsnosti kolejnice jsou její dynamické účinky při pojezdu vozidla, které mají za následek vznik valivého hluku. Valivý hluk je jednou ze tří základních složek hluku ze železniční dopavy. Dominance jednotlivých složek hluku závisí na rychlosti pohybu vozidla po koleji. Při rychlostech do 60 km/h tvoří hlavní složku hluku od železniční dopavy hluk jízdní, který závisí zejména na způsobu pohonu vozidla. V intervalu rychlosti 60 km/h až cca 200 km/h dominuje hluk valivý, vznikající na kontaktu kola a kolejnice. Po překročení rychlosti 200 km/h přebírá dominantní podíl zpravidla hluk aerodynamický, který je důsledkem proudění a turbulencí vzduchu v okolí pohybujícího se vozidla. [17] Hluk ze železniční dopavy bývá při vyšších intenzitách nežádoucí jak v městském prostředí, kde negativně působí na zdraví obyvatel, tak i v extravilánu, kde může ovlivňovat chování nejrůznějších druhů živých organismů. [18]



Graf 1: Závislost hluku ze železniční dopravy na rychlosti jízdy vozidla [17]

Metody měření drsnosti rozlišujeme na přímé a nepřímé. Přímý způsob měření se vyznačuje tím, že dochází ke stanovení drsnosti kolejnice z dat shromážděných ze snímání povrchu nezávisle na interakci kola vozidla s kolejnicí. Oproti tomu pro nepřímý způsob měření drsnosti kolejnice dochází ke sběru dat vznikajících při interakci kola vozidla s kolejnicí. Pro tuto metodu existuje více principů měření: měření hluku, vibrací kolejnice či vibrací měřicího zařízení. Drsnost povrchu se stanoví až následným vyhodnocením sesbíraných dat. [16]

Pro zlepšení vlastností kolejnice z hlediska drsnosti je stejně jako pro vlnkovitost vhodné ošetření kolejnice pomocí broušení či frézování.

2.4 Hlukové mapy

Stav kolejnic je důležitý mimo jiné také z hlediska dynamických účinků kolejové dopravy, které mají za následek zvýšení emisí hluku v okolí dopravního cesty. Hluk a vibrace mohou negativně ovlivňovat živé organismy jak po zdravotní, tak i po psychické stránce. Z tohoto důvodu vznikají různé nástroje pro monitoring a vyhodnocení hluku.

V České republice nazýváme tento monitoring jako *strategické hlukové mapování*. Strategické hlukové mapy se aktualizují každých 5 let, nebo dříve dle potřeby, a slouží jako podklad pro *Akční plány*. [19]



Akční plány i strategické hlukové mapy jsou zpracovávány dle směrnice Environmental Noise Directive 2002/49/EC [20] (*směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí*). Akční plány jsou dokumenty obsahující technická a případně i organizační opatření, která mají za cíl snížení hlukových emisí v určité lokalitě. Příkladem opatření pro omezení šíření hluku může být instalace protihlukových stěn či změna četnosti nebo technologie údržby problémových úseků.

Od roku 2019 je pro měření a vyhodnocení hluku v České republice závazný dokument Common Noise Assessment Methods in Europe [21] (CNOSSOS-EU), který pro členské státy Evropské Unie sjednocuje metodiku měření hluku způsobených různými zdroji (doprava silniční, železniční a letecká, průmyslový hluk) a jeho modelování a vyhodnocování. [21] Přínos tohoto dokumentu spočívá v možnosti porovnávání dat mezi různými státy a sledování emisí hluku napříč celou EU. [22]

2.5 Měření vlnkovitosti a drsnosti kolejnic

Mimo železnici máme v ČR i další druhy kolejové dopravy. Příkladem může být pestrá městská kolejová doprava v Praze, kde tvoří nepostradatelnou složku veřejné hromadné dopravy provoz tramvají a metra, doplněný o provoz dráhy lanové. Zejména infrastrukturou metra v síti Dopravního podniku hlavního města Prahy, akciové společnosti (dále také jen DPP) se zabývá tato práce.

Mezi monitorováním stavu kolejnic u dráhy železniční a u dráhy speciální (metra) jsou rozdíly, a to jak v požadované periodicitě měření, tak ve způsobech měření.

Základním předpisem pro monitorování všech typů kolejových drah na území České republiky je Vyhláška č. 177/1995 Sb. [4], kde jsou pro jednotlivé typy kolejových drah stanoveny předměty prohlídky a měření a způsob a časový interval jejich prohlídky. To lze ukázat například na měření geometrické polohy kolejového svršku a přívodní kolejnice v metru (dráze speciální). Zde vyhláška stanovuje, aby měření geometrické polohy koleje bylo měřeno měřicím vozem na všech hlavních kolejích, traťových spojkách a spojovacích kolejích do depa každý 1 měsíc. Na rozdíl od toho měření geometrické polohy koleje na dráze tramvajové je vyhláškou požadováno v intervalu 12 měsíců. Zároveň zde pro tento případ není specifikován způsob provedení měření jako je tomu pro dráhu speciální. [4]

Provozovatel dráhy si může stanovit požadavky na prohlídky a měření vlastní, avšak nesmí být v rozporu s vyhláškou.



Dle informací poskytnutých odpovědným pracovníkem Pražské strojírna a.s., která má na starosti údržbu kolejnic v pražském metru, vyplynulo, že při měření výškových periodických vad kolejnice není z pohledu měření nutné rozeznávat konkrétní typ vady, tedy zda se jedná o vlnovitost, skluzové vlny či dlouhé vlny. Všechny tyto vady lze odstraňovat podobnými druhy oprav, a tudíž klasifikace poškození z hlediska terminologie není nezbytná.

2.5.1 Ruční měřicí lať

Nejjednodušším a nejvíce názorným způsobem odhalování výškových periodických vad je měření pomocí latě. Nejstarším způsobem měření latí je tzv. *klínkování*. Princip metody spočívá v položení rovné latě na temeno hlavy kolejnice a následným vsouváním klínů známých rozměrů mezi lať a kolejnici. V současnosti se tato metoda v ČR na hlavních tratích nepoužívá, neboť existují jiné snazší a mnohonásobně rychlejší způsoby monitoringu.



Obr. 5: Elektronická měřicí lať [Zdroj: Autor]

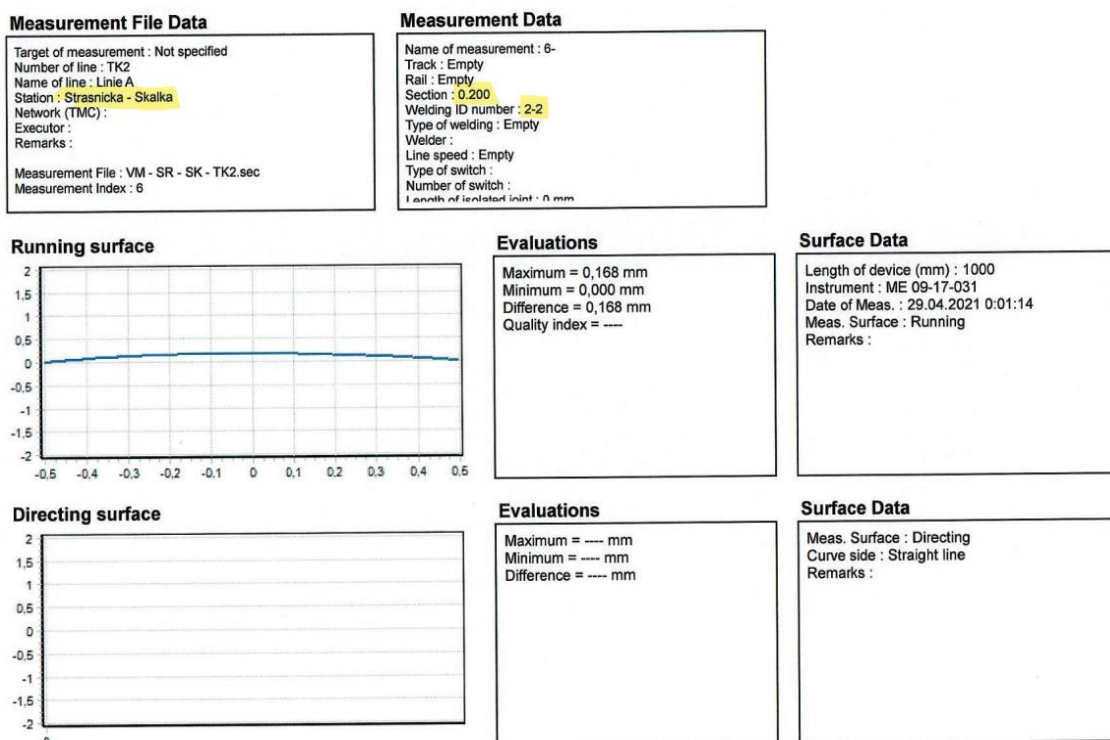
Novodobou alternativou tohoto postupu je měření s využitím elektronické měřicí lati. Tato metoda zpravidla vyžaduje kromě speciální elektronické lati pro kontrolu podélného profilu také elektronické zařízení pro záznam dat (PDA). Nezbytností je, aby software a operační systém tohoto zařízení



byl kompatibilní s latí, což lze snadno ověřit u výrobce. Přenos dat do záznamového zařízení probíhá zpravidla bezdrátově pomocí technologie Bluetooth.

Výhodou měření pomocí elektronické latě je, že se jedná o metodu poměrně rychlou, která umožňuje okamžité vyhodnocení výškového profilu kolejnice přímo na místě. Výsledek naměřených dat se okamžitě po provedení měření zobrazí na monitoru PDA. Nevýhodou zůstává, že se nejedná o vhodný prostředek pro monitorování delších úseků, protože při použití latě dochází k monitoringu na délce omezené délkou dráhy snímače integrovaného do latě.

SE Measurement Protocol



Obr. 6: Protokol z měření elektronickou latí [23]

Například latě od výrobce Railstraight umožňují měření se svislým rozlišením 0,001 mm na měrné délce 1 m. Celková délka latě je delší a pohybuje se mezi 1230 a 1330 mm. Doba měření se pohybuje kolem 6 s a latě kromě horizontálního podélného profilu kolejnice zaznamenává také teplotu kolejnice a okolí. [24] Z uvedených poznatků plyne, že tato metoda je díky kompaktním rozměrům přístroje a rychlému vyhodnocení vhodná například pro kontrolu kvality provedení kolejnicových spojů, či pro lokální kontrolu po provedení údržbových prací.



2.5.2 Ruční měřicí vozíky

Pro měření geometrických parametrů koleje a často i dalších vlastností je vhodné využití ručních měřicích vozíků. Různé typy vozíků jsou určeny pro měření různých veličin, a proto je nezbytné dopředu zvážit, které parametry budou předmětem monitoringu. U ručních měřicích zařízení se jedná zpravidla o přímé měření, tedy metodu, při které se snímá přímo povrch kolejnice. Ve většině případů dochází ke snímání povrchu bezkontaktně pomocí sady měřicích laserů.

Ruční měřicí vozíky jsou často využívány z mnoha důvodů. Jako první lze uvést snadnou manipulaci s přístrojem. Ruční měřicí vozíky lze zpravidla přepravovat rozložené na části osobním automobilem. Následně se vozík smontuje a nakolejí, na což běžně postačuje 1 osoba. Pro větší komfort a bezpečnost je vhodná spolupráce 2 osob.

Pohyb vozíku po kolejích může být zajištěn dvěma způsoby. Vedle manuálního řízení vozíku pomocí madla se lze také setkat s vozíky poháněnými pomocí elektromotoru. U tohoto typu pohonu je nutné ověřit maximální sklon podélného profilu trati, pro který je elektromotor možné využívat, neboť při sklonu vyšším bude zvýšeno riziko chyb v měření. V krajním případě může nastat situace, kdy k automatickému pohybu přístroje nedojde.

Z podstaty typu pohonu plyne omezení nejen maximálního sklonu trati, ale také rychlosti měřicích vozíků. Ruční měřicí vozíky jsou proto vhodné pro měření kratších úseků v řádech stovek metrů. Pro měření souvislejších úseků tratí nejsou vhodné a své upotřebení zde nacházejí měřicí vozy, které jsou popsány dále v této práci.

Měření železničních a tramvajových tratí ručními vozíky zpravidla nevyžaduje dopravní výluky v daném úseku, jelikož lze vozík v případě potřeby dostatečně rychle zastavit a odklidit z průjezdného profilu. Měření na trati dráhy speciální (metra) není možné tímto způsobem realizovat, proto se přistupuje k měření v době noční dopravní a napěťové výluky.

Tato práce se dále omezuje jen na přístroje, které umožňují měření drsnosti či vlnkovitosti.

Vozíky lze rozdělit do dvou skupin podle toho, zda při jednom pojezdu zaznamenávají parametry jen jednoho, či současně obou kolejnicových pásů. Příkladem může být přístroj Gekon (výrobce KŽV s.r.o.), který je určen na měření vlnkovitosti a výrobce ho nabízí ve dvou výchozích variantách. Základní model snímá jen jeden kolejnicový pás. Model Double Gekon je vybaven stejnými laserovými snímači po obou stranách a umožňuje paralelní snímání obou kolejnicových pásů. [25] [26]



Gekon zaznamenává data o minimálním kroku 5 mm (Double Gekon až o minimálním kroku 2 mm) s rozlišením senzoru 0,001 mm. Technickým parametrem, který nesmí být při plánování měření podceněn, je výdrž baterie, která je výrobcem uváděna v intervalu 4-8 hodin. [25] [26]

K variantě Double Gekon existuje model rozšířený o 3D kameru, díky které je možné kontinuálně snímat celý profil koleje v kroku 0,25 m. [27]



Obr. 7: Double Gekon (výrobce KŽV s.r.o.) [Zdroj: Autor]

Dalším příkladem ručního měřicího vozíku, který poskytuje sběr dat k vyhodnocení vlnovitosti kolejnice, je KOLOBĚŽKA. Krok měření tohoto přístroje lze zvolit v intervalu 1–5 mm s rozsahem měření hloubky vlnovité deformace 0,001-1 mm a délkou vln 10-300 mm. [28]

Příkladem přístroje pro měření akustické drsnosti i vlnovitosti přímou metodou je drsnoměr MDK 01. [15] Data pořízená tímto přístrojem jsou vhodná pro použití filtrování dat podle postupu uvedeného v ČSN 73 6341 [16] a vyhodnocení pomocí třetinooktávkové analýzy také dle ČSN 73 6341 [16]. Tento přístroj byl využit v letech 2013 až 2014 pro projekt Měřicí kampaně akustické drsnosti na síti SŽDC, v rámci kterého byla měřena a vyhodnocena akustická drsnost na vybraných železničních tratích po celé České republice. [29]



Jak lze odvodit z možností uvedených vozíků, nebývá běžné, aby jeden přístroj umožňoval měření vlnkovitosti i drsnosti. Jednou z výjimek je přístroj Salamander, který byl speciálně vyvinut pro oba tyto účely.

