

---

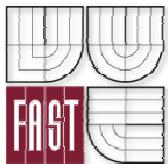
# Konstrukční a geometrické uspořádání koleje

Jednotky s naklápěcími skříněmi.

---

Otto Plášek, doc. Ing. Ph.D.

Ústav železničních konstrukcí a staveb



Tato prezentace byla vytvořena pro studijní účely studentů 3. ročníku bakalářského studia oboru „Konstrukce a dopravní stavby“ na Fakultě stavební VUT v Brně a nesmí být použita k žádným jiným účelům.

## Jednotky s naklápěcími skříněmi

- Jednotky s naklápěcími skříněmi se používají s cílem zvýšit rychlost vlaků osobní přepravy:
  - Snížení odstředivého zrychlení působícího na cestující, se zajistí nakloněním vozové skříně.
  - Na konstrukci koleje působí vlak silou, danou odstředivým zrychlením, které odpovídá rychlosti vlaku.
- Protože se počítá s vysokými hodnotami odstředivého zrychlení, je nutné použít soupravu s relativně nízkou nápravovou hmotností.
- Výsledné největší příčné síly nepřevyšují příčné síly působené konvenčními vlakovými soupravami.
- Vozy a jednotky s naklápěcími skříněmi v zásadě využívají dvou principů naklápění:
  - Pasivní systémy naklápění – využívají systém kyvadla pro naklopení skříně, např. španělské vozy systému Talgo Pendular.
  - Aktivních systém – skříně je naklápěna hydraulickými systémy, ovládanými řídicími jednotkami, které vyhodnocují působící síly a převýšení koleje. U aktivních systémů je zpravidla možný vyšší náklon skříně oproti systému pasivnímu.

## Jednotky s naklápěcími skříněmi

- Podle použitého způsobu naklápění lze dosáhnout o 16 - 30% vyšší rychlosti při průjezdu vlaku obloukem.
- Pasivní systém naklápění:
  - osa naklápění skříně nad těžištěm, přičemž je tato osa pevně spojena s podvozkem. K naklopení skříně při průjezdu obloukem dochází vlivem odstředivé síly.
  - Výhodou tohoto řešení je jeho poměrně jednoduchá konstrukce.
  - Nevýhodou je při naklápění vychýlení spodku vozové skříně do profilu, čímž se zmenšuje bezpečnost proti převržení v oblouku. (proto je max. úhel naklápění u těchto systémů 4°)
- Aktivním systémem naklápění:
  - osa skříně naklápění je pod těžištěm skříně.
  - K naklopení skříně je třeba cizí zdroj energie, regulační a měřicí zařízení.
  - Tento systém umožňuje naklápění skříně o 8°.
    - Podle provedení naklápěcího systému resp. mechanismu existují tyto typy: hydraulický - naklápění provedeno hydraulickými válci (FIAT, ABB);
    - elektromechanický - naklápění provádí servomotor+převodovka (ADtranz, SIG).

