

Vztahy mezi hlukovými ukazateli L_{dvn} a L_{dn}

MUDr. Zdeňka Vandasová, RNDr. Alena Fialová, Ph.D.

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Hlukové ukazatele L_{dvn} a L_{dn}	3
2.1	Definice a způsob použití hlukových ukazatelů	3
2.2	Odhad ukazatele L_{dvn}	4
3	Metodika	4
3.1	Měření	4
3.2	Porovnávání hlukové ukazatele.....	5
3.3	Statistická analýza.....	6
4	Výsledky	7
4.1	Rozdíly mezi ukazateli při použití různých časových intervalů	7
4.2	Rozdíly mezi ukazateli L_{dvn} a L_{dn}	7
4.3	Porovnání různých metod odhadu L_{dvn}	8
5	Diskuse.....	11
6	Závěry	12

Použité zkratky a termíny

dB	decibel
END	Environmental Noise Directive, zkratka pro Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES, o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí ^[3]
Hluk	zvuk, který má rušivý nebo obtěžující charakter (vyvolává nepříjemný nebo rušivý vjem), nebo který má škodlivé účinky. Mezi zvukem a hlukem nelze rozlišit na základě fyzikálních parametrů, ale pouze na základě účinků na člověka. (Pro zjednodušení a obecnou srozumitelnost je v následujícím textu místy použito slovo hluk i ve smyslu fyzikální veličiny hladina akustického tlaku.)
L	hladina akustického tlaku: Fyzikální veličina pro vyjádření hlasitosti zvuku, používá logaritmickou stupnici, jednotka je decibel [dB]
L_{AeqT}	ekvivalentní hladina akustického tlaku zjištěná pomocí filtru A. Fyzikální veličina pro vyjádření hladiny akustického tlaku u proměnlivého zvuku (kolísání v čase o více než 5 dB). Ekvivalentní hladina má stejné energetické účinky na člověka jako proměnlivá hladina akustického tlaku za stejný čas T. Filtr A se používá, aby se objektivně změřená hladina akustického tlaku při přizpůsobila subjektivně vnímané hlasitosti.
$L_{Aeq,16h}$, $L_{Aeq,8h}$	odpovídá $L_{Aeq\ 06 - 22}$ respektive $L_{Aeq\ 22 - 06}$: Určující ukazatel podle Nařízení vlády 272/2011Sb ^[8] pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích a dráhách a pro hluk z leteckého provozu pro celou denní dobu (6:00 – 22:00 hod) a celou noční dobu (22:00 – 6:00 hod.).
L_d L_v L_n	(též L_{day} , $L_{evening}$, L_{night}) hlukový ukazatel (též indikátor) pro den, pro večer a pro noc ^{[3][10]} (hlukový ukazatel pro obtěžování hlukem během dne, během večera a hlukový ukazatel pro rušení spánku). Dlouhodobý průměr hladiny akustického tlaku A podle české technické normy za všechna denní, večerní resp. noční období jednoho roku.
L_{dvn}	(anglicky též L_{den}) hlukový ukazatel (též indikátor) pro den-večer-noc – hlukový ukazatel pro celkové obtěžování hlukem daný Směrnicí 2002/49/ES ^[3] a Vyhláškou 523/2006 Sb. ^[10] . Je definovaný vzorcem:
	$L_{dvn} = 10 * \log \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_v+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right)$
L_{dn}	hlukový ukazatel pro den-noc. Vážený energetický průměr s noční penalizací 10 dB z hodnot L_{Aeq} pro den (7:00 – 22:00 hod) a pro noc (22:00 – 7:00 hod). Je definován vzorcem: $L_{dn} = 10 \log \left[\left(\frac{15}{24} \right) * 10^{\frac{L_d}{10}} + \left(\frac{9}{24} \right) * 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right]$ ^[6]
SHM	strategické hlukové mapování ^[7]

1 Úvod

Subsystém III „Zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku“ je realizován v rámci Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ČR ve vztahu k životnímu prostředí od roku 1994. Slouží především pro potřeby zjištění vztahů mezi hlukem a jeho účinky na kvalitu života a zdraví obyvatel. Subsystém III zahrnoval monitorování hluku pomocí 24-hodinových měření v měřících místech a sledování jeho vývoje.

Monitorování hluku probíhalo od roku 1994 do roku 2006 každoročně. V roce 2007 bylo každoroční měření nahrazeno měřením periodickým a byl snížen počet monitorovaných lokalit. Měření poté probíhala v letech 2009, 2011 a 2014 a v některých lokalitách náhradní měření letech 2010 a 2015.

Měření hluku je doplněno opakovaným dotazníkovým šetřením „Hluk a zdraví“, které proběhlo od roku 1995 celkem pětkrát, naposledy v roce 2013. Cílem dotazníkových šetření je doplnit měřené hodnoty hlučnosti o údaje charakterizující obyvatelstvo z hlediska jeho zdravotního stavu a postojů k hluku.