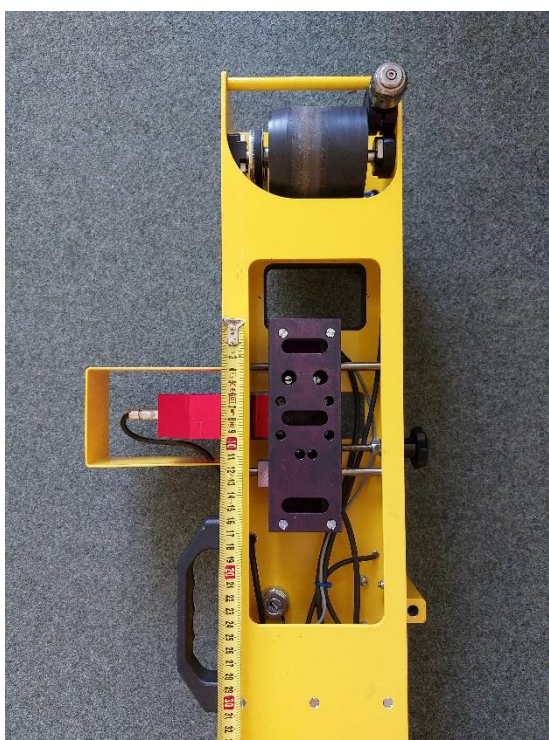
2.5.2.1 Popis přístroje Salamander

Salamander je obchodní název přístroje vyvinutého firmou *Komerční železniční výzkum, spol. s r.o.* (KŽV s.r.o.) pro účely měření vlnkovitosti a drsnosti kolejnicových pásů. [30]

Při měření přístrojem Salamander dochází ke snímání temene kolejnice lasery. Jedná se tedy o bezkontaktní přímou metodu. Přístroj obsahuje celkem 3 laserové snímače s rozlišením 0,0002 mm. [30] Při měření dochází k ukládání primárních dat z jednotlivých snímačů ve formě signálů qR1, qR2 a qR3. Signály jsou nosičem informací o vzdálenosti mezi snímačem a temenem kolejnice v závislosti na staničení.



Obr. 8: Salamander (výrobce KŽV s.r.o.) [Zdroj: Autor]



Obr. 9: Detail rozmístění senzorů na spodní straně přístroje [Zdroj: Autor]

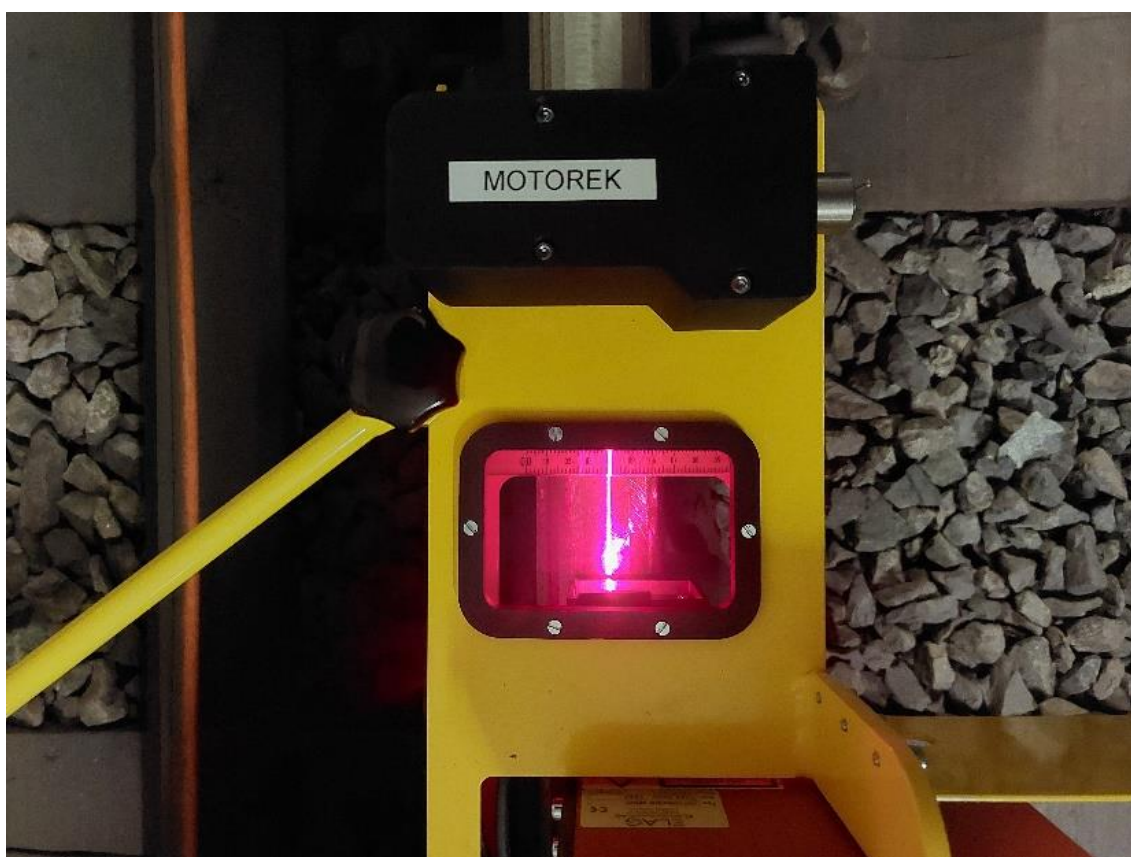
Snímače jsou umístěny za sebou v jedné podélné rovině a měří temeno kolejnicového pásu jen v jedné linii. Z tohoto důvodu je nezbytná správná volba stopy měření dle normy [16]. Nezbytné je, aby měření bylo provedeno na pojížděné ploše temena kolejnice, nikoliv mimo ni. Tuto plochu lze u tratí městské kolejové dopravy zpravidla rozlišit vizuálně jako lesklou plochu určité šířky na temeni kolejnice. Pokud nelze šířku této plochy bezpečně určit vizuálně, je vhodné ji stanovit pomocí značkovacího inkoustu nebo křídovým sprejem. Následným pojezdem vozidla by měla být barva



z pojížděné plochy na rozdíl od krajních ploch temena kolejnice odstraněna.

Pro účely měření akustické drsnosti kolejnice se stopa volí uprostřed šířky pojížděné plochy. Pokud je tato plocha dostatečně široká, tak se volí dvě či více linií stop. [16] Minimální počet stop v závislosti na *referenční šířce pojížděné plochy* (w_{ref}) je následující:

- $w_{ref} \leq 20$ mm: jedna stopa,
- $20 \text{ mm} < w_{ref} \leq 30$ mm: dvě stopy,
- $w_{ref} > 30$ mm: tři stopy. [16]



Obr. 10: Volba stopy měření [Zdroj: Autor]

Přístroj Salamander je určen k měření periodických nerovností temene hlavy kolejnice v pěti délkových pásmech:

- D1: 10-30 mm,
- D2: 30-100 mm,
- D3: 100-300 mm,
- D4: 300-1000 mm,
- D5: 1000-3000 mm. [31]

Rozsahy pásem D1 až D4, v rámci kterých se vyhodnocuje vlnkovitost, jsou v souladu s normou [10] a jsou doplněny o pásmo D5, které slouží



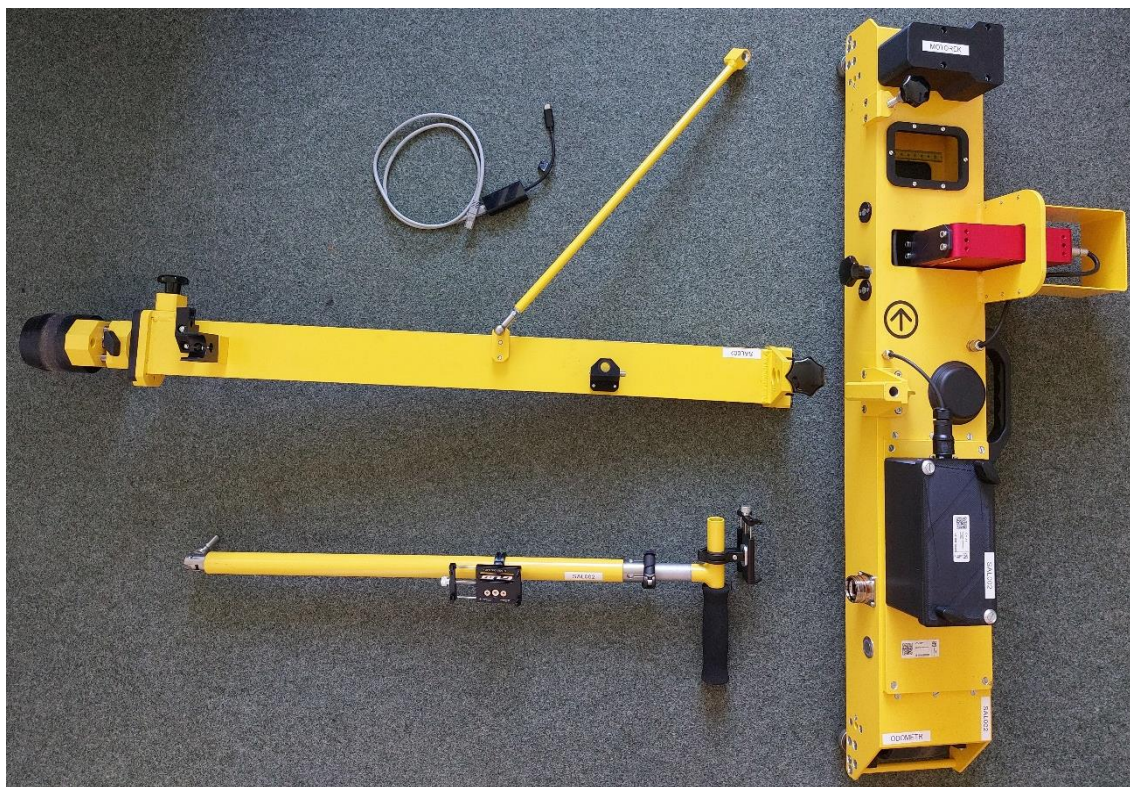
k odhalování *dlouhých vln*. Odhalování vlnovitých deformací s delšími periodami slouží ke stanovení akustické drsnosti.

Přístroj umožňuje diagnostiku s intervaly snímání dat 0,5 mm nebo 1,0 mm. [30] Rychlost měření je omezena maximální rychlostí 2,0 m/s. Této rychlosti lze dosáhnout jen při manuálním pohonu vozíku, neboť rychlost zařízení při pohonu elektromotorkem lze volit jen mezi hodnotami 0,1 m/s a 1,0 m/s. [30]

Omezení maximálního podélného sklonu trati pro provedení měření není výrobcem uvedeno, nicméně experimentálně bylo zjištěno, že při vyšších sklonech není vozík schopný samostatného pohybu pomocí motorku a je nutné využití manuálního pohonu.

2.5.2.2 Popis měření s přístrojem Salamander

Celková hmotnost ručního měřicího vozíku Salamander je 18 kg. Vozík je rozebíratelný a skládá se ze 3 částí. Nejrobustnější je část, která obsahuje laserové snímače a elektromotor a umísťuje se podélně na kolejnicový pás vybraný pro diagnostiku. K této části je nutné pomocí šroubů připevnit příčnou část, která zajišťuje stabilitu vozíku v koleji. Tuto část je možné dle potřeby vysunout a přizpůsobit tak vozík konkrétnímu rozchodu koleje. Mimo pevně nastavitelné části obsahuje tento díl také část vysouvanou pomocí pružiny, čímž je zajištěno správné umístění vozíku i v úsecích



Obr. 11: Přístroj Salamander rozložený na jednotlivé díly [Zdroj: Autor]



se změnou rozchodu koleje. Poslední částí je vodící madlo, které se připevňuje k příčné části. Tento díl nemusí být využit, pokud se předpokládá pohon vozíku výlučně motorkem. [30]

Nezbytným komponentem pro měření je PDA. V případě přístroje vlastněného katedrou se jedná o smartphone s operačním systémem Android. V tomto elektronickém zařízení musí být nainstalována aplikace Salamander 2.0. Skrze tuto aplikaci následně probíhá komunikace mezi přístrojem a PDA, což je pro průběh měření klíčové. Zvolit lze mezi dvěma způsoby propojení – datovým kabelem nebo technologií Bluetooth. K přenosu informací dochází při měření okamžitě a přerušení signálu mezi přístrojem a PDA vede k nenávratné ztrátě dat. Z tohoto důvodu je výrobcem upřednostňován přenos dat prostřednictvím kabelu, jelikož se jedná o rychlejší, a tedy i bezpečnější variantu.

Po propojení PDA s vozíkem je možné prostřednictvím aplikace udávat pokyny k samostatnému pohybu vozíku, zaznamenávat naměřená data, zadávat významné body (tzv. *markery*), a případně i provádět změny v nastavení. Po propojení PDA s přístrojem a spuštění aplikace je vhodné nejdříve zkontrolovat nastavení, zvolit osu snímání dle normy [16] a provést očištění kolejnice. Dalším krokem může být dle potřeby spuštění autokalibrace vozíku.



Obr. 12: Mobilní aplikace Salamander 2.0 [Zdroj: Autor]

Poté již lze přejít k samotnému měření. Nejprve je požadováno vyplnění základních informací o měřeném úseku: název úseku, délka měřeného úseku a postavení vozíku vzhledem ke směru měření (nezbytné při měření se samostatným pohybem vozíku), počáteční staničení a zda staničení ve směru měření klesá či stoupá. Minimální délka úseku vhodná pro měření vlnkovitosti je 50 m. Dále je možné doplnit informace dalšími poznámkami. Po zadání těchto informací lze zadat pokyn ke spuštění záznamu dat.



V případě samostatného pohonu vozíku se v tomto okamžiku vozík rozjede zadaným směrem a zvolenou rychlostí a ujede vzdálenost, která byla právě zadána. V průběhu měření lze zadávat významné body. Mezi významné body při měření vlnkovitosti a drsnosti patří zejména lokální vady kolejnicového pásu či styky kolejnic. Záznam vad a jevů vyskytujících se na měřené kolejnici může být později užitečný při vyhodnocování naměřených dat. Po každém uceleném měření je nutné záznam uložit.

Při měření dochází v PDA pouze k záznamu dat, nikoliv k jejich vyhodnocení. Data se ukládají ve formátu SLMD, který je možné otevřít výlučně v programu Salamander. [31]

2.5.2.3 Vyhodnocení dat v programu Salamander 10

Evaluační dat zaznamenaných při měření přístrojem Salamander se zpracovávají v programu Salamander 10, proto je nutné data zkopírovat z PDA do počítače. Výstupy lze v softwaru zpracovat do tabulkové či grafické podoby, případně exportovat do formátu CSV pro zpracování v běžném tabulkovém procesoru.