## Jednotka Talgo 350



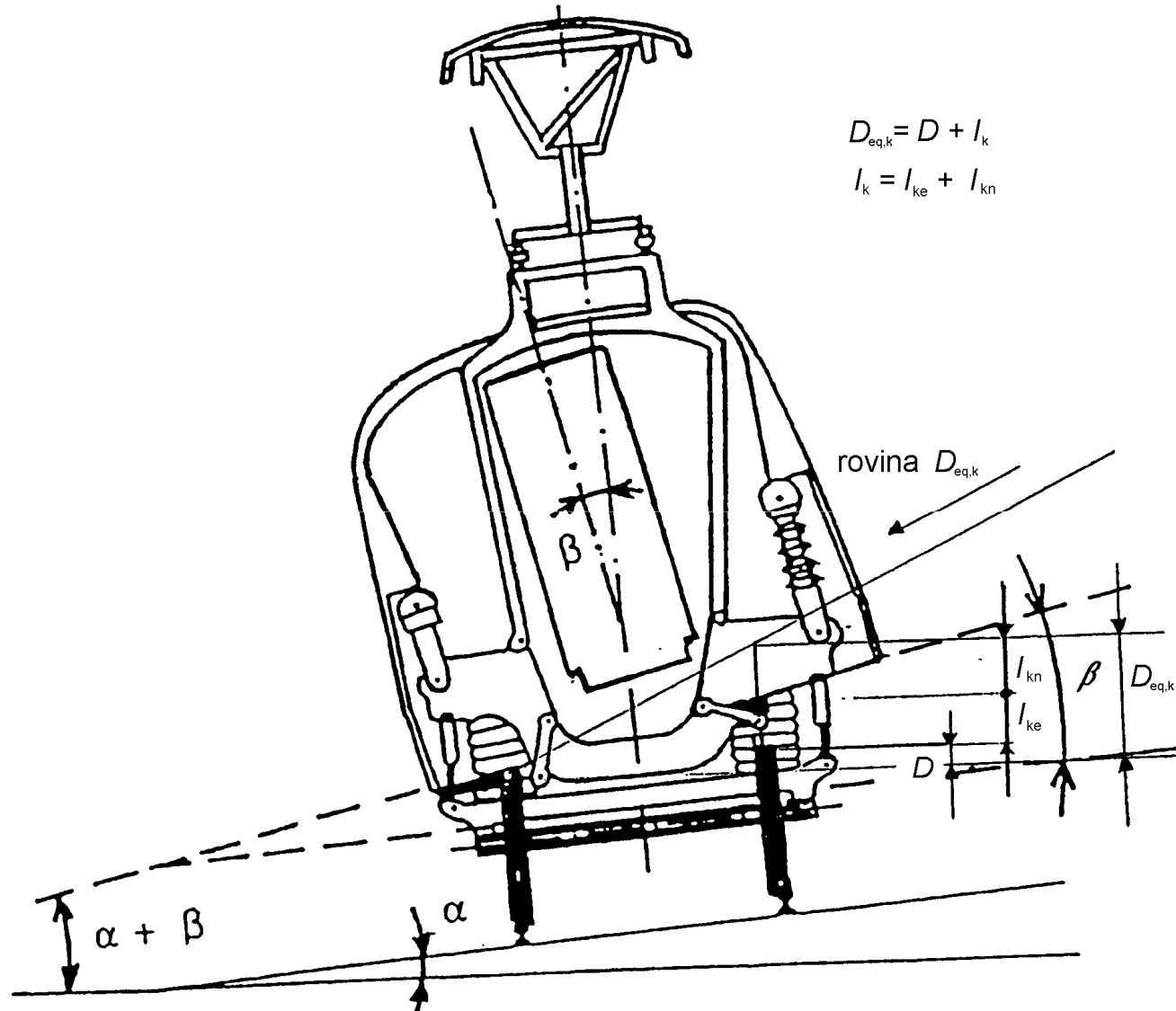
Zdroj: [www.rail.sk](http://www.rail.sk)



Zdroj: [www.wikipedie.cz](http://www.wikipedie.cz)

