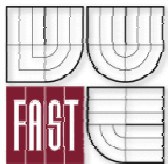

Konstrukce železničního svršku

Bezстыková kolej (*Continuous Welded Rail*)

Otto Plášek, doc. Ing. Ph.D.

Ústav železničních konstrukcí a staveb

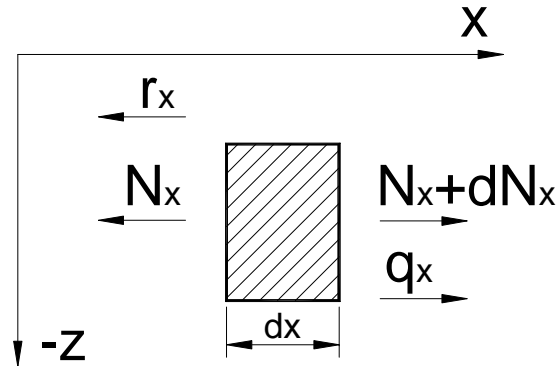


Tato prezentace byla vytvořena pro studijní účely studentů 4. ročníku bakalářského studia oboru „Konstrukce a dopravní stavby“ na Fakultě stavební VUT v Brně a nesmí být použita k žádným jiným účelům.

Některé pasáže mohou být bez komentáře podané na přednášce málo srozumitelné.

Výpočet osových sil – element prutu

Element koleje jako prutu



Rovnice rovnováhy má po úpravě tvar

$$\frac{dN_x}{dx} = r_x - q_x; \quad \varepsilon = \frac{du}{dx} - \alpha_t \cdot (T - T_N)$$

$$\frac{du}{dx} - \alpha_t \cdot (T - T_N) = \frac{N_x}{EA}$$

Základní diferenciální rovnice

$$EA \frac{d^2u}{dx^2} = r_x - q_x$$

Funkce podélného odporu

$$r_x = 0 \quad \text{pro } u = 0$$

$$r_x = r_0 \cdot \text{sign}(T_N - T) \quad \text{pro } u \neq 0$$

Nejmenší hodnoty podélných odporů v provozované koleji 7 kN na kolejnici v uzlu upevnění a 10 kN.m⁻¹ proti posunutí kolejového roštu v kolejovém loži.

Bezstyková kolej

Průběh osových sil a napětí v dýchajícím konci

Střední část bezстыkové koleje, $u = 0$

$$N_x = EA\alpha_t(T_N - T) \quad \sigma_x = E\alpha_t(T_N - T)$$

Střední část bezстыkové koleje, $u \neq 0$

$$R + \int_0^{l_k} r_x dx = EA\alpha_t(T_N - T); \quad R = R_s \cdot \text{sign}(T_N - T)$$

