

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STAVEBNÍ**

**KATEDRA  
ŽELEZNIČNÍCH STAVEB**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**SVAŘOVÁNÍ KOLEJNIC  
DO BEZSTYKOVÉ KOLEJE**

**2024**

**JOSEF  
ŽELEZNÝ**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Železný** Jméno: **Josef** Osobní číslo: **502188**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra železničních staveb**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Specializace: **Konstrukce a dopravní stavby**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Svařování kolejnic do bezстыkové koleje**

Název bakalářské práce anglicky:

**Welding into continuous welded rail**

Pokyny pro vypracování:

V rámci rešeršně-teoretické části popište podmínky a předpoklady zřízení bezстыkové koleje, a to včetně popisu možností a technologií svařování kolejnic. Kromě bezстыkové koleje u dráhy železniční popište i základní odlišnosti a specifika pro kolej svařovanou u městských drah.

V rámci praktické části proveďte samostatné měření vybraných svarů provedených technologií odtavovacího stykového svařování a svařování termitem pomocí měřicího zařízení SALAMANDER. Proveďte hodnocení v místě svaru a zjistěte, zda jsou mezi výsledky patrné významnější odlišnosti dle technologie svařování.

Seznam doporučené literatury:

Předpis S 3/2 Bezстыková kolej  
Novelizace předpisu SŽDC S3/2 Bezстыková kolej, Petr Szabó  
Předpis T1/2 Předpis pro svářečské práce na součástech kolejového svršku MHD  
Kovářík R. & kol.: Bezстыková kolej, Praha 1970, OD-31-040-70 05-94

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Ondřej Bret katedra železničních staveb FSv**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **23.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bret  
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Leoš Horníček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca/CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

**21.2.2024**

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta





## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Svařování kolejnic do bezстыkové koleje** zpracoval(a) 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 .....

.....

Josef Železný



## Poděkování

Rád bych tímto poděkoval Ing. Ondřeji Bretovi, vedoucímu méj bakalářské práce, za jeho aktivní přístup, užitečné rady a všechen vynaložený čas při konzultacích i mimo ně. Doufám, že ne jednou bude vzpomínat na zkoušku zabezpečovacího zařízení na přejezdu P2.

Dále děkuji Katedře železničních staveb FSv ČVUT za zapůjčení měřícího přístroje Salamander. Děkuji Ing. Magdaleně Křečkové za její rady a materiály, které mi propůjčila. Děkuji Ing. Petru Břešťovskému, Ph.D. za pomoc při hledání druhé lokality praktického měření.

Děkuji Ing. Vlastimilu Mazouchovi, řediteli společnosti REGENA, spol. s.r.o., za zodpovězení mého dotazu týkajícího se regenerovaných kolejnic.

Děkuj pracovníkům Pražské strojírny, a.s., že jsem mohl být přítomen na jedné z jejich nočních směn navařování kolejnic, a za zodpovězení všech mých otázek.

Děkuji také zaměstnancům KŽV, a.s., že mi byli nápomocní při řešení technických problémů s měřícím vozíkem Salamander.

Na závěr bych chtěl poděkovat mým nejbližším, kteří to se mnou během tvorby závěrečné práce neměli vždy lehké, ale i přesto mě podpořili teď i v průběhu celého studia.



# **Svařování kolejnic do bezстыkové koleje**

**Welding into continuous welded rail**



## **Anotace**

Bakalářská práce shrnuje principy fungování bezstykové koleje a obsahuje přehled metod svařování kolejnic. Práce se věnuje podmínkám zřizování bezstykové koleje dle novelizovaného předpisu SŽ S3/2 s účinností ze dne 1. března 2024 a problematice bezstykové koleje na tramvajových tratích. Praktická část se zabývá měřením drsnosti v místě svaru kolejnic a jeho okolí.

## **Klíčová slova:**

Bezstyková kolej, upínací teplota, zřizování bezstykové koleje, svařování kolejnic, termit, stykové odtavovací svařování, navařování kolejnic, drsnost kolejnic





## Summary

The bachelor thesis summarizes the principles of operation of continuous welded rail and includes an overview of rail welding methods. The thesis focuses on the conditions of establishing continuous welded rail according to the amended regulation SŽ S3/2 of March 1, 2024. It also explores the issue of continuous welded rail on tram tracks. The practical part deals with the measurement of roughness at the weld and its surrounding area.

## Key words:

Continuous welded rail, neutral temperature, establishment of a continuous welded rail, rail welding, thermite, flash-butt welding, rail surfacing – reshaping of the rail, rail roughness



## Obsah

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod .....</b>   | <b>12</b> |
| 1.1      | Úvod.....   | 12        |
| 1.2      | Cíle práce.....   | 12        |
| <b>2</b> | <b>Rešeršní část .....</b>  | <b>13</b> |
| 2.1      | Vznik bezстыkové koleje.....  | 13        |
| 2.1.1    | Úvod do bezстыkové koleje .....   | 13        |
| 2.1.2    | Stykovaná kolej .....   | 13        |
| 2.1.3    | Vývoj bezстыkové koleje.....  | 16        |
| 2.2      | Technologie bezстыkové koleje .....                                     | 18        |
| 2.2.1    | Teorie bezстыkové koleje.....   | 18        |
| 2.2.1.1  | Střední část.....   | 21        |
| 2.2.1.2  | Dýchající konec.....  | 23        |
| 2.2.2    | Rozložení osových sil po délce BK .....                                 | 24        |
| 2.2.3    | Upínací teplota .....   | 24        |
| 2.2.4    | Stabilita bezстыkové koleje.....  | 26        |
| 2.2.5    | Příčný odpor v kolejovém loži .....                                     | 31        |
| 2.2.6    | Rámová tuhost koleje .....  | 31        |
| 2.3      | SŽ S3/2 – Bezстыková kolej .....  | 32        |
| 2.3.1    | Hlavní podmínky pro zřizování bezстыkové koleje .....                   | 32        |
| 2.3.1.1  | Kolejnice .....   | 32        |
| 2.3.1.2  | Upevňovadla .....   | 33        |
| 2.3.1.3  | Pražce a jejich rozdělení .....   | 34        |
| 2.3.1.4  | Kolejové lože .....   | 35        |
| 2.3.1.5  | Směrové poměry.....   | 37        |
| 2.3.1.6  | Pražcové kotvy.....   | 41        |
| 2.3.2    | Zřizování bezстыkové koleje.....  | 42        |
| 2.3.2.1  | Napínání kolejnicových pásů.....  | 45        |
| 2.3.2.2  | Ohřev kolejnic .....  | 47        |
| 2.4      | Pokládka a snášení kolejového roštu.....                                | 48        |
| 2.4.1    | Montáž kolejového roštu v ose bez speciálních kladečích prostředků..... | 49        |
| 2.4.2    | Pokládka kolejových polí.....   | 50        |
| 2.4.3    | Cyklicky oddělená pokládka kolejového roštu .....                       | 51        |
| 2.5      | Svařování .....   | 52        |
| 2.5.1    | Aluminotermické svařování .....   | 53        |
| 2.5.1.1  | Princip metody .....  | 53        |



|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 2.5.1.2  | Technologie Elektro-Thermit .....   | 55         |
| 2.5.1.3  | Pracovní postup Elektro-Thermit .....   | 56         |
| 2.5.2    | Odtavovací stykové svařování .....  | 61         |
| 2.5.2.1  | Princip metody .....  | 61         |
| 2.5.2.2  | Základní podmínky pracovního postupu .....  | 62         |
| 2.5.2.3  | Stabilní svařovna.....  | 63         |
| 2.5.2.4  | Mobilní svářečka APT 1500 RL .....  | 65         |
| 2.5.3    | Svařování elektrickým obloukem.....   | 68         |
| 2.5.3.1  | Svařování ručně obalovanou elektrodou – Esab.....                                   | 69         |
| 2.5.3.2  | Svařování poloautomatem plněnou elektrodou s vlastní ochranou –<br>Innershield..... | 69         |
| 2.6      | Tramvajová doprava .....  | 71         |
| 2.6.1    | Bezstyková kolej na tramvajových tratích.....                                       | 71         |
| 2.6.1.1  | Kolejnice .....   | 72         |
| 2.6.1.2  | Svařování.....  | 72         |
| 2.6.1.3  | Navařování.....   | 73         |
| <b>3</b> | <b>Praktická část.....</b>  | <b>76</b>  |
| 3.1      | Cíle měření .....   | 76         |
| 3.2      | Popis přístroje Salamander.....   | 76         |
| 3.3      | Vyhodnocení dat v programu Salamander 10 .....                                      | 79         |
| 3.4      | Pilotní měření.....   | 81         |
| 3.5      | Úsek č. 1 – „Drnovská“ – Stykový odtavovací svar.....                               | 81         |
| 3.6      | Úsek č. 2 – „Dejvice“ – Aluminotermický svar.....                                   | 82         |
| 3.7      | Zpracování naměřených dat .....   | 84         |
| 3.8      | Vyhodnocení úseku č. 1 – „Drnovská“.....  | 85         |
| 3.9      | Vyhodnocení úseku č. 2 - „Dejvice“ .....  | 86         |
| <b>4</b> | <b>Závěr .....</b>  | <b>88</b>  |
| <b>5</b> | <b>Seznam použitých zdrojů .....</b>  | <b>90</b>  |
| <b>6</b> | <b>Seznam obrázků.....</b>  | <b>97</b>  |
| <b>7</b> | <b>Seznam tabulek.....</b>  | <b>100</b> |
| <b>8</b> | <b>Seznam příloh .....</b>  | <b>101</b> |



# 1 Úvod

## 1.1 Úvod

Bezстыková kolej je nejdůležitějším konstrukčním prvkem kolejového svršku, který neodmyslitelně patří k moderní železnici. Bezстыková kolej plně využívá potenciálu všech částí železničního svršku a zajišťuje tak plynulou jízdu drážních vozidel. Myšlenka průběžně svařených kolejnic je plně závislá na kvalitě provedených svarů. Jak je všeobecně známo, svar nesmí být nikdy nejslabším místem konstrukce, a i proto je nezbytně nutné, abychom pochopili výhody a nevýhody jednotlivých metod svařování kolejnic.

## 1.2 Cíle práce

Hlavním cílem rešeršní části této práce je vytvořit ucelený souhrn znalostí o zřízení bezстыkové koleje a poukázat na nejdůležitější změny v rámci novelizace předpisu SŽ S3/2 s účinností ze dne 1. března 2024. V rámci praktické části je cílem provést a vyhodnotit samostatné měření. Měření má zjistit, zda v místě svaru kolejnice nebo jeho okolí jsou patrná místa s odlišnou drsností kolejnicového pásu. Cílem měření není porovnat tato místa hned po provedení svaru a jeho přebroušení, ale zaměřit se na kolej tzv. „zajetou“, tedy po určitém období provozu.



## 2 Rešeršní část

### 2.1 Vznik bezстыkové koleje

#### 2.1.1 Úvod do bezстыkové koleje

Bezстыková kolej (dále jen BK) je kolej s průběžně svařenými kolejnicovými pásy v kolejích a výhybkách, a to v takové délce, že dochází k zamezení pohybu kolejnice a tím ke vzniku vnitřního napětí od změn teploty. Bezстыková kolej nahrazuje vývojově starší stykovanou kolej, která byla základním konstrukčním systémem od začátku železniční dopravy, respektive železničních staveb. Díky absenci mezery mezi kolejnicemi dochází u bezстыkové koleje k eliminaci dynamických rázů od průjezdu železničních vozidel, což kladně přispívá ke komfortu jízdy a sníženému množství vzniklých závad. [1; 2; 3]

Počátek vývoje této vysoce efektivní konstrukce železničního svršku sahá do dvacátých a třicátých let minulého století, ve kterých byly provedeny první experimentální pokusy a položeny základy teorie bezстыkové koleje. Rozvoj bezстыkové koleje byl v té době zpomalen nedokonalou technologií svařování a zažitou zásadou volné dilatace kolejnice v koleji, která byla považována za nezbytnou podmínku stability koleje. S přihlédnutím k vypuknutí druhé světové války došlo k rychlému vzestupu a uplatnění bezстыkové koleje až v padesátých letech minulého století. Bezстыková kolej tak odstranila neduhy stykované koleje a stala se pravděpodobně nejvýznamnější změnou v konstrukci železničního svršku. [1; 3]

#### 2.1.2 Stykovaná kolej

Stykovaná kolej je složena z kolejnicových pásů základní délky, to je 25 m pro kolejnice tvaru 60 E1, 60 E2 a 49 E1, a 20 m pro kolejnice tvaru R 65. Spojení kolejnic se provádí kolejnicovými spojkami, které se přikládají na obě strany kolejnice a jsou spojeny spojkovými šrouby. Spojka funguje jako nosník nahrazující ztrátu tuhosti kolejnicového pásu v dilatační spáře na styku mezi kolejnicemi, a zajišťuje dostatečnou únosnost a plynulost pojížděné hlavy kolejnice. Správné fungování kolejnicového styku s jeho stářím klesá. Jízdní dráha se stává nehomogenní a projevuje se poruchami v oblasti kolejnicového styku. [1; 2; 3]



Obr. 1 - Izolovaný kolejnicový styk [4]



Typickou poruchou stykované koleje je propadlý kolejnicový styk. Jedná se o výškovou deformaci kolejnicového styku způsobenou účinky provozu. Propad kolejnicových styků je měřen elektronickou měřicí latí a jeho odstranění probíhá přebroušením. [5]



Obr. 2 - Propadlý kolejnicový styk po opravě přebroušením [5]

Vlivem dynamických rázů dvojkolí při průjezdu vozidla přes dilatační spáru dochází k vhnání dodatečných podélných sil do kolejnicového pásu a k trvalým deformacím kolejového svršku i spodku. Dilatační styk negativně ovlivňuje životnost železničního dvojkolí, akustické projevy a poklidnost jízdy. Následkem těchto problémů jsou zvýšené náklady na údržbu konstrukce koleje i provozovaných drážních vozidel. [1; 2; 3]

V oblastech s výskytem jemnozrnných jílu v podloží a špatně odvodněným železničním spodkem mohou dynamické rázy přispívat k vytlačování vody s obsahem jílovitých částic na pláň tělesa železničního spodku a způsobovat tak znečištění šterkového lože. Tento jev je nazýván tzv. „blaták“ nebo blátivý styk.



Obr. 3 - Blátivý styk [Zdroj: Ing. Petr Břešťovský, Ph.D.]

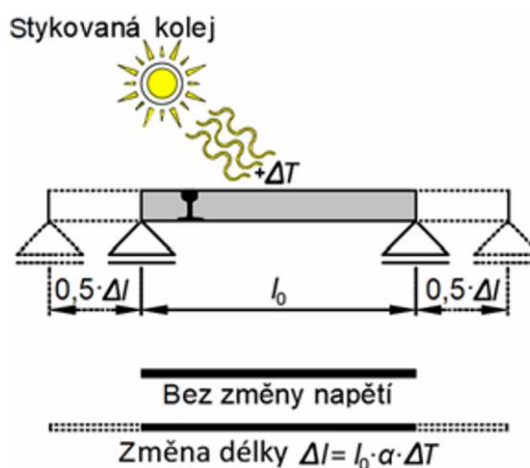


Mezi jednotlivými kolejnicemi se nachází dilatační spáry, jenž umožňují kolejnicím dilataci od teplotních změn. Šířka této spáry je při zřizování stykované koleje volena s ohledem na délku a teplotu kolejnice. Maximální šířka, které může spára v zimních měsících dosáhnout je 20 mm. Šířka dilatační spáry přesahující 20 mm není povolena, protože by měla negativní vliv na klid vozidel při jízdě a mohla by ohrozit jejich bezpečnost. [6]

Tab. 1 - Velikost dilatačních spár při zřizování stykované koleje [6]

| T°C        | Hodnoty šířky dilatačních spár (mm) s tolerancí $\pm 1$ mm |            |
|------------|--|------------|
|            | Délka 20 m   | Délka 25 m |
| -25 a méně | 16   | 20         |
| -20        | 16   | 20         |
| -15        | 15   | 18         |
| -10        | 13   | 16         |
| -5         | 11   | 14         |
| 0          | 9  | 12         |
| 5          | 8  | 10         |
| 10         | 6  | 8          |
| 15         | 5  | 7          |
| 20         | 4  | 5          |
| 25         | 2  | 3          |
| 30         | 0  | 0          |

Zřizování stykované koleje je založeno na principu volné dilatace. Tato teorie předpokládá, že teplotní roztažnost kolejnice se projeví prodloužením či zkrácením kolejnice v oblasti kolejnicových styků bez zavedení vnitřních osových sil od změny teploty. [1; 2; 3]



Obr. 4 - Vliv teplotní změny kolejnicového pásu na stykovanou kolej [7]



Změna teploty volně uložené kolejnice dle vztahu (2) se projevuje její délkovou změnou dle vztahu (1).

$$\pm \Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$\Delta t = (t - t_0) \quad (2)$$

Kde:

$\pm \Delta l$  ..... Změna délky kolejnice vlivem teploty [m]

$\alpha$  ..... Koeficient lineární teplotní roztažnosti oceli [ $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$ ]

$l_0$  ..... Délka kolejnice [m]

$\Delta t$  ..... Rozdíl teploty [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t$  ..... Aktuální teplota kolejnice [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_0$  ..... Teplota kolejnice před teplotní změnou [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Rozsah teplot, kterých kolejnice v průběhu roku nabývá, se výrazně liší s ohledem na její zeměpisnou polohu. Ve středoevropských klimatických podmínkách ČR se teplota kolejnic pohybuje od  $-30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (3). Úpravou a dosazením do vztahu (1) můžeme vypočítat maximální délku kolejnice dle vztahu (4) umožňující volnou dilataci. Je zřejmé, že výsledná délka neodpovídá hodnotě délky kolejnic, ze kterých se stykovaná kolej zřizuje. Tento rozdíl je způsoben tím, že současné typy upevnění neumožňují kolejnici zcela volnou dilataci, jako by tomu bylo například v případě kolejnic položených na kluzných podložkách. [1; 3; 8]

$$\Delta t = t_{max} - t_{min} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

$$l_{max} = \frac{d_{max}}{\alpha \cdot \Delta t} = \frac{0,020}{0,000012 \cdot 90} \cong 19 \text{ m} \quad (4)$$

Kde:

$d_{max}$  ..... Maximální přípustná šířka dilatační spáry [m]

$l_{max}$  ..... Maximální délka kolejnice umožňující volnou dilataci [m]

$\Delta t$  ..... Maximální teplotní rozdíl ve středoevropských podmínkách [ $^{\circ}\text{C}$ ]

### 2.1.3 Vývoj bezstykové koleje

Teorie volné dilatace byla opodstatněnou teorií v počátcích železniční dopravy. V době jejího vzniku byly kolejnice k pražcům upevňovány nedokonalými typy upevnění s nízkou svěrnou silou, které umožňovaly výraznější prokluz kolejnice než u modernějších typů upevnění. Užívané pražce byly ze dřeva s hmotností kolem 80 kg a byly uloženy v kolejovém loži, na jehož kvalitu nebyl kladen takový důraz jako dnes. [3; 9]





Obr. 5 - Přímé upevnění s vrtulemi na dřevěném pražci (Francie) [4]

V roce 1955 dochází v Československu k zahájení hromadné výroby betonových prefabrikovaných pražců typu PAB 2a a SB 2. Jejich hmotnost se pohybuje kolem 280 kg. [9] Spolu se zdokonalováním upevňovacího systému a nahrazováním dřevěných pražců bylo prokázáno, že změna délky kolejnice vlivem teplotních změn není přímo úměrná její počáteční délce. Podélným posunům kolejnicových pásů od teplotních změn je bráněno odpory vznikajícími v upevnění a ve styku kolejnicových pásů. Kolejové pole se stávalo tuhým kolejovým roštem, ve kterém byla stále více znemožňována volná dilatace kolejnic při teplotních změnách. [1; 2; 3]

Díky této skutečnosti spolu se zdokonalením svařecí techniky docházelo k experimentům s dlouhými kolejnicemi o délce 36 až 72 m a následnému přechodu ke zcela svařené koleji. Během svého vývoje byla bezстыková kolej užívána ve třech variantách. Všechny varianty disponovaly pevným upevněním kolejnic po celé své délce a lišily se pouze způsobem jejich ukončení. Jednalo se o: kolej s plným napětím z tepelných změn, kolej s částečně regulovaným napětím a kolej s dilatačním zařízením na koncích. [3]

Kolej s částečně regulovaným napětím byla zřizována v úsecích délky cca 800 m, na jejichž koncích byla vkládána vždy tři vyrovnávací kolejová pole, která byla tvořena kolejnicemi normální délky. Na jaře byly tyto kolejnice vyměňovány za kratší, aby v letních měsících nedocházelo k dotyku kolejnic ve styku a zavedení přídavných osových sil do kolejnic. Ve Francii byla vyvíjena bezстыková kolej ukončená dilatačním zařízením na koncích. Tento způsob umožňoval bezproblémové uskutečnění dilatačních pohybů, výměnou za složitost údržby a omezení rychlosti ve směru proti hrotu dilatačního zařízení. [3]

Krom výše uvedených ukončení byla bezстыková kolej často přerušována izolovanými styky pro kolejové obvody a výhybkami, které se ponechávaly stykované. Bezстыková kolej byla obvykle zřizována pouze v přímých úsecích a z důvodu omezení jejího silového namáhání byla prováděna pravidelná úprava napětí v kolejnicových pásech vždy před příchodem letního a zimního období. S přílivem nových poznatků a zaváděním pravidel pro zřizování bezстыkové koleje byla objevena nová technologická řešení na prvotní problémy BK. Vynález lepených izolovaných styků (dále jen LIS) umožnil elektrické ohraničení kolejových úseků a zároveň přenos napětí mezi kolejnicemi. Tato inovace společně s vevařováním výhybek přispěla k zavedení výlučně bezстыkové koleje s plným napětím od teplotních změn bez omezení její délky. [10]



Obr. 6 - Ambulantní lepený izolovaný styk tvaru UIC 60 (60 E1, 60 E2) [11]

## 2.2 Technologie bezстыkové koleje

Bezстыkovou kolej definuje v ČR předpis Správy železnic SŽ S3/2 [12]. Za bezстыkovou kolej se podle tohoto předpisu považuje kolej souvisle svařená z průběžných kolejnicových pásů v kolejích a výhybkách o minimální délce 150 m. Maximální délka bezстыkové koleje není teoreticky omezena, je však limitována výskytem překážek, ve kterých není možné bezстыkovou kolej zřizovat, a proto je ukončena klasickým kolejovým stykem. Možnými překážkami mohou být směrové oblouky malých poloměrů nebo mostní objekty.

### 2.2.1 Teorie bezстыkové koleje

Dle rozdílného projevu účinků teplotních změn v délce koleje rozdělujeme bezстыkovou kolej do tří částí. Jedná se o dvě části krajní, tzv. dýchající konce, a část střední. Vzájemně se od sebe liší možností dilatace kolejnicových pásů vlivem teplotních změn a rozdílným výskytem napětí. Plného napětí je dosahováno pouze ve střední části bezстыkové koleje za nemožnosti podélných posunů kolejnicových pásů. V dýchajících koncích je kolejnicovým pásům umožněno zkracování a prodlužování od teplotních změn. Tento rozdíl je dán



existenci podélných odporů působících proti směru pohybu kolejnicových pásů. [1] V koleji vznikají následující podélné odpory:

- odpor proti posunutí kolejnice vzniklý třením ve spojkách,
- odpor proti posunutí kolejnice v upevnění,
- odpor proti posunutí pražce v kolejovém loži. [9]

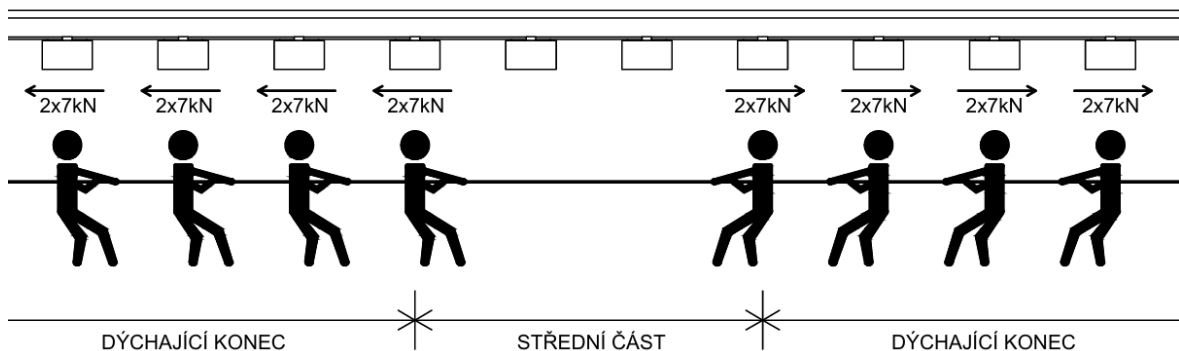
Na obou koncích bezстыkové koleje působí odpor v kolejnicových spojkách. Tato síla je dána třecím odporem mezi kolejnicí a spojkami a při uzavření dilatační spáry kontaktní silou navazujících kolejnic. Hodnota odporu je uvažována podélnou silou v rozmezí 50-200 kN. [9; 8]

Vlivem svěrné síly v upevnění vzniká mezi patou kolejnice a plochou podpory (pražce) a samotným upevňovadlem tření, které se snaží zabránit prokluzu kolejnice v upevnění. Minimální hodnota podélného odporu v jednom uzlu upevnění je 7 kN. Velikost podélného odporu v upevnění závisí na typu upevnění, dotažení upevňovadel a stavu podložky pod patou kolejnice. [9; 12]

Tab. 2 - Porovnání svěrné síly pružné svěrky Vossloh Skl 14 a pružné svěrky nové generace Vossloh M7 [13]

| Typ pružné svěrky | Vossloh Skl 14 | Vossloh M7 |
|-------------------|----------------|------------|
| Svěrná síla [kN]  | 9              | >10        |

- 30 °C

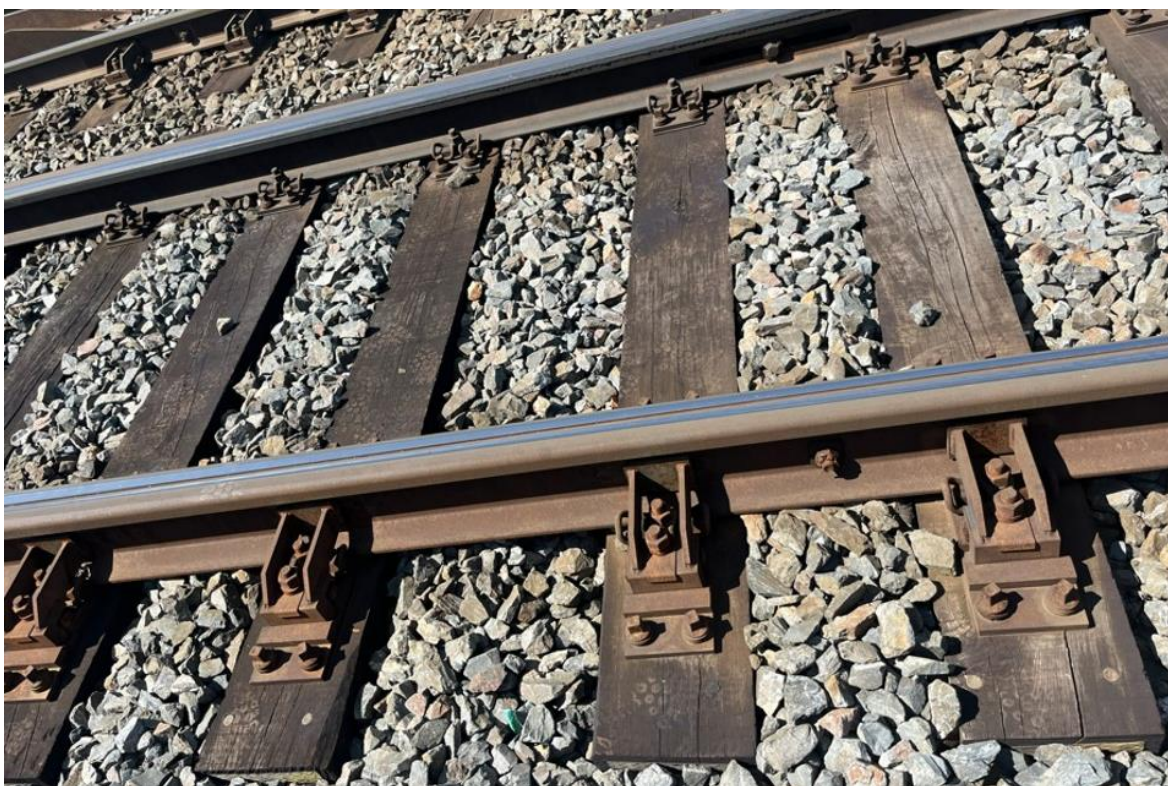


Obr. 7 - Schéma podélného odporu v upevnění [Zdroj: Autor]



V kolejovém loži vzniká odpor proti podélnému posunu kolejového roštu. Odpor je způsoben třením pražců o štěrk a hmotností štěrku v mezipražcových prostorech. Jeho velikost závisí na typu pražce (boční plochy), hmotnosti kolejového roštu a parametrech kolejového lože. Hodnota odporu nezátížené koleje proti podélnému posunutí kolejového roštu v kolejovém loži se uvažuje bez specifikace typu pražce 20 kN na 1 m, tj. 12 kN na 1 příčný pražec při rozdělení „u“. [9; 12]

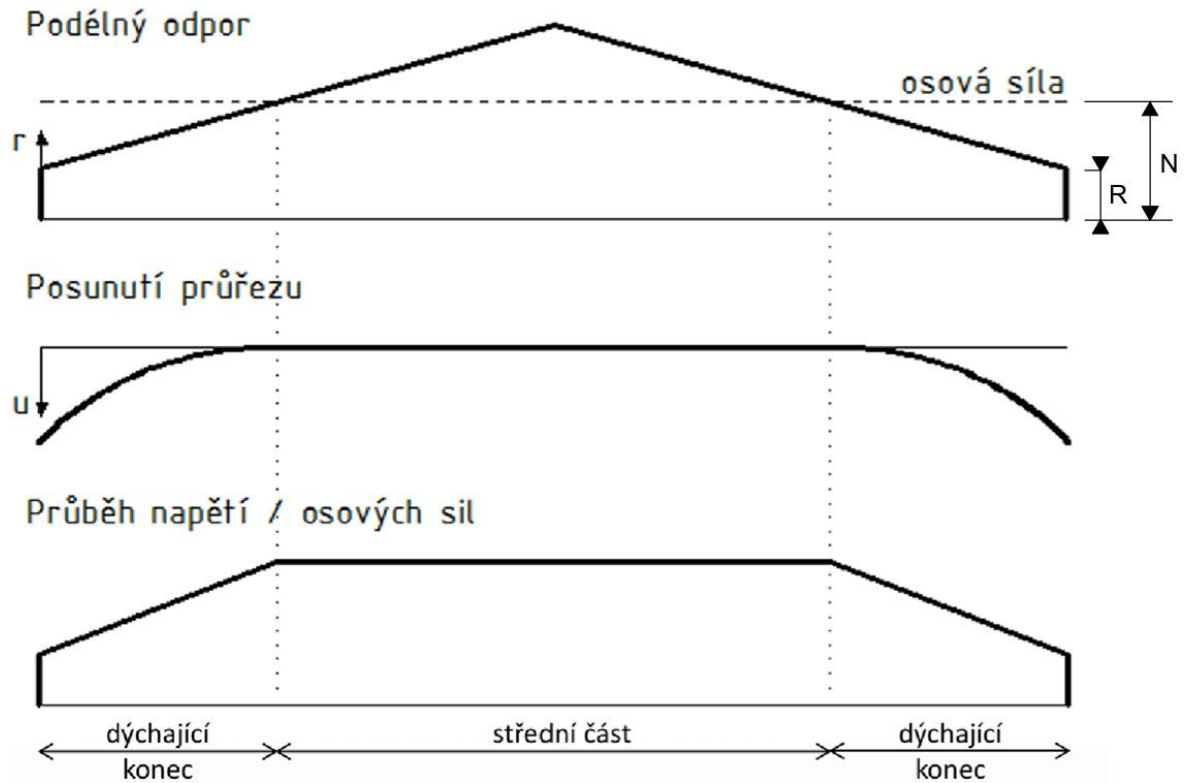
Odpor štěrkového lože proti posunu kolejového roštu v podélném směru je natolik velký, že k jeho posunu v koleji nedochází. Pražce nemají možnost pohybu v směru koleje, protože jsou z obou svých stran obemknuty zhutněným štěrkem v mezipražcovém prostoru. Mezi železničními inženýry se však hojně diskutuje o existenci tzv. „ředění kolejové lože“, která rozděluje názory odborné veřejnosti.



Obr. 8 - Ředění kolejového lože Hlubočeská estakáda [Zdroj: Ing. Magdalena Křečková]

V kolejnici působí krom sil od teplotního zatížení ještě vnější osově síly od brždění a rozjezdu vozidel. [8] Následující podkapitoly popisují působení osových sil v bezstykové koleji se zavedením následujících předpokladů:

- kolej je zatížena pouze teplotním účinkem,
- kolej se nachází v přímém úseku.

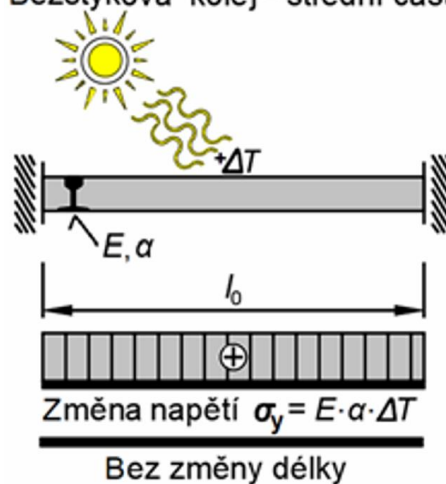


Obr. 9 - Průběhy odporů, posunů, napětí a sil v BK [14]

### 2.2.1.1 Střední část

Od konce BK směrem do jejího středu roste s přibývajícím uzly upevnění celkový podélný odpor proti posunu kolejnice až do bodu, ve kterém dochází k vyrovnání této síly se silou od účinků teploty. Oblast, ve které jsou podélné odpory větší než síla od teplotních změn, se nazývá střední část BK. Z hlediska mechaniky funguje tato část jako oboustranně vetknutý nosník zatížený teplotou bez možnosti prodloužení. Zabráníme-li kolejnici v její volné dilataci, vzniká v ní napětí a vnitřní osová síla „N“ podle Hookova zákona (5). [1; 2]

#### Bezstyková kolej - střední část



Obr. 10 - Vliv teplotní změny kolejnicového pásu na BK [7]



$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot E \quad (5)$$

Kde:

$\sigma$  ..... Napětí v kolejnici [MPa]

$E$  ..... Youngův modul pružnosti [MPa]

$\varepsilon$  ..... Relativní prodloužení kolejnice [-]

$\Delta l$  ..... Změna délky kolejnice [m]

$l_0$  ..... Délka kolejnice před teplotní změnou [m]

Dosadí-li se do rovnice (5) vztah pro prodloužení délky kolejnice (1), získá se vztah (6). Z rovnice je patrné, že napětí v kolejnici nezávisí na tvaru kolejnice.

$$\sigma = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot E = \frac{l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t}{l_0} \cdot E = \alpha \cdot \Delta t \cdot E \quad (6)$$

Kde:

$\alpha$  ..... Koeficient lineární teplotní roztažnosti oceli [ $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ]

Změna teploty o  $1^\circ\text{C}$  vyvolá změnu napětí o 2,52 MPa.

$$\sigma_{1^\circ\text{C}} = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 2,1 \cdot 10^5 = 2,52 \text{ MPa} \quad (7)$$

Úpravou vztahu (6) se získá rovnice pro výpočet vnitřní osová síly v kolejnici v závislosti na změně teploty (8).

$$N = \sigma \cdot A = \alpha \cdot E \cdot A \cdot (t - t_0) \quad (8)$$

Kde:

$N$  ..... Osová síla v kolejnici [N]

$A$  ..... Plocha průřezu kolejnice [ $\text{m}^2$ ]

$t$  ..... Aktuální teplota kolejnice [ $^\circ\text{C}$ ]

$t_0$  ..... Počáteční (upínací) teplota [ $^\circ\text{C}$ ]

Z uvedených vztahů je patrné, že napětí i osová síla v kolejnici jsou závislé na změně teploty a na materiálových charakteristikách kolejnice. Na rozdíl od napětí je však osová síla v kolejnici závislá navíc na ploše průřezu kolejnice, tedy na jejím tvaru. Při změně teploty kolejnice o  $1^\circ\text{C}$  se osová síly kolejníc 49 E1 a 60 E2 liší o 3,42 kN.

$$\Delta t = 1^\circ\text{C} \quad (9)$$

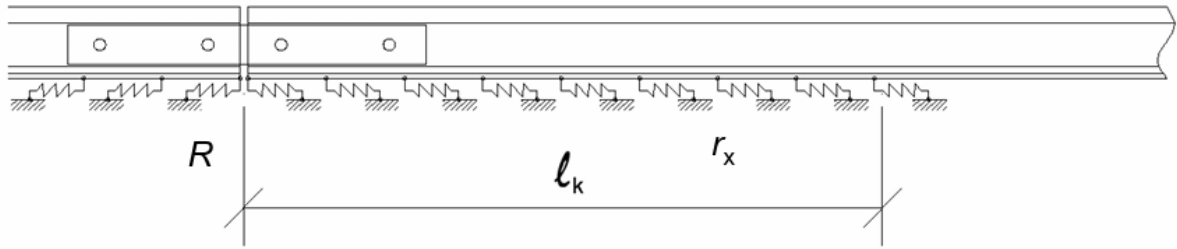
$$\sigma_{1^\circ\text{C}(49\text{E1})} = \sigma_{1^\circ\text{C}(60\text{E2})} = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 2,1 \cdot 10^5 = 2,52 \text{ MPa} \quad (10)$$

$$N_{1^\circ\text{C}(49\text{E1})} = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 62,92 \cdot 10^{-4} = 15,86 \text{ kN} \quad (11)$$

$$N_{1^\circ\text{C}(60\text{E2})} = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 76,5 \cdot 10^{-4} = 19,28 \text{ kN} \quad (12)$$



### 2.2.1.2 Dýchající konec



Obr. 11 - Odpory v dýchajícím konci BK [15]

V dýchajícím konci kolejnice překonává osová síla od teplotních změn podélné odpory, které zabraňují posunu kolejnice. Tím je umožněn omezený pohyb kolejnice v této oblasti, který se projevuje změnou šířky dilatační spáry v koncovém styku. Délka dýchajícího konce je závislá na technickém stavu železničního svršku (spojky, upevnění) a teplotním rozdílu mezi upínací teplotou a okamžitou teplotou konstrukce. [1; 2] Dle předpisu [12] je délka dýchajících konců uvažována 75 m. Jedná se o maximální délku, které mohou dýchající konce za extrémních teplotních podmínek dosahovat. Minimální délka bezстыkové koleje je dvojnásobek délky dýchajícího konce, tedy 150 m. Střední část je pak nulová.

