

613.644:613.693:629.135.423.007

HLUKOVÁ ZÁTĚŽ OSÁDEK VRTULNÍKŮ

Ing. Jiří ŠULC

Ústav leteckého zdravotnictví, Praha
(náčelník plk. MUDr. M. Haňka)

Sbírkou MNO č. 28/70 je Ústav leteckého zdravotnictví (ÚLZ) pověřen činností hlavního dohlédacího orgánu v oblasti leteckého hluku. Akustická laboratoř ÚLZ provádí již řadu let komplexní výzkum, zaměřený na zjištění skutečných hlukových zátěží v leteckém provozu a hledání opatření k jejich snížení. Hlavní pozornost se zaměřuje na případy s největším hlukem a tím i největším rizikem poškození organismu; mezi ně patří i kabiny vrtulníků. Vnitřní hluk vrtulníků je rovněž předmětem stížnosti letců, a proto bylo třeba v tomto problému najít účinná řešení.

Ze souboru nepříznivých účinků hluku je objektivně prokazatelný snad jedině účinek na sluchový orgán, provázený ztrátou ostrosti sly-

šení. V našem případě by však tento jednostranný pohled byl značným zjednodušením. Je třeba mít na zřeteli další hlediska, zahrnující:

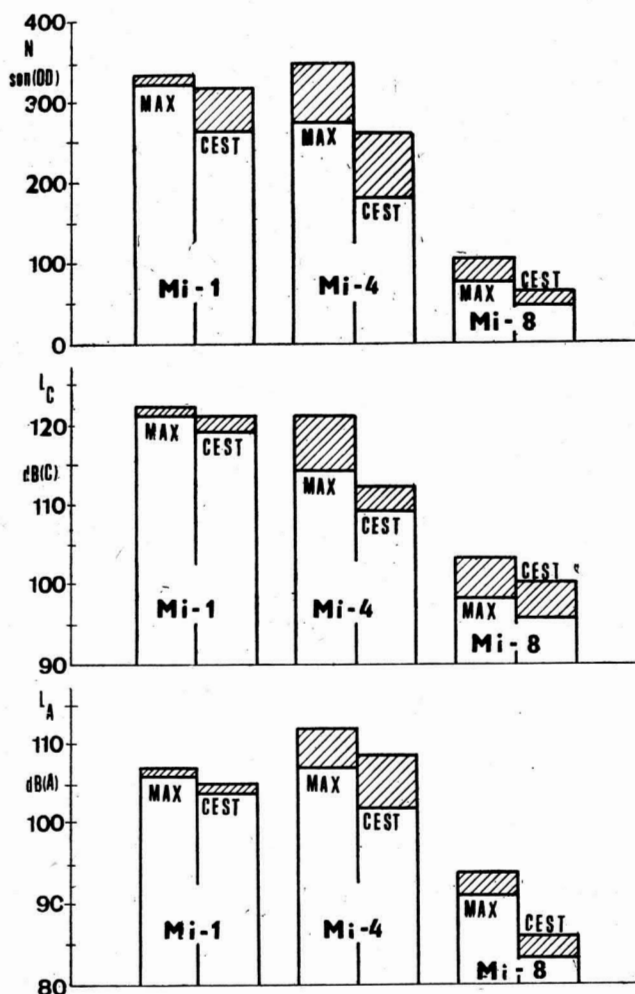
- a) zachování zdraví v daných podmínkách i při dlouholeté službě
- b) bezchybné a přesné jednání během letu, neovlivněné únavou z hluku
- c) zachování dobré srozumitelnosti radiokomunikace v podmínkách vysokého stupně maskování okolním hlukem.

Ponechme si nadále v rezervě zmíněná hlediska b) a c) a věnujme pozornost hlukové zátěži osádek vrtulníků během letu a vnitřnímu hluku vůbec.

Zdroje a charakter vnitřního hluku vrtulníků

Hlukové poměry v kabinách vrtulníků ovlivňuje hlavní měrou základní zdroj zvuku — rotor, v některých případech pak ještě výfuk spalovacího motoru či reduktor. Míra a charakter hluku závisí na pracovním režimu hnací jednotky.

Na obr. 1 jsou uvedeny celkové hladiny L_A , L_C a hlasitost N v kabinách vrtulníků Mi-1, Mi-4, Mi-8 při režimech MAX a CEST, tedy při ustálených letových podmínkách. Režim MAX je vztažen k visebí se zátěží a k letu na maximální režim.



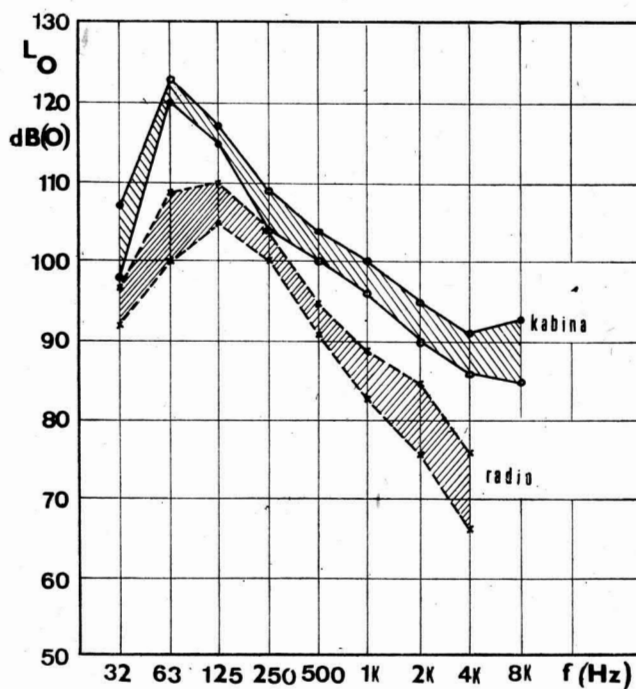
Obr. 1
Porovnání celkových hladin hluku a hlasitosti v pilotních kabinách vrtulníků Mi-1, Mi-4 a Mi-8 při maximálních a cestovních režimech letu

Kmitočtové složení vnitřního hluku při cestovních režimech těchto vrtulníků je na obr. 2 až obr. 4. Podrobnější informace k uvedeným hodnotám viz [10]. Poměrně značné rozptyly naměřených hodnot jsou dány velkým souborem měření.

