

Ing. Vladimír S i k a, VÚHU

Hodnocení sluchové zátěže u řidičů lopatových rypadel v SHR

1. Úvod

Zajištění bezpečnosti práce a ochrany zdraví při práci je jedním z hlavních úkolů hospodářských, státních a odborových orgánů. Potenciální škodlivinou pracovního prostředí je nadměrný hluk. Nebývá však zpravidla jedinou škodlivinou, vyskytující se na rizikovém pracovišti. Nadměrný hluk bývá často provázen výskytem dalších škodlivin, například vibracemi, exhalacemi a nadměrnou prašností. Ostatní škodliviny, jejichž výskyt bývá u některých skupin pracujících charakteristický, nepříznivé účinky hluku potencují. Často se také podceňuje používání ochranných pracovních pomůcek proti hluku.

Tyto skutečnosti se projevují v možnosti působení přechodných či trvalých škod na zdraví hluku vystavených pracovníků.

Jednou ze skupin takových pracovníků jsou osádky lopatových rypadel, která jsou typem strojů používaných již dlouhou dobu jak při těžbě nadloží, tak při těžbě uhlí. U těchto strojů nebyla otázka ochrany proti hluku, až na malé výjimky v poslední době, při výrobě řešena a zvláště u starších typů byl zjišťován častější výskyt poškození sluchu a stupně profesionální hluchoty. Kromě toho je nutné počítat s psychickou zátěží, danou nároky na obsluhu stroje. To má za následek kumulaci účinků působících škodlivin vlivem stressových podnětů, pro přesný a kvantifikovaný účinek v oblasti psychické a vegetativní však není dost podkladů. Nejprůkaznějším kritériem poškození zůstává sluchový práh, zjištěný audiometrickým vyšetřením.

2. Účinky průmyslového hluku

Stanovení nejvyšších přípustných hodnot hladin hluku je součástí vyhlášky č. 13/1977 MZd ČSR o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Pro osmihodinovou pracovní dobu je stanovena nejvyšší přípustná akvivalentní základní hladina hluku $L_{Az} = 85 \text{ dB /A/}$ s korekcí na druh vykonávané činnosti. Pro profesi řidičů lopatových rypadel je stanovena korekce -5 dB . Hladiny hlučnosti u těchto strojů se pohybují v rozmezí $82 - 93 \text{ dB /A/}$ /hodnoceno jako L_{Aeq} /.

Pro případy, kde hladiny hluku nedávají dostatečné informace o riziku, jsou doporučeny metody biologického hodnocení škodlivosti hluku. Podstatou těchto metod je zhodnocení nárůstu sluchových změn v čase na některé citlivé frekvenci, případně porovnání procentuálního výskytu sluchových změn u pracovníků se statistikami dle ISO/DIS 1999. Tato mezinárodní norma zahrnuje vztah mezi existující hladinou hluku a trvalým posunem prahu slyšení v důsledku působení hluku. Tento vztah byl zjišťován u lidí různých věkových kategorií.

U osob, které se pravidelně pohybují v hlučném prostředí může dojít k poškození jejich sluchového orgánu v různé míře. V důsledku poškození sluchu u postižených osob se objevují potíže při dorozumívání, vnímání každodenních akustických signálů, při poslechu hudby atd. K trvalému poškození sluchu dochází v průběhu měsíců a roků působení hluku.

Zdravotní účinky hluku můžeme shrnout podle závažnosti do těchto základních kategorií:

1. Zatížení hlukem
2. Ohrožení hlukem
3. Poškození hlukem

V první kategorii jsou účinky, které se projevují v souvislosti s různými složitými reakcemi organismu sluchovou únavou, pocitem nepohody, zvýšenou únavou při práci, zhoršeným soustředěním apod. Zotavování - doznívání sluchové

únavy probíhá v době několika minut až hodin, někdy i dnů, v závislosti na intenzitě, charakteru zátěže, případně podle vlivu dalších činitelů.

O druhé kategorii mluvíme tehdy, když dochází k projevům mimoušních účinků hluku. Jde například o poruchy neurovegetativní, dýchací, srdečně cévní, stressové a jiné nespecifické účinky hluku.

K poškození hlukem dochází pak tehdy, když při opakovaném a dlouhodobém působení přechází přechodné poškození v trvalé. U poškození průmyslovým hlukem nastává vývin profesionální nedoslýchavosti či hluchoty. Při hodnocení stupně poškození sluchu se vypočtou sluchové ztráty v procentech dle Fowlera na základě audiometrického vyšetření.

