Predikcia hlukovej expozície osádky bojových vozidiel

Hovorka Jaroslav[1], Marko Martin[2]

Abstrakt:

V príspevku je rozoberaná otázka vplyvu hluku na ľudský organizmus, ktorý je potrebné vziať do úvahy z pohľadu ochrany zdravia. Spravidla je uprednostňovaný vplyv elektromagnetických polí a ostatné vplyvy, ako je hluk pracovného prostredia, sú neprávom zanedbávané. Tento príspevok je zameraný špecificky na oblasť nepriaznivého pôsobenia hlukov v mobilných bojových prostriedkoch.

V mobilných bojových prostriedkoch sú členovia osádky vystavení pôsobeniu hluku, a to nepretržite počas celej doby vedenia bojovej činnosti. Z uvedeného dôvodu sa v týchto prostriedkoch používajú na zaistenie komunikácie vnútorné hovorové zariadenia. Ich neoddeliteľnou súčasťou sú náhlavné hovorové súpravy jednotlivca, ktoré okrem pripojenia na vnútorné hovorové zariadenie, musia zaistiť veľmi vysoké potlačenie hluku okolia, a tak chrániť sluch členov posádky. Vďaka novým technológiám sú dnes k dispozícii náhlavné hovorové súpravy, ktoré umožňujú veľmi vysoké potlačení hluku okolia a zabezpečujú tak prijateľné pracovné prostredie pre členov osádky.

Náhlavné hovorové súpravy môžu výrazným spôsobom prispieť k ochrane zdravia a sluchu osádky v starších bojových vozidlách, ale aj novo konštruovaných moderných vozidlách. Pri hodnotení a výbere náhlavných súprav je nutné vypracovať metodiku posúdenia hlukovej záťaže, ktorej je posádka počas operačnej činnosti vystavená.

1 Hluk vo vojenských vozidlách

Bojové pásové vozidlá vytvárajú pri svojom operačnom nasadení hluk, ktorý leží v počuteľnom spektre, predovšetkým vo frekvenčnom pásme od 63 Hz do 8000 Hz a ktorého úrovne hladín akustického tlaku dosahujú v oktávach 63 a 125 Hz bežne hodnotu 117 dB. Tento hluk je vytváraný motorom, vlastným pohybom vozidla a zbraňovými systémami inštalovanými na vozidle.

Tieto hluky následne vstupujú rovnako do komunikačných systémov cez mikrofóny, ako aj cez konštrukciu náhlavných hovorových súprav priamo do uší členov osádky, a tak môžu výrazným spôsobom degradovať ich sluchový orgán ak náhlavná súprava nezabezpečí dostatočné potlačenie hluku okolia.

Jedným z nevyhnutných faktorov na hodnotenie hlučnosti zo zdravotného hľadiska je čas (doba) expozície hlukom [1].

2 Náhlavné hovorové súpravy na potlačenie hluku okolia

Z prakticky vykonaných meraní v rôznych pásových bojových vozidlách vyplýva, že spektrum hluku v nich je veľmi podobné. Pre správnu funkciu náhlavnej súpravy z hľadiska zabezpečenia dostatočného potlačenia hluku je nutné zaistiť dostatočné potlačenie hluku práve vo frekvenčných pásmach, v ktorých hladiny akustického tlaku dosahujú najvyššie hodnoty.

[1] MESIT přístroje spol. s.r.o., Uherské Hradiště
[2] Katedra elektroniky, Akadémia ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika, Liptovský Mikuláš

Dostatočné potlačenie hluku v celom frekvenčnom pásme je možné dosiahnuť vhodným riešením konštrukcie náhlavnej súpravy a kombináciou pasívneho a aktívneho potlačenia hluku. Pasívne potlačenie je dané len konštrukciou vlastnej náhlavnej súpravy, použitými materiálmi a dokonalým kontaktom nasadenej súpravy s hlavou. Nasadená súprava musí dokonale utesniť priestor okolo uší operátora. Dosahuje sa to vhodnou konštrukciou naušníkov a upínacieho systému. V praxi však musíme nájsť kompromis medzi hodnotou pasívneho útlmu a prítlačnou silou pôsobiacou na hlavu. V prípade, že nie je zaistený tento tesný kontakt je podstatne degradované tlmenie súpravy a to predovšetkým na frekvenciách do 500 Hz.

