

Jan Hlaváček

## Protihluková a protivibrační opatření používaná v evropské železniční síti

klíčová slova: *hluk, vibrace, železnice.*

### Úvod

Vzrůstající zájem veřejnosti, státních orgánů i orgánů Evropské Unie o podmínky životního prostředí působí i zvýšený zájem o železniční dopravu a její dopady na životní prostředí. Zvláštní zájem je věnován hluku a vibracím způsobenými železničním provozem.

Konkurenceschopnost železnice vzhledem k jiným formám dopravy je zvýšena zejména schopností zprostředkovat přepravu přímo z center populace a obchodu. V těchto hustě urbanizovaných oblastech je často nutno vést železniční trati hustě obydlenou infrastrukturou. Vlivem provozu vznikají vibrace v pásmu 30 - 200 Hz, které způsobují zpětně vyzářený hluk v budovách, jenž nazýváme hluk šířící se zemí, kdežto v pásmu 2 - 80 Hz jsou to vibrace šířící se zemí.

Dominantním zdrojem hluku šířící se vzduchem při jízdě vozidla po železniční trati je "**hluk valení**". Tvrzení, že při vysokých rychlostech nad 200 km/h se stává dominantní aerodynamický hluk se měřením neprokázalo. Je prokázáno, že 80 % akustické energie je vyzářeno ve výši do jednoho metru nad kolejnicí. Omezení nebo snížení hlukových emisí je neúčinnější u zdroje. Z tohoto důvodu by nejrůznější protihluková opatření měla být aplikována především na vozidlo a trať. Bohužel nejpoužívanější v současné praxi jsou stavby protihlukových bariér, které jsou nejnákladnějším řešením a často i málo efektivním.

Během výstavby koridoru se ukázalo, že problém hluku šířícího se vzduchem a vibrací přenášených zemí k blízké infrastruktuře je též častou příčinou stížností obyvatel a tím i negativní reakce příslušných orgánů při povolovacích řízeních.

Cílem tohoto článku je podat přehled informací o používaných opatřeních ke snížení hluku šířícího se vzduchem, vibrací a zemního hluku z povrchových tratí. Omezující opatření může být aplikováno na různé části systému. Přímě na vlaku, potom na svršku, spodku, přenosovou cestu, základy budov a konečně přímo v budovách.

---

**Jan Hlaváček Ing. 1944**, ČVUT - Fakulta elektro - Technická kybernetika - Měřicí technika. Zaměření: Měření hluku, vibrací, dynamiky kolejových vozidel. Člen hlukové a vibrační poradní skupiny ERRI. Člen protihlukové a protivibrační komise ČD.

Protivibrační opatření aplikované na vlakové soupravy jsou většinou totožné s protihlukovými aplikacemi. Zvláštní kapitolou jsou protihlukové a protivibrační opatření aplikovaných v osobní přepravě ke snížení vnitřního hluku a vibrací a zvýšení jízdního komfortu.

### ***Některé metody pro snižování vnitřního hluku kolejových vozidel***

Obecné metody a postupy ke snižování vnitřního hluku ve vozidlech jsou dobře zmapované vagonovým průmyslem a zvýšení jízdního komfortu nižšími hladinami interního hluku a vibrací jsou důležitou součástí lepší konkurenceschopnosti jednotlivých výrobců. Velikost útlumového ztrátového činitele, přeměna akustické nebo vibrační energie na tepelnou, to jsou obecně platné principy a používají se ve všech aplikacích. Důležitá je právě účinnost těchto materiálů, cenové relace a ostatní vlastnosti, které si vyžaduje bezpečnost provozu (nehořlavost, škodlivé zplodiny a podobně). Zde je možno se krátce zmínit o některých vysoce progresivních materiálech vyvinutých v poslední době.