2 Hlukové ukazatele L_{dvn} a L_{dn}

Výsledky měření získané v průběhu monitoringu hluku byly využity pro analýzu vzájemných vztahů mezi hlukovými ukazateli L_{dvn} a L_{dn} . Cílem bylo přinést podklady pro diskuzi, zda a za jakých podmínek může být použit odhad L_{dvn} na základě L_{dn} .

2.1 Definice a způsob použití hlukových ukazatelů

Smyslem hlukových ukazatelů je vyjádření expozice hluku pomocí jednočíselné hodnoty. Hlukové ukazatele jsou definované Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí (směrnice Environmental Noise Directive, END) ^[3] a Vyhláškou 523 / 2006 Sb. (vyhláška o hlukovém mapování) ^[10]. Cílem směrnice bylo zavedení jednotného přístupu k prevenci a omezování nežádoucích účinků hluku ve venkovním prostředí. Jsou užívány jednotné hlukové ukazatele pro den (L_d), pro večer (L_v), pro noc (L_n) a pro den-večer-noc (L_{dvn}). Hlukové ukazatele představují dlouhodobou průměrnou hodnotu akustického tlaku za období jednoho kalendářního roku. Většina evropských zemí používá časové intervaly pro den 7:00 – 19:00, pro večer 19:00 – 23:00 a pro noc 23:00 – 7:00 doporučené směrnicí END. V České republice jsou používány časové intervaly pro den 6:00 – 18:00, pro večer 18:00 – 22:00 a pro noc 22:00 – 6:00. Tyto časové intervaly jsou dané vyhláškou o hlukovém mapování a jsou v souladu se směrnicí END, která umožňuje jednotlivým členským státům EU posun začátků časových intervalů podle místních podmínek. Hlukový ukazatel L_{dvn} se vypočítá ^{[3][10]} z ukazatelů L_d , L_v a L_n jako energetický vážený průměr s večerní penalizací 5 dB a noční penalizací 10 dB, účelem penalizace je zohledněny závažnější účinky hluku večer a v noci.

Starší hlukový ukazatel L_{dn} byl používán k popisu hlukové expozice před zavedením ukazatele L_{dvn} . Vypočítá se podle vzorce uvedeného v ^[6] jako energetický vážený průměr s noční penalizací 10 dB z hodnot L_{Aeq} pro den (7:00 – 22:00) a pro noc (22:00 – 7:00). Ukazatel L_{dn} přiřazuje období večera k denní době, která je bez penalizace, na rozdíl od ukazatele L_{dvn} , který pro hluk ve večerních hodinách používá penalizaci 5 dB. Z tohoto důvodu je hodnota L_{dn} vždy nižší než hodnota L_{dvn} vypočítaná ze stejného časového průběhu hluku.

Hlukové ukazatele byly použity v řadě studií zaměřených na vztah dávka-účinek mezi hlukem a obtěžováním. Studie byly následně shrnuty pomocí metaanalýz a byly vytvořeny obecně platné vztahy. Tyto vztahy jsou užívány v procesu hodnocení zdravotních rizik (Health risk assessment, HRA), který umožňuje odhadnout rizika nepříznivých zdravotních účinků hluku u plánovaných záměrů a porovnat různé varianty těchto záměrů z hlediska jejich dopadů na zdraví. Ukazatel L_{dvn} byl po jeho zavedení postupně upřednostňován. V roce 1998 publikovali Miedema a Vos ^[5]

vztahy pro obtěžování založené na ukazateli L_{dn} , v roce 2001 Miedema a Oudshoorn ^[6] vztahy pro oba ukazatele a v roce 2017 Guski et al publikoval vztahy již jen pro ukazatel L_{dvn} ^[2].

2.2 Odhad ukazatele L_{dvn}

Odhad hodnoty ukazatele L_{dvn} na základě L_{dn} je v praxi často nutný kvůli chybění údajů o hluku ve večerních hodinách. Vzájemný vztah ukazatelů L_{dvn} a L_{dn} není konstantní a závisí na časovém průběhu hladiny akustického tlaku v průběhu 24 hodin a na vzájemném poměru hodnot L_d , L_v a L_n . Proto je rozdíl pro každý výsledek měření individuální a převod mezi ukazateli je vždy pouze odhad, který zákonitě přináší určitou nejistotu. Tato nejistota je vysoká hlavně v případě náhodného a nepředvídatelného průběhu hladin akustického tlaku v průběhu 24 hodin.

Nejčastěji v literatuře popisovaný způsob odhadu hodnot L_{dvn} na základě L_{dn} je přepočten pomocí koeficientu ($L_{dvn} \approx L_{dn} + k$). Miedema a Oudshoorn publikovali ^[6] koeficient 0,6 pro hluk z letecké dopravy, 0,2 pro hluk ze silniční dopravy a 0 pro hluk z železniční dopravy. Ve směrnici „Good practice guide on noise exposure and potential health effects“^[4] je uváděn koeficient městskou silniční dopravu 0,3 a v publikaci Guski et al. ^[2] byl použit koeficient 0,485.

