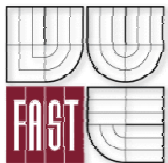

Konstrukční uspořádání koleje

Převýšení koleje a vzezupnice

Otto Plášek, doc. Ing. Ph.D.

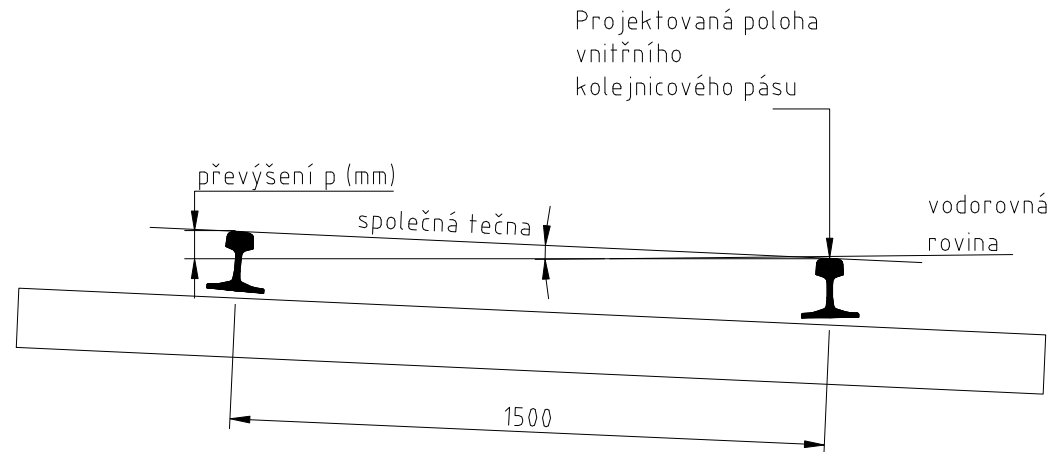
Ústav železničních konstrukcí a staveb



Tato prezentace byla vytvořen pro studijní účely studentů 2. ročníku magisterského studia oboru „Geodézie a kartografie“ na Fakultě stavební VUT v Brně a nesmí být použita k žádným jiným účelům.

Definice převýšení koleje

dle ČSN 73 6360-1



Převýšení koleje (*superelevation, cant*) **D**: výškový rozdíl kolejnicových pásů daný úhlem, který svírá spojnice temen protilehlých kolejnicových pásů a vodorovná rovina, udává se délkou kratší odvěsny pravoúhlého trojúhelníka, jehož přepona má délku 1 500 mm

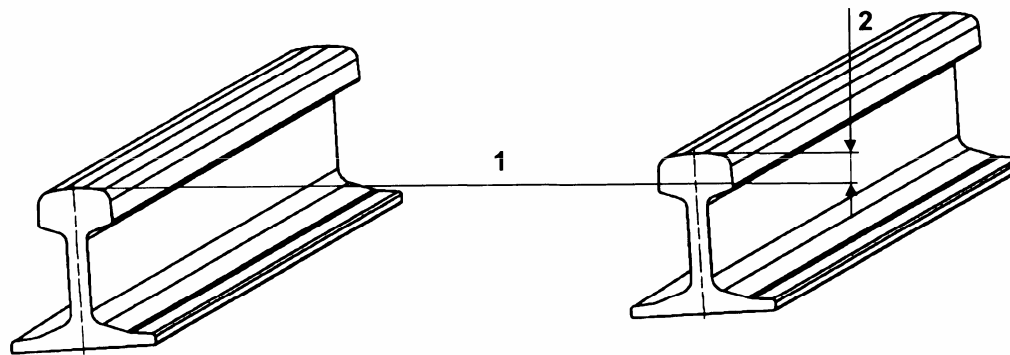
ČSN 73 6360-1 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje a její prostorová poloha. Část 1 - Projektování

Definice převýšení koleje

dle ČSN EN 13232-1

převýšení (*cant (superelevation)*) **D** – výškový rozdíl dvou kolejnicových pásů jedné koleje vztažený k vodorovné rovině v určitém místě (příčném řezu koleje), měřený mezi osami hlav kolejnic