Isolační materiál RESONAFLEX je materiál použitelný na vnitřní izolaci v kolejových vozidlech. Je nehořlavý, použitelný do teplot 60 ° C. Vyrábí se též v provedení RESONAFLEX-ALU potažený aluminiovou folií. Je vodovzdorný. Kromě tepelné izolace má též vynikající akustické vlastnosti. Materiál má voštinovou strukturu a velikost vnitřních komůrek určuje frekvenční pásmo, ve kterém tyto komůrky fungují jako Helmholtzovy oscilátory, čímž signifikantně zvyšují útlumový ztrátový činitel materiálů.

Materiál se dodává v deskách 1 x 1 m v tloušťce 20 - 100 mm. Cena za metr krychlový cca 600.- DM. Tento materiál je též použit v jednotkách ICE.

V železničních aplikacích se často používají následující materiály od firmy Teroson - Henkel.

**Teroform-2811/2812** je termoplastický materiál vyrobený z ne vulkanizované syntetické gumy s vysokou hustotou a plasticitou. Vyrábí se v samolepící úpravě v tloušťce 2 - 3.3 mm. Poskytuje dobrou ochranu proti hluku šířícím se vzduchem. Je použitelný na ocel, ocelové desky, hliník, umělé hmoty. Neposkytuje antikorozi ochranu a není vhodný do trvale mokrého prostředí a do vnějšího prostředí.

**Terotex-218** je krycí materiál na bázi kompozitních materiálů, rozpustný vodou, nanáší se stříkáním. Schne v pokojové teplotě nebo vyšší (až 70 °C). Materiál se používá na krytí spodku kolejových i jiných vozidel. Má určité akustické isolační vlastnosti, neposkytuje antikorozi ochranu. Dodává se v různých barvách.

**Terophon-112 DB** je krycí antivibrační a antihlukový nátěr, nanášený stříkáním nebo nátěrem. Je nízkohořlavý (třída B), šetrný k životnímu prostředí neobsahuje toxické látky, těžké kovy a azbest.

**Terophon-123 WF** je materiál podobných vlastností jako Terophon - 112 DB a navíc je vodovzdorný.

Isolační a krycí materiály pro tyto účely jsou samozřejmě k dispozici i od jiných výrobců.

### ***Protihluková a protivibrační opatření aplikovaná na vozidlo***

**Optimalizace tvaru kola** - Optimalizací tvaru kola je možno dosáhnout minimální vlastní hlukové i vibrační emise kola. Toho je možno dosáhnout několika přístupy. Jedním z nich je osová symetrie kola (přímý kotouč, dovážení nesymetrie okolku). Dále platí zásada, že čím menší průměr kola, tím je menší vyzařovací plocha a třetí zásada je, že čím je tlustší kotouč, tím je emisní spektrum na vyšší frekvenci (i mimo slyšitelné pásmo). Tyto aplikace byly ověřeny v rámci různých projektů ERRI, dosažitelné snížení emisí je do 2 dB (optimalizací tvaru), ale až 10 dB (kolo o průměru 540 mm se zesíleným kotoučem - kola Powell Duffryn, nebo DBAG). Ve většině případů, kromě kol s extrémně malým průměrem, prozatím neexistují jako běžná nabídka vagonového průmyslu.

**Protihlukové absorbéry na kolo** - Aplikací protihlukových absorbérů přidáme hmotnost a zvýšíme tlumicí koeficient, tím se jednak sníží vyzařování a jednak přesune do vyššího frekvenčního pásma. Neefektivnější je využití laditelných absorbérů, které jsou naladěny na jednu nebo dvě rezonanční frekvence, takže se rezonanční špičky roznesou do širšího pásma. Dosažitelný útlum je kolem 6 dB. Existuje několik výrobců, kteří nabízejí dvojkolí vybavené absorbéry (např. ŽDB - Bohumín).

**Stínící kryty na kolo** - Použití stínících krytů je obecně nepříliš účinné. Zejména záleží na připevnění, aby po případném uvolnění kryt neprodukoval další přídavný hluk. Co se týče útlumu, nejsou známa konkrétní čísla. Vhodné nanejvýš jako doplňkové opatření.

