



Lukáš Týfa, Libor Ládyš a kol.

METODIKA STANOVENÍ KOREKČÍ EMISÍ HLUKU V ZÁVISLOSTI NA KONSTRUKCI ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY



s finanční podporou



Technická agentura
České republiky





ČVUT v Praze Fakulta dopravní
Ústav dopravních systémů



EKOLA group, spol. s r.o.

METODIKA STANOVENÍ KOREKČÍ EMISÍ HLUKU V ZÁVISLOSTI NA KONSTRUKCI ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY

doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D.
Ing. Martin Jacura, Ph.D.
Ing. Tomáš Javořík
Ing. David Vašica, Ph.D.

Ing. Libor Ládyš
RNDr. Libuše Bartošová
Ing. Monika Biřová, Ph.D.
Ing. Aleš Matoušek, Ph.D.

2013

s finanční podporou



Technologická agentura
České republiky

Publikace byla zpracována jako hlavní výstup a za podpory projektu výzkumu a vývoje programu ALFA Technologické agentury České republiky č. TA01030087 „Vliv opatření na infrastrukturu železniční dopravy na snížení vzniku a šíření hluku od jedoucích vlaků“

Vydalo České vysoké učení technické v Praze
Zpracovala Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů
zasílací adresa: Praha 1, Konviktská 20
pracoviště: Praha 2, Horská 3
Tel.: 224 355 090
ve spolupráci s: EKOLA group, spol. s r.o.
<http://vlaky-hluk.fd.cvut.cz/>

Hlavní autoři:

doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D., ČVUT v Praze Fakulta dopravní
Ing. Libor Ládyš, EKOLA group, spol. s r.o.

Spoluautoři:

RNDr. Libuše Bartošová, EKOLA group, spol. s r.o.
Ing. Monika Bil'ová, PhD., EKOLA group, spol. s r.o.
Ing. Martin Jacura, Ph.D., ČVUT v Praze Fakulta dopravní
Ing. Tomáš Javořík, ČVUT v Praze Fakulta dopravní
Ing. Aleš Matoušek, Ph.D., EKOLA group, spol. s r.o.
Ing. David Vašica, Ph.D., ČVUT v Praze Fakulta dopravní

Recenzenti:

prof. Ing. Ervin Lumnitzer, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta,
Katedra environmentalistiky
RNDr. Miloš Liberko, ENVICONSULT Praha

Jazyková korektorka:

Mgr. Marta Kordíková

Vytištěno vlastním nákladem a prostředky.

vii+36 s.

Vydání 1.

© ČVUT v Praze Fakulta dopravní, 2013

ISBN 978-80-01-05373-7

Anotace

Certifikovaná metodika

Autoři:

doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D., Ing. Martin Jacura, Ph.D., Ing. Tomáš Javořík, Ing. David Vašica; Ing. Libor Ládyš, RNDr. Libuše Bartošová, Ing. Monika Biřová, Ph.D., Ing. Aleš Matoušek, Ph.D.

Název:

Metodika stanovení korekcí emisí hluku v závislosti na konstrukci železničního svršku v podmínkách České republiky

Abstrakt:

V rámci posuzování vlivu na životní prostředí projektů rekonstrukcí, resp. novostaveb, železničních tratí se provádí výpočty (modelování) hlukové zátěže v okolí tratě z provozu železniční dopravy. Mezi zásadní faktory, které výsledek výpočtu ovlivňují, patří konstrukce železničního svršku a skladba provozovaných železničních vozidel. Vlastní modelový výpočet je v současnosti prováděn buď českou metodikou, která již nebyla řadu let aktualizována, a nemůže proto reagovat na pozitivní vývoj ve vozovém parku a v konstrukci koleje na železnici v České republice, nebo metodikami zahraničními, které však nezohledňují reálné podmínky železničního provozu v České republice. Předložená metodika proto nabízí především hodnoty korekcí, jež zajistí vhodné vstupní parametry k modelování emisí hluku vlaků, získaných českou metodikou nebo nejběžnějšími zahraničními metodikami, tak, aby výsledky odpovídaly reálným podmínkám v České republice. Publikace na svém začátku seznamuje čtenáře se základy konstrukce železničního svršku a ve stěžejní části metodiky jsou představeny konkrétní hodnoty korekcí emisí hluku podle jednotlivých konstrukcí železničního svršku v závislosti na rychlosti železničních vozidel. Na názorných příkladech je ukázáno, jak korekce správně používat.

Klíčová slova:

železniční doprava; hluk; emise hluku; modelování emisí hluku; železniční svršek

Jazyk:

čeština

Certifikační orgán:

ČR, Ministerstvo dopravy, Odbor strategie – osvědčení o uznání uplatněné certifikované metodiky čj. 123/2013-520-TPV/1 ze dne 12.12.2013

Annotation

Certificate Method

Authors:

Assoc.Prof. M.Eng. Lukáš Týfa, Ph.D., M.Eng. Martin Jacura, Ph.D., M.Eng. Tomáš Javořík, M.Eng. David Vašica; M.Eng. Libor Ládyš, M.A. Libuše Bartošová, M.Eng. Monika Biřová, Ph.D., M.Eng. Aleš Matoušek, Ph.D.

Title:

Methodology for Determination of Noise Emission Correction According to Railway Superstructure Construction within the Czech Republic

Abstract:

As a part of an environmental impact assessment of railway reconstruction or construction projects calculations (modelling) are being made of noise load along the railway caused by the railway traffic. Among the principal factors, that influence the calculation outputs, we can include a railway superstructure construction and a structure of operating railway vehicles. The calculation itself is now being made either using the Czech methodology, which has not been updated for many years and is therefore unable to consider the positive evolution in both railway vehicle structure and railway construction in the Czech Republic properly, or with a help of foreign methodologies that cannot take account of railway operation conditions in the Czech Republic. Therefore the presented methodology introduces especially the correction values, that are able to ensure appropriate input parameters for train noise emission modelling performed by either Czech or foreign methodologies, so the outputs correspond with real conditions in the Czech Republic. In the beginning the paper introduces the readers to the railway superstructure construction basics and in the core part the specific noise emission correction values are introduced according to various types of the superstructure and railway vehicle speed. The proper use of correction values is demonstrated on illustrative examples.

Keywords:

railway transport, noise, noise emission, noise emission modelling, superstructure

Language:

Czech

Certificate Authority:

the Czech Republic, Ministry of Transport, Strategy Department – certificate document: reference number 123/2013-520-TPV/1 from 12.12.2013



Ministerstvo dopravy

nábřeží Ludvíka Svobody 1222/12
PO BOX 9, 110 15 Praha 1

Praha 12. prosince 2013
Č. j.: 123/2013-520-TPV/1

v y d á v á
OSVĚDČENÍ

o uznání uplatněné certifikované metodiky
v souladu s podmínkami „Metodiky hodnocení výsledků výzkumu a vývoje“

*„Metodika stanovení korekcí emisí hluku v závislosti na konstrukci železničního
svršku v podmínkách České republiky“*

ŘEŠITEL

ČVUT v Praze, Fakulta dopravní
EKOLA group, spol. s r.o.

Autor:

Doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D.
Ing. Martin Macura, Ph.D.
Ing. Tomáš Javořík
Ing. David Vašica

Ing. Libor Ládyš
RNDr. Libuše Bartošová
Ing. Monika Bil'ová, Ph.D.
Ing. Aleš Matoušek, Ph.D.

Dedikace:

Vypracované v rámci projektu TA01030087 „Vliv opatření na infrastrukturu železniční dopravy na snížení vzniku a šíření hluku od jedoucích vlaků“ realizovaného s podporou TA ČR

Zpracovatelé 2 nezávislých oponentních posudků:

RNDr. Miloš Liberko – ENVICONSULT

Prof. Ing. Ervin Lumnitzer, Ph.D. – TU v Košicích, Strojnická fakulta, Katedra environmentalistiky

Ing. Luděk Sosna, Ph.D.

Ředitel
Odbor strategie

Ministerstvo dopravy
odbor strategie
nábř. L. Svobody 12
110 15 Praha 1
-16-

Předmluva

V rámci posuzování vlivu na životní prostředí projektů rekonstrukcí, resp. novostaveb, železničních tratí se provádí výpočty (modelování) hlukové zátěže v okolí tratě z provozu železniční dopravy. Mezi zásadní faktory, které výsledek výpočtu ovlivňují, patří konstrukce železničního svršku a skladba provozovaných železničních vozidel. Vlastní modelový výpočet je v současnosti prováděn buď českou metodikou, která již nebyla řadu let aktualizována, a nemůže proto reagovat na pozitivní vývoj ve vozovém parku a v konstrukci koleje na železnici v České republice, nebo metodikami zahraničními, které však nezohledňují reálné podmínky železničního provozu v České republice. Předložená monografie *Metodika stanovení korekcí emisí hluku v závislosti na konstrukci železničního svršku v podmínkách České republiky* proto nabízí především hodnoty korekcí, jež zajistí vhodné vstupní parametry k modelování emisí hluku vlaků, získaných českou metodikou nebo nejběžnějšími zahraničními metodikami, tak, aby výsledky odpovídaly reálným podmínkám v České republice. Publikace je určena především odborníkům v oblasti životního prostředí, kteří se zaměřují na zpracovávání akustických studií a měření hluku v železniční dopravě, pracovníkům provozovatelů železničních drah, krajských hygienických stanic, vědeckým a výzkumným pracovníkům a rovněž zaměstnancům ústředních orgánů státní správy a krajských, případně obecních samospráv.

Metodika na svém začátku seznamuje čtenáře se základy konstrukce železniční koleje, a je tedy určena především pro experty na jiný obor, tzn. v tomto případě především na životní prostředí. Pro korektní použití této metodiky je totiž nezbytné správně zařadit konstrukci železniční koleje (ve stávajícím i navrhovaném stavu po rekonstrukci) do příslušné kategorie. V této kapitole jsou tak stručně popsány jednotlivé součásti železničního svršku a jeho hlavní používané typy, doplněné o fotografie. Ve třetí kapitole je stručně popsán postup výzkumu (sledované parametry a jejich následné zpracování a vyhodnocení), který vyvrcholil stanovením korekcí hodnot emisí hluku v závislosti na konstrukci železničního svršku.

Klíčovou částí metodiky je kapitola čtvrtá, která popisuje jednak konkrétní hodnoty korekcí a jednak jejich aplikaci při použití tří nejčastěji používaných výpočtových metodik emisí hluku v železniční dopravě v České republice. **Tuto kapitolu lze studovat a používat nezávisle** na zbývajících částech publikace. Zahrnuje také osm příkladů, jež čtenáři osvětlí používání zjištěných korekcí. Monografie je zakončena tabulkovou přílohou, která obsahuje hodnoty korekcí pro vybrané konstrukce koleje, výpočtové metodiky a rychlosti železničních vozidel.

Metodika je klíčovým výstupem projektu výzkumu a vývoje programu ALFA Technologické agentury České republiky č. TA01030087 „Vliv opatření na infrastrukturu železniční dopravy na snížení vzniku a šíření hluku od jedoucích vlaků“. Příjemcem podpory bylo ČVUT v Praze (řešitelským pracovištěm Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů) a dalším účastníkem projektu byla společnost EKOLA group, spol. s r.o. Tuto metodiku, jakož i další informace o výzkumném projektu, lze nalézt na jeho internetových stránkách <http://vlaky-hluk.fd.cvut.cz/>.

Poděkování tedy především náleží Technologické agentuře České republiky za poskytnutí finanční podpory výše zmíněnému projektu. Zvláštní poděkování patří podporovateli projektu, kterým byla Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, zastoupená Mgr. Bohumírem Trávníčkem, vedoucím oddělení životního prostředí. Za spolupráci při vytipování míst měření a získávání dat o vlacích děkuje řešitelský tým Ing. Robertu Scholzovi z firmy ČD Cargo, a.s., a Ing. Miroslavu Velišovi ze SŽDC. Měření v terénu by

nemohla úspěšně proběhnout bez kvalitní práce akustických techniků společnosti EKOLA group, spol. s r.o., a studentů ČVUT v Praze Fakulty dopravní.

Autoři v neposlední řadě také děkují oběma recenzentům za důkladné prostudování metodiky a za věcné a přínosné připomínky a postřehy na její vylepšení. Poděkování rovněž náleží pracovníkům odboru strategie Ministerstva dopravy za podporu certifikačního procesu.

V tomto dokumentu je použita metoda citování informačních zdrojů podle platné normy ČSN ISO 690,¹ a to tzv. odkazem v textu, konkrétně číslem v hranatých závorkách, odkazujícím na citované zdroje uvedené v seznamu použité literatury na konci metodiky (kap. 5).

¹ ČSN ISO 690 (01 0197). Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů. Praha: ÚNMZ, 2011.

Obsah

1	ÚČEL METODIKY	1
2	KONSTRUKCE ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU	2
2.1	KONSTRUKCE ŽELEZNIČNÍ KOLEJE.....	3
2.2	ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK	3
2.3	KOLEJNICE.....	3
2.4	PRAŽCE.....	4
2.4.1	<i>Dřevěné pražce.....</i>	<i>5</i>
2.4.2	<i>Betonové pražce</i>	<i>5</i>
2.4.3	<i>Ocelové pražce tvaru „Y“.....</i>	<i>5</i>
2.5	UPEVNĚNÍ KOLEJNICE K PRAŽCI.....	5
2.5.1	<i>Upevnění nepřímé tuhé s rozponovými podkladnicemi</i>	<i>6</i>
2.5.2	<i>Upevnění nepřímé tuhé s žebrovými podkladnicemi (typ K).....</i>	<i>6</i>
2.5.3	<i>Upevnění nepřímé pružné s žebrovými podkladnicemi (typ KS)</i>	<i>7</i>
2.5.4	<i>Upevnění přímé pružné bezpodkladnicové (typ W 14).....</i>	<i>7</i>
2.6	KOLEJOVÉ LOŽE.....	8
2.7	PEVNÁ JÍZDNÍ DRÁHA.....	8
3	NÁSTROJE PRO STANOVENÍ EMISÍ HLUKU A JEJICH MODELOVÁNÍ	10
3.1	MĚŘENÁ DATA A NÁSTROJE PRO STANOVENÍ EMISÍ HLUKU.....	10
3.2	LINEÁRNÍ REGRESNÍ MODEL	11
3.3	NELINEÁRNÍ REGRESNÍ MODEL	13
4	STANOVENÍ EMISNÍ HLADINY VYBRANÝCH KONSTRUKCÍ	15
4.1	VÝPOČET KOREKCÍ PŘI POUŽITÍ ČESKÉ VÝPOČTOVÉ METODIKY	17
4.1.1	<i>Příklad č. 1.....</i>	<i>17</i>
4.1.2	<i>Příklad č. 2.....</i>	<i>18</i>
4.1.3	<i>Příklad č. 3.....</i>	<i>19</i>
4.1.4	<i>Příklad č. 4.....</i>	<i>20</i>
4.2	VÝPOČET KOREKCÍ PŘI POUŽITÍ NĚMECKÉ VÝPOČTOVÉ METODIKY „SCHALL 03“.....	21
4.2.1	<i>Příklad č. 5.....</i>	<i>22</i>
4.2.2	<i>Příklad č. 6.....</i>	<i>24</i>
4.3	VÝPOČET KOREKCÍ PŘI POUŽITÍ NIZOZEMSKÉ VÝPOČTOVÉ METODIKY „RMR 2006“	25
4.3.1	<i>Příklad č. 7.....</i>	<i>28</i>
4.3.2	<i>Příklad č. 8.....</i>	<i>29</i>
5	LITERATURA	31
6	PŘÍLOHY	33

Seznam zkratk

HK	hlavní komponenta
HV	hnací vozidlo
PCA	analýza hlavních komponent (<i>Principal Component Analysis</i>)
PJD	pevná jízdní dráha
SEL	hladina expozice zvuku (<i>Sound Exposure Level</i>)
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace

1 Účel metodiky

Již několik let dochází na území České republiky k modernizacím, optimalizacím a rekonstrukcím všech kategorií veřejných železničních tratí. Přestože prvořadým cílem těchto akcí je zvýšení traťové rychlosti, bezpečnosti a propustnosti tratí a rozšíření elektrické trakce, mezi pozitivní vedlejší efekty náleží také snížení hluku a vibrací od jedoucích vlaků. Avšak doposud nebylo přesně známo a hlavně objektivizováno, jakým způsobem ovlivní změny železničního svršku emise hluku ze železniční dopravy. Existuje všeobecné povědomí (mj. i na základě již provedených měření v traťových úsecích před a po jejich rekonstrukci například pro potřeby kolaudace železničních staveb),² že tyto emise sice budou již po prosté rekonstrukci nižší, nicméně přesnější údaje dosud nebyly k dispozici, a to především ve vztahu ke konkrétním typům použitých opatření, k jednotlivým konstrukcím železničního svršku a pro standardně používaný vozový park na českých železničních tratích. To má za následek, že v případě výhledové predikce hluku z provozu na tratích, jejichž železniční svršek má projít zásadní úpravou, může docházet (a také dochází) buď k nadhodnocení, nebo naopak k podhodnocení akustické situace v okolí železničních tratí a tím také k možným předimenzovaným, resp. poddimenzovaným, návrhům protihlukových opatření, což se samozřejmě projeví i ve finanční náročnosti každé takovéto investiční akce.