Předpokládáme-li odpor proti posunutí v upevnění konstantní, délka dýchajícího konce se zjistí z následujících vztahů.

$$N \geq R + r_x \cdot x \quad (13)$$

$$L_k = x = \frac{N-R}{r_x} \quad (14)$$

$$L_k = \frac{\alpha \cdot E \cdot A \cdot (t-t_0) - R}{r_x} \quad (15)$$

$$L_k = d \cdot \frac{\alpha \cdot E \cdot A \cdot (t-t_0) - R}{R_p} \quad (16)$$

Kde:

$N$  .....Síla potřebná k překonání podélných odporů [N]

$R$  .....Podélný odpor ve spojkách [N]

$r_x$  .....Podélný odpor v uzlech upevnění [N/m]

$L_k$  .....Délka dýchajícího konce [m]

$x$  .....Vzdálenost od kraje kolejnice [m]

$d$  .....Osová vzdálenost pražců [m]

$R_p$  .....Podélný odpor v uzlech upevnění [N/jedno upevnění]

Například pro kolejnici tvaru 60 E2 a rozdělení pražců „u“ (600 mm) vychází teoretická délka dýchajícího konce 57,215 m.

$$L_{k(60E2)} = 0,6 \cdot \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 76,5 \cdot 10^{-4} \cdot 45 - 200}{7} = 57,215 \text{ m} \quad (17)$$



## 2.2.2 Rozložení osových sil po délce BK

Skutečný průběh napětí však zcela nekopíruje teoretický průběh napětí na obr. 9, neboť je kolej vystavena proměnnému teplotnímu zatížení. Její části jsou odlišně osluněny, zastíněny mraky či okolím. Kolej prochází prostředím s lokálními změnami klimatu a inženýrskými stavbami (tunely, mosty). Velikost podélných odporů není po délce koleje konstantní. Je závislá na použité konstrukci železničního svršku, jeho stavu, vložených konstrukcích železničních přejezdů a konstrukci železničního svršku na mostních konstrukcích. Uvedené vlivy mohou vést ke koncentraci napětí v určitých částech bezстыkové koleje. [8]

## 2.2.3 Upínací teplota

Kolejnicové pásy BK se smějí bez dodatečných úprav napětí svařovat a upínat při tzv. upínací teplotě (dále jen UT). Jedná se o teplotu kolejnice nebo teplotu, která odpovídá uměle vyvolanému prodloužení délky kolejnicových pásů napínáním nebo ohřevem. Dovolená upínací teplota (dále jen DUT) je rozsah upínacích teplot stanovený předpisem SŽ S3/2. [12]

Aktuální předpis SŽ S3/2 [12] s účinností od 1. března 2024 udává rozsah DUT v běžné koleji od +17 °C do +28 °C, s tím, že správce trati může požadovat zřízení BK s DUT od +21 °C do +28 °C. Před vydáním aktuální novely předpisu [12] byla DUT od +17 °C do +23 °C.

Velikost osových sil v kolejnici je přímo úměrná teplotnímu přírůstku či úbytku od upínací teploty. Upínací teplota je na počátku životnosti bezстыkové koleje považována za teplotu neutrální, tj. teplotu při níž v bezстыkové koleji nevznikají osově síly vyvolané teplotními změnami. Vlivem údržby, odstraňování závad, špatného stavu upevnění a následným putováním kolejnic se neutrální teplota po dobu životnosti bezстыkové koleje může měnit. [8]

Teplota kolejnice se v průběhu roku výrazně mění a její rozsah se odvíjí od klimatických podmínek v místě zřizované koleje. Na území ČR uvažujeme předpokládaný teplotní rozdíl kolejnice -30 °C až +60 °C. Střední hodnotě tohoto rozsahu odpovídá teplota +15 °C. [1]

Dlouhodobě zažitá DUT byla +17 °C až +23 °C se střední hodnotou +20 °C. Bude-li se uvažovat upínací teplota +20 °C, znamená to, že při maximálním předpokládaném ochlazení kolejnice vychází teplotní rozdíl 50 °C a při maximálním předpokládaném oteplení kolejnice teplotní rozdíl 40 °C. Těmto rozdílům v zimě odpovídá tahové napětí v kolejnici o velikosti 125 MPa a v létě tlakové napětí v kolejnici o velikosti 100 MPa. Z rozsahu DUT i z dosažitelných hodnot napětí v kolejnici je patrné, že se upřednostňují pro zřizování BK teploty nad střední hodnotou teplotního rozsahu v ČR.

Důvodem tohoto řešení jsou možné následky plynoucí z dosažení hraničních teplot v kolejnici. V zimě mohou v kolejnici vznikat extrémní tahová napětí, která v kombinaci se zatížením od dopravy a reziduálním napětím v kolejnici mohou způsobit vyčerpání tahové pevnosti kolejnicové oceli a způsobit lom kolejnice. V letních měsících naopak v kolejnici





vzniká napětí tlakové, které může vést k vybočení koleje. Vybočení koleje je z hlediska rizika mnohem nebezpečnější než vznik lomu kolejnice, neboť může vést k vykolejení vlakové soupravy. Z toho důvodu, přihlédně-li se k vývoji teplot v ČR, se DUT v novele předpisu [12] navýšila o 5 °C.



Obr. 12 - Lom kolejnice Rosice nad Labem 17. listopadu 2011 [16]

Lomy kolejnic jsou navíc v koleji s kolejovými obvody na dálku identifikovatelné a lze je provizorně stabilizovat pomocí spojek a krátkodobě užívat se snížením rychlosti vozidel. V případě, že dojde k vylomení části hlavy kolejnice a přerušení jízdní dráhy, musí být kolej vyloučena z provozu a porušená část kolejnice vyměněna. [1; 17]



Obr. 13 – Vylomení částí hlavy kolejnice Rosice nad Labem 17. listopadu 2011 [18]

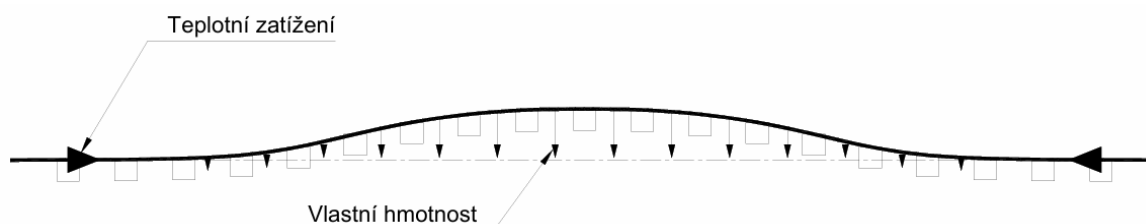
## 2.2.4 Stabilita bezстыkové koleje

Jak je uvedeno v předešlé kapitole, stabilita bezстыkové koleje souvisí s namáháním vzpěrným tlakem. Odolnost koleje proti vybočení je dána rámovou tuhostí kolejového roštu a odporem pražců v kolejovém loži. V závislosti na druhu zatížení můžeme vybočení koleje identifikovat jako statické či dynamické. Statické vybočení koleje vzniká pouze působením teplotního zatížení, kdežto dynamické kombinací účinků teploty a dopravy. Z hlediska schopnosti předcházet těmto typům vybočení koleje je snazší odolávat osamocenému zatížení od teploty. [8]



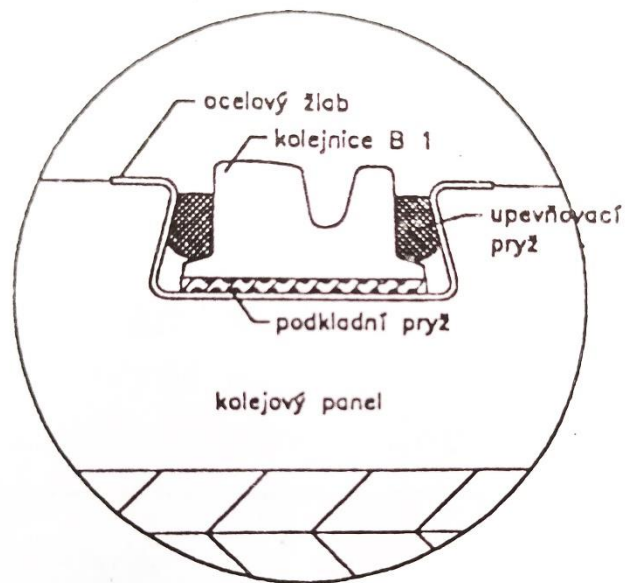
Obr. 14 - Vybočení kolejového roštu ve vodorovné rovině [19]

K vybočení kolejí může dojít jak horizontálně, tak vertikálně. Přesto se u tratí s konvenční konstrukcí častěji setkáváme s vybočením v horizontální rovině. Důvodem je, že ve vertikálním směru proti vybočení působí hmotnost kolejového roštu a ohybová tuhost kolejnicových pásů, která je ve svislém směru až šestkrát větší než v horizontálním směru. [8]



Obr. 15 - Vybočení kolejového roštu ve svislé rovině [8]

Typickou konstrukcí, u které se lze setkat s vybočením kolejnice ve svislém směru, je BKV panel s blokovou kolejnicí B1. Jedná se o typ tramvajového svršku vyvinutý v sedmdesátých letech minulého století v Maďarsku, který byl hojně využíván i na tuzemských tramvajových tratích. Prefabrikované železobetonové panely jsou vybaveny ocelovým žlabem, do kterého se na podkladní pryžové pásy ukládá bloková kolejnice B1. Kolejnice je ve žlábků držena pouze pomocí pryžových eliptických profilů umístěvaných strojní zatlačovačkou. [20; 21]



Obr. 16 - Uložení kolejnice B1 v panelu BKV [20]

Na rozdíl od konvenční konstrukce železničního svršku není bloková kolejnice v BKV panelu kotvena k podporám pomocí mechanických upevňovadel. Odpor kolejnice proti svislému vybočení závisí pouze na tvarovém provedení žlabu, trvanlivosti pryžových profilů a v neposlední řadě na ohybové tuhosti kolejnice ve svislém směru, která je v případě blokové kolejnice menší než u širokopatní.

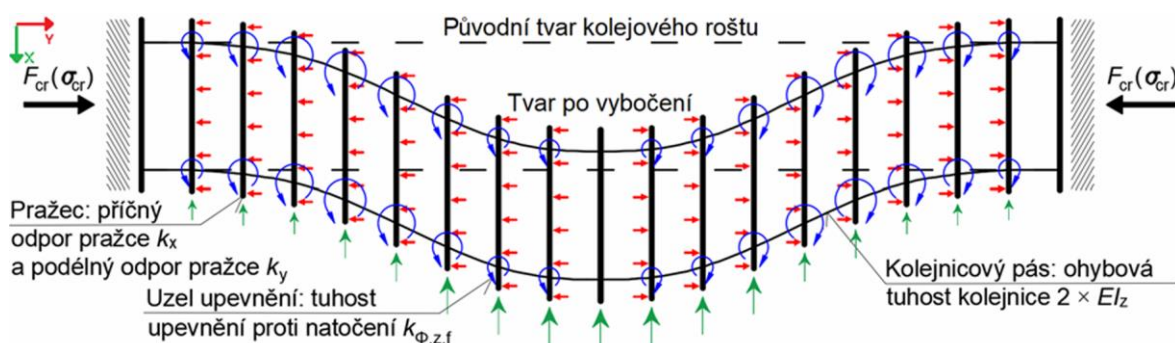
Tab. 3 - Typy kolejnic a jejich parametry [22]

|   | R 65   | 60 E1  | 60 E2 | 49 E1 | NT 1   | NT 3   | B1    | B3    |
|---|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Plocha průřezu A [cm <sup>2</sup> ]                   | 82,64  | 76,7   | 76,5  | 62,92 | 82,89  | 77,23  | 76,72 | 67,95 |
| Hmotnost [kg/m]                                       | 64,87  | 60,21  | 60,05 | 49,39 | 65,07  | 60,63  | 60,23 | 53,34 |
| Moment setrvačnosti I <sub>x</sub> [cm <sup>4</sup> ] | 3543,1 | 3038,3 | 3022  | 1816  | 3598,7 | 3278,7 | 318,7 | 260,7 |



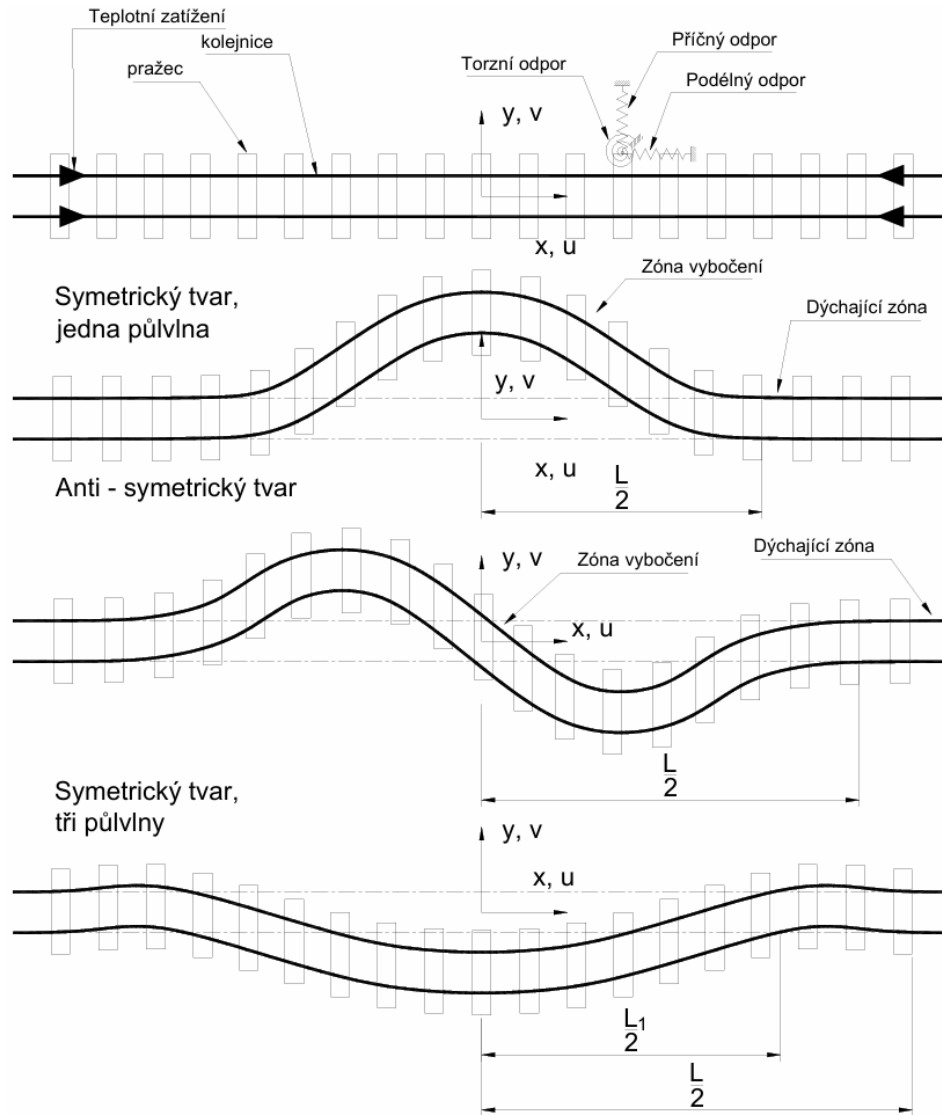
Obr. 17 - Teplem vzduť kolejnice B1 ve velkoplošném panelu BKV na Plzeňské ulici, u zastávky Anděl dne 21. června 2000 [23]

K horizontálnímu vybočení kolejnice v BKV panelu nedochází, protože má v tomto směru větší moment setrvačnosti a je dostatečně vodorovně ukotvena v ocelovém žlabu. Na tratích s konvenční konstrukcí železničního svršku působí proti vybočení ve vodorovné rovině rámová tuhost kolejového roštu a interakce pražce se štěrkem v kolejovém loži. Rámová tuhost koleje zahrnuje tuhost v uzlu upevnění a ohybovou tuhost kolejnicového pásu ve vodorovném směru.



Obr. 18 - Odpor působící proti vodorovnému vybočení kolejového roštu při ztrátě stability BK [7]

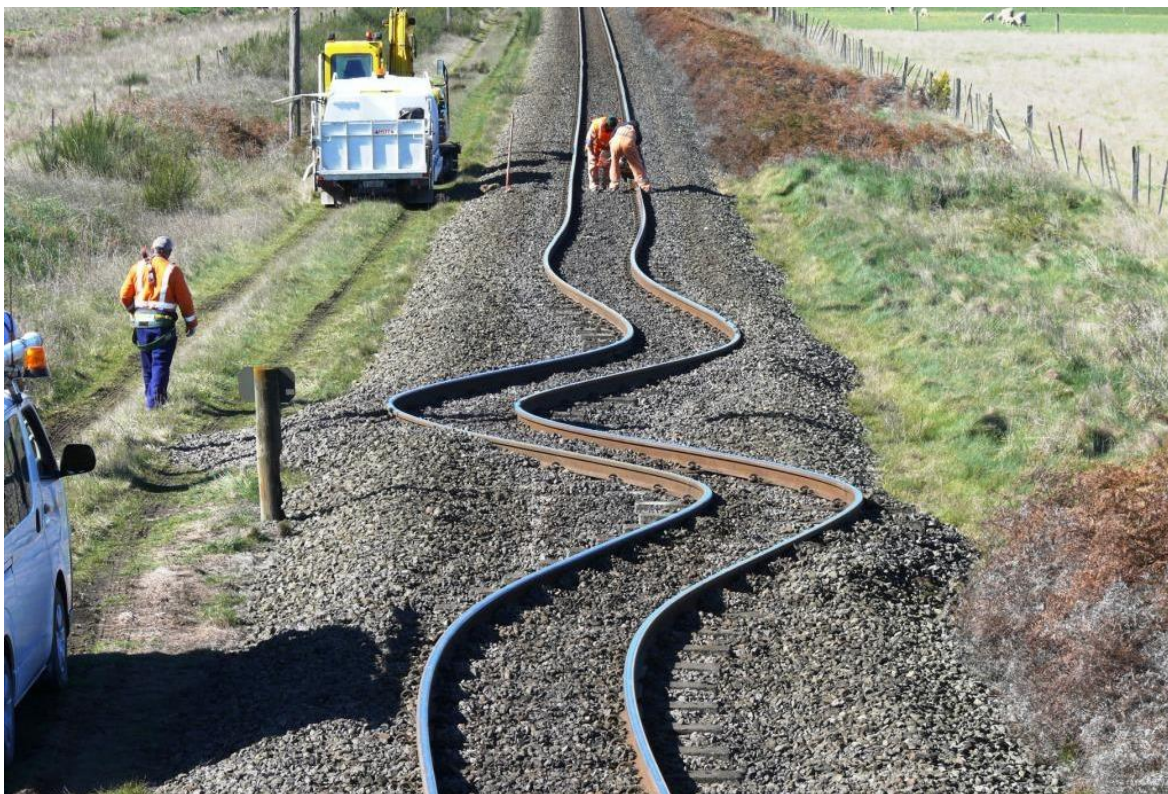
Vybočení koleje má zpravidla tvar sinusových vln. Boční výchylky mohou dosahovat zhruba 0,5–0,75 m. Vlnová délka poruchy se pohybuje v rozmezí 8–20 m. Vlny mohou být symetrické nebo antisymetrické vzhledem ke středu deformace. Oblast postižená vybočením je charakterizována poklesem osových sil. Navazující části se chovají jako dýchající konce. Vodorovná vybočení mohou nabývat tvarů znázorněných na obr. 19. [8; 24]



Obr. 19 - Tvary vybočení BK ve vodorovné rovině [8]

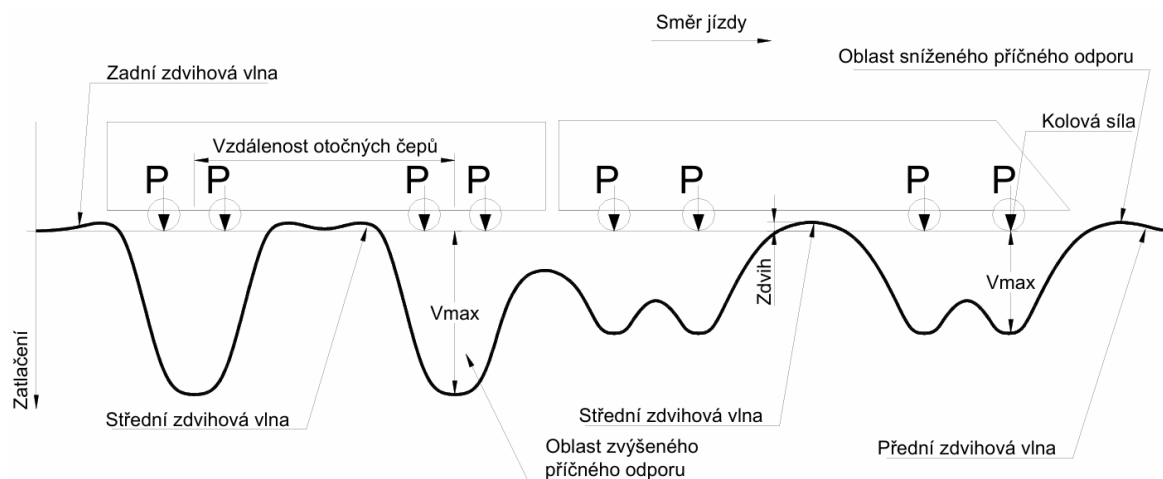


Obr. 20 - Vybočení kolejového roštu ve vodorovné rovině na bývalém vlakovém nádraží Gütersloh Ost [25]



Obr. 21 - Vybočení kolejového roštu ve vodorovné rovině vlivem zemětřesení v Canterbury na Novém Zélandu 4. září 2010 [26]

Vybočení bezстыkové koleje probíhá zpravidla v obecné rovině. Nadzvednutím kolejového roštu ve svislém směru dochází k nulovému tření na ložné ploše pražce a může tak dojít k jednoduššímu vybočení ve vodorovném směru. Velký vliv na zdvihání kolejového roštu má průjezd vlakové soupravy. Při průjezdu vlaků dochází ke vzniku zdvihových vln v oblasti před soupravou, za soupravou a mezi podvozky kolejových vozidel. [8]

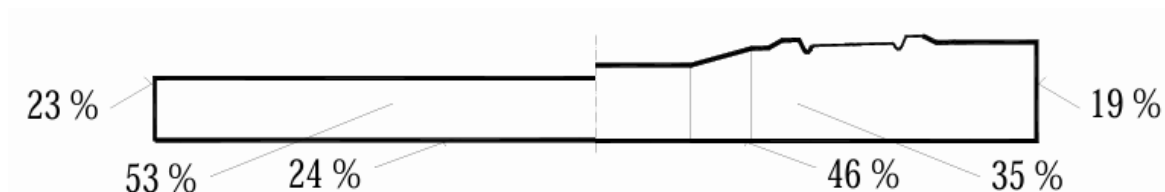


Obr. 22 - Průběh svislé deformace kolejnice při průjezdu kolejového vozidla [8]



### 2.2.5 Příčný odpor v kolejovém loži

Příčný odpor pražce v kolejovém loži vzniká třením jeho kontaktních ploch o šterk a množstvím šterku za hlavami pražců. Z tohoto důvodu závisí velikost příčného odporu na typu použitého pražce, hmotnosti kolejového roštu a parametrech kolejového lože. Krom zmiňovaných vlivů má na příčný odpor dopad také ulehlost šterkového lože. Šterk rozvolněný podbíjením má na rozdíl od šterku konsolidovaného sníženou účinnost příčného odporu. [1]



Obr. 23 - Účinnost tření na plochách pražce a) dřevěný pražec; b) betonový pražec [1]

Předpis SŽ S3/2 [12] udává velikost příčného odporu pro betonový pražec o hmotnosti 280 kg a vyšší 15 kN na 1 m koleje, tj. 9 kN na pražec. Zvýšením příčného odporu lze provést nadvýšením šterkového lože nebo osazením pražcových kotev. Použitím pražcových kotev dojde k navýšení příčného odporu minimálně o 7 kN. [12]

### 2.2.6 Rámová tuhost koleje

Hodnota ohybové tuhosti kolejnicových pásů je dána součinem modulu pružnosti oceli a momentu setrvačnosti kolejnice k ose, která je kolmá k uvažované rovině. Velikost tuhosti koleje v horizontální rovině závisí ještě na typu použitých upevňovadel. Upevňovadla zajišťují pevné spojení obou kolejnicových pásů a vytvářejí tak rámovou konstrukci. V upevňovadle vzniká odpor proti pootočení kolejnice v upevnění a jeho hodnota je dána velikostí momentu nutného k pootočení kolejnice vůči pražci o  $1^\circ$ . Velikost tohoto momentu lze zvýšit změnou geometrií pružných svěrek, příkladem může být nová generace pružných svěrek řady M od výrobce Vossloh. [1; 27]



Obr. 24 - Pružná svěrka M7 – alternativa k pružné svěrce Skl 14 [27]



Obr. 25 - Pružná svěrka Skl 14 [28]

## 2.3 SŽ S3/2 – Bezstyková kolej

Bezstyková kolej se v České republice musí zřizovat a udržovat v souladu s předpisem Správy železnic SŽ S3/2 – Bezstyková kolej [12]. Jedná se o soubor organizačních, technických a technologických podmínek, které byly vypracovány na základě teoretických předpokladů a praktických zkušeností. Dodržování těchto pravidel je předpokladem pro zajištění bezpečnosti a stability bezstykové koleje. [1]

Od 1. března 2024 je v účinnosti nové znění tohoto předpisu [12] nahrazující předchozí verzi předpisu účinnou od 1. září 2013 [29]. Hlavní změnou je, že novela umožňuje častější zřizování bezstykové koleje. Klade si za cíl úpravu pravidel pro snížení počtu výjimek a srozumitelnější výklad předpisu. [30] V rámci následujících kapitol, ve kterých budou popsány podmínky a způsoby zřizování bezstykové koleje, bude poukázáno na některé důležité změny přicházející s novým předpisem.

### 2.3.1 Hlavní podmínky pro zřizování bezstykové koleje

#### 2.3.1.1 Kolejnice

Bezstyková kolej se standardně zřizuje z nových kolejnic tvaru 60 E2, 49 E1 a R 65. Předpis [12] nadále umožňuje zřizovat bezstykovou kolej z kolejnic tvaru T a 60 E1. Z hlediska stavu kolejnic lze využít kolejnice nové, regenerované nebo užitě. Kolejnice nové a regenerované nesmí obsahovat otvory pro spojkové šrouby. Pro zřizování bezstykové koleje z užitých kolejnic mohou být použity děrované kolejnice, musí být však dodržena minimální osová vzdálenost krajního otvoru od čela kolejnice 100 mm. V zájmu bezpečnosti bezstykové koleje jsou užitě kolejnice před svařením podrobeny v celé své délce defektoskopické kontrole, aby bylo možné vyloučit výskyt skrytých vad. [12]

Kolejnice tvaru R 65 je dnes využívána pouze pro potřeby oprav na některých silně zatížených tratích. Jedná se například o úsek Ústí nad Labem – Kolín, který byl hojně využíván těžkou nákladní dopravou pro potřeby energetiky a průmyslu. Kolejnice tvaru T se dnes již vůbec nevyužívá. V sedmdesátých letech minulého století byla nahrazena kolejnicí tvaru S 49 (dnes ozn. 49 E1) a její použití je ukotveno v předpisech především kvůli vzájemným podobnostem. [1]





### 2.3.1.2 Upevňovadla

Způsob upevnění kolejnic k pražcům a bezchybný chod upevňovacích prvků hraje klíčovou roli v tuhosti kolejového roštu a rozchodu koleje. [3] Kolejnice BK mohou být upevňovány pomocí bezpodkladnicového upevnění nebo upevnění s žebrovými či rozponovými podkladnicemi. Spolu s žebrovými podkladnicemi je zakázáno používání pevných svěrek ŽS3, u kterých vlivem opotřebení docházelo k poklesu přítláčné síly. Z toho důvodu jsou v kolejích železničních drah ČR nahrazovány pevnými svěrkami ŽS4. Dalším omezením je zákaz upevnění kolejnice tvaru R 65 do podkladnicového upevnění s rozponovou podkladnicí. Význam této restriktce je však zanedbatelný s přihlédnutím k využívání nových kolejnic tvaru R 65 pouze na opravné práce, na které se toto stanovisko nevztahuje. [10; 12]

Nové, rekonstruované a modernizované úseky BK využívají sestavy železničního svršku dle SŽ S3 díl VII [31]. Z důvodu zkrácení doby výstavby tratí a snížení nákladů na jejich údržbu dochází k využívání co nejjednodušších typů upevnění, které lze předmontovat již ve výrobně pražců. [1] V hlavních kolejích se zpravidla využívá pružné bezpodkladnicové upevnění na betonových pražcích. Kolejnice je k podpoře upevněna pomocí pružných svěrek nebo spon. Hlavními výhodami těchto upevňovadel jsou jejich stálá držebnost a zaručení podélného odporu proti posunu kolejnice i při vibracích od projíždějících vozidel. Významným benefitem pružných upevňovadel je snížení vibrací přenášených do pražců a kolejového lože. Hlavními výrobci těchto upevnění jsou německá firma Vossloh a anglická firma Pandrol. [10]



Obr. 27 – Bezpodkladnicové upevnění kolejnice 49 E1 na betonových pražcích B03-DP01 s pružnou svěrkou Vossloh Skl 14 [Zdroj: Autor]



Obr. 26 – Jednotlivé součásti upevnění [Zdroj: Autor]



### 2.3.1.3 Pražce a jejich rozdělení

V ČR je nejvíce rozšířená konvenční konstrukce železničního svršku, jejíž podpory tvoří příčné pražce. Úlohou pražců je roznos zatížení od pohyblivých se vozidel do kolejového lože a zaručení stability koleje. Bezстыkovou kolej je možné zřizovat na příčných pražcích standardních materiálů nebo na ocelových pražcích tvaru Y. Vzdálenost mezi pražci je dána rozdělením, které se pro příčné pražce označuje malými písmeny „b“, „c“, „d“, „e“ a „u“, pro ocelové pražce tvaru Y malými písmeny „k“ a „l“. [1]

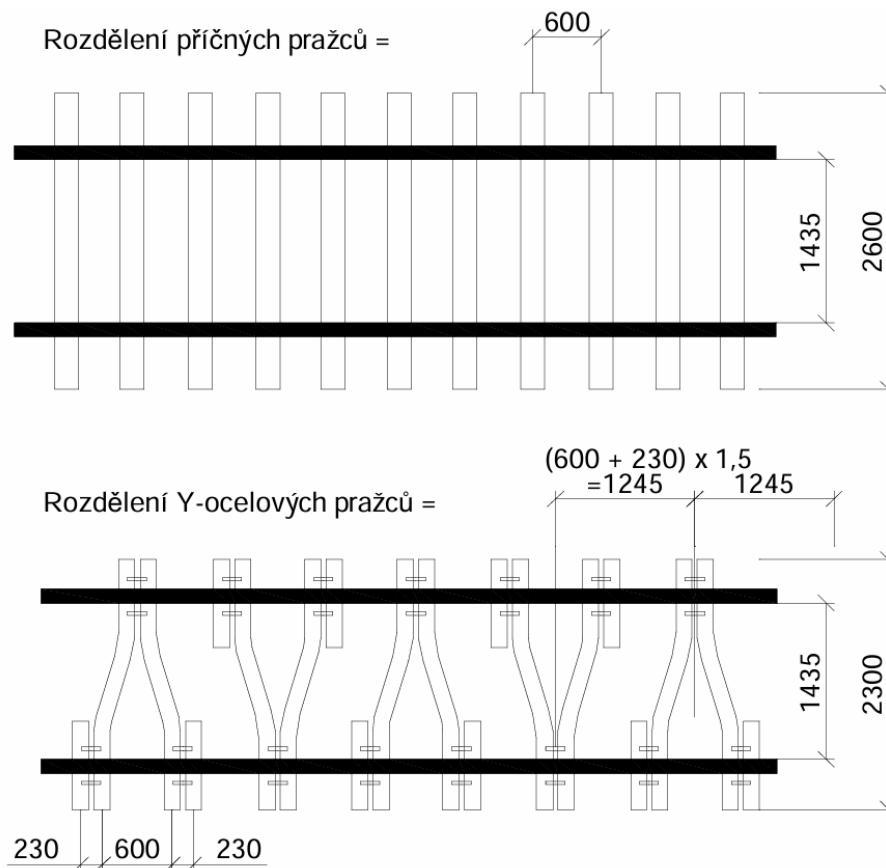
V případě kolejí 1. až 5. řádu se BK s dřevěnými pražci zřizuje s rozdělením alespoň „d“ (610 mm) a pražci betonovými s rozdělením alespoň „c“ (675 mm). V kolejích 6. řádu se BK zřizuje s dřevěnými i betonovými pražci s rozdělením „c“ (675 mm) a hustším. [12]

BK s ocelovými pražci tvaru Y se zřizuje s rozdělením „l“ (se vzdáleností os míst podepření kolejnic 600 mm / 230 mm) nebo „k“ (se vzdáleností os míst podepření kolejnic 650 mm / 230 mm). [12]

Ocelové pražce tvaru Y se mohou používat pouze v kolejích 5. a 6. řádu s rychlostí do 80 km/h. Střídáním polohy pražců o 180° vzniká příhradová konstrukce, která zajišťuje velkou příčnou tuhost roštu. Účinky příčných sil jsou zachyceny štěrkem uzavřeným v pražcovém klínu a ztužidly na spodní straně pražce. Použití ocelových pražců tvaru Y je určeno do směrových oblouků malých poloměru nebo v kolejích s redukováným kolejovým ložem. [1; 32]

Tab. 4 - Vybraná rozdělení příčných pražců

| Typ rozdělení                | „c“ | „d“ | „u“ | „e“ |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Osová vzdálenost pražců [mm] | 675 | 611 | 600 | 544 |



Obr. 28 - Rozdělení pražců v BK [32]

Předpis [12] nově udává:

*„Přechod z roštu s ocelovými pražci Y na příčné pražce nesmí být proveden v oblouku  $R \leq 300$  m, přechodnicích a ve vzestupnicích.“*

*„Na pevné jízdní dráze lze bezстыkovou kolej zřídit vždy, bez ohledu na rozdělení pražců.“ [12]*

V zahraničí (Německo, Japonsko) se běžně na velmi zatížených tratích využívá konstrukce pevné jízdní dráhy. V ČR se s konstrukcí pevné jízdní dráhy lze setkat především na tramvajových tratích (W-TRAM). Existují tři základní typy pevné jízdní dráhy: se zabetonovanými pražci, bez pražců – na desce, s kontinuálně podepřenou kolejnicí. V porovnání s konstrukcí se štěrkovým ložem nehrozí vybočení BK, a proto rozdělení pražců z tohoto důvodu není podstatné. [9]

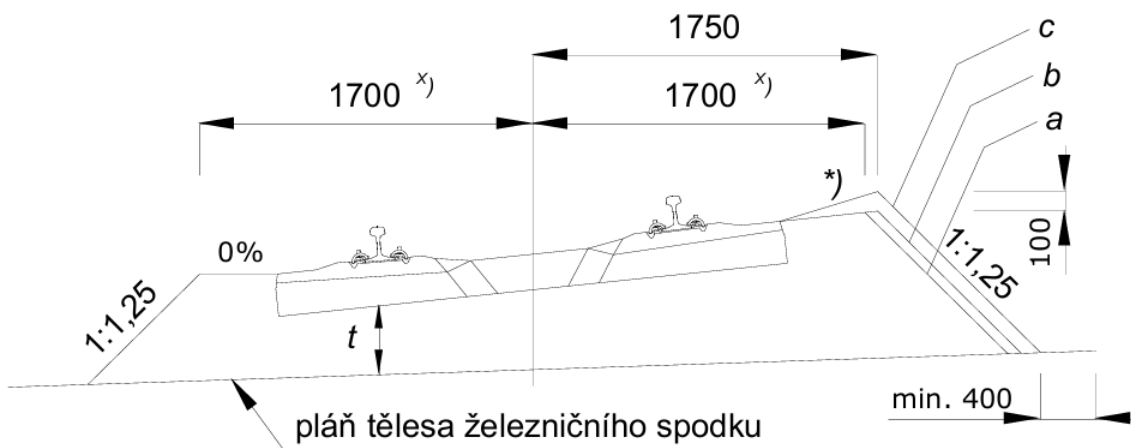
#### 2.3.1.4 Kolejové lože

Kolejové lože tvoří základ konstrukce železničního svršku. Jeho úkolem je roznášet zatížení z kolejnicových podpor do pražcového podloží, tlumit dynamické účinky železničního provozu, zajistit odpor proti posunu pražců v podélném i příčném směru, zabezpečit odvod srážkové vody z koleje a umožnit směrovou a výškovou úpravu koleje. [9]

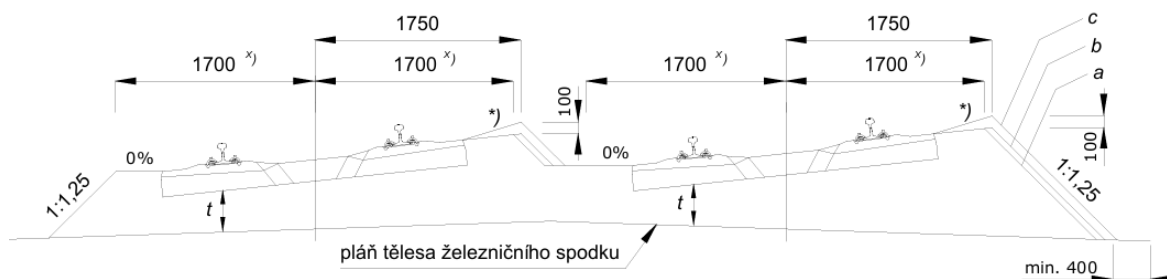


Tvar kolejového lože v kolejích s převýšením je uveden na obr. 29 a obr. 30. Za účelem zvětšení příčného odporu kolejového roštu ve štěrkovém loži v úsecích BK s převýšením se může na vnější straně oblouku provádět rozšíření a nadvýšení štěrkového lože. Profily kolejového lože „a“, „b“, „c“ se zřizují dle tabulek uvedených v kapitole 2.3.1.5 v závislosti na poloměru směrového oblouku. Při úpravách profilů kolejového lože musí být dodržena minimální šířka stezky 400 mm. Rozšíření a nadvýšení kolejového lože se neprovádí v kolejích s ocelovými pražci tvaru Y a v kolejích s příčnými pražci v zapuštěném kolejovém loži (stanice). [12]

Šířka kolejového lože s příčnými pražci v úrovni úložné plochy pražce je 3,4 m, s ocelovými pražci tvaru Y 2,6 m. [12] Nejmenší tloušťka kolejového lože „t“ od ložné plochy pražce po pláň tělesa železničního spodku (měřeno v místě pod vnitřním kolejnicovým pásem) je dána v předpisu SŽDC S3 Železniční svršek Díl X Kolejové lože a jeho uspořádání [33]. U celostátní dráhy a regionálních drah v traťových a staničních hlavních a předjízdových kolejích je tato tloušťka s betonovými pražci 350 mm a s dřevěnými pražci 300 mm.