ČSN EN 13232-1 Železniční aplikace – Kolej – Výhybky a výhybkové konstrukce – Část 1: Definice



- 1 Vodorovná rovina
- 2 Převýšení

Základní podmínky

V přímé koleji se převýšení nezřizuje kromě případu, kdy je vzezstupnice umístěna v části přímé přilehlé k oblouku s převýšením bez přechodnice a těchto případů:

- v desinfekční koleji se zřizuje převýšení 60 mm
- v kolejových rozvětveních, nejvíce 80 mm, výjimečně 100 mm, u výhybek, jež druhou větví leží v oblouku s převýšením a k nim přilehlé přímé.

Ke snížení účinků příčné odstředivé síly se v kružnicových obloucích zřizuje převýšení koleje, a to zvýšením polohy vnějšího kolejnicového pásu. Výškovou polohu koleje udává výška temene nepřevýšeného kolejnicového pásu. Převýšení koleje musí vyhovovat rychlosti všech vlaků, které jedou po dané koleji. V oblouku hlavní koleje se projektuje převýšení pro traťovou rychlost, v ostatních kolejích pro největší dovolenou rychlost.

V kolejích, které nejsou hlavní, **se neprojektuje převýšení** pro:

$V = 30 \text{ km.h}^{-1}$ pro $R \geq 150 \text{ m}$	$V = 40 \text{ km.h}^{-1}$ pro $R \geq 190 \text{ m}$
$V = 50 \text{ km.h}^{-1}$ pro $R \geq 295 \text{ m}$	$V = 60 \text{ km.h}^{-1}$ pro $R \geq 425 \text{ m}$
$V = 80 \text{ km.h}^{-1}$ pro $R \geq 755 \text{ m}$	$V = 100 \text{ km.h}^{-1}$ pro $R \geq 1180 \text{ m}$

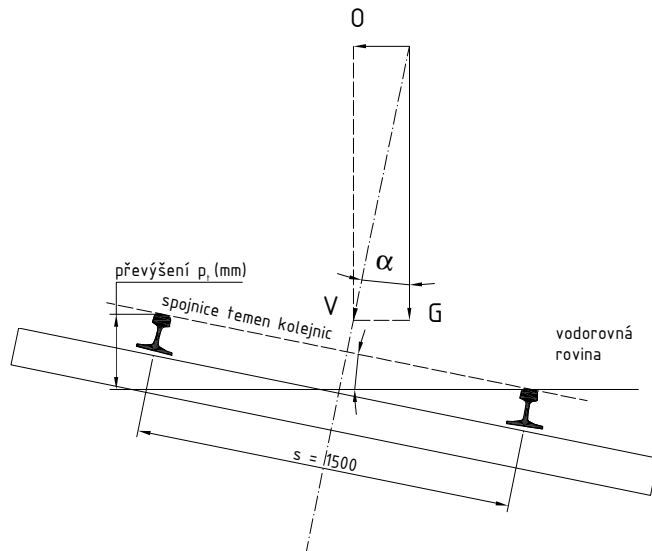
Pokud je zřízeno převýšení koleje, je obvyklé doporučené rozmezí hodnot pro projektování převýšení koleje s ohledem na návrhovou rychlost všech skupin vlaků a na hospodárnost provozu a údržby koleje od **20 mm** až do hodnoty mezního převýšení koleje, které je pro kolej mimo výhybky a výhybkové konstrukce s provozním zatížením do 20 milionů t/rok $D_{lim} = 150 \text{ mm}$ a s provozním zatížením nad 20 milionů t/rok $D_{lim} = 120 \text{ mm}$. Maximální hodnota převýšení koleje je $D_{max} = 160 \text{ mm}$, tuto hodnotu lze použít pouze pro koleje mimo výhybky a výhybkové konstrukce a zároveň pro poloměr oblouku $R \geq 290 \text{ m}$, v obloucích s poloměrem $R < 290 \text{ m}$ musí být menší než

$$D \leq \frac{R - 50}{1,5}$$

Velikost převýšení v obou větvích **výhybky** včetně části se společnými pražci je shodná, má být menší než $D_{lim} = 80 \text{ mm}$ a musí být menší než $D_{max} = 120 \text{ mm}$.