Délka dýchajícího konce

$$l_k = \frac{EA\alpha_t(T_N - T) - R}{r_x}$$

Řešení diferenciální rovnice

$$u = \frac{r_x}{2EA} x^2 + c_1 x + c_2$$

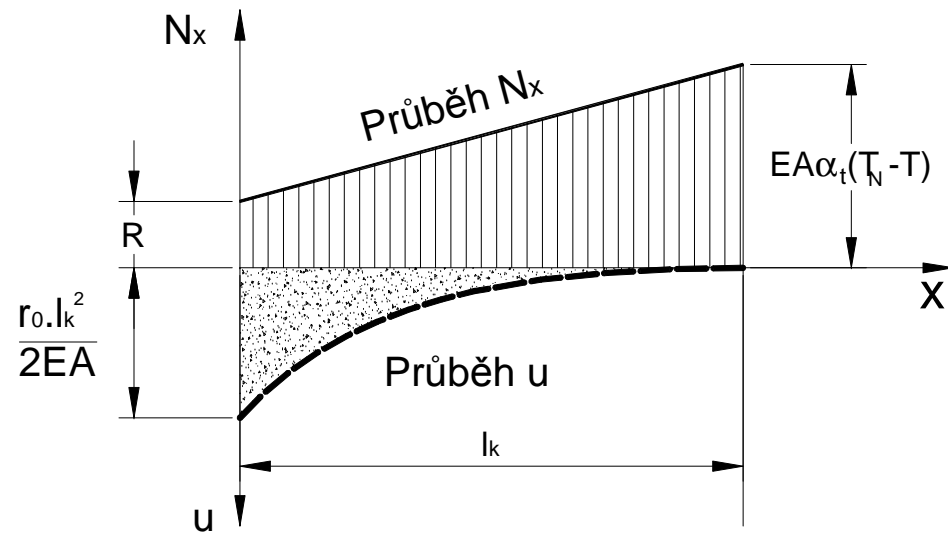
Okrajové podmínky

$$\frac{du(0)}{dx} = \frac{R}{EA} + \alpha_t(T - T_N) \quad u(l_k) = 0$$

Výsledné vztahy

$$u = \frac{r_x}{2EA} (x - l_k)^2$$

$$\sigma_x = \frac{r_x \cdot x + R}{A}; \quad N_x = r_x \cdot x + R$$



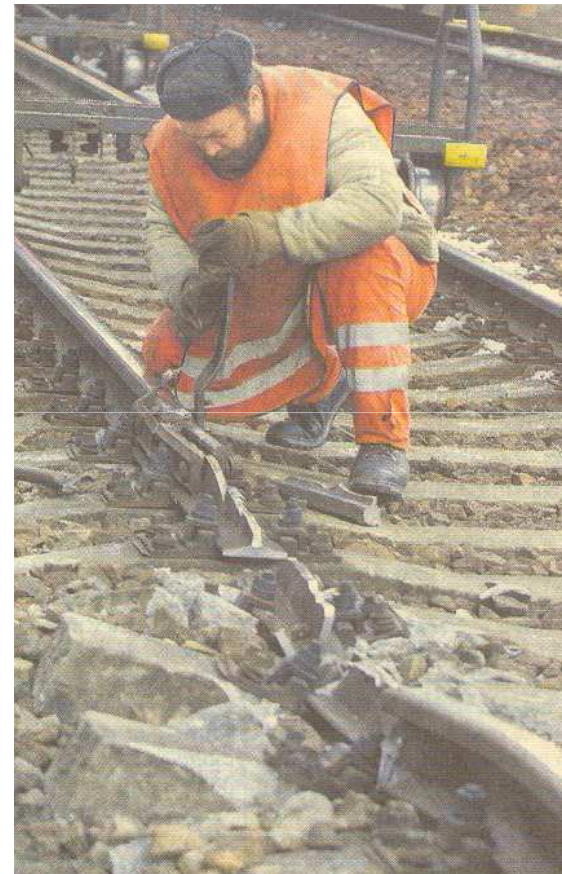
Bezстыková kolej

Závěry z výpočtu osových sil

- napětí a osová síla ve střední části bezstykové koleje je přímo úměrná teplotnímu přírůstku a nezávisí na délce bezstykové koleje.
- délka dýchajícího konce je přímo úměrná teplotnímu rozdílu a nepřímo úměrná podélnému odporu koleje.
- posun dýchajícího konce bezstykové koleje je nepřímo úměrný podélnému odporu koleje a roste se čtvercem teplotního rozdílu.

Vady bezстыkové koleje

- Lom kolejnice
- Vybočení koleje

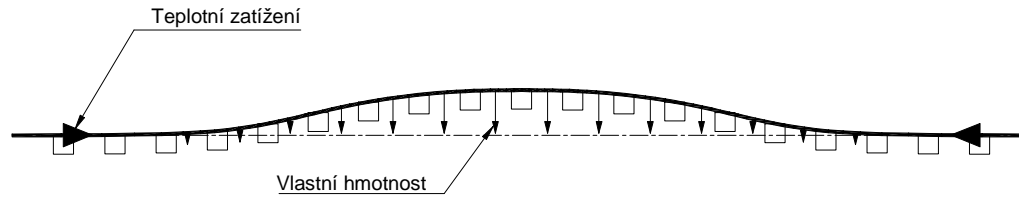


Lom kolejnice

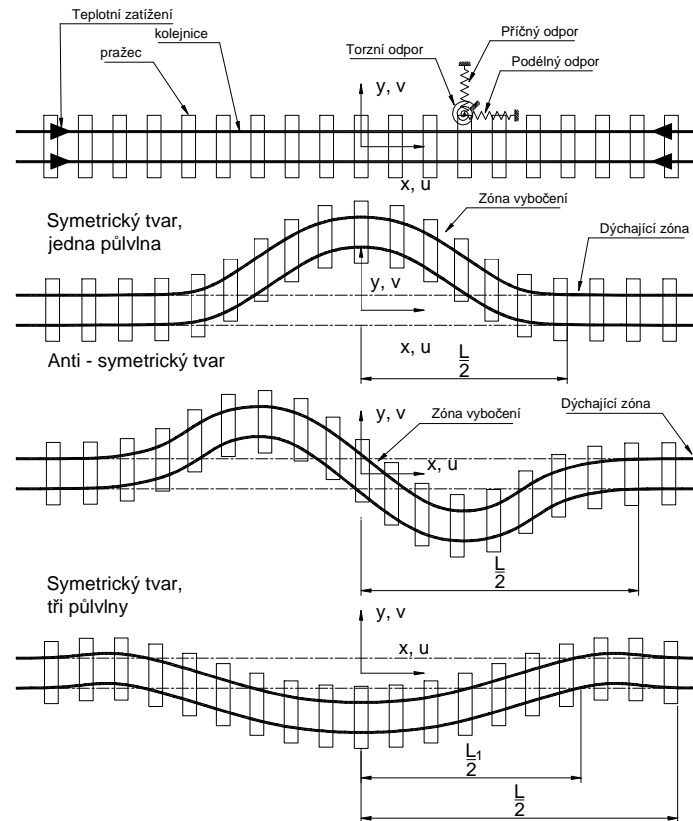
- Vzniklá spára po lomu kolejnice je zpravidla malá, asi 75 mm.
- Vliv na velikost spáry po lomu má podélný odpor koleje, tj. drážebnost upevňovadel, kvalitní kolejové lože.
- Lom kolejnice zpravidla nezpůsobí vykolejení kolejového vozidla a nemá tak katastrofické následky jako vybočení. Lom kolejnice může být snadno indikován zabezpečovacím zařízením s kolejovými obvody.
- Teorie osových sil v bezstykové koleji po lomu je totožná s teorií osových sil v dýchajícím konci, přitom síla R na nově vzniklém konci bezstykové koleje v průřezu se uvažuje rovna nule.

Tvary vybočení bezстыkové koleje

Ve svislé rovině



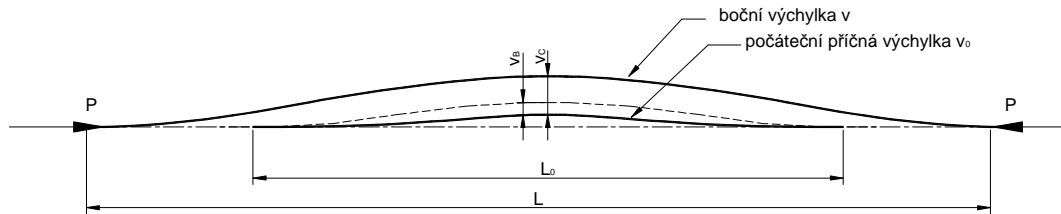
Ve vodorovné rovině



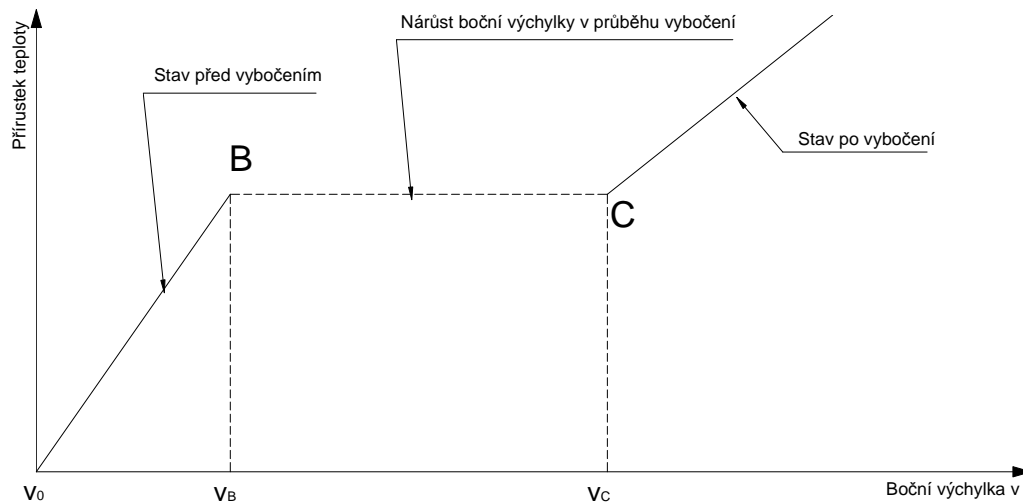
- boční výchylky jsou značné, zhruba 0,5 – 0,75 m;
- vlnová délka poruchy se pohybuje v rozmezí 8 – 20 m;

