

621.396:355.343.14

RADIOKOMUNIKACE Z HLEDISKA HLUKOVÉ ZÁTĚŽE SLUCHU

Ing. Jiří ŠULC, CSc.

Ústav leteckého zdravotnictví, Praha

(náčelník: plk. MUDr. M. Haňka)

1. Úvod

Předávání informací rádiovými pojítky v obecném případě, zejména však tehdy, kdy se nejméně jeden z účastníků nachází v hlučném prostředí (kabina tanku, letadla ap.), je třeba posuzovat ze dvou poměrně separovaných hledisek. Prvé z nich hodnotí kvalitativní stránku v pojmech srozumitelnosti předávaných zpráv a souvisí nejen s technickou kvalitou radiospojení v nejširším smyslu, ale zasahuje do rozsáhlé sféry lingvistiky a psychofyzologie. Druhé hledisko posuzuje kvantitativní, energetické poměry a jeho úkolem je pomoci pokud možno objektivních elektroakustických měřicích metod stanovit akustickou energii sumárního signálu, který v podstatě představuje hlukovou zátěž sluchu a projevuje se různou měrou v postupné únavě sluchu, popřípadě i ve zhoršené sluchové ostrosti po mnohaleté expozici.

Poznatky ze studia letecké radiokomunikace ukazují, že vlivem nepříznivých podmínek, jako jsou např. maskující hluk v kabině letadla za letu, zkreslení rádiových signálů při letu v členitém terénu, různé výkony a technický stav rádiových pojítek, přehlcení radiokomunikačního kanálu při větším počtu účastnických stanic ap., dochází k přeslechům a ke zhoršené srozumitelnosti řeči, což může vést ke vzniku stressových až havarijních situací. V případech, kdy vnitřní hluk v kabinách letadel dosahuje vysokých úrovní, je pro zajištění spolehlivého spojení nutné velké zesílení rádiového signálu. To při současném množství hlukových impulsů ze sluchátek představuje hlukovou zátěž sluchu letců, již je v literatuře připisován dominantní podíl na vzniku poškození sluchu osádek letadel.

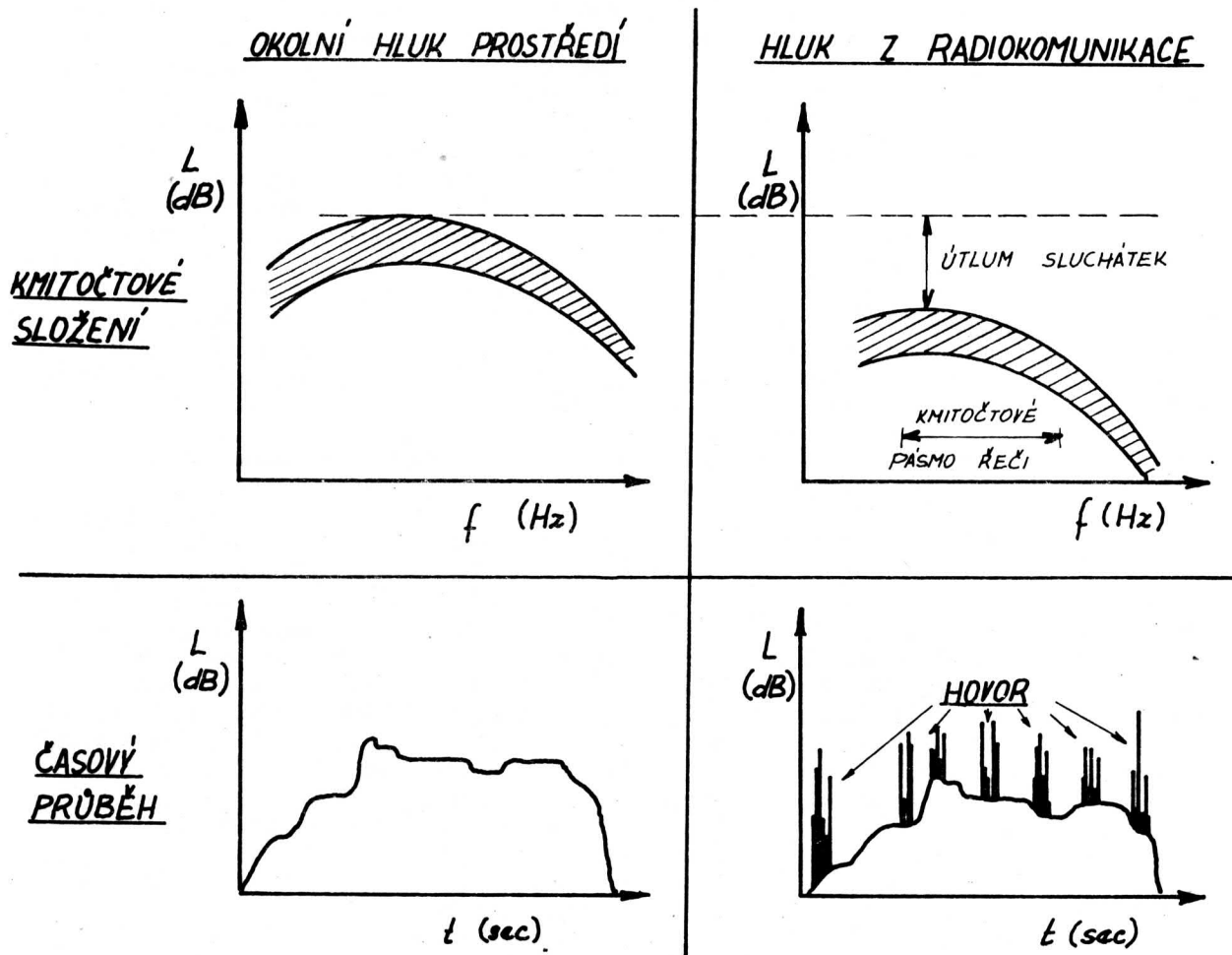
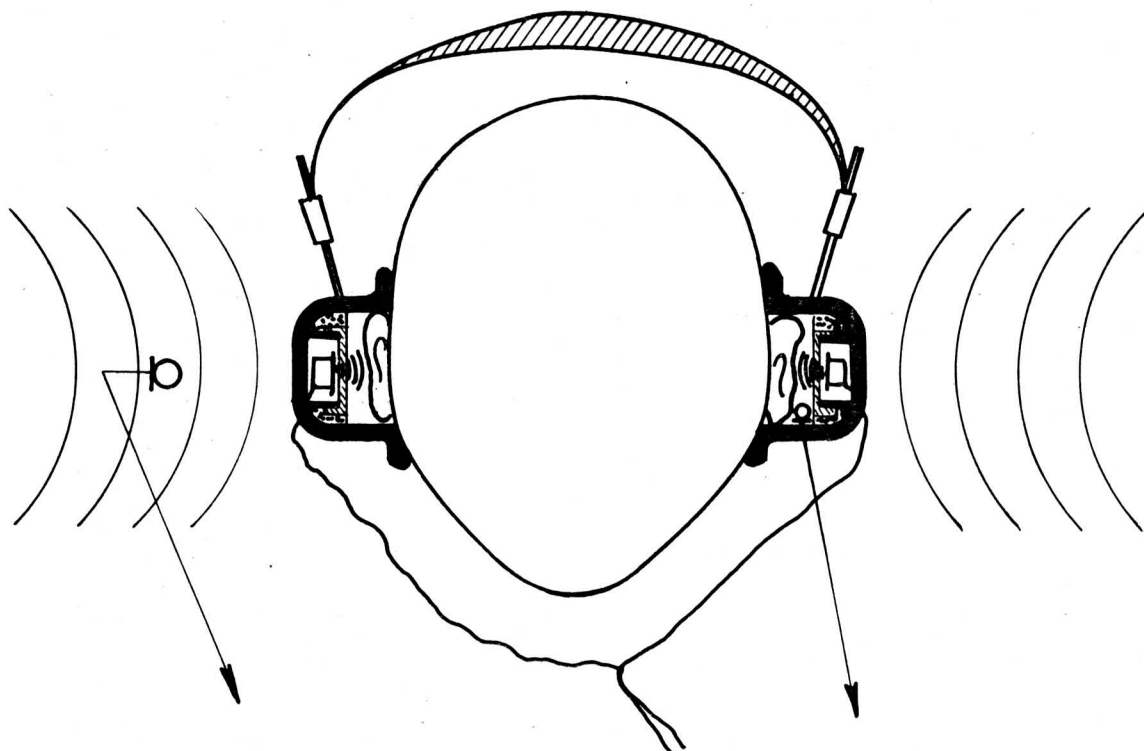
Význam obou uvedených oblastí je zřejmý.