Obr. 29 - Rozměry otevřeného kolejového lože pro jednokolejnou trať s převýšením koleje v úsecích s BK [12]



Obr. 30 - Rozměry otevřeného kolejového lože pro dvoukolejnou a vícekolejnou trať s převýšením koleje v úsecích s BK [12]



### 2.3.1.5 Směrové poměry

Kritickými oblastmi bezstykové koleje pro ztrátu stability jsou směrové oblouky malých poloměrů. Z tohoto důvodu jsou v předpisu [12] uvedeny hodnoty směrových poloměrů omezující možnosti navrhování BK. V rámci této kapitoly předpisu [12] bylo nově provedeno několik změn umožňujících zřizování BK ve směrových obloucích menších poloměrů, než tomu bylo doposud. Nově se v těchto směrových obloucích také připouští ukončení BK. Odůvodněnými případy jsou ukončení BK zarážedlem, ukončení před a za mostem z důvodů dilatační délky, stavu nebo dispozičního uspořádání mostní konstrukce. [12] K těmto změnám došlo na základě praktických zkušeností.

Tabulka nejmenších povolených poloměrů pro zřizování BK pro příčné pražce z předpisu [29] byla v novele předpisu [12] rozdělena do pěti dílčích tabulek s ohledem na materiál pražce, hmotnost pražce, provedení kolejového lože a hodnotu převýšení.

Tab. 5 - Směrové poměry zřizování BK dle [29]

| Pražce  | Kolejnice  | Nejmenší dovolený poloměr oblouku $R$ [m] pro kolej : |  |                                   |                                |                     |        |
|---------|------------|---|--|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------|--------|
|         |            | s profilem kol.lože podle Obr. 1a                     | s profilem kol.lože podle Obr. 1b  | s profilem kol.lože podle Obr. 1c |                                |                     |        |
|         |            |   |  | bez pražc. kotev                  | s pražcovými kotvami na každém |                     |        |
|         |            |   |  |                                   | 3.pražci                       | 2.pražci            | pražci |
| 1       | 2          | 3   | 4  | 5                                 | 6                              | 7                   | 8      |
| Dřev.   | S49, T     | 600   | 500  | 400                               | 330                            | 290                 | 230    |
|         | UIC60, R65 |   | 550  | 500                               | 400                            | 360                 | 280    |
| Beton.  | S49, T     | 500   | 420*   | 280*                              | 230*                           | 210* <sup>2)</sup>  | 170*   |
|         |            |   | 450**  | 320**                             | 260**                          | 240** <sup>2)</sup> | 190**  |
|         | UIC60 R65  | 550*  | 480*   | 320*                              | 260*                           | 240*                | 200*   |
|         |            | 600**   | 520**  | 360**                             | 300**                          | 270**               | 230**  |
| Ocel. Y | S49        | 170 <sup>1)</sup>                                     | pražcové kotvy se nepoužívají, rozšíření a nadvýšení kol.lože se neprovádí |                                   |                                |                     |        |

Pozn. : \* při rozdělení pražců „d“ a hustším

\*\* při rozdělení pražců „c“

1) poloměr  $150\text{ m} \leq R < 170\text{ m}$  pouze se souhlasem OTH

2) v menším poloměru směrového oblouku musí mít vrcholové zakružovací oblouky lomu sklonu poloměr nejméně 3000 m



Tab. 6 - Směrové poměry pro zřizování BK v otevřeném kolejovém loži nebo zapuštěném kolejovém loži s převýšením koleje s betonovými pražci typové délky 2,6 m a zároveň s typovou hmotností  $m \geq 280$  kg s profilem kolejového lože podle obr. 29 a obr. 30 [12]

| Pražce   | Kolejnice   | Nejmenší dovolený poloměr oblouku $R$ [m] pro kolej: |                              |                           |                                |                   |                   |
|----------|-------------|--|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|
|          |             | profil kol. lože<br><b>a</b>                         | profil kol. lože<br><b>b</b> | profil kol. lože <b>c</b> |                                |                   |                   |
|          |             |  |                              | bez pražc.<br>kotev       | s pražcovými kotvami na každém |                   |                   |
|          |             |  |                              |                           | 3.pražci                       | 2.pražci          | pražci            |
| 1        | 2           | 3  | 4                            | 5                         | 6                              | 7                 | 8                 |
| Betonové | 49E1<br>T   | 410 <sup>d)</sup>                                    | 360 <sup>d)</sup>            | 240 <sup>d)</sup>         | 210 <sup>d)</sup>              | 190 <sup>d)</sup> | 160 <sup>d)</sup> |
|          |             | 450 <sup>c)</sup>                                    | 400 <sup>c)</sup>            | 280 <sup>c)</sup>         | 240 <sup>c)</sup>              | 220 <sup>c)</sup> | 180 <sup>c)</sup> |
|          | 60E2<br>R65 | 480 <sup>d)</sup>                                    | 430 <sup>d)</sup>            | 290 <sup>d)</sup>         | 240 <sup>d)</sup>              | 220 <sup>d)</sup> | 190 <sup>d)</sup> |
|          |             | 540 <sup>c)</sup>                                    | 470 <sup>c)</sup>            | 310 <sup>c)</sup>         | 280 <sup>c)</sup>              | 250 <sup>c)</sup> | 220 <sup>c)</sup> |

d) při rozdělení pražců „d“ a hustším

c) při rozdělení pražců „c“

Tab. 6 platí pro betonové pražce typové délky 2,6 m s hmotností  $m \geq 280$  kg. V rámci porovnání s původní tabulkou došlo ke zmenšení minimálních poloměrů, což může vést k úsporám ve spotřebě pražcových kotev.



Tab. 7 - Směrové poměry pro zřizování BK v otevřeném kolejovém loži nebo zapuštěném kolejovém loži s převýšením koleje s betonovými pražci typové délky 2,4 m a zároveň s typovou hmotností  $m \geq 260$  kg s profilem kolejového lože podle obr. 29 a obr. 30 [12]

| Pražce | Kolejnice   | Nejmenší dovolený poloměr oblouku $R$ [m] pro kolej: |                   |                                 |                                |                   |                   |
|--------|-------------|--|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|
|        |             | profil   | profil            | profil kol. lože podle <b>c</b> |                                |                   |                   |
|        |             | kol. lože  | kol. lože         | bez pražc.<br>kotev             | s pražcovými kotvami na každém |                   |                   |
|        |             | <b>a</b>   | <b>b</b>          |                                 | 3.pražci                       | 2.pražci          | pražci            |
| 1      | 2           | 3  | 4                 | 5                               | 6                              | 7                 | 8                 |
| Beton. | 49E1<br>T   | 450 <sup>d)</sup>                                    | 420 <sup>d)</sup> | 280 <sup>d)</sup>               | 230 <sup>d)</sup>              | 210 <sup>d)</sup> | 170 <sup>d)</sup> |
|        |             | 500 <sup>c)</sup>                                    | 450 <sup>c)</sup> | 320 <sup>c)</sup>               | 260 <sup>c)</sup>              | 240 <sup>c)</sup> | 190 <sup>c)</sup> |
|        | 60E2<br>R65 | 550 <sup>d)</sup>                                    | 480 <sup>d)</sup> | 320 <sup>d)</sup>               | 260 <sup>d)</sup>              | 240 <sup>d)</sup> | 200 <sup>d)</sup> |
|        |             | 600 <sup>c)</sup>                                    | 520 <sup>c)</sup> | 360 <sup>c)</sup>               | 300 <sup>c)</sup>              | 270 <sup>c)</sup> | 230 <sup>c)</sup> |

d) při rozdělení pražců „d“ a hustším

c) při rozdělení pražců „c“

Tab. 7 platí pro betonové pražce typové délky 2,4 m s hmotností  $m \geq 260$  kg. Tato tabulka je shodná s řádkem pro betonové pražce v původní tabulce předpisu [28].

Tab. 8 - Směrové poměry pro zřizování BK v otevřeném kolejovém loži nebo zapuštěném kolejovém loži s převýšením koleje s dřevěnými pražci a v tab. 6 a tab. 7 neuvedenými betonovými pražci s profilem kolejového lože podle obr. 29 a obr. 30 [12]

| Pražce                   | Kolejnice    | Nejmenší dovolený poloměr oblouku $R$ [m] pro kolej: |           |                                 |                                |                   |                   |
|--------------------------|--------------|--|-----------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|
|                          |              | profil   | profil    | profil kol. lože podle <b>c</b> |                                |                   |                   |
|                          |              | kol. lože  | kol. lože | bez pražc.<br>kotev             | s pražcovými kotvami na každém |                   |                   |
|                          |              | <b>a</b>   | <b>b</b>  |                                 | 3.pražci                       | 2.pražci          | pražci            |
| 1                        | 2            | 3  | 4         | 5                               | 6                              | 7                 | 8                 |
| Dřevěné<br>a<br>betonové | 49E1, T      | 600  | 500       | 400                             | 330 <sup>1)</sup>              | 290 <sup>1)</sup> | 230 <sup>1)</sup> |
|                          | 60E2,<br>R65 |  | 550       | 500                             | 400 <sup>1)</sup>              | 360 <sup>1)</sup> | 280 <sup>1)</sup> |

<sup>1)</sup> poloměr vrcholového zakružovacího oblouku musí být  $R_v \geq 3\,000$  m

Tab. 8 platí pro dřevěné a betonové pražce neznámého typu. Tato tabulka je shodná s řádkem pro dřevěné pražce v původní tabulce z předpisu [29].



Tab. 9 - Směrové poměry pro zřizování BK v zapuštěném kolejovém loži bez převýšení koleje s betonovými pražci typové délky 2,6 m a zároveň s typovou hmotností  $m \geq 280$  kg [12]

| Pražce   | Kolejnice | Nejmenší dovolený poloměr oblouku $R$ [m] pro kolej: |                                |                   |                   |
|----------|-----------|--|--------------------------------|-------------------|-------------------|
|          |           | bez pražc. kotev                                     | s pražcovými kotvami na každém |                   |                   |
|          |           |  | 3.pražci                       | 2.pražci          | pražci            |
| 1        | 2         | 3  | 4                              | 5                 | 6                 |
| Betonové | 49E1 T    | 160 <sup>d)</sup>                                    | 145 <sup>d)</sup>              | 120 <sup>d)</sup> | 110 <sup>d)</sup> |
|          |           | 180 <sup>c)</sup>                                    | 160 <sup>c)</sup>              | 145 <sup>c)</sup> | 130 <sup>c)</sup> |
|          | 60E2 R65  | 190 <sup>d)</sup>                                    | 170 <sup>d)</sup>              | 155 <sup>d)</sup> | 140 <sup>d)</sup> |
|          |           | 220 <sup>c)</sup>                                    | 200 <sup>c)</sup>              | 180 <sup>c)</sup> | 165 <sup>c)</sup> |

d) při rozdělení pražců „d“ a hustším

c) při rozdělení pražců „c“

Tab. 10 - Směrové poměry pro zřizování BK v zapuštěném kolejovém loži bez převýšení koleje s dřevěnými pražci a v tab. 9 neuvedenými betonovými pražci [12]

| Pražce   | Kolejnice | Nejmenší dovolený poloměr oblouku $R$ [m] pro kolej: |                                |                   |                   |
|----------|-----------|--|--------------------------------|-------------------|-------------------|
|          |           | bez pražc. kotev                                     | s pražcovými kotvami na každém |                   |                   |
|          |           |  | 3.pražci                       | 2.pražci          | pražci            |
| 1        | 2         | 3  | 4                              | 5                 | 6                 |
| Dřevěné  | 49E1 T    | 230  | 205                            | 185               | 170               |
|          | 60E2 R65  | 280  | 255                            | 225               | 200               |
| Betonové | 49E1 T    | 170 <sup>d)</sup>                                    | 155 <sup>d)</sup>              | 140 <sup>d)</sup> | 125 <sup>d)</sup> |
|          |           | 190 <sup>c)</sup>                                    | 170 <sup>c)</sup>              | 155 <sup>c)</sup> | 140 <sup>c)</sup> |
|          | 60E2 R65  | 200 <sup>d)</sup>                                    | 180 <sup>d)</sup>              | 165 <sup>d)</sup> | 150 <sup>d)</sup> |
|          |           | 230 <sup>c)</sup>                                    | 205 <sup>c)</sup>              | 185 <sup>c)</sup> | 170 <sup>c)</sup> |

d) při rozdělení pražců „d“ a hustším

c) při rozdělení pražců „c“





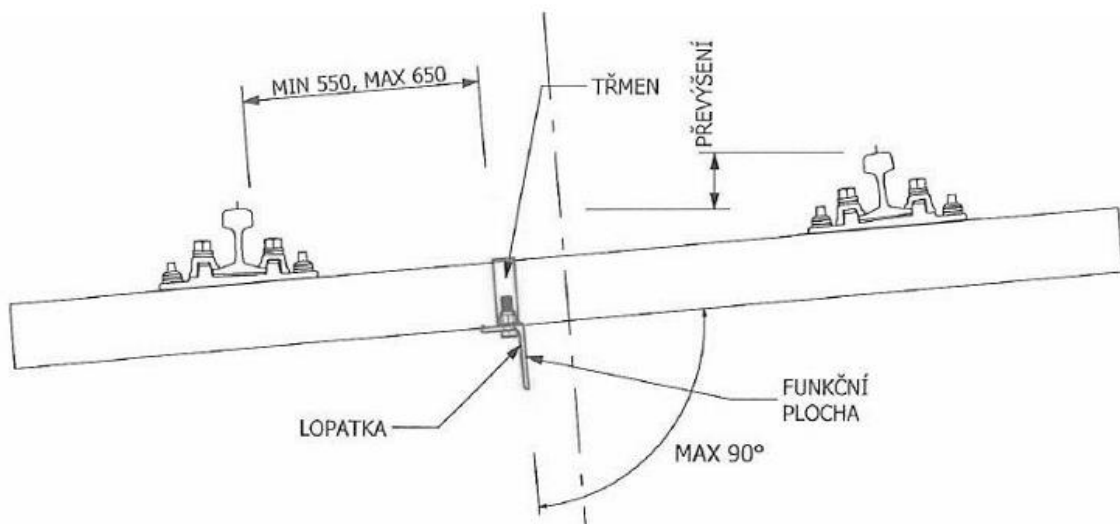
Tab. 9 a 10 uvádějí směrové poměry pro zřizování BK v zapuštěném kolejovém loži bez převýšení koleje. Původní předpis [29] stanovoval minimální poloměr v zapuštěném loži bez převýšení v posledním sloupci tabulky. Minimální hodnota poloměru mohla dosáhnout 170 m. Aktuální hodnoty po rozdělení dle typu pražce nabývají menších hodnot, a to až 110 m.

Nově je možné zřizovat BK v kolejích s ocelovými pražci Y v obloucích o poloměru rovném nebo větším než 150 m. Se souhlasem OTH lze až 125 m. [12] V původní tabulce z předpisu [29] je minimální poloměr pro zřizování BK s ocelovými pražci Y 170 m a se souhlasem až 150 m.

*„Bezстыková kolej se smí zřizovat v kolejích s pevnou jízdni dráhou až do poloměru směrového oblouku  $R = 160$  m při dodržení podmínek předpisu SŽDC S9 Pevná jízdni dráha.“ [12]*

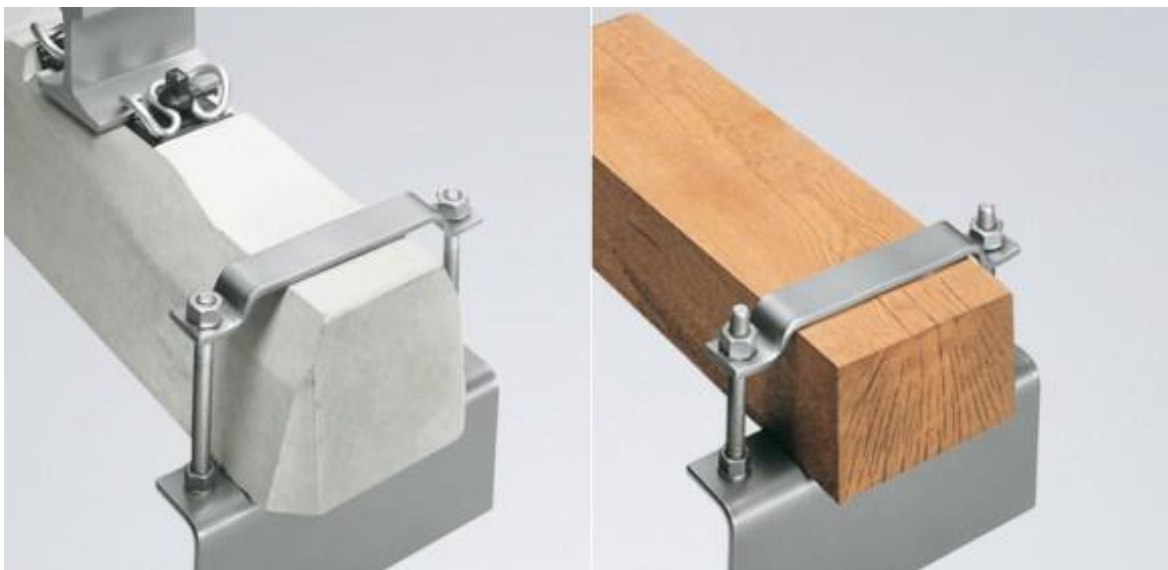
### 2.3.1.6 Pražcové kotvy

Pražcové kotvy se používají ke zvýšení příčného odporu pražců v kolejovém loži. Pražcové kotvy se umísťují na každý 3., 2. nebo každý pražec dle tabulek určujících směrové poměry pro zřizování BK. Hustota kotev se v přechodnici mění v závislosti na křivosti odpovídající hraničním poloměrům uvedeným v tabulkách 6–10. Pražcové kotvy se ve směrových obloucích umísťují do střední části pražců 600 mm od vnitřního pojížděného kolejnicového pásu a jsou montovány mimo prostor pěchů automatických strojních podbíječek. [12; 8]



Obr. 31 - Montáž pražcové kotvy ve směrovém oblouku [12]

V železničních dráhách SŽ se používají pražcové kotvy s lopatkou pod ložnou plochou pražce. Existují však i pražcové kotvy s bočními deskami, které se nemusí montovat pod ložnou plochu pražce a tím usnadňují výkopové práce. [9; 12]



Obr. 32 - Pražcová kotva Vossloh SV [34]



Obr. 33 - Pražcová kotva Vossloh SN [35]

### 2.3.2 Zřizování bezстыkové koleje

Na začátku této kapitoly budou definovány dva důležité pojmy související s upínací teplotou BK a jejím zřizováním. Jedná se o rozdíl mezi závěrnými a montážními svary. Montážními svary jsou kolejnice spojovány do dlouhých kolejnicových pásů. Svaření dvou dlouhých kolejnicových pásů a samotné zřízení BK se provede svarem závěrným. Svary závěrné musí být, na rozdíl od svarů montážních, zřizovány při dovolené upínací teplotě. Závěrné svary slouží taktéž k vevaření výhybek a LIS do BK. [12]

Dovolená upínací teplota je dle aktuálního předpisu [12] stanovena od +17 °C do +28 °C v běžné koleji. Upínání levého a pravého kolejnicového pásu probíhá při stejné teplotě s dovolenou odchylkou UT do 3 °C včetně. [12] V období letních měsíců, kdy teplota přesahuje dovolenou upínací teplotu, je nutné ponechat provádění závěrných svarů do brzkých ranních nebo nočních hodin, kdy teplota dosahuje požadovaných hodnot.



Při teplotách nižších, než DUT je možné závěrné svary provádět napínáním nebo ohřevem kolejnic. Jedná se o postupy, kterými lze v kolejnici uměle vyvolat prodloužení odpovídající DUT. [8]

Minimální délka kolejnicového pásu při zřizování BK z nových kolejnic je 74 m. Kolejnice této délky jsou standardně nabízeny výrobcí ocelových válcovaných profilů. Příkladem výrobce v ČR jsou Třinecké železárny nabízející širokopatní kolejnice délky 75 m. [12; 22]

Novela předpisu [12] zavádí nové délky kolejnicových pásů (dále jen KP), ze kterých je možné zřizovat BK bez umělého prodloužení KP. Původní předpis [29] umožňoval při bezpodkladnicovém upevnění kolejnic délku kolejnicového pásu nejvíce 450 m v přímé i v oblouku. V případě upevnění kolejnic na podkladnicích mohla délka kolejnicového pásu dosahovat v přímé 450 m a v oblouku 300 m. V obloucích o poloměru menším než 400 m nesměla délka pásů přesahovat 250 m při všech typech upevnění. [29]

*„Maximální délky kolejnicových pásů, ze kterých se smí zřizovat BK bez umělého prodloužení délky kolejnicových pásů, jsou:*

- a) 720 m při bezpodkladnicovém upevnění kolejnic v přímé a obloucích o poloměru  $R > 500$  m a při podkladnicovém upevnění kolejnic v přímé a poloměru  $R \geq 5000$  m;*
- b) 600 m při podkladnicovém upevnění kolejnic ve směrových obloucích  $5000 \text{ m} > R > 500$  m;*
- c) 480 m v obloucích o poloměru  $R \leq 500$  m při všech typech upevnění.“* [12]

Svařování závěrných svarů může být započato až po ověření prostorové polohy koleje. Přivařované kolejnicové pásy se musí před prováděním závěrných svarů vždy uvolnit v celé své délce, aby bylo umožněno jejich volné a rovnoměrné zkrácení nebo prodloužení dle aktuální teploty. Z toho důvodu se uvolněné kolejnicové pásy ukládají na kluzné podložky (válečkové nebo kuličkové), tak aby se nedotýkaly kolejnicových podpor, s výjimkou cca 10 m od závěrného svaru. Kluzné podložky jsou postupně odstraňovány po seříznutí svarového nálitku nejdříve 30 minut pro standardní svařovací spáru (cca 25 mm) a 50 minut pro širokou svařovací spáru (cca 70 mm). Po vyndání kluzných podložek může být kolejnicový pás upínán ve směru od začátku kolejnicového pásu k závěrnému svaru. [12]

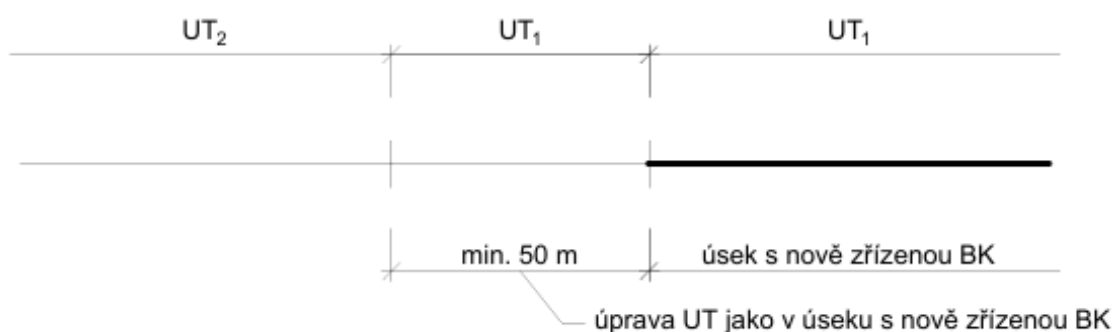


Obr. 34 - Válečková kluzná podložka pod patu kolejnice [36]

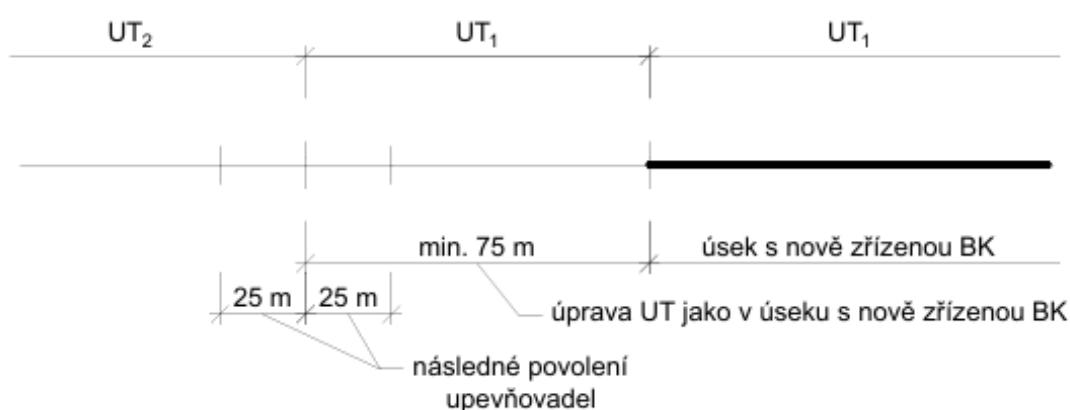


Kolejnice jsou svařovány montážními svary do dlouhých kolejnicových pásů primárně metodou odtavovacího stykového svařování. Závěrné svary se zřizují především odtavovacím stykovým svařováním nebo aluminotermicky. V případě svařování kolejnic odtavovacím stykovým svařováním mobilní svařovnou se přípouští přivaření posledních kolejnic oboustranně aluminotermickými svary. [12]

Při rozdílu  $UT_1$  a  $UT_2$  menším nebo rovným  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$



Při rozdílu  $UT_1$  a  $UT_2$  větším než  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$



Obr. 35 - Úprava UT v úseku navazujícím na nově zřizovanou BK [12]

Předpis [12] nově zavádí úpravu UT na stávajícím úseku, na který navazuje nově zřizovaná BK. Úprava UT se provede v délce dle obr. 35 v závislosti na rozdílu UT navazujícího a stávajícího úseku. Pokud je rozdíl UT větší než  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  provede se po zřízení závěrného svaru (včetně dotažení upevňovadel) v místě nového přechodu mezi UT uvolnění upevňovadel v délce 25 m na obě strany. Uvolněná kolejnice se přizvedne a upne při teplotě střední mezi stávajícím a nově zřízeným úsekem. [12]



### 2.3.2.1 Napínání kolejnicových pásů

Napínání kolejnicových pásů se využívá v případech, kdy je nutné zřídít BK při teplotě nižší, než povoluje DUT. Napínání kolejnic lze provádět od teploty  $-3\text{ °C}$ . Tato teplota vychází z nejnižší přípustné teploty, při které je možné kolejnice svařovat. Aluminotermické svařování umožňuje svařovat při teplotě zmiňovaných  $-3\text{ °C}$ . Nejnižší teplota svařování stykové s odtavením závisí na typu použité svářečky. Jedna z nejmodernějších svařoven APT 1500 RL, které je věnována kapitola 2.5.2.4, dovoluje svařovat taktéž od  $-3\text{ °C}$ . Svařování elektrickým proudem, které je bráno jako metoda doplňková, umožňuje svařování až od teploty  $0\text{ °C}$ . [12; 37; 38]

V obloucích o poloměru  $R \leq 500\text{ m}$  je z důvodu snížení radiálních sil působících dovnitř oblouku povoleno svařovat závěrné svary při použití napínacího zařízení od teploty  $2\text{ °C}$  (tj.  $15\text{ °C}$  pod DUT). Při napínání kolejnice v obloucích se použijí boční válečkové opěry. [12; 9; 36]

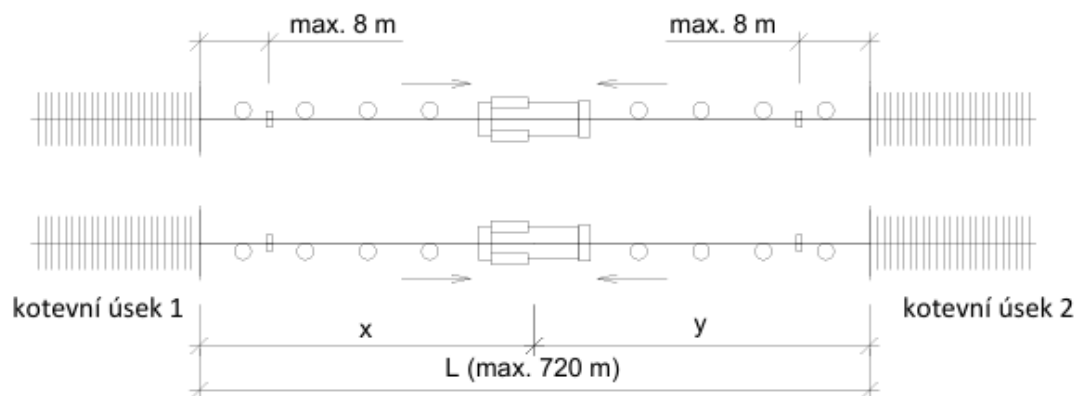


Obr. 36 - Boční válečková opěra [36]

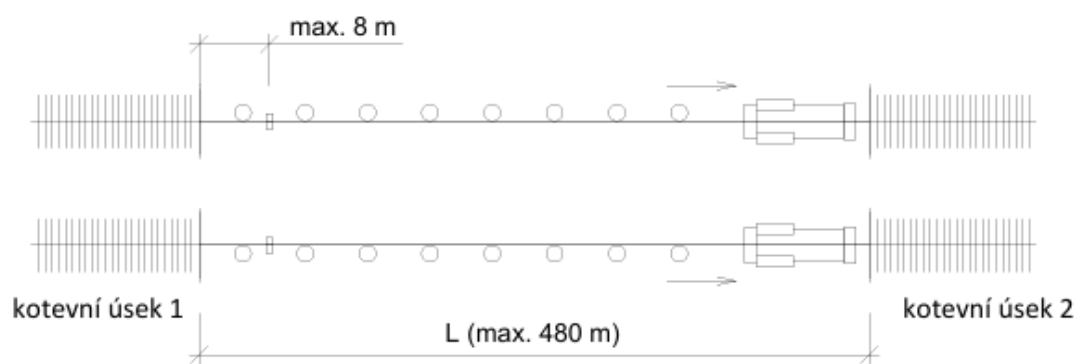
„Bezстыková kolej se zřizuje při využití napínání dlouhých kolejnicových pásů délky:

- a) nejvíce  $480\text{ m}$  při jednostranném napínání nebo celkově  $720\text{ m}$  při oboustranném napínání a bezpodkladnicovém upevnění kolejnic v přímé a obloucích o poloměru  $R > 500\text{ m}$  a při podkladnicovém upevnění kolejnic v přímé a poloměru  $R \geq 5000\text{ m}$ ;
- b) nejvíce  $375\text{ m}$  při jednostranném napínání nebo celkově  $600\text{ m}$  při oboustranném napínání a při podkladnicovém upevnění kolejnic ve směrových obloucích  $5000\text{ m} > R > 500\text{ m}$ ;
- c) nejvíce  $300\text{ m}$  při jednostranném napínání nebo celkově  $480\text{ m}$  při oboustranném napínání v obloucích o poloměru  $R \leq 500\text{ m}$  bez ohledu na typ upevnění.“ [12]

## Oboustranné napínání



## Jednostranné napínání



Obr. 37 - Příklad použití napínacího zařízení [12]

Při napínání kolejnicového pásu se jeden z konců upne v kotevním úseku, který je tvořen množstvím pražců. Počet pražců musí být takový, aby měl kotevní úsek dostatečný podélný odpor proti napínání KP. Kolejnice tvaru 49 E1 a lehčí se upínají na 5 pražcích a těžší typy kolejnic na 7 pražcích na každý 1 °C rozdílu teploty. Při napínání obou KP zároveň je potřeba počet pražců zdvojnásobit. [12]