Intenzita hluku a čas, po který hluk působí, jsou dva hlavní faktory, způsobující vznik profesionální nedoslýchavosti. Tyto dva faktory jsou ve vzájemné nepřímé závislosti. Čím je hluk intenzivnější, tím kratší doba stačí k vyvolání poruchy.

I časový faktor má dvě složky. Nejprve je to doba trvalého působení, to znamená po jakou dobu působí nepřetržitě, například během jedné směny. Po přerušení hlukového zatížení dochází totiž k restituci sluchu, jeho zotavení. Zotavení probíhá v čase podle jistých zákonitostí. Čím je hluk, poruchu způsobující, intenzivnější a čím déle působí, tím delšího času je třeba k zotavení.

Neméně důležitou roli má charakter působícího hluku. Limitní dávka hluku je podle našich vyhlášek definována za předpokladu, že hlavní veličinou, na které závisí nepříznivé působení hluku na člověka, je akustická energie.

Pro tyto dva typy hluku však není tento předpoklad zcela splněn, a to pro hluk pravidelně přerušovaný a pro hluk impulzní. U hluku pravidelně přerušovaného lze podle názoru některých autorů dávku akustické energie zvýšit.

Předpokládá se, že v průběhu přestávek bez hluku má organismus možnost si odpočinout. Účinek přestávek je přitom značný, neboť doba nutná k zotavení závisí na druhé až třetí mocnině doby nepřetržitého působení hluku.

Podstatně složitější je situace u hluku impulzního, u lopatových rypadel však nebyl jeho výskyt zjištěn.

Hluková zátěž na jednotlivých typech rypadel byla zjišťována osobním hlukovým dozimetrem B&K 4428.

Naměřené ekvivalentní hladiny hluku A na uvedených rypadlech je třeba chápat jako informativní vzhledem k rozdílné hlučnosti jednotlivých strojů stejného typu.

TYP	$L_{Aeq}/dB/A/$	TYP	$L_{Aeq}/dB/A/$
E 2,5	88,5	E 303	75,5
E 7	85,6	DH 101	92,8
E 302	82,2	DH 103	83,0

3. Popis souboru dat

K audiometrickému výzkumu byla vybrána rozsáhlá skupina pracovníků lopatových rypadel ze závodů SHR v okrese Most se zaměřením na zhodnocení sluchových ztrát na kritických frekvencích v závislosti na věku, pracovní stáži a dalších faktorech.

Podkladovým materiálem byla audiometrická vyšetření v laboratoři preventivní audiometrie v audiometrické komoře, umístěné v budově OHS v Mostě. Vyšetřované osoby byly vždy s minimálním odstupem 16 hodin po hlukové expozici. Se všemi pracovníky byly potřebné údaje sepsány do podrobných dotazníků. Ze zpracovaných dotazníků byl sestaven datový soubor pro vlastní statistickou analýzu.

Výsledkem měření a zjištění byla matice $M \times 25$, kde M je počet vyšetřených pracovníků /370/, u nichž bylo

zjištěno /změřeno/ 25 hodnot zakódovaných pod čísly 1 - 25. Proměnné datového souboru jsou uvedeny v příloze č. 1.

Tato data byla na pronajatém zařízení pořízena do děrné pásky, odchycena a zpracována na počítači. Systém krokové regresní analýzy, které bylo použito, jak bude uvedeno dále, umožnil interaktivní určování počtu a typu nezávislých proměnných, interaktivní řešení relačních vztahů při volbě nezávislých proměnných apod.

4. Volba metody regresní analýzy

Při posuzování dostupných procedur regresní analýzy bylo sledováno splnění dvou funkcí:

- výběr statisticky významných proměnných ze všech proměnných vzatých do úvahy;
- stanovení konkrétního regresního modelu tj. výpočet hodnot parametrů a charakteristik.

Z tohoto hlediska se jeví jako nejvhodnější procedura krokové regrese.

Uvažujme obecný lineární regresní model

$$y_i = b_0 + \sum_{j=1}^n b_j x_{ij} + e_i \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n \quad /1/$$

kde indexem i / $i = 1, 2, \dots, m$ / jsou označena jednotlivá pozorování /zjištěná data u každého pracovníka/, jejichž celkový počet je m , indexem j / $j = 1, 2, \dots, n$ / pak jednotlivé nezávislé proměnné /vlivy na sluchové ztráty/, jichž je n . Parametry regresní funkce jsou $b_0, b_1, \dots, b_n$, přitom b_0 je absolutní člen a b_j / $j = 1, 2, \dots, n$ / jsou regresní koeficienty, e_i je normálně rozdělená náhodná veličina s nulovou očekávanou hodnotou s konstantním rozptylem σ^2 , přitom $e_1, e_2, \dots, e_m$ pro $i \neq j$ jsou nezávislé veličiny.