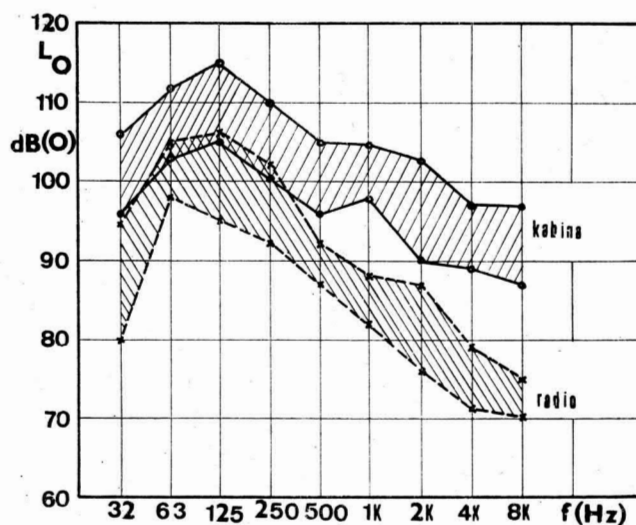
V obrázcích jsou vyneseny také kmitočtové průběhy hluku, změřené za stejných podmínek (CEST), ale s použitím normalizovaného umělého ucha přímo ze sluchátek letecké kukly. Tyto

údaje představují hodnoty vnitřního hluku snížené o tlumící účinek letecké kukly, navíc se zde objevuje vnitřní a atmosférický šum radio-stanice. Pro analýzu byly vybrány vždy úseky bez slovní komunikace.

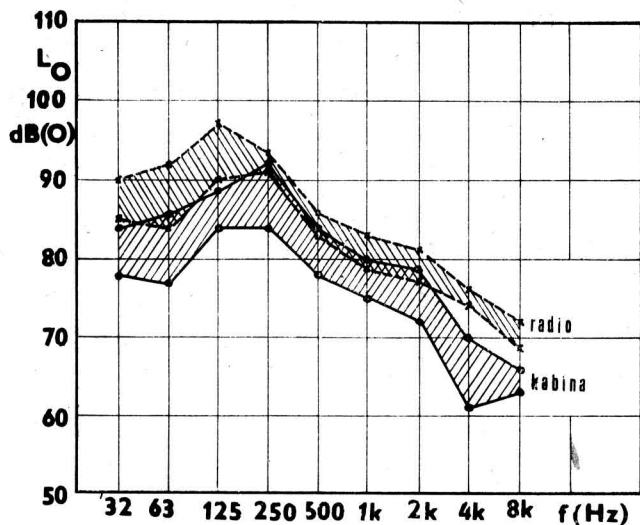
Objektivní údaje z předchozích obrázků jsou základem pro posouzení hlukových poměrů v kabinách vrtulníků a tím i vrtulníků samých. Jsou nejjednodušším výsledkem měření hluku, při němž je třeba dodržet toliko požadavky metodiky, zaručující srovnatelnost podmínek při měření [6]. Další podmínkou je, aby přístroje pro měření a analýzu hluku vyhověly požadavkům ČSN 35 6870 Zvukoměry.



Obr. 2
Kmitočtové složení vnitřního hluku vrtulníku Mi-1 a hluku ze sluchátek bez radiokomunikace; režim: CEST



Obr. 3
Kmitočtové složení vnitřního hluku vrtulníku Mi-4 a hluku ze sluchátek bez radiokomunikace; režim: CEST



Obr. 4
Kmitočtové složení vnitřního hluku vrtulníku Mi-8 a hluku ze sluchátek bez radiokomunikace; režim: CEST

Hluková zátěž jednotlivce

V důsledku změn režimu hnací jednotky během letu se hodnoty vnitřního hluku v poměrně širokém rozsahu mění. Hluková zátěž jednotlivce závisí na celkových hladinách, kmitočtovém složení, časovém průběhu a době působení hluku, v dalším pak na útlumovém účinku použité letecké kukly a na nastavení zesílení radiostanice, četnosti radiokomunikace aj. Věnujme pozornost případu bez radiokomunikace.

Číselné vyjádření hlukové zátěže časově proměnným nepravidelným hlukem umožňuje zavedení **ekvivalentní hladiny hluku** [1, 3, 11], která popisuje proměnný hluk jedním číslem na základě rovnosti energií. Vliv proměnného kmitočtového složení během měření můžeme zahrnout ve volbě vhodného váhového filtru, jehož parametry se co nejvíce přibližují fyziologické korekci lidského sluchu.

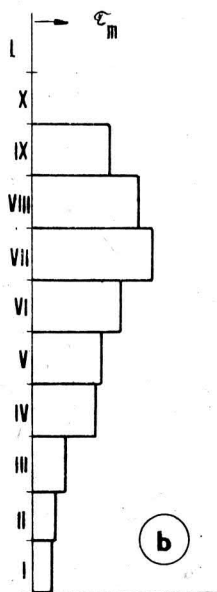
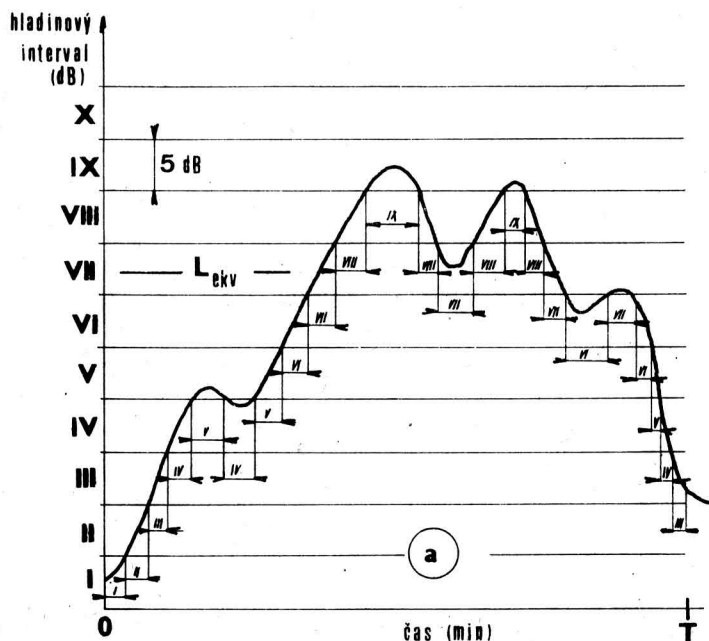
K vysvětlení pojmu ekvivalentní hladiny hluku poslouží obr. 5. V levé části obrázku je schematicky vyznačen časový průběh hluku proměnného nepravidelného charakteru. Hladina hluku L (a můžeme použít např. L_A , L_C apod.) se během časového intervalu $O \rightarrow T$ mění. Celý rozsah hladin, kterých hluk během měření nabývá, rozdělíme na pravidelné intervaly (např. po 5 dB) a určíme dobu trvání hlukového signálu v každém z nich — viz střední část obrázku. Obr. 5b můžeme převést na percentuální vyjádření; symbolem f_m značíme dobu výskytu hluku v každém hlukovém intervalu v procentech z celkové doby měření T . Za interval T můžeme volit třeba dobu jednoho letu, letové směny, týdne apod.