Bezстыková kolej

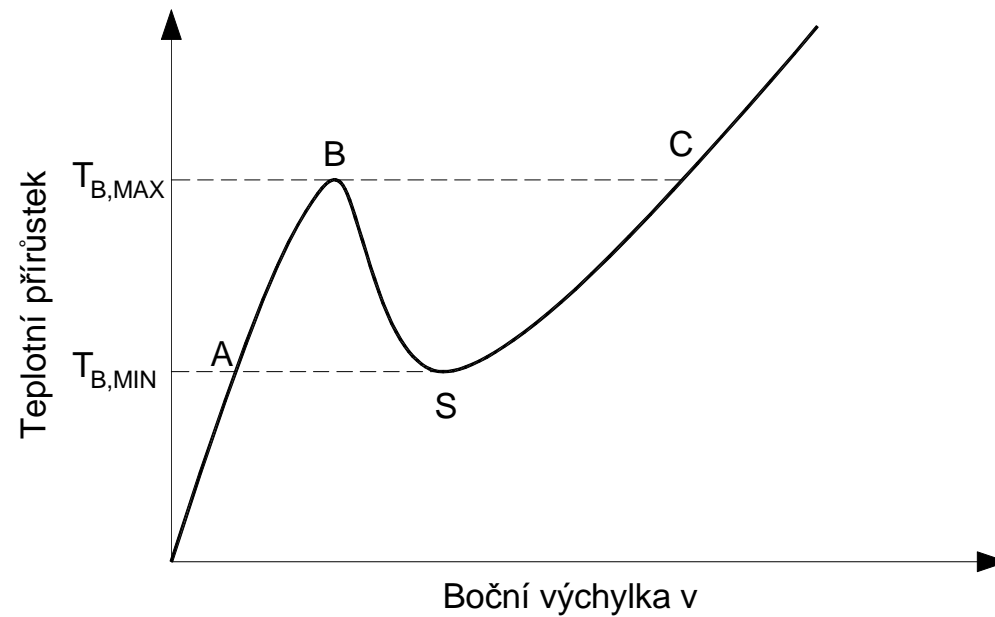
Průběh boční výchylky při vybočení bezstykové koleje



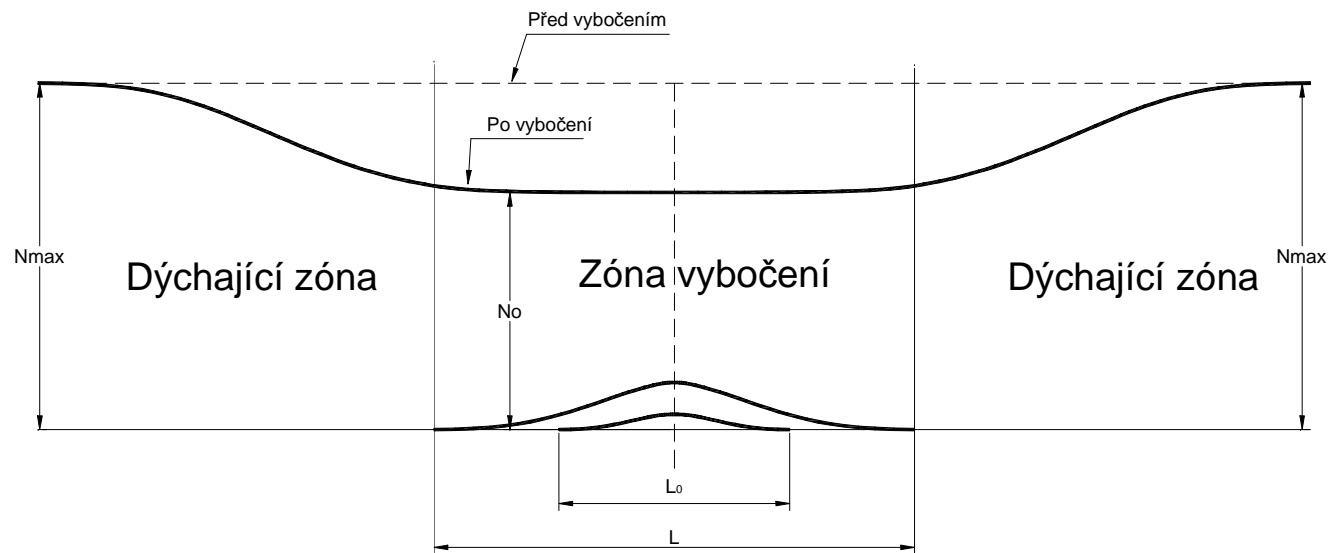
- Podstatný vliv na vybočení koleje mají počáteční příčné odchylky v_0 , na délce L_0 s amplitudou δ_0 od ideální geometrické polohy koleje;