Nezávisle proměnné x_i ke zkoumané závislé proměnné y jsou vybírány na základě znalosti jejich vlastností, významu a vztahu k závislé proměnné a na cílech, kterým má model sloužit. Neexistuje obecná šablona, podle níž lze postupovat, ke každému případu je třeba individuální přístup.

Druhá z uvedených všeobecných zásad byla plně respektována při řešení této problematiky.

Lineární model ve tvaru /1/ lze zařazením vhodných transformací převést na úkoly nelineární.

Výběrem nezávisle proměnných a transformacemi je určen regresní model. Po volbě hodnot statistických kritérií pro zařazení, respektive vyřazení proměnných do res. z regresní rovnice, po výpočtu meziproductů /průměrů, standardních chyb, matice párových korelací atd./ lze přistoupit k proceduře "krokové regrese", jejíž algoritmus je stručně popsán dále. Jako kritérium pro zařazení či vyřazení proměnných se nejčastěji používá F - test.

5. Algoritmus krokové regrese

Předpokládejme soubor dat, ve kterém chceme zjistit statistické závislosti, smysl a míry vlivu mezi závisle proměnnou y a nezávisle proměnnými $x_1, x_2, \dots, x_n$. Algoritmus vychází z předpokladu, že jsou vypočteny průměry a standardní odchylky všech proměnných, že je k dispozici matice párových korelačních koeficientů a jsou zvoleny další parametry.

Krok 1. Výběr zakládající proměnné. Testování přínosu vybrané proměnné pro vysvětlení rozptylu závislé proměnné.

Na tomto kroku je vybrána z nezávisle proměnných $x_1, x_2, \dots, x_n$ ta, která je nejtěsněji korelována se závisle proměnnou y .

Kritérium pro výběr první proměnné jsou párové korelační koeficienty $r_{0,j}$ mezi nezávisle proměnnou y a nezávisle proměnnými x_j / $j = 1, 2, \dots, n$ /.

Pro zjednodušení předpokládejme, že je vybrána právě x_1 . Dříve, než je pro tuto proměnnou sestavena regresní rovnice, resp. vypočteny její koeficienty, je testována proměnná pro vysvětlení celkového rozptylu závisle proměnné y .

Krok 2. Výběr další proměnné z těch, které dosud nejsou zahrnuty do regresní rovnice. Testování jejího přínosu pro vysvětlení rozptylu závisle proměnné a přepočet regresních koeficientů všech nezávisle proměnných, které už jsou zahrnuty do regrese.

Kritérium pro další proměnné z $x_2, x_3, \dots, x_n$, které dosud v regresní rovnici nefigurují, jsou parciální korelační koeficienty mezi nezávisle proměnnou y a nezávisle proměnnými x_j s vyloučením vlivu těch proměnných, které jsou již do regresní rovnice zahrnuty. V našem případě jsou to parciální korelační koeficienty $r_{0,j,1}$, $j=2,3,\dots,n$, neboť v regresní rovnici je zatím zahrnuta jen proměnná x_1 . Předpokládejme, že nejtěsněji korelována bude proměnná x_2 . Pro tuto proměnnou jsou pak vypočteny všechny další charakteristiky jako u kroku 1. Uvedeným postupem procedura pokračuje dalšími kroky až do vyčerpání všech zvolených proměnných z příslušného statistického souboru dat.

Jedním z programů, které pracují v popsaném algoritmu přímé procedury mnohonásobné krokové regresní analýzy, je program STEP. Programu bylo používáno při zpracování souboru dat pracovníků lopatových rypadel na výpočetním systému SM - 3 ve VÚHU v Mostě. Program byl upraven a zaveden na výpočetní systém ADT 4500, kde je v současné době využíván.

6. Hodnocení získaných výsledků

Byla hodnocena skupina o celkovém počtu 370 pracovníků, kteří byli opakovaně preventivně audiometricky vyšetřeni v jedno až dvouletých intervalech. Průměrný věk u této skupiny je 37 let se směrodatnou odchylkou 9,5; průměrná expozice v hluku 11,37 let se směrodatnou odchylkou 9,35.

Významné sluchové změny byly zjištěny u 28,9 % pracovníků. K dispenzarizaci /50 a více dB/4000 Hz/ je indikováno 16,5 % pracovníků. Z toho ohrožení hlukem /ztráty 20 % dle Fowlera a více/ je u 5,6 % pracovníků, odškodnění u 0,54 % pracovníků.