Špatná srozumitelnost radiokomunikace, k níž čas od času vlivem obtížně definovaných podmínek prokazatelně dochází, vede k nutnosti opakovat zprávu, k nejistotě a v některých případech k předpokladu mimořádné události. Různá výkonnost účastnických stanic na jediném kanálu a již zmíněný maskující efekt okolního hluku spolu s vysokou četností zpráv na použitém kanálu jsou příčinami vysokého zatížení sluchu hlukem impulsního typu, což v dlouhodobém měřítku znamená riziko zhoršení sluchové ostrosti letců a přispívá k nadměrné únavě sluchu bezprostředně po letu a při jeho průběhu. Obdobné závěry je přirozeně možno uplatnit i v řadě jiných případů, než je letecký provoz, a jen jejich výčet by byl rozsáhlý.

2. Hluk z radiokomunikace

Hluková zátěž sluchu vystaveného poměrně stacionárnímu hluku v kabině bojového prostředku a signálům z radiokomunikačních pojítek se skládá z akustických energií obou těchto fenoménů. Radiokorespondence samotná, jako velmi komplikovaný akustický signál o značném dynamickém rozsahu, obsahuje časové intervaly, v nichž se uplatní jen maskující okolní hluk, a dále časové intervaly s výskytem špičkových amplitud, jejichž četnost výskytu a amplituda do značné míry závisí na charakteru „přednesu“, tj. závisí na hlasových charakteristikách účastníků radiokorespondence (hloubka a síla hlasu, rychlost hovoru, emoční stav atd.).

Metody měření hluku a stanovení hlukové zátěže, definované v řadě státních či oborových norem, předpisů a metodik, vyhovují ve většině případů, jež se v praxi vyskytují. Všemohoucí jde o situace, kdy se hluk, vyvolaný zpra-



Obr. 1

vidla chodem určitého zařízení, šíří k posluchači vzduchem přímo a má obvykle neimpulsní charakter.

Kvalitativně i co do metodiky měření je zcela odlišný případ, kdy hluk přichází do zvukovodu ze sluchátek. Vedle různých, více méně ustálených šumů (elektrických, atmosférických) a hluku pronikajícího z okolí, zde hraje významnou úlohu přirozený akustický řečový signál, zesílený radiokomunikačními pojítky. K ilustraci poslouží obr. 1. Posluchač je v hlučném prostředí, obecně s proměnnou úrovní a proměnným spektrem hluku. V důsledku neprůzvučnosti stěny sluchátek se hladina hluku pronikajícího z okolí snižuje. Současně se mírně mění i kmitočtové složení pronikajícího hluku. Řečový signál ze sluchátek pokrývá pásmo zhruba 500 až 4000 Hz, jeho amplituda se ve srovnání s maskujícím šumem pozadí mění v širokém rozsahu. Časový výskyt řečových signálů během měření závisí na hustotě radiokorespondence.