Obr. 38 - Dosažení UT pomocí napínacího zařízení v kombinaci se svařováním termitem [36]



Potřebné prodloužení KP se vypočte dle vztahu (1) s přesností 1 mm se zaokrouhlením nahoru. Rozdíl teplot vychází z aktuální teploty a UT, které chceme dosáhnout. Za délku se dosazuje volná vzdálenost KP od konce kotevního úseku k čelu KP v místě svaru. Před uvolněním upevňovadel napínaného KP se na konci kotevního úseku vyznačí značka pro zjištění prokluzu. KP se uvolní v celé své délce pro umožnění prodloužení nebo zkrácení, odstraní se podložky pod patou kolejnice a KP se umístí na kluzné podložky z důvodu rovnoměrného napínání. Pro kontrolu napínání se ve středu a na konci napínaného úseku zřizují kontrolní značky. [12]

Napínaný KP se musí zkrátit tak, aby svařovací spára měla správnou šíři a KP byl upnut při správné UT. Šířka spáry se rovná součtu prodloužení KP při napínání, velikosti předepsané svařovací spáry (aluminotermické svařování, svařování elektrickým obloukem) a velikost změřeného prokluzu. V případě použití mobilní svařovny využívající metodu stykového odtavovacího svařování je nutné šíři svařovací spáry zkrátit o odtavení materiálu kolejnice. Po provedení svaru se musí napínací zařízení ponechat na místě pod stálým tahem po dobu danou šíří svarové spáry. Vlivem smrštění svaru dojde k poklesu tlaku v napínacím hydraulickém systému napínacího zařízení. Tlak musí být udržován na stálé hodnotě do chvíle odstranění zařízení. [12]

### 2.3.2.2 Ohřev kolejnic

Napínání kolejnic je možné nahradit technologií ohřevu kolejnic, při které se požadovaného prodloužení KP dosáhne jeho temperováním. Uvolněný kolejnicový pás je pojížděn zařízením pro plynový ohřev kolejnic střídavě od volného konce ke kotevnímu úseku. Z důvodu rovnoměrného prodloužení je KP uložen na kluzné stoličky a průběh prodloužení je ověřován na kontrolních značkách. Pomocí jednoho ohřívacího zařízení lze temperovat úsek o délce maximálně 150 m. KP musí být nahříván po celou dobu provádění svaru a po dokončení svaru 30 nebo 50 minut dle velikosti svařovací spáry. [12; 8]



Obr. 39 - Zařízení pro ohřev kolejnic [39]

## 2.4 Pokládka a snášení kolejového roštu

Před provedením závěrných svarů a zřízení BK je nejdříve potřeba připravit tzv. rozpracovanou BK. Jedná se o kolej složenou z dlouhých kolejnicových pásů, které jsou vzájemně propojeny spojkami a upnuty při teplotě od  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V závislosti na teplotě jsou velikosti dilatačních spár upraveny dle tab. 11. Pro zřízení BK je nutné, aby byla kolej řádně výškově i směrově upravena. [12]

Tab. 11 - Nastavení velikosti koncové spáry [12]

| Teplota kolejnic<br>[ $^{\circ}\text{C}$ ] | Velikost dilatační spáry<br>[mm] |
|--|----------------------------------|
| +31 až +40                                 | 0                                |
| +21 až +30                                 | 3                                |
| +11 až +20                                 | 6                                |
| +3 až +10                                  | 9                                |
| -3 až +2                                   | 12                               |

Pokládka kolejového roštu je důležitým faktorem, který ovlivňuje svařování BK. Nevhodná manipulace s prvky železničního svršku může způsobit jejich poškození, které komplikuje svářečské práce a může mít negativní vliv na provedení svarů. Kolejnice mohou být následkem pokládky kolejového roštu např. směrově a výškově deformovány, mohou mít zkroucené konce kolejnic nebo obsahovat vrypy do materiálu. [40]



Obr. 40 - Vrypy na temeni kolejnice v místě konců kolejnic [40]

Pro dokreslení zmíněné problematiky budou v rámci této kapitoly popsány nejpoužívanější způsoby zřizování nového kolejového roštu. Strojům umožňujícím současné snášení starého a kladení nového kolejového roštu se pro jejich složitost nebudeme věnovat. K těmto úkonům se využívají obnovovací stroje, resp. vlaky, které mohou umožňovat i současné čištění kolejového roštu např. stroj RU 800 S. [10]





V současnosti existuje několik způsobů, kterými lze realizovat pokládku nebo snášení kolejového roštu. Tyto metody se vzájemně liší možnostmi nasazení v podmínkách konkrétní stavby. Při výběru postupu je nutné brát zřetel na prostorové a směrové poměry pokládané trati, možnosti logistiky, a především ekonomickou efektivitou v konkrétních podmínkách. [10]

#### 2.4.1 Montáž kolejového roštu v ose bez speciálních kladecích prostředků

Jedná se způsob pokládky kolejového roštu pomocí dvoucestného nebo kolového bagru. Pro nízkou míru strojní mechanizace a pracnost se používá pouze na stavbách malého rozsahu. Na pláni tělesa železničního spodku se vyznačí reflexním sprejem osa koleje odsazená o polovinu délky pražce. Mezi těmito vodícími liniemi následně dochází k pokládce pražců v požadovaném rozdělení, a to buď po jednom pražci na řetízkových úponech nebo pomocí traverzy, na kterou je možné zavěsit až 8 pražců. V případě použití závěsné traverzy jsou úpony nastaveny na polovinu hodnoty rozdělení a při pokládce je odepínán každý druhý pražec. Kolejnice se na pražce ukládají pomocí bagru vybaveného kolejnicovými kleštěmi. V obloucích se nejdříve osazuje vnější pás. [10; 41]



Obr. 41 - Přesun kolejnice pomocí dvoucestného bagru s kolejnicovými kleštěmi [Zdroj: Autor]



## 2.4.2 Pokládka kolejových polí

K pokládce předmontovaných kolejových polí se obvykle využívá vozových jeřábů UK, pokládačů PKP nebo kolejových jeřábů. Samotné pokládce předchází předmontáž kolejových polí pomocí portálových jeřábů na stabilitní nebo dočasné montážní základně. Montážní základny jsou situovány v blízkosti stavby, a proto jsou upřednostňovány před stabilitními základnami, ze kterých je nutné dovážet smontovaná pole často na velké vzdálenosti. K přepravě těchto polí se využívá podvozku vz. 53. Na dva podvozky se umísťují vždy čtyři na sobě položené kolejové rošty, které společně tvoří tzv. „balík“. [10; 42]

Při montáži kolejových polí se používají tzv. „inventární kolejnice“. Jsou to kolejnice určené pouze k montáži a pokládce kolejových polí. Při snášení kolejových polí jsme limitováni délkou a hmotností, kterou dokáže stroj vysunout. Z důvodu omezení množství svarů dojde po podbití zřízené koleje k jejich demontáži a výměně za kolejnice délky 75 m. [41]



Obr. 42 - Podvozek vz. 53 [Zdroj: Ing. Klára Šardická]

Pokladač kolejových polí zkráceně PKP 25/20 se skládá z pohonné jednotky Tatra T815 s úpravou pro jízdu po kolejích. Na jeho plošině je kloubově uložen příhradový nosník, na jehož konci je ocelový portál s kolejovými podvozky. Při pokládce kolejových polí jede Tatra po uvalené vrstvě předšterkování, za ní probíhá snášení kolejového roštu a koncový portál pojíždí po již položených kolejových polích. Do části portálu je vsunut balík kolejových polí, proběhne jeho zajištění a následně kočky pojížděné po příhradovém nosníku uchyťí vždy horní kolejové pole a přesunou ho do volné části stroje a uloží na připravené šterkové lože. Tento proces se cyklicky opakuje a vzniká tak nově položená trať. Tento stroj pracuje s délkou kolejových polí 25 m do hmotnosti 18 t. Za osmihodinovou až desetihodinovou směnu lze dosáhnout 1000 m položených kolejových polí. [10; 42]



Obr. 43 - PKP 25/20 [Zdroj: Ing. Klára Šardická]

### 2.4.3 Cyklicky oddělená pokládka kolejového roštu

Cyklicky oddělená pokládka kolejového roštu využívá portálové jeřáby, například Robel PA 1-20 ES nebo Donelli PTH 350. Na upravenou štěrkovou pláň se nejdříve pomocí bagru rozvezou kolejnice. Kolejnice se táhnou po dvojicích smýkáním po vrstvě předštěrkování až na místo určení. Následuje jejich roztažení na rozchod portálového jeřábu a vytvoření tak drážky, po které se bude portálový jeřáb pohybovat. Drážka se připravuje s přesností na 1 cm. Pro zvýšení stability jsou kolejnice v určitých intervalech podepřeny žebrovými podkladnicemi. [43; 44; 45]

Portálové jeřáby Donelli pracují ve dvojicích. Jsou spojené závěsnou traverzou s řetězovými úpony podobnou té, kterou lze umístit na bagr při pokládce v ose bez kladecích prostředků. Jeřáby najedou nad plošinový vůz, kde jim jsou pražce na traverzu zavěšeny. V místě vykládky je odepnut každý druhý pražec a zbývající pražce jsou posunuty na další úsek. [43; 44; 45]

Portálové jeřáby Robel si berou pražce z plošinových vozů do zařízení podavače. Stroj má zásobník na 20 pražců a doba vykládky trvá zhruba 4 minuty. Pokládka pražců probíhá po jednom dle aktuálního nastaveného rozdělení. Pokladače Robel pracují obvykle ve dvojicích, kdy jeden z nich pražce pouze přibližuje z plošinových vozů na místo vykládky. [43; 44; 45]

Po ukončení pokládky se nasazuje stroj manipulátor kolejnic, který uchopí kolejnice tvořící drážku a vloží je na pražec do míst upevňovadel. Takto vzniklý kolejový rošt je připraven k dotažení upevňovadel a zaštěrkování. Portálové jeřáby nahrazují pokládku kolejových polí. Díky jejich použití není nutná několikanásobná manipulace s pražci a výměna inventárních kolejnic. [43; 44; 45]



Obr. 44 - Robel PA 1-20 ES [46]

## 2.5 Svařování

Svařování je proces, při kterém dochází působením teploty či tlaku ke vzniku trvalého a nerozebíratelného spojení kovů. Podstatou tohoto jevu je dodání potřebné energie atomům k navázání meziatomových vazeb ve spojovaných materiálech. Kolejnicový svar může vzniknout natavením samotné kolejnice nebo dodáním přídavného materiálu stejného či podobného chemického složení. [47]

Svařování součástí železničního svršku v ČR upravuje předpis Správy železnic SŽ S3/5 – Svářečské práce na součástech železničního svršku [37]. V současné době se pro svařování kolejnic v železničních kolejích SŽ běžně používají technologie odtavovacího stykového svařování a aluminotermického svařování. Pokud nelze tyto metody svařování použít, využívá se svařování elektrickým obloukem.

Svářečské práce na součástech kolejového svršku MHD jsou stanoveny v předpisu T 1/2 [48] vydávaném Sdružením Dopravních podniků ČR. Tento předpis neplatí pro lanové a podzemní dráhy. Pro svařování kolejnic v tramvajových tratích se využívá především metody svařování elektrickým obloukem.

Obě organizace dbají na kvalitu a bezpečnost svařovaných spojů na kolejové infrastruktuře, a z tohoto důvodu musí všichni zhotovitelé svarů vlastnit platné Osvědčení způsobilosti ke svařování příslušnou metodou. Toto osvědčení slouží jako doklad o profesní způsobilosti daného zhotovitele provádět svářečské práce na kolejovém svršku. [37; 48]



## 2.5.1 Aluminotermické svařování

Technologie aluminotermického svařování je moderní obdobou tradičních slévárenských metod spojování kovů. [47] Mezi kolejnicovými pásy se ponechá mezera o velikosti předepsané výrobcem (standardně cca 25 mm) a budoucí místo svaru se ohraničí speciální formou. Tento prázdný prostor se následně vyplní roztaveným kovem, který vzniká při exotermické reakci oxidů železa a hliníkového prášku. Tekutý kov díky vysoké teplotě nataví čela kolejnic a vyplní prostor mezi nimi. Po vychladnutí a ztuhnutí kovu vznikne pevný a trvalý spoj. [3]

V normě ČSN EN ISO 4063 [49] nese tato metoda označení 71. Využívá se k provádění závěrných svarů kolejnicových pásů, svařování výhybek a k opravným pracím. Hlavní výhodou této technologie je její jednoduchost provádění a zaručená kvalita výsledných svarů. Nižší počet potřebného vybavení pro svářečské práce zaručuje její rychlé nasazení kdekoli v železniční trati. [50]

V kolejích a výhybkách železničních drah SŽ se uplatňují dva schválené postupy aluminotermického svařování. První je německý ELEKTRO-THERMIT a druhý francouzský PANDROL (RAILTECH). [37] Tyto metody se liší používanou formou, složením termitové směsi, délkou předehřevu a časem odpichu.

### 2.5.1.1 Princip metody

Technologie aluminotermického svařování je založena na hoření termitové směsi. Jedná se o vysoce reaktivní kombinaci práškového hliníku a oxidů železa. K zapálení této směsi je zapotřebí vysoké zápalné teploty okolo 1200–1300 °C. Jakmile je termitová směs aktivována, dochází ke vzniku bouřlivé exotermické reakce, při které se z termitové dávky uvolňuje za rychlého vývoje tepla tekutá ocel. Tato roztavená ocel slouží jako přídatný materiál, který vyplňuje spáru mezi kolejnicemi a slévá se s nimi, čímž vytváří pevný a homogenní spoj. [3]

Do této reakce mohou vstupovat tři druhy oxidů železa, které se od sebe liší množstvím vázaného kyslíku. Jsou to:

- oxid železnatý  $FeO$ ,
- oxid železitý  $Fe_2O_3$ ,
- oxid železnatoželezitý  $Fe_3O_4$ . [51]



Výslednými produkty reakce hoření termitu jsou oxid hlinitý, železo a teplo. Pro aluminotermické svařování oceli jsou stanoveny tyto tři reakční rovnice [51]



$$1 \text{ kg} \quad 378 \text{ g} \quad \quad \quad 622 \text{ g} \quad 2901 \text{ kJ}$$



$$1 \text{ kg} \quad 476 \text{ g} \quad \quad \quad 524 \text{ g} \quad 3550 \text{ kJ}$$



$$1 \text{ kg} \quad 477 \text{ g} \quad \quad \quad 533 \text{ g} \quad 3353 \text{ kJ}$$

Je patrné, že množství uvolněného železa a teplota, které se při redukci dosáhne, je závislá na vstupní formě oxidu železa. Z hlediska nejvyšší dosažené teploty byl z termodynamických rovnic vypočten nejvhodnější poměr pro základní termitovou směs 14 % FeO a 86 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Optimální poměr ze stechiometrických rovnic je pak 24,5 % hliníkové krupice a 75,5 % okují (oxidy železa). Hmotnostně se jedná o 245 g Al, 112 g FeO a 643 g Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Teplota takto vyredukovaného kovu by dosahovala cca 3000°C. [3]



Obr. 46 - Hoření termitové směsi  
[Zdroj: Ing. Ondřej Bret]



Obr. 45 - Termitová dávka Railtech  
[Zdroj: Ing. Ondřej Bret]

Pro zvýšení výtěžnosti směsi se do termitové dávky přidává ocelový šrot, čímž se sníží teplota termitové ocele zhruba na 2100–2200 °C. Teplota taveniny však musí být dostatečně vysoká, aby přesahovala bod tuhnutí strusky (2050 °C). Do termitové dávky dále patří legující přísady, které přibližují složení termitové oceli k oceli kolejnicové. Těmito prvky jsou uhlík a mangan. Veškeré přísady musí mít správně zvolenou zrnitost a být pečlivě promíchány, aby bylo zaručeno dokonalé hoření termitové směsi. Nedokonalé shoření hliníku způsobuje jeho větší zastoupení ve svarovém kovu a křehkost svaru. [3]



### 2.5.1.2 Technologie Elektro-Thermit

Společnost Elektro-Thermit, součást skupiny Goldschmidt, je předním světovým dodavatelem technologií a produktů pro termitové svařování. Tato technologie nabízí čtyři metody svařování kolejnic, mezi které patří:

- SoWoS – metoda je určena pro běžné použití. Umožňuje použití kovového kelímku s opakovaně použitelnou, vyměnitelnou magnezitovou vyzdívkou nebo s použitím jednorázových kelímků.
- SkV – metoda vyniká zkrácenou dobou svařování, díky čemuž se stává ideální volbou v případech, kdy je čas klíčovým faktorem. I přes vyšší cenu metody oproti jiným variantám je SkV preferována pro svařování kolejnic s tepelně upravenými kontaktními plochami (otěruvzdorné oceli vyšších tříd) a v případě poruch kolejnic, kde je nutný rychlý návrat provozu.
- SkV-L 75 - je metodou pro sváření tzv. „široké spáry“ o šířce 75 mm.
- SoW-5 - je metodou spojující výhody SoWoS a SkV. [52]

Tab. 12 - Typy aluminotermických dávek, jejich označení a použití pro svařování kolejnic stejného tvaru [37]

| Tvar kolejnice              | Třída kolejnicové oceli podle:<br>TPD 202-30-07, PN TŽ 42 0190, TP 202-30-95, UIC 860-V,<br>TP 202-32-92, TPD 202-32-72 <sup>1)</sup> ,<br>TPCm-01406.1-57 <sup>2)</sup> ,<br>ČSN EN 13674-1 | Metoda svařování | Označení dávky <sup>3)</sup>  |
|-----------------------------|--|------------------|-------------------------------|
| 49 E1 (S 49), T, A          | R260<br>75 ČSD<br>85 ČSD - Vk<br>95 ČSD - Vk<br>UIC 900 A  | SoWoS            | 49/Z 90 SoW                   |
|                             |  | SkV              | 49/Z 90 SkV                   |
|                             |  | SkV-L 75         | 49/Z90 SkV<br>+ 712/Z 90 SkV  |
|                             |  | SoW-5            | 49/Z 90 SoW-5                 |
|                             | R320Cr<br>110 ČSD-VkMnCr<br>UIC 1100   | SoWoS            | 49/Z 110 SoW                  |
|                             |  | SkV              | 49/Z 110 SkV                  |
|                             |  | SoW-5            | 49/Z 110 SoW-5 <sup>4)</sup>  |
|                             |  | SkV              | 49/Z 120 SkV                  |
|                             | R350HT   | SoW-5            | 49/Z 120 SoW-5 <sup>4)</sup>  |
|                             | R400HT   | SoW-5            | 49/Z 140 SoW-5                |
| 60 E2, 60 E1 (UIC 60), R 65 | R260<br>75 ČSD<br>85 ČSD - Vk<br>95 ČSD - Vk<br>UIC 900 A  | SoWoS            | 60/Z 90 SoW                   |
|                             |  | SkV              | 60/Z 90 SkV                   |
|                             |  | SkV-L 75         | 60/Z 90 SkV<br>+ 712/Z 90 SkV |
|                             |  | SoW-5            | 60/Z 90 SoW-5                 |
|                             | R320Cr<br>110 ČSD-VkMnCr<br>UIC 1100   | SoWoS            | 60/Z 110 SoW                  |
|                             |  | SkV              | 60/Z 110 SkV                  |
|                             |  | SoW-5            | 60/Z 110 SoW-5                |
|                             |  | SkV              | 60/Z 120 SkV                  |
|                             | R350HT   | SoW-5            | 60/Z 120 SoW-5                |
|                             | R400HT   | SoW-5            | 60/Z 140 SoW-5                |



Tab. 13 - Technologická data pro svařování kolejnic metodami Elektro-Thermit [37]

| Data                             | Jednotka | Tvar kolejnic  | Metoda    |              |           |           |
|----------------------------------|----------|--|-----------|--------------|-----------|-----------|
|                                  |          |  | SoWoS     | SkV          | SkV-L 75  | SoW-5     |
| Doba předehřevu                  | min      | 49 E1 (S 49), T, A                                       | 6 - 7     | 1 - 2        | 1 - 2     | 5         |
|                                  |          | R 65, 60 E2, 60 E1 (UIC 60)                              | 8 - 9     | 1 - 2        | 1 - 2     | 6         |
| Svařovací spára                  | mm       | 49 E1 (S 49), T, A,<br>R 65,<br>60 E2, 60 E1<br>(UIC 60) | 24 - 26   | 24 - 26      | 65 - 75   | 28 - 30   |
| Nadvýšení kolejnic               | mm       |  | 1,2 - 1,4 | 1,2 - 1,4    | 2,0 - 2,4 | 1,0 - 1,5 |
| Typ hořáku                       | typ      |  | SoWoS     | SkV          | SkV       | SkV       |
| Tlak kyslíku                     | bar      |  | 4,5       | 5,0          | 5,0       | 4,0       |
| Tlak propanu                     | bar      |  | 1,0       | 1,5          | 1,5       | 1,5       |
| Délka jádra plamene              | mm       |  | 15 - 20   | 15 - 20      | 15 - 20   | 15 - 20   |
| Výška výstupu plamene nad formou | mm       |  | 350       | 500          | 500       | 350       |
| Teplota předehřevu               | °C       |  | 1000      | nesleduje se |           |           |
| Výška hořáku nad kolejnicí       | mm       |  | 40 - 45   | 30 - 35      | 30 - 35   | 40 - 45   |
| Výška kelímku nad formou         | mm       |  | 20        | 20           | 20        | 30        |
| Časy od odpichu do:              | min      |  |           |              |           |           |
| - sejmutí rámečků                |          |  | 3 - 3,5   | 3 - 3,5      | 8 - 10    | 3,5       |
| - ztuhnutí kovu                  | min      |  | 4         | 4            | 9 - 11    | 4,5       |
| - seřiznutí nálitku              | min      | 5,00   | 5,00      | 10 - 12      | 5,5       |           |

### 2.5.1.3 Pracovní postup Elektro-Thermit

Před zahájením svařování je nezbytná precizní příprava svařovací spáry dle instrukcí uvedených v tab. 13. Spára se připravuje těsně před svařováním daného spoje, čímž se minimalizuje vliv teplotních změn na její rozměry. Kolejnicí lze pro vytvoření svařovací spáry dělit řezáním pilou, rozbroušením nebo řezáním kyslíkem. Šířka spáry se měří v úrovni temene hlavy kolejnice a paty kolejnice z obou stran pomocí speciální měřky. [52]



Obr. 47 - Úprava svařovací spáry řezáním plamenem [Zdroj: Ing. Ondřej Bret]





Před svařováním závěrných svarů je nezbytné provést uvolnění kolejnicových pásů v celé jejich délce. Důvodem uvolnění je zajištění volné dilatace a rovnoměrného prodloužení nebo zkrácení pásů jejich uložením na kluzné podložky. V případě definitivní opravy lomu kolejnice podle předpisu [12] je nutné uvolnit přilehlé kolejnicové pásy v potřebné délce. Délka uvolnění závisí na teplotě kolejnic a velikosti spáry nebo se rovná délce 50 m na každou stranu od lomu. V průběhu svařování a řezání musí být otvory pro vrtule vhodně zakryty, aby nedošlo k jejich zanešení. [52]

Konce kolejnic musí být výškově i směrově vyrovnány. Pro vyrovnání kolejnic před svařením je nutno na každou stranu od svařovaného styku sundat upevňovací prahy nejméně na 3 pražcích. Docílené polohy svařovaných konců se docílí směrovým a výškovým klínováním. V této poloze musí být konce kolejnic zafixovány po dobu svařování i chladnutí svaru. Kolejnice se v místě svaru nadvyšují, aby při chladnutí svaru nedošlo k jeho propadnutí. Návaznost kolejnicových pásů a jejich převýšení se kontroluje příkládáním ocelového pravítka. [52]



Obr. 48 - Kontrola správné výškové polohy konců kolejnic [Zdroj: Ing. Ondřej Bret]

Místo svaru se umísťuje do mezipražcových prostor. Aby se předešlo znečištění kolejového lože, umísťuje se pod svařovaný styk vanička, která zachycuje formovací písek a zbytky formy s tuhnoucí taveninou. [52]

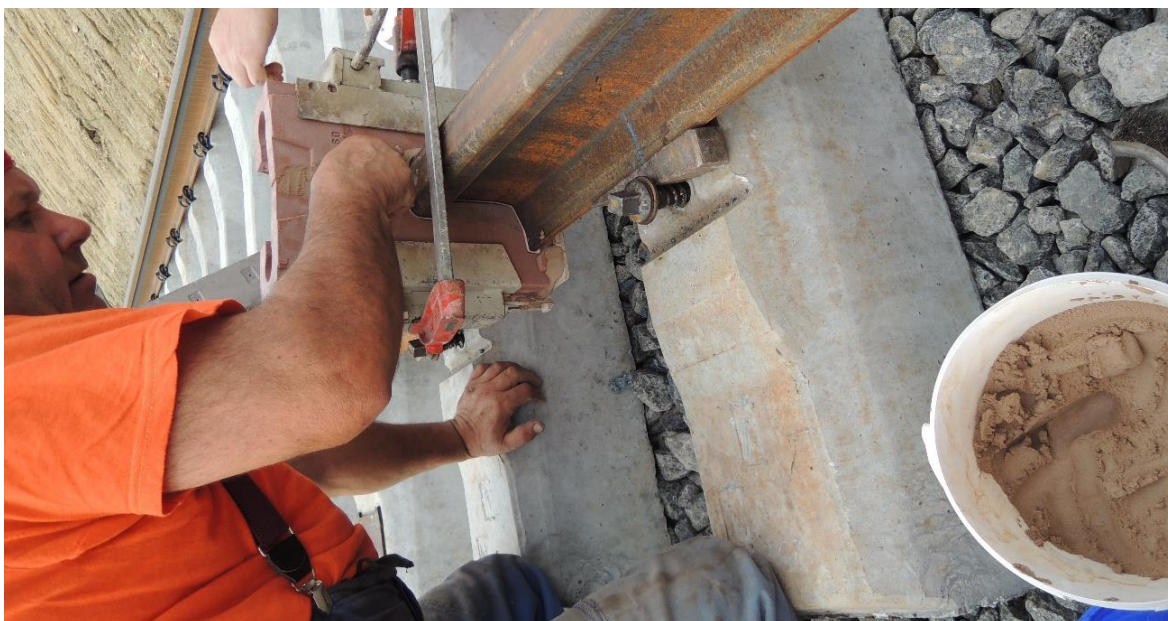


Obr. 50 - Montáž suché prefabrikované formy [Zdroj: Ing. Ondřej Bret]



Obr. 49 - Řez formou SoW-5 [76]

Na hlavu kolejnice se ve vzdálenosti od jejího čela dle stavěcí měřky umístí držák nesoucí trn pro hořák, upínač forem a trn pro osazení kelímku. Pro ohraničení svaru se využívá prefabrikovaných suchých forem. Forma se skládá ze dvou polovin a pískového můstku, který se osazuje po předehřevu kolejnicových konců. Před nasazením formy je nutné ocelovým pilníkem obrousit dosedové plochy obou jejích polovin. Temeno kolejnice se překryje kartonovým plátkem, tak aby překryl svařovací spáru. Obě poloviny formy se usadí separovaně do formovacího rámečku, nasadí symetricky na svařovací spáru a přitáhnou upínacími šrouby. Nakonec se forma utěsní ručně formovacím pískem. Následně se nasadí nádoby na přetékající strusku. [52; 53; 54]



Obr. 51 - Utěsnění formy formovacím pískem [Zdroj: Ing. Ondřej Bret]



Z důvodu ochrany kolejnicových pásů před výrony hořící termitové směsi jsou po obou stranách formy na hlavu kolejnic uloženy plechové kryty. Před samotným předeheřem kolejnic je nutné vyzkoušet, zdali je možné volně vložit můstek do zatěsněné formy. V případě potřeby se můstek obrousí do požadovaného tvaru. [52; 53; 54]

Reakční kelímek typu ET-CZ a kelímek s dlouhou životností je nutné nejprve zkompletovat, upevnit na trn stojanu a opatřit jednorázovou zátkou pro automatický odpich. Následně se vysuší mírným plamenem a jsou připraveny k nasypání termitové dávky. Kuželovitý tvar povrchu termitové dávky v kelímku se nerozhrnuje. Naplněný kelímek se přikryje „kloboukem“. [52; 54]

Nádoby na strusku jsou taktéž vysušeny mírným plamenem a poté se hořák osadí na trn univerzálního držáku a namíří do osy kolejnice na střed svařované spáry. K předeheřvu se využívá směs propan-butanu s kyslíkem. Při předeheřvu konců kolejnic vychází z výfukových otvorů formy chvosty plamene, jejichž délka signalizuje seřízení hořáku. Jednotlivé metody svařování se od sebe liší typem použitého hořáku, délkou předeheřvu, délkou chvostů plamene, výškou hořáku nad kolejnicí a povinností měřit teplotu či provádět vizuální zkoušku. U metod SoWoS a SoW-5 by měly mít konce kolejnic po ohřevu třešňově červenou barvu. [52; 53; 54]



*Obr. 52 - Předeheřv konců kolejnic, viditelné směrové vyklínování a svařovací sestava  
[Zdroj: Ing. Ondřej Bret]*

Po ukončení předeheřvu se sejme hořák, umístí pískový můstek do formy a pootočí reakční kelímek umístěný na trnu nad střed svařované spáry. V případě jednorázového reakčního kelímku, jenž má podobu uzavřeného plechového kyblíku s centrálním otvorem pro vhození zápalky, se kelímek umístí na rámeček forem. Všechny tyto úkony vyvrcholí zapálením dávky žárovou zápalkou. Zápalka musí být do termitové směsi ponořena nejdéle 20 sekund od ukončení předeheřvu. K uvolnění roztaveného kovu dojde 16 až 30 sekund po začátku reakce. [52; 53; 54]



Obr. 53 - Uvolněný tekutý kov ve formě a nádobě na strusku [Zdroj: Ing. Ondřej Bret]

Prázdný reakční kelímek se sundá z držáku a umístí na suché místo. Nádoby se struskou se zvednou lopatou a přenesou mimo manipulační prostor. Po uplynutí doby uvedené v tabulce je možné přistoupit k sundání rámečků. Pomocí listu strojní pily se forma nařízne cca 5 cm nad kolejnicí a poklepem kladiva oddělí. Oddělená část se odnese lopatou nebo vidlemi na suché místo. Přebytečný svarový kov hlavy kolejnice se po uplynulé době stanovené tab. 13 odstraní hydraulickou ořezávací jednotkou. [52; 53; 54]



Obr. 55 - Hydraulická ořezávací jednotka [Zdroj: Ing. Ondřej Bret]



Obr. 54 - Odklon nálitků výfukových otvorů [Zdroj: Ing. Ondřej Bret]

Nálitky výfukových otvorů se odkloní pouze do takové vzdálenosti, aby bylo možné provést hrubé broušení hlavy kolejnice. Té předchází očištění svaru ocelovým kartáčem. Po hrubém zabroušení temene hlavy kolejnice se svislé nálitky ohnou natolik, aby bylo možné hrubě zabrousit obě strany hlavy kolejnice. Broušení smí probíhat pouze na šířku svaru. Pokud je možné na svaru udržet ruku odstraní se klíny a obrousí pojížděné plochy z obou stran kopírovací bruskou. Nálitky výfukových otvorů se odlomí kladivem a očistí kartáčem. Po odlomení nálitků nesmí vzniknout jamka, která by zasahovala do profilu koleje. Na nepojížděné boční ploše hlavy kolejnice se svar označí příslušným razidlem. Nakonec se do uzlů upevnění vrátí drobný upevňovací materiál a pryžové podložky pod patu kolejnice a provede se dotažení povolených svěrek. [52; 53; 54]



## 2.5.2 Odtavovací stykové svařování

Technologie odtavovacího stykového svařování patří do kategorie odporového svařování. V normě ČSN EN ISO 4063 [49] je tato metoda označena číslem 24. Ke spojení dvou kolejnic využívá elektrický proud o vysoké intenzitě (až 100 000 A) a nízkém napětí (5 až 15 V). [55] Elektrický proud prochází konci kolejnic a v místě jejich dotyku způsobuje natavení styčných ploch. Kolejnice jsou následně k sobě přitisknuty a tím dojde ke vzniku nerozebíratelného spojení. [47] Svar vzniká ze základního materiálu kolejnice, a proto se po provedení jednoho svaru zkrátí kolejnice cca o 22 až 26 mm. [55]

V současné době se jedná o nejkvalitnější způsob provádění svarů. Vliv lidského činitele na kvalitu svaru je minimální. Celý proces provádění je programovatelný a plně automatizovaný. Uchycení a pohyb svařovaných kolejnic včetně konečného seříznutí svarového výronku je řízen hydraulicky. Některé moderní svářečky dokáží sami pomocí registru parametrů zhodnotit kvalitu provedeného svaru. [55]

Pomocí této metody jsou prováděny montážní i závěrné svary. Svářečky ovládající tuto technologii mohou být osazeny ve stabilních svařovnách nebo být součástí mobilních svařovacích souprav. [37]

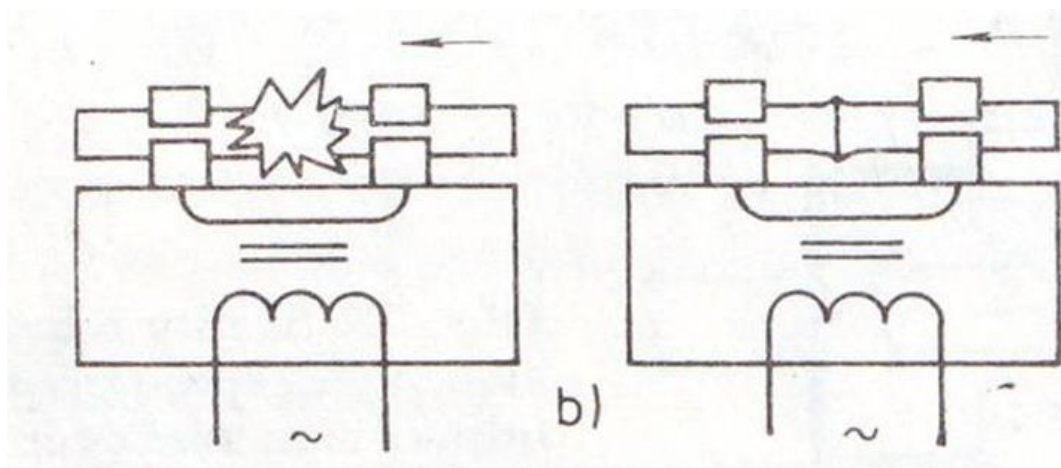
### 2.5.2.1 Princip metody

Na rozdíl od ostatních způsobů odporového svařování dochází u stykového svařování s odtavením k průchodu elektrického proudu při nedokonalém kontaktu kolejnic, kdy je jejich stlačení velmi malé. [56]

Svařování začíná přibližováním čelních ploch kolejnic k sobě až do bodu, kdy dojde k vzájemnému dotyku. Bez působení tlaku nedochází k dokonalému kontaktu a kolejnice se vzhledem k nerovnostem vzájemně dotýkají pouze osamocenými body. V těchto místech vznikají proudové můstky, kterými prochází koncentrovaný elektrický proud. Materiál se intenzivně ohřívá a roztavený kov vystřikuje ze svarového spoje. Kolejnice se nadále přibližují a vzniká další množství dotykových ploch a proudových můstků, až jsou čelní plochy kolejnic pokryty souvislou vrstvou roztaveného kovu a materiál je prohřátý do dostatečné hloubky. Následuje fáze petchování. Kolejnice se k sobě prudce stlačí a obvod se odstaví od zdroje elektrické energie. Část kovu se ze spoje vytlačí a vytvoří výronek. [56; 57]

Svařování s odtavením se vyznačuje tvorbou vysoce kvalitních svarů. Během procesu dochází k odpařování roztaveného kovu, čímž se vytváří ochranná atmosféra, která brání pronikání dusíku a kyslíku do svařovaného materiálu. Oxidy znečištěného kovu jsou vytlačeny ve fázi petchování do výronku na obvodu svaru. [56]

Svařovacímu cyklu může předcházet fáze předehřevu. Ta se obvykle provádí pomocí samotného svařovacího transformátoru. Spočívá v opakovaném zkratu a rozpojení svarových dílů před fází odtavování. [56]



Obr. 56 - Schéma stykového svařování s odtavením [56]

### 2.5.2.2 Základní podmínky pracovního postupu

Konce kolejnic se před svařování řezou nebo rozbrousí kolmo k podélné i svislé ose kolejnice. Těsně před počátkem svařování musí být čela kolejnic očištěna do kovového lesku a kontaktní plochy v místě dotyku stojiny kolejnice a upínacích čelistí svařovací hlavy musí být obroušeny. Tímto postupem je zabezpečen nízký přechodový odpor elektrického proudu mezi čelistmi a kolejnicí. Abychom docílili stejného ohřevu obou kolejnic, musí být místo jejich dotyku umístěno ve středu vzdálenosti mezi upínacími čelistmi. [37]

Pro dosažení homogenní jízdní dráhy je klíčové správné směrové a výškové vyrovnání svařovaných kolejnic. U starších typů mobilních svařovacích soustav se vyrovnání provádí manuálně a konečná poloha kolejnic se kontroluje vizuálně pomocí ocelového pravítka. Stabilní svářečky a moderní typy mobilních svařovacích souprav mají tento proces automatizován. Samotný proces svařování je řízen podle nastaveného programu a svářeč dohlíží pouze na průběh svařovacího cyklu. [37]

Svarový výronek je v případě svaru kolejnic stejného tvaru odstraněn strojně pomocí hydraulického ořezávače ihned po svaření (min. 840 °C). Pokud se jedná o přechodový svar, výronek je odstraněn ručně nebo strojně pneumatickými sekáči po celém obvodu kolejnice a obrousí nahrubo s přídavkem pro broušení načisto. [37]

Kolejnice standardní jakosti (R260) jsou svařovány stykově s odtavením bez doplňujících požadavků na technologický postup svařování. Kolejnice vyšších jakostí například R350HT, R320Cr disponují vyšší tvrdostí pojížděných ploch, z důvodu jejich nasazení v místech s větším opotřebením (oblouky menších poloměrů). Ohřev konců kolejnic, ke kterému dochází při odtavování konců kolejnic, a následné samovolné ochlazování kolejnic negativně ovlivňuje jejich povrchovou tvrdost. Pro zachování vlastností těchto kolejnic vznikly požadavky na technologii jejich svařování. [37]



Obr. 57 – Svar provedený stykově s odtavením [58]

Kolejnice třídy R350HT musí být po svaření v místě svaru chlazeny proudem stlačeného vzduchu. Chladicí zařízení se nasazuje nejpozději 60 sekund po ukončení stlačení. Teplota hlavy kolejnice musí být tímto způsobem ochlazena během 80 sekund z 800 °C na 500 °C. [37]

Pro zabezpečení požadovaných vlastností svaru z kolejnic R320Cr je nutné svar po ukončení svařovacího cyklu dohřívat po dobu 10 až 20 sekund na teplotě 850 °C až 900 °C. Svar je následně dohříván tak, aby teplota hlavy kolejnice klesala z 800 °C na 500 °C nejméně 18 minut. [37]

V obou případech je nutné teplotu a čas pečlivě měřit. Zbývající chladnutí probíhá stejně jako u kolejnic třídy R260 volně na vzduchu. Svar je značen příslušným razídkem například na stojině kolejnice. Na závěr se po vychladnutí svaru provede jemné přebroušení hlavy kolejnice na temeni a obou bočních plochách. Přebroušení se provádí profilovou bruskou maximálně do vzdálenosti 30 cm od osy svaru. [37]

### 2.5.2.3 Stabilní svařovna

Stacionární svařovna je pracoviště složené z několika druhů strojů, které dohromady tvoří dlouhou pracovní linku. Na počátku této linky je deponie s roztříděnými typy nových kolejnic, případně kolejnic určených k regeneraci. Přesun kolejnic na deponii zajišťují portálové jeřáby. Po pracovní lince se kolejnice pohybují po válečkových drahách. Ke svařování se zpravidla využívá stabilní svářečka K-190 P. [37; 59]

Ve stabilních svařovnách dochází ke svařování kolejnic do dlouhých kolejnicových pásů montážními svary. Tím je omezeno množství prováděných svarů v koleji. Maximální délka kolejnicových pásů pro zřízení BK je určena předpisem [12] a je také omezena technickými možnostmi svařovny (125 m).