Pomocí matice vypočtených párových korelačních koeficientů /matic o rozměru 25x25/ byly vytypovány signifikantní závislosti mezi proměnnými, uvedenými v příloze č. 1. Prakticky nulová korelační závislost byla zjištěna u druhu ochranných pomůcek, krevního tlaku a vlivu kouření ve vztahu ke všem ostatním proměnným. Uvedené proměnné nebyly proto do dalších výpočtů zahrnuty. Významnější korelační závislost byla zjištěna u zdravotních potíží ve vztahu k hluku /7/ vůči ztrátám sluchu v % Fw /13/ a sluchovému prahu na frekvenci 2000 Hz /16,22/. Byly zjištěny korelační koeficienty $r_{7.13} = 0,467$; $r_{7.16} = 0,456$ a $r_{7.22} = 0,428$. U onemocnění v souvislosti se sluchem /8/ byla v porovnání s ostatními proměnnými zjištěna rovněž nejtěsnější korelace s proměnnými 13,16 a 22, a to $r_{8.13} = 0,242$; $r_{8.16} = 0,254$ a $r_{8.22} = 0,267$. Z toho vyplývá, že frekvenci 2000 Hz lze považovat za indikátor sluchových chorob a je třeba jí věnovat pozornost při zařazování pracovníka do hlučného provozu. Dále byla vyhodnocena míra vztahu mezi expozicí v hluku v uvedené profesi /5/ a vývinem sluchových ztrát. Nejtěsnější korelace byla zjištěna na frekvencích 3000 Hz /17,23/, 4000 Hz /18,24/ a 6000 Hz /19,25/. Byly vypočteny korelační koeficienty $r_{5.17} = 0,288$, $r_{5.18} = 0,327$; $r_{5.19} = 0,295$; $r_{5.23} = 0,289$; $r_{5.24} = 0,328$ a $r_{5.25} = 0,270$.

Jak je z vypočtených korelačních koeficientů patrné, nejcitlivější frekvencí jsou 4000 Hz. Při sledování vlivu věku /4/ na vývin sluchových ztrát byly vypočteny korelační koeficienty $r_{4.17} = 0,521$; $r_{4.18} = 0,577$; $r_{4.24} = 0,552$ a $r_{4.25} = 0,465$. V tomto případě opět nejtěsnější koreluje frekvence 4000 Hz. Tuto frekvenci lze považovat za citlivý indikátor stavu sluchu ve vztahu k věku a expozici pracovníka na hlučném pracovišti.

Výběr proměnných do regresní analýzy byl volen na základě uvedených charakteristik. Pro výpočet regresních vztahů sluchových změn byly jako nezávislé proměnné, které musí vstoupit do regrese, určeny hodnoty věku /4/ a expozice v hluku /5/. Druh stroje /3/ jako proměnná, která může vstoupit do regrese. Regresní analýza dynamiky nárůstu sluchových ztrát byla provedena na všech frekvencích. Na nejcitlivější frekvenci 4000 Hz v kroku 1 vstoupila proměnná 4 /věk/, v kroku 2 proměnná 5 /expozice/. Na každém kroku byl vypočten index determinace jako míra těsnosti.

Zvolíme-li regresní funkci tvaru:

$$y \text{ /dB/} = A_0 + A_1 x \text{ /věk/} + A_2 z \text{ /exp./},$$

pak dílčí regresní koeficient A_1 udává nárůst sluchových ztrát v dB za každý rok věku a A_2 udává ztráty v dB za každý rok expozice v hluku.

Po výpočtu regresních koeficientů byly získány následující regresní přímky:

pro 4000 Hz regresní přímka tvaru

$$y = - 8,76 + 0,75 x + 0,069 z \quad \text{a index determinace } 0,313,$$

pro průměr na frekvencích 3000, 4000 a 6000 Hz regresní přímka tvaru

$$y = - 3,48 + 0,69 x + 0,1 z \quad \text{a index determinace } 0,303.$$

Skupina pracovníků s delší expozicí, u které bylo provedeno doplňující audiometrické vyšetření /114 osob/, byla hodnocena zvlášť a byly získány regresní vztahy:

pro 4000 Hz regresní přímka tvaru

$$y = - 2,63 + 0,49 x + 0,37 z \quad \text{a index determinace } 0,307,$$

pro průměr na frekvencích 3000, 4000 a 6000 Hz regresní přímka

$$y = 3,90 + 0,41 x + 0,39 z \quad \text{a index determinace } 0,278.$$

V tomto výběru vstoupila proměnná 5 /exp./, proměnná 4 /věk/ v kroku 2. Ve všech výběrech v kroku 3 vstupovala jako

další proměnná 3 /druh stroje/, ale index determinace v tomto kroku nebyl nikdy vyšší než 0,005. To znamená, že druh stroje se na vývin sluchových ztrát u tohoto souboru neuplatňuje. Zjištěné regresní přímky jsou vyneseny do intervalových grafů v příloze č. 2 a 3. Regresní přímky, zjištěné doplňujícím měřením, jsou vyznačeny čárkovaně. Grafy jsou vhodné pro rychlou orientaci k individuálnímu porovnání audiometrických nálezů při nástupu pracovníka do profese řidič lopatových rypadel a při periodických prohlídkách.