Ekvivalentní hladina zvuku je obecně definována rovnicí

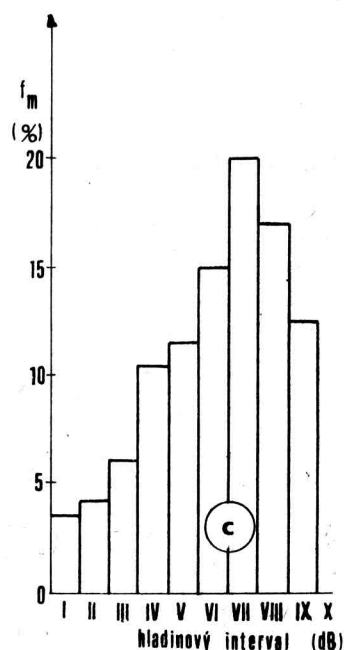
$$L_{ekv} = \frac{10 \cdot q}{3} \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m 10^{\frac{3 \cdot L_m}{10 \cdot q \cdot \tau_m}} \right) \quad (1)$$

kde značí: q — váhový parametr funkce; jeho význam bude objasněn dále
 T — celkovou dobu měřeného intervalu

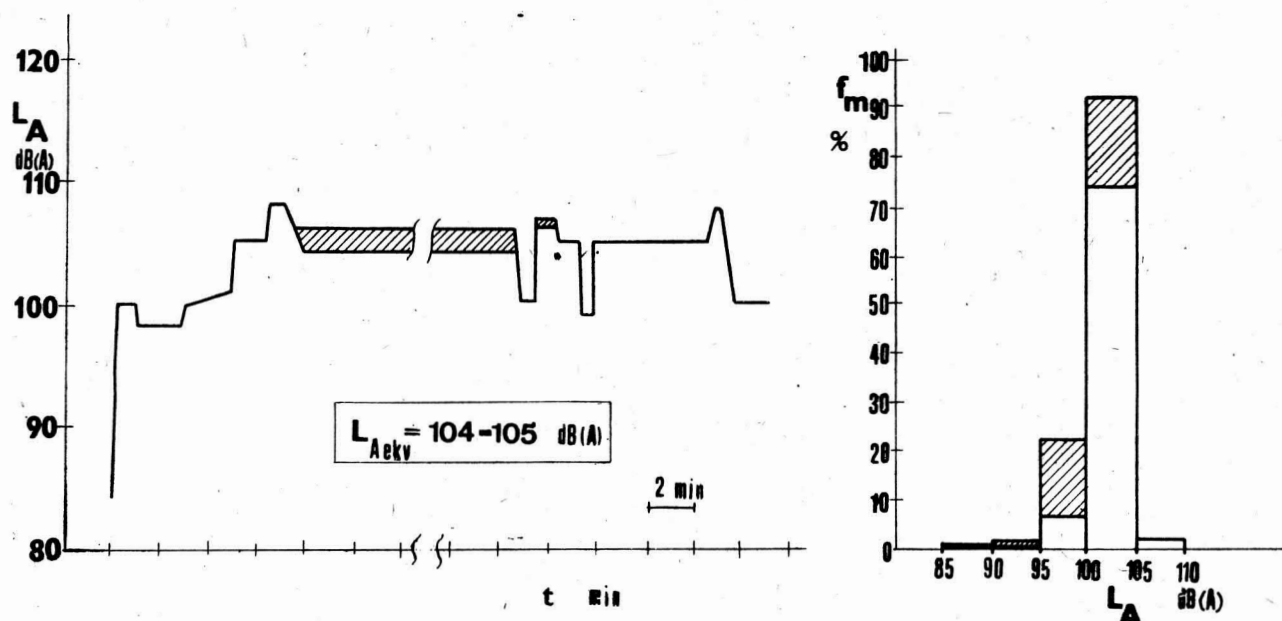
ČASOVÝ PRŮBĚH HLUKU



HISTOGRAM



Obr. 5
Časový průběh nepravidelného hluku a postup vyjádření L_{ekv} a histogramu; ilustrace k vysvětlení pojmu hlukové zátěže



Obr. 6

Časový průběh L_A v kabině Mi-1 při výcvikovém letu (let v zóně) a histogram hladin L_A

L_m — střední hladinu v m -tém hladinovém intervalu (intervaly I, II, ... M); pro intervaly odstupňované po 5 dB je L_m vždy zhruba o 3 dB větší než je spodní hranice intervalu — např. v intervalu 75–80 dB je $L_m \approx 78$ dB

τ_m — celkovou dobu trvání hluku v m -tém hladinovém intervalu.

Váhový parametr q udává vztah mezi změnou hladiny zvuku a odpovídající změnou doby trvání hluku při stejném účinku na organismus, vyjádřený konstantní L_{ekv} . Jinými slovy, q představuje číselně přírůstek hladiny zvuku v dB, jestliže se doba trvání hluku stejného účinku zkrátí o polovinu — viz [11].

V současné době se zpravidla užívá $q = 3$ [1, 3] a průběh hluku je v L_A . Ekvivalentní hladina hluku se značí L_{Aekv} v dB (A):

$$L_{Aekv} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_{m=1}^M 10^{\frac{L_m}{10}} \cdot \tau_m \right) \quad (2)$$

Rovnice se zjednoduší, vyjádříme-li doby τ_m v % z celkového intervalu T — viz histogram obr. 5c:

$$L_{Aekv} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{100} \sum_{m=1}^M 10^{\frac{L_m}{10}} \cdot f_m \right), \quad (3)$$

kde význam f_m je z obr. 5c zřejmý. Pro časový průběh z obr. 5a je příslušná L_{Aekv} v obrázku rovněž zaznamenána.