Teoretické převýšení

Teoretické převýšení (*equilibrium cant*) D_{eq} – převýšení pro stanovenou rychlost, při kterém výslednice svisele orientované síly vyvolané hmotností vozidla a síly odstředivé působí kolmo k jízdni rovině



$$O = m \cdot \frac{v^2}{r}; \quad G = m \cdot g$$

O ... odstředivá síla [N]

m ... hmotnost [kg]

v ... rychlost [m.s⁻¹]

V ... rychlost [km.h⁻¹]

r ... poloměr oblouku [m]

g ... gravitační zrychlení, hodnota 9,81 [m.s⁻²]

D_{eq} ... teoretické převýšení [mm]

s ... vzdálenost styčných kružnic, hodnota 1500 [mm]

$$\tan \alpha = \frac{O}{G} = \frac{v^2}{r \cdot g} = \frac{V^2}{12,96 \cdot r \cdot g}; \quad \sin \alpha = \frac{D_{eq}}{s}$$

$$\tan \alpha = \sin \alpha; \quad \frac{V^2}{12,96 \cdot r \cdot g} = \frac{D_{eq}}{s}; \quad D_{eq} = \frac{11,8 \cdot V^2}{r}$$

Vypočtená hodnota se zaokrouhlí na celý mm nahoru. Vychází-li hodnota D_{eq} menší nebo rovna 20 mm, projektuje se kolej bez převýšení.

Doporučené převýšení

$$D_{N1} = \frac{7,1 \cdot V^2}{R} \quad [\text{mm}] \quad \text{pro } V \leq 120 \text{ km/h}$$

$$D_{N2} = \frac{6,5 \cdot V^2}{R} \quad [\text{mm}] \quad 120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$$

$$D_{N3} = \frac{5,9 \cdot V^2}{R} \quad [\text{mm}] \quad \text{pro } 160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$$

Nedostatek a přebytek převýšení

Nedostatek převýšení (*cant deficiency*) I – rozdíl mezi teoretickým převýšením a skutečným převýšením pro stanovenou rychlost V , skutečné převýšení je menší než teoretické

Přebytek převýšení (*cant excess*) E – rozdíl mezi skutečným převýšením a teoretickým převýšením pro stanovenou rychlost V , skutečné převýšení je větší jak teoretické

Vlaky, jedoucí rychlostí vyšší než rychlostí V , projíždějí oblouk s využitím nedostatku převýšení I , vlaky jedoucí rychlostí nižší využívají přebytku převýšení E . Tyto hodnoty se vypočtou

$$V > \sqrt{\frac{D_{eq} \cdot R}{11,8}} \Rightarrow I = \frac{11,8 \cdot V^2}{R} - D > 0$$

$$V < \sqrt{\frac{D_{eq} \cdot R}{11,8}} \Rightarrow E = D - \frac{11,8 \cdot V^2}{R} > 0$$

Nedostatek převýšení I ani přebytek převýšení E nemůže nabývat záporných hodnot.

Mezní hodnota přebytku převýšení je $E_{lim} = 80$ mm, maximální hodnota přebytku převýšení je $E_{max} = 110$ mm.

Nevyrovnané boční zrychlení

Nedostatku případně přebytku převýšení odpovídá hodnota nevyrovnaného příčného zrychlení. Jeho hodnota se vypočte podle vztahu

$$a_q = \frac{V^2}{12,96 \cdot R} - \frac{D}{153}$$

$$a_q = a_o - a_p = \frac{v^2}{R} - a_p = \frac{V^2}{12,96 \cdot R} - \frac{D}{153}$$

$$\frac{a_p}{g} = \frac{D}{s}; \quad a_p = \frac{D \cdot g}{s} = \frac{D}{153}$$

$$\frac{a_q}{g} = \frac{I}{s}; \quad a_q = \frac{I \cdot g}{s} = \frac{I}{153}$$

Nedostatek převýšení v běžné koleji

Hodnoty standardního, mezního a maximálního nedostatku převýšení v kolejích, ve kterých je hodnota nedostatku převýšení konstantní nebo plynule se mění a ve kterých neleží výhybky a výhybkové konstrukce