Teoretická křivka pro explozivní vybočení



Průběh osových sil v koleji po vybočení



Bezstyková kolej

Stabilita - element prutu

Pro podélný ohyb

$$M_z = M_z^{(1)} + M_z^{(2)} = M_z^{(1)} \pm N_x \cdot (v + v_0)$$

Elementární analýza prutu

$$-M_z^{(1)} = EI_z \cdot \frac{d^2 v}{dx^2}$$

Dosazením získáme rovnici

$$EI_z \cdot \frac{d^2 v}{dx^2} \mp N_x \cdot (v + v_0) = -M_z$$

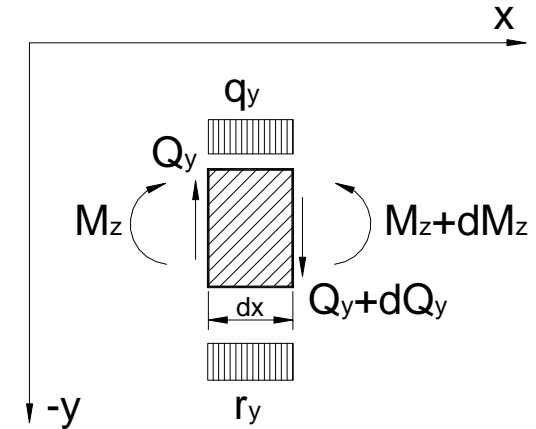
Z rovnováhy elementu prutu

$$dM = Q \cdot dx + dr_{xy} \cdot dx; \quad dQ = r_y \cdot dx - q_y \cdot dx$$

$$\frac{d^2 M_z}{dx^2} = r_y + \frac{dr_{xy}}{dx} - q_y$$

Základní diferenciální rovnice

$$EI_z \cdot \frac{d^4 v}{dx^4} \pm N_x \cdot \frac{d^2 v}{dx^2} = q_y - r_y - \frac{dr_{xy}}{dx}$$



Průběh příčného odporu v závislosti na příčné výchylce

Náhradní funkce pro příčný odpor r_y

A. $r_y = 0$ pro $v = 0$

$r_y = r_0 \cdot \text{sign } v$ pro $v \neq 0$

B. $r_y(v) = k \cdot v$

Výpočet kritického břemene dle A

$$N_k = EI_z \frac{n^2 \pi^2}{L^2}$$

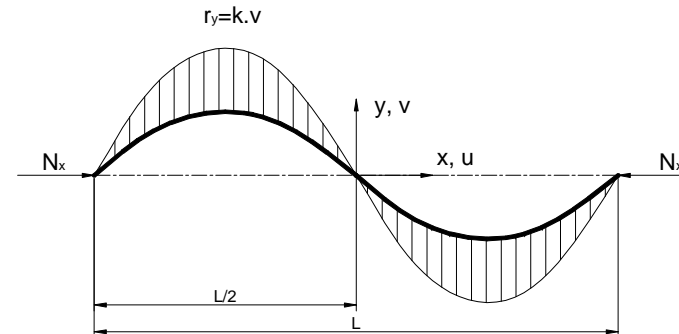
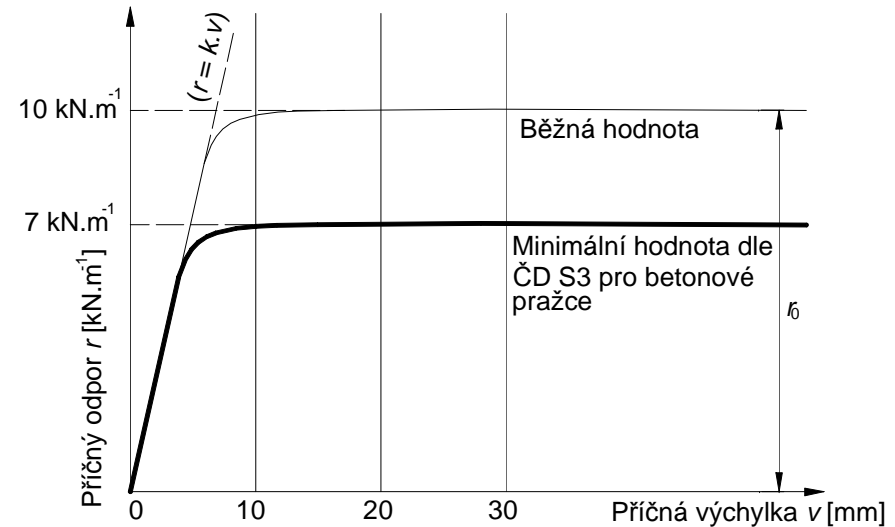
Výpočet kritického břemene dle B

$$\frac{d^4 v}{dx^4} + \alpha^2 \frac{d^2 v}{dx^2} + 4\beta^4 v = 0; \quad \alpha^2 = \frac{N_x}{EI_z}; \quad 4\beta^4 = \frac{k}{EI_z}$$

$$v = v_A \sin \frac{n^2 \pi^2}{L^2}; \quad N_k = EI_z \frac{n^2 \pi^2}{L^2} + k \frac{L^2}{n^2 \pi^2}; \quad \Delta T_k = \frac{N_k}{\alpha_t EA}$$

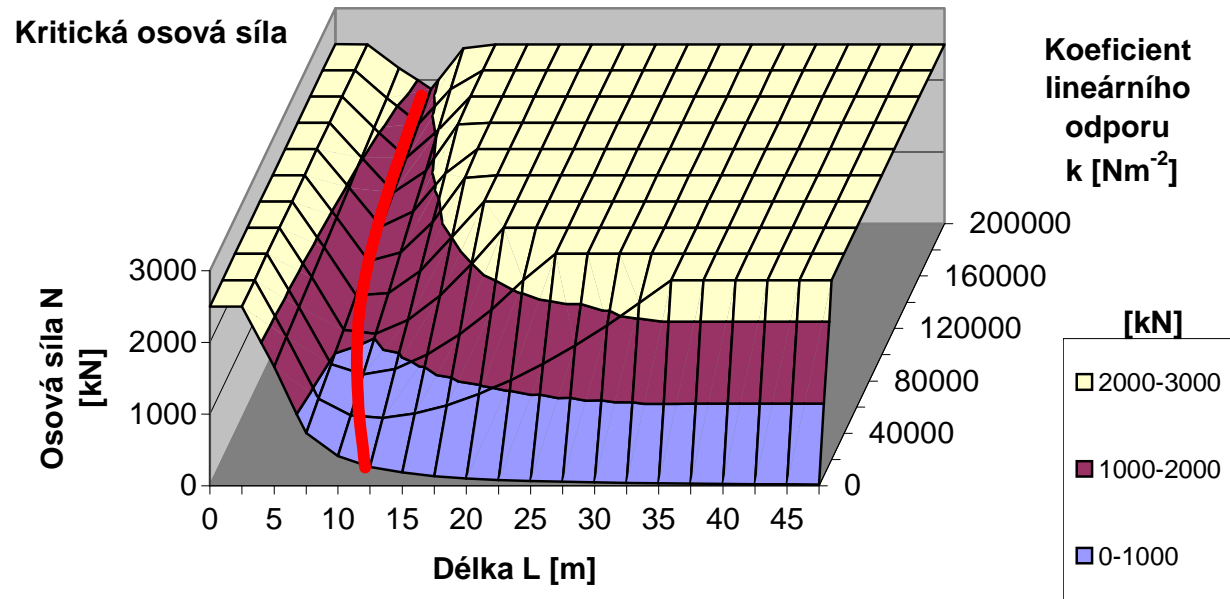
$$\frac{dN_k}{dn} = EI_z \frac{2n\pi^2}{L^2} - k \frac{2L^2}{n^3 \pi^2} = 0; \quad n_k^4 = \frac{k}{EI_z} \frac{L^4}{\pi^4}$$