Jedna z progresivních metod hodnocení pracovní hlukové expozice je obsažena v návrhu ISO/DIS 1999. Doporučení ISO dává praktické údaje o vztahu mezi hlukovou expozicí, vyjádřenou hladinou hluku, a dobou jeho trvání a o procentu osob, u nichž může být očekávána sluchová porucha, která je p o u z e důsledkem hlukové expozice na pracovišti. Základem tohoto hodnocení je stanovení limitu pro uchování schopnosti rozumět konverzační řeči, který určuje přípustné hodnoty úrovně sluchu na frekvencích, majících význam pro dorozumění řeči. Obsahuje vztahy a podklady pro stanovení rizika na pracovišti pro ekvivalentní hladiny hluku L_{Aeq} 80 až 100 dB, působícího 8 hodin denně při pětidenním pracovním týdnu. Hodnocení lze provést pro frekvence 500 - 6000 Hz. Grafické srovnání skupiny pracovníků lopatových rypadel se statistikami této mezinárodní normy bylo provedeno pro průměr sluchového prahu na frekvencích 2000, 3000 a 4000 Hz za předpokladu působení $L_{Aeq} = 90$ dB/A/ po dobu 8 hodin denně s expozicí 30 let. Příklad stanovení rizika dle ISO/DIS 1999 pro tuto skupinu pracovníků je uveden v příloze č. 4.

Průměrné sluchové ztráty byly vypočteny v decibelovém rozpětí. Z grafu je patrné, že více jak 10 % pracovníků lopatových rypadel je podle tohoto hodnocení ohroženo hlukem.

7. Závěr

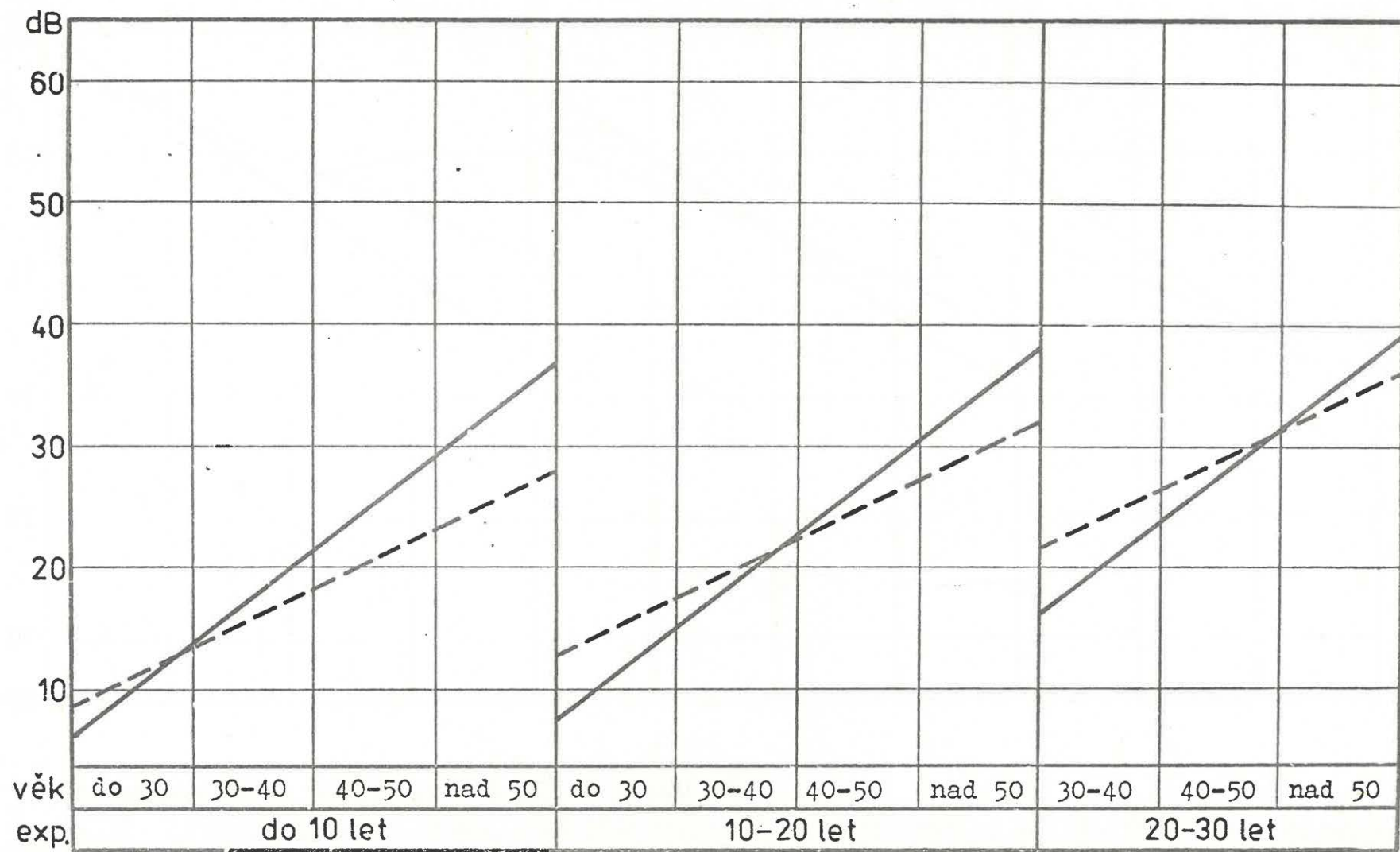
Řešení problematiky vlivu působení nadměrné hlučnosti v kumulaci s dalšími škodlivinami na zdraví hlukem exponovaných pracovníků zůstává jedním z hlavních problémů v oblasti pracovního prostředí, bezpečnosti a hygieny práce. Přes veškerou péči v oblasti aktivního snižování hluku stále existuje a výhledově nutno předpokládat, že ještě dlouho bude řada pracovišť s nadměrnou hlučností, s výskytem hluku různého charakteru /ustálený, proměnný, přerušovaný, případně impulsní/. Audiometrický výzkum u pracovníků SHR na zvláště nebezpečných pracovištích a nejvíce exponovaných profesí, kde jsou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty hladin hluku, umožňuje získání výsledků, které charakterizují závažnost hlukového rizika.