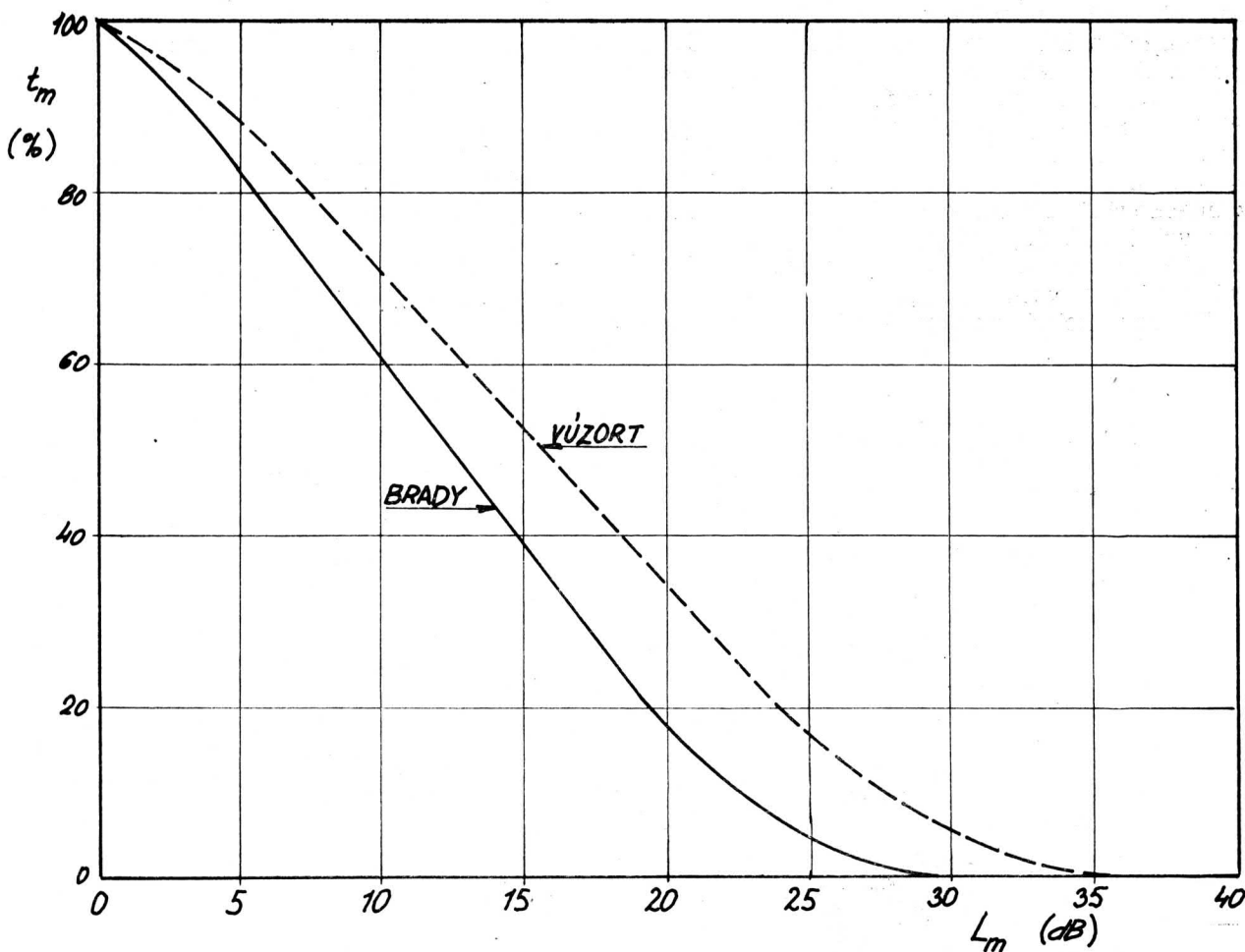
Soubor všech akustických signálů, přicházejících do sluchového analyzátoru, můžeme shrnout pod pojmem **hluk z radiokomunikace**. Hluková zátěž sluchu radiooperátora závisí především na:

— hladině a kmitočtovém složení hluku okolí

- útlumových vlastnostech (neprůzvučnosti) sluchátka, popř. kukly
- kvalitě rádiových pojítek
- zesílení vlastní radiostanice
- výkonech jednotlivých účastnických stanic
- hustotě hovoru (tj. vlastní komunikaci) atd.

Měření a hodnocení hladin ustáleného hluku (úsek bez radiokorespondence) zpravidla nečiní potíže. Akustickou charakteristiku samotné řeči a metodu jejího stanovení popsal statistickými prostředky BRADY [1, 2, 3]. Vyjádřil amplitudy řečového signálu mezi prahovou a maximální úrovní ve formě časové kumulativní distribuční funkce, která představuje celkovou pravděpodobnou relativní dobu překročení nastavené nadprahové úrovně jednotlivými amplitudami řečového signálu. Podle Bradyho je s výjimkou obou krajních bodů (tj. 0 a 100 %) průběh kumulativní distribuční funkce, vyjádřené v logaritmické míře amplitud řečového signálu, přibližně lineární. Brady dále navrhl a definoval objektivní způsoby výpočtu „průměrné“ hladiny řečového signálu.

Bradyho metoda statistického rozboru řečového signálu umožňuje stanovit statistické rozložení amplitud řeči nad maskující úroveň pozadí a pomocí běžně používaného numerického vyjádření proměnného hluku — např. ve formě



Obr. 2

ekvivalentní hladiny hluku — pak umožňuje stanovit i hlukovou zátěž sluchu kombinovaným signálem z radiokomunikace.

Zevrubné ověření Bradyho metody provedl Januška [4, 5, 6]], speciální přístrojová technika k amplitudové analýze řeči je realizována ve Výzkumném ústavu zvukové, obrazové a reprodukční techniky a je popsána ve zprávě VÚZORT [4]]. Bradyho hypotéza o logaritmicky rovnoměrném rozložení amplitud v řečovém signálu a její ověření pro českou řeč [4] jsou uvedeny na obr. 2, kde na svislé ose je vynešena poměrná doba výskytu amplitud t_m (vztahovaná k době trvání vzorku řeči T) nad postupně nastavovanou hladinou akustického tlaku L_m , vztahenou k prahové hladině akustického tlaku. Dynamika amplitud řeči činí zhruba 35 až 40 dB. Lineární část kumulativní distribuční funkce pro nemaskovaný řečový signál je nejmeně v rozsahu 15 dB.

Pro úplnost připomeňme, že srozumitelnost řeči závisí na odstupu řečového signálu od maskujícího šumu. Spolehlivých podkladů pro stanovení potřebného odstupu k zajištění dokonalé srozumitelnosti předávaných zpráv je málo a navzájem se liší. JANUŠKA [6] např. uvádí výsledky testování vlivu maskování širokopásmovým bílým šumem na slabikovou poznatelnost češtiny. Při konvenční hladině zvuku řeči 70 dB se při proměnné hladině zvuku maskujícího šumu mezi 45 až 80 dB měnila poznatelnost slabik od 6 % do 97 %. Januška dále uvádí, že pro dosažení vyhovující, tj. 85% slabikové poznatelnosti, musí ležet konvenční hladina zvuku řeči o 15 dB nad hladinou zvuku rušícího bílého šumu. K úplnému zamaskování řeči šumem došlo při hladině šumu vyšší o 10 dB, než je hladina řeči.