$$\frac{dN_k}{dL} = -EI_z \frac{2n^2 \pi^2}{L^3} + k \frac{2L}{n^2 \pi^2} = 0; \quad L_k = n \cdot \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_z}{k}}$$



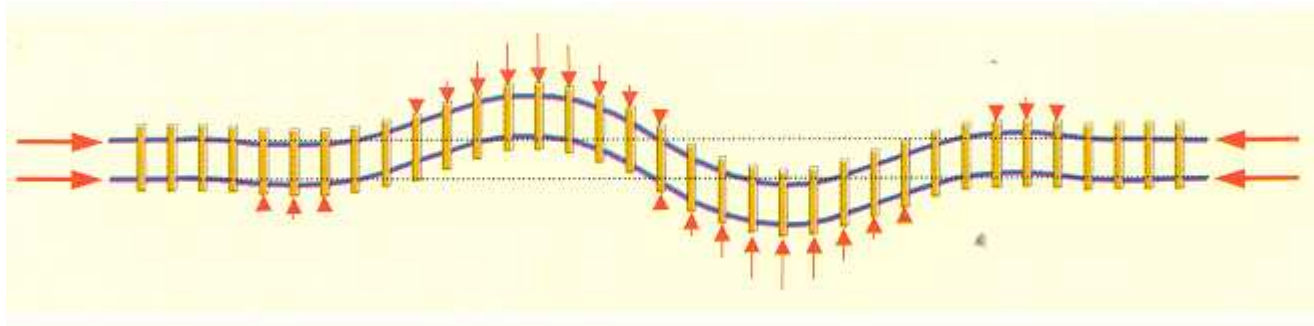
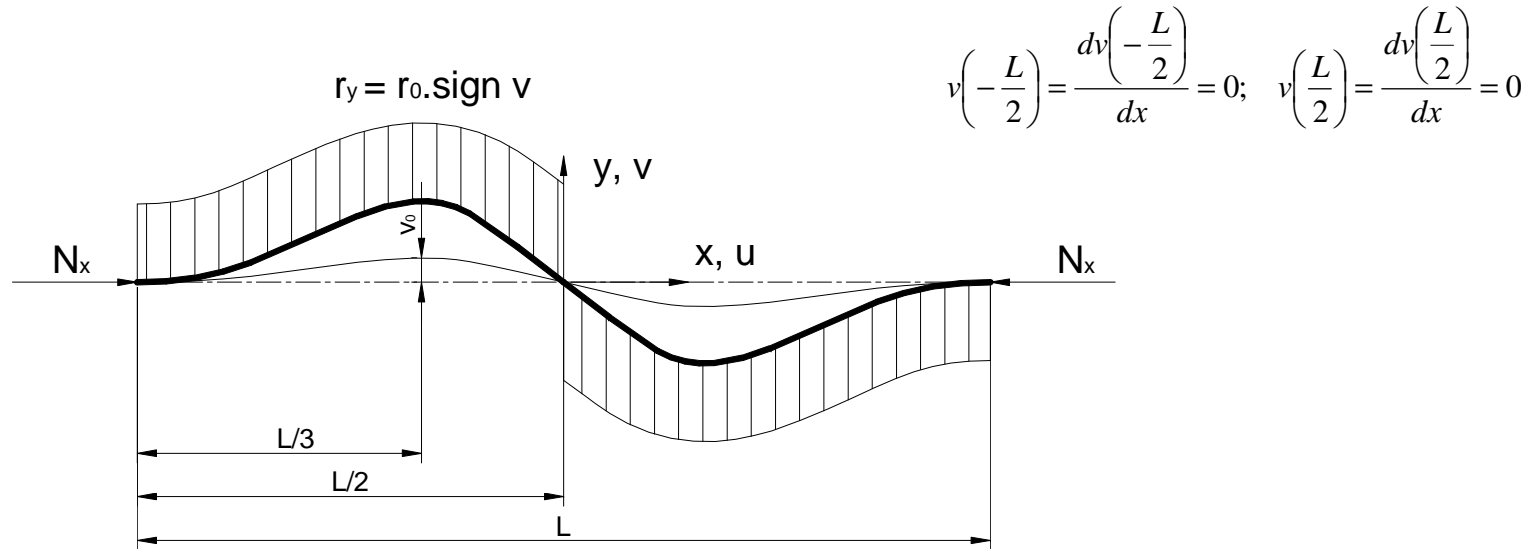
$$v\left(-\frac{L}{2}\right) = 0; \quad v\left(\frac{L}{2}\right) = 0$$

Kritická osová síla



$$N_k = 2 \cdot \sqrt{EI_z k}; \quad \Delta T_k = \frac{2 \cdot \sqrt{EI_z k}}{\alpha_l EA}$$