Rychlost [km/h]	Standardní hodnota I_n [mm]	Mezní hodnota I_{lim} [mm]	Maximální hodnota I_{max} [mm]
$V \leq 80$	80	100	100 (130 ^c)
$80 < V \leq 230$			130 (150 ^b)
$230 < V \leq 250$	60		130 (150 ^{a,b})
$250 < V \leq 300$		80	130

^a Lze pouze pro vozidla s omezenými silovými účinky na trať (maximální hmotnost na nápravu 18 t)

^b Lze pouze pro vozidla vlaků osobní dopravy

^c Lze pouze pro poloměr směrového oblouku $R \geq .$ V poloměrech $R <$ lze projektovat $I_{max} =$ pouze pro vozidla s omezenými silovými účinky na trať (maximální hmotnost na nápravu 18 t)

Hodnoty nedostatku převýšení vyšší než 100 mm lze navrhovat pouze v případě bezstykové koleje.

Hodnoty nedostatků převýšení z platí pro konvenční vozidla. Hodnoty nedostatků převýšení vyšší než mezní mohou využívat jen vozidla pro vyšší odpovídající hodnoty schválená, příslušná rychlost se označuje jako V_{130} (popř. V_{150}). Z tohoto důvodu musí být vždy stanovena v dokumentaci i rychlost s využitím hodnot nedostatku převýšení nepřevyšujících mezní hodnoty označená jako V .

Nedostatek převýšení ve výhybkách a výhybkových konstrukcích

Typ konstrukce železničního svršku		$V \leq 160$ [km/h]		$160 < V \leq 200$ [km/h]		$200 < V \leq 300$ [km/h]
		Mezní hodnoty	Maximální hodnoty	Mezní hodnoty	Maximální hodnoty	Maximální hodnoty
		I_{lim} [mm]	I_{max} [mm]	I_{lim} [mm]	I_{max} [mm]	I_{max} [mm]
Pevné jednoduché srdcovky	a	85	110 ^d	60	90	Vyloučen o
	b		100		60	
Jednoduché srdcovky s pohyblivými částmi		100	130 ^d	100	120	60
Dilatační zařízení ^c		100		80	60	60

^a Přerušená pojížděná hrana kolejnicového pásu je na vnitřní straně výhybkového oblouku

^b Přerušená pojížděná hrana kolejnicového pásu je na vnější straně výhybkového oblouku

^c Pro rychlosti $V >$ je v oblouku přípustné pouze malé dilatační zařízení

^d Pro rychlosti do 120 km/h lze pouze pro poloměr směrového oblouku $R \geq 1000$ m. V poloměrech $R < 1000$ m lze projektovat $I_{max} =$ pouze pro vozidla s omezenými silovými účinky na trať (maximální hmotnost na nápravu 18 t), pro ostatní vozidla platí $I_{max} = 100$ mm.

Náhlá změna nedostatku převýšení

Hodnoty náhlé změny nedostatku převýšení (ΔI)

Rychlost [km/h]	Hlavní kolej staniční a kolej průběžná traťová			Kolejová spojení a rozvětvení a ostatní koleje		
	Standardní hodnota (ΔI_n) [mm]	Mezní hodnota (ΔI_{lim}) [mm]	Maximální hodnota (ΔI_{max}) [mm]	Standardní hodnota (ΔI_n) [mm]	Mezní hodnota (ΔI_{lim}) [mm]	Maximální hodnota (ΔI_{max}) [mm]
$V \leq 100$	50	85	100	80	100	
$100 < V \leq 120$	40		85	85	60	80
$120 < V \leq 170$		50	60	50		
$170 < V \leq 230$	30	40				