### ***Protihluková opatření aplikovaná na trat'***

**Kolejnicové podložky** - Pružné kolejnicové podložky s definovanou tuhostí jsou jednou z aplikací, která snižuje úroveň hlukových emisí. Tuhost podložky musí být taková, aby přenos energie z kolejnice do pražce byl rovnoměrný. Kolejnice a pražec musí zářit rovnoměrně. Tím se dosáhne optimální varianty bez výrazných špiček ve spektru. Příliš měkké podložky způsobí, že kolejnice vyzáří většinu energie a příliš tuhé podložky přenesou většinu energie na pražec. Optimální tuhosti se blíží podložky užívané na SBB. Podložky užívané na DBAG jsou příliš měkké, ale tam jsou zase účinky protivibrační. Útlum činí kolem 2 - 3 dB, ale je silně závislý na rychlosti. Otázka použití kolejových podložek není definitivně vyřešena.

**Kolejnicové absorbery** - Podobně jako u absorberů na kola, přidáním hmoty a zvýšením tlumícího koeficientu dosáhneme rychlejšího utlumení podélné vlny v kolejnicovém pásu. Existuje několik průmyslově vyráběných aplikací. Používají se tam, kde je v blízkosti silně obydlená infrastruktura ve stanicích, podél nástupišť a podobně. Deklarovaný útlum 3 - 4 dB je nutno brát s rezervou. Příspěvek jednotlivých optimalizačních prvků nelze prostě sčítat. Uděláme-li příliš tiché vozidlo, stane se dominantní trať a naopak. Na problém je nutno nahlížet komplexně.

### ***Protihluková opatření aplikovaná mezi trať a příjemce***

**Protihlukové bariéry** - Nejčastěji používané protihlukové zařízení, nejnákladnější, ale mnohdy jediné možné. Používají se nejrůznější materiály, tvary a velikosti. Základní dělení je s reflexním odrazným povrchem a absorpčním povrchem. Účinnost, neboli ztrátový činitel se obecně posuzuje na základě poměru mezi přímým spojením mezi zdrojem a příjemcem a spojením přes vrchol bariéry.

**Nízké protihlukové bariéry těsně u trati** - Tato aplikace se ukázala jako málo účinná a neefektivní. Nízké bariéry s reflexním povrchem vykazovaly v některých případech dokonce nárůst hlukové hladiny vlivem několikanásobných odrazů. Určitou účinnost měly pouze bariéry s absorpčním povrchem, a to ještě ve spojení s absorpčním povrchem na spodku vozů.

**Opatření na budovách** - Isolace oken, zdí a podobně, kde se to ukáže efektivnější. Aplikace tam, kde je řídká infrastruktura, malý počet obyvatel.

### ***Protivibrační opatření***

Rozsah je omezen na opatření aplikovaná na trať a dále. V následujícím přehledu je vždy uvedeno i stručné zhodnocení efektivnosti aplikace z dostupných dat.

**Tloušťka šterkového lože** - Změny tloušťky šterkového lože mění jeho vertikální tuhost. Teoreticky vypočtené hodnoty při porovnání tloušťky šterkového lože 150 mm oproti 600 mm ukazují průměrný ztrátový činitel kolem 5 dB s výraznějším útlumem na 20 Hz. Naneštěstí naměřené výsledky s predikovanými nesouhlasí. Můžeme konstatovat, že tloušťka kolejového lože i s akustickými účinky dohromady není jako protivibrační podstatná. Kromě toho při přílišné tloušťce kolejového lože by mohly vzniknout potíže se stabilitou a údržbou.

**Tuhost kolejnicových podložek** - Měkké podložky, nebo speciální pružné upevnění kolejnic může snížit velikost vybuzených vibrací. V současnosti je toto řešení většinou používáno k ochraně šterkového lože před vibracemi a ke zlepšení jízdního komfortu na tratích s velmi tuhým podloží. Predikované výsledky ukazují průměrné zeslabení kolem 5 dB mírně se zvyšující v oblasti kolem 20 Hz až na 10 dB. Na druhé straně bylo měřením prokázáno, že toto opatření má za následek vyšší hladiny venkovního hluku i hluku šířícího se zemí.