Pro zpracování vybraného souboru je nutné nejdříve spustit program Salamander 10 a zvolit šablonu nastavení. Program obsahuje dvě základní přednastavené šablony podle norem EN 13231-3 a EN 15610. V této práci se dále předpokládá zpracování dat podle EN 15610 resp. ČSN 73 6341 [16]. Přednastavené šablony jsou ve své základní formě plně funkční, avšak v případě zájmu lze jejich nastavení měnit. Po zvolení šablony lze následně otevřít soubor s naměřenými daty. Automaticky se otevře dialogové okno, kde je umožněna editace názvu a počátečního staničení. Poté se zvolí parametry hodnocení a spustí výpočet. [31]

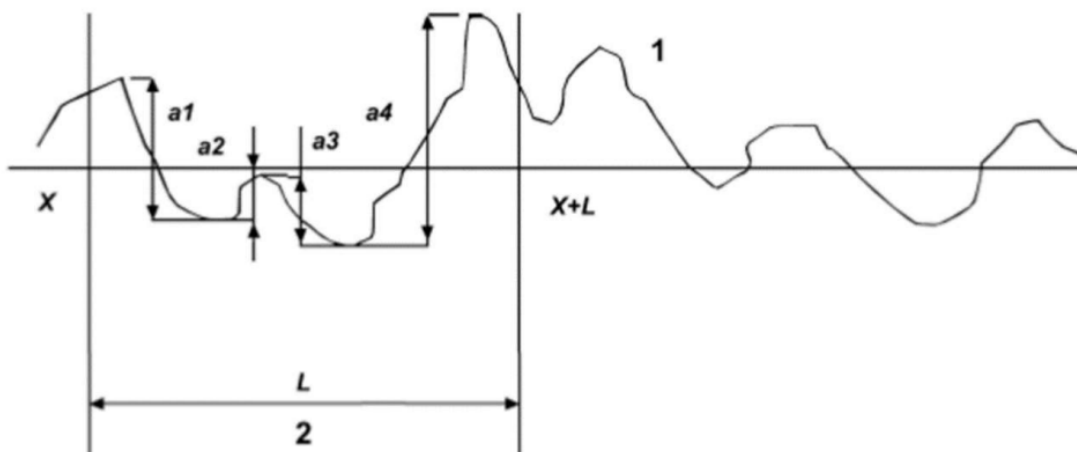
Vyhodnocení akustické drsnosti je okamžitě dostupné v grafickém zobrazení pomocí třetinooktávové analýzy, zatímco výstupy pro vyhodnocení vlnkovitosti je nejdříve nutné zpracovat. Pro kontrolu naměřených dat je vhodné otevřít si grafické zobrazení průběhu jednotlivých signálů. Díky tomuto postupu by bylo možné odhalení chybějících dat v měřeném úseku nebo výrazných nepravidelností způsobených výskytem vad jiných než vlnkovitost. Pokud byly při měření zadány významné body, je pravděpodobné, že se v jejich bezprostředním okolí bude průběh signálu výrazně lišit od průběhu v ostatních částech měřeného úseku.

Abychom dostali data ve vhodné formě pro posouzení podle kritérií uvedených v normě [10], je nutné data transformovat podle metody Peak to Peak. Z primárních signálů lze získat přepočtem na délku vzepětí v každém měřeném bodě data vhodná pro filtrování. Filtrováním jsou data rozřazena do jednotlivých pásem a následně je aplikována metoda Peak to Peak. Princip metody spočívá v rozdělení měřeného úseku



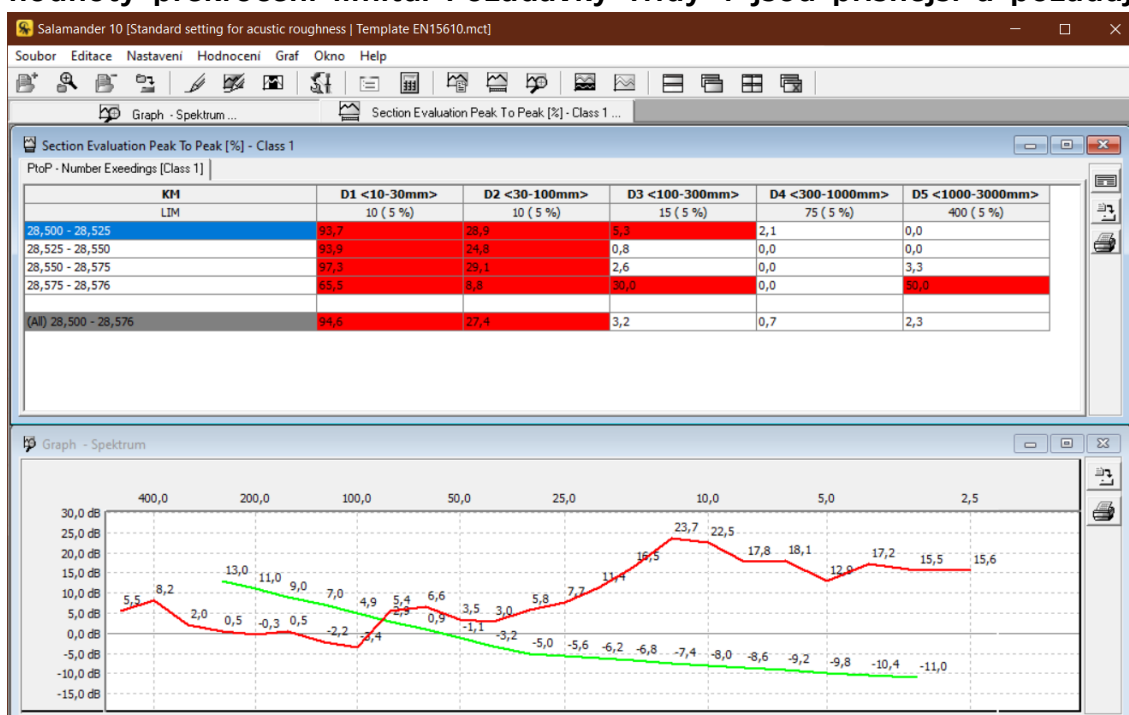
na intervaly, ve kterých se vyhledají lokální extrémy a následně se provede výpočet, který je detailně popsán v normě [16]. Výsledkem těchto matematických problémů jsou funkce, které si lze graficky zobrazit a posoudit (graficky či v tabulce – viz Obr. 14).

Moving average peak-to-peak values



Obr. 13: Zjednodušené schéma metody Peak to Peak [29]

Pro posouzení je nutné stanovit procentuální překročení limitů daných normou [10]. Pro posouzení je nutné určit, zda úsek bude posuzován dle kritérií Třídy 1 nebo Třídy 2. Požadavek na nulové překročení limitů byl nevhodný, a proto jsou normou [10] stanoveny maximální procentuální hodnoty překročení limitů. Požadavky Třídy 1 jsou přísnější a požadují



Obr. 14: Salamander 10, program pro vyhodnocení naměřených dat [Zdroj: Autor]



minimální podíl měření v limitu ve všech pásmech 95 %. Pro Třídu 2 jsou požadavky mírnější. Minimální podíl měření v limitu je požadován 90 % pro vlnové rozsahy 30 až 100 mm a 100 až 300 mm. Pro krajní pásma není stanoven žádný požadavek.

Výsledná data ve formě tabulek i grafů program umožňuje tisknout či exportovat do formátu PDF. V programu je dále možné provádět úpravy, jako např. posunutí počátku a konce úseku určeného pro zpracování či porovnání veličin v rámci jednoho či dvou různých měření.

2.5.3 Měřicí moduly na železniční vozy

Další skupinou nástrojů pro diagnostiku kolejové trati jsou měřicí moduly na železniční vozy. Měřicí jednotky mohou být součástí samostatné motorové drezíny či taženého vozu nebo mohou být součástí vozíku určeného k vlečení za železničním vozem. [32] V současné době se na území ČR tyto možnosti využívají jen pro diagnostiku na železničních tratích, nikoliv na tratích městské kolejové dopravy.

Příkladem může být Systém pro měření mikrogeometrie povrchu hlav kolejnic na měřicím voze pro železniční svršek MVŽSv [33]. Tento systém umožňuje monitoring obou kolejnicových pásů současně. Jedná se o přímou bezkontaktní metodu. Každý kolejnicový pás je snímán 4 lasery a kamerami, které vytvářejí čtyři optické asymetrické tětivy. Přístroj se senzory je připevněn k podvozku a po obvodu kryt lamelami, které zajišťují vhodnější světelné prostředí pro záznam dat senzory. Vyhodnocení dat probíhá ve čtyřech vlnových pásmech dle normy [10]. [33]

Dalším typem monitoringu jsou systémy, které zachycují informace skrze kamery umístěné na měřicím voze. Při užití vysokorychlostních kamer spočívá princip měření v kontinuálním zachycení informací o stavu koleje a jejich součástí. Touto bezkontaktní přímou metodou lze mimo jiné získat také data vhodná pro posouzení stavu kolejových pásů z hlediska povrchových vad. [33]

Typickým zástupcem varianty, kdy je měřicí jednotka připevněna k drezíně je malá měřicí drezína (MMD). Tento přístroj byl navržen pro diagnostiku koleje při zatížení. Model vyráběný firmou KŽV s.r.o. se při měření pohybuje průměrnou rychlostí 40 km/h. Hlavní částí je konstrukce, na které jsou umístěny měřicí jednotky. Tento rám je samostatně funkční, ale postrádá vlastní pohon, protože je konstrukčně určen pro připevnění ke vhodnému kolejovému vozidlu. Přístroj je vhodný pro diagnostiku vad hlavy kolejnice včetně vlnovitosti. [34]

Pro měření drsnosti lze použít měřicí moduly na železniční vozy, které pracují na principu nepřímého měření. Principem je vybavení vozu mikrofony v blízkosti styku kola a kolejnice. Pro dostatečnou přesnost



měření je nutné zajistit odstínění hluku pocházejících z jiných zdrojů – např. hluk produkovaný technickým vybavením vozu či hluk způsobený prouděním vzduchu v blízkosti akustických senzorů. [35]



Obr. 15: Malá měřicí drezína [36]

Uplatnění při diagnostice kolejových tratí v poslední době nacházejí i metody založené na principu 3D skenování. Příkladem může být měřicí vůz prostorové průchodnosti tratí. V současnosti jsou data získaná pomocí tohoto přístroje primárně využívána pro ověření prostorové průchodnosti tratí. Není však vyloučeno, že metody založené na 3D skenování se v budoucnu začnou využívat pro širší škálu diagnostiky kolejových tratí. [33]

Společnou výhodou měřících modulů na železniční vozy je možnost měření i při vyšších rychlostech. Dochází tak k menšímu narušení kolejové dopravy na měřeném úseku. Měření může probíhat ve vyšších rychlostech, než je tomu u ručních měřících vozíků, a proto může být provedeno bez nutnosti výluky v úseku vybraném pro diagnostiku. Časově efektivnější provedení měření dále umožňuje monitoring delších souvislých úseků, což by při užití výlučně ručních měřících vozíků nebylo ekonomicky a ani strategicky výhodné.



2.6 Odstraňování vad

„Údržba profilu kolejnic a jejich stavu je předpokladem pro bezpečný a nákladově efektivní provoz železnic.“ [6]

K odstraňování vad a jejich účinků se může přistupovat buď na základě provedeného monitoringu nebo preventivně. Způsob rozhodování o provedení údržby se liší jak mezi jednotlivými typy kolejových drah, tak i mezi dopravními sítěmi s různými správci. Například u pražských tramvajových tratí dochází k rozhodnutí o provedení údržby z důvodu vlnkovitosti kolejnice na základě vizuálních a sluchových vjemů při pravidelné obchůzce trati. Z hlediska bezpečnosti není u tramvajových tratí výskyt vlnkovitosti zásadní, a proto se na její monitoring neklade větší důraz.

Při provádění odstraňování vad na kolejové dráze je nezbytné neopomenout požadavky na maximální dovolené opotřebení konkrétních částí kolejnice. Základní požadavky dle typu dráhy jsou stanoveny vyhláškou [4], ale pro jednotlivé tratě mohou být blíže určeny dalšími předpisy. Například pro tramvajové tratě jsou tyto hodnoty stanoveny normou ČSN 73 6405 [37].

Norma [6] uvažuje odstraňování deformací podélného profilu pomocí následujících technologií:

- rotační broušení,
- frézování,
- oscilační broušení,
- hoblování,
- vysokorychlostní broušení. [6]

Podstatou všech těchto technologií je odebrání materiálu z hlavy kolejnice. Základní rozdíl mezi technologiemi spočívá v pohybu brusných částí zařízení.

Při rotačním broušení (*rotary grinding*) je úběr materiálu zajišťován rotačním pohybem brusných kotoučů podél svislé osy ve vztahu ke směru koleje a jejich pohybem vpřed nebo vzad podél trati. [6] Aby došlo k úpravě celé hlavy kolejnice, bývá zpravidla nutný větší počet pojezdů. Pro tento způsob údržby je typické, že opracovaná hlava kolejnice není v příčném profilu hladce zaoblená, ale má tvar polygonu. Výhodou této technologie je, že během jejího provádění lze ovládat naklonění a přítlak jednotlivých brusných kamenů.

Rotační broušení je prováděno na tratích železničních, tramvajových i na tratích metra a jeřábových dráhách. Broušení může být provedeno pomocí malého ručního brusného stroje nebo brusným vozidlem. Broušení malým ručním brusným strojem je časově náročnější, je však vhodné



pro úpravy při výskytu lokálních vad či v konstrukčně složitějších částech kolejové trati jako jsou například výhybky. Pro úpravy na delších úsecích je vhodné využití brusného vozidla.



Obr. 16: Detail hlavy kolejnice po úpravě rotačním broušením [Zdroj: Autor]

Další možnou úpravou je frézování (*milling*). Princip frézování je založen na technologii frézovacích kol. Frézovací kola při úpravě kolejnice rotují a posouvají se podélně ve směru hlavy kolejnice. Výhodou je, že pro kompletní úpravu frézováním bývá zpravidla nutný jen jediný pojezd frézovacího stroje. [6]

Oproti tomu oscilační broušení (*oscillating grinding*) vyžaduje pro kompletní provedení údržby pojezdů několik. Jedná se o metodu využívající oscilačního pohybu brusných kamenů při současném pohybu celého brusného vozidla. Celý tento proces probíhá za mokra a nedochází tedy k nežádoucímu šíření jisker v okolí broušeného kolejnicového pásu. Nevýhodou této metody je, že neumožňuje změnu cílového příčného profilu, jako tomu je například u rotačního broušení. Při oscilačním broušení lze upravovat jen velikost přitlaku a rychlost broušení. [6]

Další metodou je hoblování (*planing*). Hoblování spočívá v odstraňování materiálu z hlavy kolejnice pomocí přímých a oblých nožů. Při hoblování nedochází ke vzniku jisker, ale do okolí hoblovaného kolejnicového pásu se dostávají třísky, které jsou následně sebrány magnetickými bubny.