Jiný způsob odhadu L_{dvn} publikovali Bite a Bite ^[1]. K odhadu L_{dvn} používají vlastní vztah vytvořený na základě analýzy dat z měření hluku ze silniční dopravy v Budapešti:

$$L_{dvn} \cong L_{Aeq(06-22)} - 2 \left[\ln \frac{L_{Aeq(06-22)} - L_{Aeq(22-06)}}{22,4} \right]$$

Teoreticky by také bylo možné použít postup odhadu s dvojnásobným dosazením hodnoty $L_{Aeq(06-22)}$ do vzorce pro výpočet L_{dvn} namísto hodnot L_d i L_v , ale pro tento postup nebyla nalezena opora v literatuře.

3 Metodika

Všechny popsány způsoby odhadu ukazatele L_{dvn} jsou zatíženy určitou nejistotou. Data z měření hluku v rámci monitoringu byla použita k vyhodnocení této nejistoty. Byly porovnány ukazatele vypočítané podle zahraničních časových intervalů s ukazateli podle českých časových intervalů. Následně byly porovnány ukazatele přímo vypočítané z hodnot L_d , L_v a L_n s ukazateli odhadnutými. Výpočet i odhad ukazatelů vycházel ze stejného souboru dat.

3.1 Měření

K hodnocení byly použity výsledky měření hluku provedené v rámci monitoringu hluku v období 2009 - 2015. Celkem bylo zařazeno 120 jednotlivých měření hluku, každé měření v délce 24 hodin. Lokality jednotlivých měření jsou uvedeny v tabulce 1. Do sledování byly zařazeny městské, dlouhodobě obývané lokality. Z hlediska hlučnosti se sledované lokality pohybují od tichých obytných lokalit s koncovou dopravou až po hlučné frekventované komunikace s přítomností nákladní dopravy a tramvají.

Měření byla prováděna podle jednotné metodiky, která byla podrobně popsána v odborných zprávách systému monitorování za roky 2009, 2011 a 2014 ^[9], spolu s výsledky měření. Pro dodržení časové kontinuity jsou k analýze používány hodnoty hluku přímo naměřené před fasádou bez použití korekce pro odrazy.

Tabulka 1: Seznam lokalit a měřicích míst

Lokalita	Město	Adresa měřicího místa *	Počet měření
CB Lidická	České Budějovice	Lidická 68	2
CB Schneidera		L. B. Schneidera 32	2
HB Žižkov	Havlíčkův Brod	Žižkov II. 1294	6
HB Pražská		Pražská 3498	6
HK Labská	Hradec Králové	Labská kotlina 1003 (997)	6
HK Baarova		Baarova 1375	6
JN Mšenská	Jablonec nad Nisou	Mšenská 64/ 3988	6
JN Němcové		Boženy Němcové 10/ 3659	6
KL Nezvala	Kladno	Vítězslava Nezvala 758	2
KL Vodárenská		Vodárenská 2366	2
OL Pavlova	Olomouc	I. P. Pavlova 34/ 999	6
OL Foerstrova		Foerstrova 45/ 1045 (30/ 1051)	6
OV Havlíčkovo nám.	Ostrava	Havlíčkovovo náměstí 14/ 739	6
OV 17. listopadu		17. listopadu 24/ 639 (26/638)	6
PM Skrétova	Plzeň	Skrétova 15/ 1188	6
PM Klatovská		Klatovská třída 22/ 416	6
P3 Pod lipami	Praha 3	Pod Lipami 44/ 2570	6
P3 Koněvova		Koněvova 158/ 1086	6
UL Kosmonautů	Ústí nad Labem	Kosmonautů 3/ 487	2
UL Zvonková		Zvonková 8/ 2782	2
UO Popradská	Ústí nad Orlicí	Popradská 1443	6
UO Jilemnického		Jilemnického 297	6
ZN Armády	Znojmo	Náměstí armády 8/ 1213	6
ZN Rooseveltova		Rooseveltova 7/ 986 (11/988)	6

* V závorkách uvedeny adresy náhradních měřicích míst

3.2 Porovnávání hlukové ukazatele

Vstupní data obsahují měření hluku v patnáctiminutových intervalech, ze kterých lze spočítat hodnoty L_{Aeq} za každou hodinu v průběhu 24-hodinového měření. Data v této struktuře umožňují výpočet různých typů hlukových ukazatelů a jejich vzájemné porovnání. Pro účely analýzy byly vypočteny a odhadnuty následující hlukové ukazatele:

Přímo vypočítané ukazatele s použitím časových intervalů obvyklých v evropských zemích:

L_{dvn1} L_{dvn} vypočítaný podle ^[3] ^[10] za použití intervalů pro den 7:00 – 19:00, pro večer 19:00 – 23:00 a pro noc 23:00 – 7:00

L_{dn1} L_{dn} vypočítaný za použití intervalů pro den 7:00 – 22:00 a pro noc 22:00 – 7:00

Přímo vypočítané ukazatele s použitím časových intervalů obvyklých v ČR:

L_{dvn2} L_{dvn} vypočítaný z ukazatelů L_{dn} , L_v a L_n za použití intervalů pro den 6:00 – 18:00, pro večer 18:00 – 22:00 a pro noc 22:00 – 6:00. Ukazatelé se vypočítávají ze stejně dlouhých časových úseků jako v případě L_{dvn1} ale české varianty liší hodinovým posuvem směrem k časnější době.