U skupiny řidičů lopatových rýpadel v SHR v okrese Most bylo provedeno biologické hodnocení agresivity hluku metodou mnohonásobné krokové regresní analýzy nárůstu sluchových ztrát na kritických frekvencích v závislosti na věku, pracovní stáži a dalších faktorech. Dynamika nárůstu sluchových ztrát u této profese na frekvencích 2000, 3000 a 6000 Hz byla zjištěna nižší než 1 dB/rok věku a pracovní stáže. Dále byla stanovena míra poškození sluchu v důsledku hluku na pracovišti perspektivní metodou podle návrhu mezinárodní normy ISO/DIS 1999. Z tohoto hodnocení vyplývá, že více než 10 % pracovníků je ohroženo hlukem. Výsledků je využíváno jako podkladů pro organizační protihluková opatření s cílem snížení škod hluku na zdraví pracovníků. Řešení problematiky probíhá v úzké spolupráci laboratoře výzkumné audiometrie VÚHU s odborem bezpečnosti a hygieny práce GR SHD a odborem pracovníků lékařství OHS v Mostě, kde se pracovníci rizikových provozů v SHR podrobují vstupním a periodickým prohlídkám. Během periodických prohlídek u pracovníků rizikových pracovišť pak lze podchytit ty jedince, u kterých nárůst sluchových změn přesahuje limity, zjištěné statistickou analýzou. Tím je umožněno provést včas vhodné preventivní opatření a zamezit progresi stávající poruchy.