V České republice se provádí v rámci projektových příprav modernizací a optimalizací železničních tratí i výpočty hluku ze železničního provozu podle české výpočtové metodiky hluku ze železniční dopravy. Tato metodika vznikla v tehdejší Vědeckém ústavu železničním již v minulém století a od té doby nebyla aktualizována, a tak při jejím používání dochází u neupravených a nekorigovaných emisních dat k výraznému nadhodnocování hlukového zatížení okolí modernizovaných a optimalizovaných železničních tratí s moderní konstrukcí železničního svršku (pružné upevnění, bezстыková kolej) a moderními vlakovými soupravami zejména osobní dopravy (kotoučové brzdy, ucelené jednotky). S rozvojem softwarového vybavení a pronikáním zahraničního softwaru do České republiky se pro výpočty hluku používají i zahraniční výpočtové metodiky. Jejich hlavním nedostatkem jsou emisní hodnoty, které odpovídají specifickým jednotlivých zemí (jak konstrukcí železničního svršku, tak vozovým parkem), přičemž tyto zvláštnosti jsou v některých případech výrazně odlišné oproti situaci v České republice.

Právě z výše uvedených důvodů je v České republice velmi aktuální potřeba stanovit (s ohledem na používané konstrukce železničního svršku a na provozovaný vozový park v železniční dopravě) korekce na snížení hluku mezi původní a rekonstruovanou tratí tak, aby bylo možné definovat podmínky, za jakých hodnoty emisí hluku platí. A proto je možné používat nejen českou, ale i zahraniční výpočtové metodiky tak, aby se výsledky výpočtu co nejvíce blížily reálným podmínkám, a byla tak navrhována optimální protihluková opatření. Zjištění zmíněných reálných hodnot se věnoval tříletý projekt, jehož hlavním výstupem je právě tato metodika.

² Uvedené konstatování potvrzují i měření provedená v rámci výzkumného projektu, v rámci něhož vznikla tato metodika – viz [23] a [24].

2 Konstrukce železničního svršku

Tato kapitola je určena především pro odborníky v oblasti životního prostředí, kteří zároveň nejsou experty na konstrukci železniční koleje. Pro korektní použití této metodiky je totiž nezbytné správně zařadit konstrukci železniční koleje (ve stávajícím i navrhovaném stavu po rekonstrukci) do příslušné kategorie. V této kapitole jsou tak stručně popsány jednotlivé součásti železničního svršku a hlavní používané typy, doplněné o fotografie.

Sestav železničního svršku lze na české železniční síti najít mnohem více, než je uvedeno v této kapitole. Kromě základních a nejrozšířenějších typů se vyskytují i ojedinělé konstrukce, jež jsou buď pozůstatkem historického vývoje (např. koleje vložené za období protektorátu Čechy a Morava), nebo se jedná o ověřovací úseky nových prvků železničního svršku.

Předkládaná metodika se zabývá následujícími typy upevnění (pro rychlosti do 160 km/h, není-li uvedeno jinak):

- tuhé nepřímé podkladnicové s rozponovými nebo žebrovými podkladnicemi
- tuhé nepřímé pružné s žebrovými podkladnicemi
- pružné bezpodkladnicové přímé se svěrkami Vossloh Skl 14
- pružné bezpodkladnicové přímé se svěrkami Vossloh 300 na pevné jízdní dráze (pro rychlosti vyšší než 80 km/h)

Ostatní tuhá upevnění nejsou do metodiky zahrnutá, jelikož se při rekonstrukcích železničních tratí obvykle nezřizují. Pro pevnou jízdní dráhu je metodika zpracována jen pro rychlosti v intervalu 80–160 km/h, protože jednak nebylo možné ověření provést u nižších rychlostí (oba úseky v ČR disponují traťovou rychlostí vyšší než 100 km/h) a jednak se zřizování pevné jízdní dráhy ani výhledově neuvažuje na tratích s nižšími traťovými rychlostmi.

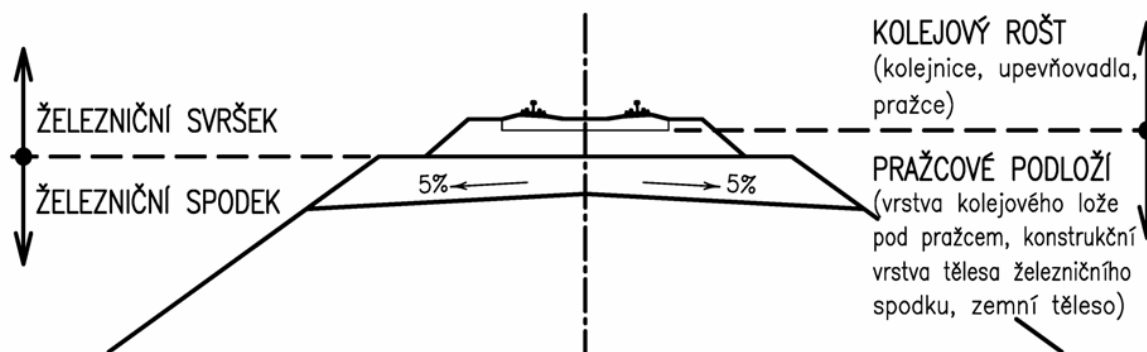
Tato metodika nezahrnuje železniční svršek s ocelovými pražci tvaru písmene „Y“, jelikož existující úseky na české železniční síti neumožňují ověřit hlukové emise pro rychlosti vyšší než 60 km/h, a tak není možné z naměřených hodnot přesně stanovit, jaký podíl hlukové zátěže připadá na konstrukci koleje a jaký na hluk z motorů hnacího vozidla a pomocných trakčních pohonů. Vzhledem k tomu, že sestava s pražci „Y“ je přednostně určená pro koleje nízkého řádu (z hlediska provozního zatížení), není uvedena skutečnost na závadu a nedochází tím ke snížení využitelnosti této metodiky.

Za specifickou konstrukci železničního svršku lze považovat doplnění klasické konstrukce o protihluková opatření, kterými jsou tlumicí bokovnice, umístěné z obou stran ke stojině kolejnice (do spojkové komory). Úseky této konstrukce se v ČR nacházejí prozatím dva (v Poděbradech a Havlíčkově Brodě), ale bohužel nebylo možné prověřit akustický přínos spočívající jen v doplnění bokovnic ke kolejnici, protože navazující úseky kolejí byly konstrukčně řešeny odlišnou sestavou železničního svršku. Efektivitou tohoto typu protihlukového opatření se zabývaly jiné výzkumné projekty.

V případě jiných konstrukcí železničního svršku, než kterými se zabývá předložená metodika, či při provozu rychlostmi v odlišných rychlostních pásmech, je pro upřesnění predikce nutné provést ověřující měření.

2.1 Konstrukce železniční koleje

Železniční kolej se z hlediska způsobu svého budování a funkce skládá ze železničního svršku a železničního spodku, jejichž rozhraní na (zemním) tělese železničního spodku tvoří plán tělesa železničního spodku – viz obr. 1.



Obr. 1 Konstrukce železniční trati (zdroj [25])

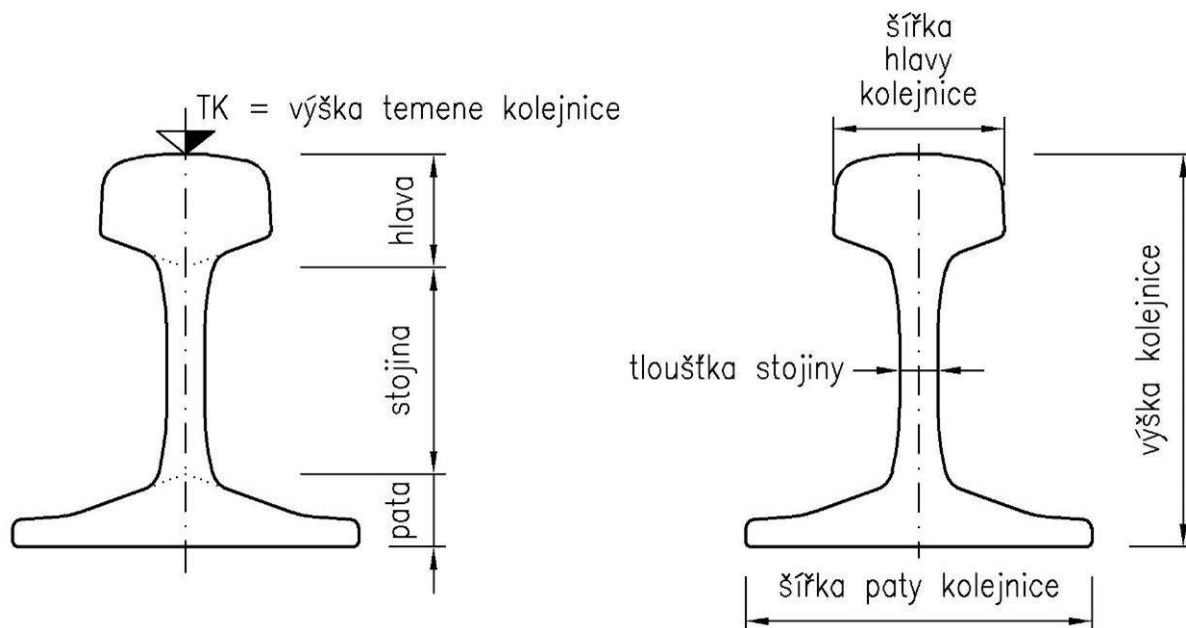
2.2 Železniční svršek

Železniční svršek tvoří jízdní dráhu pro železniční vozidla. Jeho hlavní funkce jsou vedení a nesení železničního vozidla a přenášení statického a dynamického zatížení od kolejových vozidel do konstrukce železničního spodku. Vlastní jízdní dráhu pro vozidla tvoří kolej, jež je sestavena ze dvou kolejnicových pásů upevněných k podporám ve vzájemné vzdálenosti odpovídající rozchodu koleje.

Rozeznává se buď tzv. klasická konstrukce železničního svršku, nebo tzv. pevná jízdní dráha (PJD). Klasická konstrukce je složena z kolejnic, upevňovadel, drobného kolejiva, příčných pražců a štěrkového kolejového lože. Sestava dvou kolejnicových pásů upevněných na pražce se označuje jako kolejový rošt. Pevná jízdní dráha je konstrukcí bez kolejového lože – kolejnicové pásy jsou uloženy přímo nebo prostřednictvím zabetonovaných pražců (výjimečně kontinuálně) na prefabrikovaných nebo monolitických betonových deskách (z cementobetonu, výjimečně asfaltobetonu).

2.3 Kolejnice

K hlavním úkolům kolejnice patří přejímání sil z provozu kolejových vozidel a jejich roznášení dále na podpory, vedení dvojkolí vozidel a vytváření jízdní dráhy. Na železnici se téměř výhradně užívá širokopatní kolejnice, jejímiž hlavními částmi jsou pata, stojina a hlava – viz obr. 2. V oblasti temene kolejnice (vrchní část hlavy kolejnice) a na pojížděné hraně hlavy kolejnic probíhá styk mezi kolem a kolejnicí – kolejnici jsou prostřednictvím hlavy kolejnice předávány síly vyplývající ze směrového vedení a nesení kol vozidel. Tvar paty kolejnice vychází jednak z potřeby plošného, nikoli bodového roznášení zatížení na kolejnicové podpory, a jednak z parametrů sestav upevnění kolejnice k pražci.



Obr. 2 Širokopatní kolejnice – hlavní části a rozměry (zdroj [25])

U nově vkládaných kolejových roštů do kolejí železničních tratí v ČR se nyní užívají dva základní tvary kolejnic: 49 E1 (dřívější označení S 49) a 60 E2 (dřívější označení UIC 60) – jejich základní parametry jsou uvedeny v tab. 1. První číslo v označení kolejnice vyjadřuje její zaokrouhlenou hmotnost na metr délky, číslice na konci vyznačuje pořadové číslo profilu podle mezinárodní normy EN 13674-1. Kolejnice tvaru 49 E1 jsou přednostně užívány v traťových kolejích s nízkým provozním zatížením a s traťovou rychlostí do 120 km/h včetně. Z dnes již nevyráběných tvarů kolejnic se lze v naší železniční síti setkat ještě s kolejnicemi tvaru R 65 na silně zatížených tratích, případně tvaru T nebo A na tratích regionálního významu.

Tab. 1 Parametry kolejnice tvaru 49 E1 a 60 E2 (zdroj [16], díl IV)

tvar kolejnice	výška [mm]	šířka paty [mm]	tloušťka stojiny [mm]	šířka hlavy v úrovni pojížděné hrany [mm]	průřezová plocha [cm ²]	jednotková hmotnost [kg/m]
49 E1	149	125	14,0	67	62,92	49,39
60 E2	172	150	16,5	72	76,48	60,03

2.4 Pražce

Příčné pražce v klasické konstrukci koleje tvoří kolejnicové podpory. K jejich hlavním funkcím patří zajištění stálosti rozchodu koleje a roznášení zatížení od kolejnic (předávaného patou kolejnice) do kolejového lože. Část horní plochy pražce určená pro uložení kolejnic (případně přes podkladnice) se nazývá úložná a spodní plocha ložná. Na tuzemské železniční síti se v současné době vkládají do kolejí zejména betonové příčné pražce. V úsecích pro ně

nevhodných se použijí pražce dřevěné a v kolejích s nízkým provozním zatížením a s četnými oblouky malých poloměrů obsahuje železniční svršek ocelové pražce tvaru písmene „Y“.

2.4.1 Dřevěné pražce

Již od samého počátku železnic se na výrobu příčných pražců používalo dřevo, protože jejich výroba je snadná, jsou dostatečně pevné a pružné při zatížení, umožňují jednoduché upevnění kolejnice a mají i dostatečnou dobu své životnosti. Jejich hlavními nedostatky jsou omezené přírodní materiálové zdroje, omezená životnost pražců a v bezстыkové koleji (svařované kolejnice bez dilatačních spár) nízký odpor proti příčným a podélným pražcům v kolejovém loži. S rostoucím důrazem na bezpečné nakládání s odpady se stává velkým problémem jejich likvidace, protože jde v důsledku impregnace pražců o nebezpečný odpad.

2.4.2 Betonové pražce

Po prvotních ověřovacích typech betonových pražců se jejich vývoj i užití ustálil na betonových pražcích z předem předpjatého ocelobetonu. Betonové pražce jsou jednoznačně nejrozšířenějším typem pražců, a to hlavně pro svou dlouhou životnost a relativně jednoduchou výrobu. K jejich velké výhodě patří vysoká hmotnost, jež je podstatná pro zajištění stability bezстыkové koleje proti posunům v příčném i podélném směru. K nevýhodám betonových pražců ve srovnání s dřevěnými pražci patří nižší pružnost a vyšší zatížení šterkového lože zapříčiněné dynamickým působením železničních vozidel. Přehled typů betonových pražců uložených v kolejích železničních tratí na území ČR je velmi rozsáhlý – každý betonový pražec má na své horní ploše plastické značky, z nichž jedna označuje jeho typ. Nové betonové pražce se pro tratě s intenzivním provozem v současnosti používají téměř výhradně typu B91S/1 (resp. B91P) – určené pro uložení kolejnic tvaru 60 E2 (příp. 60 E1), nebo B91S/2 – určené pro uložení kolejnic tvaru 49 E1. Do tratí s nízkým provozním zatížením se vkládají betonové pražce typu B 03. Jak pražce B91, tak B 03 jsou navrženy pro přímé pružné bezpodkladnicové upevnění kolejnic k pražcům (viz kap. 2.5).

2.4.3 Ocelové pražce tvaru „Y“

Tento typ pražce, jež SŽDC nechala vložit do několika traťových úseků s četnými směrovými oblouky malých poloměrů, se svým tvarem zásadně liší od obvyklých dřevěných i betonových pražců. Skládá se ze dvou hlavních a dvou vedlejších ocelových nosníků průřezu tvaru „I“, které jsou sestaveny a spojeny do charakteristického tvaru písmene ypsilon. Hlavní výhodou těchto pražců je vyšší příčný odpor proti posunům, jež umožňuje zúžit kolejové lože, a tím tedy zároveň pláň tělesa železničního spodku.

2.5 Upevnění kolejnice k pražci

K upevnění kolejnice k pražci se používá upevňovadel (hřeby, vrtule – velké vruty, svěrkové šrouby) a drobného kolejiva (podkladnice, svěrky). Upevnění kolejnice k pražci musí zajistit dostatečně tuhé i pružné upevnění, účinné v dostatečně dlouhém čase, a zároveň i stálou polohu kolejnic v koleji (zajištění rozchodu).

Kolejnice se upevňuje na podpory buď přímo, nebo prostřednictvím podkladnice, která se vkládá mezi patu kolejnice a ložnou plochu pražce. Podkladnice roznáší napětí od účinků železničních vozidel na větší plochu a tím zmenšuje mechanické napětí působící na pražec, a současně u dřevěných pražců zajišťuje příčný úklon kolejnice. Pro zajištění pružného uložení kolejnice se vkládá mezi patu kolejnice a podporu pružná podložka z pryže.

