# VÝZNAM VLIVU ŠÍŘENÍ RAYLEIGHOVA VLNĚNÍ OD ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY

Zpracovali: Ing. Leoš Horníček, Ph.D., Ing. Michal Petýrek (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

## Souhrn

V souvislosti s plánovanou výstavbou sítě vysokorychlostních tratí v České republice pro rychlost až 320 km/h vyvstávají nové problémy, které se v současné době při provozu stávajícími rychlostmi do 160 km/h neprojevují. Jedná se například o problematiku Rayleighova vlnění generovaného jízdou vozidel v interakci s podložím železniční trati. Pokud rychlost jízdy vlaku dosáhne mezní rychlosti, kterou se šíří povrchové seismické vlny danou zeminou, mezi které řadíme i Rayleighovo vlnění, dochází k rezonanci a několikanásobnému zvětšení amplitudy povrchových vln. Tato odezva může vyústit v poškození konstrukcí v okolí železniční trati – například stožárů trakčního vedení, nebo v mezních situacích dokonce až ve vykolejení vlaku. Proto je této problematice nutno věnovat patřičnou pozornost, a to zejména v kombinaci jízdy vlaku vysokou rychlostí v místě, kde je podloží tratě tvořeno zeminami větší mocnosti s nízkou kritickou rychlostí.

## Oblast použití

Z hlediska celkové energie přenášené vlněním je přibližně 67 % přenášeno Rayleighovými vlnami, 26 % smykovými vlnami a 7 % vlnami tlakovými. Z praktického hlediska tak jsou Rayleighovy vlny nejvýznamnější. Pokud rychlost jízdy vlaku dosáhne mezní rychlosti, kterou se šíří povrchové seismické vlny danou zeminou, dochází k jevu, který je někdy označován jako zemní třesk. Z fyzikálního hlediska se jedná o jev podobný aerodynamickému třesku při překonávání rychlosti zvuku v atmosféře. Velikost výchylky Rayleighova vlnění klesá s rostoucí vzdáleností od zdroje vlnění, kdy se stále více projevuje útlum prostředí a dochází k disipaci energie v materiálu. Rayleighovy vlny jsou s rostoucí hloubkou výrazně tlumeny. Kritická rychlost zeminy odpovídá rychlosti šíření Rayleighova vlnění v dané zemině. Rychlost šíření tohoto vlnění závisí na okamžitém stavu zeminy a mění se s její vlhkostí [1].

V oblasti optimalizace návrhu železničního spodku pro vysokorychlostní tratě v České republice bude třeba dosáhnout dostatečné míry znalostí problematiky vlivu šíření Rayleighova vlnění v geologických podmínkách ČR. Z tohoto důvodu byly výzkumné kapacity zaměřeny na tuto oblast.

## Metodika a postup řešení

V rámci výzkumu byla provedena rešerše zahraniční literatury. Dále byly provedeny prvotní laboratorní zkoušky za účelem ověření možnosti studia šíření Rayleighova vlnění v rozměrově omezených laboratorních podmínkách. Součástí těchto měření bylo i ověření vlivu materiálového řešení stěn zkušebního boxu na průběh šíření, resp. zkreslení Rayleighova vlnění. Při měření Rayleighova vlnění byly využity speciální snímače – geofony – pro zaznamenání pohybu ve svislém směru.

Předpokladem pro měření šíření Rayleighova vlnění je mít sadu geofonů, které svými parametry odpovídají frekvenci a rozsahu kmitání a jejichž vlastní frekvence je mimo pásmo očekávaných měřených frekvencí. Pro prvotní testy byl použit osciloskop pro záznam dat, nicméně pro záznam a časové sladění většího množství geofonů se ukázalo jako vhodnější použít datovou ústřednu. Ke zpracování a vyhodnocení dat byl použít specializovaný software Sigview.

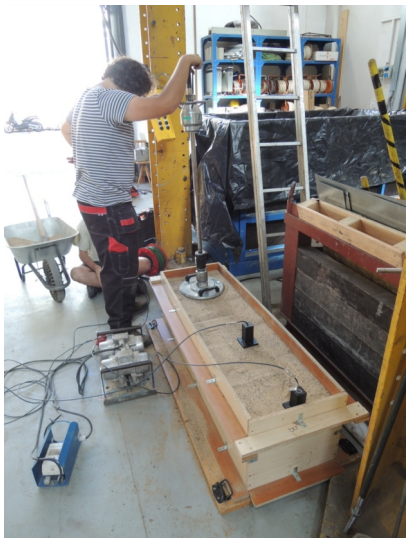
Dalším krokem bylo nalezení vhodné lokality, kde je železniční trať pojížděná co nejvyšší rychlostí a současně se v podloží nachází problematické (jemnozrnné) zeminy. Pro prvotní měření v reálných podmínkách byl zvolen zkušební úsek Šťáhlavy, kde byla zjišťována odezva na klasické konstrukci pražcového podloží a rovněž na konstrukci pražcového podloží s vrstvou asfaltového recyklátu. Při tomto měření byla ověřena vhodnost zapojení geofonů do měřicí ústředny.