Jakkoliv jsou publikované výsledky slabikové, slovní a větné srozumitelnosti vzájemně ztěžší srovnatelné, jsou uvedené hodnoty vhod-

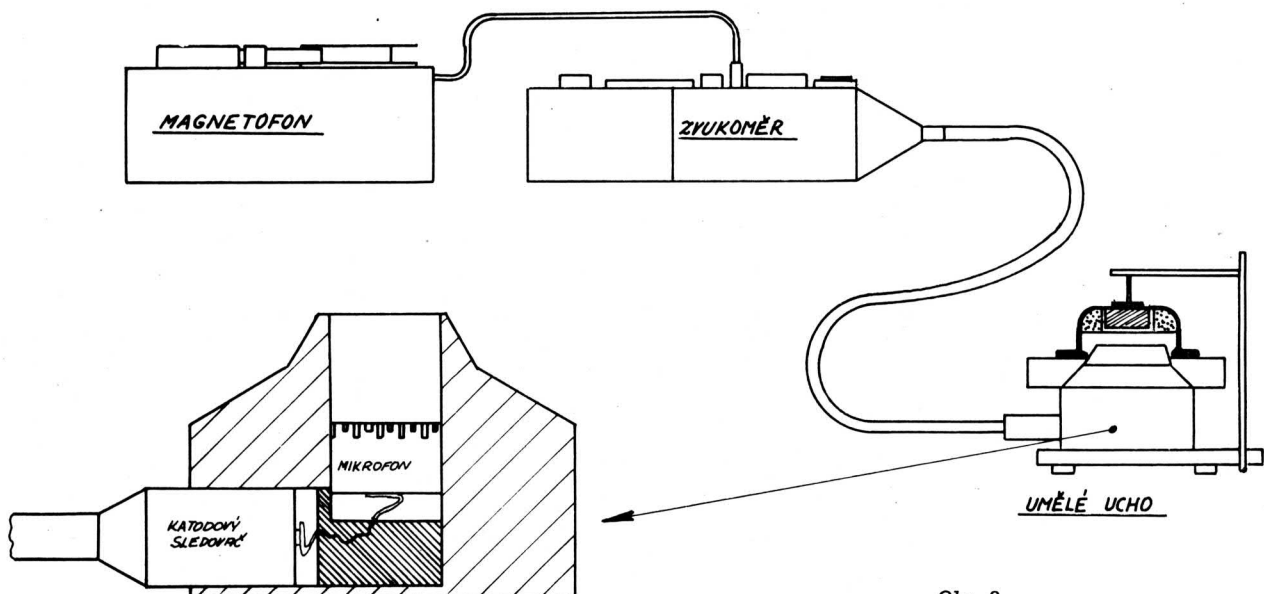
ným měřítkem pro posouzení podmínek pro srozumitelnou radiokomunikaci v kabinách bojových prostředků se známými hladinami vnitřního hluku a se snadno zjistitelnými útlumovými vlastnostmi sluchátek (přileb).

3. Metoda stanovení zátěže sluchu hlukem z radiokomunikace

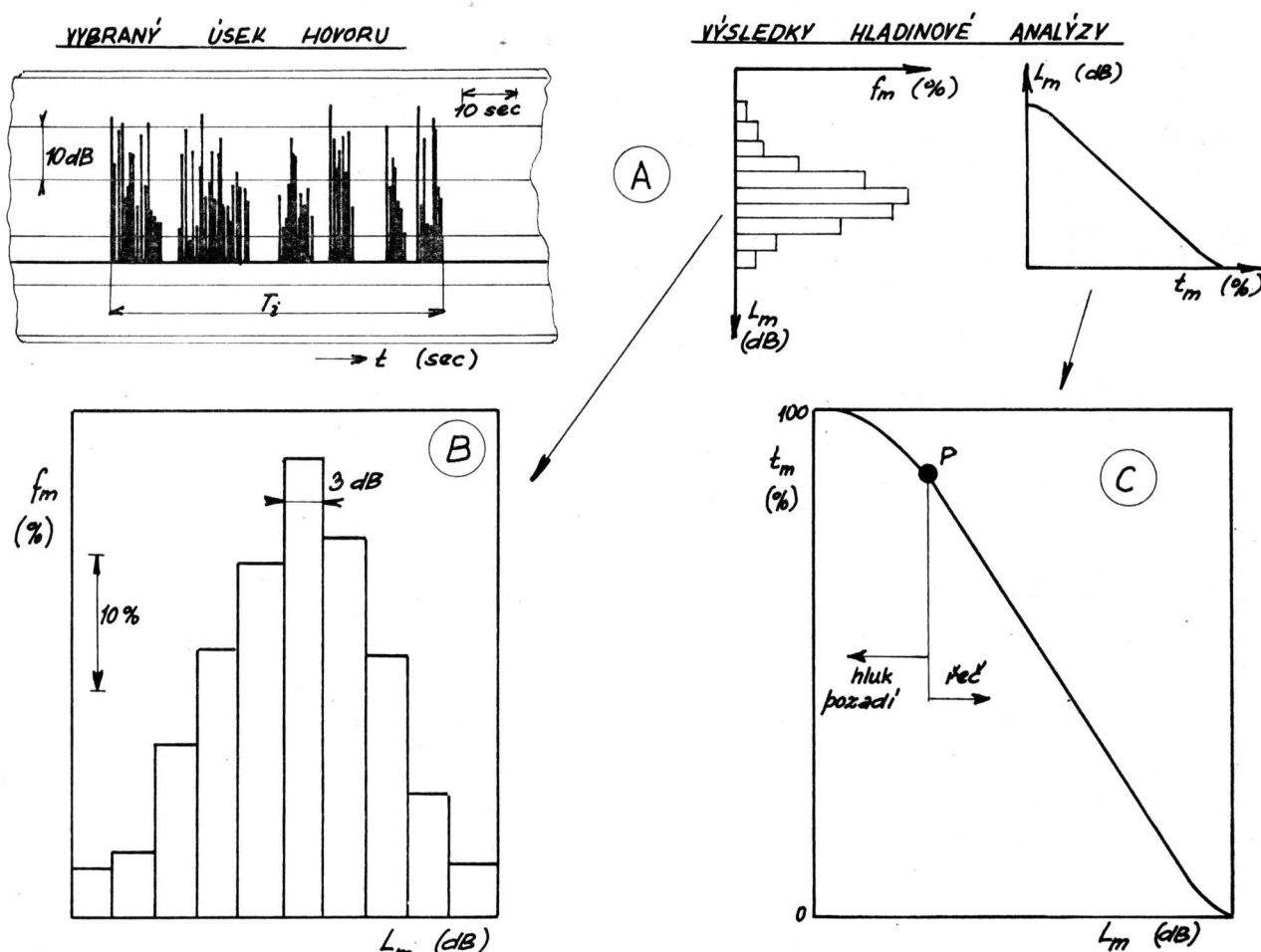
Základem pro stanovení hlukové zátěže z radiokomunikace je magnetický záznam radiokomunikace, pořízený během normálních provozních podmínek pomocí tzv. „umělého ucha“ — obr. 3. Na umělé ucho normalizované konstrukce (musí vyhovovat doporučení IEC) je upevněno používané sluchátko, připojené na radiokomunikační systém. Měřicí mikrofon umělého ucha a připojený zvukoměr zajišťují přeměnu akustického signálu na odpovídající elektrický signál, konstrukcí vnitřního prostoru umělého ucha se přizpůsobuje akustická impedance přístroje impedanci sluchu. Signál ze zvukoměru je zaznamenán na magnetický pásek pomocí ověřeného měřicího magnetofonu. Samozřejmým předpokladem kvalitní nahrávky je správné nastavení parametrů (zesílení zvukoměru, modulace magnetofonu), jež musí zaručit, že během nahrávky radiokomunikace nedojde k přemodulaci záznamu a naopak že bude využita dynamika magnetofonu.