S ohledem na provozní zatížení koleje, rychlost a využití se stanovují standardizované kombinace konkrétních výrobních typů kolejnic, upevnění a pražců, tzv. sestavy upevnění, které jsou uvedené v předpise [16], díl VII. Obecně se upevnění kategorizuje podle tří hledisek na:

- buď přímé, nebo nepřímé – kolejnice je upevněna k pražci buď přímo jedním typem spojovacího prvku (obvykle vrtulí), nebo dvěma typy (vrtulí a svěrkovým šroubem)
- buď tuhé, nebo pružné – v sestavě upevnění je k uchycení kolejnice použito buď tuhých svěrek, nebo pružných svěrek, příp. spon
- buď podkladnicové, nebo bezpodkladnicové – v sestavě upevnění buď je, nebo není obsažena mezi kolejnicí a pražcem podkladnice

Na české železniční síti se obvykle vyskytuje (od nejstaršího po nejmodernější): upevnění nepřímé tuhé podkladnicové, nepřímé pružné podkladnicové a přímé pružné bezpodkladnicové

2.5.1 Upevnění nepřímé tuhé s rozponovými podkladnicemi

Sestava železničního svršku obsahuje rozponovou podkladnici, která je k pražci upevněna vrtulemi, a vlastní tuhé upevnění kolejnice k podkladnici zajišťují tuhé svěrky se svěrkovými šrouby – viz obr. 3. Upevnění s rozponovou podkladnicí se nově již několik desetiletí nezřizuje, přesto jej lze doposud v ČR nalézt na mnoha traťových úsecích. K této sestavě upevnění náleží jak dřevěné, tak betonové pražce. Pro účely této metodiky se uvažuje se stejným vlivem tohoto upevnění na emise hluku od jedoucích vlaků jako u upevnění s žebrovými podkladnicemi – typ K (viz kap. 2.5.2).



Obr. 3 Nepřímé tuhé upevnění s rozponovými podkladnicemi (zdroj: autoři)

2.5.2 Upevnění nepřímé tuhé s žebrovými podkladnicemi (typ K)

Sestava železničního svršku „K“ obsahuje žebrovou podkladnici, která je k pražci upevněna vrtulemi, a vlastní tuhé upevnění kolejnice k podkladnici zajišťují tuhé svěrky se svěrkovými šrouby – viz obr. 4. Tato sestava je rozšířená na tratích s nižším provozním zatížením, kde často zůstává i po jejich rekonstrukcích. K této sestavě upevnění náleží jak dřevěné, tak betonové pražce.



Obr. 4 Nepřímé tuhé upevnění s žebrovými podkladnicemi – typ K (zdroj: autoři)

2.5.3 Upevnění nepřímé pružné s žebrovými podkladnicemi (typ KS)

Sestava železničního svršku typu „KS“ obsahuje žebrovou podkladnici, která je k pražci upevněna vrtulemi, a vlastní pružné upevnění kolejnice k podkladnici zajišťují pružné svěrky firmy Vossloh Skl 24 se svěrkovými šrouby – viz obr. 5. U konstrukcí vložených do koleje před rokem 2008 se užívalo svěrky Skl 12 – princip a funkce je totožná, pouze se mírně liší svými rozměry. K této sestavě upevnění náleží pražce betonové, možné je použití také pražců dřevěných.



Obr. 5 Nepřímé pružné upevnění s žebrovými podkladnicemi – typ KS (zdroj: autoři)

2.5.4 Upevnění přímé pružné bezpodkladnicové (typ W 14)

Sestava železničního svršku typu W 14 je tvořena plastovými úhlovými vložkami, které ve vymezeném prostoru pražce přesně určují příčnou polohu kolejnice, která je k pražci upevněna pružnými svěrkami firmy Vossloh Skl 14 – viz obr. 6. K této sestavě upevnění náleží výhradně betonové pražce B91S/1 a jedná se na železniční síti v ČR o nejrozšířenější sestavu železničního svršku po jeho modernizaci.



Obr. 6 Přímé pružné upevnění bezpodkladnicové – W 14 (zdroj: autoři)

2.6 Kolejové lože

Kolejové lože přenáší zatížení z kolejového roštu na těleso železničního spodku, zajišťuje odpor koleje proti příčnému a podélnému posunu, zabezpečuje pružné uložení kolejového roštu, zajišťuje odvedení srážkové vody z koleje, chrání zemní pláň před promrzáním a umožňuje směrovou a výškovou úpravu polohy koleje. Kolejové lože má v příčném řezu lichoběžníkový tvar s horní plochou šířky 1,7 m vodorovně od osy koleje. Kolejové lože se zřizuje z přírodního drceného hrubého hutného kameniva, případně z recyklovaného. Přírodní kamenivo pro kolejové lože musí být získáváno z hornin nezasazených zvětrávacím procesem, nenamrzavých a odolných proti povětrnostním vlivům.

2.7 Pevná jízdní dráha

Rozvoj pevné jízdní dráhy úzce souvisí se zvyšováním rychlostí jízdy na železničních tratích, protože s narůstající traťovou rychlostí rostou i nároky na přesné geometrické parametry koleje. Vzhledem k nižší mocnosti vrstev pod kolejnicí (u klasické konstrukce tvořené kolejovým ložem) je pevná jízdní dráha vhodná i do tunelů, u nichž zmenšuje objem výrubu, a na mostní objekty, u kterých snižuje jejich statické zatížení. K dalším klíčovým výhodám pevné jízdní dráhy se řadí minimální údržba (odpadají opravné práce na kolejovém roštu a v kolejovém loži), eliminace vybočení bezstykové koleje (příčná i podélná stabilita koleje), neměnná geometrická poloha koleje, dlouhá životnost a bezprašný provoz. Její nevýhodou jsou zejména vyšší pořizovací náklady a vyšší hlukové a vibrační emise šířené do okolí tratě v porovnání s konstrukcí koleje s kolejovým ložem. Pro podepření kolejnice se užívá zabetonovaných prachů (ideový přechod od klasické konstrukce k pevné jízdní dráze), betonových desek nebo systému kontinuálního podepření kolejnice.

Na železniční síti ČR jsou položeny na dvou dvoukolejných úsecích dva typy pevné jízdní dráhy: v roce 2005 to byl typ RHEDA 2000 (zabetonované dvoublokové prachce) v úseku Třebovice v Čechách – Rudoltice v Čechách v délce cca 500 m a v polovině roku 2013 byla dokončena pokládka typu ÖBB PORR (prefabrikovaná deska) ve Sřtelenském tunelu v úseku Horní Lideč – státní hranice se Slovenskem v délce cca 400 m. U pevné jízdní dráhy se užívá zásadně přímé pružné bezpodkladnicové upevnění – viz obr. 7.



Obr. 7 Pevná jízdní dráha typu RHEDA 2000 s detailem přímého pružného bezpodkladnicového upevnění typu Vossloh 300 (zdroj: autoři)

3 Nástroje pro stanovení emisí hluku a jejich modelování

Základem pro stanovení emisí hluku jedoucích vlaků je rozsáhlý soubor dat z provedených „synchronních“ měření (opakovaná měření akustických parametrů při průjezdu téhož vlaku dvěma místy odlišné konstrukce železničního svršku, resp. totožné konstrukce s odlišnou mírou jejího opotřebení) na železničních tratích v ČR s veřejným provozem. Při známých parametrech jedoucího vlaku, konstrukce koleje a na základě výsledků měření akustických parametrů byl zjištěn vliv konstrukce železničního svršku na emise a šíření hluku projíždějících vlaků.

3.1 Měřená data a nástroje pro stanovení emisí hluku

Výsledkem každého měření jsou uspořádaná data, obsahující parametry zaznamenané přímo v terénu i doplněné během kompletace. Soubor obsahuje celkem 731 záznamů, z toho 183 průjezdů vlaků nákladní a 548 vlaků osobní dopravy (178 položek přísluší vlakům v motorové trakci). Data obsahují jak vysvětlující proměnné, tak vysvětlovanou proměnnou. Cílem je závislou (vysvětlovanou) proměnnou popsat matematickou funkcí v závislosti na nezávislých (vysvětlujících) proměnných. K tomu slouží matematický model, který na základě vstupních hodnot a znalosti jejich chování předloží výstupní hodnotu ve formě matematické rovnice popisující zkoumanou veličinu.

➤ Vysvětlující (vstupní) proměnné:

- sestava kolejového svršku
- technický stav žel. svršku
- druh trakce (elektrická × motorová)
- podíl ložených vozů u nákladních vlaků
- počet činných hnacích vozidel (HV) zařazených ve vlaku
- celkový počet náprav vlaku
- celkový počet vozidel vlaku
- podíl vozů/náprav s kotoučovými brzdami u osobních vlaků
- hmotnost vlaku [t]
- délka vlaku [m]
- rychlost vlaku [km/h]
- existence protihlukových opatření – tlumicí bokovnice, protihluková clona

➤ Vysvětlovaná (výstupní) proměnná:

- hladina expozice zvuku L_{AE} [dB]

K vyhodnocení naměřených hodnot a zjištění závislosti emisních charakteristik hluku jednotlivých konstrukcí železničního svršku na rychlosti jízdy vlaku byl sestaven regresní matematický model závislosti hladiny zvukové expozice L_{AE} (SEL) na vybraných proměnných. Vstupních proměnných je však velké množství, přičemž některé jsou si svým charakterem podobné. Pro výsledný regresní model je ale vhodné, aby vstupních parametrů bylo co nejméně, ale zároveň aby byla zachována informační hodnota datového souboru.

K tomu byly využity statistické metody analýza hlavních komponent (PCA) a postupná vícenásobná lineární regrese (Stepwise).

Metoda PCA se ukázala jako nástroj vhodný k základnímu pochopení struktury v proměnných; lineární regrese zase posloužila jako nástroj k vytvoření základní představy o vlivech působících na vznik hlukových emisí jedoucího vlaku a především k určení, které z předem definovaných proměnných jsou významné a které nikoliv. Lineární regrese však neumožňuje zjistit rozdílnou závislost jednotlivých konstrukcí železničního svršku na rychlosti. K tomuto účelu byl využit nelineární regresní model, do něhož se zahrnuly již pouze významné proměnné.

Výstupem vícerozměrného nelineárního modelu jsou mimo jiné exponenciální funkce zahrnující faktor rychlosti pro vybrané konstrukční typy železničního svršku. Zlogaritmováním těchto nelineárních regresních funkcí lze již přímo odvodit korekci na příslušný typ železničního svršku při dané rychlosti. Nelineární model byl sestaven z dat získaných měřeními v letech 2011 až 2012 a byl validován daty naměřenými v prvním pololetí roku 2013.

3.2 Lineární regresní model

K vytvoření lineárního regresního modelu byla použita výpočtová metoda Stepwise, tj. stupňovitá (kroková) regrese, v níž proces probíhá v jednotlivých krocích. Podle předem definovaného algoritmu jsou do výpočtu postupně vpouštěny jednotlivé proměnné, přičemž v každém kroku se přepočítává jejich statistická významnost, na jejímž základě jsou v modelu nadále ponechány či z něj vyloučeny. Ve výsledném modelu tedy zůstanou pouze důležité proměnné. Odhad parametrů ve Stepwise regresi je realizován metodou nejmenších čtverců.

Po provedené regresi následuje regresní diagnostika, kde se vyšetřuje kvalita dat pro navržený model (vybočující hodnoty), kvalita modelu pro daná data (těsnost proložení a statistická významnost modelu jako celku) a splnění předpokladů metody nejmenších čtverců. Na základě diagnostiky pak dochází ke zpřesňování modelu.

Koncepce modelu spočívá v tom, že veličiny rychlost a počet vozidel jsou díky logaritmické transformaci v součinu proto, aby byl valivý hluk vyjádřen jako funkce rychlosti (valivý hluk je dominantní složkou hluku pro běžné traťové rychlosti v ČR) a zároveň navyšoval svou hodnotu s rostoucí délkou vlaku. Ostatní vlivy na hluk z kolejové dopravy jsou vyjádřeny formou korekcí (přirážek), přičemž se nepředpokládá jejich závislost na rychlosti (v celém spektru rychlostí jsou konstantní).

Tvar regresní funkce lineárního modelu proto získává podobu (1).

$$L_{AE} = b_1 + b_2 \cdot \log(V) + b_3 \cdot \log(n_p) + \sum_{i=4}^n b_i \cdot K_i \quad (1)$$

kde

L_{AE} hladina zvukové expozice (SEL) pro danou vzdálenost od osy koleje a pro danou výšku nad temenem kolejnice [dB]

$b_1 \dots b_n$ hledané odhady regresních parametrů [dB]

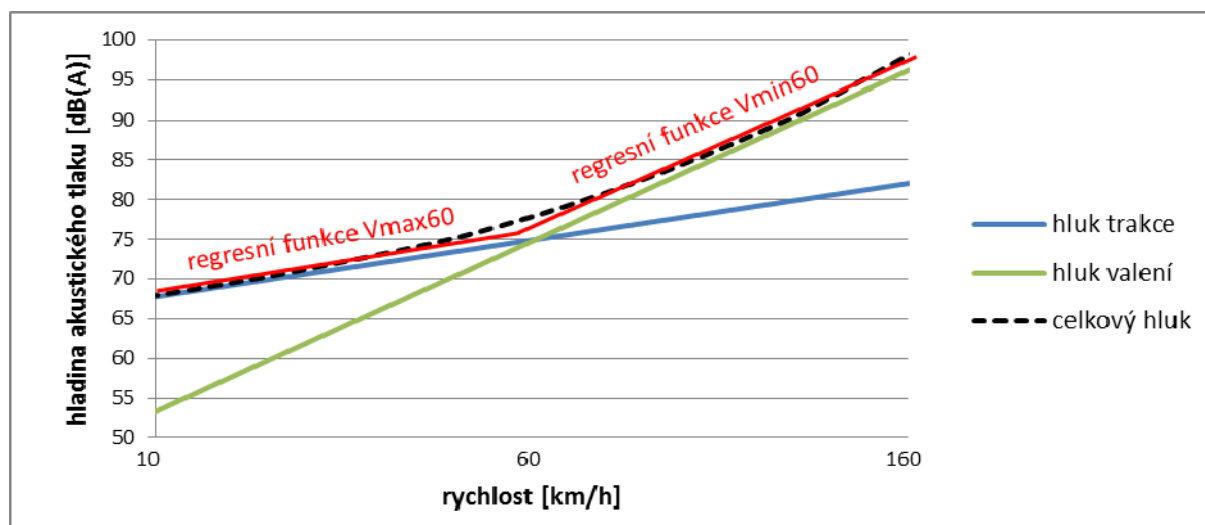
V rychlost vlaku [km/h]

n_p počet vozidel ve vlaku [-]

$K_4...K_n$. korekce na vlak (podíl kotoučových brzd apod.) a na trať (konstrukce železničního svršku – upevnění tuhé podkladnicové, pružné podkladnicové a pružné bezpodkladnicové; technický stav žel. svršku)³ [-]

Regresní diagnostika základního modelu odhalila nekonstantnost rozptylu v datech (tzv. heteroskedasticita), přičemž větší rozptyl směřoval k nižším hladinám akustického tlaku A, tedy k nižším rychlostem. Došlo tak k rozdělení vstupních dat dle rychlosti průjezdu vlaku na pásma, jež reprezentují oblasti, ve kterých jsou jednotlivé složky železničního hluku dominantní,⁴ a jež se řešila samostatně (viz obr. 8):

- a) **rychlostní pásmo Vmax60** – rychlosti do 60 km/h, kdy dominuje hluk trakce,
- b) **rychlostní pásmo Vmin60** – rychlosti nad 60 km/h, kdy dominuje hluk valení.



Obr. 8 Závislost hladiny akustického tlaku A na rychlosti s regresními funkcemi (zdroj: autoři)

Statisticky prokázané vlivy na vznik hlukových emisí při rychlosti vlaku do 60 km/h:

- rychlost vlaku (přímá úměrnost)
- počet vozidel vlaku (přímá úměrnost)
- podíl vozidel s kotoučovými brzdami (nepřímá úměrnost), rozdíl mezi nulovým a 100% podílem činí 4–6 dB

Statisticky prokázané vlivy na vznik hlukových emisí při rychlosti vlaku nad 60 km/h:

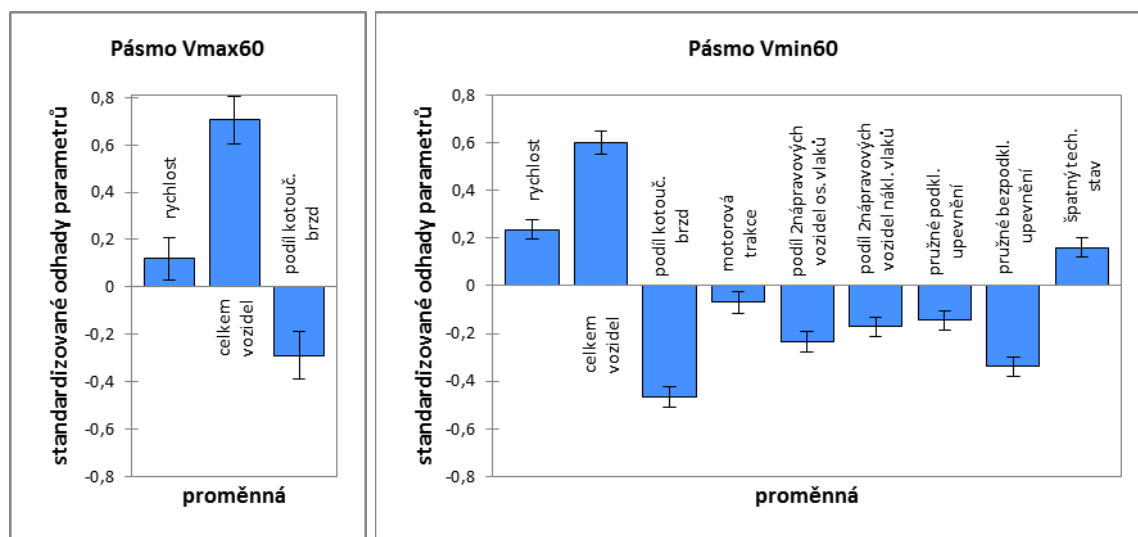
- rychlost vlaku (přímá úměrnost)
- počet vozidel vlaku (přímá úměrnost)
- podíl vozidel s kotoučovými brzdami (nepřímá úměrnost), rozdíl mezi nulovým a 100% podílem činí cca 6 dB
- podíl vozidel s jednonápravovými podvozky (nepřímá úměrnost)

³ Konstrukce koleje tvořená pevnou jízdní dráhou (PJD) s pružným bezpodkladnicovým upevněním byla z důvodu menšího počtu měření vyhodnocena zvlášť.