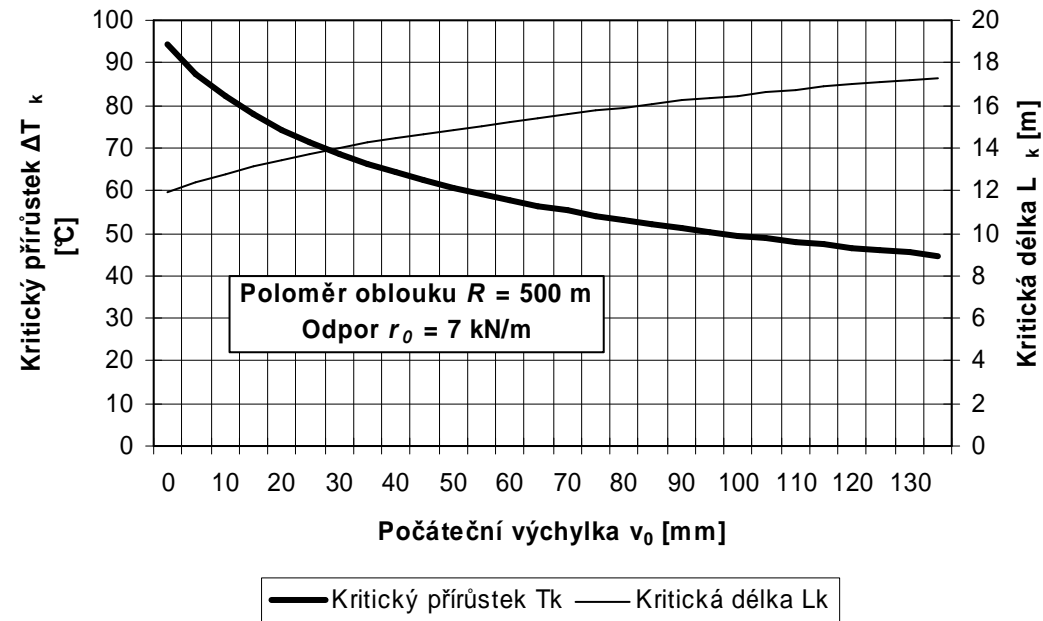
Model vybočení bezstykové koleje



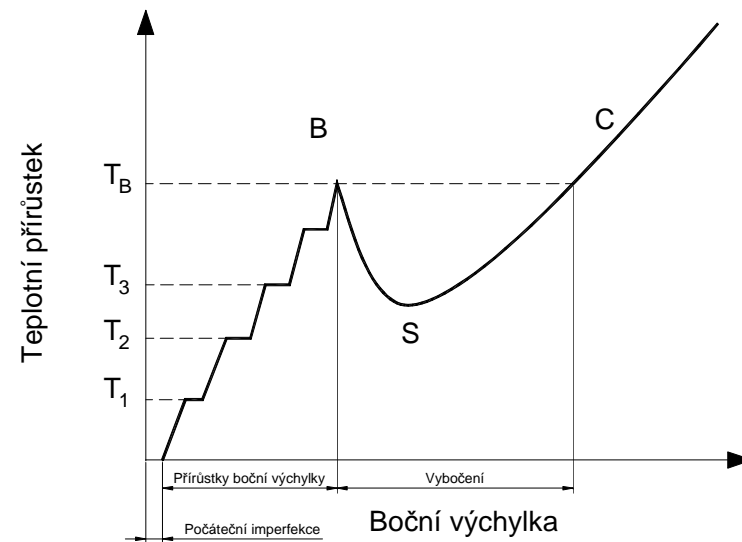
Závislost kritické teploty na počáteční výchylce

$$L_k = 7,75 \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_z v_0}{r_0}}; \quad N_k = 2,96 \cdot \sqrt{\frac{EI_z r_0}{v_0}} = 177 \frac{EI_z}{L_k^2}; \quad \Delta T_k = \frac{N_k}{\alpha_t EA}$$

Průběh kritického přírůstku teploty a kritické délky
v závislosti na počáteční výchylce

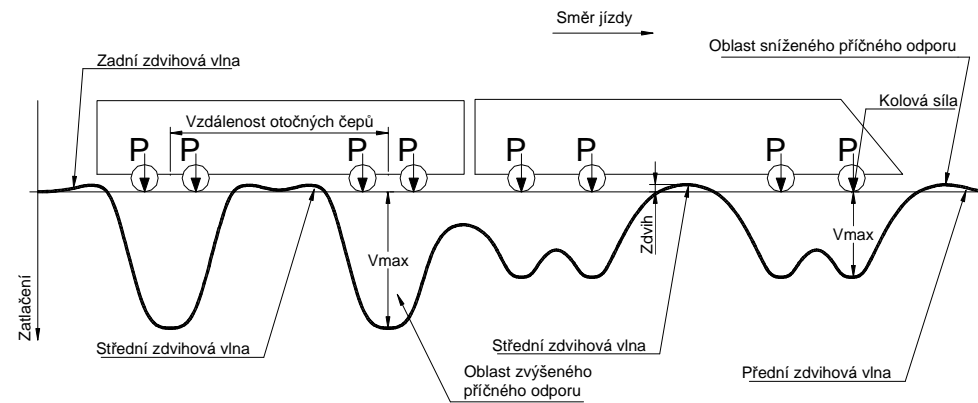


Dynamické vybočení bezстыkové koleje



Bezстыková kolej

Svislé zatlačení koleje pod jedoucím vlakem



Bezstyková kolej

Podmínky pro zřizování bezstykové koleje

- Konstrukce železničního svršku a výhybek
- Kvalifikované řízení a kontrola prací
- Kvalifikovaný dozor objednatele a dohled správce dopravní cesty při realizaci a přejímání stavby
- Dokladování a evidence údajů o zřizování a udržování BK