Aktívne potlačenie hluku okolia tzv. systém ANR (*Active Noise Reduction*) je elektronický systém, ktorý pomocou obvodu spätnej väzby zabezpečuje ďalšie potlačenie hluku. Princíp činnosti je založený na snímaní hluku prenikajúceho z okolia priamo k ušiam a následným odčítaním tohto hluku v obvode spätnej väzby od vstupného signálu. Systém ANR prináša dodatočné tlmenie hlavne na nižších frekvenciách približne do 500 Hz, kde sú hodnoty pasívneho tlmenia malé, a tak tento systém výrazne prispieva k podstatnému zvýšeniu tlmenia v dolnom pásme akustických frekvencií.

3 Odhad akustického tlaku za nasadenou náhlavnou súpravou

Základným parametrom náhlavných súprav z hľadiska zabezpečenia potlačenia hlukov vo vozidle je frekvenčná charakteristika tlmenia súpravy, teda údaj o hodnote tlmenia súpravy v jednotlivých oktávových pásmach. Na účely hodnotenia súprav má zmysel definovať tlmenie v oktávach so strednými frekvenciami od 63 Hz do 8 000 Hz.

Na ohodnotenie skutočnej hlukovej záťaže, ktorej je vystavená osoba (člen osádky) je potrebné poznať hladinu akustického tlaku A (t.j. hladinu akustického tlaku s implementovanou korekčnou váhovou krivkou A) za nasadenou náhlavnou súpravou. Vykonanie presných exaktných meraní na objekte (bojovom vozidle) v reálnych podmienkach, je často veľmi problematické. Okrem iných dôvodov je tu aj vysoké riziko zničenia meracích prístrojov, napr. simulátora hlavy a torza. Preto sa spravidla pristupuje k metóde kvalifikovaného odhadu hladín akustického tlaku (A) za nasadenou súpravou.

Tento odhad je možné uskutočniť podľa normy EN ISO 4896-2 (prevzaté do STN, ČSN), ktorá definuje tri meracie metódy:

- oktávových pásiem,
- SNR,
- HML.

Nedostatkom všetkých troch metód je skutočnosť, že hodnotia náhlavnú súpravu len ako chránič sluchu a neuvažujú skutočnosť, že jej súčasťou je na rozdiel od chrániča aj reproduktor generujúci akustický signál.

S ohľadom na skutočnosť, že v bojových vozidlách je spojenie nadväzované vždy len na veľmi krátku dobu, je možné tieto metódy na daný účel s dostatočnou presnosťou aplikovať a vplyv signálu vnútorného hovorového zariadenia "*interkomu*" pri tomto hodnotení zanedbať.

4 Výpočet hlukovej záťaže

Doba pôsobenia hluku je faktor, ktorý musí byť braný do úvahy pri hodnotení hlučnosti v danom prostredí [1]. Na hodnotenie hlučnosti sa používa pojem „***trvalá ekvivalentná hladina*“,** čo je v podstate stredná energetická hodnota (A).

Táto rešpektuje aj mieru škodlivosti narastajúcich hladín na zdravotné účely. Je definovaná pre celkovú dobu expozície hluku (merania) za čas T pri pôsobení akustického tlaku L_i [dB] vždy počas doby t_i.

Platí [1]

$$L_q = \frac{q}{\log 2}.\log\left(\frac{1}{T}.\sum_{i=1}^{n}\left(t_i.10^{\frac{L_i}{q}.\log 2}\right)\right) \quad , \qquad (1)$$

kde q je tzv. koeficient polenia, ktorý udáva prípustný nárast hladiny akustického tlaku, ak sa skráti doba pôsobenia hluku na polovicu, aby tento hluk vyvolal na človeku rovnaké účinky.