Jednotky s naklápěcími skříněmi

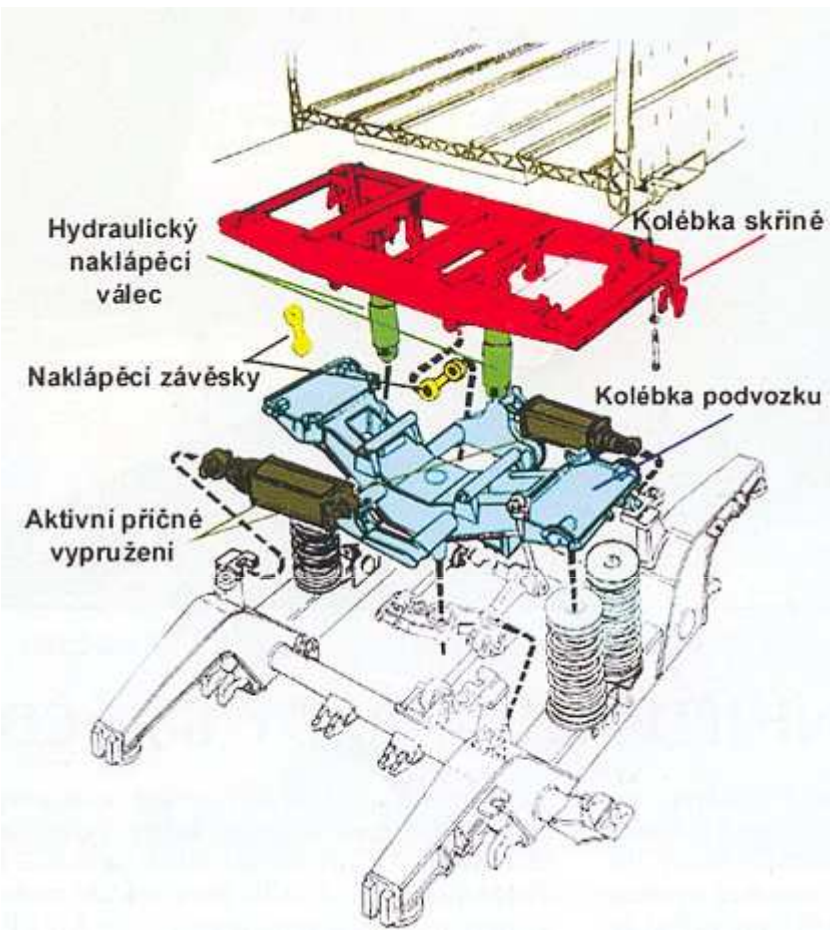
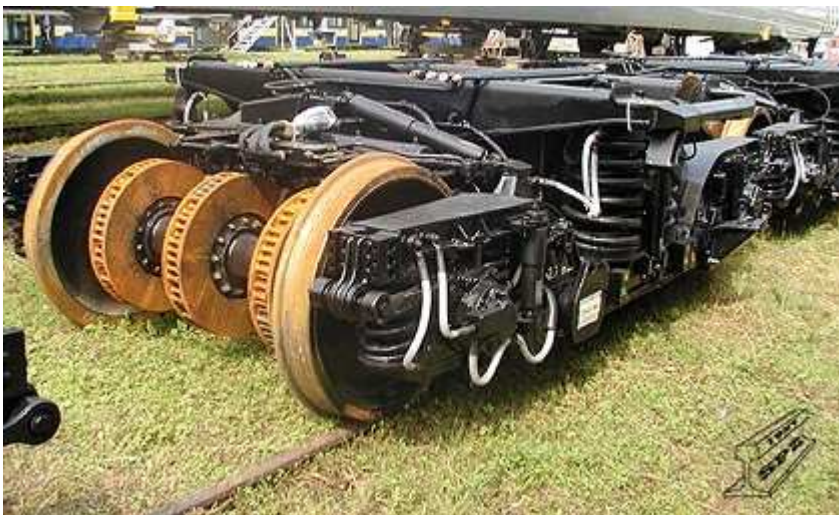
# Aktivní systém naklápění



Jednotky s naklápěcími skříněmi



## Jednotky s naklápěcími skříněmi ř. 680 ČD



Zdroj: [spz.logout.cz/vozidla/680/680\\_cd.html](http://spz.logout.cz/vozidla/680/680_cd.html)