Hoblování je technologií, která při jednom pojezdu umožňuje ubrání materiálu až do 3 mm. [6]

Posledním způsobem odstraňování deformací podélného profilu je vysokorychlostní broušení (*high speed grinding*). Principem této metody je tažení brusných kotoučů po kolejnici. Osa brusných kotoučů není rovnoběžná ani kolmá ke směru pohybu vozidla, ale je tangenciální. Tato skutečnost vede k relativnímu pohybu brusných kotoučů příčně po hlavě kolejnice, což je podstatou této technologie. Výhodou vysokorychlostního broušení je možnost provádění údržbových prací při rychlostech až 80 km/h. Tato metoda umožňuje odebrání jen omezeného množství materiálu a z tohoto důvodu se jedná o metodu vhodnou zpravidla pro preventivní úpravy tratí. [6]

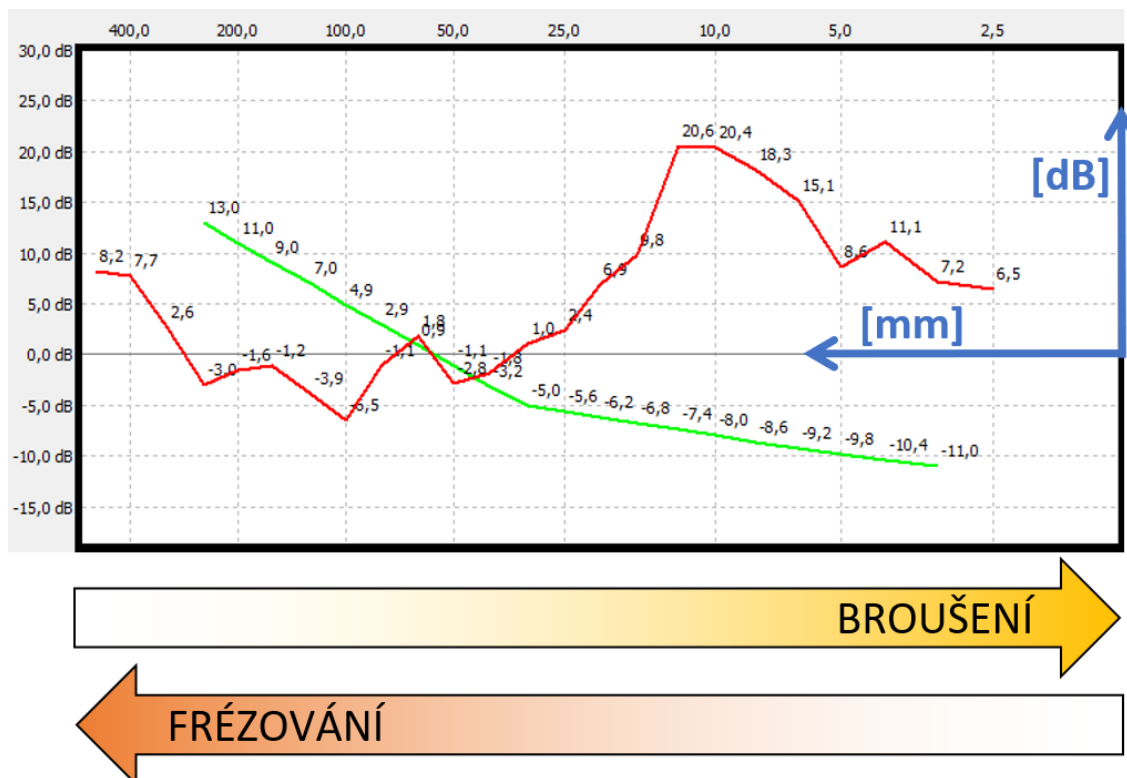


Obr. 17: Malý ruční brusný stroj BS2 [14]

Z podstaty těchto způsobů údržby vyplývá také skutečnost, že různé technologie nejsou při odstraňování periodických výškových vad hlavy kolejnice plně zaměnitelné. V České republice se v současnosti nejčastěji setkáme s údržbovými pracemi využívající technologie rotačního broušení či frézování. Z těchto dvou metod je pro odstranění periodických výškových vad hlavy kolejnice o kratší vlnové délce vhodnější broušení, zatímco pro delší vlnové délky je účinnější zvolit frézování. Uplatnění metod



v závislosti na vlnové délce periodických výškových vad hlavy kolejnice je schematicky zakresleno na Obr..



Obr. 18: Uplatnění technologií údržby v závislosti na vlnové délce deformací [Zdroj: Autor]

V zahraničí se lze setkat také s tzv. *akustickým broušením*. Prvními státy, ve kterých našel tento způsob údržby kolejových tratí uplatnění, jsou Nizozemsko a Německo. Toto broušení se provádí speciální metodou a po jeho provedení se předpokládá snížení akustické drsnosti kolejnice. Akustické broušení může být prováděno dvěma metodami – frézováním, po kterém následuje obroušení pomocí oscilujících kamenů, nebo broušení pomocí kotoučů, po kterém se koleje přebrousí pásovou brusku. Využívání akustického broušení vyžaduje pravidelnou diagnostiku akustické drsnosti tratí. [38]

Specifickou možností pro zmírnění nežádoucích účinků akustické drsnosti kolejnice je využití prostředků jako jsou nízké protihlukové stěny či kolejnicové absorbéry. Přínos těchto způsobů omezení emisí valivého hluku je v současnosti stále předmětem výzkumu. [38]

2.6.1 Brusné vozidlo AT2200-12E

Technologii rotačního broušení si lze detailněji představit pomocí konkrétního brusného vozidla. Pro tyto účely bylo vybráno speciální dvoucestné (schopné jízdy po kolejích i po silnici) brusné vozidlo AT2200-12E (výrobce Autech AG) neboť je součástí praktické části této práce. Toto



hnací drážní vozidlo je ve vlastnictví Pražské strojírny a.s., která ho využívá k údržbě kolejí metra a tramvají. Brusným vozidlem AT2200-12E je možné upravovat trati tramvajové a trati metra o rozchodu 1435 mm. K broušení kolejnic železničních tratí nelze toto vozidlo využít, neboť nemá odpovídající certifikaci. [39] [40]

Toto broušící vozidlo je vybaveno 12 brusnými kotouči, tedy 6 pro jeden kolejnicový pás. Při každém pojezdu vozidla jsou na jednom kolejnicovém páse obroušeny 3 podélné plochy o šířce cca 10 mm. Pro kompletní zbroušení kolejnice jsou potřeba minimálně 3 pojezdy, tedy 9 linií, přičemž pořadí broušení linií není přesně stanoveno a je plně v režii pověřeného pracovníka. Výsledný příčný profil kolejnice má tvar polygonu. Tímto brusným vozidlem je v metru možné během jedné noční dopravní a napěťové výluky zbrousit až 450m. [Zdroj: Rozhovor s pracovníkem Pražské strojírny a.s.]



Obr. 19: Brusné vozidlo AT2200 [41]

Součástí brusného vozidla je také nádrž na vodu o objemu 1000 litrů. Voda z nádrže slouží ke zkropení kolejiště před a po provedení údržbových prací. Vozidlo je možné při jízdě po kolejích řídit z kabiny či dálkově. Při dálkovém řízení je rychlost pohybu vozidla omezena na 5 km/h, zatímco při řízení z kabiny je maximální možná rychlost vozidla při jízdě po kolejích 45 km/h a při jízdě po silnici 90 km/h. Vozidlo obsahuje dvě řídicí kabiny (jednu vpředu a jednu vzadu) pro lepší komfort a bezpečnost při řízení v průběhu broušení, během kterého se vozidlo pohybuje po koleji v obou směrech. [40]



3 Praktická část

Praktická část této bakalářské práce obsahuje popis a vyhodnocení měření s přístrojem Salamander (výrobce KŽV s.r.o.).

Přístroj Salamander není běžným prostředkem pro diagnostiku kolejových tratí. Celkem byly zatím vyrobeny pouze 4 kusy tohoto modelu a na území České republiky se v současnosti nacházejí jen 3 tyto přístroje. Jeden přístroj pořídila Katedra železničních staveb v roce 2020, další má ve vlastnictví Centrum telematiky a diagnostiky (do roku 2020 Technická ústředna dopravní cesty) [42] a poslední je majetkem Výzkumného Ústavu Železničního, a. s. Žádný z těchto přístrojů není využíván pro pravidelný monitoring stavu kolejnicových pásů. Zbýlý čtvrtý kus byl dodán do zahraničí.

Jelikož s tímto přístrojem nejsou na Katedře železničních staveb dosud hlubší praktické zkušenosti, bylo nutné v předstihu před měřením, které je předmětem této práce, provést měření zkušební. Zkušební měření bylo provedeno na bývalé vlečce přístavu Holešovice. Během tohoto měření jsem se seznámila s principem měření s přístrojem Salamander. Důležitým bodem tohoto zkušebního měření bylo ověření funkčnosti vozíku.



Obr. 20: Druhé zkušební měření (15.4.2022) [Zdroj: Autor]



Během tohoto měření nevyvstaly žádné pochybnosti o jeho funkčnosti, a proto bylo přistoupeno k vyhodnocení zkušebního měření v softwaru. Vyhodnocení dat nebylo možné z důvodu závady zpracování dat. Původní předpoklad, že se jedná o závadu vyhodnocovacího softwaru, byl později při kontrole výrobcem vyvrácen a byla diagnostikována porucha základové elektronické desky. Po opravě poruchy měřicího přístroje bylo provedeno druhé zkušební měření, které již proběhlo včetně vyhodnocení bez komplikací.

Během druhého zkušebního měření byl pozměněn způsob měření. První změnou byla volba přenosu dat pomocí datového kabelu, nikoliv pomocí technologie Bluetooth. Díky tomu byl zajištěn rychlejší přenos dat do PDA, čímž bylo omezeno nebezpečí jejich ztráty. Druhým bodem bylo využití elektromotorku, který byl nakonec odpojen a přešlo se k ručnímu pohonu vozíku pomocí madla. Manipulace s vozíkem pomocí madla poskytovala oproti elektromotorku větší kontrolu nad pohybem přístroje a také umožňovala zastavení vozíku pro záznam významných bodů na trase.

Následně se přistoupiilo k měření na provozované trati, které se uskutečnilo v pražském metru v koordinaci s údržbovými pracemi na trati, aby bylo umožněno porovnat stav kolejnice z hlediska vlnkovitosti a drsnosti před a po provedení úpravy trati broušením.

3.1 Popis měřeného úseku

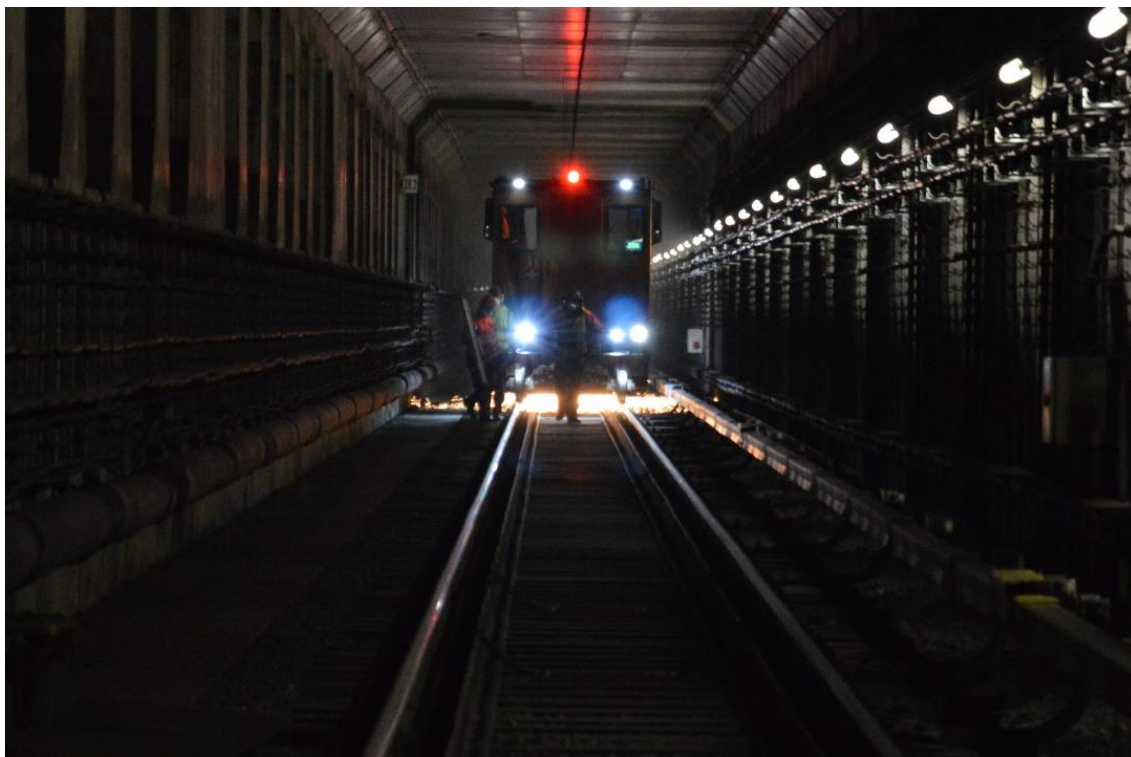
Pro měření byl vybrán úsek metra IV.B (Českomoravská – Černý most) mezi stanicemi Rajska zahrada a Černý most. Měření bylo provedeno na koleji č. 1 ve staničení km 28,300 – km 28,350. Měřená vzdálenost byla zvolena 50 m. Předmětem měření přístrojem Salamander byl pravý kolejnicový pás tvořený širokopatními (vignolovými) kolejnicemi – konkrétně typem S 49 (v současnosti značený jako 49 E1).

Tento úsek byl vybrán v koordinaci s prováděním údržbových prací, v rámci kterých mělo být provedeno broušení brusným vozidlem. Opotřebením koleje je na této trati způsobováno vysokou frekvencí pojezdů souprav metra. Konkrétně se jedná o vozy typu 81-71M s běžným nápravovým zatížením 12,5 t/náprava. [43] Nejkratší intervaly v této lokalitě během pracovních dnů jsou v dopravní špičce kratší než 2,5 minuty a za den zde dojde přibližně k 280 pojezdům. Za jeden měsíc po této koleji projede přes 50 tisíc náprav, což by teoreticky odpovídalo zatížení přes 638 000 t/měsíc. (Ve skutečnosti je toto zatížení menší, jelikož kapacita vozů není vždy zcela naplněna.) Při tomto zatížení koleje je již ekonomicky výhodné provádět mimo nutných oprav i údržbu preventivní.

Hlavními důvody pro provádění údržby kolejí v metru je prevence vzniku či případné omezení dalšího šíření vad kolejnic jako jsou například vlnkovitost, šikmé trhliny pojížděné hrany (*head checking*) či odlupování



materiálu z pojížděné hrany (*shelling*). Při broušení dochází také k odstraňování rzi, která vzniká na povrchu kolejnice. Nedostatečné očištění od rzi a výskyt deformací na pojížděné ploše kolejnicového pásu má za následky zejména větší odpor při přenosu elektrického proudu mezi kolem a kolejnicí. Zvyšováním elektrického odporu dochází k nežádoucímu zvyšování spotřeby energie.