Pri hodnotení hlučnosti sa najčastejšie používa hodnota koeficientu polenia q = 3. Dôvodom je skutočnosť, že maximálna trvalá hladina akustického tlaku pre plnú regeneráciu organizmu je pri 8 hodinovej expozícii pri uvážení 24 hodinového biologického cyklu 85 dB (A). Táto hodnota 85 dB (A) je všeobecne považovaná z hygienického hľadiska za prijateľnú. Pre tieto podmienky pri hodnotení váhovým filtrom A je používaný termín ***hluková expozícia***, alebo ***hluková záťaž.***

Potom pre hlukovú záťaž platí

$$L_3 = 10.\log\left(\frac{1}{T}.\sum_{i=1}^{n}\left(t_i.10^{\frac{L_i}{10}}\right)\right) \qquad [dB(A)] \; . \qquad (2)$$

Vzťah (2) umožňuje predikciu hlukovej záťaže osádky.

5 Hluková záťaž osádky vozidla s vybranými náhlavnými súpravami

V rámci hodnotenia hlukovej záťaže na členov osádky bojového vozidla boli vykonané merania hluku na konkrétnych pásových vozidlách v zhode s normou ČSN (STN) ISO 4869-2 metódou oktávových pásiem. Bol vykonaný kvalifikovaný odhad hladiny akustického tlaku A za nasadenou náhlavnou súpravou. Dôraz bol položený na dve náhlavné hovorové súpravy VICM 180.C a VICM 180.A z produkcie MESIT prístroje spol. s r.o. Boli určené hlukové záťaže, ktorým sú vystavení členovia osádky vozidla v reálnej osemhodinovej prevádzke.

Obr. 1 Moderné riešenie pre rozšírené vnútorné hovorové zariadenia radu R - 124 – náhlavná hovorová súprava VICM 180.C.

Obr. 2 VICM 180.A – hovorová súprava jednotlivca vybavená aktívnym potlačením hluku

VICM 180.C je súprava určená na plnohodnotné pripojenie k vnútornému hovorovému zariadeniu radu R 124 a R174. Pretože toto hovorové zariadenie nepodporuje pripojenie súpravy so systémom aktívneho potlačenia hluku (ANR), ide teda o súpravu pasívnu, kde je celkové tlmenie dosahované výhradne vhodnou konštrukciou a použitým materiálom.

Hovorová súprava VICM 180.A je elektroakustická súprava vybavená obvodmi pre aktívne potlačení hluku a umožňuje plnohodnotné pripojenie k moderným vnútorným hovorovým zariadeniam podporujúcich pripojenie súprav s ANR.

Na správny odhad hladín akustického tlaku za nasadeným chráničom, resp. náhlavnou súpravou je nutné podľa ISO 4869-2 poznať charakteristiky tlmenia náhlavných súprav v oktávových pásmach. Okrem toho je nevyhnutné poznať hladiny akustického tlaku v jednotlivých oktávových pásmach v bojovom prostriedku. Na tento účel bol vykonaný celý rad meraní vo vnútri bojových vozidiel pechoty v najrôznejších pracovných režimoch.

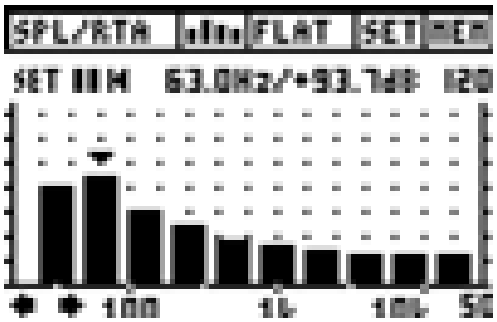
V oktávových pásmach so strednými frekvenciami 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 a 8000 Hz boli namerané hladiny akustického tlaku vo vnútri pásového bojového vozidla. Z hľadiska zaistenia maximálnej serióznosti a správnej interpretácie nameraných výsledkov bolo vo vozidle vykonané meranie aj v pokoji „*na mieste*“ s naštartovaným motorom, a tak isto vo vozidle pri pohybe pri rôznych rýchlostiach.