⁴ Hluk způsobený prouděním vzduchu kolem vlaku (aerodynamický hluk) není u rychlostí do 160 km/h, tedy v běžných podmínkách ČR, dominantní.

- konstrukční řešení žel. svršku – nejnepříznivější z hlediska hlučnosti se jeví tuhé podkladnicové upevnění, následuje pružné podkladnicové upevnění a nejpříznivěji působí pružné bezpodkladnicové upevnění kolejnic, přičemž rozdíl mezi tuhým podkladnicovým a pružným bezpodkladnicovým upevněním činí 3–4 dB (průměr za celé spektrum rychlostí)
- technický stav žel. svršku – špatný technický stav železničního svršku navyšuje emisii hluku o cca 2 dB (měřeno pouze na tuhém upevnění)
- druh trakce – soubor jevů souvisejících s motorovou trakcí snižuje hlučnost o cca 1 dB

Pro porovnání lze odhadnuté parametry jednotlivých proměnných standardizovat, tzn. převést na stejný základ, přičemž všechny parametry mají též výchozí bod s nulovou střední hodnotou, konstantním rozptylem a jsou zobrazeny ve stejných jednotkách. Kladné hodnoty zkoumanou hladinu akustického tlaku A navyšují, záporné naopak snižují – viz obr. 9.



Obr. 9 Vliv jednotlivých proměnných na hodnotu hladiny akustického tlaku A (zdroj: autoři)

3.3 Nelineární regresní model

Do nelineárního modelu vstupují pouze ty proměnné, které v lineárním modelu (přípravné fázi na model nelineární) vyšly jako významné s výjimkou špatného technického stavu svršku⁵. Závislost hladiny akustického tlaku A na rychlosti má podobu exponenciální funkce, kde rychlost V a faktory trati F_T jsou v exponentu, a mění tak tvar funkce závislosti akustického tlaku na rychlosti ve směru vodorovné osy, a faktory vlaku F_V působí na funkci multiplikativně (posunují ji ve směru svislé osy).

Tvar nelineární regresní funkce tedy nabývá podoby rovnice (2).

$$L_{AE} = b_1 + \log \left[e^{b_2 \cdot V \cdot \prod_{i=3}^4 (1 + b_i \cdot F_{Ti})} \cdot n_p \cdot \prod_{i=5}^8 (1 + b_i \cdot F_{Vi}) \right] \quad (2)$$

⁵ I když byl stav železničního svršku z hlediska údržby označen jako špatný, vždy se jednalo o koleje, jejichž technický stav odpovídal platným předpisům pro zajištění provozuschopnosti dráhy. Z uvedených důvodů není příslušná proměnná v nelineárním modelu zahrnuta a konstrukce s tuhým upevněním kolejnic představuje žel. svršek v průměrném technickém stavu.

kde

L_{AE} hladina zvukové expozice (SEL) pro danou vzdálenost od osy koleje a pro danou výšku nad temenem kolejnice [dB]

$b_1 \dots b_8$... hledané odhady regresních parametrů [dB]

n_p počet vozidel ve vlaku [-]

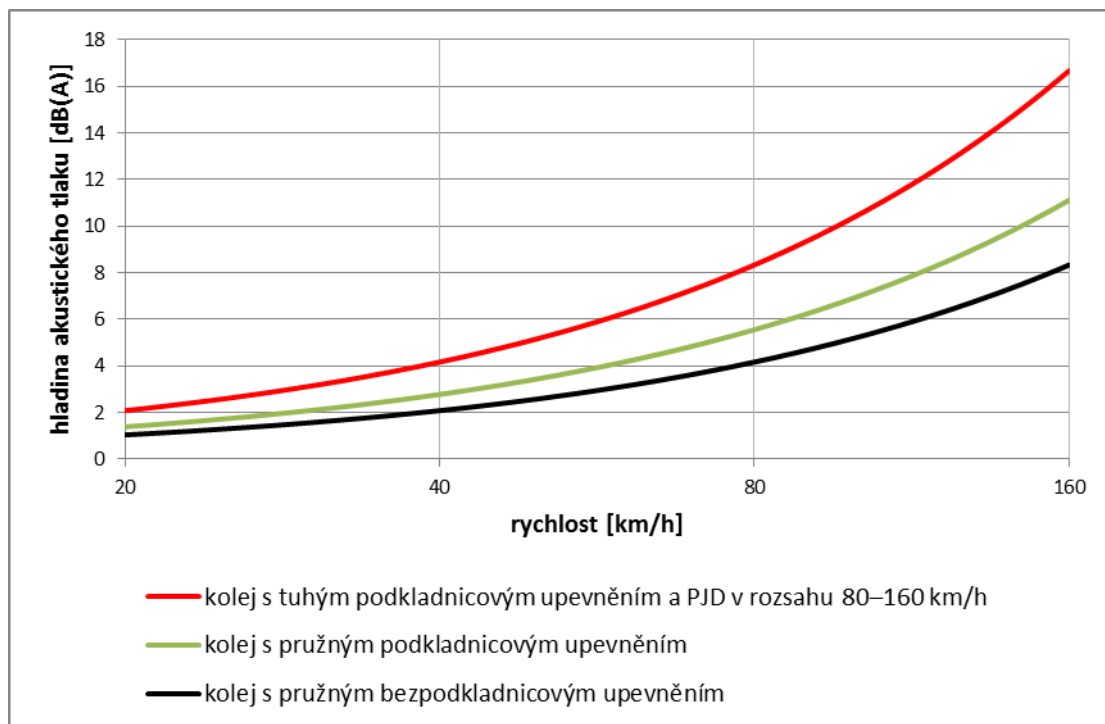
V rychlost vlaku [km/h]

F_{Vi} proměnné zohledňující faktory vlaku (počet vozidel, existence kotoučových brzd, druh trake, bez/podvozková konstrukce skříně vozidel) [-]

F_{Ti} proměnné zohledňující faktor trati (typ konstrukce žel. svršku) [-]

Proměnná znamenající motorovou trakci vyšla jako nevýznamná (95% interval spolehlivosti příslušného odhadovaného parametru přesáhl jeho hodnotu) a v rámci zpřesnění byla z modelu vypuštěna. Výsledný model popisuje 83 % proměnlivosti v datech a splňuje z hlediska statistiky předpoklady na něj kladené.

Výstupem modelu jsou exponenciální funkce zohledňující vliv rychlosti na jednotlivé konstrukční typy železničního svršku (faktory trati F_T) společně s vlivem vozidel (faktory vlaku F_V). Dosazením $b_1 = 0$, $n_p = 1$ a $F_{Vi} = 0$ pro všechna i do rovnice (2) se již přímo získá závislost hladiny akustického tlaku A na rychlosti pro danou konstrukci, tedy její emisní charakteristika – viz obr. 10.



Obr. 10 Závislost hladiny akustického tlaku na rychlosti pro jednotlivé konstrukce železničního svršku (zdroj: autoři)

4 Stanovení emisní hladiny vybraných konstrukcí

Emisní hladiny uvedené v tab. 2 a tab. 3 (viz také obr. 11) jsou hlavním výstupem nelineárního regresního modelu závislosti hladiny akustického tlaku A na rychlosti jízdy vlaku, stručně popsáno v předchozí kapitole 3. Uvedené emisní hladiny mají stejný charakter jako faktor rychlosti F_5 v české výpočtové metodice, faktor rychlosti D_V v německé výpočtové metodice „Schall 03“ a faktor rychlosti reprezentovaný členem $b_c \cdot \lg v_c$ v nizozemské výpočtové metodice „RMR 2006“. Tab. 2 je přednostně určena pro českou a nizozemskou metodiku a tab. 3 pro metodiku německou – s ohledem na to, v jaké vzdálenosti od osy koleje jednotlivé metodiky určují emisní hladiny.

Tab. 2 Závislost emisní hladiny akustického tlaku A (L_E) na rychlosti vlaku v km/h pro jednotlivé konstrukce železničního svršku ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje v decibelech

Konstrukce železničního svršku	Emisní charakteristika
tuhé podkladnicové upevnění a PJD ⁶	$L_{E,7,5m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot V}) \doteq 0,104 \cdot V$
pružné podkladnicové upevnění	$L_{E,7,5m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,016 \cdot V}) \doteq 0,069 \cdot V$
pružné bezpodkladnicové upevnění	$L_{E,7,5m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,012 \cdot V}) \doteq 0,052 \cdot V$

Tab. 3 Závislost emisní hladiny akustického tlaku A (L_E) na rychlosti vlaku v km/h pro jednotlivé konstrukce železničního svršku ve vzdálenosti 25 m od osy koleje v decibelech

Konstrukce železničního svršku	Emisní charakteristika
tuhé podkladnicové upevnění a PJD ⁶	$L_{E,25m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot V}) \doteq 0,113 \cdot V$
pružné podkladnicové upevnění	$L_{E,25m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,019 \cdot V}) \doteq 0,083 \cdot V$
pružné bezpodkladnicové upevnění	$L_{E,25m}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,015 \cdot V}) \doteq 0,065 \cdot V$

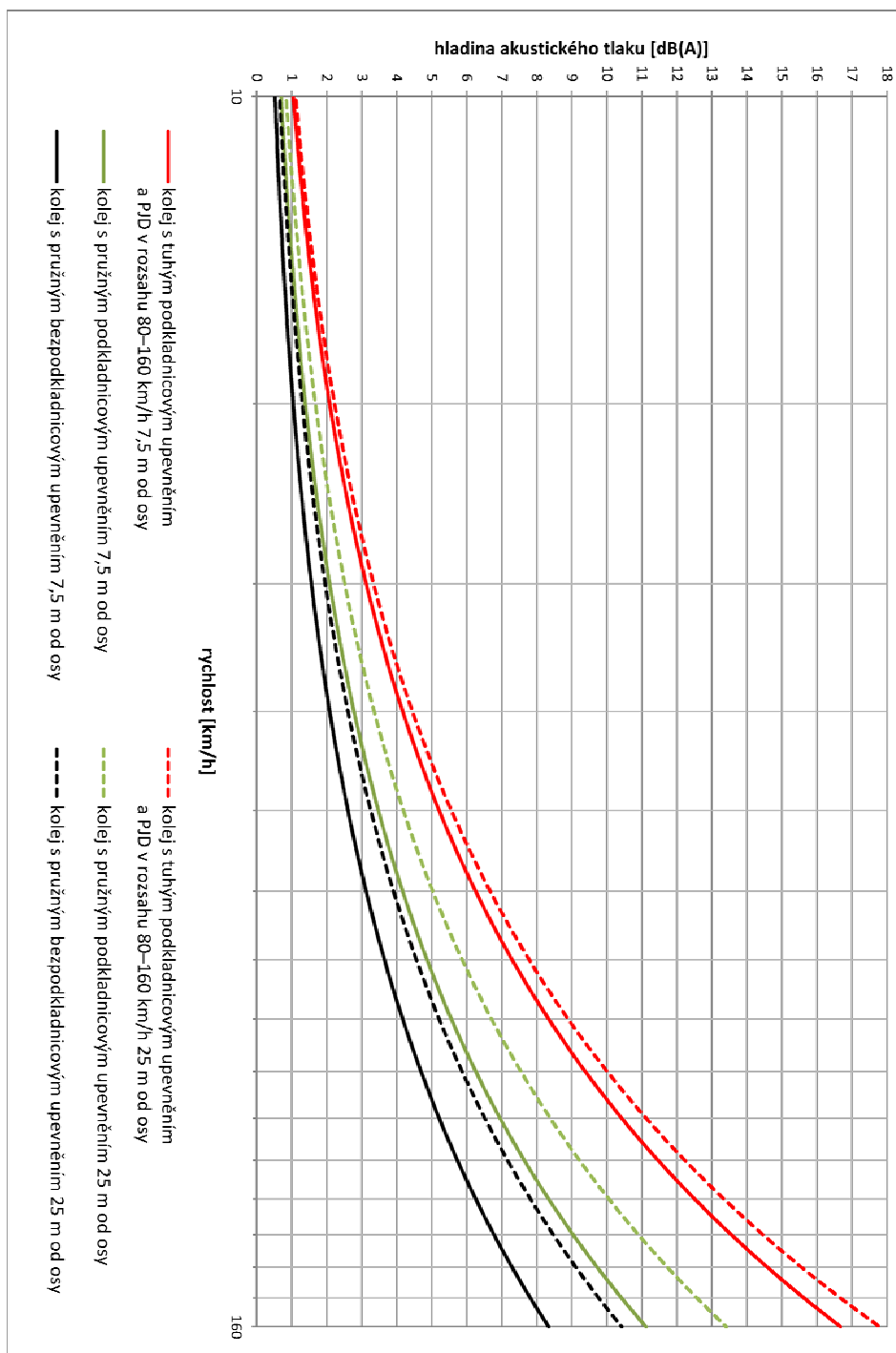
Rozdílem mezi emisními hladinami jednotlivých konstrukcí je korekce na typ svršku K_S . Např. při rychlosti 120 km/h činí korekce na pružné bezpodkladnicové upevnění v porovnání s tuhým podkladnicovým upevněním ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje $K_S = [10 \cdot \log(e^{0,012 \cdot 120}) - 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot 120})]$ dB = -6,3 dB.

Při modelování hluku vybranou metodikou se postupuje tak, že se z příslušné metodiky zjistí faktor rychlosti a z emisní charakteristiky dané konstrukce železničního svršku se pro výpočtovou rychlost stanoví **korekce mezi modelovou a skutečnou hladinou akustického tlaku** $K_{V\dot{Y}SL}$. Tato korekce v sobě zahrnuje jak **korekci na rychlost** K_V (vyplývající z odlišného faktoru rychlosti vybrané metodiky), tak **korekci na konstrukci železničního svršku** K_S – viz (3).

$$K_{V\dot{Y}SL} = K_V + K_S \quad (3)$$

⁶ Emisní charakteristika pevné jízdní dráhy platí v rozsahu 80–160 km/h. Její vliv na emise hluku pro nižší rychlosti nebylo možno experimentálně ověřit – viz kap. 2.

V praxi často nastává případ, kdy je zadána traťová rychlost, ale ne všechny vlaky této rychlosti mohou dosahovat, což se týká především nákladních vlaků a motorových jednotek s nízkou konstrukční rychlostí. Vlaky jsou tak rozděleny do kategorií, přičemž každá kategorie má definovanou vlastní rychlost při průjezdu. Metodicky nejkorektnějším postupem je stanovení příslušné korekce pro každou kategorii. Ne všechny metodiky a ne každý modelovací software však dokáže korekce tímto způsobem aplikovat. Často dochází k případu, kdy uživatel může zadat pouze obecnou korekci bez rozlišení na jednotlivé kategorie vlaků. Pak se postupuje tak, že z počtu průjezdů vlaků každé kategorie se stanoví vážená průměrná rychlost, která nejlépe zohledňuje situaci (viz kap. 4.1.4 – Příklad č. 4). Pro tuto váženou průměrnou rychlost se z metodiky zjistí příslušná korekce a následně zadá do modelovacího programu.



Obr. 11 Emisní charakteristiky vybraných konstrukcí železničního svršku (zdroj: autoři)

4.1 Výpočet korekcí při použití české výpočtové metodiky

Základní emisní ekvivalentní hladina akustického tlaku se podle české výpočtové metodiky [20] stanoví dosazením do výrazu (4).

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log(140 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6 \cdot m) + 40 \quad (4)$$

kde

$L_{Aeq,T}$.. základní ekvivalentní hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje

F_4 faktor trakce (motorová/elektrická)

F_5 faktor okamžité rychlosti kolejového vozidla v daném místě

F_6 faktor vyjadřující průměrný počet vozidel na vlaku

m počet, druh a skladba (počet vozidel) vlaků na daném úseku (po hodinách během 24 h)

V rovnici (4) se za faktor rychlosti dosadí $F_5 = 0,241 \cdot e^{0,024 \cdot V}$. Závislost hladiny akustického tlaku A na rychlosti je tedy možné vyjádřit rovnicí (5), což odpovídá emisní charakteristice tuhého podkladnicového upevnění (viz tab. 2).

$$L_{Aeq,T}(V) = 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot V}) \quad (5)$$

4.1.1 Příklad č. 1

Zadání:

V traťovém úseku s rychlostí $V_0 = 80$ km/h a svrškem s tuhým podkladnicovým upevněním kolejnic (současný stav) se plánuje modernizace na svršek s pružným bezpodkladnicovým upevněním kolejnic při zachování traťové rychlosti. V úseku jezdí osobní vlaky a nákladní vlaky, které rychlosti 80 km/h dosahují. Stanovte korekci pro výhledový stav při použití české výpočtové metodiky.

