

Ing. Božetěch P r a ž á k , VÚHU:

Impulsní hluk, jeho účinky a měření

Ú v o d

Skutečnost, že krátce znějící, přerušovaný hluk (jako jsou výstřely, nárazy kovových součástí při nýtování, rovnání plechů, u strojních nůžek, při kovářské práci, nárazy vozů v dopravě atd.), který lze nazývat impulsní, obtěžuje sluchový orgán více než hluky nepřerušované, je známa. Je potvrzena nejen subjektivními pocity pracujících, nýbrž i řadou pokusů na vědeckých pracovištích. Například se porovnává účinek impulsního i nepřerušovaného, ustáleného hluku o stejné intenzitě na různé reakce lidského těla (okulomotorické reakce, tepové frekvence, krevní tlak, adaptaci středoušního systému, změny kochleárních potenciálů apod.). Záleží ovšem na délce impulsu a na počtu impulsů za jednotku času. Následují-li impulsy tak rychle za sebou, že sluchový orgán nemá možnost se zotavit, pak jsou účinky nebezpečnější než při stejně intenzivním hluku nepřerušovaném. Účinky impulsního hluku jsou tím větší, čím nižší je hladina pozadí. Rozdíly hlasitosti menší než 5 dB jsou zanedbatelné. Nejnepríznivější jsou účinky hluku v kovoprůmyslu, v hlubinných dolech a samozřejmě i při střelbě a nastřelování svorníků do betonu. Nebezpečné účinky impulsního hluku na sluch se projevují při hlasitostech nad 90 dB (A). Nižší hladiny způsobují pouze neurovegetativní a psychologické potíže.

Impulsní a krátkodobý zvuk je v současné době ve světě předmětem intenzivního výzkumu. Celé problematice bylo nutno dát vědecký podklad, definovat, co je to impulsní hluk, jaké má fyziologické účinky, jak na něj sluch reaguje, jak se impulsní hluk měří a jaká kritéria platí pro hodnocení jeho závadnosti vzhledem ke zdraví pracujících.

Klasifikace impulsního hluku

Dle směrnice č. 32 ministerstva zdravotnictví z roku 1967 je

impulsní hluk definován jako takový, u něhož změna intenzity probíhá prudce a hlučný interval je kratší než 300 milisekund (ms). O délce tichého intervalu se nehovoří, ale při frekvenci impulsů větší než 100 za minutu (tj. při intervalu mezi pulsy asi 300 ms) se připouští korekce - N 5 na třídu hluku pro pracující přípustnou.

Dle normy ČSN 01 1603 o metodách měření hluku z roku 1968 je impulsní hluk definován jako sled pulsů o délce 1 - 200 ms a s intervalem mezi pulsy 10 ms a delšími. (Pokud jsou intervaly mezi pulsy kratší než 10 ms, považuje se to za hluk ustálený, neimpulsní). Totéž udává ČSN 35 6870, norma pro zvukoměry, která ve shodě s doporučením IEC/TC-29 udává přibližnou časovou konstantu 40 ms.

V původním návrhu IEC (International Electrotechnical Commission) je udána délka impulsu 1 - 100 ms a byla později zvětšena. Časová konstanta RC okruhu, stanovená původně na 40 ms, byla později po mezinárodní dohodě změněna na 35 ms.

Účinky impulsního hluku na lidský sluch

Je-li sluchové ústrojí vystaveno hluku o vyšší hladině, např. mezi 90 - 120 dB(A), tj. intenzitám, při nichž je už nebezpečí, že po určité době může dojít k poškození orgánů vnitřního ucha, uplatní se automatické ochranné reakce organismu (adaptace), vzniklé dlouhodobým vývojem člověka, které se snaží sluchové ústrojí chránit a zabránit, aby běžná reversibilní únava z hluku nepřešla v ireversibilní změny ve funkci vnitřního ucha, kdy vzniká trvalá deformace basální membrány v hlemýždi. Při reversibilní změně se po odeznění hluku a únavy vrátí orgán opět do původního stavu. Po ireversibilní změně zůstává trvalé posunutí sluchového prahu, tj. určitý stupeň nedoslýchavosti, akustické trauma, profesionální nedoslýchavost, přímo jako percepční vada.

Adaptace sluchových orgánů je složitý jev (podstatně složitější než adaptace oka na světelné impulsy). Rozlišujeme adaptaci periferní ve středním a vnitřním uchu a centrální v mozkové kůře.

Adaptace středního ucha spočívá ve stažení kůstek středního ucha malými svaly, čímž se změní přenos hlavně hlubokých tónů. Tato adaptace nastane asi do 10 ms a útlum je cca 20 dB (do 10 ms ucho

zvuk nevnímá a nerozeznává jeho frekvenci, proto také není možno vnímat tiché intervaly impulsního hluku, kratší než 10 ms. Rychlejší adaptaci tedy ucho nepotřebuje).