Obr. 58 - Modernizovaná svářečka K-190 PK Duchcovská svařovna [60]

V ČR existují dvě takové svařovny, jedna v Duchcově v severních Čechách a druhá ve městě Hranice na Moravě. Historicky byly tyto svařovny zaměřeny na svařování kolejnic základních délek do kolejnicových pásů požadovaných délek 75–125 m. Po modernizaci výroby v Třineckých železárnách, která umožnila produkci kolejnicových pásů délky 75 m, vymizela poptávka po svařování nových kolejnic ve stacionárních svařovnách. [61]

Hlavní činností svařoven se stala regenerace kolejnic. Kolejnice vyzískané na stavbách se kategorizují na kolejnice určené: k regeneraci, použití nebo sešrotování. Kolejnice určené k regeneraci jsou ve stacionární svařovně prohlédnuty, jsou z nich vyřezány staré svary, viditelné i defektoskopické vady. Kolejnice je také možné otáčet, aby byla vytvořena co nejoptimálnější pojížděná hrana. Zbývající části o délce minimálně 5 m jsou svařeny pomocí stykové odtavovací svářečky do dlouhých pásů a tím vznikne regenerovaná kolejnice. Výsledné svary se nakonec zbrousí do čista včetně případných převalků. [61]

Regenerované kolejnice jsou levnější než nové, ale v posledních letech se jejich používání nedaří prosadit i přes rostoucí ceny oceli. Výhodou druhotného využití kolejnic je jednak jejich cena, tak i ekologický význam. [61]

Tab. 14 - Záznam o regenerovaných kolejnicích ve společnosti REGENA, spol. s r.o. [61]

| Rok  | Celkový počet svarů [kus] | Celková délka kolejnic [m] |
|------|---------------------------|----------------------------|
| 2023 | 43                        | 600                        |
| 2022 | 80                        | 1 500                      |
| 2021 | 124                       | 1 850                      |
| 2020 | 1 812                     | 25 534                     |
| 2019 | 1 417                     | 16 990                     |





#### 2.5.2.4 Mobilní svářečka APT 1500 RL

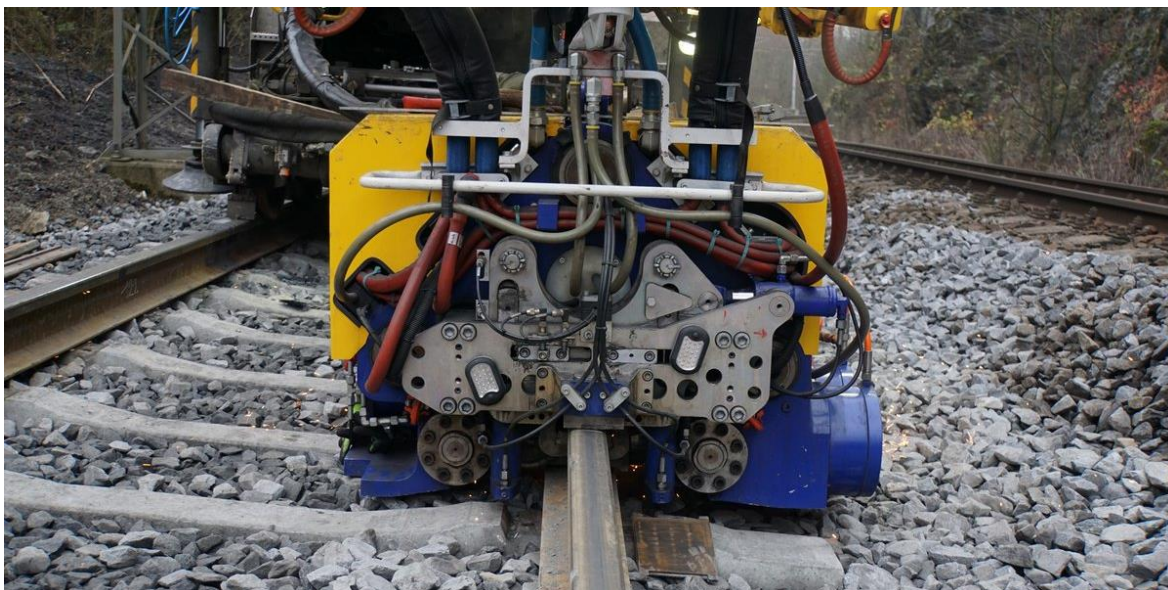
Mobilní svářečky jsou zařízení určená pro svařování kolejnicových pásů přímo v koleji. Jedná se o speciální jednocestná nebo dvoucestná vozidla vybavená potřebnou technologií a hydraulickými rameny se svařovací hlavou. Přehled typů svářeček, které lze pro svařování využít, je uveden v předpisu [37].

Tradičním zástupcem jednocestných mobilních svařoven, které lze dnes v ČR na železničních stavbách vidět, je model K355 T přezdívaný „Prskačka“. Jednocestné mobilní svářečky jsou však vytlačovány dvoucestnými stroji tvořenými modifikovanými nákladními automobily pro jízdu na kolejích. Jejich hlavními výhodami jsou transport po pozemních komunikacích po vlastní ose a jednoduché nakolejení v místě libovolného přejezdu. Jednou z nejmodernějších mobilních svařoven je svařovací robot APT 1500 RL umístěný na podvozku nákladního automobilu MAN společnosti Pirell s.r.o. V zahraničí se tento typ svářeček umísťuje i na jednocestná kolejová vozidla. [38; 62]



Obr. 59 - Mobilní svařovna APT 1500 RL [58]

Pro nasazení mobilní svařovny musí směrové a výškové řešení kolejových polí splňovat technické podmínky vozidla. V případě zřizování BK musí geometrické parametry koleje (dále jen GPK) dodržet podmínky předpisu [12]. Svařovací hlavice je umístěna v zadní části vozidla, proto musí svařovna po celou dobu svařování couvat ve směru zřizování BK. Svařovna zastaví vždy v dostatečné vzdálenosti od dočasné dilatační spáry. Na koncích přivařovaného kolejnicového pásu se uvolní spojky a v celé jeho délce se povolí upevňovací prvky, aby byl umožněn podélný pohyb kolejnice. U kolejnicových pásů přesahujících 50 m je nutné podložit patu kolejnice na každém dvacátém pražci válečkovými stoličkami. Pro umístění svařovací hlavice je potřeba na třech až čtyřech pražcích od místa svaru odstranit upevňovací prvky. Do vzdálenosti deseti pražců od svaru musí být upevňovací prvky v takové poloze, aby nebránily přizvednutí kolejnice. Vlivem dosahujících teplot kolejnice musí být na vedlejších pražcích svaru sundány gumové podložky pod patu kolejnice. Prostor pod svařovací hlavou je potřeba očistit od šterku. Konce kolejnic musí splňovat již zmíněné základní podmínky a posunuty tak, aby se jejich čela téměř dotýkala. Čelisti jsou univerzální pro různé druhy kolejnic. [38]



Obr. 60 - Umístění svařovací hlavy na místo svaru [58]

Svařovací hlavice se umístí nad místo svaru. Dle typu a materiálu kolejnice se vybere příslušný program svařování. Svářečka APT 1500 RL si konce kolejnic sama směrově i výškově vyrovná dle zadané strany kolejnice a následuje samotný proces svařování. Ten je plně automatický. Stroj po celou dobu zaznamenává průběh svařování, seřízne svarový výronek, kontroluje teplotu, řídí případné ochlazování a po splnění předepsaných hodnot uvolní svařovací hlavici. Svařovací hlavice se následně sundá z místa svaru. Sousední pražce svaru se podloží kovovými podložkami a svar je možné přejet strojem k místu dalšího svaru. Po přejetí svářečky se podložky odstraní. [38]



Obr. 61 - Svar po seříznutí výronku [58]

Svar se hrubě obrousí. Po poklesu teploty na 50 °C je možné navrátit pod patu kolejnice v okolí svaru gumové podložky, upevňovač a provést jejich utažení. Svar se jemně obrousí a označí razídkem na nepojížděné straně hlavy kolejnice. Upevňovač se dotáhnou



v délce svařovaných pásů, v případě zřizování BK musí být dodrženy podmínky dle předpisu [12]. Na závěr se provede úprava kolejového lože do původního stavu. [38]

Velkou výhodou tohoto stroje je integrované napínací zařízení pro zřizování závěrných svarů kolejnicových pásů. Postup zřizování BK s napínáním je obdobný procesu bez napínání s výjimkou zkracování kolejnicového pásu pro účely napnutí. Upevňovací v celém napínaném úseku musí být uvolněna a kolejnicový pás umístěn na kluzné stoličky. V případě napínání úseku pod svařovacím strojem je provedeno přizvednutí stroje hydraulickými nohama za účelem umožnění volné dilatace kolejnic pod strojem. [38]



Obr. 62 - Přizvednutí kolejnic svařovací hlavou [58]

Na koncích napínaného úseku se zřídí kotevní úseky v požadované délce dle předpisu [12]. V závislosti na délce a teplotě uvolněného kolejnicového pásu se z tab. 15 určí hodnota prodloužení uvolněného kolejnicového pásu a uvažovaného prokluzu. V místě svaru je potřeba napínaný kolejnicový pás zkrátit tak, aby mezi čely kolejnic byla zajištěna požadovaná hodnota prodloužení. Na začátku, uprostřed a na konci kolejnicového pásu je navíc potřeba vyznačit kontrolní značky pro zjištění výsledných hodnot prokluzu. Proces svařování s napínáním je opět plně automatizován. [38]

V průběhu svařovacího cyklu stroj zaznamenává parametry o svařování i napínání a ukládá je do paměti počítače k pozdějšímu nahlédnutí. Během svařování jsou parametry porovnávány s limitními hodnotami parametrů pro jednotlivé typy kolejnic a třídy oceli. V případě, že je vyhodnocena chyba v některém z parametrů, je tento svar označen za vadný. Tento svar je nutné vyříznout v délce nejméně 60 mm na každou stranu od osy svaru a proces svařování opakovat. [38]

Ve srovnání s jinými mobilními svařovkami umožňuje APT 1500 RL přizvednutí kolejnic upevněných ve svařovací hlavici nad úroveň pražců. To znamená, že kolejnicové pásy není nutné zkracovat z důvodu umístění svaru mezi pražce a svary mohou být prováděny přímo nad pražcem. Výsledkem je menší spotřeba kolejnic. [40]



Tab. 15 - Svařování závěrného svaru (svařovací proces s řízeným odtavením 38 mm) [38]

| $\Delta t$ | Délka uvolněné kolejnice (L) v m |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|            | 20                               | 25  | 40  | 50  | 60  | 75  | 80  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 |
| 1          | -38                              | -38 | -38 | -37 | -37 | -37 | -37 | -37 | -36 | -36 | -35 | -35 | -34 | -33 | -33 |
| 2          | -38                              | -37 | -37 | -37 | -37 | -36 | -36 | -36 | -35 | -33 | -32 | -31 | -30 | -29 | -28 |
| 3          | -37                              | -37 | -37 | -36 | -36 | -35 | -35 | -35 | -33 | -31 | -29 | -28 | -26 | -24 | -22 |
| 4          | -37                              | -37 | -36 | -36 | -35 | -35 | -34 | -33 | -31 | -29 | -27 | -24 | -22 | -20 | -17 |
| 5          | -37                              | -37 | -36 | -35 | -35 | -34 | -33 | -32 | -29 | -27 | -24 | -21 | -18 | -15 | -12 |
| 6          | -37                              | -36 | -35 | -35 | -34 | -33 | -32 | -31 | -28 | -24 | -21 | -17 | -14 | -10 | -7  |
| 7          | -36                              | -36 | -35 | -34 | -33 | -32 | -32 | -30 | -26 | -22 | -18 | -14 | -10 | -6  | -2  |
| 8          | -36                              | -36 | -34 | -33 | -32 | -31 | -31 | -29 | -24 | -20 | -15 | -10 | -6  | -1  | 3   |
| 9          | -36                              | -35 | -34 | -33 | -32 | -30 | -30 | -28 | -22 | -17 | -12 | -7  | -2  | 3   | 9   |
| 10         | -36                              | -35 | -33 | -32 | -31 | -29 | -29 | -27 | -21 | -15 | -9  | -4  | 2   | 8   | 14  |
| 11         | -35                              | -35 | -33 | -32 | -30 | -29 | -28 | -25 | -19 | -13 | -6  | -0  | 6   | 13  | 19  |
| 12         | -35                              | -35 | -32 | -31 | -30 | -28 | -27 | -24 | -17 | -10 | -4  | 3   | 10  | 17  | 24  |
| 13         | -35                              | -34 | -32 | -31 | -29 | -27 | -26 | -23 | -16 | -8  | -1  | 7   | 14  | 22  | 29  |
| 14         | -35                              | -34 | -32 | -30 | -28 | -26 | -25 | -22 | -14 | -6  | 2   | 10  | 18  | 26  | 34  |
| 15         | -35                              | -34 | -31 | -29 | -28 | -25 | -24 | -21 | -12 | -4  | 5   | 14  | 22  | 31  | 40  |
| 16         | -34                              | -33 | -31 | -29 | -27 | -24 | -23 | -20 | -10 | -1  | 8   | 17  | 26  | 36  | 45  |
| 17         | -34                              | -33 | -30 | -28 | -26 | -23 | -22 | -18 | -9  | 1   | 11  | 21  | 30  | 40  | 50  |
| 18         | -34                              | -33 | -30 | -28 | -26 | -22 | -21 | -17 | -7  | 3   | 14  | 24  | 34  | 45  | 55  |
| 19         | -34                              | -33 | -29 | -27 | -25 | -22 | -21 | -16 | -5  | 6   | 17  | 28  | 38  | 49  | 60  |
| 20         | -33                              | -32 | -29 | -27 | -24 | -21 | -20 | -15 | -4  | 8   | 20  | 31  | 43  | 54  | 66  |
| 21         | -33                              | -32 | -28 | -26 | -24 | -20 | -19 | -14 | -2  | 10  | 22  | 34  | 47  | 59  | 71  |
| 22         | -33                              | -32 | -28 | -25 | -23 | -19 | -18 | -13 | -0  | 13  | 25  | 38  | 51  | 63  | 76  |
| 23         | -33                              | -31 | -27 | -25 | -22 | -18 | -17 | -12 | 2   | 15  | 28  | 41  | 55  | 68  | 81  |
| 24         | -32                              | -31 | -27 | -24 | -21 | -17 | -16 | -10 | 3   | 17  | 31  | 45  | 59  | 72  | 86  |
| 25         | -32                              | -31 | -27 | -24 | -21 | -16 | -15 | -9  | 5   | 20  | 34  | 48  | 63  | 77  | 91  |
| 26         | -32                              | -31 | -26 | -23 | -20 | -16 | -14 | -8  | 7   | 22  | 37  | 52  | 67  | 82  | 97  |
| 27         | -32                              | -30 | -26 | -22 | -19 | -15 | -13 | -7  | 9   | 24  | 40  | 55  | 71  | 86  | 102 |
| 28         | -32                              | -30 | -25 | -22 | -19 | -14 | -12 | -6  | 10  | 26  | 43  | 59  | 75  | 91  | 107 |

### 2.5.3 Svařování elektrickým obloukem

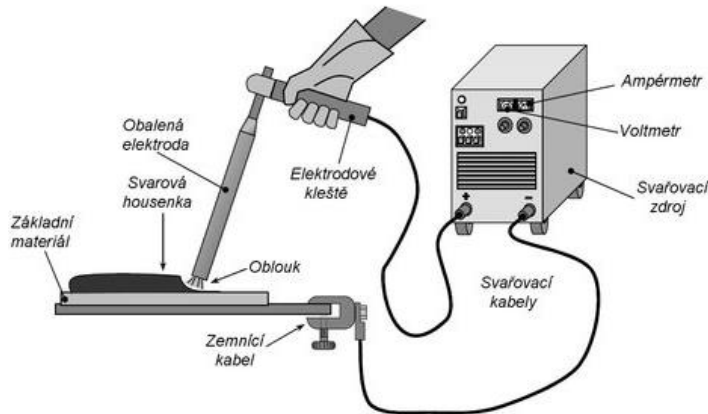
Kolejnice se zpravidla svařují standardními metodami uvedenými v kapitolách 2.5.1 a 2.5.2. Svařování elektrickým obloukem je koncipováno jako technologie doplňková, kterou lze použít pouze v opodstatněných případech. Předpis [37] povoluje použití doplňkových metod v kolejích 5. a 6. řádu s rychlostí  $\leq 80$  km/h nebo ve stísněných podmínkách konstrukce železničního svršku (např. za srdcovkou výhybky 1:7,5-190). Problematika svařování elektrickým obloukem tkví v proměnlivé kvalitě provedeného svaru, jenž je plně závislá na lidském činiteli. [37]

V průmyslu se jedná o nejrozšířenější metodu tavného svařování. Zdrojem tepla je elektrický oblouk hořící mezi elektrodou a svařovaným materiálem. Teplo generované elektrickým obloukem roztaví základní, popřípadě přídavný materiál a svar se vyplní svarovým kovem. [63]

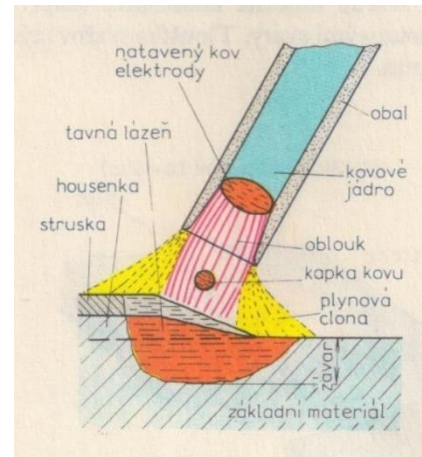


### 2.5.3.1 Svařování ručně obalovanou elektrodou – Esab

Při tomto druhu svařování se používá obalovaná elektroda. Jejím základem je kovová tyčinka tzv. jádro elektrody a obal, který jádro obklopuje. Základními úkoly obalu jsou ochrana svarového kovu během svařování, usnadnění hoření elektrického oblouku, zvýšení produktivity svařování a zlepšení metalurgické kvality svaru. [63]



Obr. 64 - Zařízení pro svařování obalovanou elektrodou [64]



Obr. 63 - Řez obalovanou elektrodou [77]

Při hoření elektrického oblouku dochází k tavení svařovaného materiálu včetně kovového jádra elektrody a jejího obalu. Kovové jádro slouží jako přídavný materiál vyplňující místo svaru. Tavením obalu vzniká struska, která obaluje roztavené kapky kovu a spolu s produkovanými plyny chrání svarový kov před škodlivými účinky vzduchu. Struska také zpomaluje rychlost chladnutí svarového spoje. To pomáhá minimalizovat teplotní pnutí, které by mohlo vést k deformaci svařovaného materiálu. Přednostním výrobcem svařovacích elektrod a tavidel v ČR je firma ESAB Vamberk. [63]

### 2.5.3.2 Svařování poloautomatem plněnou elektrodou s vlastní ochranou – Innershield

Technologie Innershield kombinuje výhodné vlastnosti svařování obalovanou elektrodou a metody tavicího se drátu v ochranném plynu (MIG/MAG). Výsledkem je technologie vynikající svojí mobilitou, operativností, odolností proti povětrnostním podmínkám a vysokou produktivitou práce. [65]

Základním principem této metody je trubičkový drát plněný tavidlem. Při hoření elektrického oblouku dochází k tavení elektrody včetně obsaženého tavidla, které uvolňuje plyny ochraňující elektrický oblouk a svarový kov. Výsledný svar je pokryt ochrannou vrstvou strusky. [65]



Obr. 65 - Svařovací pistole a podavač drátu Lincoln Electric [Zdroj: Autor]

Na rozdíl od metod MIG/MAG není potřeba do místa svařování přivádět dodatečný ochranný plyn. Ochranná lázeň proti účinkům atmosféry je zaručena plněným tavidlem až do rychlosti větru 50 km/h. Výhodou oproti svařování obalenou elektrodou je až čtyřnásobný výkon navaření v závislosti na použitém typu elektrody. Svařování není potřeba přerušovat kvůli výměně elektrody, protože trubičkový drát je do místa svaru podáván plynule bez přerušení. [65]



Obr. 66 - Cívka plněného drátu Lincoln 33 průměr 2,0 mm [Zdroj: Autor]



## 2.6 Tramvajová doprava

Tramvajová doprava je druhem městské hromadné dopravy pohybující se po kolejové dráze. Svými vlastnostmi se odlišuje od dráhy železniční, a proto je v ČR legislativně dle zákona č. 266/1994 Sb. „o drahách“ [66] i technickými předpisy oddělena od dráhy železniční.

Tramvaje se obvykle pohybují přímo v uličním prostoru. To znamená častá úrovněová křížení s pěší i automobilovou dopravou i podélný souběh s ostatními druhy dopravy. V místech příznivých prostorových podmínek se tramvajová dráha umísťuje na samostatné těleso tak, aby nepřicházela do přímého kontaktu s ostatními druhy dopravy. Tím se zvyšuje přepravní kapacita a rychlost tramvajové dopravy. [67]

Intenzita tramvajové dopravy dosahuje vysokých hodnot. Na některých frekventovaných úsecích projede ve špičkách až 50 spojů za hodinu. Zastávky tramvajové dopravy jsou od sebe vzdáleny velice blízko (v centru 300 až 500 m). Tramvaje se pohybují v úrovni vozovky, a proto se musí řídit pravidly silničního provozu. To vše vede k častým změnám rychlosti, brzdění a rozjíždění, což vede k rychlejšímu opotřebení kolejnicových pásů. [67]

Směrové a výškové vedení tramvajových tratí je v městských oblastech přizpůsobeno spletnému uspořádání ulic, což se projevuje především malými poloměry směrových oblouků (stávající tratě  $R \geq 25$  m). Tomu musí náležitě odpovídat i konstrukce vozového parku a návrhová rychlost. [67]

### 2.6.1 Bezstyková kolej na tramvajových tratích

Zřizování bezstykové koleje na tramvajových tratích okrajově definuje norma ČSN 73 6405 [68]. Na rozdíl od drah železničních, které podléhají regulaci ze strany Správy železnic, neexistuje pro dráhy tramvajové žádná centrální národní organizace s komplexními předpisy pro jejich navrhování a výstavbu. To vede k tomu, že konstrukce tramvajových tratí je odlišná v závislosti na dopravním podniku. Rozmanitost v konstrukci tramvajových tratí má kořeny v historickém vývoji městské dopravy v jednotlivých aglomeracích. V důsledku toho se u dopravních podniků vyvinuly vlastní interní předpisy týkající se specifik konstrukce tratí. Tyto předpisy však obvykle nejsou veřejně dostupné, a proto neexistuje jednotný přístup k navrhování tramvajových tratí v celostátním měřítku. Výsledný návrh tramvajové konstrukce tak závisí do značné míry na dosavadních zkušenostech a znalostech projektanta.

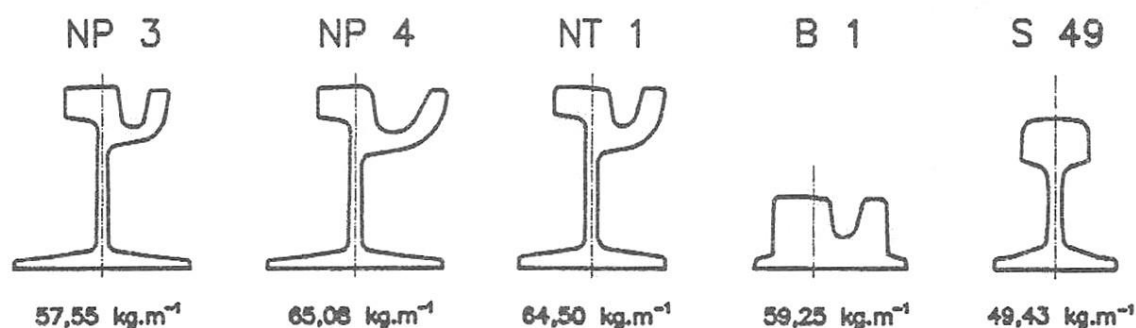
Tramvajová kolej se zřizuje stejně jako kolej železniční bezstykově. Stykovanou kolej je možné v Praze nalézt už jen na několika málo výhybkách. Stabilita BK je v malých směrových obloucích zabezpečena specifickou konstrukcí tramvajového svršku. Tramvajový svršek je v místech sdílených s pěší a silniční dopravou uzavřen krytem, který je zarovnan s temenem kolejnice a tvoří pojížděnou vozovku. Kryt omezuje množství dopadajících slunečních paprsků na povrch kolejnice, a proto nedochází k výrazným změnám její teploty a vzniku nebezpečných tahových nebo tlakových napětí uvnitř kolejnice. Stabilita BK je navíc podpořena vysokým příčným odporem koleje. Ten je zaručen



nestlačitelností konstrukčních vrstev mezi kolejnicovými pásy a uličním obrubníkem nebo jinými tuhými objekty. I zde však existují výjimky, např. blokové kolejnice v panelech BKV, které jsou náchylné na vybočení ve svislé rovině. V úsecích mimo městskou zástavbu se tramvajový svršek obvykle zřizuje bez zákrytu v podobě známé z železničních tratí.

### 2.6.1.1 Kolejnice

Z důvodu krytu tramvajového svršku se používají žlábkové kolejnice stojinové typu NT 1, NT 3, náběžné kolejnice NT a blokové kolejnice typu B1 a B3. [22] V minulosti se běžně dodávali kolejnice NP 3 a NP 4. V kolejích s otevřeným svrškem se používají širokopatní kolejnice 49 E1. Změny tvaru kolejnic se provádí přechodovou kolejnici. V případě krátkého úseku (např. přejezd tramvajové trati) lze z klasické širokopatní kolejnice pomocí profilu S 49 Krug vytvořit kolejnici žlábkovou. [67]



Obr. 67 - Vybrané tvary kolejnic užívané na tramvajových tratích v ČR [9]

Kolejnice jsou u tramvajových tratí namáhány menším nápravovým zatížením než kolejnice pojižděné železniční dopravou. Jsou však vystaveny častému rozjíždění, brždění, pískování a velkému tření mezi okolkem tramvajového kola a žlábkem v obloucích malého poloměru. Žlábkové kolejnice se v ČR vyrábí z oceli jakosti UIC 700 a UIC 900 A. Tomu odpovídá třída oceli R220 a R260. Preventivní ochrana pojižděných hran tvrdonávarem se v ČR neprovádí. K návarům se přistupuje až při opravách ojetých kolejnic. [67]

### 2.6.1.2 Svařování

BK se na tramvajových tratích obvykle svařuje pomocí elektrického oblouku plněnými nebo obalovanými elektrodami. V porovnání s BK na železnici se na tramvajových tratích mnohem méně používají metody aluminotermického svařování a stykového odtavovacího svařování. [9]

Nejméně často se pro svařování BK používá aluminotermické svařování. [9] Lze ho využít pouze pro svařování kolejnic v přímých úsecích. Aplikace této metody v obloucích malých poloměrů je značně problematická z důvodu obtížného nasazení a utěsnění formy na kolejnicích vysoké křivosti. Svařování mobilní svařovnou stykově s odtavením se používá, ale z ekonomického hlediska je její použití vhodné spíše pro svařování dlouhých úseků, aby byl efektivně využit její svařovací výkon. [9; 69]





Celkový rozsah kolejnic svařovaných v tramvajových tratích je výrazně menší než v tratích železničních. Na nových tramvajových tratích se svařují krátké úseky, navíc z důvodu charakteristické výstavby v zastavěném prostředí je jejich svaření často rozděleno do několika fází spojených s postupnou výstavbou krytů a zpřístupněním některých úseků pro potřeby osobní dopravy veřejnosti.

Svařování elektrickým obloukem je nejuniverzálnější metodou v městském prostředí. Jedná se o technologii nenáročnou na přípravu a na prostorové podmínky. Je vhodná pro svařování nově zřizovaných úseků i pro opravy stávajících tratí. Nevýhodou této metody je proměnlivá kvalita svarů, která je přímo závislá na dodržení správného postupu svářečem. V rámci městské dopravy je však tento aspekt zanedbatelný. Hodnoty zatížení BK na tramvajových tratích nedosahují hodnot železniční dopravy a rychlost tramvají je znatelně menší s lepšími brzdnými účinky. Případné poruchy tak nemají fatální následky. Poruchy lze pohotově opravit a mezitím se tramvajová doprava přesune na vhodnou objízdnou trasu nebo nahradí jiným typem dopravy. [37] [67]

Svařování elektrickým obloukem se provádí dvěma způsoby. První metodou je technologie Innershield (svařování plněnou elektrodou) a druhá je svařování ručně obalenou elektrodou. Principy obou metod jsou popsány v kapitole 2.5.3. [69]

Pro svařování nových kolejnic se používá technologie Innershield. Její hlavní výhodou je vysoká produktivita práce. Svařování obalenou elektrodou se využívá v případech, kdy je nutné svařit stávající kolejnice. Obalovaná elektroda v porovnání s plněnou lépe snáší lehké znečištění v podobě rzi, případně živičných pojiv a hoření elektrického oblouku je stabilnější. I zde je však nutné dbát na dodržování pracovních postupů a řádné očištění spojovaných materiálů. [69]

Pro svařování závěrných svarů kolejnicových pásů bez dodatečných úprav napětí je DUT v kolejích s otevřeným kolejovým ložem od +15 °C do +25 °C a v kolejích se zapuštěným kolejovým ložem od +10 °C do +28 °C. Svářečské práce je možné provádět pouze za příznivých klimatických podmínek při teplotě vzduchu od +5 °C (měřeno 10 cm nad zemí). V případě potřeby svařování v nepříznivých klimatických podmínkách (sněžení, déšť) je nutné zajistit technologické podmínky svařování pro zaručení kvality výsledných svarů (např. ochrana proti dešti nebo sněžení, předešev). [48]

### 2.6.1.3 Navařování

Zvláštní kapitolou ve svařování součástí železničního svršku je navařování. Navařování se využívá k opravám porušených míst železničního svršku (např. ojetí kolejnic). Na železnici se s navařováním setkáme ve výhybkách na pojížděných plochách jazyků a srdcovek (hroty a křídlové kolejnice). [70]

Na tramvajích jsou tyto opravy mnohem častější. Navařování se zaměřuje především na boční ojetí žlábkových kolejnic a projetí kolejnicových žlábků srdcovek. Boční ojetí je způsobeno velmi malými poloměry směrových oblouků a vertikální opotřebení pojezdem okolku. Okolek kola se v koleji nedotýká dna žlábků a pouze zaručuje správné vedení

tramvajového kola ve směrovém oblouku. V místě křížení kolejnicových pásů se však používají srdcovky frézované s mělkým žlábkem, aby kolo plynule překonalo křížení jízdou po okolku. [71]

Důvodem tohoto řešení je nemožnost použití standardních žlábků v místě křížení z důvodu velkých úhlů (až 90°) protínajících se kolejí. V křížení by mělo být zajištěno plynulé nesení kola při přechodu z hrotu na křídlovku srdcovky. Tramvajové kolo má však menší šířku obruče než kolo železniční a při křížení pod velkým úhlem by se kolo v oblasti přechodu propadlo a působilo dynamické rázy. Z toho důvodu jsou srdcovky frézovány s mělkým žlábkem tak, aby kolo překonalo křížení plynule jízdou po okolku. V Ostravě používají v srdcovkách hluboké žlábky, což je dáno vlečkovým využitím tramvajových tratí ve městě a použitím kol větších rozměrů. [72]

K navaření vertikální vrstvy svarového materiálu na dno žlábků se využívá technologie Innershield. Navařování probíhá bez výluky zpravidla v nočních hodinách, kdy je tramvajový i silniční provoz minimální. Na navařování se nejlépe podílí tříčlenná četa složená ze dvou svářečů a jednoho podavače/hlídače provozu. Technologie je natolik skladná, že stačí pro uvolnění cesty tramvaji přesunout několik kusů vybavení. Průjezd tramvaje prováděný návar nijak nepoškozuje, naopak při provádění návarů ve více vrstvách se mezi jednotlivými vrstvami nechává časová prodleva, aby návar nabyl na tvrdosti poježděním okolku tramvajů. [69]



Obr. 68 - Provádění návaru žlábků svářeči Pražské strojírny a.s. na tramvajové křižovatce Anděl  
[Zdroj: Autor]

Boční ojetí se navařuje pomocí speciálního zařízení pro tvrdonávary žlábkových kolejnic. Jedná se o svařovací soupravu schopnou automatizovaného svařování pod tavidlem. Tato metoda potřebuje minimální obsluhu a hodí se zejména na velice dlouhé svary. Do místa svaru je podávána tavná elektroda v podobě holého drátu s chemickým složením  $\text{Cr}_{18}\text{Ni}_8\text{Mn}_6$ . Elektrický oblouk hoří pod vrstvou granulovaného anorganického tavidla. Část tavidla se během svařovacího procesu roztaví a vytvoří struskový obal chránící tavený



materiál. Zbytek tavidla je odsán zpět do násypky. Jednou z výhod této technologie je neosvětlování okolí hořením elektrického oblouku. Těto metody se využívá pro velký objem práce a kvalitu svarů. Tvrdonávar dosahuje až 30% nárůstu tvrdosti v porovnání se základním materiálem kolejnice. Za osmihodinovou směnu lze s jednou soupravou navařit a obrousit cca 20 m návaru. [63; 70]

Před navařováním žlábkových kolejnic tvrdonávarem se musí poškozené části kolejnic očistit broušením, vysušit propan-butanovým hořákem a případně předehtát. Předehtávání kolejnic pro účely navařování se na kolejnicích umístěných ve vozovkovém krytu téměř nepoužívá. K vybroušení návaru do požadovaného tvaru se využívá speciálních kolejových brusných strojů. K vybroušení dokonalého tvaru žlábků se využívá brusný kolejový stroj s drátěným kotoučem. V případě broušení návaru temene kolejnice se používá brusný kolejový stroj s hrncovým kotoučem pro přesnou modelaci hlavy kolejnice podle pěti brusných rovin. [69]

Ve směrových obloucích malých poloměrů a v místech křížení několika kolejových směrů je nutné provádět navařování tvrdonávarem každý rok (např. Anděl, Karlovo náměstí). [69]



Obr. 69 - Brusný kolejový stroj pro vybroušení žlábků [Zdroj: Autor]



### 3 Praktická část

Praktická část této bakalářské práce se zabývá měřeními a vyhodnocením drsnosti kolejnic v místě svaru kolejnic.