Obr. 21: Broušení kolejnic IV.B km 28,300 000 (27.4.2022) [Zdroj: Autor]

3.2 Popis měření

Měření probíhalo při noční dopravní a napěťové výluce. Měření bylo provedeno celkem třikrát. První měření o délce 50 m bylo před provedením broušení.

Po příjezdu na zvolený úsek, byl sestaven přístroj Salamander. Vozík byl umístěn do koleje a bylo seřízeno umístění laserového snímače. Stopa byla zvolena uprostřed vizuálně rozpoznané pojížděné plochy, což bylo následně odečteno jako 40 mm dle stupnice přístroje. Poté již proběhlo první měření. Měření bylo možné provést pouze jednou, a tedy jen v jedné stopě, jelikož bylo nutné uvolnit kolej pro zahájení broušících prací.

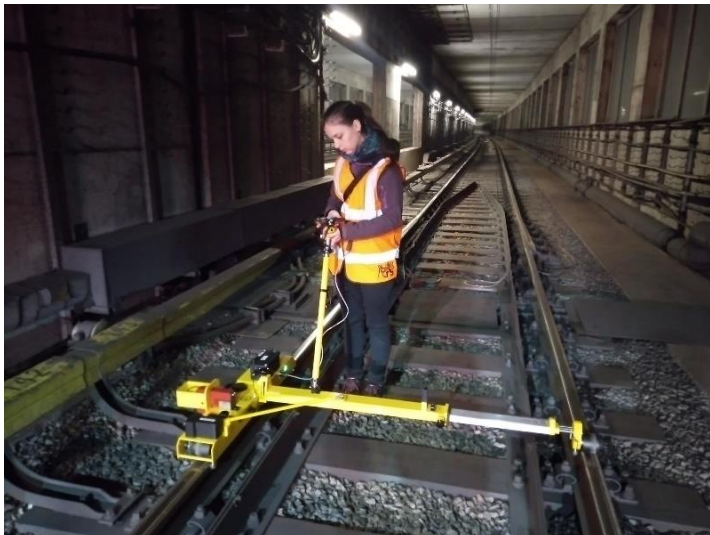
Následovalo přebroušení kolejnice brusným strojem AT2200-12E. Po broušení vozidlo provedlo pojezd bez broušení, a to za účelem odstranění nečistot proudem vzduchu. Následně bylo umožněno měření, které muselo být provedeno před finálním pojezdem vozidla, při kterém byly obroušené kolejnicové pásy očištěny klopením vodou. Pokud by



se k měření přistoupilo až po konečném očištění vodou, musely by být kolejnice osušeny. Přítomnost kapek vody na temenech kolejnicového pásu by měla za následek zkreslené výsledky měření.



Obr. 22: Detail kolejnice po broušení [Zdroj: Autor]



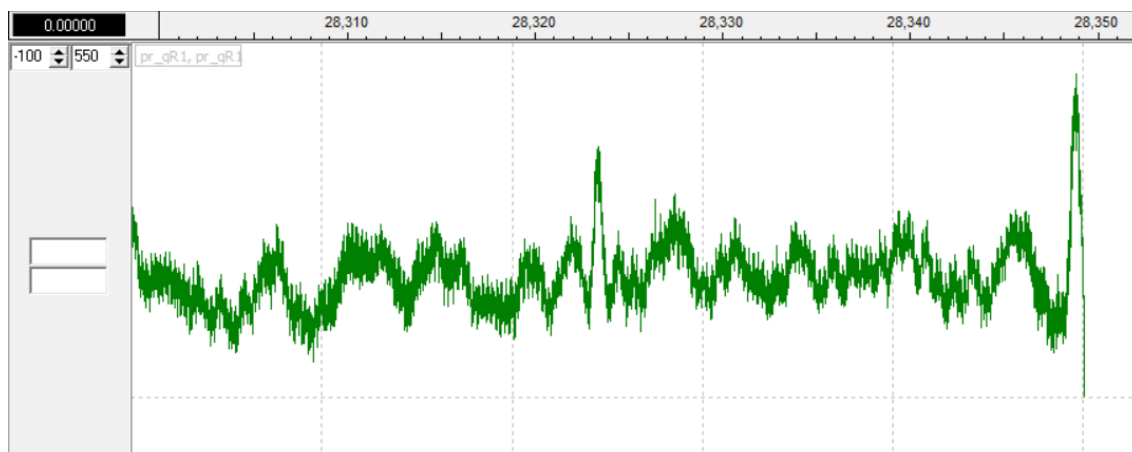
Obr. 23: Měření s přístrojem Salamander (27.4.2022) [Zdroj: Autor]

Kolejnicový pás byl změřen dvakrát – jednou v poloze správné ve směru staničení a podruhé v poloze nesprávné ve směru proti staničení. Měření bylo provedeno opět jen na jednom kolejnicovém pásu (ve stejné zvolené stopě), jelikož bylo prováděno pro účely porovnání stavu před a po broušení, nikoliv jako podklad pro přejímku po provedení údržby.

3.3 Vyhodnocení naměřených dat

Naměřená data byla zpracována v programu Salamander 10 (vyvinutý KŽV, s.r.o.). Jako cílový výstup bylo požadováno porovnání stavů kolejnicového pásu před a po provedení údržby broušením. Do vyhodnocení zprvu vstoupily 3 soubory dat, z nichž k podrobnějšímu zpracování pro účely porovnání byly vybrány dva.

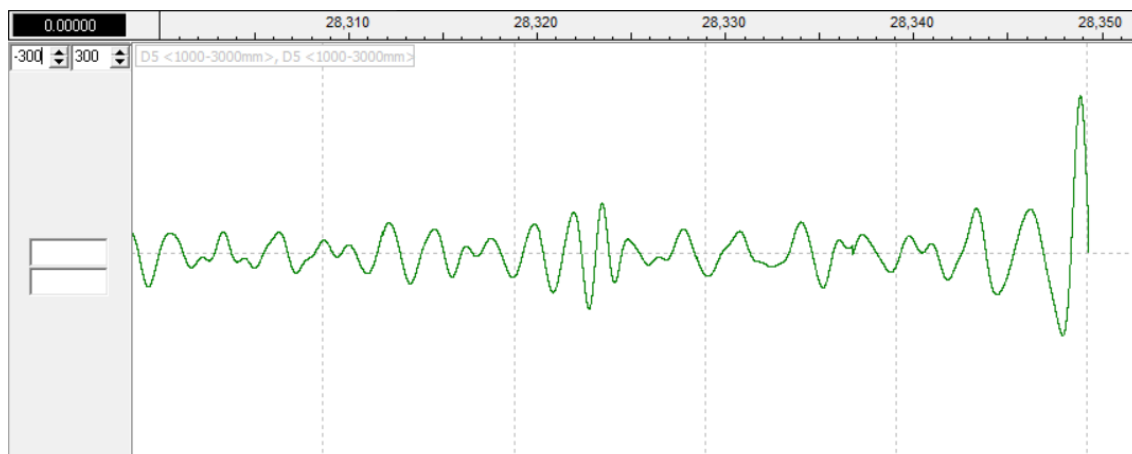
Nejdříve bylo jednotlivě pro oba soubory zkontrolováno grafické zobrazení primárních dat, tedy signálů qR1, qR2 a qR3. Typický úsek průběhu těchto signálů zachycuje Graf 2. Průběhy signálů nevykazovaly žádné znaky poškození dat či chybného postupu při měření, a tak bylo přistoupeno k provedení výpočtu.



Graf 2: Signál qR1 [Zdroj: Autor]

3.3.1 Vyhodnocení vlivu broušení na periodické deformace temene kolejnice

Pro oba soubory zvlášť byl pomocí softwaru vykreslen průběh funkcí deformací dle jednotlivých vlnových pásem D1 – D5 získaných metodou Peak to Peak. Ukázkou typického průběhu těchto funkcí je Graf 3.



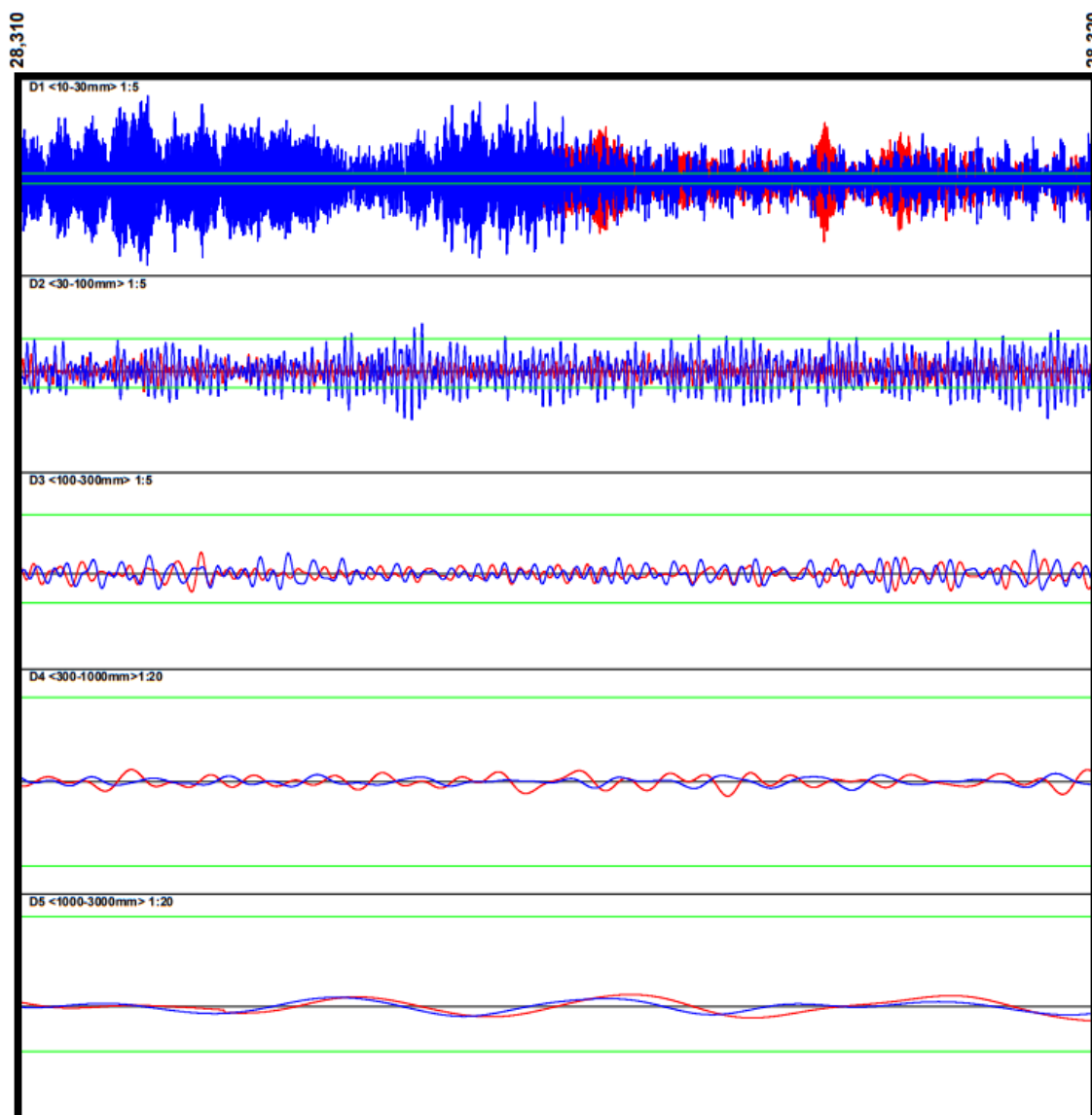
Graf 3: Vykreslení výsledného signálu D1 [Zdroj: Autor]

Poté bylo provedeno porovnání stavů před a po broušení v tomto grafickém zobrazení. Analýza tohoto zobrazení není pro posouzení vlivu broušení nezbytná, ale umožňuje vytvoření předběžného odhadu konečných výsledků a později také přibližnou kontrolu tabulkového výstupu. Grafické porovnání stavů je prezentováno vybraným úsekem v Grafu 4. Stav před broušením je zde značen červeně a stav po broušení je označen modře.

Cílový výstupem se softwaru pro vyhodnocení vlivu broušení jsou tabulky procentuálních hodnot překročení limitů. Pro účely tohoto vyhodnocení byl úsek rozdělen na dva intervaly o délce 25 m. Volba kratšího intervalu by nebyla vhodná, jelikož by poměr maximální měřené vlnové délky



deformací ku délce úseku nebyl optimální. Výstup byl zpracován s ohledem na normové [10] požadavky Třídy 1 (viz Tabulka 1 a Tabulka 2). Volba třídy není vzhledem k účelu provedení tohoto zpracování dat klíčová, neboť předmětem vyhodnocení je stanovení vlivu broušení na stav kolejnicového pásu z hlediska periodických nerovností temene hlavy kolejnice.



Graf 4: Výřez z porovnání stavů před a po broušení [Zdroj: Autor]

Porovnání stavů před a po broušení je z hodnot tabulkového výstupu převedeno do názornějšího sloupcového grafu (Graf 5). Z výsledků je patrný pozitivní vliv broušení na periodické nerovnosti hlavy kolejnice na měřeném úseku. Nejvýraznější zlepšení stavu bylo zjištěno v pásmu D2 odpovídajícím vlnovým délkám deformací 10 mm až 30 mm, kde došlo ke snížení procentuálního překročení limitu z průměrných 57,7 % na 8,3 %. V důsledku této skutečnosti se hodnota procentuálního překročení dostala



téměř do povoleného intervalu pro posouzení dle Třídy 1. V pásmu D1 došlo ke snížení procentuálního překročení limitu průměrně o 7,4 %.

