

Rayleighovo vlnění u vysokorychlostních tratí

ČVUT, Fakulta stavební, Katedra železničních staveb

Autor: Ing. Michal Petýrek

Datum: 29.5.2024

WORKSHOP ES ROZ

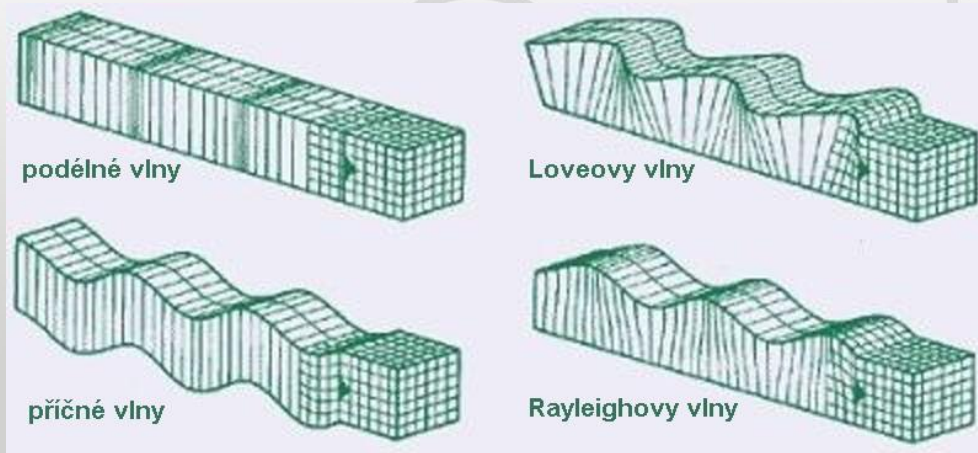


Úvod

- Vznik vibrací na styku kolo – kolejnice vibrace.
- Většina je ve formě hluku vyzářena do okolí, část se dále šíří konstrukcí železniční trati a okolní zeminou do okolí železniční trati.
- Zbytek vibrací se dále šíří do okolí železniční trati.

Exkurz do teorie

- P-vlny a S-vlny.
- V homogenním a izotropním prostředí šíření stejnou rychlostí všemi směry.
- V blízkosti rozhraní s výrazně odlišnými elastickými vlastnostmi, například zemina – vzduch, dochází ke vzniku povrchového Rayleighova a Loveho vlnění.



Důraz na Rayleighovo vlnění

- Z hlediska celkové energie přenášené vlněním je 67 % přenášeno Rayleighovými vlnami, 26 % příčnými vlnami a 7 % podélnými vlnami.
- Dosah až 200 – 300 m od koleje.

Oblasti problematiky:

- Vibrace
- Strukturální hluk
- Vlastní frekvence budov a frekvence vibrací
- Zemní třesk



Význam výzkumu této problematiky v ČR

- Negativní dopady vibrací na zdraví lidí a poškození staveb v okolí tratí.
- Obavy z vibrací jsou často argumentem odpůrců novostaveb na síti konvenčních tratí i plánovaných vysokorychlostních tratí.
- Nové problémy v souvislosti s výrazným navyšováním rychlosti jízdy vlaků.

Legislativa ČR

- Negativní působení na zdraví lidí v zasažené oblasti:
 - zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví,
 - nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- Pro omezení šíření vibrací na konvenčních tratích v ČR se do konstrukce trati zabudovávají pružné prvky např. antivibrační rohože.



Legislativa Německo

- Norma DIN 4150 má tři části.
- DIN 4150-1 řeší predikci velikosti vibrací.
- DIN 4150-2 řeší dopady na lidi ve vnitřních prostorech staveb, limitní hodnoty dle účelu stavby.
- DIN 4150-3 řeší ochranu budov před vibracemi, limity pro různé kategorie budov.

Zemní třesk

- Nové problémy v souvislosti s výrazným navyšováním rychlosti jízdy vlaků – zemní třesk.
- Pokud se rychlost vlaku přibližně rovná tzv. kritické rychlosti zeminy, dochází k rezonanci a několikanásobnému zvětšení amplitudy vlnění. Poprvé měřeno v letech 1997–1998 u obce Ledsgard ve Švédsku, při rychlosti vlaků 200 km/h. Změřené amplitudy svislých výchylek dosahovaly 15–20 mm.
- HS2 Anglie
- Technicko-provozní studie Technická řešení VRT (Správa železnic, s.o., 2017)

Kritická rychlost zeminy

- Při přibližné rovnosti rychlosti vlaku a tzv. kritické rychlosti zeminy dojde k interferenci – tzv. zemnímu třesku. Fyzikální podoba s aerodynamickým třeskem při překročení rychlosti zvuku.
- Několikanásobný nárůst vibrací.
- Zemní třesk je vázán na úzké rychlostní pásmo.
- Zemní třesk se může negativně projevit na stabilitě geometrické polohy koleje, stabilitě zemního tělesa, základech přilehlých budov a konstrukcí, teoreticky může dojít ke zdvihům koleje přímo pod nápravami vlaků.