#### 3.1 Cíle měření

Cílem měření je vyhodnotit, zda v místě svaru kolejnice nebo jeho okolí jsou patrná místa s odlišnou drsností kolejnicového pásu. Cílem měření není porovnat tato místa hned po provedení svaru a jeho přebroušení, ale zaměřit se na kolej tzv. „zajetou“, tedy po určitém období provozu.

Pro měření byla vytipována kolej svařovaná technologií odtavovacího stykového svařování a dále kolej svařovaná aluminotermickým svařováním.

Pro tuto úlohu byl použit přístroj Salamander od výrobce KŽV s.r.o., který je ve vlastnictví Katedry železničních staveb. Volba tohoto přístroje se ukázala jako ideální, jelikož eliminovala nutnost závislosti na externích organizacích a umožnila tak flexibilní a nezávislé provádění měření.

#### 3.2 Popis přístroje Salamander

Přístroj Salamander je ruční měřicí vozík vyrobený firmou Komerční železniční výzkum, spol. s.r.o. (KŽV s.r.o.) pro účely měření drsnosti a vlnovitosti kolejnicových pásů. [73]

Přístroj zaznamenává vzdálenosti mezi pojížděným temenem kolejnicového pásu a laserovými snímači měřicího vozíku v závislosti na staničení. Celkem je přístroj vybaven třemi laserovými snímači s rozlišením 0,0002 mm. Naměřená data jsou ukládána ve formě primárních signálů qR1, qR2 a qR3. [73] Snímače jsou umístěny v jedné linii, tak aby při pojezdu vozíku docházelo ke snímání temene kolejnice ve stejné stopě. Polohu laserů napříč hlavou kolejnice lze nastavit tak, aby měření bylo provedeno na pojížděné ploše temene kolejnice. Tato plocha je obvykle vizuálně rozpoznatelná jako lesklá plocha určité šířky na temeni kolejnice.



Obr. 70 - Rozložený měřicí vozík Salamander v přepravním boxu [Zdroj: Autor]



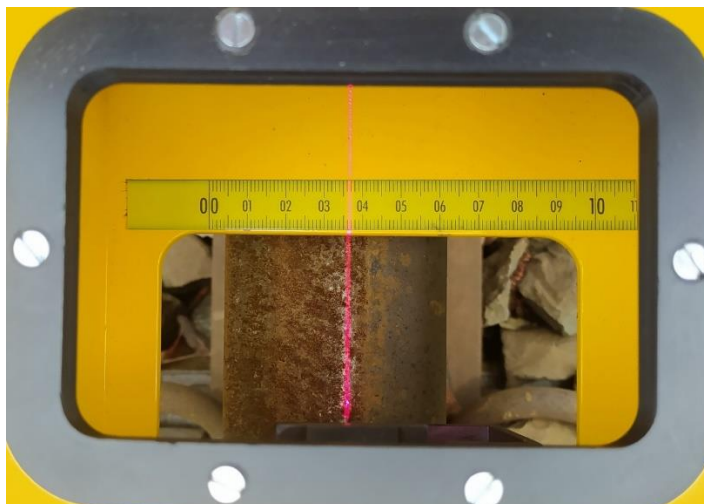
Ruční měřicí vozík Salamander je kompaktní a přenosný nástroj pro diagnostiku kolejnicových pásů s hmotností pouhých 18 kg. Jeho modulární konstrukce umožňuje snadnou demontáž a montáž na místě, čímž šetří čas a usnadňuje přepravu. Skládá se ze tří částí a k jeho přepravě slouží robustní přepravní box s kolečky. [73]

Nejmohutnější částí vozíku je část vybavená elektromotorem a sadou laserových snímačů. Umisťuje se podélně na kolejnicový pás, který je podroben diagnostice. K této jednotce se vertikálním šroubem upevňuje příčná část, která tvoří podporu na druhém kolejnicovém pásu. Pro omezení natáčení příčného trámu a zaručení stability vozíku v koleji se střední a hlavní část propojí šikmou vzpěrou. Pro optimální přizpůsobení rozchodu koleje je rám vybaven pevně nastavitelným vysouvacím mechanismem a pružinovou částí umožňující malé změny rozchodu koleje. Poslední částí je vodící madlo, které se připevňuje ke stabilizačnímu rámu. Madlo slouží k ručnímu manévrování vozíkem v případě, že není použit motorový pohon.



Obr. 71 - Jednotlivé části přístroje Salamander [Zdroj: Autor]

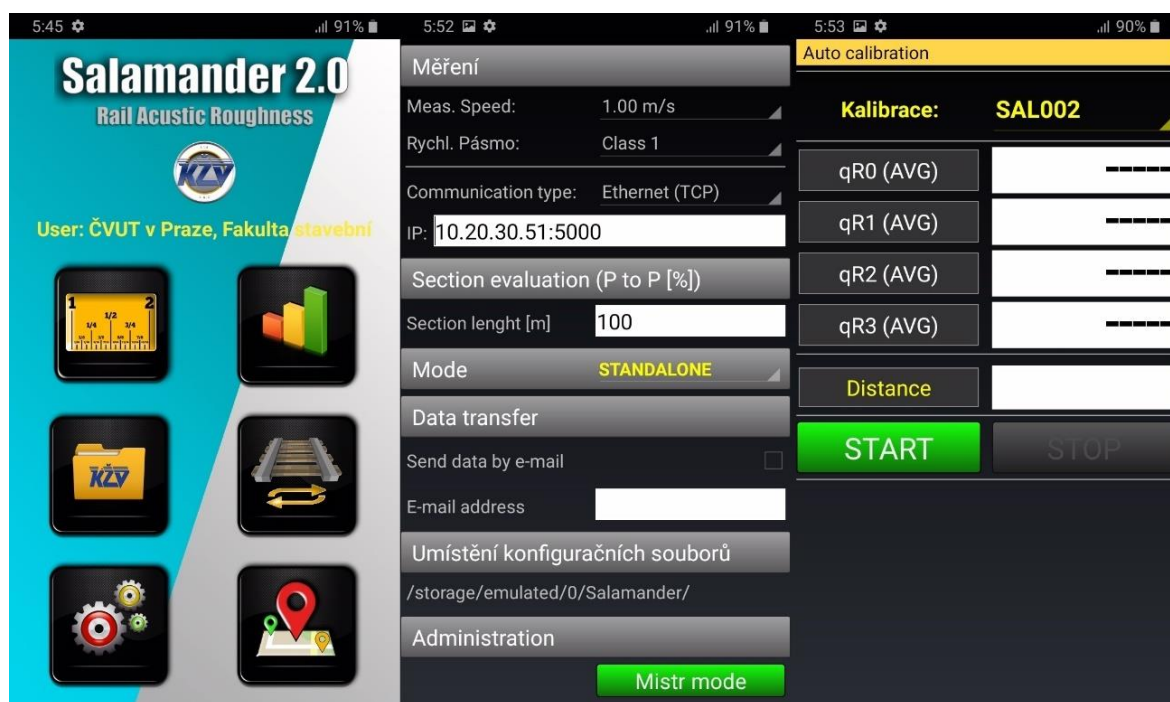
Přístroj umožňuje snímání dat v intervalu 0,5 mm nebo 1 mm. To znamená, že na vzdálenosti 1 m přístroj zaznamená 2000 nebo 1000 naměřených hodnot. Vozík se může pohybovat za pomoci vlastního pohonu rychlostí 0,25; 0,5; 0,75 nebo 1 m/s. Maximální rychlost měření je 2 m/s. Této rychlosti je možné dosáhnout pouze manuálním pohonem vozíku. [73]



Obr. 72 - Volba stopy měření [Zdroj: Autor]

Ovládání měřicího zařízení probíhá skrze chytrý mobilní telefon s nainstalovanou aplikací Salamander 2.0. K propojení těchto zařízení je možné využít datový kabel nebo technologii Bluetooth. Jelikož v průběhu měření dochází k okamžitému přenosu dat do paměti mobilního zařízení, je doporučeno použít datového kabelu, který je spolehlivější variantou přenosu informací.

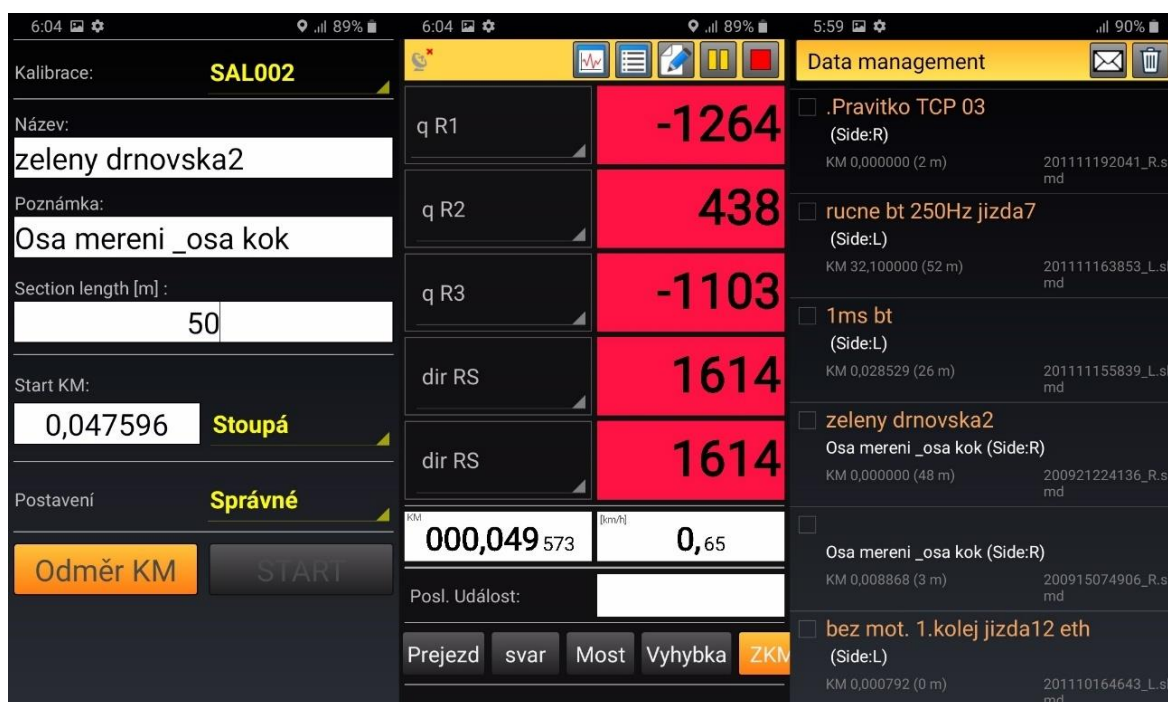
Prostředí aplikace je intuitivní a jednoduché na používání. Základní menu nabízí několik funkcí, které souvisejí s používáním aplikace. Nejdříve je vhodné zkontrolovat nastavení. Nejdůležitějšími položkami jsou typ propojení (datový kabel/bluetooth) a rychlost měření v případě použití elektrického pohonu. Před začátkem měření je možné spustit autokalibraci vozíku nebo nastavit limitní hodnoty jednotlivých signálů. Aplikace umožňuje i procházení záznamů předešlých měření.



Obr. 73 - Prostředí aplikace Salamander 2.0 [Zdroj: Autor]



Před začátkem měření je nutné vyplnit základní informace o měřeném úseku: název a délku úseku, počáteční staničení a jeho směr, postavení vozíku vzhledem ke směru měření a eventuální poznámky např. jedná-li se o levý či pravý kolejnicový pás. Po spuštění záznamu dat se vozík v případě zadání délky měřeného úseku samovolně rozjede a ujede zmíněnou vzdálenost. Pokud tato možnost zůstala nevyplněna, může se s vozíkem manipulovat ručně dle libosti. V průběhu měření lze s vozíkem zastavit a do záznamu přidat polohu významného bodu. V případě této práce se bude jednat o místa svarů. Zadání významných bodů je užitečné v závěrečném vyhodnocování naměřených dat. Nakonec je záznam potřeba uložit.



Obr. 74 - Funkce měření v aplikaci Salamander 2.0 [Zdroj: Autor]

### 3.3 Vyhodnocení dat v programu Salamander 10

Naměřená data se zpracovávají v programu Salamander 10. Software je určen pro operační systém Windows, a proto je nutné soubor s naměřenými daty zkopírovat z měřicího zařízení do počítače. Soubor je ve formátu SLMD a jeho spuštění je možné pouze v oficiálním programu. Hlavní funkcí výpočetního programu je vyhodnocení periodických nerovností temene kolejnicových pásů v pěti délkových pásmech:

D1 (0–30 mm),

D2 (30–100 mm),

D3 (100–300 mm),

D4 (300–1000 mm),

D5 (1000–3000 mm). [74]

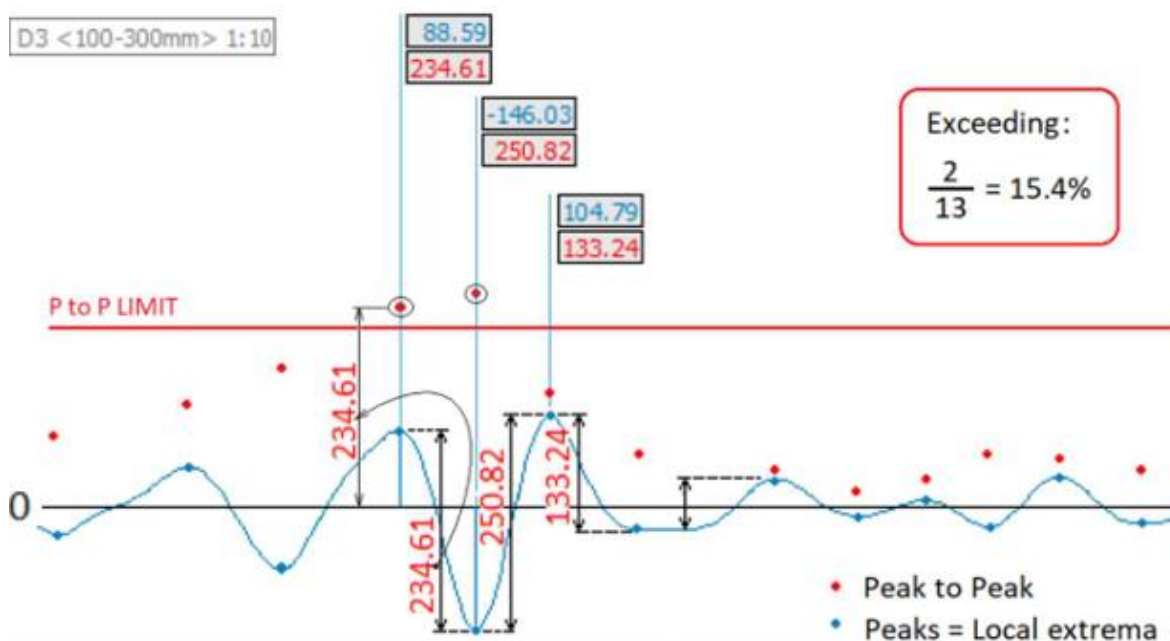


Rozsah pásem D1 až D4 slouží k vyhodnocování vlnkovitosti dle normy ČSN EN 13231-2. Železniční aplikace – Kolej – Přejímka prací – Část 2 [75]. Software je doplněn o délkové pásmo D5, které slouží k odhalování dlouhých vln. [74]

Pro záměr této bakalářské práce, kterým je posouzení nejbližšího okolí svaru, je možné využít vyhodnocení pouze v délkovém pásmu D1 (tj. 10–30 mm), ve kterém by měly být případné nerovnosti způsobené svarem viditelné.

Druhou funkcí je vyhodnocení akustické drsnosti pomocí třetinooktávové analýzy. Tato funkce je však pro účely této práce nepotřebná. Naměřená data jsou programem zpracována a prezentována v tabulkové nebo grafické podobě. [74]

Po spuštění programu jsou primární signály přepočteny a naměřená data rozřazena do jednotlivých délkových pásem (D1 až D5). Pro účely vyhodnocení vlnkovitosti dle kritérií uvedených v normě [75] jsou rozříděná data zpracována metodou Peak to Peak. Tato metoda využívá procento vrcholů, které přesahují daný limit pro délkové pásmo. Vzdálenost mezi dvěma za sebou následujícími vrcholy je vynesena nad nulovou čáru a porovnána s nastaveným limitem (červená vodorovná čára). Z počtu vrcholů přesahujících tento limit je vypočteno procentuální překročení limitů, které se porovnává s hodnotami Třídy 1 nebo Třídy 2. [74]



Obr. 75 - Ukázka metody P to P na signálu délkového pásma D3 [74]

Tab. 16 - Limity „špička“ – „špička“ (P to P) [75]

| Vlnový rozsah (mm)           | 10 až 30 | 30 až 100 | 100 až 300 | 300 až 1 000 |
|------------------------------|----------|-----------|------------|--------------|
| Limit „špička – špička“ (mm) | ±0,010   | ±0,010    | ±0,015     | ±0,075       |





Tab. 17 - Minimální podíl měření v limitu „špička“ – „špička“ (P to P) [75]

| Vlnový rozsah (mm) | 10 až 30        | 30 až 100 | 100 až 300 | 300 až 1 000    |
|--------------------|-----------------|-----------|------------|-----------------|
| Třída 1            | 95 %            | 95 %      | 95 %       | 95 %            |
| Třída 2            | žádný požadavek | 90 %      | 90 %       | žádný požadavek |

Program umožňuje úpravu signálů ve smyslu vyhlazování defektů, které prokazatelně neovlivňují výsledky a smysl měření (např. výpadek při průjezdu výhybkou). Pro ověření správnosti naměřených dat je vhodné před samotným vyhodnocením zkontrolovat průběh primárních signálů v grafickém zobrazení. Tímto úkonem lze odhalit chybějící data nebo jiné výrazné odchylky.

Funkce editace primárních dat byla ve verzi softwaru Salamander 10 vlastněné Katedrou železničních staveb nefunkční. Problém byl řešen se zástupci společnosti KŽV s.r.o., kteří nám ochotně poskytli novou verzi programu, čímž se problém vyřešil.

Předností programu je např. grafické porovnání jednotlivých veličin v rámci jednoho nebo dvou souborů měření, případně úprava začátku a konce měřeného úseku.

### 3.4 Pilotní měření

Před měřením na zvolených úsecích bylo dne 18.3.2024 provedeno ověřovací pilotní měření na úseku tramvajové tratě s kolejnicí 49 E1. Účelem měření bylo seznámit se s měřícím vozíkem, ověřit jeho funkčnost a ověřit stažení a vyhodnocení dat.

### 3.5 Úsek č. 1 – „Drnovská“ – Stykový odtavovací svar

Pro měření byl vybrán úsek na tramvajové trati Divoká Šárka – Dědina mezi zastávkami Ciolkovského a Dědina. Měření bylo provedeno na koleji č. 2 ve staničení cca km 7,0 v přímém úseku trati. Tramvajový svršek je v tomto úseku tvořen samostatným tělesem s otevřeným kolejovým ložem. Předmětem měření byl levý kolejnicový pás tvořený širokopatní kolejnicí 49 E1 upevněnou na příčných betonových pražcích B03 s bezpodkladnicovým upevněním W14.

Tento úsek byl vybrán z důvodu použité technologie stykového odtavovacího svařování kolejnic. Provoz na tramvajové trati Divoká Šárka – Dědina byl spuštěn 23.10.2023 a je tvořen tramvajovými linkami č. 20 a 26 se špičkovým intervalem 4 minuty.

Měření proběhlo dne 23.4.2024, tedy 6 měsíců od zahájení provozu. Od provedení svaru zde projelo cca 36000 spojů, čemuž odpovídá hrubá zátěž cca 1,656 mil. hrt.

Toto místo je dále pro zjednodušení a přehlednost nazýváno jako „Drnovská“.



Obr. 77 - Detail svaru [Zdroj: Autor]



Obr. 76 - Detail pojížděné plochy kolejnice [Zdroj: Autor]

Měření probíhalo za provozu během intervalů tramvají. Pro účely měření bylo potřeba zastavit v místě svaru a označit tento bod v měřicí aplikaci, a proto byl vozík poháněn ručně. Poloha měřicí stopy byla zvolena na ose kolejnice.

Kolejnicový pás byl změřen dvakrát – vždy v poloze nesprávné proti staničení. První pojezd vozíkem měřil 23 m, druhý 48 m. V obou případech se začínalo ve vzdálenosti 13 m před svarem č. 1. Úsek délky 48 m obsáhl oproti kratšímu úseku navíc svar č. 2.

### 3.6 Úsek č. 2 – „Dejvice“ – Aluminotermický svar

Pro měření byl vybrán úsek na železniční trati 120 Praha – Kladno – Rakovník mezi stanicemi Praha-Bubny a Praha-Dejvice. Trať je v tomto úseku jednokolejná. Měření proběhlo ve staničení cca km 2,8 v oblouku o poloměru cca 700 m. Konkrétní poloha místa měření se nacházela v blízkém okolí přejezdu P2. Železniční svršek je v tomto úseku tvořen samostatným tělesem s otevřeným kolejovým ložem. Předmětem měření byl levý i pravý kolejnicový pás tvořený širokopatní kolejnici 49 E1 upevněnou na příčných betonových pražcích B91S s bezpodkladnicovým upevněním W14.

Tento úsek byl vybrán z důvodu použité technologie aluminotermického svařování kolejnic a z důvodu současného přerušování provozu, které umožnilo bezpečný pohyb v kolejišti. Provoz je v pravidelném provozu tvořen osobními, spěšnými vlaky a rychlíky Praha – Kladno a tvoří ho cca 45 párů vlaků denně.

Měření proběhlo dne 8.5.2024, tedy asi 14 měsíců od zastavení provozu. Toto místo je dále pro zjednodušení a přehlednost nazýváno jako „Dejvice“.



Obr. 79 - Detail svaru [Zdroj: Autor]



Obr. 78 - Detail pojížděné plochy  
kolejnice [Zdroj: Autor]

Měření bylo provedeno po očištění kolejnicového pásu od nečistot a povrchové vrstvy rzi, která se vytvořila za dobu vyloučení provozu cca 14 měsíců. Poloha měřicí stopy byla zvolena na ose kolejnice.



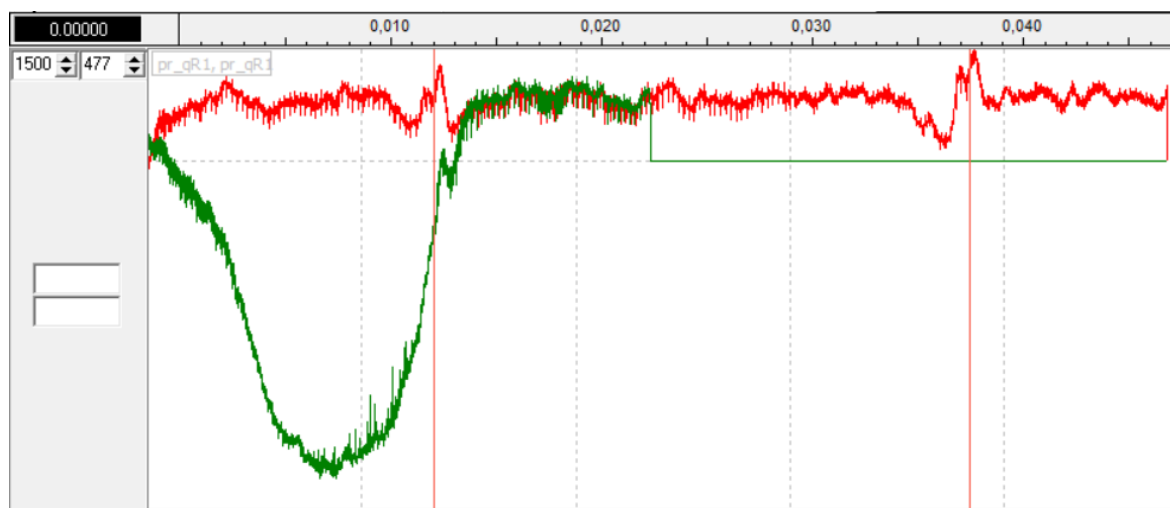
Obr. 80 - Měření s přístrojem Salamander [Zdroj: Ing. Ondřej Bret]

Celkově bylo na tomto úseku provedeno 6 pojezdů měřícím vozíkem. Čtyři pojezdy zaznamenávaly levý kolejnicový pás ve směru proti staničení, zbývající dva pravý kolejnicový pás ve směru staničení. Délka měřených kolejnicových pásů byla cca 15 m a v této délce se vždy vyskytoval jeden aluminotermický svar.

### 3.7 Zpracování naměřených dat

Naměřená data byla vyhodnocena v programu Salamander 10. Soubory dat z obou úseků byly nejdříve podrobeny kontrole průběhu primárních signálů. Tato kontrola poukázala na chybu v souboru dat z úseku Drnovská, která se projevila prudkým poklesem primárních signálů. Tento výkyv se nepodařilo vysvětlit, a proto byl soubor ze závěrečného vyhodnocení vyřazen. Tímto krokem zůstal k vyhodnocení drsnosti svarů provedených stykovou odtavovací metodou jeden funkční soubor dat se záznamem dvou svarů.

Soubory dat pocházející z úseku Dejvice vykazovaly v jednom případě chybu. Jedno z měření na pravém kolejnicovém pásu ve směru staničení nebylo řádně uloženo, a proto došlo ke ztrátě naměřených dat. K vyhodnocení tak bylo použito pět souborů dat s pěti zaznamenanými aluminotermickými svary.



Obr. 81 - Porovnání signálů qR1 z obou souborů dat naměřených na úseku Drnovská [Zdroj: Autor]

Pro všechny soubory dat byly pomocí programu Salamander 10 vykresleny průběhy funkcí deformací v jednotlivých vlnových pásmech (D1 – D5). Jelikož se tato práce zaměřuje na porovnání průběhu deformací v místě svaru a jeho okolí, byly vyhodnocované úseky délkově oříznuty. Výsledné úseky tak začínají vždy 1 m před svarem a končí 1 m za ním.

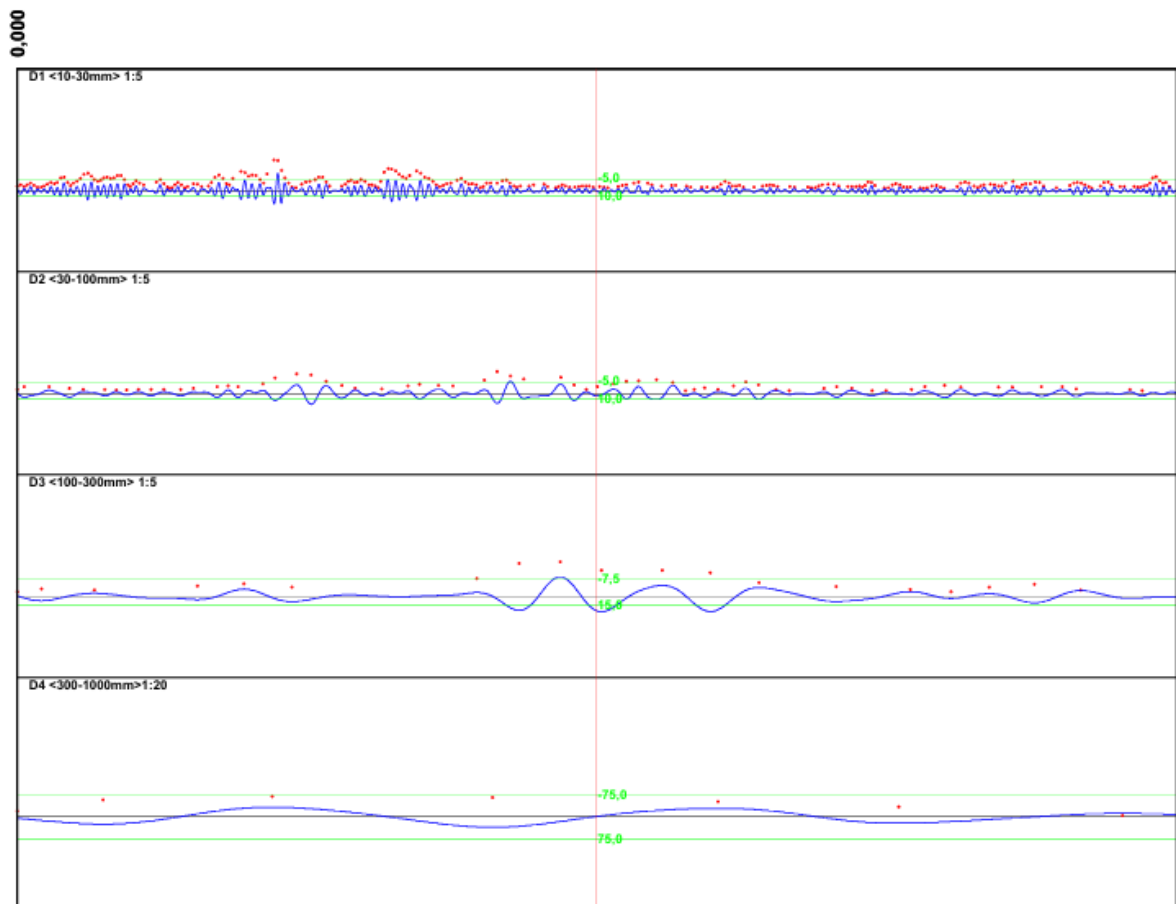
Metodou Peak to Peak bylo následně v těchto úsecích vypočteno procentuální překročení limitů s ohledem na požadavky Třídy 1 a Třídy 2 dle [10]. Je nutno zdůraznit, že vyhodnocení vlnovitosti na takto krátkém úseku nereprezentuje skutečnou kvalitu podélného profilu celé trati. Toto vyhodnocení slouží pouze jako doplněk a ukazatel toho, kolik výškových amplitud přesahující stanovené limity může obsahovat oblast svaru.

Vyhodnocení úseků bude probíhat z grafického zobrazení deformací. Vzhledem k délkovému rozsahu pásem D2 až D5 nebudou tyto pásma ve vyhodnocení brána v potaz (jak bylo vysvětleno i výše). Protokoly znázorňující grafické zobrazení deformací na jednotlivých vzorcích jsou součástí příloh této práce.



### 3.8 Vyhodnocení úseku č. 1 – „Drnovská“

Oba vzorky vykazují v délkovém pásmu D1 (10–30 mm) viditelný rozdíl amplitud mezi oblastí svaru a okrajovými částmi úseku. Koncové části jsou charakterizovány přesahem povoleného limitu „vrchol – vrchol“ délkového pásma D1. Tento rozdíl byl nejpravděpodobněji způsoben příliš vysokou rychlostí měřicího vozíku. S blížící se vzdáleností k označenému místu svaru byla rychlost vozíku ručně zmírňována z důvodu zastavení v místě svaru a jeho označení v měřící aplikaci. Z toho důvodu jsou odchylky v rámci pásma D1 do vzdálenosti 300 mm od svaru zcela v limitu. Tento předpoklad byl ve finálním měření, kde bylo na dodržení povolené rychlosti přísně dbáno, potvrzen.



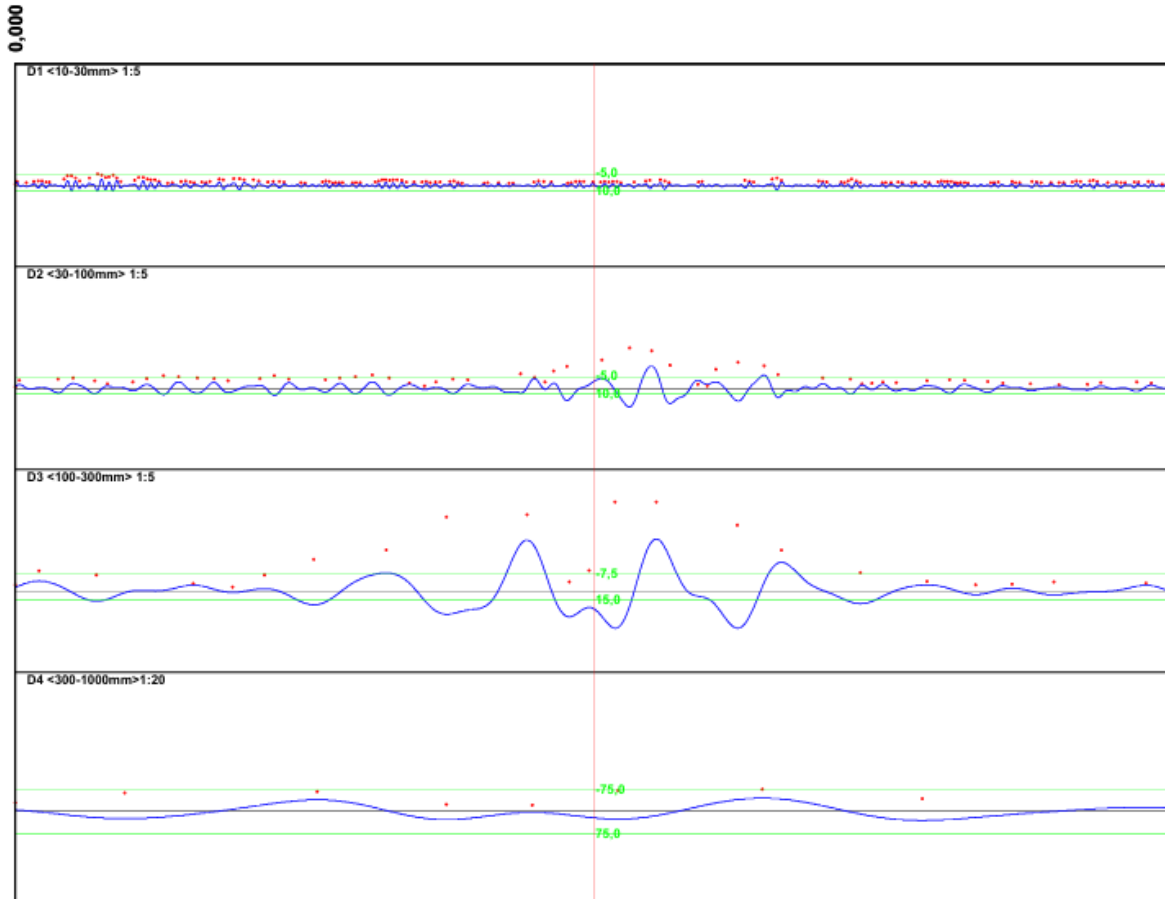
Obr. 82 - Vykreslení deformací dle jednotlivých vlnových pásem – úsek Drnovská [Zdroj: Autor]

Výraznější odchylky průběhu deformace v místě svaru od okolních částí jsou viditelné pouze u svaru č. 2 v délkových pásmech D2 (30–100 mm) a D3 (100–300 mm). U svaru č. 1 nelze rozdíl amplitud po délce vzorku spolehlivě rozeznat.