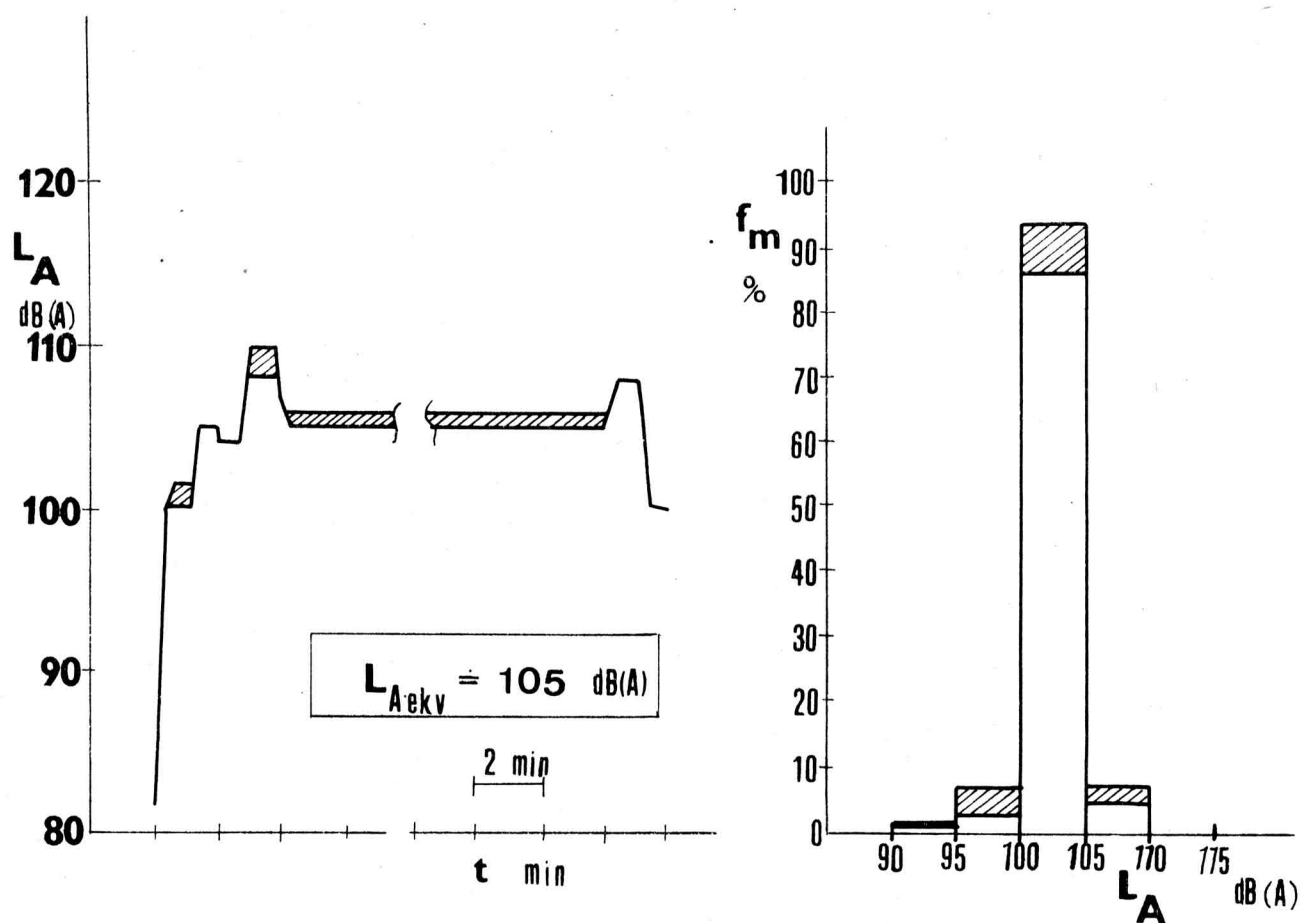
Hlukovou zátěž proměnným nepravidelným hlukem tedy můžeme vyjádřit (s výhradami k nepřesnosti převodu) ekvivalentní hladinou L_{Aekv} podle rovnice (3), kterou vážeme prostřednictvím hodnot f_m na zvolený časový interval — jeden let, směnu ap. Histogram hladin hluku A doplňuje L_{Aekv} ; názorně ukazuje rozložení hladin zvuku během měřené doby a je s výhodou používán k porovnání s moderními kritérii přípustnosti hluku [1].

Hluková zátěž osádek vrtulníků během jednoho letu

Pro stanovení celkové hlukové zátěže za letovou směnu, popř. za delší období, je základním vodítkem průběh hluku v kabině během jednoho typického letu. Typickým letem je míněna charakteristická úloha podle letové osnovy jak co do trvání, tak co do užívaných režimů letu. Jednotlivé úlohy se v tomto smyslu vzájemně liší; v našem případě vystačíme s tím, že vybereme tyto úlohy:

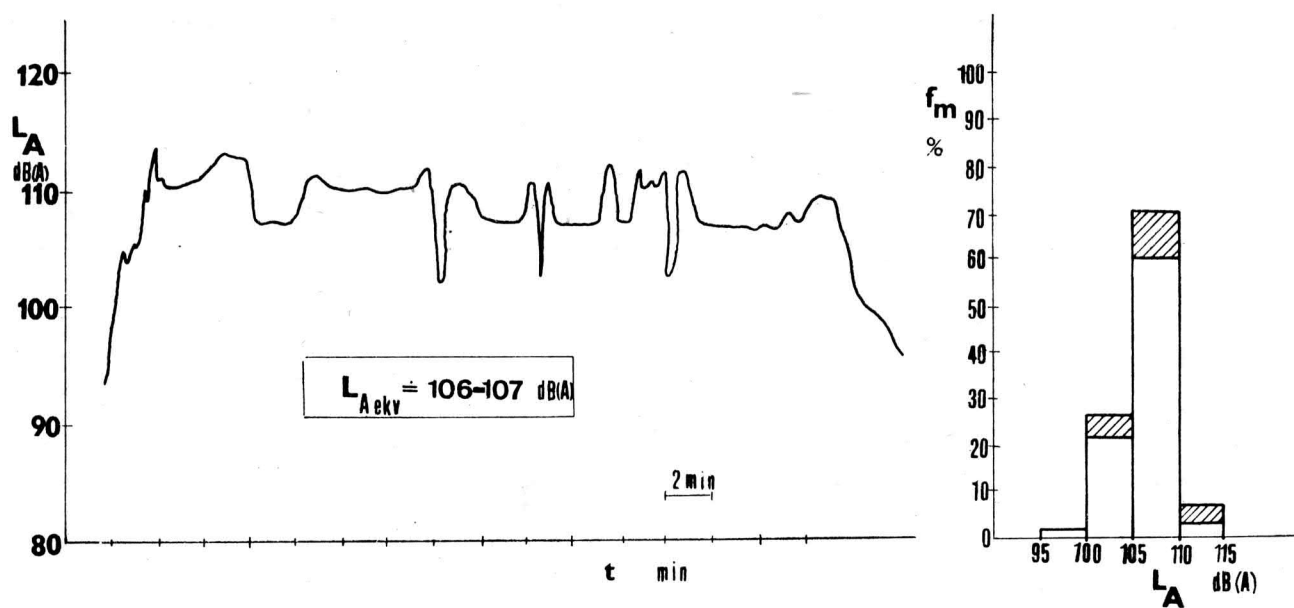
- let po trati (převládá cestovní režim)
- let v zóně (komplexní zóna; režimy se střídají, maximální režimy se vyskytují častěji než v předchozím případě)
- jeřábování (typický pracovní režim, obvyklý u Mi-4; často se vyskytují max. režimy, hluk se zvětšuje otevřením nákladového prostoru).

Vnitřní hluk při zvolených typických letových úlohách jsme měřili opakovaně, při více letech s mírně odchylnými podmínkami. Histogramy a L_{Aekv} , uvedené na obrázcích, obsahují rozptyly těchto hodnot.



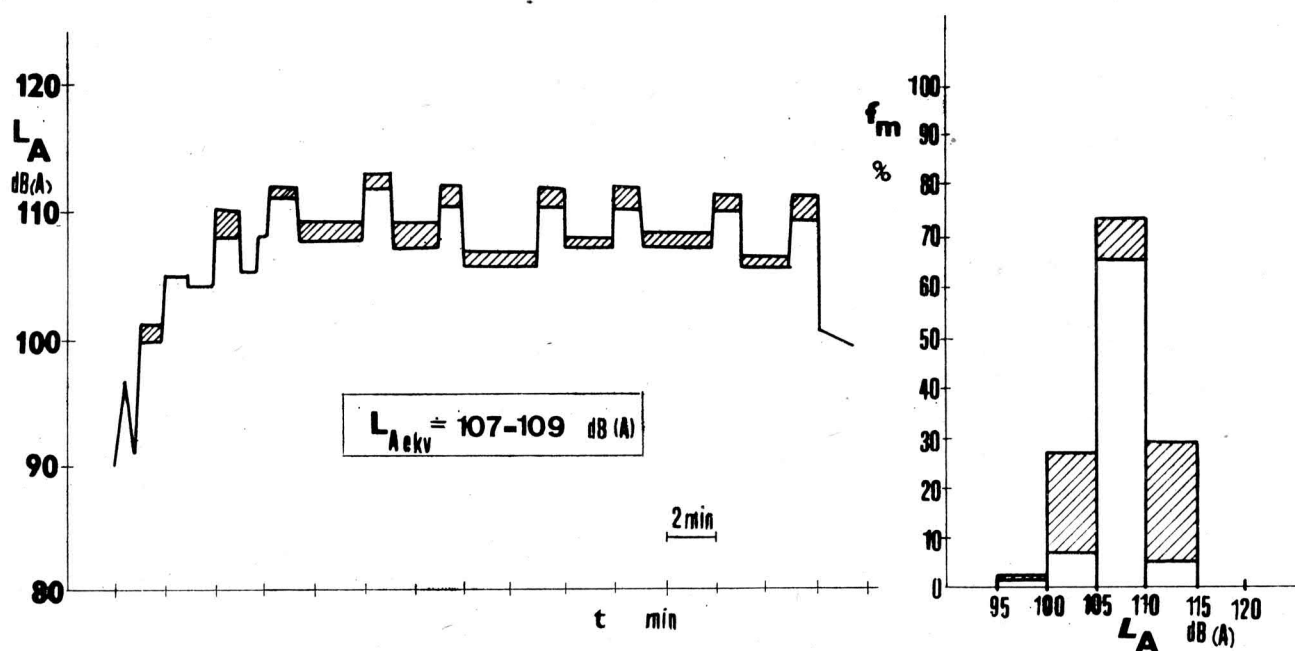
Obr. 7

Časový průběh L_A v kabině Mi-4 při výcvikovém letu (let po trati) a histogram hladin L_A