Adaptace vnitřního ucha je dána jednak únavou vláken a buněk sluchového nervu a reakcí z mozkové kůry na impuls sluchového vjemu. Tato adaptace trvá asi 20 - 140 ms a je zřejmě individuálně silně variabilní (dle ní byla určována časová konstanta pro měření impulsních hluků na základě požadavku, aby měřicí přístroj reagoval na zvukový náraz podobně jako lidské ucho). Konstanta 35 ms byla zvolena proto, že asi za trojnásobnou dobu dojde k vyrovnání měření zvukové hladiny impulsů na 90 %, tj. asi za 100 ms. Je to přibližně střední hodnota periferní adaptace.

K adaptaci centrální dochází vlivem útlumu, vznikajícího v mozkové kůře. Je také individuální a trvá 150 - 500 ms.

Všechny tři druhy adaptací nastupují současně, zpočátku postupuje posun sluchového prahu rychle, později pomalu a maxima útlumu je dosaženo asi za 3 minuty, kdy nastane nasycení (saturace) sluchového orgánu hlukem. Velikost posunu sluchového prahu je individuální, ale informativně lze udat tyto hodnoty:

Při hladině zvuku 120 dB činí posun asi 80 dB,
" " " 100 dB " " " 70 dB,
" " " 80 dB " " " 50 dB,
" " " 60 dB " " " 30 dB.

Po odeznění zvuku nastává restituce, návrat sluchového prahu do normální hladiny, za předpokladu, že nedošlo k únavě nebo narušení sluchového orgánu. Normální restituce může trvat např. jen 1 - 10 vteřin, ale pokles sluchového prahu vlivem únavy může trvat několik minut, hodin nebo i dní, než restituce skončí a citlivost sluchu se obnoví. Závisí to na intenzitě působícího zvuku a době expozice. Při narušení percepčního orgánu zůstává trvalá ztráta schopnosti vnímání hluku, projevující se buď jen při určitých, nejčastěji vyšších frekvencích, nebo v některém pásmu. Profesionální nedoslýchavost začíná posunem sluchového prahu v oblasti od 4 - 6 kHz, což lze zjistit audiometrickým vyšetřením (c⁵ dip.).

Rozdíl v působení délatrvalicího a impulsního hluku je možno nejlépe osvětlit příkladem:

Na obr. 1 je znázorněn účinek ustáleného hluku o hladině 60 dB, trvající 5 minut (případ a). V první fázi nastává asi za 3 minuty saturace sluchu a útlum dosahuje svého maxima, asi 30 dB. Na této hodnotě sluchový práh zůstává další 2 minuty a pak po odeznění obtěžujícího zvuku dochází k restituci. Protože nedošlo k únavě nebo narušení sluchového orgánu, je restituce rychlá, 90 % se dosahuje asi za jednu vteřinu a zbytek za několik dalších vteřin (byly vzaty průměrné hodnoty; mezi jednotlivci jsou velké individuální rozdíly a uvedené hodnoty mají proto velký rozptyl i při zcela normálním sluchu). Kdyby místo 60 dB bylo použito zvuku o 120 dB (případ b), pak by útlum byl 80 dB a kdyby expozice trvala déle než 5 minut, došlo by patrně k narušení orgánů vnitřního ucha nebo alespoň k silné únavě a restituce by trvala mnohem déle. Možná že by zůstala i trvalá stopa na křivce audiogramu v podobě malého poklesu při 4000 Hz, a to bez ohledu na to, jakou frekvenci měl budící zvuk.

Na obr. 2 je uveden příklad aplikace impulsního zvuku. Obtěžující zvuk má hladinu 100 dB, impulsy mají délku hlučného intervalu 200 ms, délku tichého intervalu poprvé 800 ms (případ c), podruhé 300 ms (případ d). Doba expozice je 10 minut. Plný útlum by byl asi 70 dB v případě, že by saturace byla úplná. Jelikož čas expozice je krátký, pouze 200 ms, není saturace úplná; dosažený útlum činí asi jen 60 dB a pak následuje částečná restituce. Její dokončení však není možné, protože po krátkém tichém intervalu přichází nový impuls a to se opakuje. V případě c) je restituce taková, že křivka průběhu posunů sluchového prahu klesá nepatrně a pak už se udržuje na stejné výši. V případě d) klesá mnohem více a dosáhne hladiny blízké stavu ohlušení sluchu. Po proběhnutí série impulsů dochází k restituci. V prvním případě lze počítat s téměř normální restitucí, i když bude poněkud pomalejší než na obr. 1. Za 2 vteřiny dosáhne sluchový práh 90 % restituce a asi za 1 minutu se sluchový práh vrátí do původního stavu s nepatrnými dočasnými odchylkami na straně vyšších frekvencí.