Jednotky s naklápěcími skříněmi

## Jednotky s naklápěcími skříněmi ř. 680 ČD

- Z hlediska projektování GPK u SŽDC se vychází ze zásadního předpokladu, že jednotky s naklápěním vozových skříní budou vybaveny aktivním – nuceným naklápěcím systémem italské firmy Alstom Ferroviaria. Technické parametry stanovené pro naklápěcí systém jsou do značné míry určující pro navrhování a posuzování geometrických parametrů koleje.
- Aktivní naklápěcí systém firmy Alstom Ferroviaria spočívá v nuceném naklápění vozových skříní podle povelů elektronických počítačů na každém voze jednotky:
  - Pověly jsou určeny vyhodnocením signálů snímačů (gyroskopy na předním podvozku hlavového vozidla, snímače bočního zrychlení na obou podvozcích čelního tzv. hlavového vozidla a na vozové skříní každého vozu, snímače rychlosti na hlavových vozech, dva snímače úhlu naklopení na každém voze).
  - Naklápění se uskutečňuje hydraulicky, naklápěcí zařízení je pod podlahou vozů.

## Návrh a posouzení konstrukčního a geometrického uspořádání koleje pro provoz jednotek s NS

- Naklápěcí zařízení je funkční při rychlostech jednotky  $V_k \geq 70 \text{ km.h}^{-1}$  v obloucích s převýšením.
- V úsecích, kde je traťová rychlost pro klasická vozidla menší než  $70 \text{ km.h}^{-1}$ , nelze uvažovat se zvýšením rychlosti jednotek s naklápěcími skříněmi vůči traťové rychlosti pro klasická vozidla.
- Naklápěcí jednotky jsou homologovány pro provoz v obloucích o poloměru  $R > 250 \text{ m}$  (viz ČSN EN 14363 a prEN 13686), pro provoz NS v obloucích  $R < 250 \text{ m}$  musí být provedeny zvláštní zkoušky.
- Zvýšení rychlosti vlivem naklápění je možno uvažovat pouze v případě zřízení bezстыkové koleje.
- Posouzení provozu jednotek s naklápěcími skříněmi se uvažuje:
  - pouze v průběžných kolejích traťových a hlavních kolejích staničních,
  - v kolejových spojeních a rozvětveních hlavních dopravních kolejí pouze v hlavním dopravním směru výhybky.