Vzestupnice

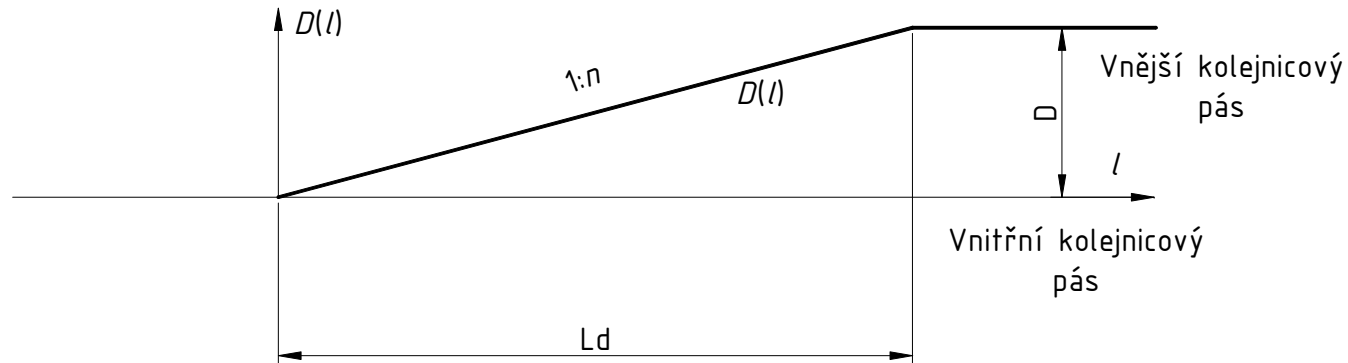
- Vzestupnice je úsek koleje, v němž se plynule mění převýšení.
- Pro výškový přechod mezi úsekem koleje bez převýšení a úsekem koleje s převýšením má být projektována krajní lineární vzestupnice.
- Pokud není možné navrhnout krajní lineární vzestupnici, je možné navrhnout krajní nelineární Blossovu vzestupnici

- Mezi úseky koleje s rozdílnými hodnotami převýšení (při stejném smyslu křivosti) má být projektována
 - lineární mezilehlá vzestupnice
 - U oblouků opačných směrů bez mezilehlé přímé koleje se projektuje lineární vzestupnice s bodem obratu.

- Vzestupnice je popsána svou délkou L_d (resp. l_{vz} v případě, že je použita přechodnice tvaru kubické paraboly) a svým sklonem, definovaným maximální hodnotou časové změny převýšení dD/dt nebo ekvivalentně maximální hodnotou poměru nárůstu převýšení v závislosti na délce vzestupnice 1:n.

- Minimální délka vzestupnice je vypočtena z maximální hodnoty sklonu vzestupnice 1:n nebo ekvivalentně z časové změny převýšení dD/dt .

Lineární vzestupnice



Vzorec pro výpočet lineární vzestupnice mezi úsekem koleje bez převýšení a úsekem s převýšením (krajní vzestupnice):

$$D(l) = \frac{D \cdot l}{L_d}$$

Vzorec pro výpočet lineární vzestupnice mezi úsekem koleje s převýšením D_1 a úsekem s převýšením D_2 (mezilehlá vzestupnice), kde $D_1 < D_2$:

$$D(l) = D_1 + \frac{(D_2 - D_1) \cdot l}{L_d}$$

Sklon lineární vzešupnice

Rychlostní pásmo	Součinitel sklonu vzešupnice n [-] Časová změna převýšení (dD/dt) [mm/s]					
	Standardní		Mezní		Maximální / minimální	
	n_n	$(dD/dt)_n$	n_{lim}	$(dD/dt)_{lim}$	n_{min}	$(dD/dt)_{max}$
$V \leq 80$ km/h	10. V	27,78	6.V ^a	46,30 ^a	6.V ^b	46,30 ^b
80 km/h < $V \leq 120$ km/h			7.V	39,68	6.V	46,30
120 km/h < $V \leq 160$ km/h			8.V	34,72	7.V	39,68
160 km/h < $V \leq 200$ km/h	12. V	23,15	10.V	27,78	8.V	34,72
200 km/h < $V \leq 300$ km/h						

^a Současne sklon lineární vzešupnice nemá být větší než 1:445.
^b Současne sklon lineární vzešupnice nesmí být větší než 1:400.