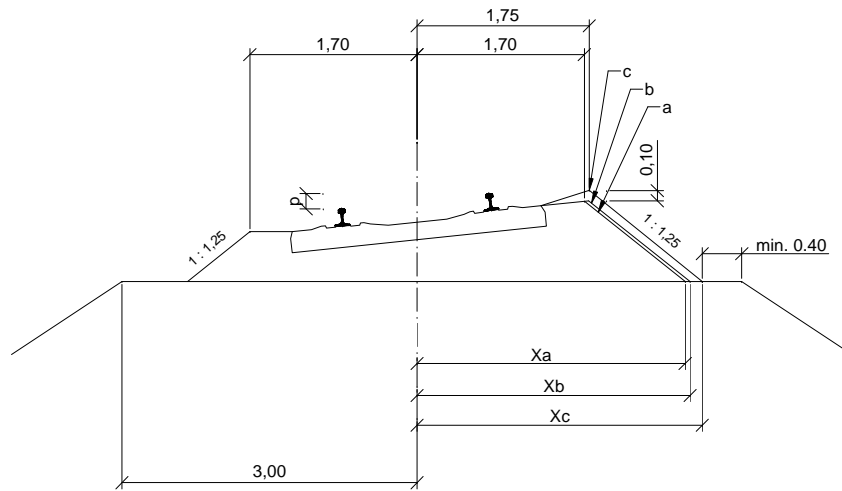
Železniční svršek

- Kolejnice: UIC 60, S 49, T, R 65, neděrované kolejnice
 - Použijí-li se výjimečně kolejnice s otvory, musí být vzdálenost otvoru od čela kolejnice nejméně 85 mm u kolejnic tvaru UIC 60 a R 65 a 100 mm pro kolejnice tvaru S 49 a T.
- Upevnění – podkladnicové a bezpodkladnicové systémy s omezeními:
 - kolejnice tvaru R 65 nesmějí být upevněny na rozponových podkladnicích s výjimkou ostatních staničních kolejí
 - nesmí být použito tuhých svřek typu ŽS 3, (tyto svěrky trpí konstrukční vadou a nezaručují dostatečný podélný odpor v uzlu upevnění kolejnice)
- Rozdělení pražců
 - v hlavních kolejích a v kolejích s otevřeným kolejovým ložem s dřevěnými a ocelovými pražci o rozdělení nejméně „d“ (611 mm) a hustším, nebo s betonovými pražci o rozdělení nejméně „c“ (674,5 mm) a hustším
 - v ostatních kolejích se zapuštěným kolejovým ložem s dřevěnými, ocelovými a betonovými pražci s rozdělením nejméně „c“ a hustším.
- Kolejové lože

Nejmenší poloměry pro zřizování bezстыkové koleje

<i>Směrové poměry pro zřizování bezстыkové koleje</i>									
<i>Pražce</i>	<i>Kolejnice</i>	<i>Rozdělení pražců</i>	<i>Nejmenší poloměr oblouku (m)</i>						
			<i>Profil kolejového lože</i>						
			<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>				
					<i>bez kotev</i>	<i>s pražcovými kotvami na každém</i>			
<i>3. pražci</i>	<i>2. pražci</i>	<i>pražci</i>							
dřevěné	S 49, T		600	550	400	350	300	250	
	UIC 60, R 65			600	470	400	360	300	
betonové	všechny tvary			„c“	550	400	330	280	250
				„d“	500	330	270	230	200

Profil kolejového lože



<i>Převýšení [mm]</i>	<i>X_a [mm]</i>	<i>X_b [mm]</i>	<i>X_c [mm]</i>
30	2400	2450	2570
80	2520	2570	2700
150	2690	2750	2870

Bezstyková kolej

Velikost koncové dilatační spáry

<i>Teplota kolejnic [°C]</i>	<i>Velikost dilatační spáry [mm]</i>
> +30	0
+21 až +30	3
+11 až +20	6
+3 až +10	9
-2 až -3	12

Upínací teplota

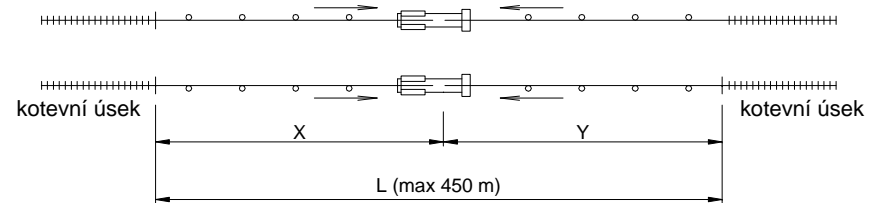
- Upínací teplota je teplota kolejnic, nebo teplota odpovídající uměle vyvolané změně délky kolejnicových pásů napínáním nebo ohřevem, při svaření závěrného svaru a upnutí těchto kolejnicových pásů.
- Dovolená upínací teplota je stanovené rozmezí teplot kolejnic, nebo teplot odpovídajících uměle vyvolané změně délky kolejnicových pásů, při níž smějí být kolejnicové pásy svařeny závěrnými svary a upnuty bez nutnosti dodatečných úprav napětí. Dovolená upínací teplota je od +17 do +23 °C.
- Levý i pravý kolejnicový pás se upíná při stejné teplotě. Připouští se rozdíl upínací teploty levého a pravého kolejnicového pásu 3 °C.
- Teplota kolejnic se měří kalibrovaným kolejnicovým teploměrem s přesností na 0,1 °C. Používá se digitální kontaktní teploměr, který se přikládá na zastíněnou část kolejnice.

Technologie zřizování bezстыkové koleje

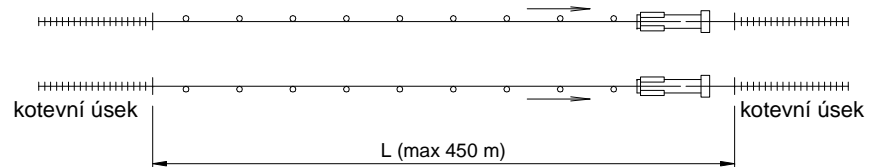
- Kolejnice se svařují v koleji, na svařovacím roštu nebo ve stabilní svařovně. Bezстыková kolej v obloucích malého poloměru se přednostně zřizuje z kolejnicových pásů svařených na roštu nebo ve stabilní svařovně.
- Kolejnicové pásy
 - Max. délka 450 m v přímé, pro $R < 600$ m nejvíce 250 m
 - Kolejnicové pásy svařené ve svařovně nebo na roštu se vyvezou do trati a v koleji se mohou vyměnit při teplotách kolejnic od -3 °C do $+40$ °C
- Montážními svary se svařují kolejnice do dlouhých kolejnicových pásů.
- Závěrnými svary se svařují dlouhé kolejnicové pásy.
- Závěrné svary se svařují při dovolené upínací teplotě.
- Při nižších teplotách kolejnic než je upínací teplota je možné dosáhnout dovolené upínací teploty
 - napínáním
 - ohřevem kolejnic
 - od -3 °C, v obloucích malého poloměru od $+10$ °C.