Při poslechové kontrole záznamu z magnetofonu se současně pořizuje grafický zápis měřeného signálu na hladinovém zapisovači, jenž slouží:

- ke kontrole celé nahrávky, k výběru a vyřazení nekvalitních částí ap.
- k výběru úseků záznamu k dalším analýzám
- odhadu doby vlastní komunikace (hovoru) během celé doby měření (směny, letu, cyklu aj.).



Obr. 3



Obr. 4

V důsledku relativně malé rychlosti posuvu písátka zapisovače však zapsané špičkové hodnoty během hovoru neodpovídají skutečným hladinám hluku. Hladinový rozbor záznamů řeči je třeba provést samostatně na dostatečně rychlém hladinovém analyzátoru. Přesně lze odečíst jen hladiny hluku v místech s ustáleným nebo pomalu kolísajícím signálem, jakým je maskující okolní hluk.

Kontrolní grafické zápisy nahrávek je výhodné provést postupně jak při lineární charakteristice přístrojů, tak i při zařazeném filtru A. Druhá alternativa se osvědčuje v případech, kdy okolní maskující hluk je výrazně nízkofrekvenční (do 250 Hz) a odstup řečového signálu od maskujícího šumu je při lineární charakteristice velmi malý. Odříznutím kmitočtových složek maskujícího šumu filtrem A vyknou v zápisu úseky s hovorem a lze snáze vytýpat ta místa záznamu, jež je třeba podrobit detailní hladinové analýze.

Vybrané části záznamu hluku z radiokomunikace s poměrně dlouhými úseky s plynulým hovorem je třeba podrobit hladinové analýze. Výsledkem rozboru je obvykle údaj o distribučním rozložení amplitud hovoru včetně maskujícího šumu pozadí. Tato statistická analýza je stěžejní částí metody a přináší řadu důležitých informací.

Samotný princip hladinové analýzy je dostatečně znám a je používán i při měření časově proměnného hluku. Konvenční metoda ani přístroje se však nehodí k analýze řečového signálu pro jeho velký dynamický rozsah a okamžité (téměř impulsní) výskyty špičkových amplitud. Pro naše účely jsme použili metody vypracované Bradym [1, 2]). Praktickou realizaci metody rozboru umožnilo použití přístrojové techniky, vyvinuté a používané ve Výzkumném ústavu zvukové, obrazové a reprodukční techniky (VÚZORT), jehož pracovníci nám ochotně poskytli možnost příslušné analýzy provést.

Analýzátor VÚZORT pracuje na principu řízených úrovnových vrátek, která představují prahový detektor signálu; impulsy nad postupně nastavovanou úrovní prahu, zaznamenané na čítači, udávají četnosti výskytu signálu nad touto prahovou hodnotou. Vysoká frekvence impulsů zajišťuje dostatečně přesný odečet rychle se měnících amplitud řečového akustického signálu. Úrovně prahu se nastavují ve skocích po 3 dB. Metoda zajišťuje dostatečnou přesnost pro vzorky delší než 7 sekund.

Postup a výsledky analýzy jsou zřejmé z části A obr. 4. Stejně jako při běžně prováděné hladinové analýze je výsledkem analýzy řeči závislost mezi nastavovaným hladinovým inter-

valem a dobou výskytu signálu v intervalech, v podstatě **histogram** hladin hluku. Při pravidelném odečtu hladin pak skutečnou dobu výskytu (př. v ms) představuje doba trvání hladiny hluku v m-tém hladinovém intervalu (v % ze sledovaného časového úseku T_i), označená f_m — obr. 4B. Pro některé účely je výhodné uvést výsledek analýzy řeči ve formě časové kumulativní distribuční funkce — obr. 4C. Časový výskyt hladin t_m nad nastavovanou prahovou hodnotou hladin hluku je uváděn v % z celkové doby trvání vzorku řeči.

Popisovanou analýzu řeči je možno provádět jak při lineární kmitočtové charakteristice celé soupravy, tak s použitím propustí, jež uvedené rozborů dále zpřesňují (např. oktaťové pásmové propusti, filtr A ap.).