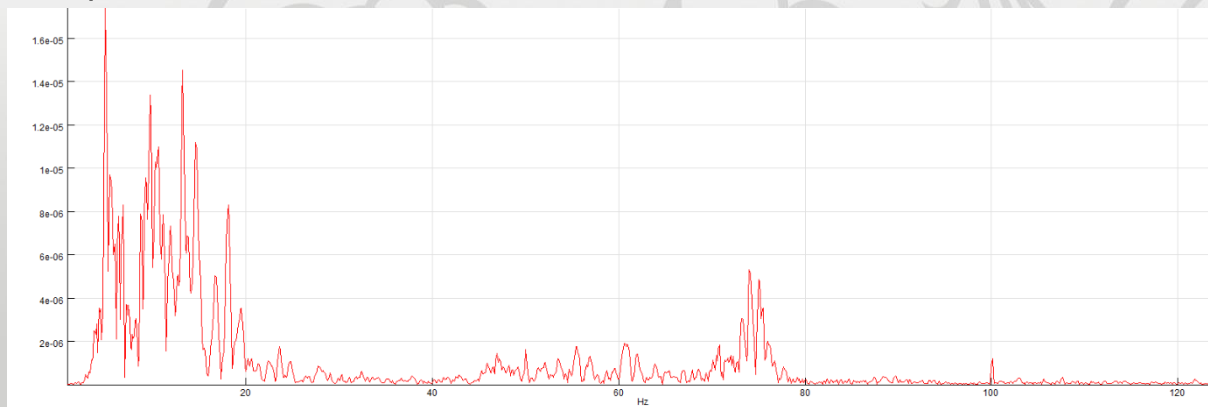


Kritická rychlost zeminy

- Kritická rychlost odpovídá rychlosti šíření Rayleighova vlnění danou zeminou.
- U měkkých jílovitých zemin se pohybuje okolo 200–300 km/h.
- Se vzrůstající tuhostí zemin vzrůstá i jejich kritická rychlost až po 600 km/h, příp. více pro velmi tuhé podložní zeminy.
- V případě hornin se uvažuje kritická rychlost v řádu prvních tisíců kilometrů za hodinu.
- Jako nejvíce problematická se z hlediska nízkých kritických rychlostí zemin jeví místa s vrstvami jemnozrnných zemin.

Vlastní frekvence budov a frekvence vibrací

- Nárůst vibrací, pokud mají budící vibrace stejnou frekvenci, jako je vlastní frekvence budovy.
- Predikce dle DIN: pro 1- až 2patrové budovy 10 Hz až 20 Hz
 pro 2- až 6patrové budovy 6 Hz až 15 Hz
- Vectron a 2 vozy, 157 km/h:

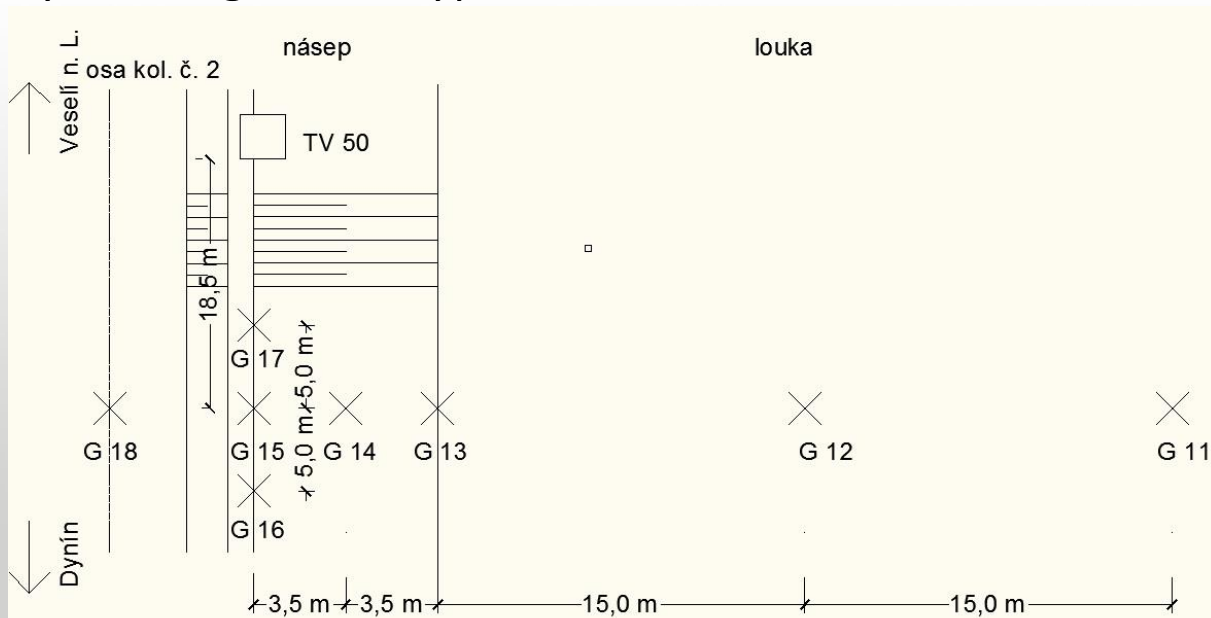


Experimentální práce

- Katedra železničních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze se od roku 2020 věnuje šíření Rayleighova vlnění v okolí železničních tratí v České republice.
- Vzhledem k odlišné geologické stavbě území ČR není možné pouze převzít výsledky výzkumu ze zahraničí, ale je nutné je ověřit.
- Dlouhodobé sledování na lokalitě u 4. tranzitního koridoru nedaleko obce Horusice poblíž Horusického rybníka (160 km/h, nepříznivá geologie).
- Pro jednotlivé snímače vyhodnocovány tyto údaje: okamžitá svislá rychlost, okamžitá velikost svislé výchylky a dominantní frekvence vlnění.

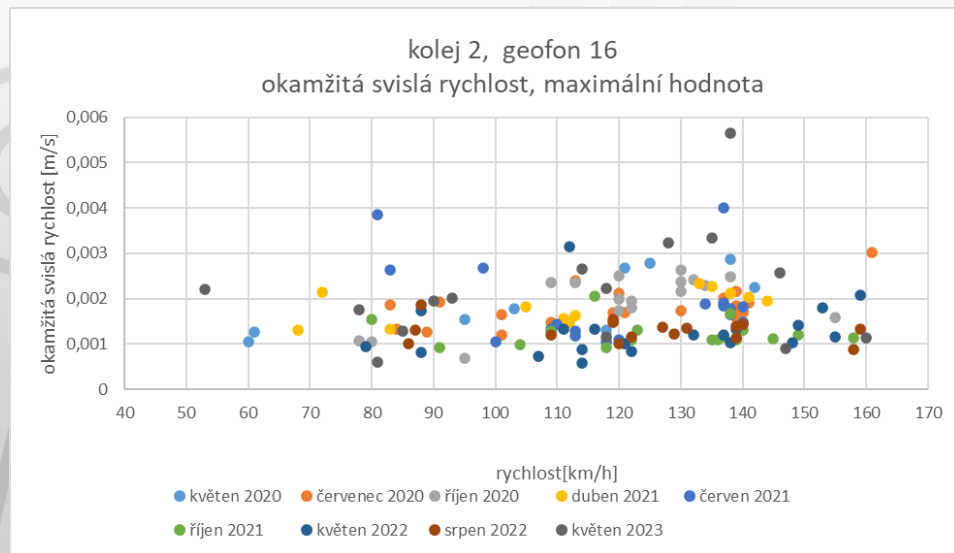
Experimentální práce

- Dosud realizováno 9 měřicích kampaní v průběhu let 2020–2023.
- K měření využito 8 geofonů typu SM6.