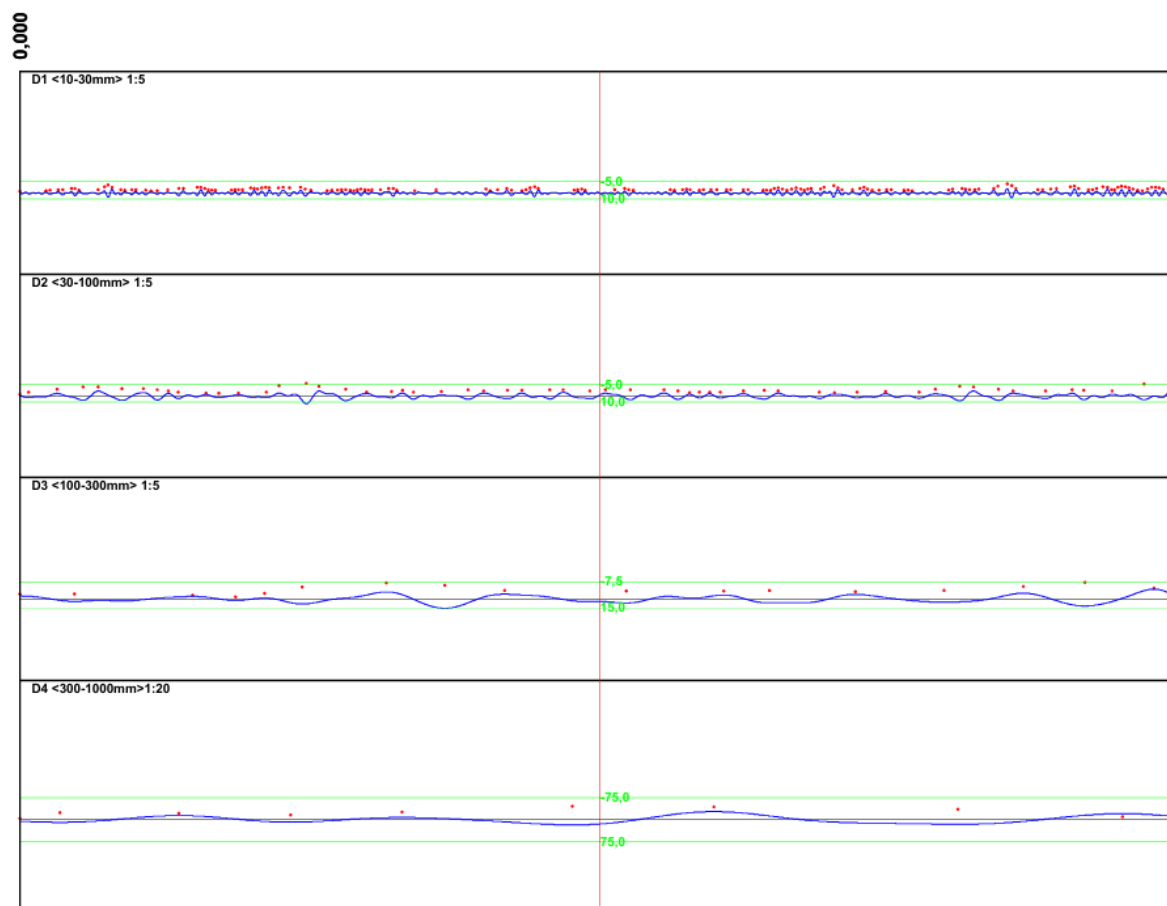
### 3.9 Vyhodnocení úseku č. 2 - „Dejvice“

Všech pět naměřených vzorků vyhovělo v pásmu D1 (10–30 mm) hodnotě procentuálního překročení Třídy 1 (5 %). Tím byl potvrzen předpoklad o špatně zvolené rychlosti měření v úseku Drnovská.



Obr. 83 - Vykreslení deformací dle jednotlivých délkových pásem – úsek Dejvice svar č. 2 druhý pojezd [Zdroj: Autor]

U všech vzorků se v okolí svaru zřetelně projevují výškové deformace ve vlnových pásmech D2 (30–100 mm) a D3 (100–300 mm). Výškové amplitudy deformací v pásmu D3 se ustalují na úroveň výchylek v krajních částech vzorku v některých měřených úsecích až 400 mm od místa svaru. Závislost deformace ve vlnovém pásmu D4 na svar se projevila pouze v případě svaru č. 3.



Obr. 84 - Vykreslení deformací dle jednotlivých délkových pásem v místě rozhraní neočištěného a očištěného kolejnicového pásu od rzi [Zdroj: Autor]

Pro porovnání vzorků obsahující svar se vzorkem bez výskytu svaru byl z měřeného úseku pravého kolejnicového pásu vyříznut vzorek se záznamem rozhraní mezi očištěným a od rzi neočištěným povrchem kolejnicového pásu. Tento vzorek vyhovuje ve všech vlnových pásmech procentuálnímu překročení Třídy 1. Na vzorku není viditelný rozdíl mezi očištěnou a neočištěnou polovinou kolejnicového pásu. Tento vzorek poukazuje na vyhovující stav koleje v délce kolejnicového pásu bez částí svarů.



## 4 Závěr

V rešeršní části této práce jsou vysvětleny principy fungování bezstykové koleje a jednotlivých metod jejího svařování. Současně tato část upozorňuje na aktuální změny v novelizaci předpisu SŽ S3/2, které rozvolňují pravidla pro zřizování bezstykové koleje. Hlavními přínosy rešeršní části jsou:

- zdůraznění změny upínací teploty a směrových poměrů bezstykové koleje,
- osobní zkušenost s navařováním kolejnic ve spolupráci s pracovníky Pražské strojírny a.s.,
- nahlédnutí do problematiky regenerovaných kolejnic.

Upínací teplota je nově v rozsahu  $+17\text{ °C}$  až  $+28\text{ °C}$ , namísto dřívějších  $+17\text{ °C}$  až  $+23\text{ °C}$ . Poloměry směrových oblouků se proti dřívějšímu stavu v případě betonových pražců typové délky 2,6 m a hmotností větší nebo rovné 280 kg snížily pro všechny tvary kolejnic v otevřeném kolejovém loži o 10 m. Zajímavým faktem zjištěným při účasti na navařovacích pracích na tramvajových tratích je provádění opravných prací i bez přerušení tramvajové dopravy. Regenerací kolejnic se v podmínkách ČR zabývají dvě stabilní svařovny. I přes současný trend druhotného využívání materiálů dochází k prudkému poklesu poptávky po regeneraci kolejnic.

Praktická část se zabývá měřením drsnosti a vlnovitosti v místě svaru kolejnicových pásů přístrojem Salamander a následným vyhodnocením dat. Bylo provedeno jedno zkušební měření a posléze dvě měření na vytipovaných kolejích, kde byla dále vyhodnocena naměřená data. První měření bylo uskutečněno na úseku tramvajové trati mezi zastávkami Ciolkovské a Dědina. V této lokalitě byly změřeny svary provedené mobilní svařovnou metodou stykového odtavovacího svařování. Druhé měření bylo provedeno na dočasně uzavřeném úseku železniční trati mezi stanicemi Praha-Bubny a Praha-Dejvice. Zde byly zkoumány aluminotermické svary.

V místě a okolí svaru se mohou vyskytnout periodické nerovnosti temene kolejnicového pásu v pásmu D2 a D3 s odpovídajícími vlnovými délkami 30 až 100 mm a 100 až 300 mm. Tyto nerovnosti se vyskytovaly od osy svaru do vzdálenosti až 400 mm na obě strany kolejnicových pásů. Ve zkoumaném pásmu D1 (10–30 mm), ve kterém měly být případné nerovnosti způsobené svarem viditelné, se však tyto nerovnosti nepotvrdily.

Z vyhodnocení dat vyplývá, že drsnost bezstykové koleje v okolí svaru může být odlišná od navazujících částí kolejnicových pásů, ale samotný svar na ni nemá přímý vliv. Výskyt nerovností v délkových pásmech D2 a D3 by mohl souviset s jemným broušením hlavy kolejnice v místě zřízeného svaru.

K potvrzení této hypotézy by bylo třeba provést měření v delším časovém horizontu nejlépe na silně zatížené železniční trati. Nabízí se možnost provést měření na zcela novém svaru a následně naměřená data porovnat s daty naměřenými s odstupem např. 1 roku. Technologii záznamu dat by bylo vhodné doplnit elektronickou měřicí latí.







## 5 Seznam použitých zdrojů

- [1] KREJČIŘÍKOVÁ, Hana. *Železniční stavby 1*. Praha: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06157-2.
- [2] KUBÁT, Bohumil a Lukáš TÝFA. *Železniční tratě a stanice*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2782-1.
- [3] KOVAŘÍK, Rudolf, Stanislav KOMÍN, Ondřej LÍNEK, Josef MAREK a Rostislav. *Bezстыková kolej*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1970. OD-31-040-70.
- [4] *Obrazová příloha. Správa železnic* [online]. c2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznic/zeleznice-cr/zajimavosti-z-vyvoje-zeleznicniho-svrsku/obrazova-priloha>
- [5] KREJČIŘÍKOVÁ, Hana. *Železniční stavby 1 - ZE01: Stykovaná kolej [interní materiál k přednáškám ZE01]* [PDF]. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta stavební - Katedra železničních staveb, LS 2022/2023. Staženo z MS Teams.
- [6] *SŽDC S3: Železniční svršek Díl XI Uspořádání stykované a bezстыkové koleje* [PDF]. Ve znění změny č. 3, účinnost od 1. března 2019. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2019.
- [7] LOJDA, Vít. *Výzkum uplatnění plastových příčných podpor v železniční trati* [online]. Praha, 2020 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10467/91985>. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [8] PLÁŠEK, Otto, Pavel ZVĚŘINA, Richard SVOBODA a Vojtěch LANGER. *Železniční stavby II, Modul 6: Bezстыková kolej* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://adoc.pub/eleznini-stavby-ii1a48cc254e1616fdf88eea98012b260b59438.html>
- [9] KUBÁT, Bohumil a Ondřej TREŠL. *Stavby kolejové dopravy* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-03983-0. Dostupné také z: [http://vydra.fd.cvut.cz/SKD\\_skripta.PDF](http://vydra.fd.cvut.cz/SKD_skripta.PDF)
- [10] *Technologie prací na železničním svršku*. Praha: ČKAIT, 2019. ISBN 978-808-8265-177.
- [11] UIC60 (60E1, E2). *ESD Osvětlimany* [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: [https://www.esdosvetimany.cz/uic60\\_60e1\\_e2.html](https://www.esdosvetimany.cz/uic60_60e1_e2.html)
- [12] *SŽ S3/2: Bezстыková kolej* [PDF]. Účinnost od 1. března 2024. Správa železnic, státní organizace, 2024.
- [13] VOSSLOH AG. *High-Elasticity Rail Fastening System W 14 – The classic for conventional rail, heavy haul and high-speed* [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: [https://media.vossloh.com/media/01\\_product\\_finder/vfs/pf\\_system\\_w\\_14/Vossloh\\_System\\_W\\_14\\_EN.pdf](https://media.vossloh.com/media/01_product_finder/vfs/pf_system_w_14/Vossloh_System_W_14_EN.pdf)



- [14] HRŮZÍKOVÁ, Miroslava. *Bezстыková kolej, Teorie* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb, 2015 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: [http://vyvoj.csvs.cz/projekty/2014\\_veda\\_pro\\_zivot/KA3\\_prilohy/prezentace-doktorandu/B\\_Miroslava%20Hruzikova\\_Bezstykova%20kolej,%20teorie.PDF](http://vyvoj.csvs.cz/projekty/2014_veda_pro_zivot/KA3_prilohy/prezentace-doktorandu/B_Miroslava%20Hruzikova_Bezstykova%20kolej,%20teorie.PDF)
- [15] PLÁŠEK, Otto. *Bezстыková kolej* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb, 2014 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/43575482-Bezstykova-kolej-continuous-welded-rail-otto-plasek-doc-ing-ph-d-ustav-zeleznicnich-konstrukci-a-staveb.html>
- [16] DRÁŽNÍ INSPEKCE. Vykolejená lokomotiva u Rosic nad Labem (17. listopadu 2011). In: *Impuls* [online]. 2015 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: [https://www.impuls.cz/regiony/pardubicky-kraj/zeleznicari-si-musi-na-definitivni-rozudek-za-lom-kolejnic-pockat.A151008\\_162418\\_imp-pardubicky\\_kov/tisk](https://www.impuls.cz/regiony/pardubicky-kraj/zeleznicari-si-musi-na-definitivni-rozudek-za-lom-kolejnic-pockat.A151008_162418_imp-pardubicky_kov/tisk)
- [17] KAŠPÁREK, Jiří. *Pravděpodobnostní hodnocení interakce mostu a koleje* [online]. Praha, 2021 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/95846?locale-attribute=cs>. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [18] SEJKORA, Jiří. Lom kolejnice Rosice nad Labem (17. listopadu 2011). In: *Pardubický deník* [online]. 2011 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: [https://pardubicky.denik.cz/galerie/g\\_rozpadla\\_kolejnice\\_pce.html?photo=1&back=1280814600-2019-45](https://pardubicky.denik.cz/galerie/g_rozpadla_kolejnice_pce.html?photo=1&back=1280814600-2019-45)
- [19] CZACHOROWSKI, Tomasz. Tory tramwajowe w Fordonie, jak z plasteliny. In: *Gazeta Pomorska* [online]. 2016, 27. června 2016 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://pomorska.pl/tory-tramwajowe-w-fordonie-jak-z-plasteliny-diagnozy-awarii-nie-ma/ga/10345782/zd/19299940>
- [20] KUBÁT, Bohumil a Miroslav PENC. *Městská kolejová doprava*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-010-2117-3.
- [21] Velkoplošné panely BKV. *Pražské tramvaje* [online]. c2001-2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006041296>
- [22] TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, A. S. *Kolejnice a příslušenství kolejového roštu* [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: [https://www.trz.cz/assets/uploads/skladacky\\_2022\\_kolejnice.pdf](https://www.trz.cz/assets/uploads/skladacky_2022_kolejnice.pdf)
- [23] PRAŽSKÉ TRAMVAJE. Teplem vzduťatá kolejnice B1 ve velkoplošném panelu BKV na Plzeňské ulici, u zastávky Anděl dne 21. června 2000. In: *Pražské tramvaje* [online]. c2001-2024 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006041297>



- [24] KREJČIŘÍKOVÁ, Hana. *Železniční stavby 1 (ZE01): Výpočet namáhání koleje - Bezстыková kolej [interní materiál k přednáškám ZE01]* [PDF]. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta stavební - Katedra železničních staveb, LS 2022/2023. Staženo z MS Teams.
- [25] ABPROTWE. Gleisverwerfung auf der Teutoburger Wald-Eisenbahn (TWE) am ehemaligen Bahnhof Gütersloh Ost. In: *Wikiwand* [online]. 2013, 5. srpna 2013 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://www.wikiwand.com/de/Datei:Gleisverwerfung\\_ehem\\_Bf\\_G%C3%BCtersloh\\_Ost\\_04\\_08\\_2013.jpg](https://www.wikiwand.com/de/Datei:Gleisverwerfung_ehem_Bf_G%C3%BCtersloh_Ost_04_08_2013.jpg)
- [26] TEASDALE, Malcolm. Canterbury. In: *American Geophysical Union* [online]. 2010 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://blogs.agu.org/landslideblog/2010/11/02/the-canterbury-earthquake-images-of-the-distorted-railway-line/>
- [27] M-Generation: the tension clamps that forgive more. *Vossloh* [online]. c2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://vossloh-topic-lounge.com/en/advanced-infrastructure/generation-m/>
- [28] System W 14 – the world’s most popular solution. *Vossloh* [online]. c2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/product-finder/product\\_11018.php](https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/product-finder/product_11018.php)
- [29] SŽDC S3/2: *Bezстыková kolej* [PDF]. Účinnost od 1. září 2013. Správa železnic, státní organizace, 2013.
- [30] SZABÓ, Petr a Ludmila CHUDĚJOVÁ. *ŠKOLENÍ 2024 (nový předpis SŽ S3/2)* [PDF]. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2024 [cit. 2024-05-17].
- [31] SŽDC S3: *Železniční svršek Díl VII Sestavy železničního svršku a jejich použití* [PDF]. Ve znění opravy č. 1, účinnost od 1. ledna 2022. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2022.
- [32] PLÁŠEK, Otto. *Úvod do železničních staveb* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://www.fce.vutbr.cz/zelp/blaspek.o/studium/5\\_zeleznice\\_uvod.pdf](https://www.fce.vutbr.cz/zelp/blaspek.o/studium/5_zeleznice_uvod.pdf)
- [33] SŽDC S3: *Železniční svršek Díl X Kolejové lože a jeho uspořádání* [PDF]. Ve znění opravy č. 1, účinnost od 1. ledna 2022. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2022.
- [34] System Sleeper anchor SV. *Vossloh* [online]. c2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/product-finder/product\\_11030.php](https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/product-finder/product_11030.php)
- [35] System Sleeper anchor SN. *Vossloh* [online]. c2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/product-finder/product\\_11029.php](https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/product-finder/product_11029.php)



- [36] SVOBODA, Richard. *Bezстыková kolej: Zřízení a opravy* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb, 2015 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://vyvoj.csvs.cz/projekty/2014\\_veda\\_pro\\_zivot/KA3\\_prilohy/prezentace-doktorandu/C\\_Richard%20Svoboda\\_Bezstykova%20kolej,%20zrizovani%20a%20opravy.PDF](https://vyvoj.csvs.cz/projekty/2014_veda_pro_zivot/KA3_prilohy/prezentace-doktorandu/C_Richard%20Svoboda_Bezstykova%20kolej,%20zrizovani%20a%20opravy.PDF)
- [37] SŽ S3/5: *Svářečské práce na součástech železničního svršku* [PDF]. Ve znění opravy č. 1, účinnost od 1. ledna 2022. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2022.
- [38] PIRELL S.R.O. *Technologický postup svařování kolejnic mobilní svářečkou APT 1500 RL* [online]. Revize č. 1 ze dne 1.8.2016 s účinností od 10.8.2016. Česká Třebová: Pirell, 2016 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://typdok.tudc.cz/Downloads/629138205Technol\\_postup\\_Pirell\\_TP\\_01.pdf](https://typdok.tudc.cz/Downloads/629138205Technol_postup_Pirell_TP_01.pdf)
- [39] Bezстыková kolej - zřízení, údržba a diagnostika. *Pirrel* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://pirell.cz/index.php?id=bezstykova-kolej#!prettyPhoto\[bezstykova-kolej-zizovani-udrba-a-diagnostika\]/3/](https://pirell.cz/index.php?id=bezstykova-kolej#!prettyPhoto[bezstykova-kolej-zizovani-udrba-a-diagnostika]/3/)
- [40] VOLTNER, Jaroslav, Michal ŠIROKÝ a Petr KUBRT. *Zkušenosti z provozního ověřování technologie stykového odtavovacího svařování kolejnic mobilní svařovnou APT 1500RL - robotizované pracoviště* [online]. Česká Třebová: Pirell [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/50157007/f17-voltner-pirell.pdf>
- [41] ŠARDICKÁ, Klára. *TECHNOLOGIE REKONSTRUKCE ŽST. MIKULÁŠOVICE DOLNÍ NÁDRAŽÍ* [online]. Brno, 2022 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/141768>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [42] SUBTERRA – Naše stroje – Pokladač kolejových polí 25/20. In: *YouTube* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=DiEChZMa1II>
- [43] SUBTERRA – Naše stroje – Pokladač pražců a manipulátor kolejnic Robel. In: *YouTube* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=wP1n-2O8IYA>
- [44] Jak se plazí kolejnice od Hrušovan k Židlochovicím. In: *YouTube* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=KMbrKTaRvtQ&list=LL&index=4>
- [45] Na trati z Hrušovan do Židlochovic se už pokládají koleje - OHL ŽS / Donelli PTH-350. In: *YouTube* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=zi4\\_lpcbUs0&list=LL&index=5](https://www.youtube.com/watch?v=zi4_lpcbUs0&list=LL&index=5)
- [46] Portalanlage. *ROBEL* [online]. c2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.robel.com/de/systemefahrzeuge/gleisbettbearbeitung/produkt/portalanlage/>



- [47] ČSN EN 14610: *Svařování a příbuzné procesy - Definice metod svařování kovů*. 2005. Praha: Česká agentura pro standardizaci.
- [48] *T 1/2: Předpis pro svářečské práce na součástech kolejového svršku MHD (neplatí pro lanové a podzemní dráhy [interní předpis]*. 5. vydání. Sdružení dopravních podniků ČR, 2023.
- [49] ČSN EN ISO 4063: *Svařování, pájení na tvrdo, pájení na měkko a řezání - Přehled metod a jejich číslování*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2023.
- [50] GOLDSCHMIDT- SMART RAIL SOLUTIONS. *Original thermit* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://www.goldschmidt.com/wp-content/uploads/2019/09/Goldschmidt-Original-Thermit\\_czech.pdf](https://www.goldschmidt.com/wp-content/uploads/2019/09/Goldschmidt-Original-Thermit_czech.pdf)
- [51] KUBÍČEK, Jaroslav, Bohumil KANDUS a Oldřich AMBROŽ. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [52] FORM-THERMIT S.R.O. *Příručka svářeče kolejnic aluminotermickými metodami SoWoS, Skv, SkV-L 75, SoW-5* [online]. 2018 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://typdok.tudc.cz/Downloads/22881080454405\\_SZDC\\_GR\\_O13\\_Prirucka\\_sva\\_rece.pdf](https://typdok.tudc.cz/Downloads/22881080454405_SZDC_GR_O13_Prirucka_sva_rece.pdf)
- [53] Thermit®-Schweißung / Thermit® welding. In: *YouTube* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=JGiy30Zq4I4&t=86s>
- [54] Svařování kolejnic termitem Form-Thermit. In: *YouTube* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ob6x4zpu1o&t=183s>
- [55] JANEBA, Julius a Ivan DIMITROV. *Technologie stykového odtavovacího svařování kolejnic a zřizování bezstykové koleje* [online]. 2013 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/technologie-stykoveho-odtavovaciho-svarovani-kolejnic-a-zrizovani-bezstykov-koleje/>
- [56] KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2697-5.
- [57] KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [58] APT 1500 RL. *Plasser&Theurer* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.plassertheurer.com/en/machine/welding-machines/apt-1500-rl>
- [59] BORDOVSKÝ, Zdeněk. *Opracování svaru u bezstykové koleje* [online]. Liberec, 1986 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://dSPACE.tul.cz/server/api/core/bitstreams/7408d99d-5287-4bb2-913b-452242f01f35/content>. Diplomová práce. Strojní a textilní Liberec, Fakulta strojní.



- [60] CHLÁDEK, Ondřej a Josef VESELÝ. *Systémové řešení regenerace kolejnic u SŽDC* [online]. 2012 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/50157246/c06-vesely-ds.pdf>
- [61] *Informace byla získána z emailové korespondence s panem Ing. Vlastimilem Mazouchem, ředitelem společnosti REGENA, spol. s r.o., dne 17. května 2024.*
- [62] How rails are welded efficiently. In: *YouTube* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=WIZjVgA5eQU&list=LL&index=4&t=180s>
- [63] *UT\_01\_Prehled\_svarovani\_T08* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: [https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT\\_01\\_Prehled\\_svarovani\\_T08.pdf](https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf)
- [64] MMA (Manual Metal Arc Welding). *Automig* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://automig.cz/o-svarovani/metody/obalena-elektroda-mma/>
- [65] VESELÝ, Václav. *Technologický postup svařování kolejnic trubičkovým drátem Innershield* [online]. Pardubice: CZ Weld, 1998 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: [https://typdok.tudc.cz/Downloads/493090703TP\\_Inner\\_1.pdf](https://typdok.tudc.cz/Downloads/493090703TP_Inner_1.pdf)
- [66] *Zákon č. 266/1994: o drahách ve znění následných zákonů.*
- [67] KUBÁT, Bohumil, Jiří PEJŠA, Martin JACURA a Ondřej TREŠL. *Městská a příměstská kolejová doprava*. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2010. ISBN 978-807-3575-397.
- [68] *ČSN 73 6405: Projektování tramvajových tratí*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2022.
- [69] *Informace byla získána z rozhovoru s panem Zdeňkem Hermannem, svářečem firmy Pražská strojírna a.s., v Praze dne 29. dubna 2024.*
- [70] Navařování a broušení. *Pražská strojírna* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://pstroj.cz/vyrobky-a-sluzby/poprodejni-sluzby/navarovani-a-brouseni/>
- [71] BRET, Ondřej. *TRAMVAJOVÉ TRATĚ A DOPRAVA: [interní materiál k přednáškám DSUZ]* [PDF]. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta stavební - Katedra železničních staveb, LS 2021/2022. Staženo z MS Teams.
- [72] RAIF, Lukáš, Miloslav KLEMENT a Vladimír HUŇKA. Jízda po okolku kolejových vozidel ve výhybkách a výhybkových konstrukcích. In: *26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA „SÚASNÉ PROBLÉMY V KOAJOVÝCH VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“*. Dostupné také z: [https://drepo.uniza.sk/bitstream/handle/hdluniza/1039/spkv.Z.2023.2.23\\_Raif\\_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://drepo.uniza.sk/bitstream/handle/hdluniza/1039/spkv.Z.2023.2.23_Raif_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [73] KOMERČNÍ ŽELEZNIČNÍ VÝZKUM, SPOL. S R.O. *SALAMANDER Measuring trolley for rail roughness and corrugation* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://kzv.cz/wp-content/uploads/2021/10/Salamander-EN.pdf>



- [74] 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 [cit. 2024-05-18].
- [75] ČSN EN 13231-2: *Železniční aplikace - Kolej - Přejímka praci - Část 2: Přejímka reprofilace kolejnic v běžné koleji, výhybkách, výhybkových konstrukcích včetně dilatačních zařízení*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2021.
- [76] GOLDSCHMIDT- SMART RAIL SOLUTIONS. *THERMIT SOW-5* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: [https://www.elektrothermit.de/fileadmin/et/user\\_upload/PDF/Produktbrosch%C3%BCren/ET-SoW-5-EN.pdf](https://www.elektrothermit.de/fileadmin/et/user_upload/PDF/Produktbrosch%C3%BCren/ET-SoW-5-EN.pdf)
- [77] HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie 2: Polotovary a jejich technologičnost, Základy obrábění*. Praha: SNTL, 1979. 04-221-79.





## 6 Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 - Izolovaný kolejnicový styk [4].....  | 13 |
| Obr. 2 - Propadlý kolejnicový styk po opravě přebroušením [5] .....   | 14 |
| Obr. 3 - Blátivý styk [Zdroj: Ing. Petr Břešťovský, Ph.D.].....   | 14 |
| Obr. 4 - Vliv teplotní změny kolejnicového pásu na stykovanou kolej [7].....  | 15 |
| Obr. 5 - Přímé upevnění s vrtulemi na dřevěném pražci (Francie) [4] .....   | 17 |
| Obr. 6 - Ambulantní lepený izolovaný styk tvaru UIC 60 (60 E1, 60 E2) [11].....   | 18 |
| Obr. 7 - Schéma podélného odporu v upevnění [Zdroj: Autor] .....  | 19 |
| Obr. 8 - Ředění kolejového lože Hlubočepská estakáda [Zdroj: Ing. Magdalena Křečková]<br>.....  | 20 |
| Obr. 9 - Průběhy odporů, posunů, napětí a sil v BK [14] .....   | 21 |
| Obr. 10 - Vliv teplotní změny kolejnicového pásu na BK [7].....   | 21 |
| Obr. 11 - Odpor v dýchajícím konci BK [15] .....  | 23 |
| Obr. 12 - Lom kolejnice Rosice nad Labem 17. listopadu 2011 [16].....   | 25 |
| Obr. 13 – Vylomení částí hlavy kolejnice Rosice nad Labem 17. listopadu 2011 [18].....  | 25 |
| Obr. 14 - Vybočení kolejového roštu ve vodorovné rovině [19] .....  | 26 |
| Obr. 15 - Vybočení kolejového roštu ve svislé rovině [8].....   | 26 |
| Obr. 16 - Uložení kolejnice B1 v panelu BKV [20].....   | 27 |
| Obr. 17 - Teplem vzduťá kolejnice B1 ve velkoplošném panelu BKV na Plzeňské ulici, u<br>zastávky Anděl dne 21. června 2000 [23] .....       | 28 |
| Obr. 18 - Odpor působící proti vodorovnému vybočení kolejového roštu při ztrátě stability<br>BK [7] .....                                   | 28 |
| Obr. 19 - Tvary vybočení BK ve vodorovné rovině [8].....  | 29 |
| Obr. 20 - Vybočení kolejového roštu ve vodorovné rovině na bývalém vlakovém nádraží<br>Gütersloh Ost [25] .....                             | 29 |
| Obr. 21 - Vybočení kolejového roštu ve vodorovné rovině vlivem zemětřesení v<br>Canterbury na Novém Zélandu 4. září 2010 [26].....          | 30 |
| Obr. 22 - Průběh svislé deformace kolejnice při průjezdu kolejového vozidla [8] .....   | 30 |
| Obr. 23 - Účinnost tření na plochách pražce a) dřevěný pražec; b) betonový pražec [1]..   | 31 |
| Obr. 24 - Pružná svěrka M7 – alternativa k pružné svěrce Skl 14 [27].....   | 31 |
| Obr. 25 - Pružná svěrka Skl 14 [28].....  | 32 |
| Obr. 27 – Bezpodkladnicové upevnění kolejnice 49 E1 na betonových pražcích B03-DP01<br>s pružnou svěrkou Vossloh Skl 14 [Zdroj: Autor]..... | 33 |
| Obr. 26 – Jednotlivé součásti upevnění [Zdroj: Autor].....  | 33 |
| Obr. 28 - Rozdělení pražců v BK [32] .....  | 35 |
| Obr. 29 - Rozměry otevřeného kolejového lože pro jednokolejnou trať s převýšením koleje<br>v úsecích s BK [12].....                         | 36 |



|  |    |
|--|----|
| Obr. 30 - Rozměry otevřeného kolejového lože pro dvoukolejnou a vícekolejnou trať s převýšením koleje v úsecích s BK [12]..... | 36 |
| Obr. 31 - Montáž pražcové kotvy ve směrovém oblouku [12] .....   | 41 |
| Obr. 32 - Pražcová kotva Vossloh SV [34].....  | 42 |
| Obr. 33 - Pražcová kotva Vossloh SN [35] .....   | 42 |
| Obr. 34 - Válečková kluzná podložka pod patu kolejnice [36].....   | 43 |
| Obr. 35 - Úprava UT v úseku navazujícím na nově zřizovanou BK [12].....  | 44 |
| Obr. 36 - Boční válečková opěra [36] .....   | 45 |
| Obr. 37 - Příklad použití napínacího zařízení [12].....  | 46 |
| Obr. 38 - Dosažení UT pomocí napínacího zařízení v kombinaci se svařováním termitem [36] .....                                 | 46 |
| Obr. 39 - Zařízení pro ohřev kolejnic [39] .....   | 47 |
| Obr. 40 - Vrypy na temeni kolejnice v místě konců kolejnic [40] .....  | 48 |
| Obr. 41 - Přesun kolejnice pomocí dvoucestného bagru s kolejnicovými kleštěmi [Zdroj: Autor].....                              | 49 |
| Obr. 42 - Podvozek vz. 53 [Zdroj: Ing. Klára Šardická] .....   | 50 |
| Obr. 43 - PKP 25/20 [Zdroj: Ing. Klára Šardická] .....   | 51 |
| Obr. 44 - Robel PA 1-20 ES [46].....   | 52 |
| Obr. 46 - Hoření termitové směsi [Zdroj: Ing. Ondřej Bret].....  | 54 |
| Obr. 45 - Termitová dávka Railtech [Zdroj: Ing. Ondřej Bret].....  | 54 |
| Obr. 47 - Úprava svařovací spáry řezáním plamenem [Zdroj: Ing. Ondřej Bret].....   | 56 |
| Obr. 48 - Kontrola správné výškové polohy konců kolejnic [Zdroj: Ing. Ondřej Bret] .....                                       | 57 |
| Obr. 50 - Montáž suché prefabrikované formy [Zdroj: Ing. Ondřej Bret].....   | 58 |
| Obr. 49 - Řez formou SoW-5 [76].....   | 58 |
| Obr. 51 - Utěsnění formy formovacím pískem [Zdroj: Ing. Ondřej Bret] .....   | 58 |
| Obr. 52 - Předehřev konců kolejnic, viditelné směrové vyklínování a svařovací sestava [Zdroj: Ing. Ondřej Bret].....           | 59 |
| Obr. 53 - Uvolněný tekutý kov ve formě a nádobě na strusku [Zdroj: Ing. Ondřej Bret]....                                       | 60 |
| Obr. 55 - Hydraulická ořezávací jednotka [Zdroj: Ing. Ondřej Bret].....  | 60 |
| Obr. 54 - Odklon nálitků výfukových otvorů [Zdroj: Ing. Ondřej Bret] .....   | 60 |
| Obr. 56 - Schéma stykového svařování s odtavením [56].....   | 62 |
| Obr. 57 – Svar provedený stykově s odtavením [58] .....  | 63 |
| Obr. 58 - Modernizovaná svářečka K-190 PK Duchcovská svařovna [60] .....   | 64 |
| Obr. 59 - Mobilní svařovna APT 1500 RL [58] .....  | 65 |
| Obr. 60 - Umístění svařovací hlavy na místo svaru [58] .....   | 66 |
| Obr. 61 - Svar po seříznutí výronku [58].....  | 66 |
| Obr. 62 - Přizvednutí kolejnic svařovací hlavou [58] .....   | 67 |



|  |    |
|--|----|
| Obr. 64 - Zařízení pro svařování obalovanou elektrodou [64] .....  | 69 |
| Obr. 63 - Řez obalenou elektrodou [77].....  | 69 |
| Obr. 65 - Svařovací pistole a podavač drátu Lincoln Electric [Zdroj: Autor] .....  | 70 |
| Obr. 66 - Cívka plněného drátu Lincoln 33 průměr 2,0 mm [Zdroj: Autor] .....   | 70 |
| Obr. 67 - Vybrané tvary kolejnic užívané na tramvajových tratích v ČR [9].....   | 72 |
| Obr. 68 - Provádění návaru žlábků svářeči Pražské strojírny a.s. na tramvajové křižovatce<br>Anděl [Zdroj: Autor].....                                       | 74 |
| Obr. 69 - Brusný kolejový stroj pro vybroušení žlábků [Zdroj: Autor] .....   | 75 |
| Obr. 70 - Rozložený měřicí vozík Salamander v přepravním boxu [Zdroj: Autor] .....   | 76 |
| Obr. 71 - Jednotlivé části přístroje Salamander [Zdroj: Autor] .....   | 77 |
| Obr. 72 - Volba stopy měření [Zdroj: Autor].....   | 78 |
| Obr. 73 - Prostředí aplikace Salamander 2.0 [Zdroj: Autor].....  | 78 |
| Obr. 74 - Funkce měření v aplikaci Salamander 2.0 [Zdroj: Autor] .....   | 79 |
| Obr. 75 - Ukázka metody P to P na signálu délkového pásma D3 [74] .....  | 80 |
| Obr. 77 - Detail svaru [Zdroj: Autor] .....  | 82 |
| Obr. 76 - Detail pojížděné plochy kolejnice [Zdroj: Autor].....  | 82 |
| Obr. 79 - Detail svaru [Zdroj: Autor] .....  | 83 |
| Obr. 78 - Detail pojížděné plochy kolejnice [Zdroj: Autor].....  | 83 |
| Obr. 80 - Měření s přístrojem Salamander [Zdroj: Ing. Ondřej Bret].....  | 83 |
| Obr. 81 - Porovnání signálů qR1 z obou souborů dat naměřených na úseku Drnovská<br>[Zdroj: Autor].....   | 84 |
| Obr. 82 - Vykreslení deformací dle jednotlivých vlnových pásem – úsek Drnovská [Zdroj:<br>Autor] .....   | 85 |
| Obr. 83 - Vykreslení deformací dle jednotlivých délkových pásem – úsek Dejvice svar č. 2<br>druhý pojezd [Zdroj: Autor] .....                                | 86 |
| Obr. 84 - Vykreslení deformací dle jednotlivých délkových pásem v místě rozhraní<br>neочиštěného a očištěného kolejnicového pásu od rzi [Zdroj: Autor] ..... | 87 |