Technologie napínání bezstykové koleje

oboustranné napínání



jednostranné napínání



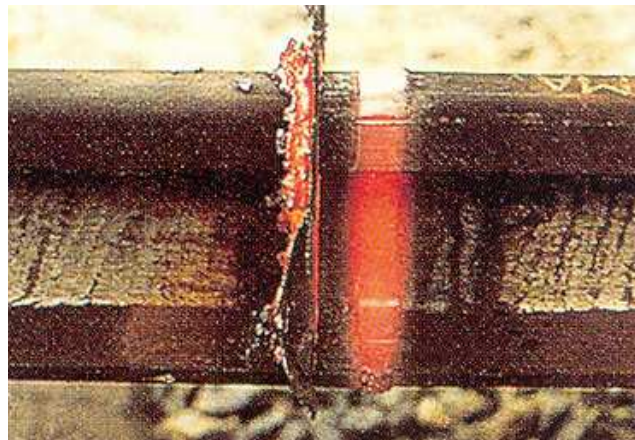
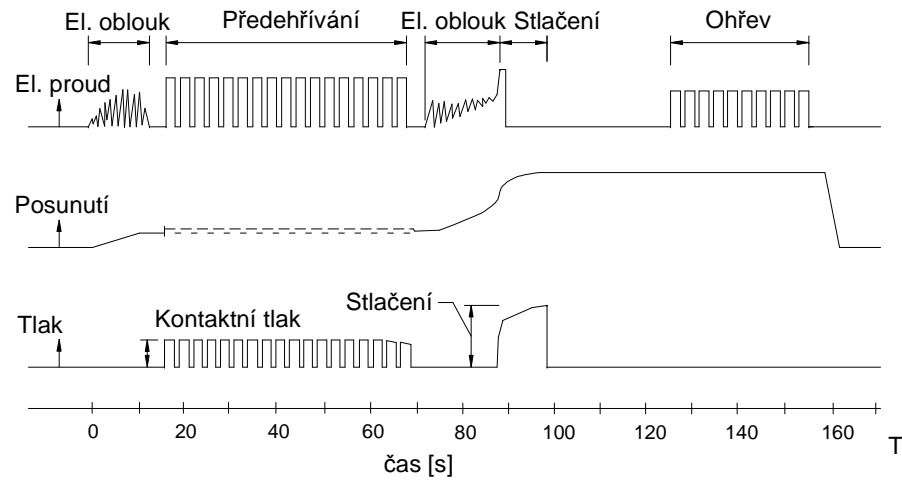
Bezstyková kolej

Válečkové stoličky



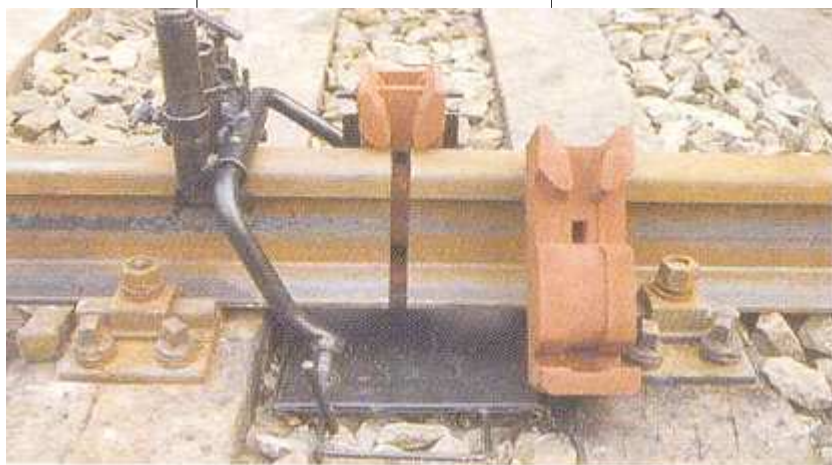
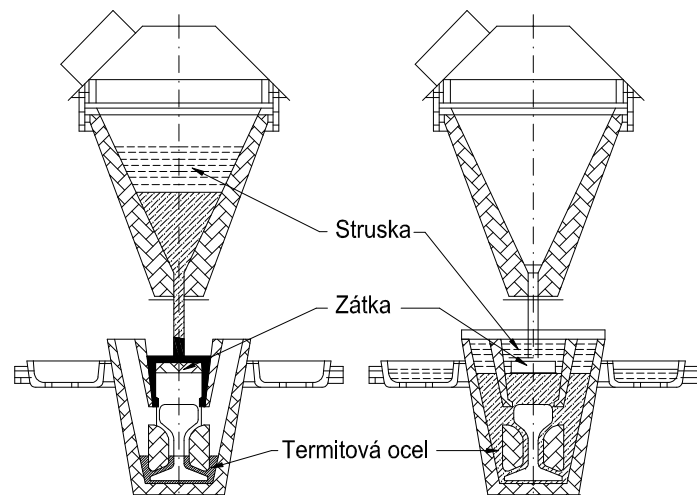
Bezстыková kolej

Technologie odtavovacího stykového svařování



Bezstyková kolej

Aluminotermické svařování



Bezstyková kolej

Aluminotermické svařování



Bezстыková kolej

Použitá a doporučená literatura

- [1] SŽDC s.o: *Předpis S3 Železniční svršek*. Schváleno generálním ředitelem SŽDC dne 3.6.2008 pod č.j.: 9675/08-OP, účinnost od 1. října 2008
- [2] ESVELD, C., *Modern Railway Track*. Second Edition. Delft, MRT – Production, 2001, 2nd ed. 654 p. ISBN 90-800324-3-3
- [3] PLÁŠEK, O. *Železniční stavby. Návody do cvičení*. 2.doplňené vyd., Brno: CERM, s.r.o. Brno, 2003. 110 str. ISBN 80-7204-267-X
- [4] KLIMEŠ, F.: *Železniční stavitelství II*. SNTL, ALFA, 2. přepracované vydání, Praha 1981, 312 str.