**Kontinuálně podepřená kolej a vzdálenost mezi pražci** - Zejména na nízkých frekvencích je standardní pražcové upevnění důležitým mechanismem parametrického buzení vibrací s frekvenční závislostí na rychlosti a vzdálenost mezi nápravami projíždějících vozidel. Bylo vyvinuto a odzkoušeno několik variant kontinuálně podepřené trati.

Jedno ověřovací měření bylo realizováno na trati DBAG poblíž Augsburgu. Trať byla modifikovaná panelová trať, podepřená mezi upevňovacími místy. Naměřené výsledky nevykázaly prokazatelné zlepšení.

Existují komerčně dodávané systémy "Ortec" a "Edilon" nebo systém "Pandrol" používaný nejvíce v metru. (Ankara, Hong-kong, Istanbul,).

Jiný systém podobného typu nazývaný "PACK" byl vyvinut asi před dvaceti lety ve spolupráci s BR.

Tento přehled nezahrnuje hodnocení nižší ceny přímo pokládané trati, nicméně existují studie dokazující, že tento typ trati má horší vlastnosti ohledně zpětně vyzářeného hluku než klasická trať se šterkovým ložem. Na druhé straně menší opotřeбенé oběžných ploch a nepřítomnost periodického buzení způsobí redukci na nízkých frekvencích. Snížení zpětně vyzářeného hluku může být dosaženo vhodným odpružením kolejnice.

Existuje ještě tzv. žebříkové uložení pražců. Návrh konstrukce sestává s kontinuálních podélných pražců spojených železem, podobně jako u bi-blokových pražců. Tento typ pražců může být aplikován na trať s normálním šterkovým ložem nebo na pružné uložení bez šterkového lože. Vyjdeme-li z počátečních premis, tak zmenšení vzdálenosti mezi pražci může působit podobně jako kontinuálně podepřená trať.

**Odpružené (obuté) pražce** - Podložení pražce elastickým povrchem může být realizováno na trati se šterkovým ložem i bez něho. V případě bez kolejového lože je pružná podložka hlavní elastický komponent určující relativní pohyb trati pod projíždějícím vlakem. Toto řešení se poměrně často využívá v tunelech. Na povrchové trati je zde problém odolnosti proti vodě a v zimních podmínkách voda v podložkách mrzne. Při uložení na šterkové lože i při použití bez šterkového lože (systém "Modurail") je možno pozorovat signifikantní snížení hladin vibrací, ovšem pouze na vyšších frekvencích. Nevýhodou jsou zvýšené vibrace samotného pražce, zejména na trati se šterkovým ložem, což opět vede ke zvýšeným hladinám venkovních hlukových emisí.

**Pražce s vnitřním tlumením** - Nevýhody předešlého řešení by odstranil návrh pražce nové konstrukce, jenž by měl zabudovány vnitřní tlumicí prvky v sendvičové konstrukci.

**Rohože pod šterkové lože** - Rohože pod šterkové lože byly v minulosti poměrně často používaný prostředek pro snížení vibrací. Jedním z důvodů byla poměrně nízká cena. V některých případech nastaly problémy s kvalitou trati a rychlejší degradací geometrické polohy koleje. Velmi důležité jsou ověřovací laboratorní zkoušky životnosti těchto rohoží. Efektivní použití rohoží pod kolejový svršek velmi závisí na parametrech podloží. Podle kvality podloží je nutno doladit správné parametry rohože (tuhost, tloušťka, velikost ok, a pod.). Vždy by mělo být zkoumáno dynamické chování systému, kvůli stabilitě trati. Existuje množství průmyslově dodávaných rohoží od různých firem (Sylodyn, Sylomer a pod.). Podle naměřených i vypočtených hodnot nejvyšší ztrátový činitel kolem 20 dB je na vyšších frekvencích kolem 60 Hz, kdežto na nízkých frekvencích asi 20 Hz může vibrace dokonce zesílovat (5 dB).