Vstupní podmínky:

Uživatel si provede ověření a případné nastavení svého výpočtového modelu současného stavu tak, aby modelové hladiny odpovídaly reálné situaci.

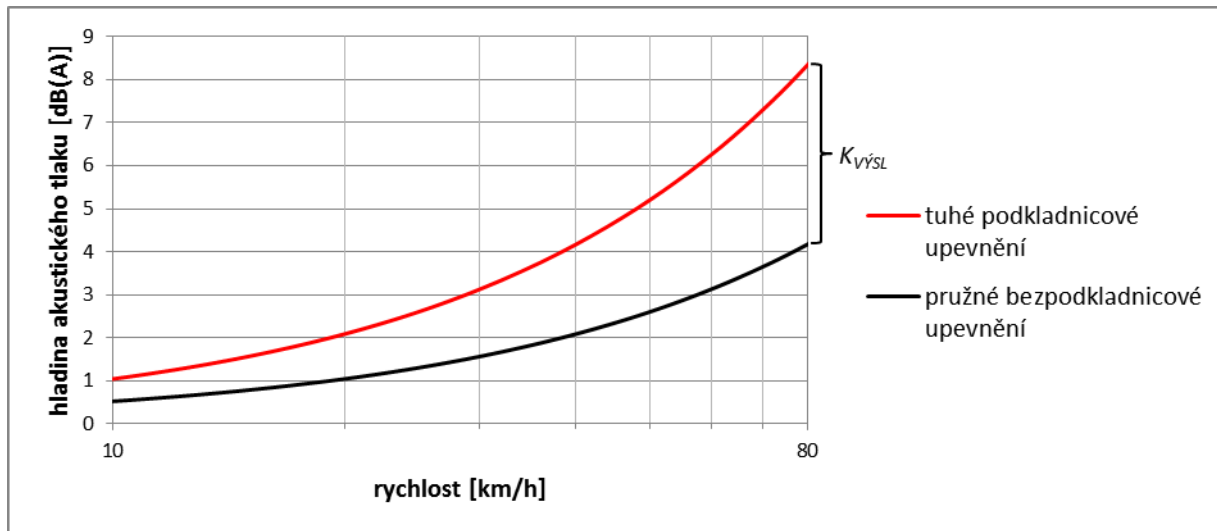
Stanovení korekce:

Vzhledem k tomu, že nedochází ke změně výpočtové rychlosti, bude korekce na rychlost $K_V = 0$. Výsledná korekce bude rovna korekci na typ svršku při 80 km/h, tedy vztahem (6).

$$K_{VYSL} = K_S = [10 \cdot \log(e^{0,012 \cdot 80}) - 10 \log(e^{0,024 \cdot 80})] \text{ dB} = -4,2 \text{ dB} \quad (6)$$

Závěr:

Uživatel do modelu výhledového stavu příslušného traťového úseku zadá uživatelskou korekci $-4,2$ dB.



Obr. 12 Grafické znázornění vypočtené korekce – emisní charakteristika tuhého podkladnicového upevnění je shodná s průběhem faktoru rychlosti podle metodiky (zdroj: autoři)

4.1.2 Příklad č. 2

Zadání:

V traťovém úseku s rychlostí $V_0 = 60$ km/h a svrškem s tuhým podkladnicovým upevněním (současný stav) se plánuje rekonstrukce na rychlost $V_1 = 100$ km/h a svršek s pružným podkladnicovým upevněním. V úseku jezdí pouze osobní vlaky, které jsou schopny rychlosti 100 km/h dosáhnout. Stanovte korekci pro výhledový stav při použití české výpočtové metodiky.

Vstupní podmínky:

Uživatel si provede ověření a případné nastavení svého výpočtového modelu současného stavu tak, aby modelové hladiny odpovídaly reálné situaci.

Stanovení korekce:

Dle české metodiky pro výpočet hluku z železniční dopravy bude přírůstek $\Delta_1 L_{Aeq,T}$ způsobený navýšením traťové rychlosti ve výhledovém stavu dán faktorem rychlosti F_5 podle vztahu (7).

$$\Delta_1 L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot V_1}) - 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot V_0}) = 10 \cdot \log[e^{0,024 \cdot (V_1 - V_0)}] = 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot 40}) \text{ dB} = 4,2 \text{ dB} \quad (7)$$

Dle emisní charakteristiky tuhého podkladnicového upevnění bude přírůstek $\Delta_2 L_{Aeq,T}$ způsobený navýšením traťové rychlosti ve výhledovém stavu dán vztahem (8).

$$\Delta_2 L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot V_1}) - 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot V_0}) = 10 \cdot \log[e^{0,024 \cdot (V_1 - V_0)}] = 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot 40}) \text{ dB} = 4,2 \text{ dB} \quad (8)$$

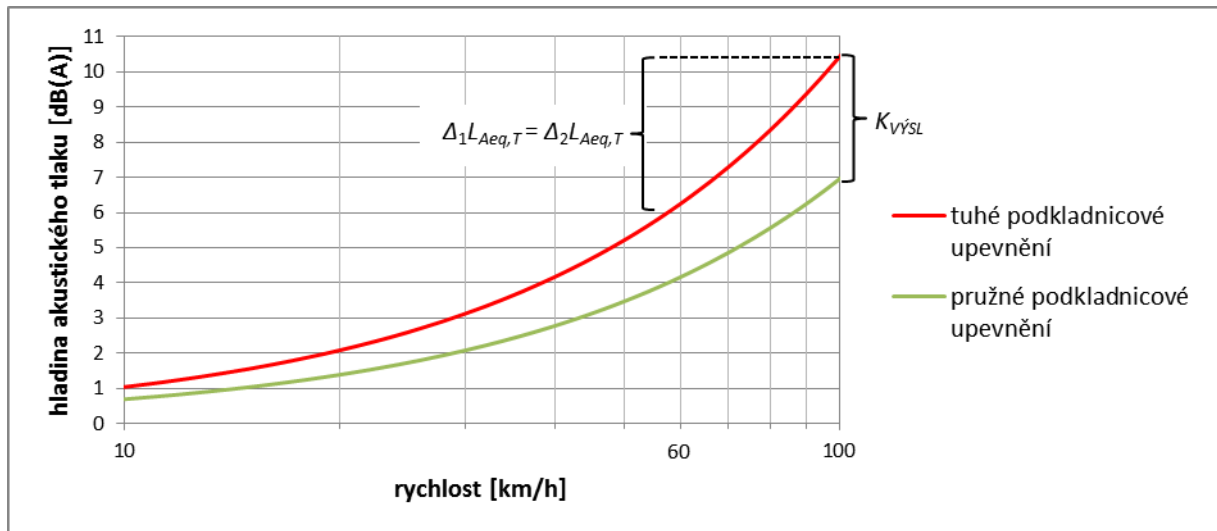
Korekce na rychlost je dána rozdílem $\Delta_2 L_{Aeq,T} - \Delta_1 L_{Aeq,T}$, tedy opět je $K_V = 0$ dB.

Výsledná korekce je rovna korekci na typ žel. svršku při rychlosti 100 km/h, tedy vztahu (9).

$$K_{VYSL} = K_S = [10 \cdot \log(e^{0,016 \cdot 100}) - 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot 100})] \text{ dB} = -3,5 \text{ dB} \quad (9)$$

Závěr:

Uživatel do modelu výhledového stavu příslušného traťového úseku zadá korekci $-3,5$ dB.



Obr. 13 Grafické znázornění vypočtené korekce – emisní charakteristika tuhého podkladnicového upevnění je shodná s průběhem faktoru rychlosti podle metodiky (zdroj: autoři)

4.1.3 Příklad č. 3

Zadání:

V traťovém úseku s rychlostí $V_0 = 60$ km/h a svrškem s pružným podkladnicovým upevněním (současný stav) se plánuje rekonstrukce na rychlost $V_1 = 100$ km/h a svršek s pružným bezpodkladnicovým upevněním. V úseku jezdí pouze osobní vlaky, které jsou schopny rychlosti 100 km/h dosáhnout. Stanovte korekci pro výhledový stav při použití české výpočtové metodiky.

Vstupní podmínky:

Uživatel si provede ověření a případné nastavení svého výpočtového modelu současného stavu tak, aby modelové hladiny odpovídaly reálné situaci.

Stanovení korekce:

Dle české metodiky pro výpočet hluku z železniční dopravy bude přírůstek $\Delta_1 L_{Aeq,T}$ způsobený navýšením traťové rychlosti ve výhledovém stavu dán faktorem rychlosti F_5 podle vztahu (10).

$$\Delta_1 L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot V_1}) - 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot V_0}) = 10 \cdot \log[e^{0,024 \cdot (V_1 - V_0)}] = 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot 40}) \text{ dB} = 4,2 \text{ dB} \quad (10)$$

Dle emisní charakteristiky pružného podkladnicového upevnění bude přírůstek $\Delta_2 L_{Aeq,T}$ způsobený navýšením traťové rychlosti ve výhledovém stavu dán vztahem (11).

$$\Delta_2 L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log(e^{0,016 \cdot V_1}) - 10 \cdot \log(e^{0,016 \cdot V_0}) = 10 \cdot \log[e^{0,016 \cdot (V_1 - V_0)}] = 10 \cdot \log(e^{0,016 \cdot 40}) \text{ dB} = 2,8 \text{ dB} \quad (11)$$

Korekce na rychlost je dána vztahem (12).

$$K_V = \Delta_2 L_{Aeq,T} - \Delta_1 L_{Aeq,T} = -1,4 \text{ dB} \quad (12)$$

Korekce na typ svršku při rychlosti 100 km/h se stanoví podle vztahu (13).

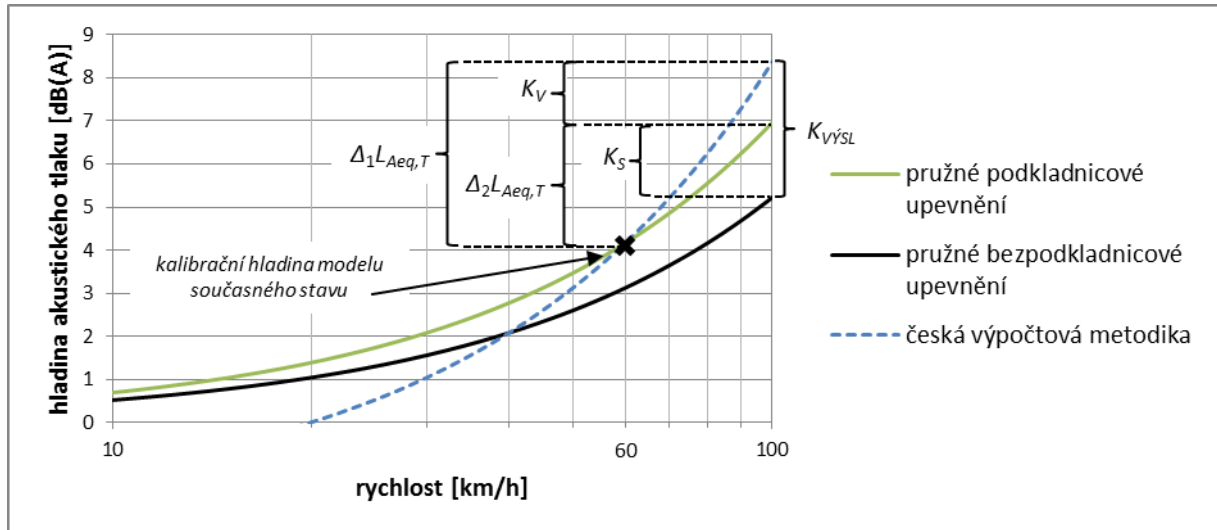
$$K_S = [10 \cdot \log(e^{0,012 \cdot 100}) - 10 \cdot \log(e^{0,016 \cdot 100})] \text{ dB} = -1,7 \text{ dB} \quad (13)$$

Výsledná korekce pak bude rovna součtu obou předchozích korekcí, tedy (14).

$$K_{V\acute{Y}SL} = K_V + K_S = [-1,4 + (-1,7)] \text{ dB} = -3,1 \text{ dB} \quad (14)$$

Závěr:

Uživatel do modelu výhledového stavu příslušného traťového úseku zadá korekci $-3,1$ dB.



Obr. 14 Grafické znázornění vypočtené korekce pro příklad č. 3 (zdroj: autoři)

4.1.4 Příklad č. 4

Zadání:

V traťovém úseku s rychlostí $V_0 = 100$ km/h pro všechny vlaky a svrškem s tuhým podkladnicovým upevněním (současný stav) se plánuje rekonstrukce na rychlost $V_1 = 140$ km/h a svršek s pružným bezpodkladnicovým upevněním. V úseku se výhledově předpokládá provoz osobních expresních vlaků rychlostí 140 km/h při 10 průjezdech za výpočtové období, osobních vlaků rychlostí 120 km/h při 16 průjezdech a nákladních vlaků rychlostí 100 km/h při 6 průjezdech za výpočtové období. Stanovte korekci pro výhledový stav při použití české výpočtové metodiky.

Vstupní podmínky:

Uživatel si provede ověření a případné nastavení svého výpočtového modelu současného stavu tak, aby modelové hladiny odpovídaly reálné situaci. Výpočtový software umožňuje zadání korekce pro každý vlak zvlášť i obecnou uživatelskou korekci pro daný úsek.

Stanovení korekce:

Nejdříve je nutné váženým aritmetickým průměrem dle počtu průjezdů vlaků určit rychlost ve výhledovém stavu, pro kterou se korekce stanoví – viz (15).

$$V_{1prum} = \frac{140 \cdot 10 + 120 \cdot 16 + 100 \cdot 6}{10 + 16 + 6} \text{ km/h} = \frac{3920}{32} \text{ km/h} \doteq 123 \text{ km/h} \quad (15)$$

Dle české metodiky pro výpočet hluku bude přírůstek $\Delta_1 L_{Aeq,T}$ způsobený navýšením traťové rychlosti ve výhledovém stavu na základě faktoru rychlosti F_5 shodný s přírůstkem dle emisní charakteristiky tuhého podkladnicového upevnění $\Delta_2 L_{Aeq,T}$, tedy (16).

$$\Delta_1 L_{Aeq,T} = \Delta_2 L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot (V_{1,prum} - V_0)}) = 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot 23}) \text{ dB} = 2,4 \text{ dB} \quad (16)$$

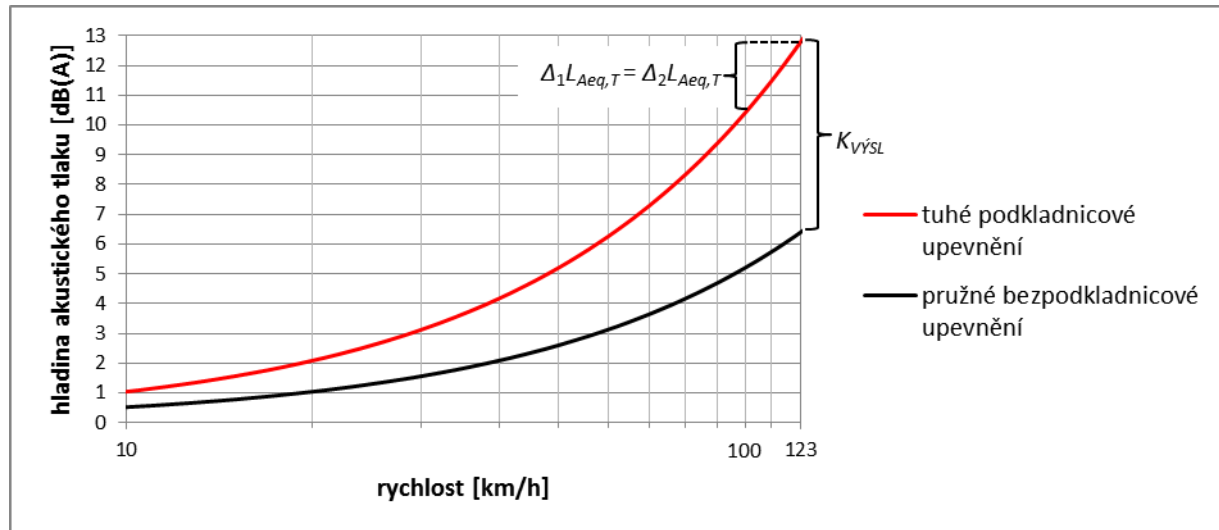
Korekce na rychlost, daná rozdílem $\Delta_2 L_{Aeq,T} - \Delta_1 L_{Aeq,T}$, tedy vyjde nulová ($K_V = 0 \text{ dB}$).

Výsledná korekce je rovna korekci na typ svršku při 123 km/h podle (17).

$$K_{V\check{Y}SL} = K_S = [10 \log(e^{0,012 \cdot 123}) - 10 \log(e^{0,024 \cdot 123})] \text{ dB} = -6,4 \text{ dB} \quad (17)$$

Závěr:

Uživatel do modelu výhledového stavu příslušného traťového úseku zadá korekci $-6,4 \text{ dB}$.