Pro přepočer změny převýšení v čase dD/dt na součinitel sklonu vzešupnice n , je-li $n=k \cdot V$, platí:

$$k = \frac{277,8}{dD/dt}$$

Délka krajní lineární vzešupnice se vypočte podle vzorce:

$$L_d = \frac{n \cdot D}{1000}$$

$$L_d = \frac{V \cdot D}{3,6 \cdot dD/dt}$$

Umístění vzešupnice

Pokud oblouk nemá přechodnice, lze navrhnout vzešupnici ležící zcela v přímé, popř. částečně v přímé a částečně v oblouku, popř. zcela v přímé nebo zcela v oblouku. Toto řešení lze navrhnout jen:

- v ostatních staničních kolejích;
- ve stísněných poměrech v kolejích hlavních staničních nebo průběžných traťových s rychlostí nejvýše 60 km/h včetně, a to pouze se souhlasem vlastníka infrastruktury.

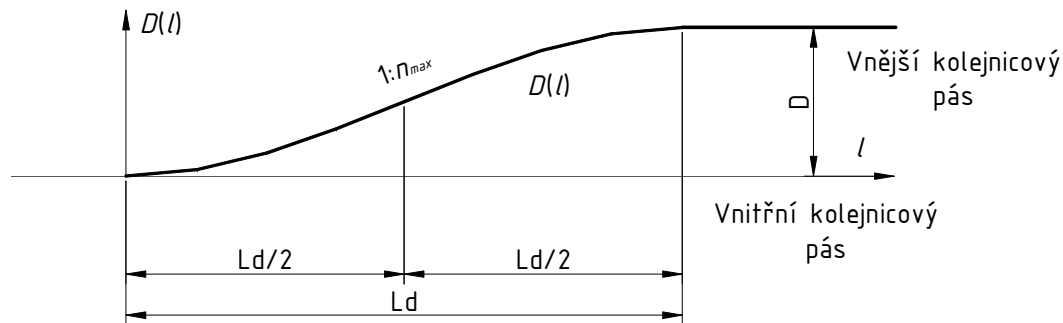
Upřednostňuje se, aby celá vzešupnice ležela v přímé, pokud to není možné, pak aby 2/3 délky vzešupnice ležely v přímé koleji a 1/3 délky vzešupnice v kružnicovém oblouku; pokud ani to není možné, musí být alespoň dodrženy podmínky $D_{ZO} \leq 100$ mm a zároveň $I_{ZO} \leq 100$ mm.

U oblouků s přechodnicemi má být lineární vzešupnice projektována v délce přechodnice. Začátek vzešupnice se vloží do místa začátku přechodnice a konec přechodnice se vloží do místa konce přechodnice (začátku kružnicového oblouku). Na začátku kružnicového oblouku má lineární vzešupnice dosáhnout stanovené hodnoty převýšení koleje.

Ve stísněných poměrech pro rychlosti $V \leq 80$ km/h může být lineární vzešupnice projektována delší než odpovídající přechodnice. Začátek vzešupnice se vloží do místa začátku přechodnice, ale konec vzešupnice leží v kružnicovém oblouku. V konci přechodnice jsou převýšení a nedostatek převýšení úměrné poměru délek přechodnice a vzešupnice podle vzorců:

$$D_{ZO} = D \cdot \frac{L_k}{L_d} \qquad I_{ZO} = \frac{11,8 \cdot V^2}{R} - D_{ZO} \qquad L_K \leq \frac{I_{ZO} \cdot n_I}{1000}$$

Nelineární vzestupnice – dle Blossse



Rovnice vzestupnice (převýšení v libovolném bodě vzestupnice ve vzdálenosti l od začátku vzestupnice) :

$$D(l) = D \cdot \left[3 \cdot \left(\frac{l}{L_d} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{l}{L_d} \right)^3 \right]$$

Vzájemný sklon kolejnicových pásů v libovolném bodě délky vzestupnice:

$$D'(l) = \frac{6 \cdot D}{1000} \cdot \left(\frac{l}{L_d^2} - \frac{l^2}{L_d^3} \right)$$