L_{dn2} L_{dn} vypočítaný za použití intervalů pro den 6:00 – 22:00 a pro noc 22:00 – 6:00 tj. dosazením hodnot $L_{Aeq,16h}$ pro celou denní dobu a $L_{Aeq,8h}$ pro celou noční dobu. Hodnoty těchto ukazatelů jsou v podmínkách ČR běžně dostupné, neboť jde o tzv. určující ukazatele podle Nařízení vlády 272/2011^[8], které používají orgány ochrany veřejného zdraví k hodnocení účinků hluku. Používané intervaly představují 16 hod. pro denní a 8 hod. pro noční dobu na rozdíl od zahraničních intervalů 15 hod. pro denní 9 hod. pro noční dobu. Z tohoto důvodu byl upraven vzorec pro výpočet ukazatele:

$$L_{dn2} = 10 \log \left[\left(\frac{16}{24} \right) * 10^{\frac{L_{Aeq,16h}}{10}} + \left(\frac{8}{24} \right) * 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right]$$

Odhadnuté ukazatele:

Odhad ukazatele L_{dvn} napodobuje situaci, kdy by nebyla dostupná informace o hodnotách ukazatele L_v . Z hodnot $L_{Aeq,16h}$ pro celou denní dobu a $L_{Aeq,8h}$ pro noční dobu byl vypočítán ukazatel L_{dn2} a z něho odhadnuta hodnota ukazatele L_{dvn} . Odhad byl proveden pouze pro české časové intervaly. Použitím různých metod odhadu byly získány následující odhadnuté ukazatele:

L_{dvn3} odhad pomocí koeficientu 0,485, který byl použit v publikaci Guski et al^[2].

$$L_{dvn3} \cong L_{dn2} + 0,485$$

L_{dvn4} odhad pomocí vzorce, který publikovali Bite a Bite^[1].

$$L_{dvn4} \cong L_{Aeq(06-22)} - 2 \left[\ln \frac{L_{Aeq(06-22)} - L_{Aeq(22-06)}}{22,4} \right]$$

L_{dvn5} odhad pomocí dvojího dosazení hodnoty $L_{Aeq,16h}$ do vzorce pro výpočet L_{dvn}

$$L_{dvn5} \cong 10 * \log \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{Aeq,16h}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{Aeq,16h}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{Aeq,8h}+10}{10}} \right)$$

L_{dvn6} , L_{dvn7} , L_{dvn8} , L_{dvn9} odhad pomocí koeficientů získaných v této analýze pro celý soubor dat a pro konkrétní situace (viz tabulka kapitola 3, průměrné hodnoty rozdílů L_{dvn} a L_{dn}).

3.3 Statistická analýza

Byly porovnány ukazatele vypočítané podle zahraničních časových intervalů s ukazateli podle českých časových intervalů a ukazatele přímo vypočítané s ukazateli odhadnutými. K testování shody mezi dvěma ukazateli byl použit Wilcoxonův neparametrický test, ukazatele byly považovány za statisticky významně odlišné při hodnotě $p < 0.05$. K posouzení nejistoty odhadu byla použita směrodatná odchylka (SD) hodnot rozdílů mezi odhadnutou a přímo vypočítanou hodnotou tj. odchylky odhadu od skutečnosti. Výsledné hodnoty SD jsou tím vyšší, čím více se odchylky od skutečnosti liší od jejich průměrné hodnoty. Vyšší hodnoty SD tedy ukazují na větší nejistotu odhadu.

4 Výsledky

4.1 Rozdíly mezi ukazateli při použití různých časových intervalů

Byly vypočítány rozdíly mezi ukazateli získanými s použitím časových intervalů obvyklých v Evropě a českých časových intervalů (tabulka 2). Statistické analýzy ukazují, že se výsledné hodnoty ukazatelů vzájemně liší, výjimku tvoří dvojice ukazatelů $L_{Aeq,15h}$ a $L_{Aeq,16h}$, která se neliší. Rozdíly jsou větší u ukazatelů, které se vztahují k noční době.