Obr. 15 Grafické znázornění vypočtené korekce pro příklad č. 4 (zdroj: autoři)

4.2 Výpočet korekcí při použití německé výpočtové metodiky „Schall 03“

Emisní hladina akustického tlaku A se podle metodiky „Schall 03“ [21] stanoví podle (18).

$$L_{m,E} = 10 \cdot \log \left[\sum_i 10^{0,1 \cdot (51 + D_{FZ} + D_D + D_L + D_V + D_{Ae})} \right] + K_{Schall} \quad (18)$$

kde

$L_{m,E}$ emisní hladina akustického tlaku A ve vzdálenosti 25 m od osy koleje [dB]

D_{FZ} faktor druhu vozidel [dB]

D_D faktor druhu použitých brzd vlaku [dB]

D_L faktor délky vlaku [dB]

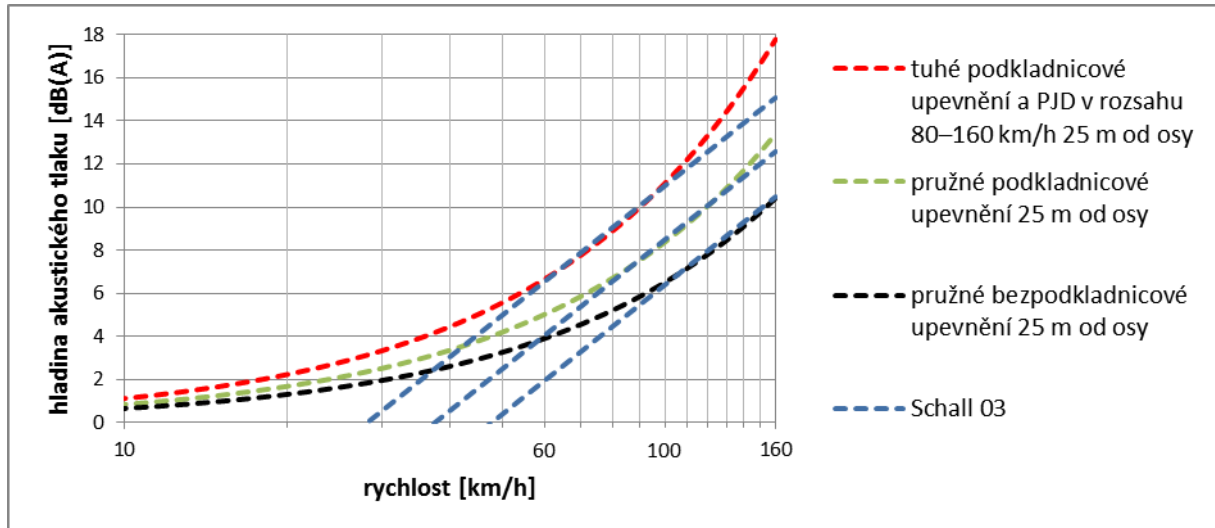
D_V faktor rychlosti [dB]

D_{Ae} faktor aerodynamických vlivů [dB]

K_{Schall} .. korekce [dB]

Faktor rychlosti se spočte jako $D_V = 20 \cdot \log(0,01 \cdot V)$ [dB], kde V je rychlost vlaku dané kategorie v km/h. Závislost emisní hladiny akustického tlaku A na rychlosti je tedy možné vyjádřit vztahem (19).

$$L_{m,E}(V) = 20 \cdot \log(V) \quad (19)$$



Obr. 16 Porovnání emisních charakteristik vybraných typů svršků s faktorem rychlosti dle „Schall 03“ (zdroj: autoři)

Z grafu na obr. 16 je patrné, že závislost emisní hladiny na rychlosti dle německé metodiky přibližně odpovídá charakteristice tuhého podkladnicového upevnění v pásmu 60–100 km/h, pružného podkladnicového v pásmu 80–140 km/h nebo pružného bezpodkladnicového upevnění v pásmu 100–160 km/h.

Faktor druhu vozidla D_{FZ} umožňují některé modelovací softwary uživatelsky změnit, tedy ke každé kategorii vlaků lze zadat samostatnou korekci na rychlost a typ žel. svršku. Stanovená korekce se pak přičte ke stávající hodnotě D_{FZ} : např. pro vozidla s kotoučovými brzdami je $D_{FZ} = -1$ dB a pokud výsledná stanovená korekce pro výhledový stav $K_{VÝSL}$ vyjde -5 dB, bude pro danou kategorii vlaku ve výhledovém stavu zadáno $D_{FZ} = -6$ dB.

Pokud modelovací software nedovoluje faktor druhu vozidla D_{FZ} uživatelsky změnit, stanoví se v případě vlaků více kategorií korekce pro výhledový stav na vážený aritmetický průměr rychlostí vlaků dle počtu průjezdů podobně jako v příkladu č. 4 (viz kap. 4.1.4).

4.2.1 Příklad č. 5

Zadání:

V traťovém úseku s rychlostí $V_0 = 80$ km/h a svrškem s tuhým podkladnicovým upevněním (současný stav) se plánuje rekonstrukce na rychlost $V_1 = 120$ km/h a svršek s pružným bezpodkladnicovým upevněním. V úseku jezdí pouze osobní vlaky, které jsou schopny rychlosti 120 km/h dosáhnout. Stanovte korekci pro výhledový stav při použití německé výpočtové metodiky „Schall 03“.

Vstupní podmínky:

Uživatel si provede ověření a případné nastavení svého výpočtového modelu současného stavu tak, aby modelové hladiny odpovídaly reálné situaci.

Stanovení korekce:

Dle německé metodiky pro výpočet hluku z železniční dopravy „Schall 03“ bude přírůstek $\Delta_1 L_{m,E}$ způsobený navýšením traťové rychlosti ve výhledovém stavu na základě faktoru rychlosti odpovídat vztahu (20).

$$\Delta_1 L_{m,E} = 20 \cdot \log(V_1) - 20 \cdot \log(V_0) = 20 \cdot \log \frac{V_1}{V_0} = 20 \cdot \log \frac{120}{80} \text{ dB} = 3,5 \text{ dB} \quad (20)$$

Dle emisní charakteristiky tuhého podkladnicového upevnění bude přírůstek $\Delta_2 L_{m,E}$ způsobený navýšením traťové rychlosti roven (21).

$$\Delta_2 L_{m,E} = 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot V_1}) - 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot V_0}) = 10 \cdot \log[e^{0,026 \cdot (V_1 - V_0)}] = 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot 40}) \text{ dB} = 4,5 \text{ dB} \quad (21)$$

Korekce na rychlost je dána výrazem (22).

$$K_V = \Delta_2 L_{m,E} - \Delta_1 L_{m,E} = +1,0 \text{ dB} \quad (22)$$

Korekce na typ svršku při rychlosti 120 km/h se stanoví podle vztahu (23).

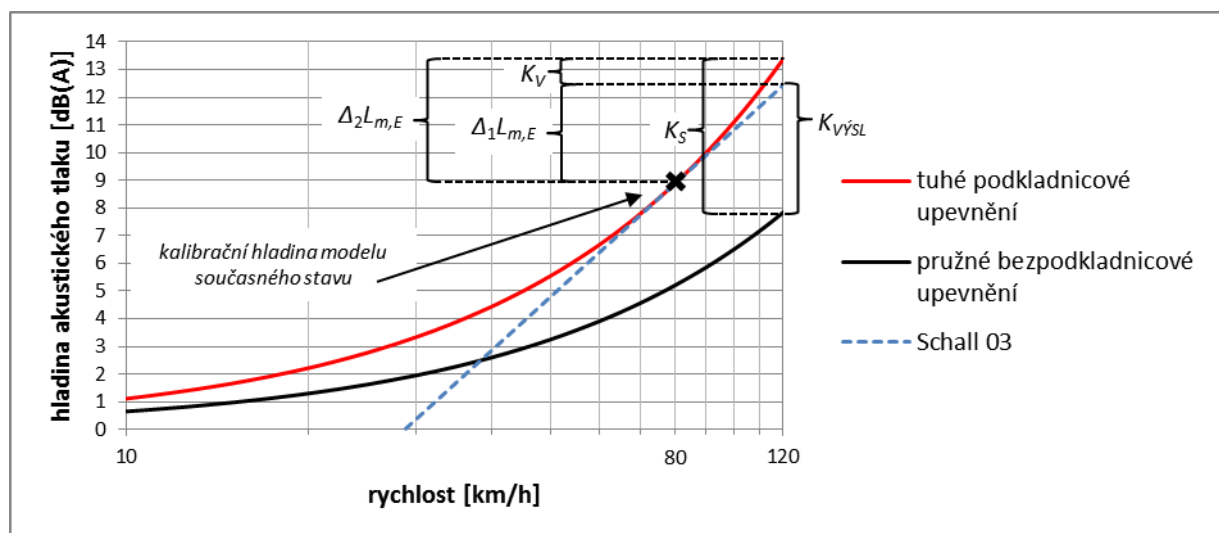
$$K_S = [10 \cdot \log(e^{0,015 \cdot 120}) - 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot 120})] \text{ dB} = -5,7 \text{ dB} \quad (23)$$

Výsledná korekce je rovna součtu obou korekcí, tedy odpovídá výpočtu dle (24).

$$K_{V\text{ýSL}} = K_V + K_S = [1,0 + (-5,7)] \text{ dB} = -4,7 \text{ dB} \quad (24)$$

Závěr:

Uživatel do modelu výhledového stavu příslušného traťového úseku zadá korekci $-4,7 \text{ dB}$.



Obr. 17 Grafické znázornění vypočtené korekce pro příklad č. 5 (zdroj: autoři)

4.2.2 Příklad č. 6

Zadání:

V traťovém úseku s žel. svrškem s tuhým podkladnicovým upevněním a s traťovou rychlostí $V_0 = 100$ km/h (osobní vlaky) a 90 km/h pro vlaky nákladní (současný stav) se plánuje rekonstrukce na traťovou rychlost $V_1 = 140$ km/h a použití pružného bezpodkladnicového upevnění. Výhledově se předpokládá provoz osobních expresních vlaků rychlostí 140 km/h při 10 průjezdech za výpočtové období, osobních vlaků rychlostí 120 km/h při 16 průjezdech a nákladních vlaků rychlostí 100 km/h při 6 průjezdech za výpočtové období. Stanovte korekci pro výhledový stav při použití německé výpočtové metodiky „Schall 03“.

Vstupní podmínky:

Uživatel si provede ověření a případné nastavení svého výpočtového modelu současného stavu tak, aby modelové hladiny odpovídaly reálné situaci. Model umožňuje zadání korekce pro každý vlak zvlášť v rámci faktoru D_{FZ} .

Stanovení korekce:

➤ pro osobní expresní vlaky:

Dle německé metodiky pro výpočet hluku „Schall 03“ bude přírůstek $\Delta_1 L_{m,E}$ způsobený navýšením traťové rychlosti ve výhledovém stavu na základě faktoru rychlosti odpovídat vztahu (25).

$$\Delta_1 L_{m,E} = 20 \cdot \log(V_1) - 20 \cdot \log(V_0) = 20 \cdot \log \frac{V_1}{V_0} = 20 \cdot \log \frac{140}{100} \text{ dB} = +2,9 \text{ dB} \quad (25)$$

Dle emisní charakteristiky tuhého upevnění bude přírůstek $\Delta_2 L_{m,E}$ způsobený navýšením traťové rychlosti odpovídat vztahu (26).

$$\Delta_2 L_{m,E} = 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot V_1}) - 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot V_0}) = 10 \cdot \log[e^{0,026 \cdot (V_1 - V_0)}] = 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot 40}) \text{ dB} = +4,5 \text{ dB} \quad (26)$$

Korekce na rychlost je dána výrazem (27).

$$K_V = \Delta_2 L_{m,E} - \Delta_1 L_{m,E} = +1,6 \text{ dB} \quad (27)$$

Korekce na typ žel. svršku při 140 km/h se stanoví podle vztahu (28).

$$K_S = [10 \cdot \log(e^{0,015 \cdot 140}) - 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot 140})] \text{ dB} = -6,7 \text{ dB} \quad (28)$$

Výsledná korekce pak bude rovna součtu korekcí na rychlost a na typ žel. svršku, tedy (29).

$$K_{V\text{ýSL}} = K_V + K_S = [1,6 + (-6,7)] \text{ dB} = -5,1 \text{ dB} \quad (29)$$

➤ pro osobní vlaky:

Přírůstek $L_{m,E}$ způsobený navýšením traťové rychlosti podle výpočtové metodiky bude $\Delta_1 L_{m,E}$ a podle emisní charakteristiky tuhého podkladnicového upevnění $\Delta_2 L_{m,E}$. Korekce na rychlost je dána vztahem (30).

$$K_V = \Delta_2 L_{m,E} - \Delta_1 L_{m,E} = \left[10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot 20}) - 20 \cdot \log \frac{120}{100} \right] \text{ dB} = (2,3 - 1,6) \text{ dB} = +0,7 \text{ dB} \quad (30)$$

Korekce na typ žel. svršku při rychlosti 120 km/h se stanoví podle vztahu (31).

$$K_S = \left[10 \cdot \log(e^{0,015 \cdot 120}) - 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot 120}) \right] \text{ dB} = -5,7 \text{ dB} \quad (31)$$

Výsledná korekce je rovna součtu korekcí na rychlost a typ žel. svršku podle výrazu (32).

$$K_{V\text{YSL}} = K_V + K_S = [0,7 + (-5,7)] \text{ dB} = -5,1 \text{ dB} \quad (32)$$

► pro nákladní vlaky:

Přírůstek $L_{m,E}$ způsobený navýšením traťové rychlosti podle výpočtové metodiky bude odpovídat $\Delta_1 L_{m,E}$ a podle emisní charakteristiky tuhého podkladnicového upevnění $\Delta_2 L_{m,E}$. Korekce na rychlost je dána výrazem (33).

$$K_V = \Delta_2 L_{m,E} - \Delta_1 L_{m,E} = \left[10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot 10}) - 20 \cdot \log \frac{100}{90} \right] \text{ dB} = (1,1 - 0,9) \text{ dB} = +0,2 \text{ dB} \quad (33)$$

Korekce na typ svršku při 100 km/h se stanoví podle vztahu (34).

$$K_S = \left[10 \cdot \log(e^{0,015 \cdot 100}) - 10 \cdot \log(e^{0,026 \cdot 100}) \right] \text{ dB} = -4,8 \text{ dB} \quad (34)$$

Výsledná korekce je rovna součtu korekcí na rychlost a typ žel. svršku podle (35).

$$K_{V\text{YSL}} = K_V + K_S = [0,2 + (-4,8)] \text{ dB} = -4,6 \text{ dB} \quad (35)$$

Závěr:

Uživatel v modelu výhledového stavu příslušného traťového úseku přičte k faktoru D_{FZ} následující korekce:

- -5,1 dB pro osobní expresní vlaky,
- -5,1 dB pro osobní vlaky,
- -4,6 dB pro nákladní vlaky.

4.3 Výpočet korekcí při použití nizozemské výpočtové metodiky „RMR 2006“

Emisní hladina akustického tlaku vlaku vybrané kategorie v ose koleje se podle „RMR 2006“ [22] stanoví pro vlaky v režimu jízdy podle vztahu (36) a pro vlaky v režimu brzdění podle vztahu (37).

$$E_{nr,c} = a_c + b_c \cdot \log v_c + 10 \cdot \log Q_c + C_{b,c} \quad (36)$$

$$E_{r,c} = a_c + b_{r,c} \cdot \log v_c + 10 \cdot \log Q_{r,c} + C_{b,c} \quad (37)$$

kde

$E_{nr,c}$ emisní hladina akustického tlaku v ose koleje od vlaku pohybujícího se v režimu jízdy [dB]

$E_{r,c}$ emisní hladina akustického tlaku v ose koleje od vlaku pohybujícího se v režimu brzdění [dB]

a_c standardní emisní hodnota pro nebrzdící vlaky [dB]

b_c koeficient faktoru rychlosti pro vlak pohybující se v režimu jízdy podle jeho kategorie [dB]

$b_{r,c}$ koeficient faktoru rychlosti pro vlak pohybující se v režimu brzdění podle jeho kategorie [dB]

v_c rychlost jízdy vlaku [km/h]

Q_c průměrný počet nebrzdících vlaků u zvažované kategorie železničních vozidel [h^{-1}]

$Q_{r,c}$ průměrný počet brzdících vlaků u zvažované kategorie železničních vozidel [h^{-1}]

$C_{b,c}$ korekční koeficient jako funkce kategorie vlaku a typu koleje [dB]