## Technické parametry jednotek NS a podmínky pro aktivaci naklápění (prahové hodnoty)

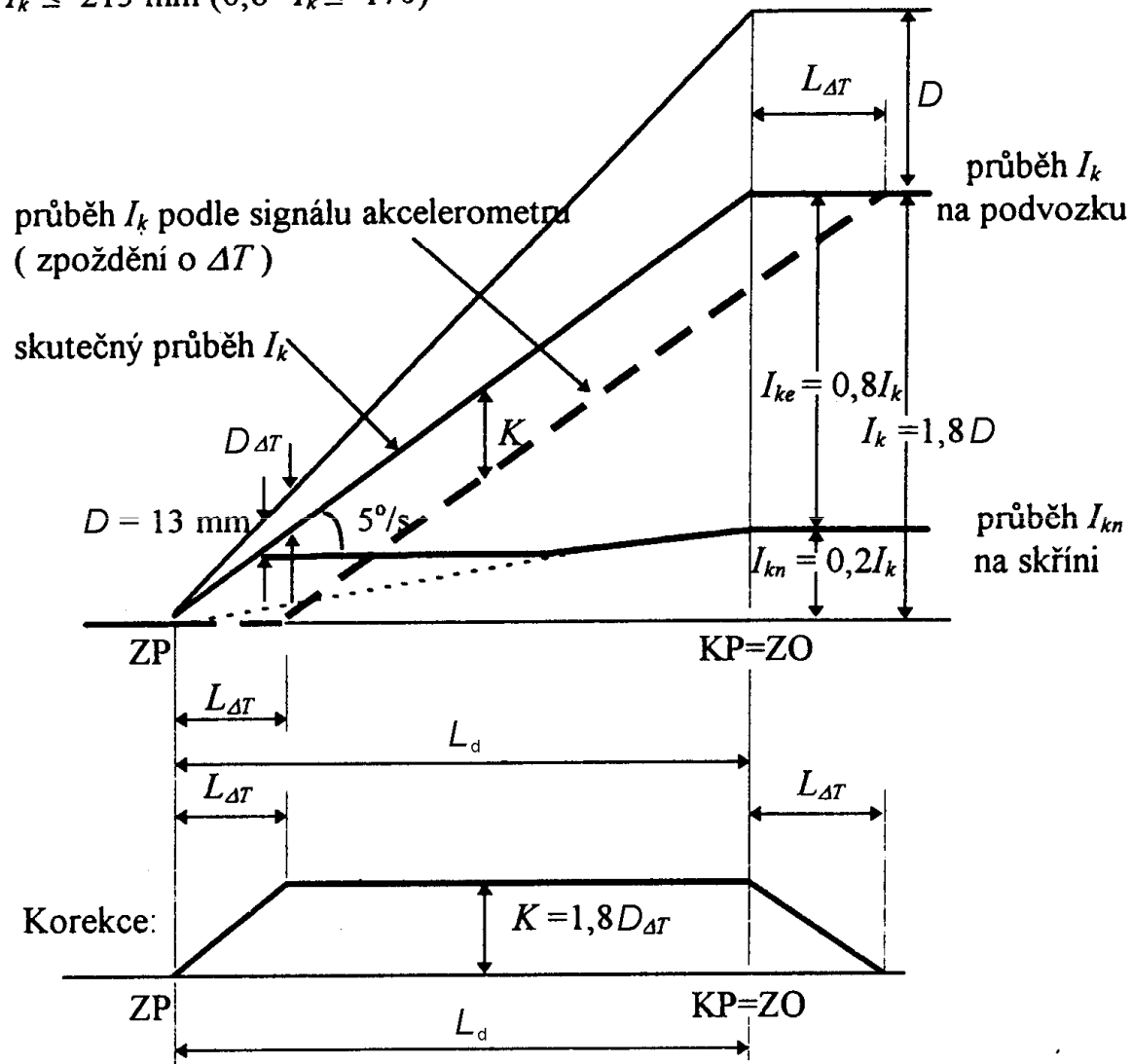
Parametr	Hodnota
Max. úhel naklopení $\beta_c$	8°
Max. účinný úhel naklopení $\beta$	6,5°
Max. rychlost naklápění $V_\beta$	5° . s <sup>-1</sup> (131 mm.s <sup>-1</sup> )
Max. nedostatek převýšení $I_k$ na podvozku ( $I_k = D_{eq,k} - D$ )	270 mm
Max. eliminace nedostatku převýšení $I_{ke}$ naklopením	170 mm
Max. neeliminovaný nedostatek převýšení $I_{kn}$ na vozové skříni	100 mm
Faktor kompensace $\alpha$ ( podíl $I_{ke} : I_k$ )	0,8
Prahová hodnota $D$ pro aktivaci naklápění	13 mm
Prahová hodnota $I_k$ pro aktivaci naklápění	15 mm
Min. rychlost pro aktivaci naklápění	> 65 km.h <sup>-1</sup>
Korekce signálu akcelerometru (1.vůz) $K$	= 1,8. $D_{\Delta T}$
Max. hmotnost na nápravu	13,5 t