## Výsledky – laboratorní měření

Laboratorní ověřování potvrdilo možnost sledovat Rayleighovo vlnění ve zkušebním boxu

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

v laboratorních podmínkách. Pro simulaci jízdy reálného vlaku se předpokládá využití hydraulického lisu s cyklickým zatěžováním. Pro počáteční ověřování však bylo zvoleno jednodušší zatěžování, a to silovým rázem pomocí soupravy lehké dynamické desky o průměru 30 cm. Při ověřování vlivu materiálu stěn zkušebního boxu na vlastní průběh šíření Rayleighovy vlny bylo sledováno celkem 9 různých modelových konstrukcí. Při zkouškách byly použity tři rozdílné sypaniny, a to písek, štěrkodrť a štěrk. Stěny zkušebního boxu byly ve 3 různých provedeních – dřevotřískové desky, dřevotřískové desky pokryté ocelovým plechem a dřevotřískové desky pokryté antivibrační rohoží (obr. 1) Ze získaných výsledků vyplynulo, že nejméně harmonických zkreslení průběhu Rayleighovy vlny se vyskytovalo při měření ve zkušebním boxu tvořeném kombinací dřevotřískových desek a antivibračních rohoží [2].



*Obr. 1 Měření v laboratoři [2]*

## Výsledky – měření in-situ

V květnu 2019 bylo provedeno měření ve zkušebním úseku jednokolejné železniční trati ve Šťáhlavech. K měření byly využity 4 geofony umístěné do dvou příčných profilů, přičemž vždy jeden geofon byl umístěn ve vzdálenosti 2 metry od kolejnicového pásu. První profil byl umístěn do blízkosti železničního přejezdu, kde se v pražcovém podloží nachází vrstva asfaltového recyklátu. Druhý profil odpovídal pražcovému podloží s tradiční skladbou zrnitých vrstev. Cílem bylo porovnat šíření vlnění u obou konstrukcí pražcového podloží. Další dva geofony byly umístěny na konstrukci sloužící k měření poklesů kolejnicového pásu s cílem zjistit, v jaké míře dochází při jízdě vlaku k rozkmitání konstrukce a jak tento jev ovlivňuje výsledky získané z měřidel poklesů umístěných na této konstrukci (obr. 2). Limitujícím faktorem pro synchronní zapojení většího počtu geofonů se ukázala omezená délka kabelů ke geofonům.

*Obr. 2 Měření ve Šťáhlavech*

Pro další měření Rayleighova vlnění byla na základě výsledků geologického průzkumu a pochůzky vybrána lokalita na 4. tranzitním železničním koridoru v úseku mezi žst. Veselí nad Lužnicí a Dynín s návrhovou rychlostí 160 km/h. Trať je zde vedena na náspu nivou u Horusického rybníka. Podloží tvoří vrstvy jílů, písčitých jílů a rašeliny.

## Závěr

Ze studia problematiky Rayleighova vlnění vyplynulo, že vyžaduje seriózní a současně komplexní přístup. Jako významný se ukazuje vztah mezi kritickou rychlostí zeminy, která se rovná rychlosti šíření Rayleighova vlnění, a rychlostí jízdy vlaků. Z praktických zkušeností ze zahraničí, zejména ze Švédska, vyplývá, že ve velmi nepříznivých geologických podmínkách může již při rychlosti jízdy vlaků kolem 200 km/h docházet k významným negativním projevům na kolejové infrastruktuře či v jejím bezprostředním okolí.

Protože se v současné době v ČR plánuje výstavba sítě vysokorychlostních železničních tratí s rychlostí jízdy vlaků až 320 km/h, považujeme za nezbytné posoudit, zda se v lokalitách, kudy budou vedeny nové železniční tratě, nevyskytují nevhodné geologické poměry umožňující rozvoj těchto negativních projevů. Cílem návazného výzkumu je zjistit přibližné hodnoty kritické rychlosti zeminy ve vytipovaných lokalitách v trasách plánovaných vysokorychlostních tratí v ČR a porovnat je s navrhovanými rychlostmi vlaků v daných místech [1], [2].

## Literatura


[1] Petýrek, M., Horníček, L. Rayleighovo vlnění a kritická rychlost zeminy z pohledu železničních staveb. In *Sborník příspěvků: JUNIORSTAV 2020 (přijato k tisku)*.

[2] Petýrek, M. Možnosti měření Rayleighova vlnění v laboratorním prostředí. In *Sborník příspěvků: JUNIORSTAV 2019*. 2019, p. 146–151.


*Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168*