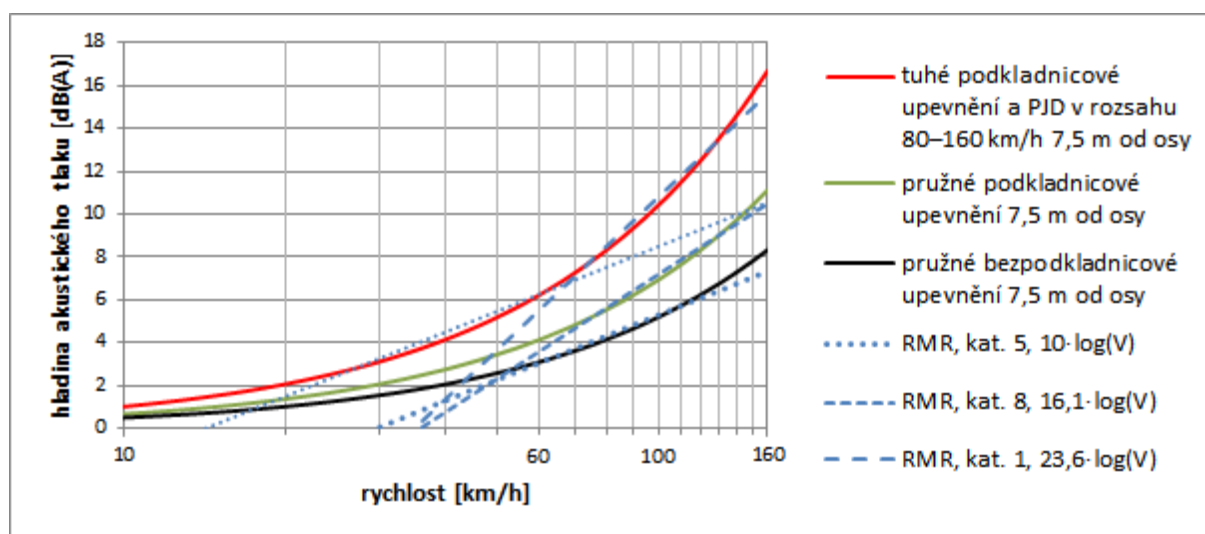
Závislost emisní hladiny akustického tlaku na rychlosti je tedy možné vyjádřit závislostí (38) pro vlaky v režimu jízdy, resp. (39) v režimu brzdění.

$$E(V) = b_c \cdot \log(V) \quad (38)$$

$$E(V) = b_{r,c} \cdot \log(V) \quad (39)$$

Tab. 4 Hodnota koeficientů b_c , resp. $b_{r,c}$, k faktoru rychlosti podle metodiky „RMR 2006“ [22]

kategorie vlaku	režim jízdy – b_c	režim brzdění – $b_{r,c}$
1	23,6	25,3
2	22,3	23,9
3	19,6	19,6
4	20,0	22,4
5	10,0	10,0
6	19,6	19,6
7	22,0	22,0
8	16,1	16,1
9	18,3	18,3



Obr. 18 Porovnání emisních charakteristik vybraných typů konstrukcí žel. svršku s faktorem rychlosti dle metodiky „RMR 2006“ (zdroj: autoři)

Průměrný faktor rychlosti po vynechání kategorií vlaků č. 7 (městské vlaky) a č. 9 (vysokorychlostní vlaky) činí $19,2 \cdot \log v_c$. Z tab. 4 vyplývá, že kategorie č. 2, 3, 4, 6, 7 a 9 jsou si podobné svojí závislostí na rychlosti a zároveň blízké závislosti podle německé metodiky „Schall 03“. Kategorie č. 1 se hodí spíše pro výpočty při vyšších rychlostech na žel. svršku s tuhým upevněním, kategorie č. 8 naopak při nižších (do 100 km/h) u stejného typu žel. svršku. Kategorie č. 5 je svou závislostí výrazně odlišná a při rychlostech nad 70 km/h u tuhého upevnění již dochází ke značnému zkreslení predikované hladiny akustického tlaku A od skutečné, naopak u pružného bezpodkladnicového upevnění je vhodná v pásmu 60–120 km/h.

Je tedy jasné, že si uživatel musí být plně vědom skutečnosti, proč kterou kategorii v modelu využívá a jaká jsou zde omezení. Při volbě výpočtových kategorií by též měl vzít v úvahu rychlosti vlaků v současném a výhledovém stavu.

Při stanovení korekcí pro danou kategorii vlaku se postupuje stejně jako u německé metodiky „Schall 03“ (viz příklad č. 5 – kap. 4.2.1), ale s tím rozdílem, že se použijí emisní charakteristiky jednotlivých typů konstrukcí žel. svršku ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje.

U modelovacích softwarů, které při použití metodiky „RMR 2006“ neumožňují zadat korekci pro každou kategorii vlaku zvlášť, ale umožňují zadat uživatelskou korekci alespoň pro každý odlišný úsek trati, mohou nastat dva případy:

- 1) **Ve výpočtovém modelu jsou použity kategorie vlaků s podobnou závislostí emisní hladiny na rychlosti (např. 2, 3 a 4):** V tom případě se vypočte vážený aritmetický průměr závislosti emisí na rychlosti a vážený průměr rychlostí podle počtu průjezdů každé kategorie. Na základě těchto průměrů se stanoví korekce na rychlost K_V a korekce na typ svršku K_S . Výsledná korekce $K_{V\dot{Y}SL}$ jako součet obou předchozích se pak zadá do modelu výhledového stavu.
- 2) **Ve výpočtovém modelu jsou použity kategorie vlaků s odlišnou závislostí emisní hladiny na rychlosti (např. kategorie 2, 5 a 8):** V tomto případě je již určení správné korekce obtížné, především pak v situaci, kdy každá kategorie má odlišnou rychlost (což v praxi zpravidla nastává). Nejdříve se doporučuje pečlivě zvážit, zda je každá kategorie v modelu oprávněně a zda nejde nahradit jinou kategorií s méně odlišným faktorem rychlosti. Pokud po tomto kroku původní kategorie v modelu zůstanou, lze například postupovat tak, že se pro průměrnou váženou rychlost spočte pouze korekce na typ svršku K_S , $K_{V\dot{Y}SL}$ pak bude rovna K_S a korekce na rychlost K_V se zanedbá. Jinak lze postupovat individuálně a využít při tom grafického řešení.

U modelovacích softwarů, které neumožňují ani zadání uživatelské korekce pro každý odlišný úsek trati, ale pouze obecnou korekci pro celou řešenou lokalitu, je již situace značně komplikovaná. V takovémto případě by korekce měla být spočítána na vážený průměr všech rychlostí vlaků všech úseků s odlišnými traťovými rychlostmi, což je z hlediska výpočtu velmi nepraktické. Opět je nutný individuální přístup, doporučuje se využít grafické řešení – viz příklad č. 8 (kap. 4.3.2). Například lze korekci na rychlost zanedbat a odhadem stanovit průměrnou rychlost K_V , na kterou se stanoví korekce na svršek K_S , přičemž výsledná korekce bude $K_{V\dot{Y}SL} = K_S$ a tato se zadá jako obecná korekce do modelu výhledového stavu. Případně lze na vybrané úseky aplikovat některé korekce na typ kolejí v rámci koeficientu $C_{b,c}$ nebo přímo upravit emisní hladiny vlaků, což však klade nemalé nároky na zkušenost a přesnost uživatele.

4.3.1 Příklad č. 7

Zadání:

V úseku s traťovou rychlostí $V_0 = 100$ km/h (dosahují jí osobní vlaky – 20 průjezdů za výpočtové období) a $V_n = 90$ km/h pro vlaky nákladní (4 průjezdy za výpočtové období) se svrškem s tuhým podkladnicovým upevněním (současný stav) se plánuje rekonstrukce na traťovou rychlost $V_1 = 140$ km/h a pružné bezpodkladnicové upevnění. V úseku se výhledově předpokládá provoz osobních expresních vlaků traťovou rychlostí (tedy 140 km/h) při 10 průjezdech za výpočtové období, osobních vlaků rychlostí 120 km/h při 16 průjezdech a nákladních vlaků rychlostí 100 km/h při 6 průjezdech za výpočtové období. Stanovte korekci pro výhledový stav při použití nizozemské výpočtové metodiky „RMR 2006“ (pro vlaky pohybující se v režimu jízdy).

Vstupní podmínky:

Uživatel si provede ověření a případné nastavení svého výpočtového modelu současného stavu tak, aby modelové hladiny odpovídaly reálné situaci. Model neumožňuje zadání korekce pro každý vlak zvlášť, pouze korekci pro vybraný modelovaný úsek.

Osobní expresní vlaky jsou zařazeny do výpočtové kategorie č. 2 ($22,3 \cdot \log V$)⁷, osobní vlaky do kategorie č. 3 ($19,6 \cdot \log V$) a nákladní vlaky do kategorie č. 4 ($20,0 \cdot \log V$).

Stanovení korekce:

Nejdříve je nutné váženým aritmetickým průměrem dle počtu průjezdů vlaků za výpočtové období ve výhledovém stavu určit rychlosti ve výhledovém stavu, pro které se korekce stanoví – viz (40)⁸ a (41).

$$V_{0prum} = \frac{100 \cdot 10 + 100 \cdot 16 + 90 \cdot 6}{10 + 16 + 6} \text{ km/h} = \frac{3140}{32} \text{ km/h} \doteq 98 \text{ km/h} \quad (40)$$

$$V_{1prum} = \frac{140 \cdot 10 + 120 \cdot 16 + 100 \cdot 6}{10 + 16 + 6} \text{ km/h} = \frac{3920}{32} \text{ km/h} \doteq 123 \text{ km/h} \quad (41)$$

Dále se váženým aritmetickým průměrem dle počtu průjezdů určí koeficient faktoru rychlosti v režimu jízdy b_c , podle kterého se stanoví korekce ve výhledovém stavu – viz (42).

$$b_c = \frac{22,3 \cdot 10 + 19,6 \cdot 16 + 20,0 \cdot 6}{10 + 16 + 6} = \frac{656,6}{32} \doteq 20,5 \quad (42)$$

Dle nizozemské metodiky získává faktor rychlosti tvar $20,5 \cdot \log V$. Přírůstek $\Delta_1 E_{nr}$ způsobený navýšením traťové rychlosti tedy nabývá podoby (43).

$$\Delta_1 E_{nr} = 20,5 \cdot \log(V_{1prum}) - 20,5 \cdot \log(V_{0prum}) = 20,5 \cdot \log \frac{V_{1prum}}{V_{0prum}} = 20,5 \cdot \log \frac{123}{98} \text{ dB} = +2,0 \text{ dB} \quad (43)$$

Dle emisní charakteristiky tuhého podkladnicového upevnění bude přírůstek $\Delta_2 E_{nr}$ způsobený navýšením traťové rychlosti dosahovat výsledku výpočtu dle (44).

⁷ Dále se bude používat pro rychlost jízdy vlaku symbol V stejně jako v této celé této metodice.

⁸ V navrhovaném (výhledovém) stavu se uvažuje s provozem osobních expresních vlaků, přičemž tato kategorie vlaků ve stávajícím (současném) stavu daným místem neprojíždí. Do výpočtu průměrné rychlosti ve stávajícím stavu se tak pro osobní expresní vlaky dosadí traťová rychlost ve stávajícím stavu (100 km/h), jelikož se předpokládá, že kdyby tato kategorie vlaků byla ve stávajícím stavu provozována, projížděla by řešený úsek právě traťovou rychlostí.

$$\begin{aligned}\Delta_2 E_{nr} &= 10 \cdot \log\left(e^{0,024 \cdot V_{i,prum}}\right) - 10 \cdot \log\left(e^{0,024 \cdot V_{0,prum}}\right) = 10 \cdot \log\left[e^{0,024 \cdot (V_{i,prum} - V_{0,prum})}\right] = \\ &= 10 \log\left(e^{0,024 \cdot 25}\right) \text{dB} = +2,6 \text{ dB}\end{aligned}\quad (44)$$

Korekce na rychlost je dána vztahem (45).

$$K_V = \Delta_2 E_{nr} - \Delta_1 E_{nr} = +0,6 \text{ dB}\quad (45)$$

Korekce na typ žel. svršku při 123 km/h se stanoví podle výrazu (46).

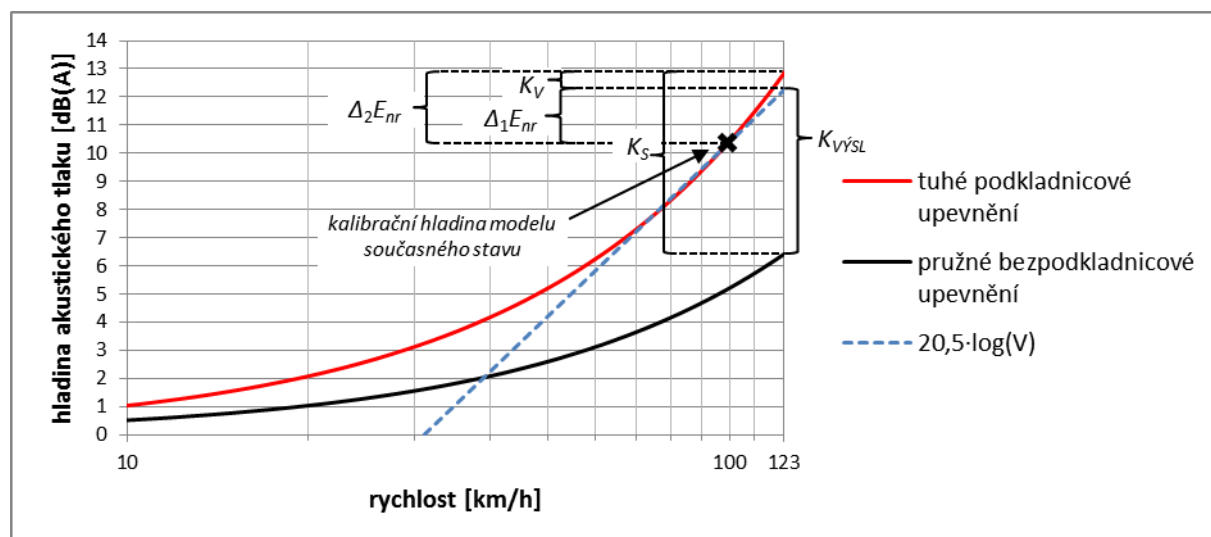
$$K_S = \left[10 \cdot \log\left(e^{0,012 \cdot 123}\right) - 10 \cdot \log\left(e^{0,024 \cdot 123}\right)\right] \text{dB} = -6,4 \text{ dB}\quad (46)$$

Výsledná korekce je rovna součtu korekcí na rychlost a na typ žel. svršku, tedy odpovídá (47).

$$K_{V\text{ýSL}} = K_V + K_S = [0,6 + (-6,4)] \text{dB} = -5,8 \text{ dB}\quad (47)$$

Závěr:

Uživatel v modelu výhledového stavu příslušného traťového úseku zadá korekci $-5,8$ dB.



Obr. 19 Grafické znázornění vypočtené korekce pro příklad č. 7 (zdroj: autoři)

4.3.2 Příklad č. 8

Zadání:

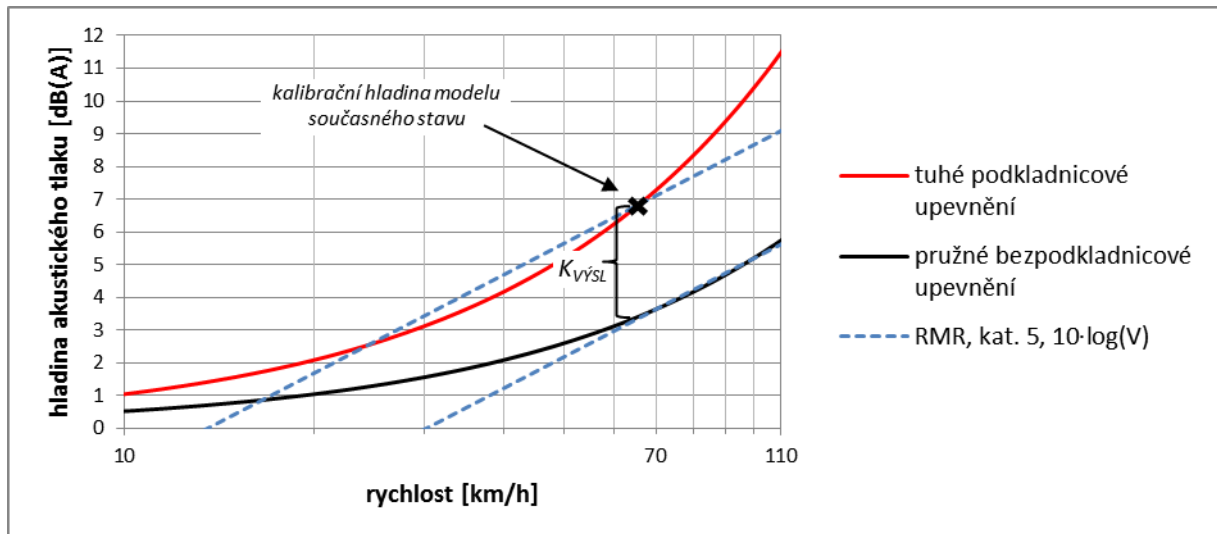
V řešené lokalitě se na neelektrizované trati s traťovými rychlostmi 60–70 km/h a tuhým podkladnicovým upevněním (současný stav) plánuje rekonstrukce na pružné bezpodkladnicové upevnění, přičemž traťové rychlosti jsou v jednotlivých úsecích navrženy v rozsahu 70–110 km/h. Stanovte korekci pro výhledový stav při použití nizozemské výpočtové metodiky „RMR 2006“.

Vstupní podmínky:

Uživatel si provede ověření a případné nastavení svého výpočtového modelu současného stavu tak, aby modelové hladiny odpovídaly reálné situaci. Model umožňuje zadání pouze obecné korekce pro celé řešené území („železniční bonus“).

Stanovení korekce:

Stanovení hodnoty korekce je provedeno grafickou metodou představenou na obr. 20.



Obr. 20 Grafické znázornění vypočtené korekce (zdroj: autoři)

Z grafu na obr. 20 je vidět, že průběh faktoru rychlosti $10 \cdot \log V$ výpočtové kategorie č. 5 je velmi podobný charakteristice pružného bezpodkladnicového upevnění ve výhledovém rozsahu rychlostí (70–110 km/h). Pokud se tedy všem kategoriím vlaků definovaným v modelu přidělí výpočtová kategorie č. 5, bude jejich faktor rychlosti odpovídat výhledovému pružnému upevnění (se zanedbáním drobných odchylek) v celém řešeném pásmu. Výsledná korekce K_{VYSL} tak bude pro libovolnou rychlost z rozsahu 70–110 km/h přibližně konstantní, což je, s ohledem na možnosti modelovacího programu, hlavním cílem.