## Převýšení koleje v kružnicovém oblouku

- Pro využití funkce naklápěcího zařízení musí být projektovaná hodnota převýšení  $D \geq 30$  mm (s ohledem na potřebnou délku přechodnice se doporučuje  $D \geq 40$  mm).
- Ve složeném oblouku s převýšením mají být mezilehlé vzestupnice navrhovány pro rozdíl převýšení  $\Delta D \geq 30$  mm (rovněž se doporučuje rozdíl převýšení  $\Delta D \geq 40$  mm).
- Stanovená nejmenší projektovaná hodnota převýšení  $D \geq 30$  mm (v mezilehlé vzestupnici  $\Delta D \geq 30$  mm) a doporučená zvětšená hodnota na  $D \geq 40$  mm je zdůvodněna prahovou hodnotou převýšení  $D = 13$  mm pro aktivaci a urychlení naklápění hlavového vozu při jízdě ve vzestupnici z přímé do oblouku a prahovou hodnotou  $\Delta D = 13$  mm pro urychlení změny naklonění hlavového vozu při jízdě v mezilehlé vzestupnici a ve vzestupnici z oblouku do přímé, aby naklápění započalo co nejdříve za začátkem vzestupnice.
- Tato aktivace naklápění a urychlení naklápění podle průběhu vzestupnice se týká hlavového vozidla jednotky, zatím co další vozy jednotky jsou naklápěny již jen podle akcelerometrického signálu na předním podvozku hlavového vozidla (v závislosti na rychlosti jízdy a vzdálenosti od čela jednotky).

# Aktivace naklápění a urychlení naklápění

$$I_k \leq 213 \text{ mm} \quad (0,8 \cdot I_k \leq 170)$$



Jednotky s naklápěcími skříněmi

## Navrhování a posouzení přechodnice a vzešupnice

- Zásady pro navrhování přechodnice a vzešupnice souvisí s funkcí naklápěcího zařízení.
- Naklápění se uskutečňuje v závislosti na signálu příčného zrychlení.
- S ohledem na vyrovnání signálu zrychlení s opožděním o  $\Delta T = 0,5$  s se pro urychlení naklápění hlavového vozidla využívá též signálu gyroskopu umístěného na předním podvozku.
- Signálu gyroskopu je možné využít pro naklápění téměř bezprostředně. Tato okolnost ovlivňuje zásady pro navrhování GPK.

## Nedostatek převýšení v oblouku s převýšením, přechodnicemi a vzestupnicemi

- Hodnota nedostatku převýšení  $l_k$  je dána vzorcem:

$$l_k = \frac{11,8 \cdot V_k^2}{r} - D$$

- Maximální hodnota nedostatku převýšení (na podvozku)  $l_k$  je stanovena v závislosti:
  - na maximální eliminaci nedostatku převýšení naklopením vozové skříně;
  - na maximální hodnotě neeliminovaného nedostatku převýšení na vozové skříně (který pocítí cestující);
  - na rychlosti  $V_k$ ;
  - na konstrukci koleje v posuzovaném místě.



## Nedostatek převýšení v oblouku s převýšením, přechodnicemi a vzestupnicemi

- Maximální úhel naklopení vozových skříní je  $\beta_c = 8^\circ$ .
- Z důvodu funkce primárního a sekundárního vypružení mezi skříní a podvozky při největších hodnotách nedostatku převýšení je největší efektivní (účinná) hodnota naklopení vozové skříně nižší o  $1,5^\circ$ , tj. využije se hodnota  $\beta = 6,5^\circ$  a tomu odpovídá maximální eliminace nedostatku převýšení  $\max l_{ke} = 170$  mm.

$$\sin \beta = \frac{l_{ke}}{1500}$$

## Nedostatek převýšení v oblouku s převýšením, přechodnicemi a vzestupnicemi

- Maximální neeliminovaný nedostatek převýšení na vozové skříni, který pocítí cestující, je stanoven  $\max I_{kn} = 100 \text{ mm}$  (t.j. neeliminované příčné zrychlení  $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ).
- Z těchto dvou hodnot vyplývá pro projektování maximální hodnota nedostatku převýšení na podvozku:

$$\max I_k = \max I_{ke} + \max I_{kn} = 270 \text{ mm}$$

- Nevyrovnané příčné zrychlení na podvozku jednotky NS  
 $\max a_n = 1,76 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

