



Fyzika železnice I.

Václav Piskač¹, Gymnázium tř. Kpt. Jaroše, Brno

Článek je zaměřen na některé jevy z provozu železnice, které lze využít při výuce fyziky. Zabývá se důvody, proč byly železnice upřednostňovány před silnicemi (alespoň v 19. a ve 20. století), ději při rozjíždění a brzdění vlaku (tj. třecími silami mezi koly a kolejnicemi) a silami, kterými na sebe během jízdy působí lokomotivy a vagony. Pokračování článku bude zaměřeno na jízdu vlaku na trati ve sklonu a na problematiku průjezdu vlaku zatáčkou.

Úvod

Tento článek je kombinací dvou životních závislostí autora – fyziky a historie techniky. Fyzikou se živí, technika ho fascinuje.

Proč železnice? Proč ne kvalitní silnice?

Důvodů je několik. Železniční trati stačí užší pás země než silnici. Průjezdni profil jednokolejné trati (tj. co potřebuje vlak, aby projel – viz [1]) je široký 4 metry, šířka nákladních automobilů se sice pohybuje kolem 2,5 metru, ale zkuste si představit silnici o šířce nákladáku. Na jednokolejné trati lze organizovat provoz tak, aby se vlaky míjely ve stanicích, silnice musí být dostatečně široká na to, aby se na ní vyhnuly dva nákladní automobily.

Železnice má příhodnější konstrukci pro přenášení statických i dynamických sil. U silnice je v kontaktu kolo automobilu s asfaltem (betonem, šterkem) – při stání vznikají v povrchu silnice důlky, při rozjíždění a brzdění se trhá asfalt.

Při výstavbě železnic se stavitelé snaží o co nejmenší sklon trati i za cenu budování nákladných zářezů, tunelů a mostů. Tento trend byl bohužel opuštěn v období výstavby tzv. lokálních tratí, kdy se kvůli zlevnění stavby železnice více přimykala k terénu i za cenu střídajících se stoupání a klesání překračujících 20 promile.

Kolo železničního vozu je opřeno o ocelovou kolejnici, ta je uchycena na dřevěném nebo betonovém pražci, ten je osazen ve ztuhlém šterkovém loži. Mezi kolem a kolejnicí sice vzniká obrovský tlak, kvalitní ocel to ale zvládá (litinové kolejnice používané v počátcích železnice často praskaly). Díky pražcům se tíha vozu přenáší na velkou plochu – tlak mezi pražci a šterkem je tak o několik řádů menší. Při rozjíždění a brzdění se vodorovné síly, kterými působí vozy na kolejnice, přenášejí šroubovanými spoji na pražce a ty jsou zapřeny o šterkové lože.

Asi nejvýznamnějším faktorem jsou třecí síly. Kola se po silnici (kolejnici) odvalují



Obr. 1 – železniční pražce a koleje

– velikost valivého tření spočítáme podle známého vztahu $F_t = \xi \frac{F_n}{R}$, kde F_n je velikost síly, která přitlačuje kolo k podložce, R je poloměr kola a ξ je tzv. „rameno valivého odporu“ – veličina, jejíž hodnota závisí na materiálu kola a materiálu podložky.

¹ vaclav.piskac@seznam.cz



Železnice vítězí ramenem valivého odporu – pro ocelové kolo na ocelové kolejnici je jeho hodnota přibližně 0,5 mm, u gumy na asfaltu se uvádí hodnota 2,5–4,5 mm, u gumy na betonu se jedná dokonce o 15–35 mm (viz [2]). To znamená, že ocelové kolo na kolejnici má cca 40krát menší valivé tření než kolo o stejném průměru s pneumatikou na betonu. Nebo řečeno jinak – pokud do lokomotivy namontujete stejný motor jako do traktoru, utáhne po vodorovném úseku stejnou rychlostí 40krát větší zátěž než traktor po betonu (neuvažují tření v ložiscích vozů).

Pro představu – klasický krytý vagon typu Ztr má kola o průměru 1 metr, vlastní hmotnost 10,3 tuny a veze náklad 19 tun. To dává po rovině valivý odpor pouhých 293 N! Při pohybu se projevuje i tření v ložiscích, ale z vlastní zkušenosti vím, že po uvedení do pohybu stačí na tlačení tohoto vagonu po vodorovných kolejích jeden muž.



Obr. 2 – vagon Ztr

Rozjíždění a brzdění vlaku

Opusťme nyní valivé tření a zaměřme se na statické tření – tj. vodorovnou sílu, která brání kolům v tom, aby při rozjíždění a brzdění neprokluzovaly. Její maximální hodnotu spočítáme jako součin síly, která přitlačuje kolo ke kolejnici, a součinitele klidového tření. Ten je pro ocel na oceli roven 0,15 (pro srovnání: rozhraní guma–asfalt má součinitel klidového tření roven 0,7 – viz [2]). Malá hodnota tohoto součinitele vedla kritiky prvních železnic k úvahám, že se lokomotiva nebude schopna vlastní silou rozjet...

Rozhodující je síla přitlačující kolo ke kolejnici – v „nádražácké“ hantýrce se jí říká „nápravový tlak“. Železniční technické normy bohužel nerespektují normy fyzikální a namísto síly v newtonech udávají „nápravový tlak“ v tunách. Z důvodu přehlednosti se ve zbytku článku podvolíme železniční terminologii (stačí si uvědomit, že „nápravový tlak 1 tuna“ znamená přitlačnou sílu o velikosti 10 kN). Staré lokální tratě byly stavěny pro nápravové tlaky do 10 tun, moderní tratě jsou stavěny pro nápravové tlaky kolem 20 tun.