## 7 Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1 - Velikost dilatačních spár při zřizování stykované koleje [6].....  | 15 |
| Tab. 2 - Porovnání svěrné síly pružné svěrky Vossloh Skl 14 a pružné svěrky nové generace Vossloh M7 [13].....  | 19 |
| Tab. 3 - Typy kolejnic a jejich parametry [22].....   | 27 |
| Tab. 4 - Vybraná rozdělení příčných pražců .....  | 34 |
| Tab. 5 - Směrové poměry zřizování BK dle [29] .....   | 37 |
| Tab. 6 - Směrové poměry pro zřizování BK v otevřeném kolejovém loži nebo zapuštěném kolejovém loži s převýšením koleje s betonovými pražci typové délky 2,6 m a zároveň s typovou hmotností $m \geq 280$ kg s profilem kolejového lože podle obr. 29 a obr. 30 [12].... | 38 |
| Tab. 7 - Směrové poměry pro zřizování BK v otevřeném kolejovém loži nebo zapuštěném kolejovém loži s převýšením koleje s betonovými pražci typové délky 2,4 m a zároveň s typovou hmotností $m \geq 260$ kg s profilem kolejového lože podle obr. 29 a obr. 30 [12].... | 39 |
| Tab. 8 - Směrové poměry pro zřizování BK v otevřeném kolejovém loži nebo zapuštěném kolejovém loži s převýšením koleje s dřevěnými pražci a v tab. 6 a tab. 7 neuvedenými betonovými pražci s profilem kolejového lože podle obr. 29 a obr. 30 [12].                    | 39 |
| Tab. 9 - Směrové poměry pro zřizování BK v zapuštěném kolejovém loži bez převýšení koleje s betonovými pražci typové délky 2,6 m a zároveň s typovou hmotností $m \geq 280$ kg [12] .....   | 40 |
| Tab. 10 - Směrové poměry pro zřizování BK v zapuštěném kolejovém loži bez převýšení koleje s dřevěnými pražci a v tab. 9 neuvedenými betonovými pražci [12] .....   | 40 |
| Tab. 11 - Nastavení velikosti koncové spáry [12].....   | 48 |
| Tab. 12 - Typy aluminotermických dávek, jejich označení a použití pro svařování kolejnic stejného tvaru [37] .....  | 55 |
| Tab. 13 - Technologická data pro svařování kolejnic metodami Elektro-Thermit [37] .....   | 56 |
| Tab. 14 - Záznam o regenerovaných kolejnicích ve společnosti REGENA, spol. s r.o. [61] .....  | 64 |
| Tab. 15 - Svařování závěrného svaru (svařovací proces s řízeným odtavením 38 mm) [38] .....   | 68 |
| Tab. 16 - Limity „špička" – „špička" (P to P) [75].....   | 80 |
| Tab. 17 - Minimální podíl měření v limitu „špička" – „špička" (P to P) [75].....  | 81 |



## 8 Seznam příloh

- Příloha 1: Grafické zobrazení – Úsek č. 1 – Svar č. 1
- Příloha 2: Grafické zobrazení – Úsek č. 1 – Svar č. 2
- Příloha 3: Grafické zobrazení – Úsek č. 2 – Svar č. 1 – 1. pojezd
- Příloha 4: Grafické zobrazení – Úsek č. 2 – Svar č. 1 – 2. pojezd
- Příloha 5: Grafické zobrazení – Úsek č. 2 – Svar č. 2 – 1. pojezd
- Příloha 6: Grafické zobrazení – Úsek č. 2 – Svar č. 2 – 2. pojezd
- Příloha 7: Grafické zobrazení – Úsek č. 2 – Svar č. 3
- Příloha 8: Grafické zobrazení – Úsek č. 2 – Rez – 2. pojezd na kolejnici svaru č. 1

Grafické hodnocení

Název : Úsek\_č.1\_Svar\_č.1

Poznámka : Osa mereni \_osa kok (Side:R)

RP 1.úseku :

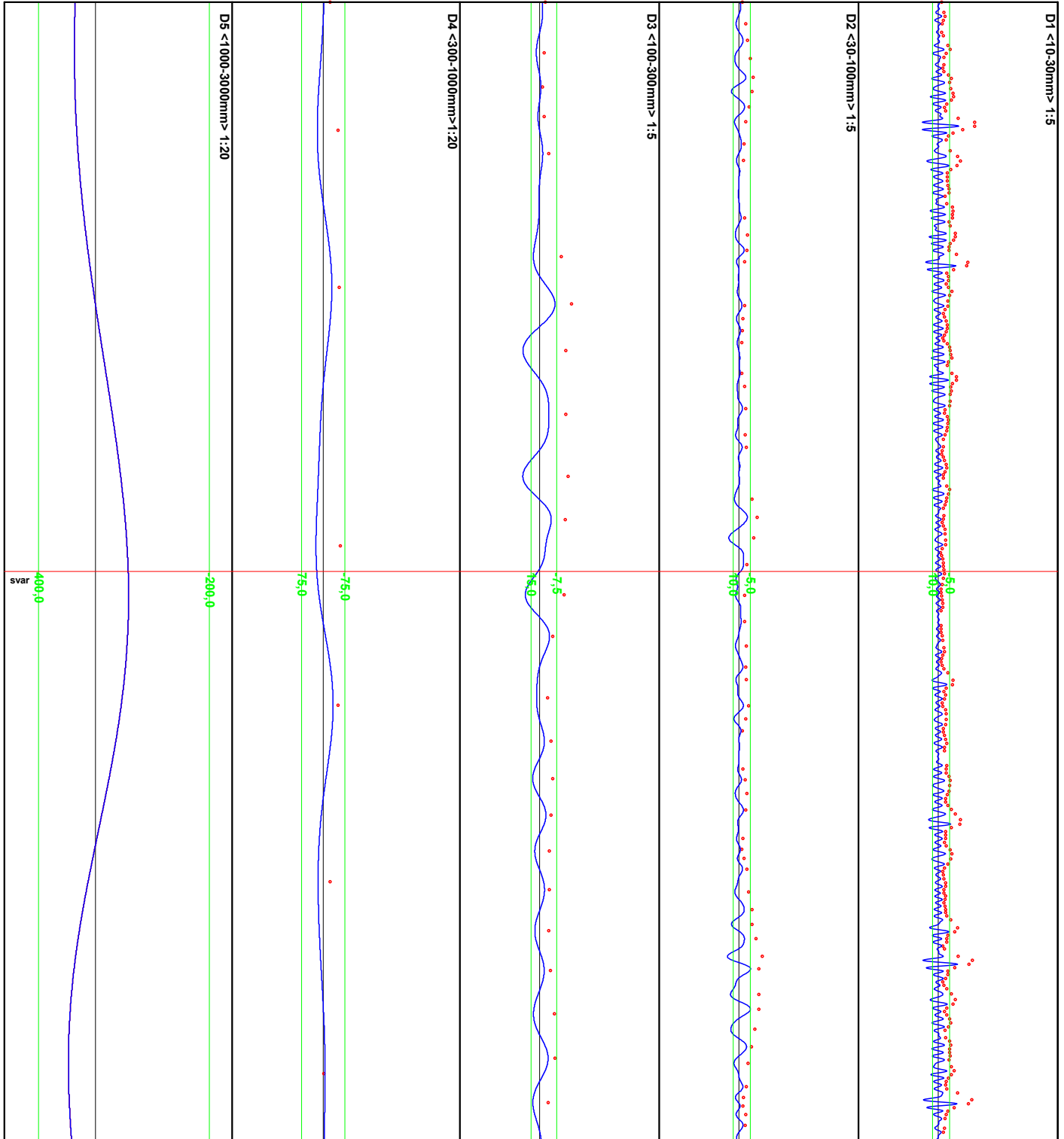
Meze pro :

Km Od Do : 0,000000 - 0,002000 km

Uživ. text : a

Datum, čas : 21/9/2020, 22:41

Postavení : Správné



0,000

Grafické hodnocení

Název : Úsel\_č.1\_Svar\_č.2

Poznámka : Osa mereni \_osa kok (Side:R)

RP 1.úseku :

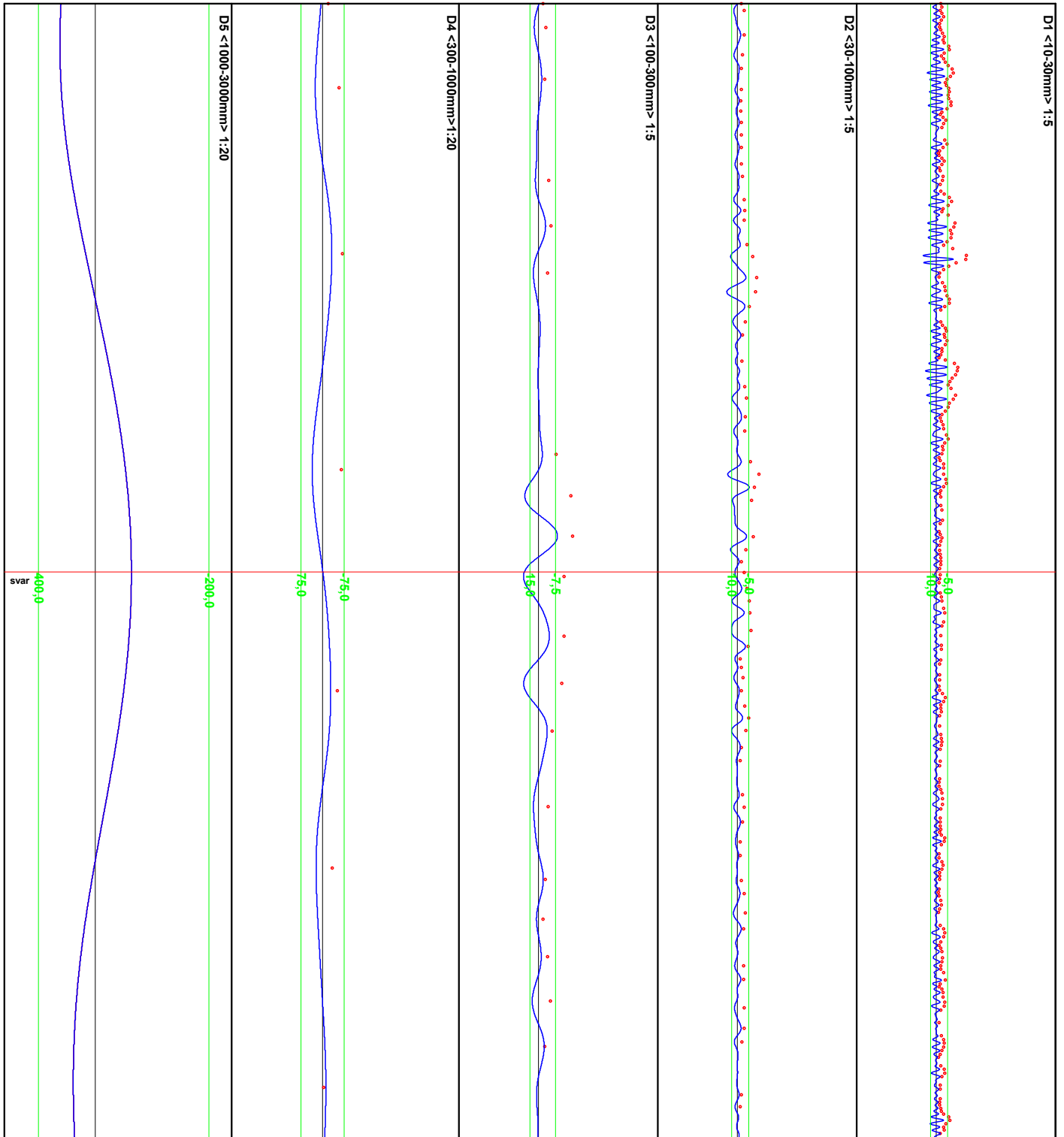
Meze pro :

Km Od Do : 0,000000 - 0,002000 km

Uživ. text : a

Datum, čas : 21/9/2020, 22:41

Postavení : Správné

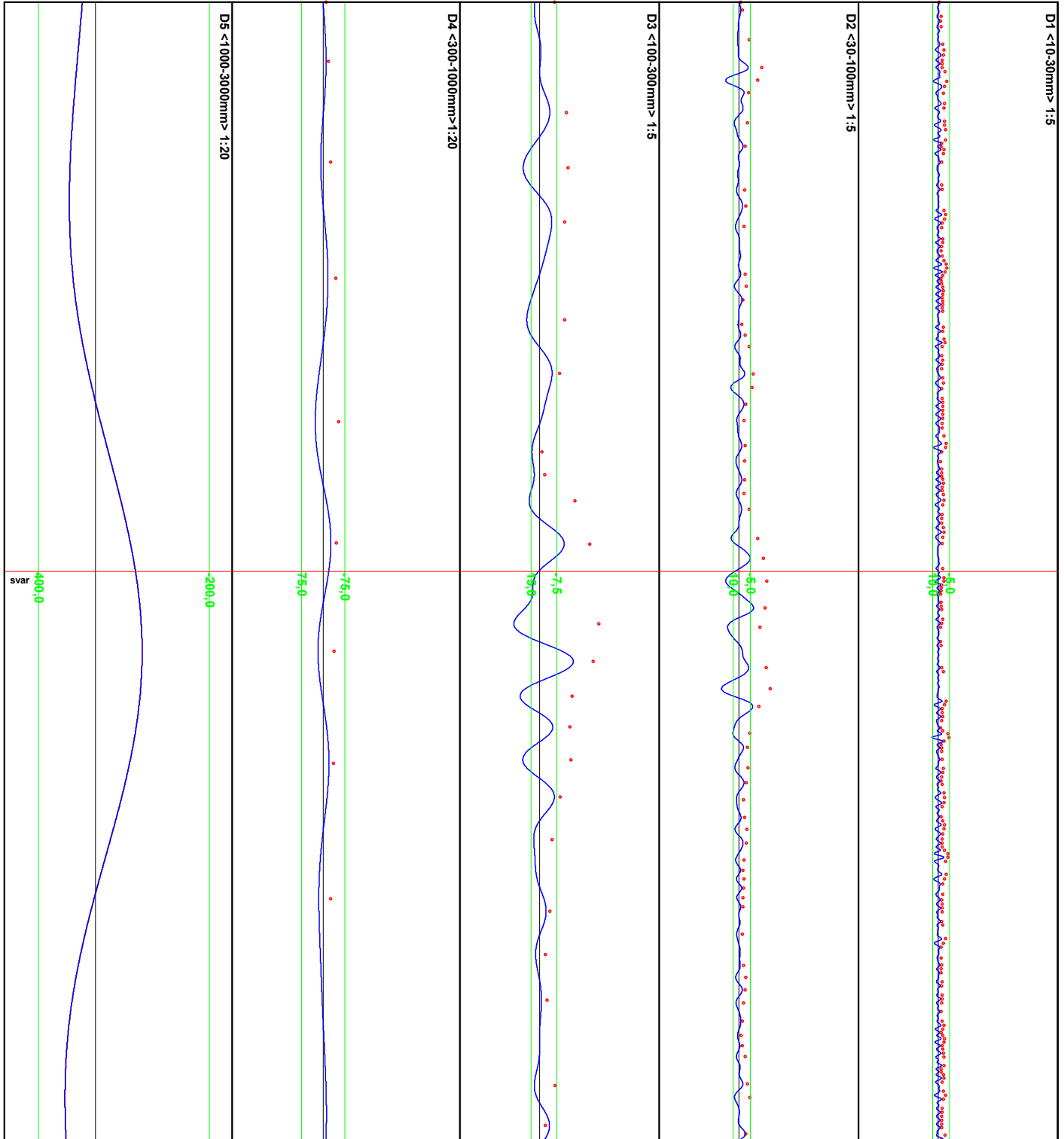


0,000

Grafické hodnocení

Název : **Úsek\_č.2\_Svar\_č.1\_1.pojezd**  
 Poznámka : **Osa mereni \_osa kok (Side:R)**  
 RP 1.úseku :  
 Meze pro :  
 Km Od Do : **0,000000 - 0,002000 km**  
 Uživ. text : **a**

Datum, čas : **7/10/2020, 0:04**  
 Postavení : **Správné**



0,000



Grafické hodnocení

Název : **Úsek\_č.2\_Svar\_č.1\_2.pojezd**

Poznámka : **Osa mereni \_osa kok (Side:R)**

RP 1.úseku :

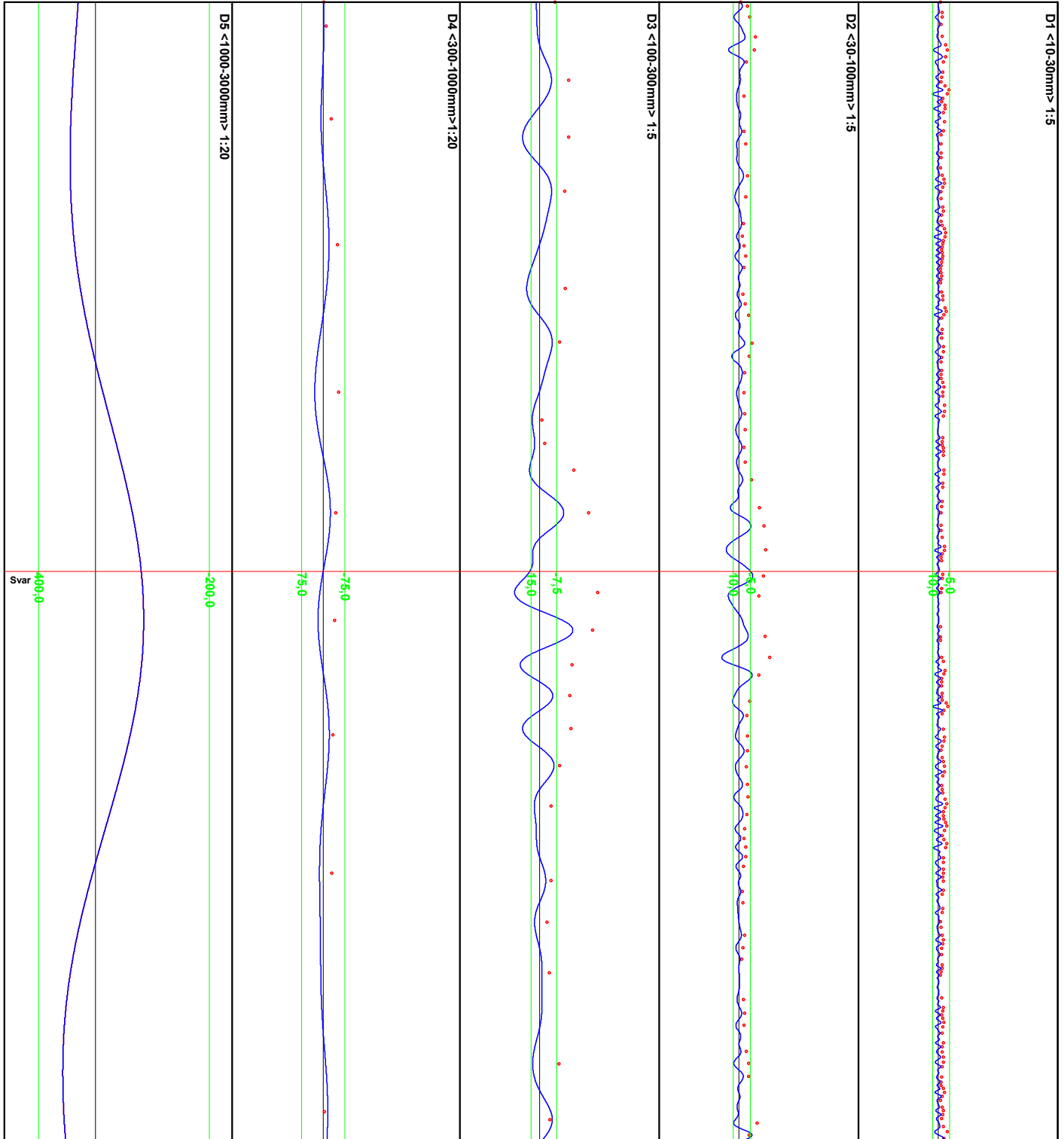
Meze pro :

Km Od Do : **0,000000 - 0,002000 km**

Uživ. text : **a**

Datum, čas : **6/10/2020, 23:56**

Postavení : **Správné**



0,000

Grafické hodnocení

Název : Úsek\_č.2\_Svar\_č.2\_1.pojezd

Poznámka : Osa mereni \_osa kok (Side:R)

RP 1.úseku :

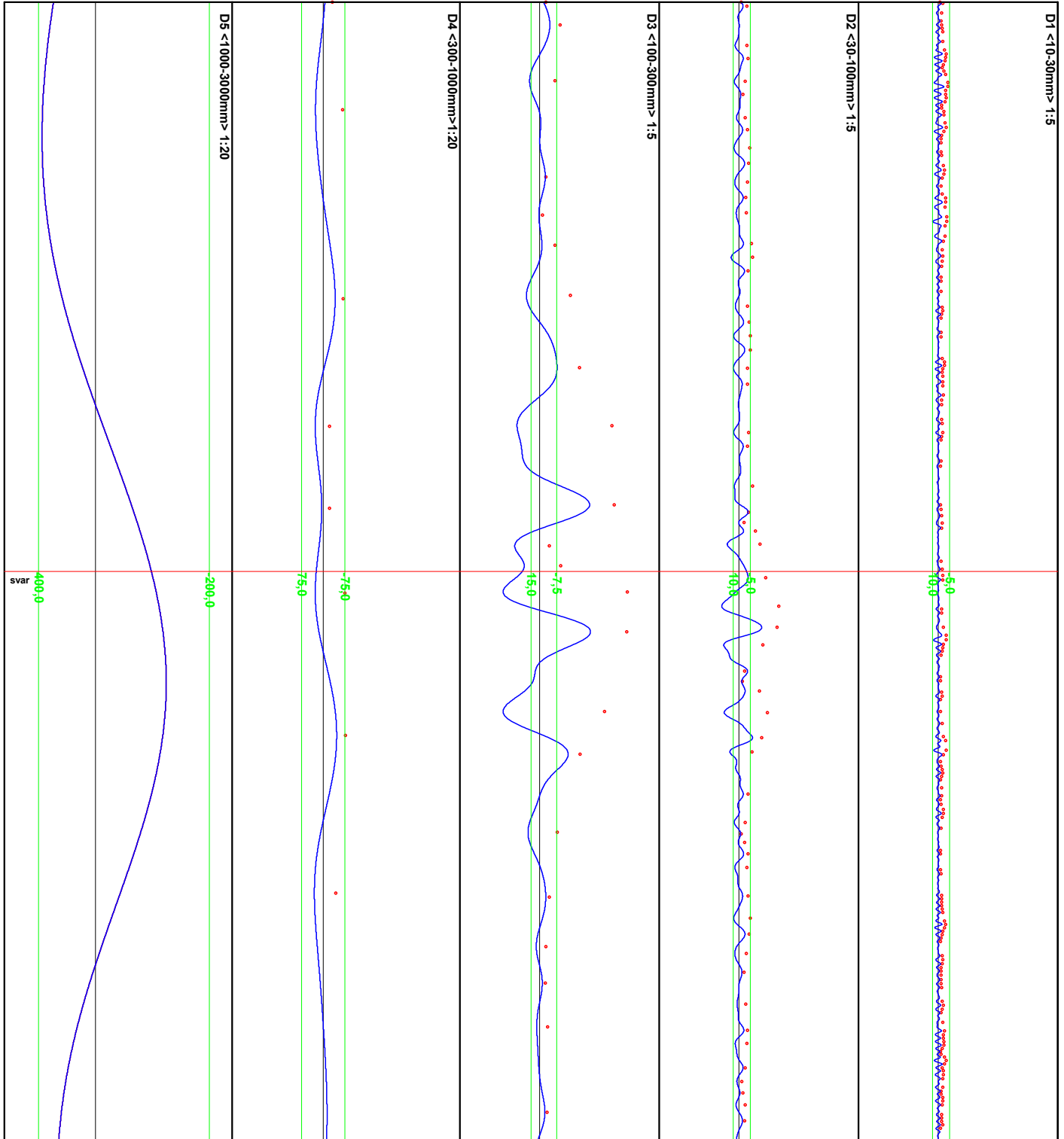
Meze pro :

Km Od Do : 0,000000 - 0,002000 km

Uživ. text : a

Datum, čas : 7/10/2020, 0:15

Postavení : Správné



0,000

Grafické hodnocení

Název : Úsek\_č.2\_Svar\_č.2\_2.pojezd

Poznámka : Osa mereni \_osa kok (Side:R)

RP 1.úseku :

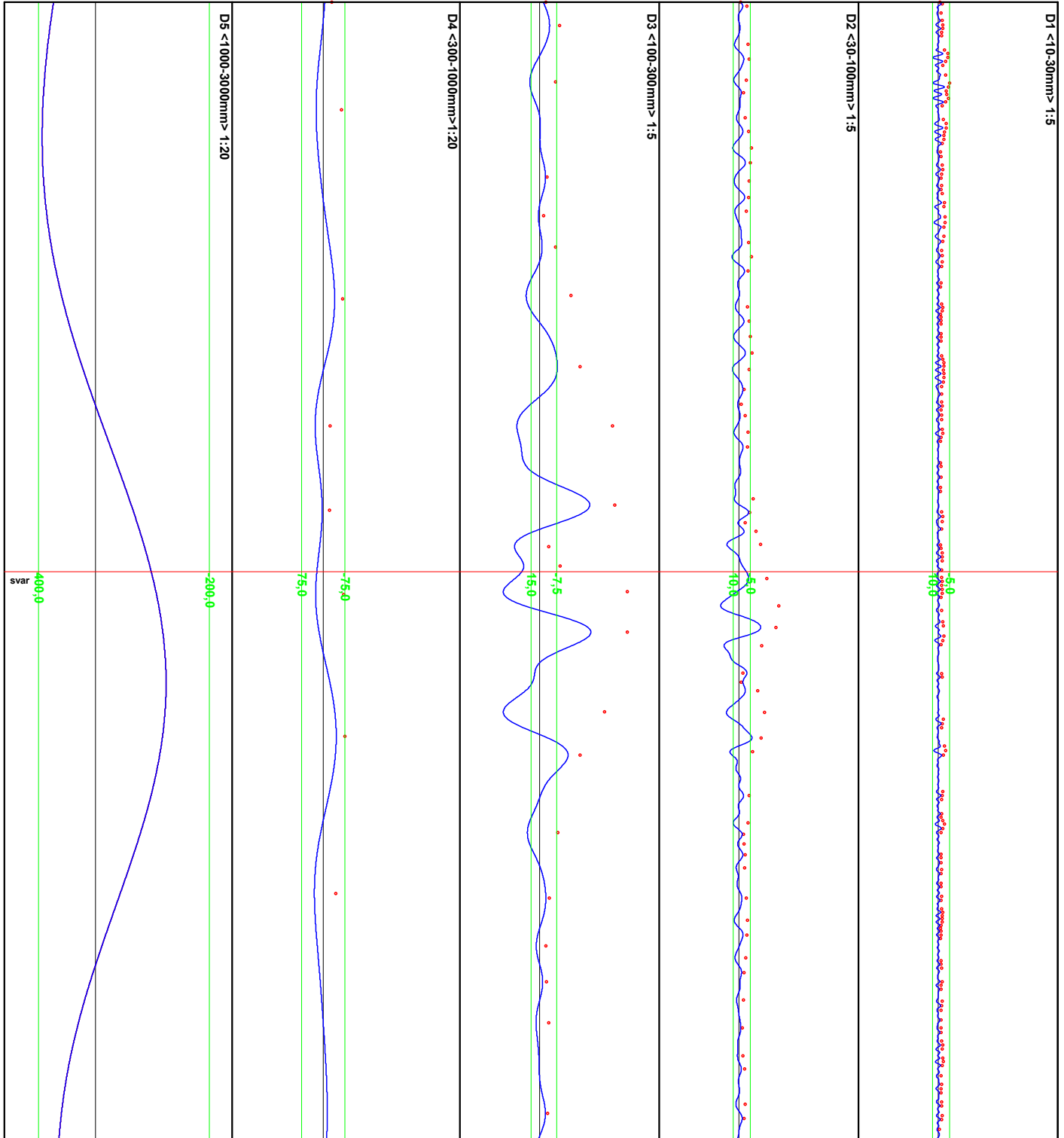
Meze pro :

Km Od Do : 0,000000 - 0,002000 km

Uživ. text : a

Datum, čas : 7/10/2020, 0:23

Postavení : Správné



0,000

Grafické hodnocení

Název : Úsek\_č.2\_Svar\_č.3

Poznámka : Osa mereni \_osa kok (Side:L)

RP 1.úseku :

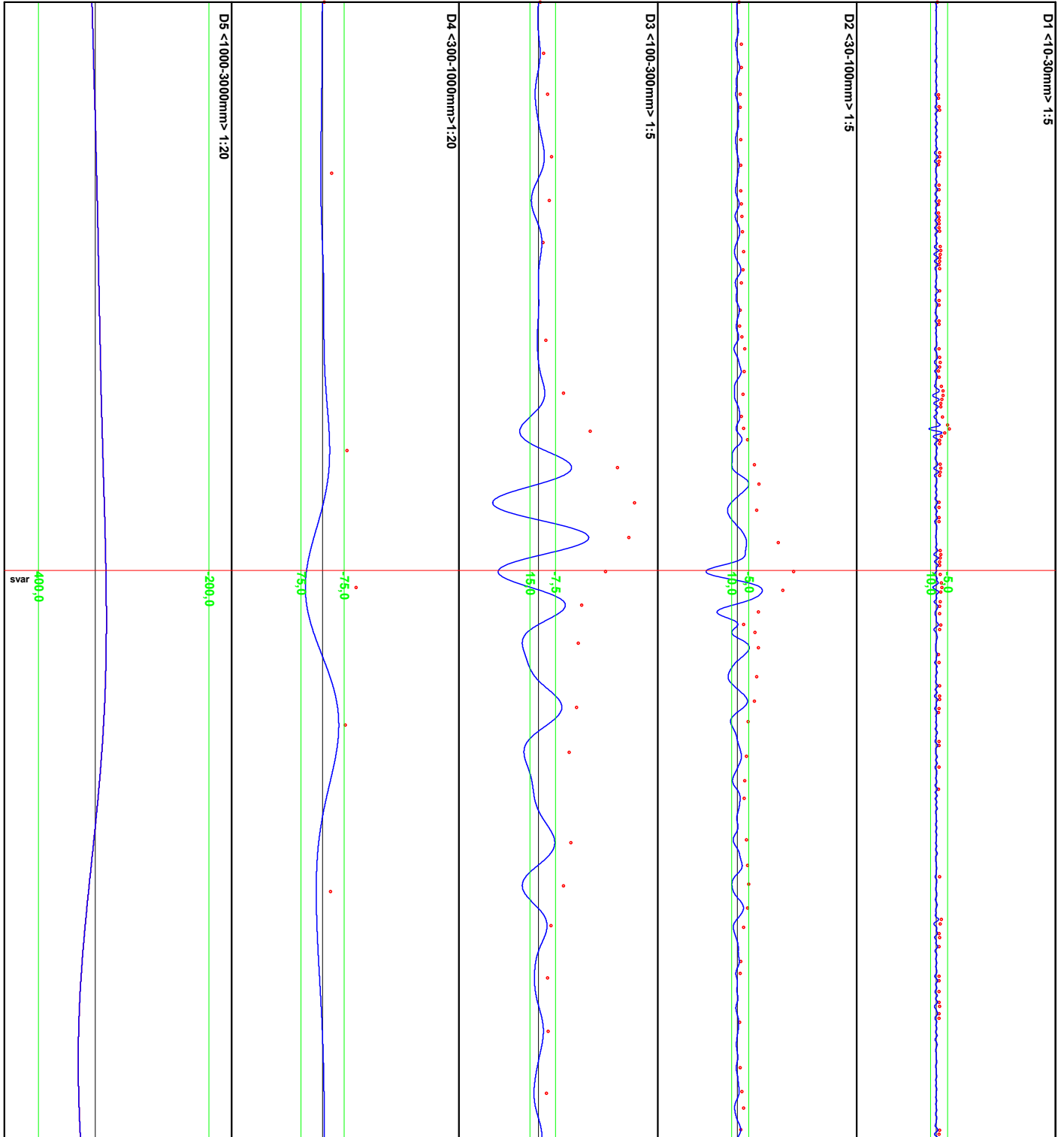
Meze pro :

Km Od Do : 0,000000 - 0,002000 km

Uživ. text : a

Datum, čas : 7/10/2020, 0:29

Postavení : Správné



0,000

Grafické hodnocení

Název : **Úsek\_č.2\_Rez\_2.pojezd na kolejnici svaru č.1**

Poznámka : **Osa mereni \_osa kok (Side:R)**

RP 1.úseku :

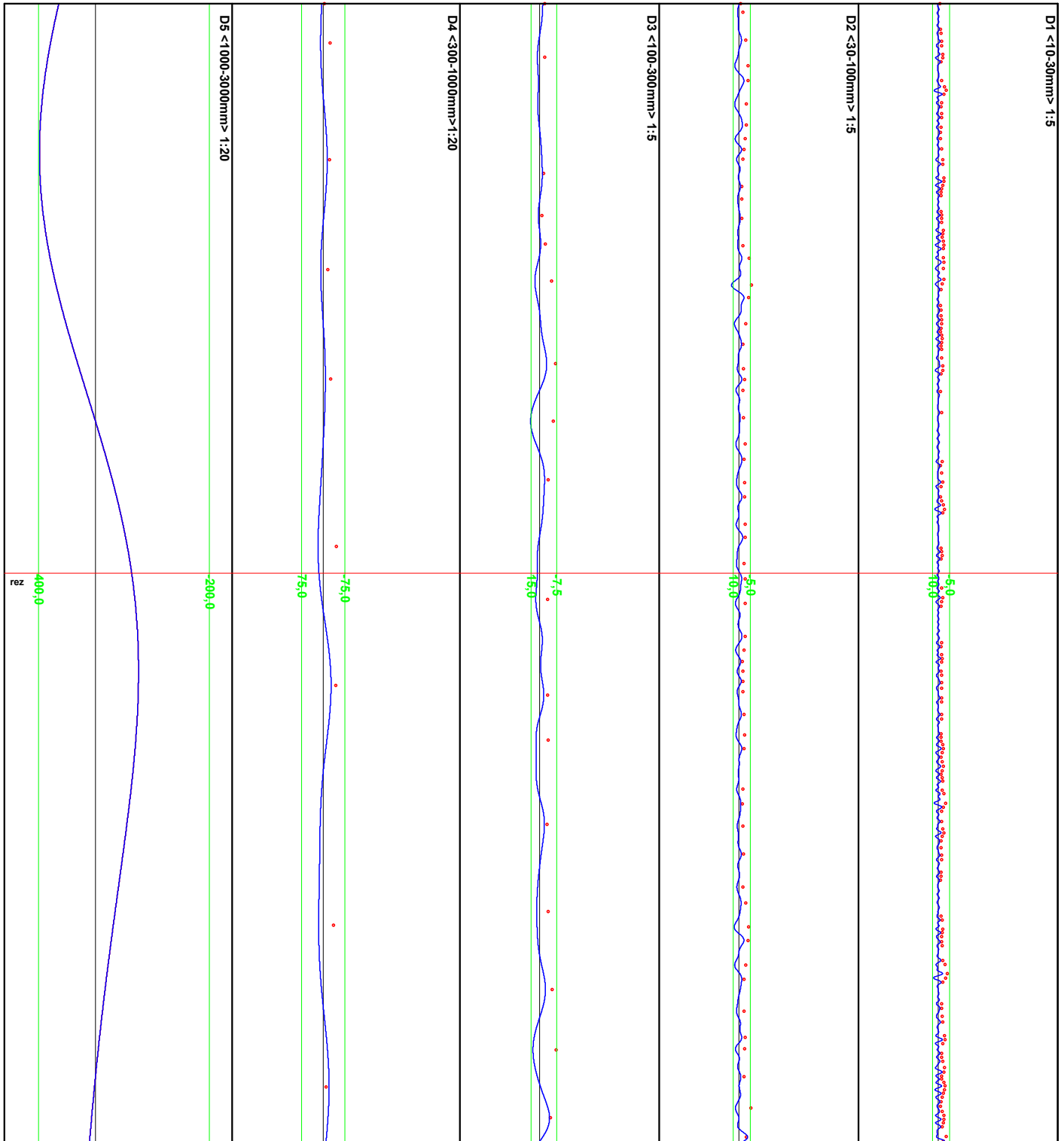
Meze pro :

Km Od Do : **0,000000 - 0,002000 km**

Uživ. text : **a**

Datum, čas : **7/10/2020, 0:15**

Postavení : **Správné**



0,000