Tabulka 2: Rozdíly mezi hodnotami hlukových ukazatelů při použití časových intervalů obvyklých v Evropě a v České republice

	min.	medián	max.	průměr	statistická významnost
$L_{d1} - L_{d2}$	-0,61	-0,04	0,56	-0,044	$p < 0,001$
$L_{v1} - L_{v2}$	-4,52	-1,21	0,19	-1,243	$p < 0,001$
$L_{n1} - L_{n2}$	0,10	1,49	4,13	1,569	$p < 0,001$
$L_{Aeq,15h} - L_{Aeq,16h}$	-0,43	0,00	0,18	-0,004	$p = 0,86$
$L_{Aeq,9h} - L_{Aeq,8h}$	0,26	1,39	4,03	1,506	$p < 0,001$
$L_{dvn1} - L_{dvn2}$	-0,04	0,53	1,86	0,542	$p < 0,001$
$L_{dn1} - L_{dn2}$	0,41	0,97	2,42	1,016	$p < 0,001$

1 časové intervaly obvyklé v Evropě 2 časové intervaly v ČR

prokázány statisticky významné rozdíly mezi ukazateli

4.2 Rozdíly mezi ukazateli L_{dvn} a L_{dn}

Byly vypočítány rozdíly mezi ukazateli L_{dvn} a L_{dn} , výsledky ukazuje tabulka 3. Průměrný rozdíl mezi ukazateli L_{dvn} a L_{dn} byl větší při použití českých časových intervalů než při použití časových intervalů obvyklých v Evropě.

Rozdíly mezi ukazateli byly zkoumány i pro některé dílčí situace, tyto analýzy byly provedeny pouze pro české časové intervaly. Rozdíl mezi ukazateli se nepatrně lišil podle toho, zda šlo o menší nebo větší města (hranice 50 000 obyvatel) nebo podle typu komunikace (tranzitní nebo průjezdní v obytné zástavbě). Pro úplnost jsou v tabulce 3 uvedeny i hodnoty pro koncové komunikace, které však vycházejí pouze z malého počtu měření.

Dále bylo zkoumáno, zda rozdíl mezi ukazateli L_{dvn} a L_{dn} závisí na rozdílu mezi ukazateli $L_{Aeq,16h}$ a $L_{Aeq,8h}$. To vychází z úvahy, že v průběhu večera hladina hluku klesá z denní hodnoty směrem k noční hodnotě. Pokud se denní a noční hluk od sebe liší jen málo, dá se předpokládat, že i večerní hluk se od těchto hodnot odlišuje málo. Tato úvaha by ovšem neplatila, pokud by provoz na komunikaci byl ovlivněn lokálními podmínkami, které by způsobily skokový vývoj hluku a časové špičky, především ve večerních hodinách.

Bylo zjištěno, že rozdíl mezi L_{dvn2} a L_{dn2} roste s rostoucím rozdílem mezi celodenním a nočním hlukem ($L_{Aeq,16h} - L_{Aeq,8hod}$) viz tab. 3.

Tabulka 3: Rozdíly mezi hodnotami hlukových ukazatelů L_{dvn} a L_{dn} [dB]

		počet lokalit / měření	min.	medián	max.	průměr
$L_{dvn1} - L_{dn1}$	celý soubor, evropské intervaly	24 / 120	-0,07	0,15	1,01	0,171
$L_{dvn2} - L_{dn2}$	celý soubor, české intervaly	24 / 120	0,19	0,63	1,69	0,645
	města do 50 000 obyvatel	8 / 48	0,28	0,59	1,69	0,638
	města nad 50 000 obyvatel	16 / 72	0,19	0,64	0,98	0,648
	tranzitní komunikace	114 / 72	0,28	0,61	1,69	0,624
	průjezdni v obytné zóně	8 / 40	0,37	0,64	1,02	0,682
	koncové komunikace	2 / 8	0,19	0,72	0,91	0,655
	rozdíl $L_{Aeq,16h}$ a $L_{Aeq,8hod} < 5$ dB	11 / 29	0,19	0,48	0,68	0,489
	rozdíl $L_{Aeq,16h}$ a $L_{Aeq,8hod}$ 5-8 dB	22 / 58	0,37	0,63	1,08	0,651
rozdíl $L_{Aeq,16h}$ a $L_{Aeq,8hod} \geq 8$ dB	11 / 33	0,56	0,73	1,69	0,772	

L_{dvn1}, L_{dn1} časové intervaly obvyklé v Evropě

L_{dvn2}, L_{dn2} časové intervaly v ČR

4.3 Porovnání různých metod odhadu L_{dvn}

Ukazatel L_{dvn} byl odhadnut z ukazatele L_{dn} za použití různých metod odhadu a výsledek tohoto odhadu byl porovnán s přímo vypočítanou hodnotou L_{dvn} . Tyto analýzy byly prováděny pouze pro ukazatele s českými časovými intervaly. Byl použit jednak odhad pomocí koeficientů (viz kapitola 3.2), přičemž jako koeficient byla použita hodnota 0,485 doporučená v publikaci Guski et al [2] a dále námi zjištěné průměrné hodnoty rozdílu mezi L_{dvn} a L_{dn} pro celý soubor a pro některé dílčí situace (viz tab. 3). Do srovnání byly také zařazena další metody odhadu popsané v kapitole 3.2. - metoda podle Bite a Bite [1] a odhad pomocí dvojího dosazení hodnoty $L_{Aeq,16h}$ do vzorce pro výpočet L_{dvn} . Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.