## Hodnoty nedostatku převýšení v kolejích určených pro provoz jednotek s naklápěcími skříněmi

Hodnoty $l_k$ [mm]	
V koleji bez pevných míst	
$V_k \leq 230$ km/h v obloucích $R \geq 400$ m	270
$V_k \leq 120$ km/h v obloucích $250 \text{ m} \leq R < 400 \text{ m}^a$	240
$230 < V_k \leq 300$ km/h	150
V koleji s pevnými místy	
V oblasti výhybek a kolejových křižovatek s pevnými srdcovkami	130
V oblasti výhybek a kolejových křižovatek s pohyblivými hroty srdcovek, pevných úroňových přejezdů <sup>b</sup> , mostů bez průběžného kolejového lože, dilatačních zařízení a přechodů z koleje s kolejovým ložem na kolej bez kolejového lože	150
<sup>a</sup> Při rekonstrukci se souhlasem vlastníka lze připustit hodnotu $l_k = 270$ mm v obloucích $R \geq 300$ m . <sup>b</sup> Přejezdy s celopryžovou konstrukcí a přejezdy speciálně upravené určené pro přístup záchranné techniky jinak jako přejezdy nevyužívané se za pevná místa nepovažují.	

## Nedostatek převýšení v oblouku s převýšením, přechodnicemi a vzestupnicemi

- Hodnota nedostatku převýšení v koleji bez pevných míst ve srovnání s velikostí převýšení má být  $l_k \leq 3,0 D$ . Ve stísněných poměrech musí být dodržena podmínka  $l_k \leq 3,5 D$ .
- U oblouků bez převýšení nelze uvažovat se zvýšením rychlosti jednotek NS.
- Uvedená hodnota  $\max l_k = 270$  mm platí pro běžnou kolej. V koleji s pevnými místy nelze se zvýšením nedostatku převýšení prakticky uvažovat.
  - Pevnými místy se rozumějí místa, kde se mění tuhost koleje a místa, která nebývají zahrnuta do pravidelného propracování koleje.
  - Přejezdy s celopryžovou konstrukcí se za pevná místa nepovažují.
  - V koleji s pevnými místy tj. v oblasti výhybek a kolejových křižovatek s pevnými srdcovkami, v oblasti srdcovek a kolejových křižovatek s pohyblivými hroty srdcovek, pevných úrovňových přejezdů, mostů bez průběžného kolejového lože, dilatačních zařízení a přechodů z koleje s kolejovým ložem na kolej bez kolejového lože je třeba počítat se sníženými hodnotami  $l_k$  podle tabulky.
  - Při projektování modernizovaných tratí je doporučeno vyloučit pevná místa v koleji v oblouku s převýšením, aby bylo možné zvýšit rychlost pro jednotky s naklápěcími skříněmi.

## Přechodnice a vzestupnice

- Pro využití funkce naklápěcího zařízení je nutné, aby:
  - oblouky s převýšením měly krajní přechodnice;
  - složené oblouky s mezilehlou vzestupnicí měly mezilehlou přechodnici;
  - přechodnice a vzestupnice měly stejnou délku;
  - průběh křivosti přechodnice vzrůstal stejným způsobem jako převýšení;
- Změna nedostatku převýšení v mezilehlé přechodnici má mít stejný smysl jako změna převýšení (je-li  $D_2 > D_1$ , má být  $I_{k2} \geq I_{k1}$ ).