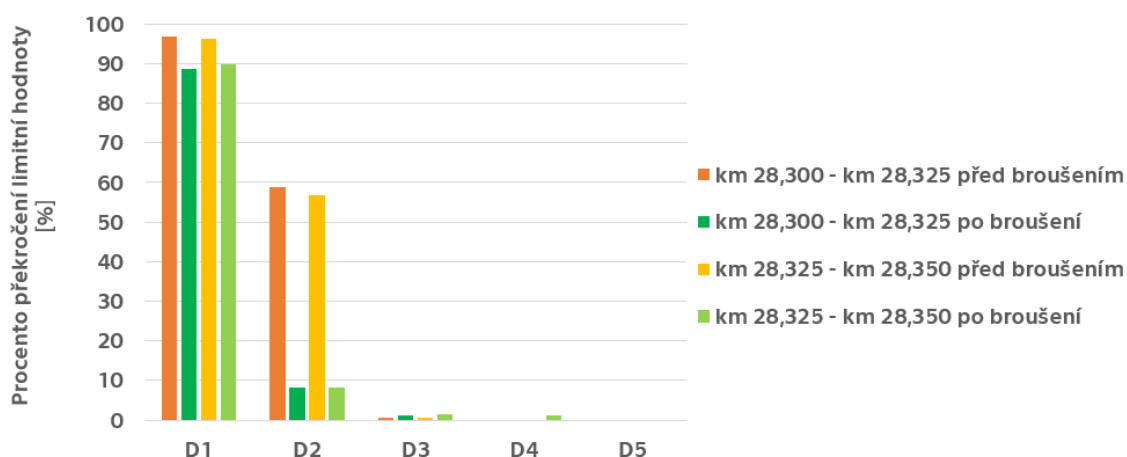
Ve zbylých pásmech došlo k zanedbatelným změnám mezi stavy před a po broušení. Pro vyhodnocení vlivu broušení lze tyto odchylky mezi stavy zanedbat jednak z důvodu, že se jedná o změny menší než 1 % a také proto, že se hodnoty v obou stavech pohybují v povolených limitech Třídy 1. Nárůst hodnot procentuálního překročení limitů po provedení údržby nebyl očekáván. Jedním z možných vysvětlení by mohlo být, že k nárůstu těchto hodnot došlo v důsledku eliminace nerovností vlnové délky, avšak k potvrzení této úvahy by byl nutný další výzkum.

KM	D1	D2	D3	D4	D5
	<10-30mm>	<30-100mm>	<100-300mm>	<300-1000mm>	<1000-3000mm>
LIM	10 (5%)	10 (5%)	15 (5%)	75 (5%)	400 (5%)
28,300 - 28,325	96,9	58,8	0,7	0,0	0,0
28,325 - 28,350	96,4	56,8	0,7	0,0	0,0
28,300 - 28,350	96,6	57,7	0,7	0,0	0,0

Tabulka 1: Posouzení Třída 1, stav před broušením [Zdroj: Autor]

KM	D1	D2	D3	D4	D5
	<10-30mm>	<30-100mm>	<100-300mm>	<300-1000mm>	<1000-3000mm>
LIM	10 (5%)	10 (5%)	15 (5%)	75 (5%)	400 (5%)
28,300 - 28,325	88,8	8,2	1,3	0,0	0,0
28,325 - 28,350	89,7	8,3	1,6	1,2	0,0
28,300 - 28,350	89,2	8,3	1,5	0,5	0,0

Tabulka 2: Posouzení Třída 1, stav po broušení [Zdroj: Autor]



Graf 5: Porovnání stavu před a po broušení [Zdroj: Autor]



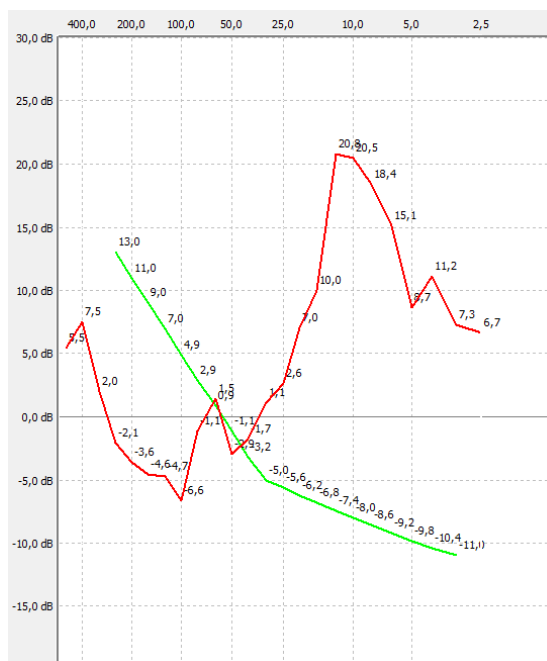
3.3.2 Vyhodnocení vlivu broušení na akustickou drsnost kolejnicového pásu

Software umožňuje vyhodnocení akustické drsnosti měřeného úseku pomocí třetinooktávkové analýzy. Výstupem je graf dvou funkcí. Červená barva charakterizuje akustickou drsnost měřeného kolejnicového pásu a zelená barva značí limitní křivku. Pokud funkce akustické drsnosti kolejnice tuto křivku překračuje, je velice pravděpodobné, že při pojezdu vozidla po tomto úseku bude docházet k hlukovým emisím do okolí. Z grafu lze určit konkrétní vlnové délky deformací s největšími akustickými účinky, díky čemuž může být zvolena vhodná technologie údržby tak, aby došlo k odstranění přednostně nerovností této vlnové délky.

Graf 6 zobrazuje původní stav akustické drsnosti zvoleného úseku kolejnicového pásu a Graf 7 zobrazuje stav akustické drsnosti tohoto kolejnicového pásu po provedení údržby brusným vozidlem. Tyto grafy jsou zde uvedeny především za účelem porovnání průběhu křivky akustické drsnosti kolejnic. Plné rozlišení těchto grafů je součástí protokolů v přílohách této práce.



Graf 6: Třetinooktávková analýza před broušením [Zdroj: Autor]



Graf 7: Třetinooktávková analýza po broušení [Zdroj: Autor]

Ze zmíněných grafů lze usoudit, že broušením došlo ke změně akustické drsnosti na měřeném úseku. Původní stav kolejnicového pásu před provedením údržby vykazoval nejzávažnější stav z hlediska drsnosti kolejnic v pásmu vlnové délky D1 a D2, cca od vlnové délky 80 mm.

Po broušení došlo k očekávanému snížení hodnot drsnosti pro deformace většiny vlnových délek. Bylo zaznamenáno snížení hodnoty globálního



maxima z 25,2 dB před broušením na 20,8 dB po broušení. Oproti tomu v pásmech delších vlnových délek došlo k nárůstu drsnosti. Tato změna hodnot jistě souvisí se změnou stavu kolejnicového pásu z hlediska periodických deformací hlavy kolejnice – viz kapitola 3.3.1. Nárůstem hodnot nedošlo k překročení limitní křivky, tudíž tato skutečnost není uvažována při celkovém vyhodnocení účinnosti provedené údržby zvoleného úseku.

3.3.3 Posouzení vlivu broušení

Měřením kolejnicového pásu přístrojem Salamander byl potvrzen pozitivní vliv provedené údržby technologií rotačního broušení na stav kolejnicového pásu z hlediska periodických deformací hlavy kolejnice i drsnosti. Provedená údržba však nebyla dostatečná a výsledný stav stéle překračuje limitní hodnoty obou měřených jevů.

Závěrem je doporučení provedení další údržby, a to se zaměřením na zmírnění periodických deformací hlavy kolejnice pásma D1, tedy přednostně deformací vlnových délek 10 mm až 30 mm.





4 Závěr

V rešeršní části této práce jsou shrnuty současné poznatky z problematiky vad kolejnic a akustické drsnosti. Jsou zde popsány základní hlukové účinky těchto jevů a možné způsoby jejich diagnostiky a odstraňování. Součástí je také teoretické seznámení s přístrojem Salamander a následným způsobem zpracování naměřených dat.

Praktická část je zaměřena na měření akustické drsnosti a vlnkovitosti přístrojem Salamander a vyhodnocení naměřených dat. Byla provedena dvojice zkušebních měření a posléze pilotní měření na traťovém úseku metra mezi stanicemi Černý most a Rajská zahrada, které bylo spojeno s prováděním pravidelné údržby na tomto úseku – broušením kolejnic. V rámci měření tak byl zjištěn stav zvoleného kolejnicového pásu před broušením a bezprostředně po provedení broušení.

Z vyhodnocených dat vyplývá, že broušení kolejnic mělo nejvýraznější pozitivní vliv na periodické nerovnosti hlavy kolejnice v pásmu D2 odpovídajícím vlnovým délkám 10 mm až 30 mm. V pásmu D2 došlo ke snížení procentuálního překročení limitu z 57,7 % na 8,3 %. Na zbylých pásmech došlo spíše k zanedbatelným změnám mezi stavem před a po broušení. Po broušení došlo k očekávanému snížení hodnot drsnosti pro deformace většiny vlnových délek. Bylo zaznamenáno snížení hodnoty globálního maxima z 25,2 dB před broušením na 20,8 dB po broušení. Měřením kolejnicového pásu přístrojem Salamander byl potvrzen pozitivní vliv provedené údržby technologií rotačního broušení na stav kolejnicového pásu z hlediska periodických deformací hlavy kolejnice i drsnosti.

Obsah práce naplnil všechny stanovené cíle obou částí a přinesl nové znalosti o kvalitě provádění údržby na tratích metra. Hlavním přínosem této práce bylo získání hlubších zkušeností s diagnostikou kolejových pásů pomocí přístroje Salamander.





5 Seznam použitých zdrojů

- [1] KASTLOVÁ, Olga a Radek HOUŠŤ. *Ročenka dopravy České republiky: 2020*. [online] Zlín: Ministerstvo dopravy, 2020. ISSN: 1801-3090. [vid. 14-05-2022] Dostupné z: https://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2020.pdf
- [2] ČD S 67. *Vady a lomy kolejnic*. [PDF] Praha: České dráhy, s. o., Divize dopravní cesty, o. z., Sekce stavební, 1997.
- [3] BRABEC, Jan. *Racionalizace nákladní dopravy z hlediska spotřeby energie a vlivu na životní prostředí*. [online] Diplomová práce. Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Ústav technicko-technologický, 2021. [vid. 16-05-2022] Dostupné z: https://is.vstecb.cz/th/r61rx/Diplomova_prace_18042_Racionalizace_nakladni_dopravy_z_hlediska_spotreby_energie_a_vlivu_na_zivotni_prostredi.docx?info
- [4] VYHLÁŠKA Č. 177/1995 SB. *Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává stavební a technický řád drah*. [online] Ministerstvo dopravy, Prosinec 1995, verze k 1.7.2020. [vid. 26-02-2022] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-177>
- [5] ČSN EN 13231. *Železniční aplikace – Kolej – Přejímka prací*. Třídící znak: 73 6374.
- [6] ČSN EN 13231-5. *Železniční aplikace – Kolej – Přejímka prací – Část 5: Postupy reprofilace kolejnic v běžné koleji, výhybkách a výhybkových konstrukcích včetně dilatačních zařízení*. Česká agentura pro standardizaci, 2019. ICS: 93.100. Třídící znak: 73 6374.
- [7] ČESKÉ DRÁHY, a. s. *Historie*. [online] 2008. [vid. 02-05-2022] Dostupné z: <http://www.ceskedrahy.cz/skupina-cd/historie/-700/>
- [8] SPRÁVA ŽELEZNIC, s. o. *Vznik SŽDC*. [online] 2022. [vid. 02-05-2022] Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznic/vznik-szdc>
- [9] DRÁŽNÍ INSPEKCE. *O Drážní inspekci*. [online] 2008. [vid. 02-05-2022] Dostupné z: <http://www.dicr.cz/o-drazni-inspekci>
- [10] ČSN EN 13231-2. *Železniční aplikace – Kolej – Přejímka prací – Část 2: Přejímka reprofilace kolejnic v běžné koleji, výhybkách, výhybkových konstrukcích včetně dilatačních zařízení*. Česká agentura pro standardizaci, 2021. ICS: 93.100. Třídící znak: 73 6374.
- [11] ŽELPAGE. *Pojednání o styku kola a kolejnice*. [online]. 2022. [vid. 03-14-2022] Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/clanky/pojednani-o-styku-kola-a-kolejnice?oddil=5>



-
- [12] KREJČIŘÍKOVÁ, Hana. *Železniční stavby 1, 1. část*. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2017. ISBN: 978-80-01-06157-2.
- [13] PLÁŠEK, Otto. *Železniční konstrukce I, Modul 2, Mechanika kolejové jízdny dráhy*. [online] Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2007. [vid. 16-03-2022] Dostupné z: <https://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/CN01-Zeleznici%20konstrukce%20I/M02-Mechanika%20kolejov%C3%A9%20j%C3%ADzn%C3%ADn%C3%AD%20dr%C3%A1hy.pdf>
- [14] PRAŽSKÁ STROJÍRNA a. s. *Navarování a broušení*. [online] [vid. 22-04-2022] Dostupné z: <https://pstroj.cz/vyrobky-a-sluzby/poprodajni-sluzby/navarovani-a-brouseni/>
- [15] VALENA, Martin. *Experimentální zařízení pro měření vlnkovitosti kolejnic*. [online] Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování, 2017. [vid. 20-03-2022] Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=149743
- [16] ČSN EN 15 610 (ČSN 73 6341). *Železniční aplikace - Emise hluku - Měření drsnosti povrchu kolejnic ve vztahu k hluku valení [Railway applications - Acoustics - Rail and wheel roughness measurement related to noise generation]*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019. Třídící znak: 73 6341.
- [17] VEDRAL, Jan. *Posouzení protihlukových stěn měřením in-situ pomocí akustické kamery*. [online] Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2019. [vid. 04-05-2022] Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/86458>
- [18] BUKOVJANOVÁ, Eva. *Vliv hluku na životní prostředí*. [online] Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2008. [vid. 20-04-2022] Dostupné z: <https://digilib.k.utb.cz/handle/10563/6277>
- [19] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Úvodní stránka Strategického hlukového mapování ČR*. [online] 2015, 2020. [vid. 02-04-2022] Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/hlukove-mapy/>
- [20] EUROPEAN PARLIAMENT, COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. *Environmental noise directive (END) 2002/49/EC*. [online] 2021. [vid. 03-04-2022] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32002L0049>
- [21] SPOLEČNÉ VÝZKUMNÉ STŘEDISKO, INSTITUT PRO ZDRAVÍ A OCHRANU SPOTŘEBITELE, Stylianos KEPHALOPOULOS, Marco PAVIOTTI a Fabienne



- ANFOSSO-LÉDÉE. *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*. [online] Publications Office, 2012. [vid. 28-03-2022] ISBN: 978-92-79-25281-5.
Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2788/32029>
- [22] RÁDCE PRO PODNIKOVOU EKOLOGII, ODPADY, OCHRANU OVZDUŠÍ, EMS, NAKLÁDÁNÍ S CHEMICKÝMI LÁTKAMI A INTEGROVANOU PREVENCI. *Společné metody hodnocení hluku*. [online] 2012. [vid. 15-04-2022] Dostupné z: <https://www.enviprofi.cz/33/spolecne-metody-hodnoceni-hluku>
- [23] Protokol z měření latí AB123EF-15, poskytnuto: Pražská strojírna a.s., 04/2022
- [24] ELEKTRO-THERMIT GMBH & CO. KG, A GOLDSCHMIDT COMPANY. *Elektronické měřicí přístroje pro kontrolu podélného profilu*. [online] Haale: Elektro-Thermit GMBH & CO, 2021. [vid. 28-04-2022] Dostupné online: https://www.goldschmidt.com/wp-content/uploads/Railstraight_CZ.pdf
- [25] KOMERČNÍ ŽELEZNIČNÍ VÝZKUM, spol. s. r. o. *Gekon, Measuring trolley for rail corrugation*. [online] [vid. 04-05-2022] Dostupné z: <https://kzv.cz/wp-content/uploads/2021/10/GEKON-EN.pdf>
- [26] KOMERČNÍ ŽELEZNIČNÍ VÝZKUM, spol. s. r. o. *Double gekon, Measuring trolley for rail corrugation*. [online] [vid. 04-05-2022] Dostupné z: <https://kzv.cz/wp-content/uploads/2021/10/DOUBLE-GEKON-EN.pdf>
- [27] KOMERČNÍ ŽELEZNIČNÍ VÝZKUM, spol. s. r. o. *Gekon 3D, Corrugation and rail profiles measuring trolley*. [online] [vid. 04-05-2022] Dostupné z: <https://kzv.cz/wp-content/uploads/2021/10/Gekon-3D.pdf>
- [28] KREJČIŘÍKOVÁ, Hana a Petr TYC. *Železniční stavby 20*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2003. Dotisk prvního vydání. ISBN: 80-01-02411-3.
- [29] VÝZKUMNÝ ÚSTAV ŽELEZNIČNÍ, a.s. *Dílčí technická zpráva, Měřicí kampaň akustické drsnosti na síti SŽDC, zpráva číslo D2.4.4/2014*. [PDF] Praha: Univerzita Pardubice, VÚVK a.s., 2014.
- [30] KOMERČNÍ ŽELEZNIČNÍ VÝZKUM, spol. s. r. o. *Salamander, Measuring trolley for rail roughness and corrugation*. [online] [vid. 04-05-2022] Dostupné z: <https://kzv.cz/wp-content/uploads/2021/10/Salamander-EN.pdf>
- [31] KOMERČNÍ ŽELEZNIČNÍ VÝZKUM, spol. s. r. o. *Technical documentation: Measuring trolley for track roughness – Evaluation Program Salamander 10*. [PDF] Praha: KŽV, spol. s.r.o., 2020.