Nejmenší a statisticky nevýznamný rozdíl mezi odhadnutými a přímo vypočítanými hodnotami ukazatele L_{dvn} byl zjištěn při odhadu pomocí námi stanoveného koeficientu 0,645. To je očekávaný výsledek, protože koeficient byl získán ze stejných dat, na kterých byl později testován. Při použití ostatních metod se odhadnuté hodnoty liší statisticky významně od přímo vypočítaných.

Tabulka 4. Rozdíly mezi odhadnutými a přímo vypočítanými hodnotami ukazatele L_{dvn} , celý soubor

Odhadnutý ukazatel	Rozdíl odhad - skutečnost* [dB]				statistická významnost (p)	směrodatná odchylka (SD)	Poznámka
	min.	medián	max.	průměr			
L_{dvn30}	-1,20	-0,14	0,29	-0,16	< 0,001	0,18	koeficient 0,485 [2]
L_{dvn40}	-0,27	0,33	1,14	0,35	< 0,001	0,32	vzorec Bite [1]
L_{dvn50}	-0,41	0,36	0,82	0,36	< 0,001	0,18	dvojí dosazení
L_{dvn60}	-1,04	0,02	0,45	0,00	0,33	0,18	koeficient 0,645

* Rozdíl mezi odhadnutou a přímo vypočítanou hodnotou ukazatele, české časové intervaly

Prokázané statisticky významné rozdíly

Jednotlivé metody odhadu byly testovány také v dílčích situacích – ve větších a menších městech (hranice 50 000 obyvatel) a u různých typů komunikací (tranzitní a průjezdní v obytné zóně). Koncové komunikace nebyly testovány kvůli jejich malému zastoupení ve sledovaném souboru. Zjištěné rozdíly mezi odhadnutými a přímo vypočítanými hodnotami jsou uvedeny v tabulce 5

Tabulka 5: Rozdíly mezi odhadnutými a přímo vypočítanými hodnotami ukazatele L_{dvn} podle velikosti města a typu komunikace

Odhadnutý ukazatel	Města do 50 000 obyvatel		Města nad 50 000 obyvatel		Tranzitní		Průjezdní v obytné zóně		pozn.
	průměrný rozdíl*	významnost	průměrný rozdíl*	významnost	průměrný rozdíl*	významnost	průměrný rozdíl*	významnost	
L_{dvn30}	-0,16	p < 0,001	-0,16	p < 0,001	-0,14	p < 0,001	-0,20	p < 0,001	koeficient 0,485 [2]
L_{dvn40}	0,34	p < 0,001	0,36	p < 0,001	0,30	p < 0,001	0,41	p < 0,001	vzorec Bite [1]
L_{dvn50}	0,35	p < 0,001	0,36	p < 0,001	0,34	p < 0,001	0,37	p < 0,001	dvojí dosazení
L_{dvn60}	0,00	p=0,27	0,00	p=0,81	0,02	p=0,01	-0,04	p=0,31	koeficient 0,645

* Rozdíl mezi odhadnutou a přímo vypočítanou hodnotou ukazatele [dB], české časové intervaly

Prokázané statisticky významné rozdíly

Z tabulky vyplývá, že námi stanovený koeficient 0,645 je použitelný pro větší i menší aglomerace a pro průjezdní komunikace v obytné zóně, ale pro tranzitní komunikace byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi odhadnutou a přímo vypočítanou hodnotou. Lepší výsledky byly dosaženy při použití upraveného koeficientu pro tranzitní komunikace 0,624 (průměrná odchylka od přímo vypočítaných hodnot 0,00). Hodnoty odhadnuté ostatními metodami se statisticky významně liší od hodnot přímo vypočítaných ve všech dílčích podskupinách.

Metody odhadu L_{dvn} byly testovány také v závislosti na časovém průběhu hluku, konkrétně na poklesu hluku v nočních hodinách ($L_{Aeq,8h}$) ve srovnání s hodnotami pro celou denní dobu ($L_{Aeq,16h}$). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6: Rozdíly mezi odhadnutými a přímo vypočítanými hodnotami ukazatele L_{dvn} podle velikosti nočního poklesu hluku ve srovnání s celou denní dobou ($L_{Aeq,16h} - L_{Aeq,8h}$)

Odhadnutý ukazatel	Rozdíl $L_{Aeq,16h} - L_{Aeq,8h}$	Rozdíl odhad - skutečnost* [dB]				statistická významnost (p)	směrodatná odchylka (SD)	poznámka
		min.	medián	max.	průměr			
L_{dvn30}	< 5 dB	-0,19	0,00	0,29	0,00	0,80	0,12	koeficient 0,485 [2]
	5 - 8 dB	-0,60	-0,14	0,11	-0,17	< 0,001	0,13	
	≥ 8 dB	-1,20	-0,24	-0,07	-0,29	< 0,001	0,21	
L_{dvn40}	< 5 dB	-0,19	0,03	0,23	0,02	0,53	0,12	vzorec Bite [1]
	5 - 8 dB	-0,27	0,32	0,65	0,32	< 0,001	0,21	
	≥ 8 dB	-0,17	0,67	1,14	0,70	< 0,001	0,25	
L_{dvn50}	< 5 dB	0,09	0,28	0,45	0,25	< 0,001	0,11	dvojí dosazení
	5 - 8 dB	-0,14	0,37	0,55	0,33	< 0,001	0,14	
	≥ 8 dB	-0,41	0,49	0,82	0,48	< 0,001	0,23	
L_{dvn60}	< 5 dB	-0,03	0,16	0,45	0,16	< 0,001	0,12	koeficient 0,645
	5 - 8 dB	-0,44	0,02	0,27	-0,01	0,60	0,13	
	≥ 8 dB	-1,04	-0,08	0,09	-0,13	< 0,001	0,21	
L_{dvn70}	< 5 dB	-0,19	0,01	0,30	0,00	0,91	0,12	koeficient 0,489
L_{dvn80}	5 - 8 dB	-0,43	0,02	0,28	0,00	0,39	0,13	koeficient 0,651
L_{dvn90}	≥ 8 dB	-0,91	0,04	0,21	0,00	0,32	0,21	koeficient 0,772