Poměr vzájemného sklonu kolejnicových pásů uprostřed délky vzestupnice (maximum sklonu nelineární vzestupnice) :

$$1:n_{max} = \frac{3 \cdot D}{2000 \cdot L_d}$$

Nelineární vzestupnice – dle Blossse

Hodnoty součinitele „n“ určujícího sklon nelineární vzestupnice a časové změny převýšení dD/dt ve středu její délky

Rychlostní Pásmo	Součinitel sklonu vzestupnice n [-]					
	Časová změna převýšení dD/dt [mm/s]					
	Standardní		Mezní		Maximální / minimální	
	n_n	$(dD/dt)_n$	n_{lim}	$(dD/dt)_{lim}$	n_{min}	$(dD/dt)_{max}$
$V \leq 100$ km/h	-	-	$5 \cdot V^a$	$55,55^a$	$4 \cdot V^b$	69,44
100 km/h $< V \leq 300$ km/h	-	-	$5 \cdot V$	55,55	$4 \cdot V^c$	$69,44^b$

^a Současně sklon nelineární Blossovy vzestupnice nemá v maximu sklonu nalézajícím se uprostřed její délky překročit pro rychlost vyšší než hodnotu 1 : 500.

^b Současně sklon nelineární Blossovy vzestupnice nesmí v maximu sklonu nalézajícím se uprostřed její délky překročit hodnotu 1 : 400.

^c Současně sklon nelineární Blossovy vzestupnice nesmí v maximu sklonu nalézajícím se uprostřed její délky překročit pro rychlost vyšší než hodnotu 1 : 600.

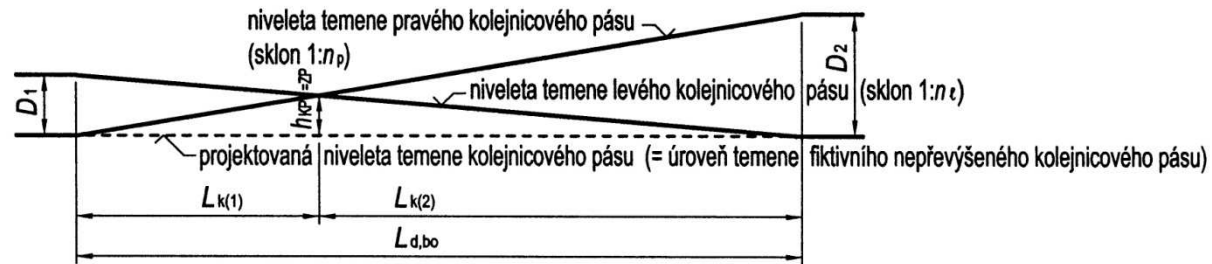
Délka krajní nelineární Blossovy vzestupnice odpovídající sklonu 1:n se stanoví podle vzorce:

$$L_d = \frac{1,5 \cdot n \cdot D}{1000}$$

$$L_d = \frac{V \cdot D}{2,4 \cdot dD/dt}$$

Inflexní motiv

VZESTUPNICE LINEÁRNÍ



Vzájemný sklon kolejnicových pásů 1:n; $n = L_{K(1)} \cdot 1000 / D_1 = L_{K(2)} \cdot 1000 / D_2 = L_{d,bo} \cdot 1000 / (D_1 + D_2)$

$$D_1 / D_2 = L_{K(1)} / L_{K(2)}$$

$$n_l = (L_{K(1)} + L_{K(2)}) \cdot 1000 / D_1$$

$$n_p = (L_{K(1)} + L_{K(2)}) \cdot 1000 / D_2$$

Platí pro $D_1 \neq 0$ mm, $D_2 \neq 0$ mm. Pokud $D_1 = 0$ mm nebo $D_2 = 0$ mm, navrhne se vstoupnice jen v přechodnici, přiléhající k oblouku s převýšením.

NEDOSTATEK PŘEVÝŠENÍ V LINEÁRNÍ VZESTUPNICI



PŘECHODNICE U VZESTUPNICE LINEÁRNÍ