- [32] SPRÁVA ŽELEZNIC, s. o. – CENTRUM TELEMATIKY A DIAGNOSTIKY. *Diagnostické prostředky provozované CTD*. [online] 2022. [vid. 02-05-2022] Dostupné z: <https://www.tudc.cz/index.php/diagnosticke-prostredky/>
- [33] SYCHROVSKÝ, Petr. *Nové systémy pro diagnostiku železničního svršku*. [PDF]. Praha: SŽDC TÚDC, Praha, 2014.
- [34] KOMERČNÍ ŽELEZNIČNÍ VÝZKUM, spol. s r. o. *Small measuring car MMD for track geometry*. [online] [vid. 04-05-2022] Dostupné z: <https://kzv.cz/wp-content/uploads/2021/10/MMD-EN.pdf>
- [35] VÝZKUMNÝ ÚSTAV ŽELEZNIČNÍ, a. s. *Technická zpráva o řešení etapy I. úkolu „Databáze hlukových zdrojů na železnici“, VUZ RST – 026/2006*. [online] Praha: Zkušební laboratoř VUZ, sekce ZL RST, 2006. [vid. 04-05-2022] Dostupné z: <https://docplayer.cz/9646716-Technicka-zprava-vuz-rst-026-2006-obsah.html>
- [36] SPRÁVA ŽELEZNIC, s. o. – CENTRUM TELEMATIKY A DIAGNOSTIKY. *Malá měřicí drezína*. [online] 2022. [vid. 04-05-2022] Dostupné z: <https://www.tudc.cz/index.php/diagnosticke-prostredky/mmd/>
- [37] ČSN 73 6405. *Projektování tramvajových tratí*. Praha: Český normalizační institut, 1996. ICS: 93.100.
- [38] SCOSSA-ROMANO, Enzo a Jakob OERTIL. *Kolejnicové absorbéry, akustické broušení kolejnic a nízké protihlukové clony*. [online] Zpráva o technickém stavu. Bern: Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2013. [vid. 26-03-2022] Dostupné z: <https://docplayer.cz/6485084-Kolejnicove-absorbery-akusticke-brouseni-kolejnic-a-nizke-protihlukove-clony-zprava-o-technickem-stavu.html>
- [39] PRAŽSKÁ STROJÍRNA, a. s. *Výroční zpráva za rok 2018*. [PDF] Praha: Pražská strojírna, a.s., 2019.
- [40] PRAX, Martin a Ondřej KRULIKOVSKÝ. *Malostranská premiéra nové brusky. DP kontakt. 3/2018, s. 13-15*. [online] Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2018. [vid. 22-04-2022] ISSN: 1212-6349. Dostupné online: https://www.dpp.cz/data/leaflets/documents/2019-12-03-10-45-22_DPK-3-2018-web.pdf
- [41] AUTECH AG. *AT 2200*. [online] [vid. 02-05-2022] Dostupné z: <https://autech.ch/produkte/at-2200/?lang=en>
- [42] SPRÁVA ŽELEZNIC, s. o. – CENTRUM TELEMATIKY A DIAGNOSTIKY. *Historie CTD*. [online] 2022. [vid. 04-05-2022] Dostupné z: <https://www.tudc.cz/index.php/o-nas/historie-tudc/>



[43] ČERNÝ, M. a spol. *Malý atlas městské dopravy 2002*. Praha: Gradis Bohemia, s. r. o., 2002. ISBN: 80-902791-5-5.



6 Seznam obrázků

Obr. 1: Miskovité výlomy, bývalá vlečka přístavu Holešovice [Zdroj: Autor]	17
Obr. 2: Miskovité výlomy, předpis S 67 [2]	18
Obr. 3: Vlnkovitost [11]	19
Obr. 4: Skluzové vlny [Zdroj: Autor]	20
Obr. 5: Elektronická měřicí lať [Zdroj: Autor]	24
Obr. 6: Protokol z měření elektronickou latí [23]	25
Obr. 7: Double Gekon (výrobce KŽV s.r.o.) [Zdroj: Autor]	27
Obr. 8: Salamander (výrobce KŽV s.r.o.) [Zdroj: Autor]	28
Obr. 9: Detail rozmístění senzorů na spodní straně přístroje [Zdroj: Autor]	28
Obr. 10: Volba stopy měření [Zdroj: Autor]	29
Obr. 11: Přístroj Salamander rozložený na jednotlivé díly [Zdroj: Autor]	30
Obr. 12: Mobilní aplikace Salamander 2.0 [Zdroj: Autor]	31
Obr. 13: Zjednodušené schéma metody Peak to Peak [29]	33
Obr. 14: Salamander 10, program pro vyhodnocení naměřených dat [Zdroj: Autor]	33
Obr. 15: Malá měřicí drezína [36]	35
Obr. 16: Detail hlavy kolejnice po úpravě rotačním broušením [Zdroj: Autor]	37
Obr. 17: Malý ruční brusný stroj BS2 [14]	38
Obr. 18: Uplatnění technologií údržby v závislosti na vlnové délce deformací [Zdroj: Autor]	39
Obr. 19: Brusné vozidlo AT2200 [41]	40
Obr. 20: Druhé zkušební měření (15.4.2022) [Zdroj: Autor]	41
Obr. 21: Broušení kolejnic IV.B km 28,300 000 (27.4.2022) [Zdroj: Autor]	43
Obr. 22: Detail kolejnice po broušení [Zdroj: Autor]	44
Obr. 23: Měření s přístrojem Salamander (27.4.2022) [Zdroj: Autor]	44



7 Seznam tabulek

Tabulka 1: Posouzení Třída 1, stav před broušením [Zdroj: Autor].....	47
Tabulka 2: Posouzení Třída 1, stav po broušení [Zdroj: Autor].....	47

8 Seznam grafů

Graf 1: Závislost hluku ze železniční dopravy na rychlosti jízdy vozidla [17]	22
Graf 2: Signál qR1 [Zdroj: Autor].....	45
Graf 3: Vykreslení výsledného signálu D1 [Zdroj: Autor].....	45
Graf 4: Výřez z porovnání stavů před a po broušení [Zdroj: Autor].....	46
Graf 5: Porovnání stavu před a po broušení [Zdroj: Autor].....	47
Graf 6: Třetinooktávová analýza po broušení [Zdroj: Autor]	48
Graf 7: Třetinooktávová analýza před broušením [Zdroj: Autor].....	48

9 Seznam příloh

Příloha 1:	Grafické hodnocení – Porovnání dvou souborů
Příloha 2:	Peak To Peak – Stav před broušením
Příloha 3:	Peak To Peak – Stav po broušení
Příloha 4:	Rail Roughness – Stav před broušením
Příloha 5:	Rail Roughness – Stav po broušení

Grafické hodnocení - Porovnání dvou souborů

Název : **RajskaZahrada01 | RajskaZahrada03**

Poznámka : **(Side:R) | (Side:R)**

RP 1.úseku :

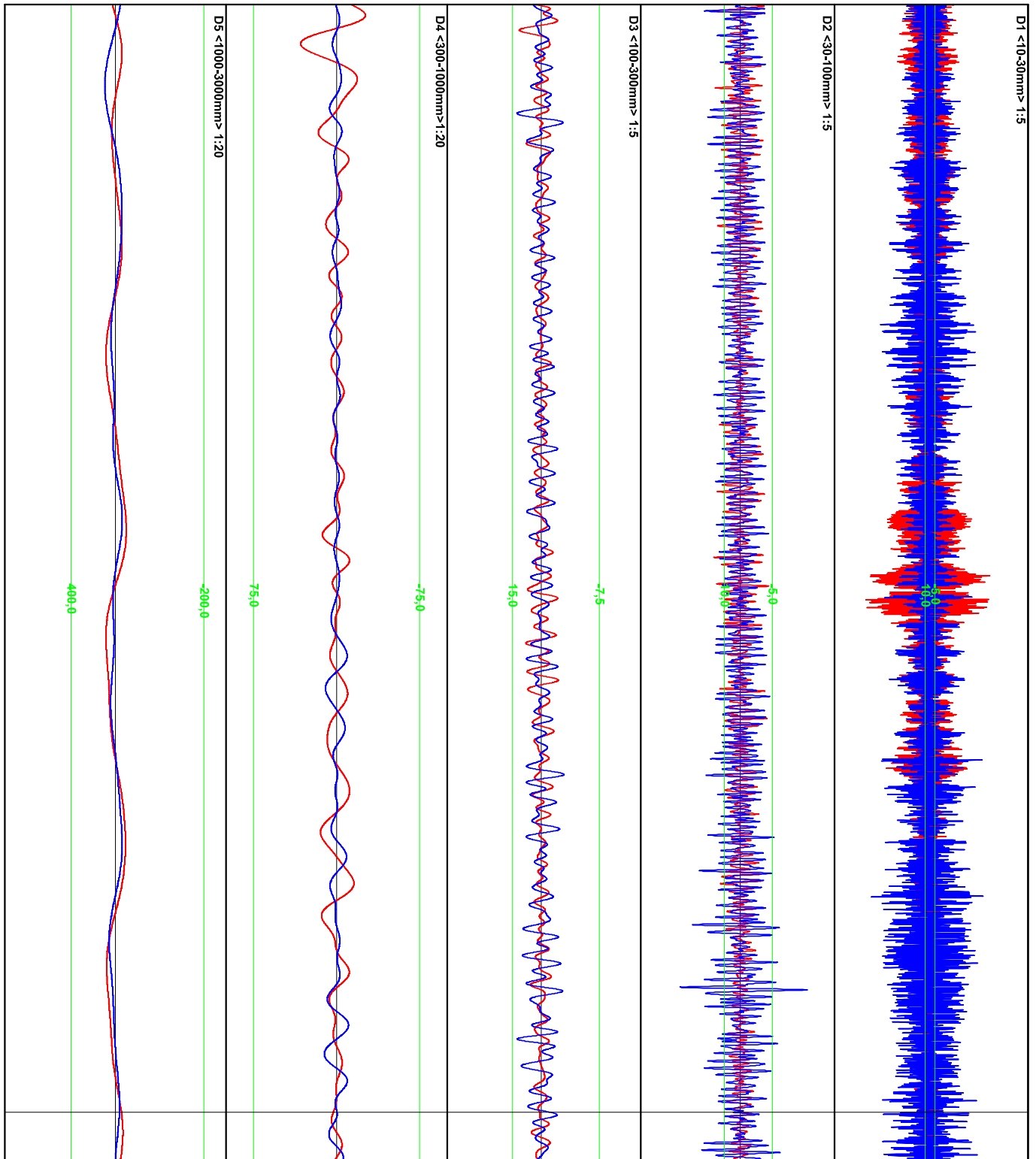
Meze pro :

Km Od Do : **28,300000 - 28,350000 km**

Uživ. text : **a**

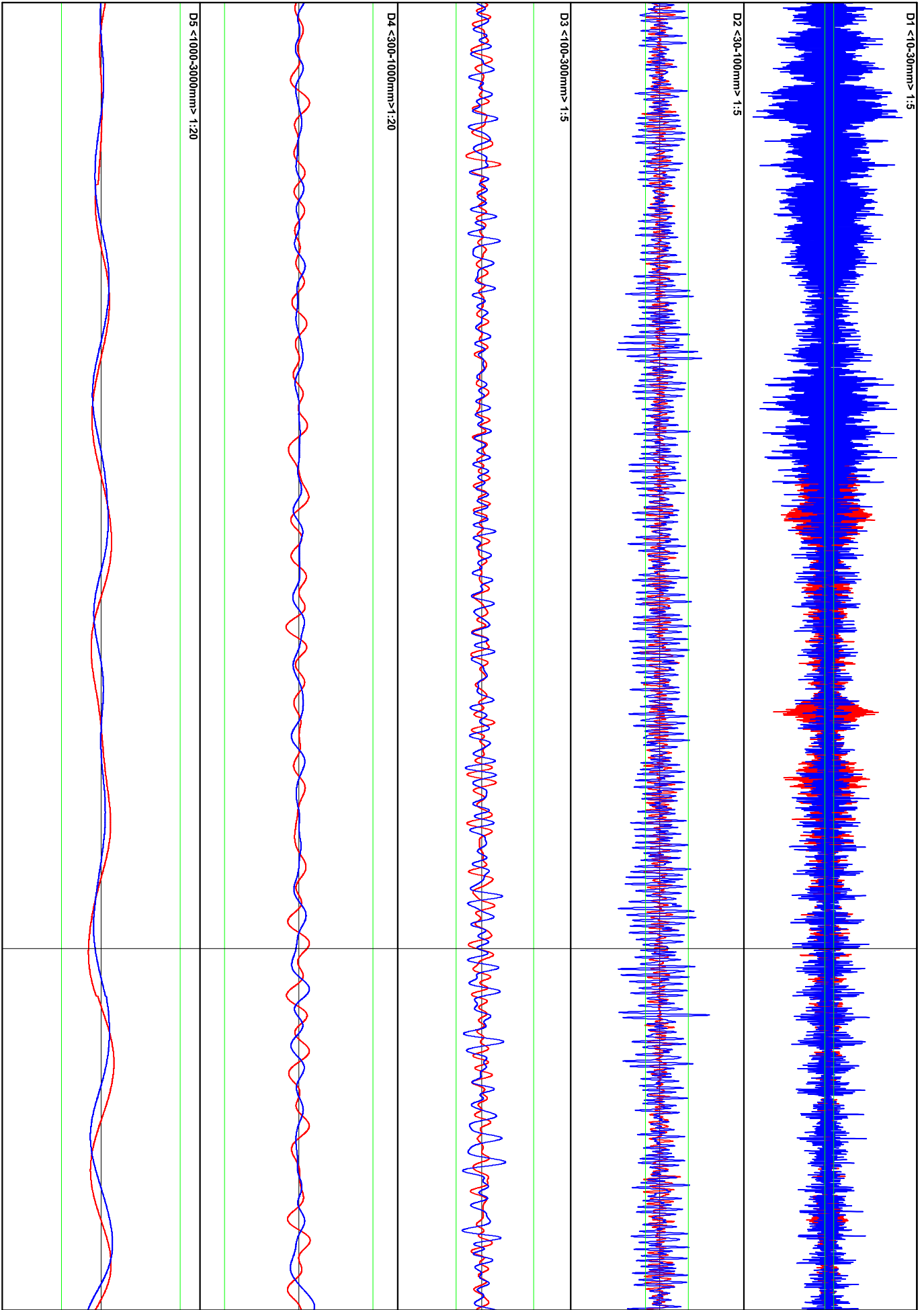
Datum, čas : 27/4/2022, 1:04 | 27/4/2022, 2:09