Obr. 3 – lokomotiva 310



Obr. 4 – lokomotiva 669



Třínápravová parní lokomotiva řady 310.0 (Kafemlejnek) s provozní hmotností 28 tun mohla na koleje působit statickou třecí silou 42 kN, moderní šestínápravová dieslová lokomotiva řady 771 (Čmelák) o hmotnosti 115 tun dokonce silou 173 kN.

ČSD používaly pro značení lokomotiv systém ing. Kryšpína. Každá řada lokomotiv byla označena trojčíslím – první číslice udávala počet poháněných náprav lokomotivy, druhá zvětšená o 3 a vynásobená 10 udávala maximální rychlost a třetí číslice zvětšená o 10 pak udávala nápravový tlak (lokomotivy mívají nastavitelný systém odpružení náprav, který zajišťuje rovnoměrné rozložení tíhy stroje na nápravy). Číslo za desetinou tečkou umožňovalo rozlišovat rozdílné lokomotivy, které měly shodou okolností stejné provozní parametry.

Příklady: Kafemlejnek 310.0 – tři hnané nápravy, maximální rychlost 40 km/h a nápravový tlak 10 tun (tj. lokomotiva má hmotnost cca 30 tun). Čmelák 669 – šest hnaných náprav, maximální rychlost 90 km/h a nápravový tlak 19 tun (tj. hmotnost lokomotivy cca 115 tun).

Od roku 1988 se používá nové značení, které bohužel výše uvedená data neobsahuje. Dovoluji si osobní poznámku: je zvláštní, že se někdo může rozplývat nad tím, jak je „Kafemlejnek“ malá, roztomilá mašinka – 30 tun roztomilosti se zdá poněkud příliš. Pokud ji ale budeme srovnávat se 115tunovým dieslovým kolosem...

Spojování vozidel

Na železnici jsou vagony a lokomotivy spojovány pomocí nárazníků a šroubovky (viz fotografie). Tato „vazba“ je zvláštní – tahové síly přenáší šroubovka, tlakové síly odpružené nárazníky. Lokomotiva působí na vagony pouze silou rovnoběžnou s kolejemi (u soustavy silniční tahač – návěs je to dost odlišné), tahová síla lokomotivy se přenáší rámy vagonů na celou soupravu. To znamená, že lokomotiva táhne první vagon a první vagon táhne zbytek vlaku. Proto musí být rámy vagonů značně masivní (lehké motoráčky mají na sobě nápis „Vůz smí být zařazen pouze na konci vlaku.“).

Občas se stává, že lokomotiva zabere příliš velkou silou a z vagonu vytrhne „střeva“ (odpružené táhlo spojující šroubovky).

Spojení šroubovkou má zajímavé fyzikální využití při rozjezdu těžkého nákladního vlaku. Pokud se stane, že vlak zabrzdil „natažený“, tj. s napnutými šroubovkami, musí lokomotiva uvádět do pohybu celý vlak

současně. Když je vlak „sražený“, tj. nárazníky natlačené na sebe, lokomotiva postupně uvádí do pohybu jeden vagon po druhém – stačí jí mnohem menší tahová síla. Starší slabé lokomotivy si často vypomáhaly takto: nejprve zacouvaly, tím „srazilý“ vlak; teprve poté se rozjely dopředu.

Šroubovky se podílí na jevech spojených s vedením vlaku „s postrkem“ – tj. jedna lokomotiva v čele a druhá na konci vlaku (běžná výpomoc například na trati z Tišnova do Říkonína – odtud se výpomocná lokomotiva vrací zpět do Tišnova). Lokomotivy si silové působení na vlak rozdělí snadno – přední lokomotiva za sebou vleče přední část vlaku na napnutých šroubovkách a zadní lokomotiva tlačí zadní část vlaku na natlačených náraznících. Není tedy problém použít na postrku slabší lokomotivu – tlačí si svou (kratší) část vlaku. Další podrobnosti najde případný zájemce např. v [3].



Obr. 5 – šroubovka



Brzdění vlaku je mírně odlišné. V moderních soupravách jsou brzděna kola všech vagonů – na každou tunu hmotnosti vlaku připadá klidová třecí síla 1,5 kN. Dříve bylo běžné, že vlak brzdila jenom lokomotiva, případně byly ručně bržděny pouze některé vagony v soupravě – často docházelo k haváriím, kdy brzděná kola přešla do smyku, a přesto nedokázala vlak zastavit.



Obr. 6 – vůz s brzdařskou budkou

Závěr

Myslím si, že železnice poskytuje širokou nabídku fyzikálních problémů, které mohou usnadnit spojení fyzikálních teorií s běžným životem. Snad se vám budou náměty z tohoto článku ve výuce hodit.

Literatura:

- [1] TRMÍNEK, Luboš. *Obrys vozidel a průjezdný průřez* [online]. ©2004. [Cit. 19. 4. 2013]. Dostupné z: <http://www.trminek.cz/view.php?navezclanku=obrys-vozidel-a-prujezdny-prurez&cislocclanku=2004080003>
- [2] BUREŠ, Jiří. *conVERTER* [online]. conVERTER ©2002. [Cit. 19. 4. 2013]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/>
- [3] PERELMAN, Jakov Isidorovič. *Zajímavá fyzika*. 1. vyd. Praha: Naše vojsko, 1952.

Fotografie byly převzaty z <http://www.wikipedia.com> pod licencí GNU.