Vozidlo sa pohybovalo v stredne ťažkom teréne (mierne zvlnená krajina, hlina, kamenie, voda). V každom režime bolo vykonaných desať nezávislých meraní a z nich bol vybraný typický reprezentant. Jednotlivé merania vykonávané v rovnakom režime (vozidlo na mieste alebo v pohybe) sa od seba výrazne nelíšili.

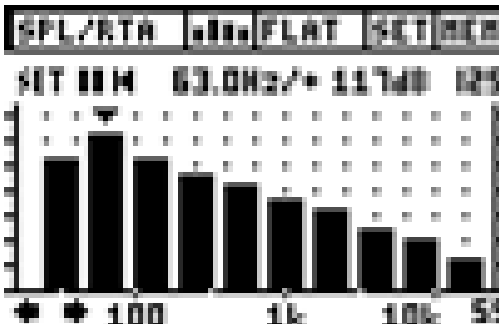
V rámci ďalších výpočtov bol uvažovaný typický priebeh nameraný vo vozidle pohybujúcom sa v danom teréne rýchlosťou 40 km/h.
Na obr. 3 sú uvedené typické hodnoty hladín akustického tlaku odmerané na pásovom vozidle s naštartovaným motorom na mieste. Hodnoty akustického tlaku dosahujú až cca 94 dB v oktávovom pásme so strednou frekvenciou 63 Hz. Meranie bolo vykonané bez korekčnej váhovej krivky – režim FLAT.

Na obr. 4 sú uvedené typické hodnoty hladín akustického tlaku pre to isté bojové vozidlo pohybujúce sa rýchlosťou 40 km/hod. Je tu viditeľný nárast hodnôt akustického tlaku až na hodnoty dosahujúce 117 dB v oktávovom pásme so strednou frekvenciou 63 Hz. Meranie bolo vykonané bez zaradenia korekčnej váhovej krivky. Bola teda meraná skutočná hodnota hladiny akustického tlaku.

Všetky experimentálne merania potvrdzujú skutočnosť, že veľmi vysoké úrovne hladín akustického tlaku (117 dB) sú dosahované hlavne na nízkych frekvenciách. Ide predovšetkým o oktávové pásma so strednými frekvenciami 63 a 125 Hz.



Obr. 3 Hodnoty hladín akustického tlaku v pásovom vozidle (merané s naštartovaným vozidlom na mieste)



Obr. 4 Hodnoty hladín akustického tlaku v pásovom vozidle(merané s naštartovaným motorom, vozidlo v pohybe, rýchlosť 40 km/h)

Odmerané a vypočítané hodnoty sú uvedené v tabuľke 1. V rámci hodnotenia hlučnosti bola aplikovaná frekvenčná váhová krivka „A“ definovaná v IEC 651. Frekvenčne vážené hodnoty hladín akustického tlaku $L_{dBA,\ k}$ sú pre jednotlivé oktávy tak isto uvedené v tabuľke 1.

Od frekvenčne váženej hodnoty boli následne odpočítané hodnoty tlmenia jednotlivých náhlavných súprav $ATT_{VICM180.C,\ k}$ a $ATT_{VICM180.A,\ k}$, ktoré boli odmerané laboratórne v jednotlivých oktávových pásmach. Výsledkom sú konkrétne odhadnuté hodnoty hladín akustického $L_{VICM180.C,\ k}$ a $L_{VICM180.C,\ k}$ za nasadenou hlavovou súpravou pre jednotlivé oktávové pásma.

Tabuľka 1 Výpočet hodnoty hladiny akustického tlaku A za nasadenou hlavovou súpravou

k	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_{okt,k}$ [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{dB,k}$ [dB]	117,0	110,0	104,0	96,0	92,0	88,0	80,0	75,0
A_k [dB(A)]	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1
$L_{dBA,k}$ [dB(A)]	90,8	93,9	95,4	92,8	92,0	89,2	81,0	73,9
$ATT_{VICM180.C,k}$ [dB]	6,0	10,0	18,0	28,0	30,0	37,0	38,0	40,0
$ATT_{VICM180.A,k}$ [dB]	15,0	21,0	28,0	30,0	33,0	37,0	38,0	40,0
$L_{VICM180.C,k}$ [dB(A)]	84,8	83,9	77,4	64,8	62,0	52,2	43,0	33,9
$L_{VICM180.A,k}$ [dB(A)]	75,8	72,9	67,4	62,8	59,0	52,2	43,0	33,9