* Rozdíl mezi odhadnutou a přímo vypočítanou hodnotou ukazatele, české časové intervaly

Prokázané statisticky významné rozdíly

Při malém rozdílu hodnot hluku mezi celou denní dobou a noční dobou ($L_{Aeq,16h} - L_{Aeq,8h} < 5$ dB) jsou použitelné metody odhadu pomocí koeficientu 0,485 (Guski et al [2]) i výpočet podle Bite [1]. Z našich dat vyplývá pro tyto situace koeficient 0,489, který je téměř totožný s výše uvedeným koeficientem. Při použití těchto metod se odhadnuté hodnoty neliší statisticky významně od přímo vypočítaných a směrodatná odchylka hodnot je relativně malá. Odhad tedy lze považovat za poměrně přesný.

Pro situace s rozdílem $L_{Aeq,16h} - L_{Aeq,8h}$ 5 - 8 dB se ukazuje jako použitelná metoda odhadu pomocí koeficientů. Lze použít koeficient 0,645 (vychází z našeho celého souboru dat) popř. koeficient 0,651 (pro tuto podskupinu dat). Výsledky odhadu pomocí ostatních metod se statisticky významně liší od přímo vypočítaných hodnot.

Při velkém rozdílu mezi celou denní dobou a noční dobou ($L_{Aeq,16h} - L_{Aeq,8h} \geq 8$ dB) se výsledky odhadu statisticky významně liší od přímo vypočítaných hodnot u všech metod s výjimkou odhadu pomocí koeficientu 0,772, který byl stanoven pro tuto podskupinu dat. Ale odhad je třeba považovat za méně spolehlivý, což ukazuje vyšší směrodatná odchylka hodnot.

Pro úplnost jsme také prozkoumali jednotlivá měření, při kterých se odhadnuté hodnoty nejvíce odchylojí od přímo vypočítaných. Prvním takovým případem je měření z lokality JN Němcové z jara 2011, při kterém byly zjištěny hodnoty L_d 60 dB, L_v 62 dB a L_n 51 dB. Hluk večer je tedy vyšší než v průběhu dne. Za této situace je hodnota L_{dvn6} (odhadnutá za pomoci koeficientu 0,645) o 1dB nižší než přímo vypočítaná hodnota L_{dvn} . Naopak u měření v lokalitě ČB Schneidera z jara 2009 zjistilo L_d 50 dB, L_v 44 dB a L_n 46 dB. Hluk večer je tedy nižší než v noci. Hodnota L_{dvn6} je o 0,5 dB vyšší než skutečná hodnota. V obou případech neplatí předpoklad, že hluk v průběhu večera plynule klesá z vyšších denních hodnot na nižší noční. Odhad L_{dvn} je v těchto situacích nespolehlivý.

5 Diskuse

Výpočet hlukových ukazatelů za použití českých a evropských časových intervalů přináší rozdílné výsledky. To vede k opatrnosti při přejímání převodních koeficientů mezi ukazateli ze zahraničí.

Námi zjištěný průměrný rozdíl mezi ukazateli L_{dvn} a L_{dn} (převodní koeficient) je 0,645 dB a je vyšší než by odpovídalo dosud publikovaným převodním koeficientům pro odhad L_{dvn} . Z těchto koeficientů se naše výsledky více blíží novějšímu 0,485 podle Guski 2017 ^[2] nežli dříve navrhovaným koeficientům pro hluk ze silniční dopravy 0,2 dB ^[6] popřípadě 0,3 dB ^[4]. Nejlepší shoda s dříve publikovanými koeficienty byla dosažena v podskupině dat s malým rozdílem hodnot hluku mezi celou denní dobou a noční dobou ($L_{Aeq,16h} - L_{Aeq,8h} < 5$ dB). Námi zjištěný koeficient pro tuto podskupinu dat 0,489 je prakticky totožný s koeficientem podle Guski ^[2]. Dobré výsledky v této situaci přináší i postup podle Bite ^[1], který je však složitější. Je možné, že autoři těchto způsobů odhadu měli k dispozici data, která obsahovala měření s menším rozdílem hluku mezi celou denní a noční dobou. V našem souboru naopak tyto měření představovaly jen asi čtvrtinu všech provedených měření. Platnost námi zjištěných převodních koeficientů by proto bylo vhodné ověřit na dalších datech.