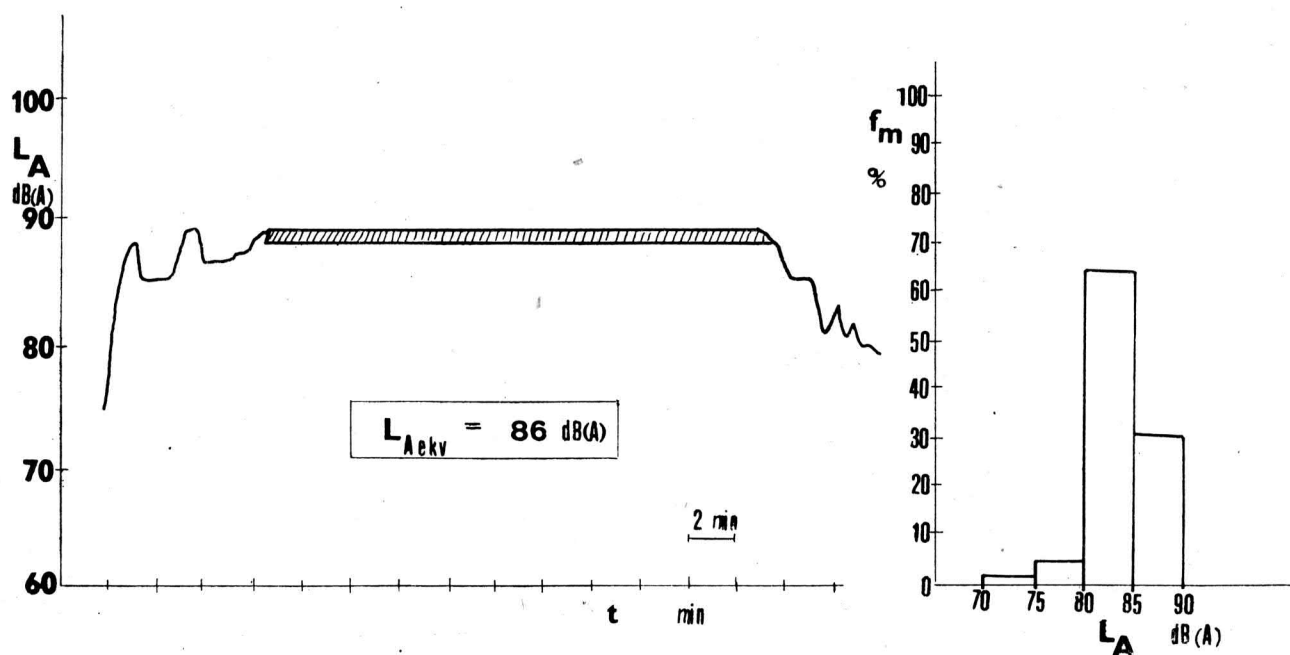


Obr. 8

Časový průběh L_A v kabině Mi-4 při výcvikovém letu (let v zóně) a histogram hladin L_A



Obr. 9
Časový průběh L_A v kabině Mi-4 při výcvikovém letu (jeřábování) a histogram hladin L_A

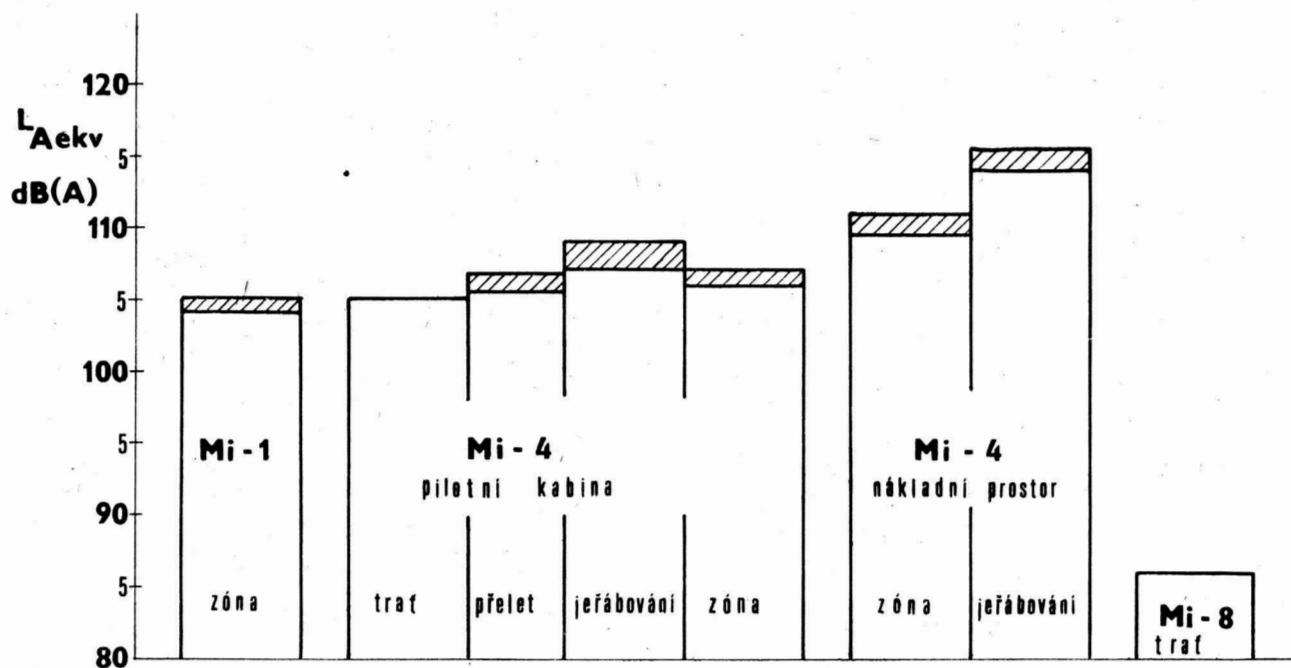


Obr. 10
Časový průběh L_A v kabině Mi-8 při výcvikovém letu (let po trati) a histogram hladin L_A

Na obr. 6 je průběh hluku v kabině Mi-1 při typické letové úloze — letu v zóně. Hlukové poměry v pilotní kabině Mi-4 při všech vybraných charakteristických úlohách jsou na obr. 7 až 9. Pro Mi-8 je typickým případem let po trati (přeprava cestujících a nákladu), hlukové poměry v pilotní kabině jsou uvedeny na obr. 10.

Akustickou kvalitu prostředí v kabinách vrtulníků během vybraných typických letových pod-

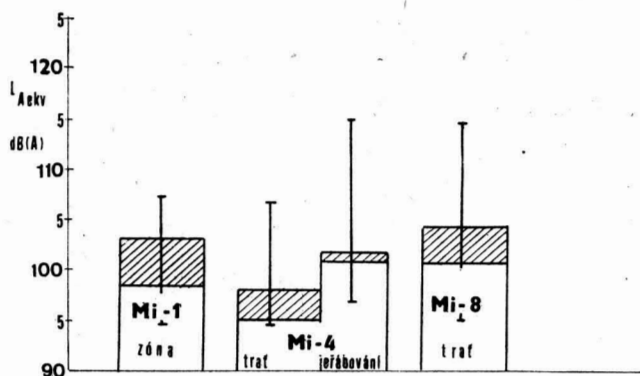
mínek, vyjádřenou L_{Aekv} , můžeme porovnat z obr. 11. Je zřejmé, že v pilotních kabinách Mi-1 a Mi-4 jsou při vybraných letech poměry velmi podobné, jen při jeřábování je v důsledku častějšího používání maximálního režimu (viz histogram v obr. 9) hluk v kabině větší. U Mi-4 je nákladový prostor celkově hlučnější, rozdíl je patrnější opět při jeřábování (otevřené dveře). Naproti tomu v pilotní kabině vrtulníku Mi-8 jsou hlukové poměry daleko příznivější.