k - index označujúci pásmo
$f_{okt,k}$ - stredná frekvencia oktávového pásma
$L_{dB,k}$ - hladina akustického tlaku v oktávových pásmach odmeraná na vozidle pri rýchlosti 40 km/h
A_k - frekvenčná váhová funkcia A
$L_{dBA,k}$ hladina akustického tlaku v oktávových pásmach po korekcii frekvenčnou váhovou funkciou A, platí: $L_{dBA} = L_{dB,k} + A_k$
$ATT_{VICM180.C,k}$ - odmeraná charakteristika tlmenia hlavovej hovorovej súpravy VICM180.C
$ATT_{VICM180.A,k}$ - odmeraná charakteristika tlmenia hlavovej súpravy VICM180.A
$L_{VICM180.C,\ k}$ - hladina akustického tlaku (A) v jednotlivých oktávových pásmach za nasadenou hlavovou súpravou VICM180.C
$L_{VICM180.A,k}$ - hladina akustického tlaku (A) v jednotlivých oktávových pásmach za nasadenou hlavovou hovorovou súpravou VICM180.A.

V zhode s normou ČSN (STN) ISO 4869-2 [2] je aplikovaný vzťah na výpočet celkovej hladiny akustického tlaku

$$L'_{Ax} = 10\log\sum_{k=1}^{8} 10^{0,1(L_{f(k)} + A_{f(k)} + APV_{f(k)x})} \quad , \tag{3}$$

kde f(k) je index predstavujúci strednú frekvenciu oktávového pásma
$L_{f(k)}$ je hladina akustického tlaku v oktávovom pásme
$A_{f(k)}$ sú hodnoty frekvenčnej váhovej funkcie (A) podľa IEC 651 na stredných frekvenciách oktávových pásem
APV f(k)x je predpokladaná hodnota tlmenia náhlavnej súpravy.

V tomto konkrétnom prípade je možné vyššie uvedený vzťah (3) transformovať do podoby

$$L'_{A_VICM180.C} = 10\log\sum_{k=1}^{8} 10^{0,1.L_{VICM180.C,k}} \quad , \tag{4}$$

$$L'_{A_VICM180.A} = 10\log\sum_{k=1}^{8} 10^{0,1.L_{VICM180.A,k}} \quad . \qquad (5)$$

Po dosadení do vzťahov (4) a (5) platí pre celkovú hodnotu akustického tlaku pre obidve hovorové súpravy

$$L'_{A_VICM180.C} = 87{,}8dB(A)$$

$$L'_{A_VICM180.A} = 78{,}2dB(A)$$

Tabuľka 2 Pracovný profil

i	t_i/h	L_i
1	1,5	$L'_{A_VICM180.X}$
2	1,5	$0.95.L'_{A_VICM180.X}$
3	1	$0.90.L'_{A_VICM180.X}$
4	2	$0.85.L'_{A_VICM180.X}$
5	2	$0.80.L'_{A_VICM180.X}$

Na výpočet celkovej hlukovej záťaže je na základe skúseností s činnosťou člena osádky zvolený pracovný profil hluku. Tento profil uvažuje, že člen osádky pracuje v rámci 8 hodinovej pracovnej zmeny 1,5 hodiny v maximálnom hluku, 1,5 hodiny v hluku dosahujúcom 95% maxima, 1 hodinu v hluku dosahujúcom 90% maxima, 2 hodiny v hluku dosahujúcom 85% maxima a ďalšie 2 hodiny v hluku dosahujúcom 80% maxima. Profil je uvedený v tabuľke 2.

Poznámka: X v indexe znamená A nebo C, t.j. vzťahuje sa na typové označenie náhlavnej súpravy.