Proměnné datového souboru

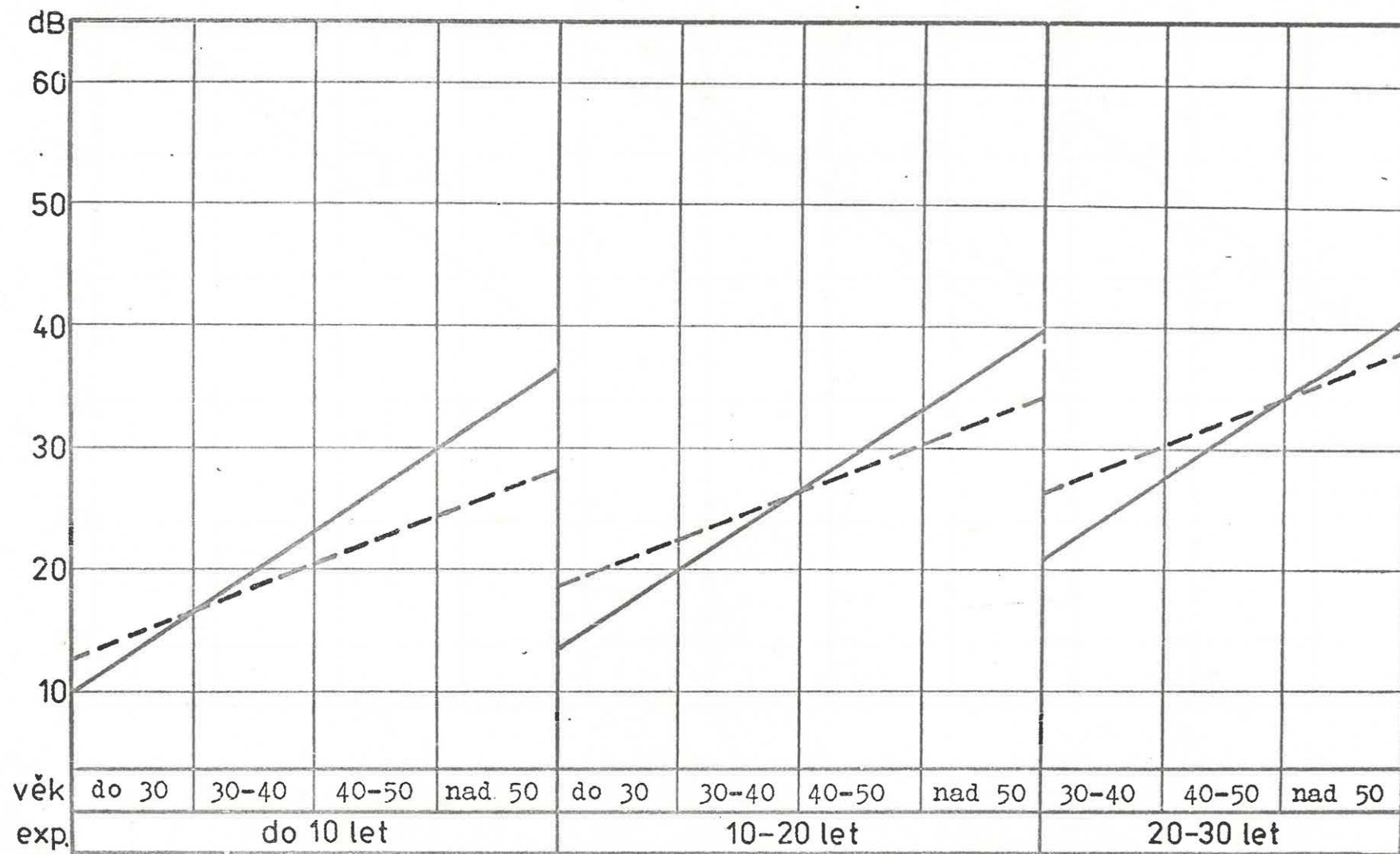
č. sloupce	proměnné
1	číslo pracovníka /dáno pořadím řádku/
2	číslo závodu
3	druh stroje /1 - E 2,5; 25 2 - E 7 3 - E 302 4 - ostatní/
4	věk
5	expozice v hluku /v letech/
6	ochranné pomůcky /0 - ne, 1 - sluchátka, 2 - jiné/
7	zdrav. potíže vztažené k hluku /0 - ne, 1 - ano/
8	onemocnění v souvislosti se sluchem /0 - ne, 1 - ano/
9	krevní tlak /0 - normální, 1 - snížený, 2 - zvý- šený/
10	kouření /0 - ne, 1 - ano/
11	audiometrický nález /0 - normál., 1 - percepce, 2 - převod, 3 - kombin./
12	rozdělení dle sluch. ztrát /0 - vyhovuje, 1 - - 50/4000 Hz, 2 - 30 %, 3 - 50 %, 4 - jiné/
13	sluchové ztráty vypočtené dle Fowlera /%/
14	zjištěný práh vpravo na 500 Hz /dB/
15	zjištěný práh vpravo na 1000 Hz /dB/
16	zjištěný práh vpravo na 2000 Hz /dB/
17	zjištěný práh vpravo na 3000 Hz /dB/
18	zjištěný práh vpravo na 4000 Hz /dB/
19	zjištěný práh vpravo na 6000 Hz /dB/
20	zjištěný práh vlevo na 500 Hz /dB/
21	zjištěný práh vlevo na 1000 Hz /dB/
22	zjištěný práh vlevo na 2000 Hz /dB/
23	zjištěný práh vlevo na 3000 Hz /dB/
24	zjištěný práh vlevo na 4000 Hz /dB/
25	zjištěný práh vlevo na 6000 Hz /dB/