Obr. 11

Porovnání ekvivalentních hladin hluku A v kabinách vrtulníků při jednom výcvikovém letu

Pro porovnání jsou na obr. 12 uvedeny přibližné hodnoty L_{Aekv} stanovené výpočtem z časových průběhů hluku měřeného pomocí umělého



Obr. 12

Přibližné hodnoty L_{Aekv} hluku z radiokomunikace u vrtulníků během jednoho výcvikového letu včetně rozptylu max. amplitud L_A při řeči

ucha ze sluchátek letecké kukly, tj. s vlivem radiokomunikace. Vlivem útlumu kukly se L_{Aekv} u Mi-1 a Mi-4 při odpovídajícím typu letu snižují, zatím co u Mi-8 v důsledku komunikace a zvýšeného šumu ze sluchátek L_{Aekv} značně stoupá. To je ostatně v souladu s poznatkem z obr. 4. Svislé čáry na obr. 12 značí střední rozptyl řečových signálů radiokomunikace. Z uvedeného je zřejmé, že pro hlukovou zátěž osádek vrtulníků je určující veličinou vlastní radiokomunikace, tedy četnost a hlasitost hovoru ze sluchátek. Šum pozadí má vedlejší vliv, i když je nutno kriticky hodnotit vysoké hodnoty šumu některých radiokomunikačních pojiček.

Hluková zátěž osádek vrtulníků během letové směny

V průběhu letové směny se zpravidla uskuteční několik letů, při nichž průměrné hlukové charakteristiky jsou nám známé z předchozí kapitoly. Celková doba letu, tj. doba působení hluku za směnu, je pak dána letovou normou, jež udává nejvyšší přípustné počty letových hodin pilota v jednom letovém dni za různých podmínek povětrnostních, viditelnosti, vycvičenosti aj.

Výsledné L_{Aekv} , představující hlukovou zátěž osádek vrtulníků za směnu, jsou uvedeny v tabulce 1. Je zachováno totéž třídění typických letových úloh. Je třeba zdůraznit skutečnost, že jde o nejnejpříznivější podmínky, tj. o maximální dobu letu za směnu, která se samozřejmě neopakuje den co den, a o případ bez ochranného účinku letecké kukly. Přibližné hodnoty L_{Aekv} s použitím letecké kukly jsou v tabulce uvedeny v závorkách.

Tabulka 1

Ekvivalentní hladiny hluku A během pracovní směny osádek vrtulníků

Vrtulník	Let po trati	Let v zóně	Jeřábování
Mi-1	—	101+103 (95+101)	—
Mi-4	102+103 (92+ 96)	103+105 (97+ 99)	104+107 (99+100)
Mi-8	83+ 84 (99+102)	—	—

Porovnání hlukové zátěže s přípustnými hodnotami

Na základní otázku, zda totiž hluk v kabinách vrtulníků přesahuje přípustnou úroveň z hygienického hlediska, nelze dát jednoznačnou odpověď. Potíž spočívá v nedostatku spolehlivých kritérií.

Bez nároku na detailnější zdůvodnění jsou dále uvedeny stručné výsledky diskuse s jednotlivými dostupnými kritérii.

1. Hygienický předpis č. 32 [8], vycházející z předpokladu trvalého působení hluku za směnu, není právě nejvhodnějším měřítkem. Nepravidelný proměnný hluk nehodnotí, avšak je možno zde uváděné hodnoty porovnávat s L_{Aekv} . Přípustná hodnota 70–80 dB(A) (závisí na volbě korekce na druh činnosti) je vesměs vysoko překročena. Výjimkou je Mi-8.
2. Obdobně je tomu i při srovnání s tolerantnějším předpisem NDR — normou TGL 10 687, která připouští za směnu $L_{Aekv} = 85–90$ dB(A).
3. Hlukové limity vypracované komisí CHABA (USA) [4,5] hodnotí zejména spektrum trvalé působícího hluku. V porovnání s nimi je hodnocení vnitřního hluku vrtulníků ještě nepříznivější; připouští jen krátkodobé působení hluku o spektrálním složení podle obr. 2 až obr. 4.
4. Ani porovnání s kritérii přípustnosti hluku v kabinách vrtulníků, jež vycházejí z praktických hledisek [7, 9, ref. v 10] není příznivé. Kritéria jsou překročena o 10–15 dB, jedině Mi-8 jim vyhovuje.

Z uvedeného je zřejmé, že jedině hluk v kabině Mi-8 se blíží přípustným hodnotám. Poměry v kabinách Mi-1 a Mi-4 je vysoko překračují.

Pravděpodobné účinky vnitřního hluku vrtulníků na organismus

Dlouhodobé působení hluku má na piloty prokazatelně nepříznivý vliv, zejména pokud se týká objektivních audiometrických nálezů. Uvádíme jenom hypotetický, avšak podle našeho mí-

nění názorný přehled účinku nadměrného hluku na sluchový orgán. Jako podklad sloužil dokument ISO TC 43 — R 1999 [1], který shrnuje výsledky dlouhodobého sledování zdravotního stavu exponovaných osob hlukem.

Dokument je použitelný i při působení proměnného hluku. Základem k odvození rizika je týdenní expozice hluku v různých hladinových intervalech, vyjádřená opět ekvivalentní hladinou L_{Aekv} . S použitím histogramů z obr. 6 až obr. 10 jsou podle [1] za předpokladu, že by osádka (pilot) nalétala 10 hodin týdně (tedy v podmínkách nepříznivých z hygienického hlediska), vypočteny ekvivalentní hladiny hluku A pro kontinuální týdenní časový interval. Vypočtené L_{Aekv} jsou uvedeny v tabulce 2. V závorkách jsou opět uvedeny přibližné hodnoty s vlivem letecké kukly.

Tabulka 2
Ekvivalentní hladiny hluku A působící na osádky vrtulníků při předpokládaném týdenním náletu 10 hodin

Vrtulník	Let po trati	Let v zóně	Jeřábování
Mi-1	—	~ 98 (92+95)	—
Mi-4	~100 (88+91)	~103 (92+94)	~104+106 (94+95)
Mi-8	~ 82 (78)	—	—

Dokument ISO R 1999 podává také výklad k těmto hodnotám, v němž se jednotlivým L_{Aekv} přiřazují pravděpodobné účinky hluku na sluch v závislosti na počtu letů, po něž L_{Aekv} působí.