Tvar	Součinitel sklonu vzestupnice $n_k$ Časová změna převýšení $(dD/dt)$ [mm/s]			
	Standardní		Maximální / minimální	
Vzestupnice	$n_{k,n}$	$(dD/dt)_{k,n}$	$n_{k, \min}$	$(dD/dt)_{k, \max}$
Lineární	$8 \cdot V_k$	34,72	$6 \cdot V_k$	46,30
Nelineární podle Blossie	$5 \cdot V_k$	55,56	$4 \cdot V_k$	69,44



## Přechodnice a vzesupnice

- Menšího součinitele sklonu vzesupnice než je standardní, až do hodnoty minimálního součinitele  $n_k$ , lze použít jen ve stísněných poměrech.
- Délka lineární vzesupnice se určí podle vzorce:

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

- U vzesupnice podle Blossse určuje součinitel  $n_k$  maximální hodnotu sklonu vzesupnice v jejím středu. Délka nelineární vzesupnice se určí podle vzorce:

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

## Posouzení délky přechodnice

- Délku přechodnice je nutné posoudit.
- Z hlediska funkce naklápěcího zařízení v přechodnici je doporučen vztah  $l_k = 1,8 \cdot D$ .
- Při využití hodnot  $l_k > 1,8 \cdot D$  je třeba posoudit dostatečnou délku přechodnice s ohledem na funkci naklápěcího zařízení:
  - pro  $l_k \leq 3,0 \cdot D$  (je-li  $D < 112$  mm):

$$L_k \geq \frac{2,2 \cdot V_k \cdot I_k}{1000} \cdot \frac{D}{(D-13)}$$

- pro  $l_k > 3,0 \cdot D$  (je-li  $D < 90$  mm)

$$L_k \geq \frac{3,2 \cdot V_k \cdot I_k}{1000}$$

- dle Blossie  $L_k \geq \frac{2,9 \cdot V_k \cdot I_k}{1000} \cdot \frac{D}{(D-13)}$

## Posouzení délky přechodnice

- U mezilehlé přechodnice s lineárním nárůstem křivosti a převýšení, je-li  $D_1, D_2 \geq 30$  mm, musí být splněny podmínky:

- pro  $\Delta I_k \leq 3,0$ .  $\Delta D$  (je-li  $\Delta D < 112$  mm):

$$L_k \geq \frac{2,2 \cdot V_k \cdot \Delta I_k}{1000} \cdot \frac{\Delta D}{(\Delta D - 13)}$$

- pro  $\Delta I_k > 3,0$ .  $\Delta D$  (je-li  $\Delta D < 90$  mm)

$$L_k \geq \frac{3,2 \cdot V_k \cdot \Delta I_k}{1000}$$

- Délka mezilehlé přechodnice s lineárním nárůstem křivosti s konstantním převýšením musí vyhovovat podmínce:

$$L_k \geq \frac{4 \cdot V_k \cdot \Delta I_k}{1000}$$

## Mezilehlá vzesupnice a mezilehlé přechodnice

- Mezilehlá vzesupnice ve vlastním kružnicovém oblouku nemá být navržena.
- V případě jejího návrhu musí její délka vyhovovat podmínce:

$$L_k \geq \frac{11 \cdot V_k \cdot \Delta D}{1000}$$

- Pro využití funkce naklápěcího zařízení se nemusí mezi kružnicové části složeného oblouku se stejným převýšením vkládat mezilehlá přechodnice, je-li:
  - $l_k \leq 50$  mm pro  $V_k \leq 170$  km/h;
  - $l_k \leq 40$  mm pro  $170 < V_k \leq 230$  km/h;

## Nejmenší poloměr zaoblení na lomech sklonu

- Hodnoty poloměru zaoblení v přímé mají být:
  - $R_{v,lim} \geq 0,4 \cdot V_k^2$  ,
  - $R_{v,min} \geq 0,25 \cdot V_k^2$
- Je-li lom sklonu umístěn v oblouku, má být poloměr zaoblení alespoň:
  - $R_{v,min} \geq 0,4 \cdot V_k^2$



---

## Použitá a doporučená literatura

- [1] ČSN 73 6360-1 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha. Část 1: Projektování
- [2] ČSN EN 13848-1 Železniční aplikace – Kolej – Geometrická kvalita koleje – Část 1: Popis geometrie koleje
- [3] Předpis SŽDC S3 Železniční svršek