Intervalový graf pro 4 000 Hz



Příloha č. 2

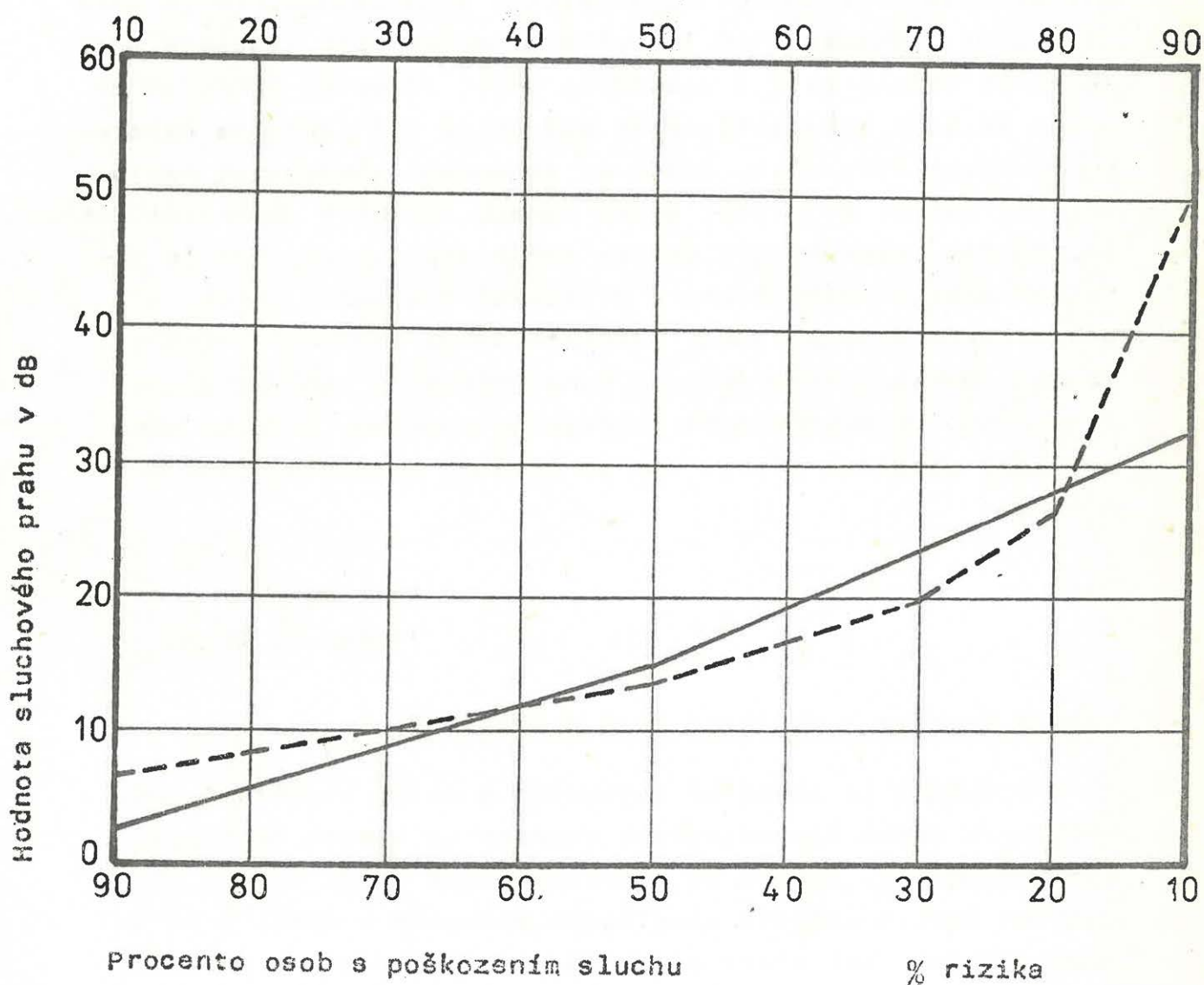
Intervalový graf pro 3 000, 4 000 a 6 000 Hz



Příloha č. 4

Hodnocení pracovní hlukové expozice dle ISO/DIS 1999

Procento osob s nepoškozeným sluchem



———— hodnoty dle ISO/DIS 1999
----- hodnoty zjištěné u profese řidičů lopatových rypadel