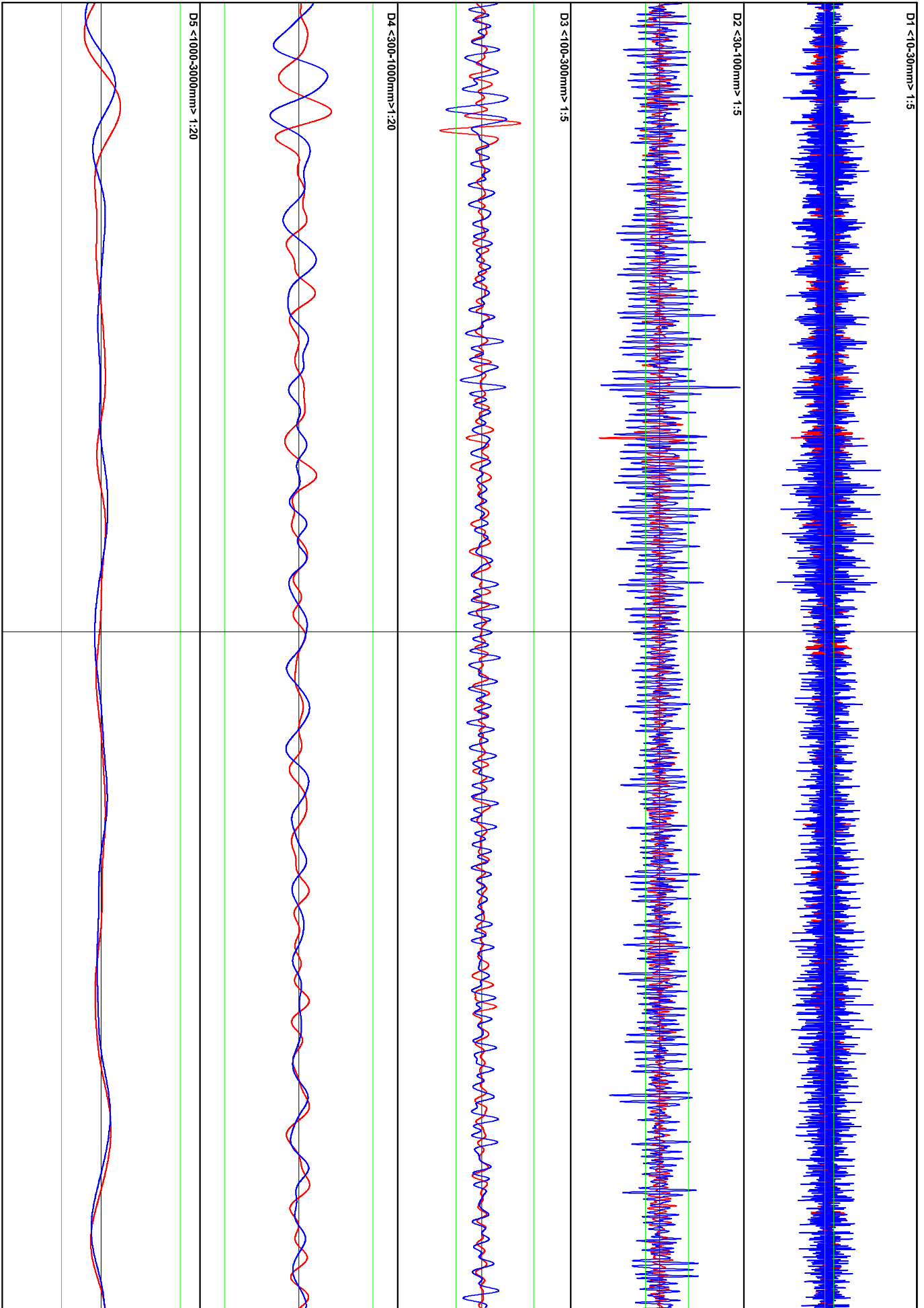
Postavení : **Správné | Správné**

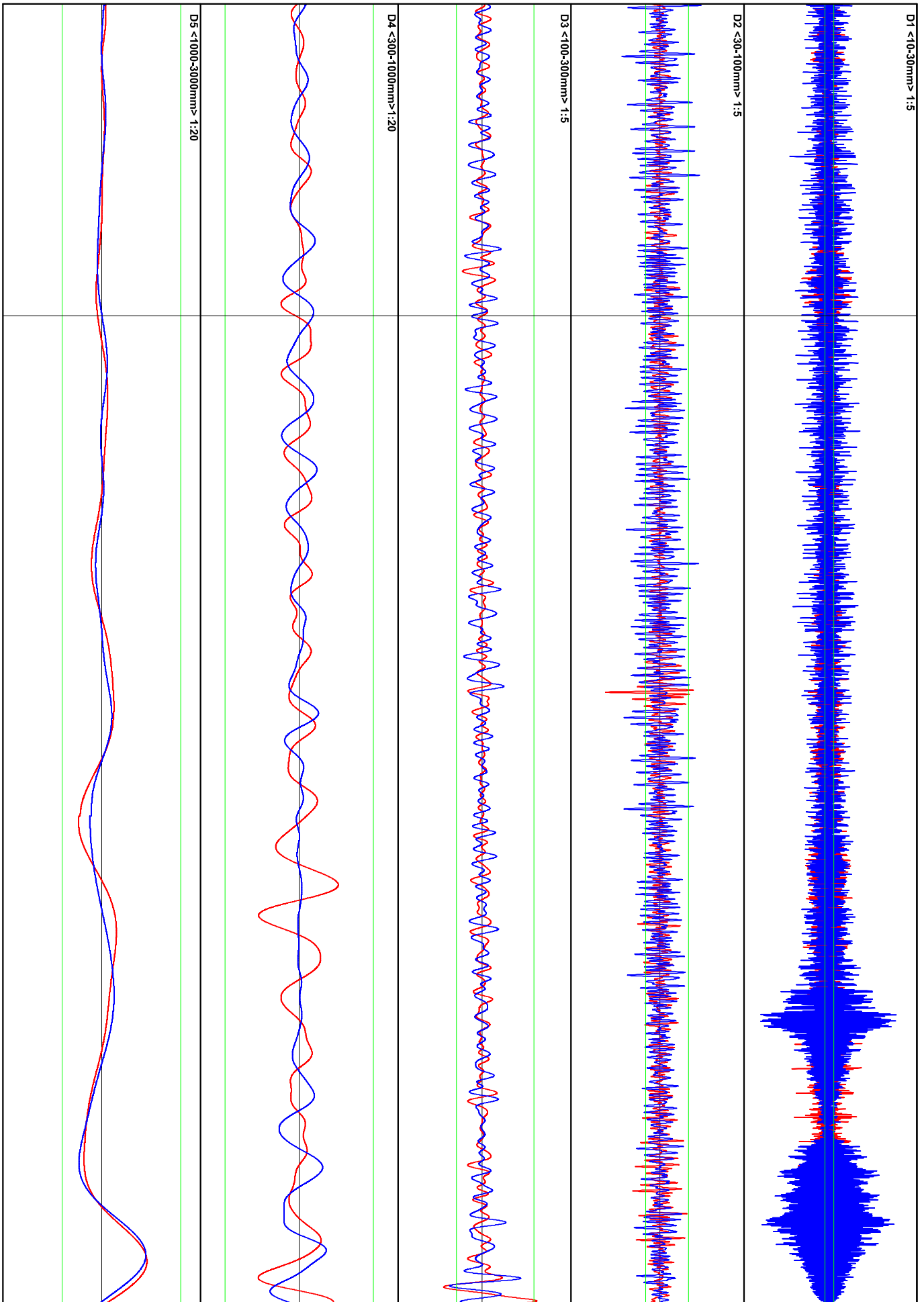


28,300

28,310







Peak To Peak [%]

Název : **RajskaZahrada01**

Poznámka : **(Side:R)**

Meze pro : **Class 1**

Datum, čas : **27/4/2022, 1:04,**

Km Od Do : **28,300000 - 28,350000**

Postavení : **Správné**

Uživ. text : **a**

RP 1.úseku : PtoP - Number Exeedings [Class 1]

KM	D1 <10-30mm>	D2 <30-100mm>	D3 <100-300mm>	D4 <300-1000mm>	D5 <1000-3000mm>
LIM	10 (5 %)	10 (5 %)	15 (5 %)	75 (5 %)	400 (5 %)
28,300 - 28,325	96,9	58,8	0,7	0,0	0,0
28,325 - 28,350	96,4	56,8	0,7	0,0	0,0
(All) 28,300 - 28,350	96,6	57,7	0,7	0,0	0,0

Peak To Peak [%]

Název : **RajskaZahrada03**

Poznámka : **(Side:R)**

Meze pro : **Class 1**

Datum, čas : **27/4/2022, 2:09,**

Km Od Do : **28,300000 - 28,350000**

Postavení : **Správné**

Uživ. text : **a**

RP 1.úseku : PtoP - Number Exeedings [Class 1]

KM	D1 <10-30mm>	D2 <30-100mm>	D3 <100-300mm>	D4 <300-1000mm>	D5 <1000-3000mm>
LIM	10 (5 %)	10 (5 %)	15 (5 %)	75 (5 %)	400 (5 %)
28,300 - 28,325	88,8	8,2	1,3	0,0	0,0
28,325 - 28,350	89,7	8,3	1,6	1,2	0,0
(All) 28,300 - 28,350	89,2	8,3	1,5	0,5	0,0

Rail Roughness

Název : RajskaZahrada01

Poznámka : (Side:R)

Meze pro :

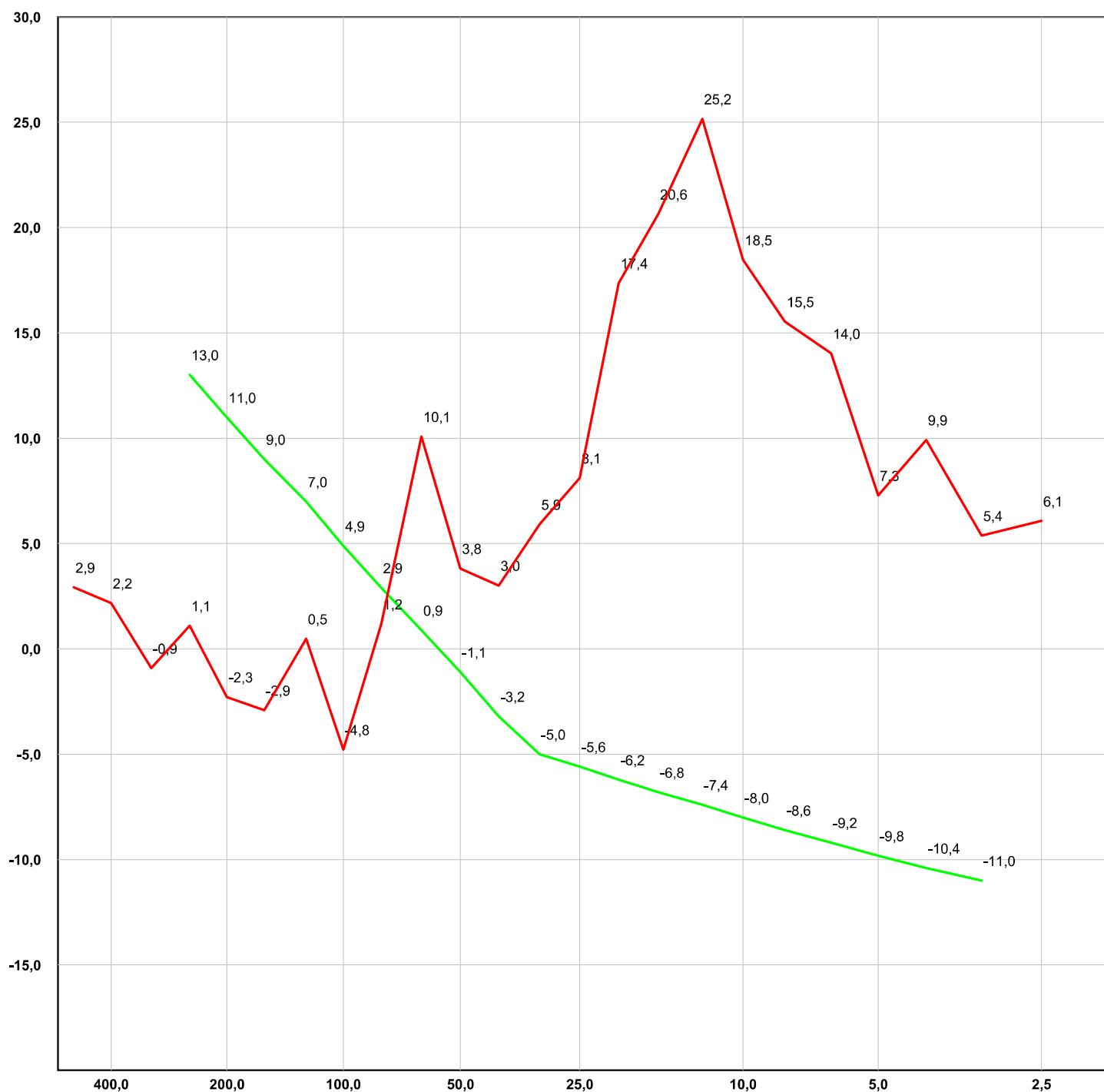
Datum, čas : 27/4/2022, 1:04,

Km Od Do : 28,300000 - 28,350000

Postavení :

Uživ. text : a

[dB]



Rail Roughness

Název : RajskaZahrada03

Poznámka : (Side:R)

Meze pro :

Datum, čas : 27/4/2022, 2:09,

Km Od Do : 28,300000 - 28,350000

Postavení :

Uživ. text : a

[dB]