Pro vyjádření hlukové zátěže proměnným hlukem se v hygienické praxi vžilo použití ekvivalentní hladiny hluku. Použijeme tudíž tento způsob i pro vyjádření hlukové zátěže akustickými signály z radiokomunikace, ovšem s vědomím, že posouzení této zátěže je zatíženo většími chybami než u běžných proměnných hluků v důsledku téměř impulsního charakteru řečových signálů zesílených radiokomunikačními pojítky.

Postup vyjádření ekvivalentní hladiny hluku L_{ekv} z radiokomunikace jako reprezentativní míry hlukové zátěže sluchu vyplývá z obr. 5:

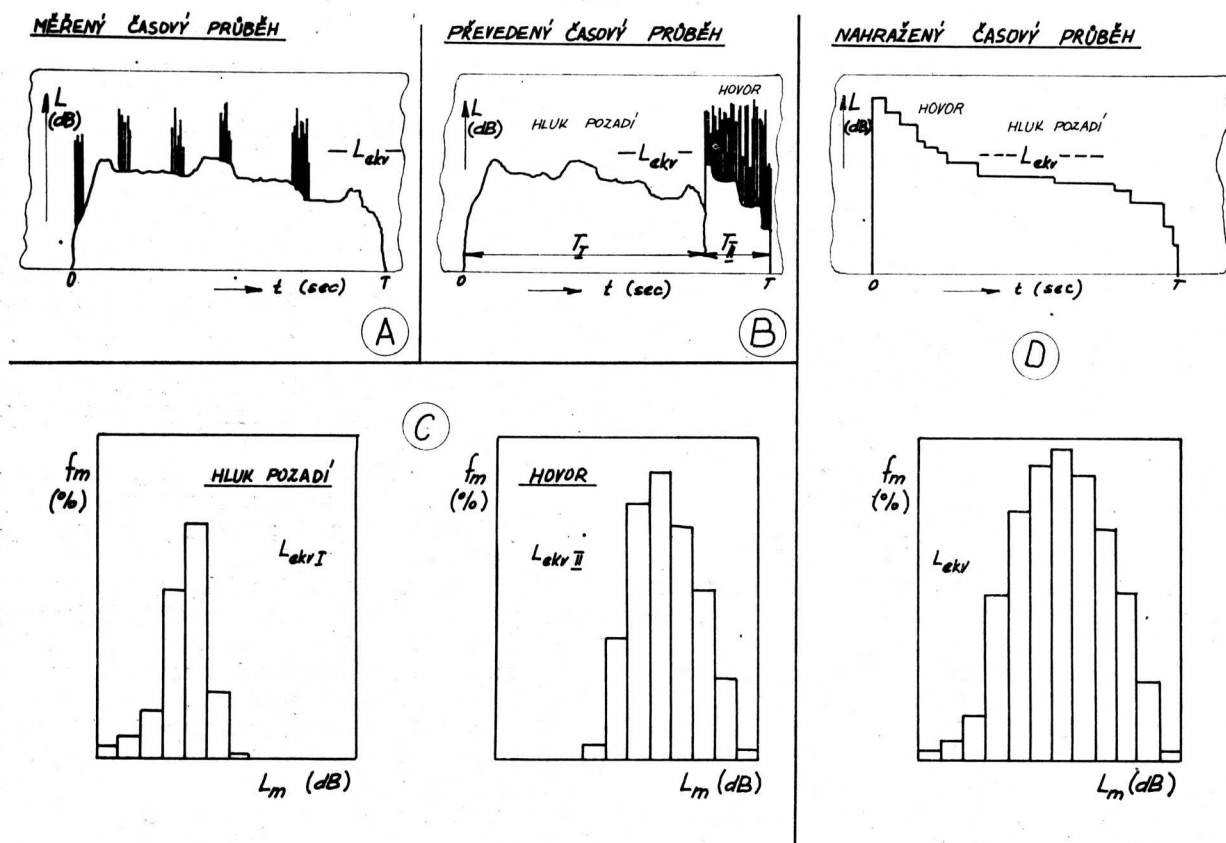
a) Z grafického zápisu časového průběhu hluku z radiokomunikace je možno vydělit úseky s hovorem. Původní zaznamenaný průběh (obr. 5A) lze snadno „přerovnat“ podle obr. 5B, kde z celkové doby T trvání hlukové expozice činí T_I hluk bez hovoru, T_{II} pak připadá na dobu s radiokorespondencí.

b) Oběma těmito částem přísluší samostatné histogramy (obr. 5C, kde f_m je vždy vztaženo k T) a odpovídající ekvivalentní hladiny hluku L_{ekv} . Histogram signálu s řečí se získá analýzou podle Bradyho. Jestliže se nastavení parametrů rádiových pojítek v průběhu měření nemění, postačí analyzovat reprezentativní vzorky.

c) Sloučením předchozích histogramů se získá konečný histogram výskytu hlukových hladin během intervalu T (obr. 5D). Jemu odpovídá nový typ časového průběhu hluku s výslednou L_{ekv} .

Vzhledem k tomu, že při výpočtu L_{ekv} nezáleží na pořadí jednotlivých komponentů, je způsob převodu věcně správný. Z hlediska fyziologického však je možno aplikace L_{ekv} v daném případě podrobit kritice (řeč zde má charakter téměř impulsního hluku ap.). Vhodnější jednoduchý prostředek pro vyjádření celkového působení proměnného hluku než L_{ekv} však nemáme k dispozici, výsledek můžeme ohodnotit přidáním korekcí podle běžných zvyklos-