V případě, že uživatel dokáže odhadnout průměrnou rychlost vlaků, na kterou kalibroval současný stav (v tomto příkladu 65 km/h), je pak výsledná korekce K_{VYSL} rovna korekci na konstrukci žel. svršku K_S při této rychlosti. Korekci lze odečíst přímo z grafu nebo určit početně – viz (48).

$$K_{VYSL} = K_S = \left[10 \cdot \log(e^{0,012 \cdot 65}) - 10 \cdot \log(e^{0,024 \cdot 65}) \right] \text{ dB} = -3,4 \text{ dB} \quad (48)$$

Závěr:

Uživatel v modelu výhledového stavu zadá obecnou korekci $-3,4$ dB.

5 Literatura

- [1] BANÁŠ, P., M. OTYEPKA a E. OTYEPKOVÁ. *Základy zpracování dat*. Olomouc: Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, 2007 [cit. 2012-09-18]. Dostupné z: <http://fch.upol.cz/skripta/zzd/chemo/chemo.pdf>
- [2] HÁJKOVÁ, Lenka. *Umělé proměnné a jejich význam v ekonometrických modelech*. Brno, 2008 [cit. 2012-10-20]. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Dostupné také z: http://is.muni.cz/th/53361/prif_m_a2/2008DP_umele_promenne_LRM.pdf
- [3] HOŠKOVÁ, Pavla. *Matematická statistika II, přednášky*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Fakulta provozně ekonomická, 2006 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: http://pef-info.wz.cz/download/MSIib_prednasky.pdf
- [4] MELOUN, Milan. *Počítačová analýza vícerozměrných dat v oborech přírodních, technických a společenských věd. Učební texty ke kurzu*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2011 [cit. 2012-10-20]. Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_05_1106.pdf
- [5] MELOUN, Milan. *Průzkumová analýza jednorozměrných dat*. Pardubice: Univerzita Pardubice [cit. 2012-10-20]. Dostupné z: <http://meloun.upce.cz/docs/research/chemometrics/methodology/2eda.pdf>
- [6] MELOUN, Milan. *Určení struktury a vazeb v proměnných a objektech*. Pardubice: Univerzita Pardubice [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://meloun.upce.cz/docs/research/chemometrics/methodology/4pca.pdf>
- [7] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. Výhody vícerozměrné analýzy dat v analýze životního prostředí. In *Anorganická analýza v životním prostředí*. Český Těšín: 2THETA, 2001. s. 204–226. ISBN 80-86380-09-2. [cit. 2012-10-20]. Dostupné také z: <http://meloun.upce.cz/docs/publication/115.pdf>
- [8] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Statistická analýza experimentálních dat*. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1254-0.
- [9] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. Regresní diagnostika v materiálovém výzkumu. In *Hutní analytika 2002. Sborník přednášek z 22. konference*. Český Těšín: 2THETA, 2002. s. 82–98. ISBN 80-86380-10-6. [cit. 2012-10-20]. Dostupné také z: <http://meloun.upce.cz/docs/publication/130.pdf>
- [10] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. Vybočující hodnoty ve vícerozměrných datech. In *Sborník přednášek z konference Zajištění kvality analytických výsledků*. S. 162–178, ISBN 80-86380-11-4. [cit. 2012-10-20]. Dostupné také z: <http://meloun.upce.cz/docs/publication/122.pdf>
- [11] THOMPSON, David. *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control*. Oxford: Elsevier, 2009. ISBN 978-0-08-045147-3.
- [12] TVRDÍK, Josef. *Analýza vícerozměrných dat*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita v Ostravě, 2009 [cit. 2012-10-20]. Dostupné z: http://www1.osu.cz/~tvrdik/down/files/XAVDAT_10.pdf
- [13] ©Addinsoft. *XLSTAT Getting Started Manual* [modul pro MS Excel]. [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.xlstat.com/uploads/video/getting-started/xlstat-getting-started-manual.pdf>

- [14] RABUŠIC, Ladislav. *Mnohonásobná lineární regrese*. Brno: Masarykova univerzita Brno, 2004 [cit. 2012-11-05]. Dostupné z: http://is.muni.cz/el/1423/podzim2004/SOC418/multipl_regres_1.doc
- [15] ČSN EN ISO 3095. *Železniční aplikace – Akustika – Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly*. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [16] SŽDC S3. *Železniční svršek* (č. j. 9675/08-OP) [interní předpis]. Ve znění změny č. 1. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2011.
- [17] ŠPAČKOVÁ, Helena. *Studie snižování hlučnosti tramvajových tratí*. Praha: 2003. Habilitační práce. ČVUT v Praze Fakulta stavební. 167 s.
- [18] VAŠICA, David. *Modelování hluku v železniční dopravě*. Praha: 2013. Disertační práce. ČVUT v Praze Fakulta dopravní. 134 s.
- [19] HLAVÁČEK, Jan. Technické specifikace pro interoperabilitu subsystému „Hluk“. *Vědeckotechnický sborník Českých drah* [online]. Praha: České dráhy, a.s., 2004, č. 18, [cit. 2011-08-18]. ISSN 1214-9047. Dostupné z: <http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts18/18cl09.pdf>
- [20] LIBERKO, Miloš. *Hluk z dopravy – Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy, příloha 2 – Stanovení hluku ze železničního provozu*. Brno: VÚVA, 1991 [cit. 2011-08-18]. ISBN 80-85124-07-6.
- [21] *Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen Schall 03*. Information Akustik 03. München: Deutsche Bundesbahn, 1990 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: http://www.schienenlaerm.de/Schall%2003/schall03_1990.pdf
- [22] *Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006*. [Nizozemí] 2006 [cit. 2012-03-26]. Dostupné z: <http://www.av-consulting.nl/artikelen/geluid/bijlageIV.pdf>
- [23] TÝFA, Lukáš et al. *Projekt výzkumu a vývoje programu ALFA Technologické agentury České republiky č. TA01030087 – Průběžná zpráva za rok 2011*. [Výzkumná zpráva]. Praha: ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, 2012. 64 s., 1 příloha.
- [24] TÝFA, Lukáš et al. *Projekt výzkumu a vývoje programu ALFA Technologické agentury České republiky č. TA01030087 – Průběžná zpráva za rok 2012*. [Výzkumná zpráva]. Praha: ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, 2013. 53 s., 1 příloha.
- [25] KUBÁT, Bohumil a Lukáš TÝFA. *Železniční tratě a stanice*. Vydání 2. přepracované – dotisk. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. 209 s. ISBN 80-01-02782-1.
- [26] KUBÁT, Bohumil a Ondřej TREŠL. *Stavby kolejové dopravy*. Vydání 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2008. 190 s. ISBN 978-80-01-03983-0.

6 Přílohy

Následující tabulky představují nástroj ke stanovení korekcí na železniční svršek mezi současným a výhledovým stavem. Vstupním parametrem je výpočtová rychlost, kterou lze určit následujícími způsoby v závislosti na charakteru železničního provozu v řešené lokalitě, přičemž uživatel metodiky se musí v konkrétní situaci rozhodnout, která varianta je pro daný případ vhodná:

- podle traťové rychlosti v případě, že se nepředpokládá významný rozdíl mezi rychlostmi jednotlivých kategorií vlaků (např. pouze osobní vlaky)
- váženým průměrem rychlostí jednotlivých kategorií vlaků (vahou jsou intenzity provozu) v případě, že se předpokládá rozdíl mezi kategoriemi (např. nákladní a osobní vlaky v úseku s vysokou traťovou rychlostí nebo více osobních vlaků s výrazně rozdílnými rychlostmi); obecně se tento postup nedoporučuje při kombinaci pouze dvou kategorií, kdy jedna představuje pomalé a velmi hlučné soupravy (např. dlouhé nákladní vlaky pohybující se rychlostí 80 km/h) a druhá kategorie rychlé a relativně málo hlučné moderní soupravy s kotoučovými brzdami (např. expresní osobní vlaky jedoucí rychlostí 160 km/h)
- expertním odhadem v případě, že se v řešené lokalitě vyskytuje několik kategorií vlaků s rozdílnými rychlostmi a několik úseků s rozdílnou traťovou rychlostí, přičemž nelze zadat korekci pro každý úsek zvlášť, ale pouze obecnou uživatelskou korekci pro celý model
- rychlost na straně bezpečné podle volby uživatele (zpravidla podle kategorie s nejnižší maximální dovolenou rychlostí – z nižší rychlosti vyplývá menší korekce)

Optimální je případ, kdy modelovací software umožňuje zadat korekci pro každou kategorii vlaku zvlášť – v tom případě se za výpočtovou rychlost považuje nejvyšší dovolená rychlost dané kategorie v řešeném úseku.

Tabulka A – Tabulka korekcí $K_{V\dot{Y}SL}$ v decibelech mezi tuhým podkladnicovým upevněním (současný stav) a pružným bezpodkladnicovým upevněním (výhledový stav) pro použití v české výpočtové metodice pro emise ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje

výpočtová rychlost [km/h]	výhledový stav – pružné bezpodkladnicové upevnění											
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
korekce [dB]	-2,6	-3,1	-3,6	-4,2	-4,7	-5,2	-5,7	-6,3	-6,8	-7,3	-7,8	-8,3

Tabulka B – Tabulka korekcí $K_{V\dot{Y}SL}$ v decibelech mezi pružným podkladnicovým upevněním (současný stav) a pružným bezpodkladnicovým upevněním (výhledový stav) pro použití v české výpočtové metodice pro emise ve vzdálenosti 7,5 m od osy koleje

výpočtová rychlost [km/h]	výhledový stav – pružné bezpodkladnicové upevnění												
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	
současný stav – pružné podkladnicové upevnění	40	-1,2	-1,7	-2,3	-2,8	-3,3	-3,8	-4,3	-4,9	-5,4	-5,9	-6,4	-6,9
	50	-0,9	-1,4	-1,9	-2,4	-3,0	-3,5	-4,0	-4,5	-5,0	-5,6	-6,1	-6,6
	60		-1,0	-1,6	-2,1	-2,6	-3,1	-3,6	-4,2	-4,7	-5,2	-5,7	-6,3
	70			-1,2	-1,7	-2,3	-2,8	-3,3	-3,8	-4,3	-4,9	-5,4	-5,9
	80				-1,4	-1,9	-2,4	-3,0	-3,5	-4,0	-4,5	-5,0	-5,6
	90					-1,6	-2,1	-2,6	-3,1	-3,6	-4,2	-4,7	-5,2
	100						-1,7	-2,3	-2,8	-3,3	-3,8	-4,3	-4,9
	110							-1,9	-2,4	-3,0	-3,5	-4,0	-4,5
	120								-2,1	-2,6	-3,1	-3,6	-4,2
	130									-2,3	-2,8	-3,3	-3,8
	140										-2,4	-3,0	-3,5

Tabulka C – Tabulka korekcí $K_{V\dot{Y}SL}$ v decibelech mezi tuhým podkladnicovým upevněním (současný stav) a pružným bezpodkladnicovým upevněním (výhledový stav) pro použití v německé výpočtové metodice „Schall 03“ pro emise ve vzdálenosti 25 m od osy koleje

výpočtová rychlost [km/h]		výhledový stav – pružné bezpodkladnicové upevnění											
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
současný stav – tuhé podkladnicové upevnění	40	-3,2	-4,1	-4,8	-5,3	-5,7	-6,0	-6,1	-6,2	-6,3	-6,3	-6,2	-6,1
	50	-2,4	-3,3	-4,0	-4,5	-4,9	-5,2	-5,3	-5,4	-5,5	-5,5	-5,4	-5,3
	60		-2,9	-3,6	-4,1	-4,4	-4,7	-4,9	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-4,9
	70			-3,3	-3,9	-4,2	-4,5	-4,7	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,7
	80				-3,8	-4,2	-4,5	-4,6	-4,7	-4,8	-4,8	-4,7	-4,6
	90					-4,3	-4,6	-4,7	-4,8	-4,9	-4,9	-4,8	-4,7
	100						-4,8	-5,0	-5,1	-5,1	-5,1	-5,0	-5,0
	110							-5,3	-5,4	-5,4	-5,4	-5,3	-5,3
	120								-5,7	-5,8	-5,8	-5,7	-5,6
	130									-6,2	-6,2	-6,2	-6,1
	140										-6,7	-6,6	-6,5

Tabulka D – Tabulka korekcí $K_{V\dot{Y}SL}$ v decibelech mezi pružným podkladnicovým upevněním (současný stav) a pružným bezpodkladnicovým upevněním (výhledový stav) pro použití v německé výpočtové metodice „Schall 03“ pro emise ve vzdálenosti 25 m od osy koleje

výpočtová rychlost [km/h]		výhledový stav – pružné bezpodkladnicové upevnění											
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
současný stav – pružné podkladnicové upevnění	40	-2,0	-2,9	-3,6	-4,1	-4,5	-4,7	-4,9	-5,0	-5,1	-5,1	-5,0	-4,9
	50	-0,9	-1,8	-2,5	-3,0	-3,4	-3,6	-3,8	-3,9	-4,0	-3,9	-3,9	-3,8
	60		-1,0	-1,7	-2,2	-2,6	-2,9	-3,0	-3,2	-3,2	-3,2	-3,1	-3,0
	70			-1,2	-1,7	-2,1	-2,4	-2,5	-2,6	-2,7	-2,7	-2,6	-2,5
	80				-1,4	-1,8	-2,0	-2,2	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2
	90					-1,6	-1,8	-2,0	-2,1	-2,2	-2,1	-2,1	-2,0
	100						-1,7	-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,0	-1,9
	110							-1,9	-2,0	-2,1	-2,1	-2,0	-1,9
	120								-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0
	130									-2,3	-2,3	-2,2	-2,1
	140										-2,4	-2,4	-2,3

Tabulka E – Zjednodušená tabulka korekcí K_{VYSL} v decibelech mezi tuhým podkladnicovým upevněním (současný stav) a pružným bezpodkladnicovým upevněním (výhledový stav) pro použití v nizozemské výpočtové metodice „RMR 2006“ na základě průměrného faktoru rychlosti $19,2 \cdot \log V$ (lze použít pro libovolnou výpočtovou kategorii vlaku a libovolný režim)

výpočtová rychlost [km/h]		výhledový stav – pružné bezpodkladnicové upevnění											
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
současný stav – tuhé podkladnicové upevnění	40	-3,4	-4,4	-5,2	-5,8	-6,2	-6,6	-6,8	-7,1	-7,2	-7,3	-7,3	-7,4
	50	-2,6	-3,6	-4,4	-5,0	-5,4	-5,8	-6,0	-6,2	-6,4	-6,5	-6,5	-6,5
	60		-3,1	-3,9	-4,5	-4,9	-5,3	-5,6	-5,8	-5,9	-6,0	-6,1	-6,1
	70			-3,6	-4,2	-4,7	-5,1	-5,3	-5,5	-5,7	-5,8	-5,8	-5,8
	80				-4,2	-4,6	-5,0	-5,3	-5,5	-5,6	-5,7	-5,7	-5,8
	90					-4,7	-5,0	-5,3	-5,5	-5,7	-5,8	-5,8	-5,8
	100						-5,2	-5,5	-5,7	-5,8	-5,9	-6,0	-6,0
	110							-5,7	-5,9	-6,1	-6,2	-6,2	-6,2
	120								-6,3	-6,4	-6,5	-6,5	-6,6
	130									-6,8	-6,9	-6,9	-6,9
	140										-7,3	-7,3	-7,4

Tabulka F – Zjednodušená tabulka korekcí K_{VYSL} v decibelech mezi pružným podkladnicovým upevněním (současný stav) a pružným bezpodkladnicovým upevněním (výhledový stav) pro použití v nizozemské výpočtové metodice „RMR 2006“ na základě průměrného faktoru rychlosti $19,2 \cdot \log V$ (lze použít pro libovolnou výpočtovou kategorii vlaku a libovolný režim)

výpočtová rychlost [km/h]		výhledový stav – pružné bezpodkladnicové upevnění											
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
současný stav – pružné podkladnicové upevnění	40	-2,0	-3,0	-3,8	-4,4	-4,8	-5,2	-5,5	-5,7	-5,8	-5,9	-6,0	-6,0
	50	-0,9	-1,9	-2,6	-3,2	-3,7	-4,0	-4,3	-4,5	-4,6	-4,7	-4,8	-4,8
	60		-1,0	-1,8	-2,4	-2,9	-3,2	-3,5	-3,7	-3,8	-3,9	-4,0	-4,0
	70			-1,2	-1,8	-2,3	-2,6	-2,9	-3,1	-3,2	-3,3	-3,4	-3,4
	80				-1,4	-1,8	-2,2	-2,5	-2,7	-2,8	-2,9	-3,0	-3,0
	90					-1,6	-1,9	-2,2	-2,4	-2,5	-2,6	-2,7	-2,7
	100						-1,7	-2,0	-2,2	-2,4	-2,5	-2,5	-2,5
	110							-1,9	-2,1	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4
	120								-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,4
	130									-2,3	-2,4	-2,4	-2,4
	140										-2,4	-2,5	-2,5