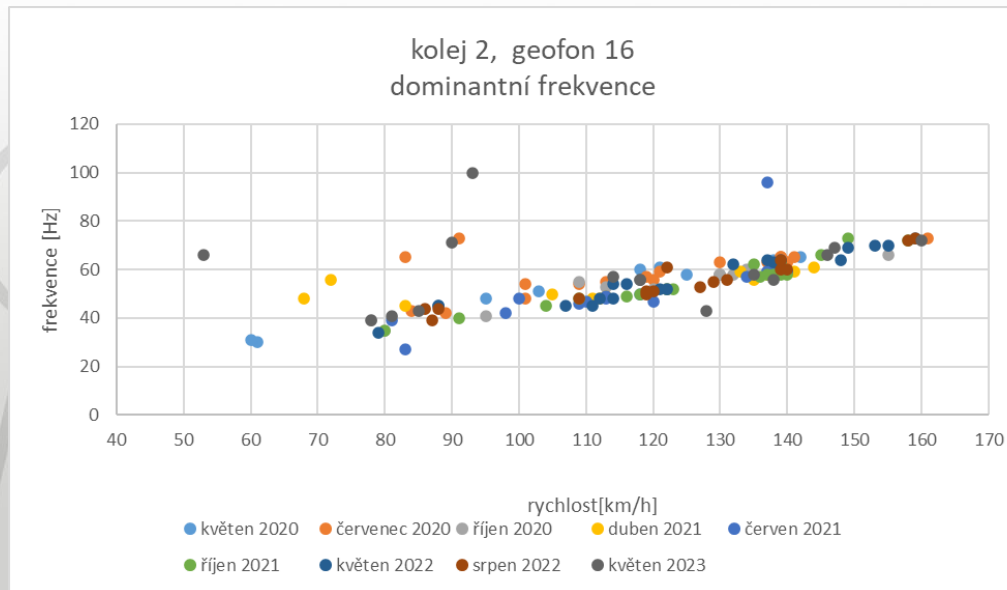
Experimentální práce

- Maximální svislá rychlost povrchu PTŽS není ovlivněna rychlostí projíždějících vlaků a pohybuje se převážně v rozmezí 0,5-4,0 mm/s.
- Se vzrůstající vzdáleností od osy koleje klesá na 0,04-0,12 mm/s ve vzdálenosti 30 m od paty náspu.



Experimentální práce

- S narůstající rychlostí vlaků přibližně lineárně stoupá dominantní frekvence vibrací. Zatímco při rychlosti 60 km/h se dominantní frekvence pohybuje okolo 30 Hz, při rychlosti 160 km/h již více než 70 Hz.

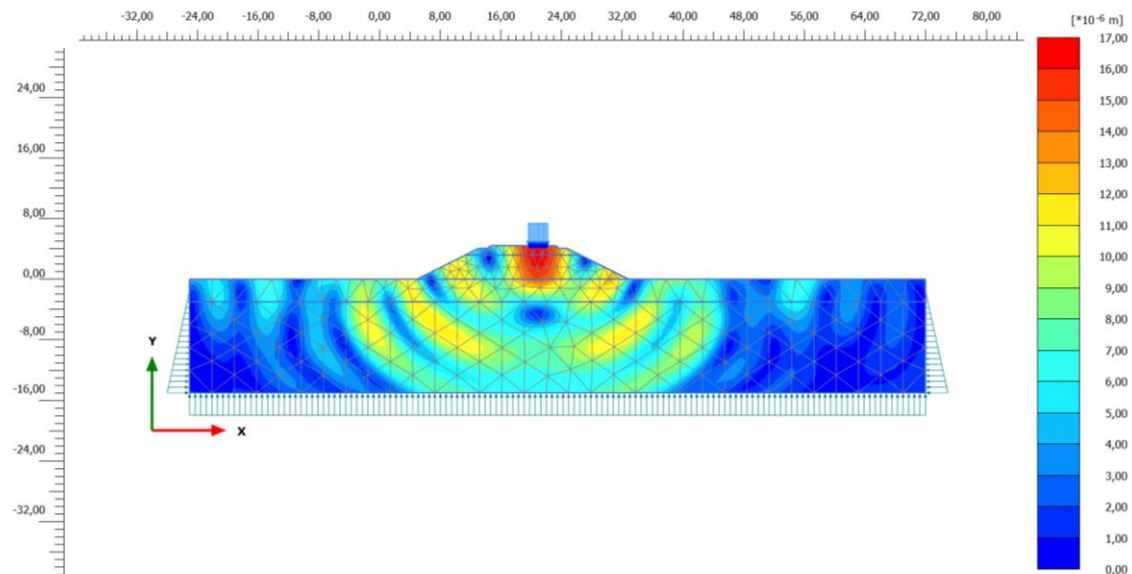


Měření při jízdách vlaků rychlostí vyšší než 160 km/h

- V rámci zkušebních jízd vlaků rychlostí až 200 km/h dne 25. 10. 2023 nedaleko Soběslavi při rychlostech 120, 160, 170, 180, 190 a 200 km/h.
- Spolupráci s Geofyzikálním ústavem AV ČR, v. v. i.
- Výsledky měření byly zpracovávány.
- Vytvořen matematický 2D model (PLAXIS).



Matematický model lokality Soběslav



Total displacements |u| (scaled up $200 \cdot 10^3$ times) (Time 1,000 s)
 Maximum value = $0,01651 \cdot 10^{-3}$ m (Element 7 at Node 1599)



PLAXIS[®] 2D

Project description

celkové defromace

Date

13.02.2024

Project filename

Sobeslav_exp_dle_manualu

Step

302

Company

TU Kaiserslautern

Závěr

- V zahraničí je problematika sledována s ohledem na možná rizika negativních projevů u vysokorychlostních železničních tratí jak z pohledu ochrany okolí před vibracemi a případně strukturálním hlukem, tak z pohledu projevů zemního třesku.
- U připravovaných úseků vysokorychlostních tratí v ČR obecně hrozí riziko, že v některých lokalitách s problematickou geologií může dojít k nežádoucím projevům Rayleighova vlnění.
- Proto je žádoucí se tomuto jevu nadále pečlivě věnovat.



Děkuji za pozornost