HLUK Z RADIOKOMUNIKACE



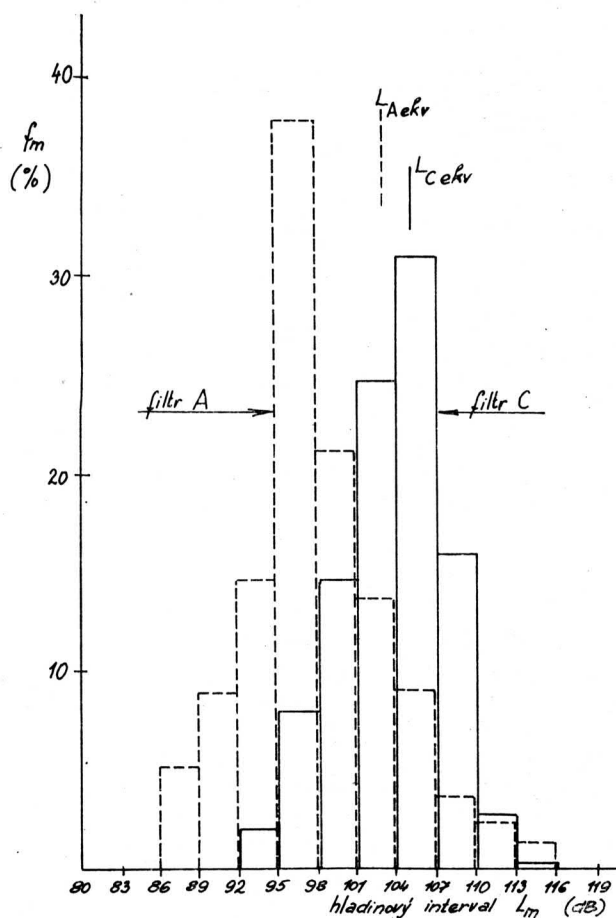
Obr. 5

tí při posuzování hluku. Pro výpočet L_{ekv} je používán známý vzorec

$$L_{ekv} = 10 \cdot \log \frac{1}{100} \left(\sum_{i=1}^m f_m \cdot 10^{0,1 L_m} \right) [\text{dB}].$$

Význam jednotlivých symbolů je patrný z obrázků.

Metoda je časově i technicky dostupná a výsledky hladinové analýzy řeči přináší řadu cenných informací. Pro potřeby hygienického posouzení hluku z radiokomunikace můžeme celou analýzu provést se zařazeným váhovým filtrem A. Pro ilustraci vlivu filtru A jsou na obr. 6 uvedeny výsledky analýzy jednoho úse-



Obr. 6

ku řeči v konkrétním případě letecké radiokomunikace při letu vrtulníku Mi-4. Obrázek dobře ilustruje potlačení nízkofrekvenčních hladin hluku, jež se vyskytují v histogramu L_C a tím i snížení konečné L_{Aekv} oproti L_{Cekv} .

4. Zátěž sluchu osádek vrtulníků hlukem z radiokomunikace

Metodu stanovení hlukové zátěže vlivem akustických signálů, shrnutých pod pojmem hluk z radiokomunikace, jsme použili v případě osádek vrtulníků. Výběr této kategorie letadel ovlivnila zejména skutečnost, že hluk v kabinách vrtulníků dosahuje velmi vysokých

hladin [viz [7]] a mimo to zde byla lákavá možnost experimentovat s poměrně širokým souborem hladin rušivého hluku v kabinách různých typů vrtulníků. Experimentální část práce se uskutečnila při běžných výcvikových letech s vrtulníky Mi-1, Mi-4 a Mi-8. Celkem bylo provedeno 23 měřicích letů, rozdělených na lety v zóně, lety po trati a v případě Mi-4 i při výcvikových letech pracovního charakteru (přenášení břemen).

Hlukové poměry v kabinách vrtulníků ovlivňuje hlavní měrou základní zdroj zvuku — rotor, v některých případech pak ještě výfuk spalovacího motoru a reduktor. Míra a charakter hluku závisí na pracovním režimu hnací jednotky. Charakteristiky vnitřního hluku v kabinách vrtulníků všech uvedených typů byly již ve VZL publikovány [7]. Hlukovou zátěž osádek vrtulníků vyjádříme ve formě trvalé ekvivalentní hladiny hluku A — L_{Aekv} — pro dobu trvání jednoho výcvikového letu. Znamená to, že ve shodě s hygienickou praxí byl signál, zaznamenaný během letu pomocí umělého ucha, při následující hladinové analýze filtrován váhovým filtrem A zvukoměrem.

Statistický rozbor jednotlivých vybraných úseků radiokorespondence ukázal, že během řeči se ojediněle vyskytují amplitudy hladiny akustického tlaku až 116 dB u vrtulníku Mi-1 a až 120 dB u vrtulníků Mi-4 a Mi-8. Celková doba radiokorespondence (tj. doba, po kterou ze sluchátek přichází řečový signál od všech účastníků na zvoleném kanálu) přirozeně závisí na hustotě provozu. Při navigačních letech se doba, po kterou je na zvoleném kanále vedena radiokorespondence, pohybuje okolo 25 % z celkové doby letu; při pracovních letech (přenášení břemen ap.) je to až 65 % letové doby, počítaje v to i hovor mezi členy posádky.

Ekvivalentní hladiny hluku v kabině vrtulníků, měřené přímo zvukoměrem a hladinovým analyzátozem a dále ekvivalentní hladina hluku vybraných úseků radiokorespondence a konečná míra hlukové zátěže sluchu osádek vrtulníků — ekvivalentní hladina hluku z radiokomunikace — jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Ukazuje se, že během letu je ekvivalentní hladina hluku u typů Mi-1 a Mi-4 jen málo odlišná od ekvivalentní hladiny měřené přímo v kabině posádky. Naproti tomu však u typu Mi-8, pokládaného za „tichý“ vrtulník, zhoršila v našem případě radiokomunikace významně hlukovou zátěž sluchu. Je tedy zřejmé, že snížení vnitřního hluku nepřináší pro posádky žádný významný efekt, pokud současně není změněn i systém radiokomunikace. Tato zjištění byla již zahrnuta do návrhu nejvýše přípustných hladin vnitřního hluku v kabinách letadel [viz [8]].