V tabulce 3 je vyjádřen poměr mezi L_{Aekv} a rizikem (v %), že za dobu expozice od 0 do 45 let dojde u exponovaných osob ke zhoršení slyšení v kmitočtové oblasti řeči (k posunu prahu slyšení na kmitočtech 500, 1000 a 2000 Hz o 25 dB a více).

Riziko v % bylo získáno z číselného rozdílu mezi procentem osob s poškozeným sluchem ve skupině exponované hlukem a procentem osob s poškozeným sluchem u skupiny neexponované.

Tabulka 3

Riziko zhoršení slyšení řeči v % v závislosti na L_{Aekv} a době hlukové expozice

L_{Aekv} dB(A)	Počet letů hlukové expozice									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
≤ 80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	1	3	5	6	7	8	9	10	7
90	0	4	10	14	16	16	18	20	21	15
95	0	7	17	24	28	29	31	32	29	23
100	0	12	29	37	42	43	44	44	41	33
105	0	18	42	53	58	70	62	61	54	41
110	0	26	55	71	78	78	77	72	62	45
115	0	36	71	83	87	84	81	75	64	47

Tabulka 4

Celkové procento poškození sluchu hlukem v závislosti na L_{Aekv} a době hlukové expozice

L_{Aekv} dB(A)	Počet roků hlukové expozice									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
≤ 80	1	2	3	5	7	10	14	21	33	50
85	1	3	6	10	13	17	22	30	43	57
90	1	6	13	19	23	26	32	41	54	65
95	1	9	20	29	35	39	45	53	62	73
100	1	14	32	42	49	53	58	65	72	93
105	1	20	45	58	65	70	76	82	87	91
110	1	28	58	76	85	88	91	93	95	95
115	1	38	74	88	94	94	95	96	97	97

V tabulce 4 je uveden pravděpodobný vliv hluku ve formě celkového počtu (v %) osob s poškozeným sluchem vlivem hluku dané L_{Aekv} .

Z tabulek 3 a 4 je zřejmé, že pravděpodobnost poškození sluchu a tím i snížení společenského uplatnění u pilotů vrtulníků (snad jedině s výjimkou Mi-8) jsou značně vysoké. Ověření těchto tabulek rozbořem audiometrických nálezů u pilotů však nebylo dosud dokončeno; vzhledem k množství materiálu je statistické zpracování časově velmi náročné, výsledky budou předmětem jiné práce.

Snížení vlivu hluku

Snížení rizika poškození sluchu u osádek vrtulníků je závislé na stupni snížení L_{Aekv} . K tomu vede několik cest:

- akustická opatření vedoucí ke **snížení hladiny vnitřního hluku**;
- **snížení doby expozice** má relativně malý účinek na L_{Aekv} ;
- **ochrana sluchu osádek vrtulníků**; vhodně navržená ochranná protihluková přilba znamená významné snížení L_{Aekv} .

Je zřejmé, že důležitým činitelem při snížení hlukové zátěže osádek vrtulníků je postupné vybavení protihlukovou přilbou. Zaváděná přilba POP 6 je výsledkem společného vývoje n. p. ERGON, VZS 031 a ÚLZ a má vedle výborných akustických vlastností, měřením objektivně zjištěných, i příznivé váhové parametry a potřebnou odolnost proti nárazu. Příznivý subjektivní dojem zvyšuje i estetické řešení přilby. Předpokládáme snížení L_{Aekv} při použití přilby POP 6 je nejméně 10 až 15 dB (např. při kmitočtu 250 Hz tlumí přilba hluk o 20 dB), takže význam jejího zavedení není třeba zdůrazňovat. Mimo to lze očekávat jako průvodní jev i zlepšení srozumitelnosti radiokomunikace.

Souhrn

Měřené hodnoty vnitřního hluku vrtulníků a celková hluková zátěž osádek během letové směny i přes zvolené extrémní podmínky jednoznačně poukazují na vysoký stupeň rizika z hluku u vrtulníků Mi-1 a Mi-4. Z porovnání s přípustnými hodnotami a zvláště porovnáním s doporučením ISO R 1999 vyplývá, že riziko poškození sluchu pilotů a palubních techniků u vrtulníků, a to zvláště u typů Mi-1 a Mi-4, je reálné a při dlouhodobé službě znamená vysokou pravděpodobnost poškození sluchu u procentuálně velké skupiny exponovaných osob. Toto a další hlediska, zejména podmínky a účinky radiokomunikace, budou dále sledovány a rozebrány.

Literatura

1. Assessment of Occupational Noise-Exposure for Hearing Conservation Purposes. ISO Recommendation R 1999 (Proof), 1971.
2. Buckley, C. J., Hartman, B. O.: Aspects of Transatlantic Helicopter Flight. I. General. Aerospace Med., 40, 7, 1969, s. 710–713.
3. Doporučení ČsVTS k otázkám použití ekvivalentních hladin pro hodnocení hluku. Int. výstisk ČsVTS, 1969.
4. Gierke, H. E.: On Noise and Vibration Exposure Criteria. Arch. Environ. Health, 11, 1965, s. 327–339.
5. Kryter, K. D., Ward, W. D., Miller, J. D., Eldridge, H. D.: Hazardous Exposure to Intermittent and Steady-State Noise. Jour. Ac. Soc. Am., 39, 1966, s. 451–464.
6. Měření vnitřního hluku letadel. Čs. návrh dokumentu ISO TC 43, ÚLZ 1971.
7. Miller, M. M., Beranek, L. L., Sternfeld, H.: Acoustical Design for Transport Helicopters. Noise Control, 5, 1959, s. 6–12.
8. Směrnice o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku. Hygienické předpisy, sv. 28, č. 32, SZdN 1967.
9. Sternfeld, H.: New Techniques in Helicopter Noise Reduction. Noise Control, 7, 1961, s. 4–10.
10. Šulc, J.: Měření vnitřního hluku letadel. Závěrečná zpráva. ÚLZ, Praha, č. publ. 116, 2 díly, 1968.
11. Šulc, J.: Metoda měření a hodnocení dlouhodobé hlukové zátěže proměnným nepravidelným hlukem. Závěrečná zpráva. ÚLZ, Praha, č. publ. 148, 1970.