**Panelová trať** - Obecně lze předpokládat snížení vibrací vlivem vyšší tuhosti konstrukce a přesnějšího upevnění kolejnic. Lze očekávat menší buzení způsobené valením kola/kolejnice. Nebylo ještě stanoveno optimální odpružení spodku a ostatní vedlejší parametry pro dosažení maximální efektivity. Teoretické studie indikují snížení vibrací na nízkých frekvencích, ale zvýšení vibrací na vyšších frekvencích.

Nový typ panelové trati na šterkovém loži je v současné době instalován na trati DBAG Karlsruhe - Basel. Tento typ panelové trati (System Grotz) je vhodný i pro měkké podloží, šterkové lože a umožňuje použití rohoží pod kolejové lože. Při této konstrukci lze očekávat útlum vibrací v průměru více než 10 dB v celém frekvenčním pásmu, bez dodatečného zvýšení venkovních hlukových emisí.

**Plovoucí panely a ostatní systémy s odpruženou hmotou** - Systémy odpružených hmot s rezonanční frekvencí 5 - 6 Hz bývají použity v tratích metra. Na povrchové trati byl použit při stavbě vysokorychlostní trati v Jižní Koreji, ale žádné výsledky nejsou k dispozici. Teoreticky dosažitelný ztrátový činitel je 10 dB pro frekvence nad 16 Hz a může dosáhnout až 25 dB na frekvenci 125 Hz.

**Ztužení půdy včetně tzv. vlnových impedančních bloků** - Pro ztužení nebo zpevnění podloží se dají použít různé metody.

**Aplikace vápna smíchaného se zemí.** Dosáhneme lepší kompaktnosti podloží. Možnost použití asi do hloubky 0.5 m.

**Vápenné injekce.** Použitelné do větší hloubky.

**Proud vápenné kaše.** Zpevnění povrchu, zabránění erosi. Možno použít i cementovou kaši.

Tyto aplikace se používají pro zpevnění a vysoušení podloží. Zvýšením tuhosti podloží dosáhneme účinnosti na nízkých frekvencích 4 - 31.5 Hz. Ztrátový činitel do 12 dB.

V literatuře je často zmínka o tzv. "vlnových impedančních blocích" (WIB). Ale žádná praktická aplikace s naměřenými výsledky není známa. Teoreticky je aplikace těchto elementů velmi závislá na konkrétních parametrech půdy, kde by tyto bloky měly být instalovány. V každém případě je nutná podrobná analýza. Nejpříhodnější aplikace by asi byla pro zpevnění podloží s velmi měkkou půdou.

**Příkopy** - Účinnost těchto opatření je limitována místními geologickými podmínkami a na oblast v těsné blízkosti příkopu. Příkopové bariéry mohou být prázdné, nebo vyplněné stínícím materiálem.

Z ekonomických důvodů je toto opatření možno doporučit pro ochranu jednotlivých objektů a pouze v případě, že jiné řešení není vhodné. Vzhledem k nevelké účinnosti této aplikace a také k minimalizaci rozměrů se doporučuje příkop umístit tak těsně ke chráněnému objektu, jak je to jen možné. Případný stínící materiál potom aplikovat přímo na základy objektu.

**Isolace budov proti vibracím** - Ekonomicky nákladné, aplikaci možno doporučit jen ve výjimečných případech.

### ***Závěr***

Cílem tohoto článku bylo podat přehledovou informaci o protihlukových a protivibračních opatřeních používaných v evropských železnicích a poukázat na některé problémy při jejich aplikaci. Některá zde uvedená řešení byla již použita v rámci výstavby rychlostního koridoru ČD, jiná jsou zatím ve stadiu výzkumu či poloprovozních zkoušek. Lepší informovanost o této problematice je prospěšná a přispěje svým dílem ke zlepšení perspektivy železniční dopravy v ČR.

V Praze, září 1998

Lektoroval: Ing. František Petr, CSc.

VÚŽ Praha