Střední průběhy časových kumulativních distribučních funkcí úseků nahrávek s hustou radiokorespondencí, vyjadřující časový výskyt t_m (v % z celkového trvání vzorku) hladin nad

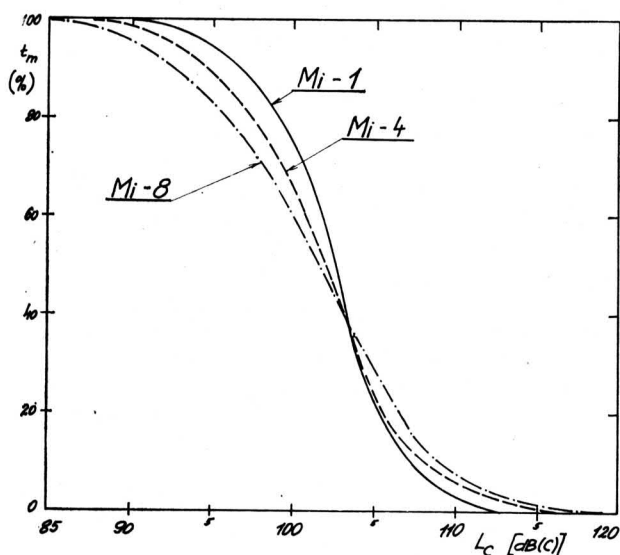
Tab. 1

Ekvivalentní hladiny hluku a hluková zátěž osádek vrtulníků

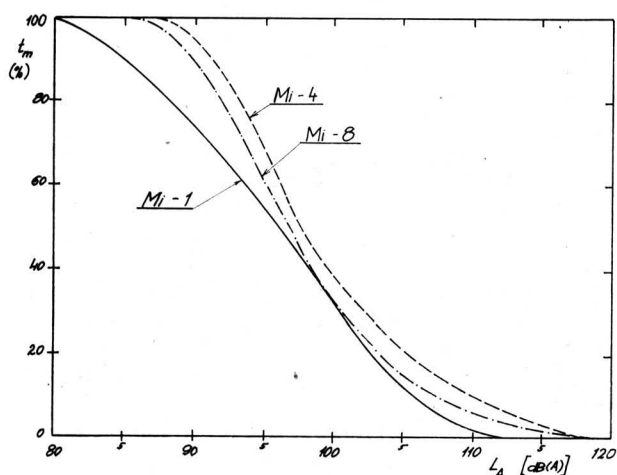
Typ vrtulníku		Ekvivalentní hladina hluku v kabině pro dobu jednoho letu dB(A)	Ekvivalentní hladina úseku radiokorespondence dB(A)	Ekvivalentní hladina hluku z radiokomunikace pro dobu jednoho výcvikového letu dB(A)
Mi-1		104—106	94,5—99,5	98,5—104,0
Mi-4	lety po trati	105—107	91,5—102,0	95,0—98,0
	pracovní lety	107—109		102,0—103,0
Mi-8		86—87	101,0—105,0	101,0—104,0

postupně nastavovanou hladinou akustického tlaku, v závislosti na této hladině L_m (v dB), jsou na obr. 7 a 8. Prvý z nich představuje distribuci celkových hladin zvuku L_C , obr. 8 udává distribuci hladin zvuku L_A .

Průběhy časových kumulativních distribučních funkcí vybraných vzorků řeči byly prak-



Obr. 7



Obr. 8

ticky ve všech případech bez nápadných zlomů či jiných anomálií. Lze jen potvrdit jejich shodu s publikovaným rozložením amplitud přímé řeči podle Bradyho a VŮZORT. Z výsledků analýzy se zařazeným filtrem A zvukoměru (pro odstranění rušivých nízkofrekvenčních diskretních složek od rotoru) ani z nefiltrovaných záznamů se nedá spolehlivě stanovit hranice rušivého šumu. Distribuční funkce stejně jako funkce hustoty pravděpodobnosti výskytu amplitud ukazují na normální rozložení amplitud nebo jemu velmi blízké.

Poměrně bohatý experimentální materiál vykazoval jen malé rozptyly hodnot jak z vlastního měření akustických parametrů v kabinách, tak ze statistického rozboru vzorků radiokorespondence.

5. Závěr

Popsaná metoda rozboru hluku z radiokomunikace a vyjádření hlukové zátěže umožňují specifikovat celkový akustický signál, působící na sluch z radiokomunikačních pojítek i v podmínkách intenzivního okolního hluku prostředí. K samotné metodě statistické analýzy radiokomunikace se dá shrnout, že jde o techniky dostupný způsob k získání řady důležitých informací. Umožňuje podrobný rozbor radiokomunikace nejen z hlediska působení na sluch (hlukové zátěže), ale též z hlediska vlivu různých typů sluchátek na sledované parametry akustického signálu (v amplitudové i frekvenční oblasti), úrovně maskujících šumů, hustotě radiokorespondence a dalších. Metodu je možno dále dopracovat pro potřeby kontroly technického stavu radiokomunikačních pojítek. V každém případě tato metoda jako jediná umožňuje posoudit skutečnou hlukovou zátěž sluchu ve složitých akustických poměrech při radiokomunikaci v kabinách bojových prostředků.

Literatura

1. Brady, P. T.: A technique for investigating on-off patterns of speech. The Bell System Technical Journal, 44, 1965, č. 1, s. 1.
2. Brady, P. T.: A statistical basis for objective measurements of speech levels. The Bell System Technical Journal, 44, 1965, č. 9, s. 1453.
3. Brady, P. T.: Equivalent peak level: A threshold —

- independent speech level measure. Jour. Ac. Soc. Am., 44, 1968, č. 3, s. 695.
4. Januška, J.: Základní koncepce výzkumu vlivu maskování hlukem na srozumitelnost řeči. Dílčí zpráva, VÚZORT, č. 2, 1970.
 5. Januška, J.: Předběžné výsledky výzkumu statistického rozložení okamžitých hladin zvuku v plynulé české řeči. Sborník referátů z 8. akustické konference, 1970, s. 88—92.
 6. Januška, J.: Srozumitelnost české řeči při maskování stacionárním širokopásmovým bílým šumem. Závěrečná zpráva VÚZORT, č. 24, 1972.
 7. Šulc, J.: Hluková zátěž osádek vrtulníků. Voj. zdrav. listy, XLII, 1973, č. 2, s. 56—64.
 8. Šulc, J.: Návrh přípustných limitů pro vnitřní hluk letadel a metody jejich kontroly. Závěrečná zpráva ÚLZ Praha, č. publ. 218, 1976.
 9. Šulc, J.: Akustické podmínky letecké radiokomunikace. Sborník referátů z 14. akustické konference, 1976,