Dosadením týchto hodnôt do vzťahu (2) dostaneme

$L_3 = 83dB(A) \quad pro VICM180.C$

$L_3 = 73dB(A) \quad pro VICM180.A$

Vidíme, že majoritný podiel na hodnote hluku záťaže majú hodnoty tlmenia náhlavnej súpravy v oktávových pásmach 63, 125 a 250 Hz.

Podstatné zvýšenie celkového tlmenia a teda zmenšenie hluku za nasadenou náhlavnou súpravou je dosiahnuté v súprave VICM 180.A ako priamy následok implementácie systému aktívneho potlačenia hluku, ktorý vnáša prídavné tlmenie práve v týchto kritických oktávových pásmach 63, 125 a 250 Hz.

Pre VICM 180.C je vypočítaná hluková záťaž 83 dB(A) a pre VICM 180.A 73 dB(A). Z medicínskeho hľadiska sa považuje za prijateľnú prahová hodnota 85 dB(A).

6 Záver

Bol vykonaný celý rad hlukomerných meraní v pásových bojových vozidlách. Z reálne nameraných hodnôt hluku je zrejmá skutočnosť, že hladiny akustického tlaku dosahujú veľmi vysoké hodnoty. Hladiny akustického tlaku v oktávovom pásme 63 a 125 Hz pri bežnej činnosti reálne dosahujú hodnotu až 117 dB (extrémne aj až 120 dB). Toto sú práve tie frekvenčné zložky, ktoré sa vo výraznej miere podieľajú na hlukovej záťaži jednotlivých členov osádky bojových vozidiel.

Pri návrhu a konštrukcii náhlavných súprav pre osádky uvedených bojových vozidiel je potrebné túto skutočnosť brať do úvahy a hľadať všetky technicky prijateľné riešenia na zaistenie maximálne možného potlačenia hluku v týchto oktávach. Len tak je možné výrazne prispieť k ochrane sluchu osádky.

Náhlavná hovorová súprava VICM 180.C predstavuje hovorovou súpravu, ktorá podstatným spôsobom prispieva k zvýšeniu komfortu osádky a k zvýšeniu ochrany sluchu aj v spojení s konštrukčne staršími typmi „interkomov“, ktoré nepodporujú pripojenie hovorových súprav s ANR. Je to teda vhodné technické riešenie pre „interkomy“ R 124 a R174, kde poskytuje zvýšenú ochranu sluchu. Je konštruovaná s maximálnou snahou o dosiahnutie čo najväčšieho potlačenia hluku v už uvádzaných kritických oktávach.

Náhlavná hovorová súprava VICM 180.A predstavuje riešenie pre všetky „interkomy“ podporujúce pripojenie ANR súprav. Dosahuje ešte väčšie tlmenie vďaka použitia obvodu aktívneho potlačenia hluku.

Obidve náhlavné hovorové súpravy sú skonštruované s cieľom maximálneho potlačenia hluku v oktávach 63 a125 Hz. To má za následok prijateľnú úroveň hluku pri reálnej prevádzke vozidla. Hluková záťaž osádky je menšia ako 85 dB(A), čo výrazne prispieva k ochrane sluchu osádky pri použití všetkých typov vnútorných hovorových súprav. Samostatnou problematikou je, a tú je potrebné na záver pripomenúť, problém paralelného vplyvu niekoľkých škodlivých faktorov na obsluhu vozidla (elektromagnetické pole, hluk, chemické látky, ...), ktoré je potrebné riešiť v rámci ochrany zdravia osádok predovšetkým vo veliteľko-štábnych rádiových vozidlách a na miestach spojovacích uzlov.

Literatúra

[1] SMETANA C. a kolektiv, Hluk a vibrace, Měření a hodnocení, Sdělovací technika, Praha 1998.
[2] ČSN ISO 4869-2 CHRÁNIČE SLUCHU: Část 2: Odhad hladin akustického tlaku A za nasazeným chráničem sluchu, Český normalizační institut, 1995.

Recenzent článku : Ing. Marián BABJAK, PhD., Katedra Elektroniky,
AOS gen. M. R. Štefánika, 031 01 Liptovský Mikuláš, dňa 3.2.2009.