Základní podmínkou pro použití odhadu L_{dvn} na základě L_{dn} je plynulý průběh hladin akustického tlaku během 24 hodin. Odhad je úspěšnější v případech, kdy vyšší denní hladiny akustického tlaku v průběhu večera plynule klesají k nižším nočním hladinám. Pokud tento scénář není dodržen, odhadovaná hodnota se více liší od přímo vypočítané. Největší námi zaznamenaná chyba odhadu za pomoci koeficientu 0,645 byla 1 dB a byla zaznamenána za situace, kdy hluk večer byl vyšší než v průběhu dne. Je třeba podotknout, že ostatní měření v této lokalitě měly normální průběh a odchylka odhadované hodnoty od přímo vypočítané byla malá. Výskyt neobvyklé situace nebylo možné předvídat. To upozorňuje na skutečnost, že odhad vždy přináší určitou míru nejistoty. Nespolehlivost odhadu je také potřeba předpokládat v případech, kdy časový průběh hluku není plynulý, ale vyznačuje se špičkami způsobenými lokálními změnami dopravy. Nespolehlivost v těchto situacích nebylo možné dokumentovat na našich datech, protože lokality s tímto charakterem hlukové zátěže nejsou zařazeny do monitoringu hluku.

6 Závěry

Byly zkoumány možnosti odhadu ukazatele L_{dvn} na základě L_{dn} a nejistoty vyplývající z tohoto odhadu. Byl zjištěn průměrný rozdíl mezi ukazateli L_{dvn} a L_{dn} pro celý soubor dat 0,645 dB. Tato hodnota může sloužit jako převodního koeficientu pro odhad L_{dvn} ($L_{dvn} \approx L_{dn} + k$). Takto odhadnuté hodnoty se nelišily statisticky významně od přímo vypočítaných a největší zaznamenaná odchylka byla 1 dB. Platnost nového koeficientu pro odhad by bylo třeba ověřit i na jiných výsledcích měření než je soubor dat, který sloužil k jeho stanovení. Teprve potom by bylo možné uvažovat o jeho používání v praxi.

Vztah mezi ukazateli L_{dvn} a L_{dn} závisí především na velikosti poklesu akustického tlaku mezi celou denní dobou a noční dobou ($L_{Aeq,16h} - L_{Aeq,8h}$). Pokud je tento rozdíl menší než 5 dB, byl koeficient pro odhad stanoven na 0,489 dB, což odpovídá koeficientu 0,485 dB podle Guski 2017^[2]. Naše analýzy tedy potvrdily použitelnost tohoto koeficientu v situacích kdy $L_{Aeq,16h} - L_{Aeq,8h} < 5$ dB. Podmínkou pro použití odhadu L_{dvn} však zůstává posouzení, zda je dodržen plynulý průběh hladin akustického tlaku během 24 hodin s poklesem denních hodnot směrem k hodnotám nočním a bez výkyvů způsobených lokálními vlivy. Proto je nutné vždy se seznámit s lokální situací.

Literatura

- [1] Bite M., Bite P.Z. Zusammengang zwischen den Strassenverkehrsindizes $L_{Aeq(06-22)}$ und $L_{Aeq(22-06)}$ sowie L_{den} . Zeitschrift für Lärmbekämpfung. 2004 Jan; 51 (1): 27 - 28
- [2] Guski R, Schreckenber D, Schuemer R. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2017 Dec; 14: 1-39
- [3] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. Official Journal of the European Communities. 2002. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html>. Český ekvivalent Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2002/49/ES ze dne 25. června 2002 o hodnocení a snižování hluku ve venkovním prostředí.
- [4] Good practice guide on noise exposure and potential health effects, EEA, Copenhagen, Denmark: 2010. ISBN 978 92 9213 140 1
- [5] Miedema HME, Vos H. Exposure-response relationships for transportation noise. Journal of the Acoustical Society of America, 1998 Dec; 104 (6): 3432 - 3445
- [6] Miedema HME, Oudshoorn CGM. Annoyance from transportation noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals. Environmental Health Perspectives, 2001 Apr; 109:409 - 416
- [7] Ministerstvo zdravotnictví. Hlukové mapy. <http://www.mzcr.cz/hlukovemapy/>
- [8] Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů. Sbírka zákonů 272/2011. http://hluk.nrl.cz/Home/Page/hlukova_legislativa_nrl
- [9] Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí, subsystém III „Zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku“ – odborné zprávy. SZÚ Praha <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/odborne-zpravy>

- [10] Vyhláška, kterou se stanoví mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet, základní požadavky na obsah strategických hlukových map a akčních plánů a podmínky účasti veřejnosti na jejich přípravě (vyhláška o hlukovém mapování). Sbírka zákonů 523/2006. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra 2006. ISSN 1211-1244