Jinak tomu bude v případě druhém. Celkové ohlušení bude mnohem větší, restituce bude postupovat pomaleji a bude trvat mnohem déle, např. několik hodin, do úplného vyrovnání, protože zřejmě dojde k úna-

vě percepčního orgánu vnitřního ucha a mozkové kůry. K trvalému narušení sluchu patrně nedojde, protože hladina není tak vysoká a impulsní hluk trvá jen krátce. Záleží ovšem na frekvenčním rozložení hluku: nejvíce obtěžují pásma mezi 3 - 4 kHz, nízké frekvence jsou méně nebezpečné. (Také tyto údaje byly voleny jako průměrné a nutno je brát jako informativní, jako příklad účinku impulsního hluku). Čísla v příkladech uvedená byla brána dle výsledků praktických pokusů na audiologických klinikách. Z příkladu je zřejmé, že následují-li impulsy těsně za sebou (není-li mezi nimi dostatečně dlouhý tichý interval pro restituci), dochází ke sčítání účinků a výsledný útlum je větší než u hluku ustáleného a také restituce je prodloužena, přestože celková doba expozice (součet hlučných intervalů) je kratší než při expozici trvalého hluku po dobu 10 minut. Potvrzují to pokusy prof. Dr. F. Brohma v audiologickém oddělení KÚNZ v Brně, kde byly měřeny změny kochleárních potenciálů na morčatech při vystavení impulsnímu hluku 120 dB.

Impulsní hluk s frekvencí impulsů více než 100/min tedy skutečně obtěžuje sluchový orgán více než stejně silný hluk ustálený. Proto se doporučuje v těchto případech provádět pravidelné audiometrické kontroly sluchu alespoň dvakrát do roka. Totéž platí pro případy, kdy je frekvence menší, ale hladina hluku přesahuje 120 dB.

Příklady, jak se na audiogramu jeví typický případ akustického traumatu v počátečním stadiu, v pokračujícím stadiu a v manifestním stadiu vývoje, jsou na obr. 3, kde plná čára ukazuje průběh změny vzdušného vedení a přerušovaná čára průběh změny kostního vedení.

Způsoby měření impulsního hluku

V době, kdy se tvořily platné předpisy a normy o měření a hodnocení hluku, tj. v letech 1966 - 1969, nebyly ještě k dispozici impulsní zvukoměry. Běžné zvukoměry, které v té době byly na trhu, nemohly impulsní hluky měřit, protože jejich měřicí systém, pracující s časovou konstantou F-200 ms, resp. F-500 ms, impuls nezachytí a ukazují proto hodnoty o řadu dB nižší. Laboratoř pro hluk a vibrace VÚHU proto vyvinula vlastní zařízení pro měření impulsních hluků na základě oscilografického záznamu s časovou konstantou 35 ms dle do-

poručení IEC/TC-29. K oscilografu je připojen předřadný přístroj, který upravuje časovou konstantu na 35 ms, na hodnotu, která přibližně odpovídá způsobu vnímání impulsů lidským sluchem. Celé zařízení bylo cejchováno pomocí zvukoměrné soupravy Brüel & Kjaer a používáno při měření impulsního hluku na dolech SHR i v jiných závodech v Severočeském kraji. Na obr. 4 je příklad měření impulsního hluku strojních nůžek na plech. Použitá měřítka a zvětšení umožní podrobný rozbor impulsu, který trvá cca 520 ms a má 3 maxima: ustříhnutí, dopad plechu na kovovou podlahu a druhý dopad po odrazu. Maximální hladina v dB(AI) je 129,3 dB.

Začátkem roku 1970 byl do VÚHU dodán z Dánska nový impulsní zvukoměr typu 2204 firmy Brüel & Kjaer, který má kromě časové konstanty SF i konstantu I-35 ms, takže může zachytit i velmi krátké impulsy. Nemůže ovšem provádět časový rozbor impulsů, protože po prvním rychlém vychýlení se ručička přístroje jen velmi pomalu vrací zpět a pokles hladiny už nesleduje. Pro provozní měření je tento přístroj velmi vhodný a při porovnání výsledků měření oscilografem a přístrojem typu 2204 byly zjištěny jen malé rozdíly, řádově 1 - 2 dB. Kromě měřicí polohy I (impuls), při které ručička přístroje klesá s časovou konstantou cca 3 vteřiny, má přístroj ještě polohu H, při které ručička přístroje stoupá s časovou konstantou 35 ms, ale klesá s časovou konstantou 30 minut (při 25° C). Tato poloha je určena k měření maxima efektivních hodnot v případech, kdy se hladina hluku rychle mění a kolísá. Zvukoměr reaguje správně i na velmi krátké impulsy, např. při 50 ms má pokles jen 1 dB. Jeho parametry odpovídají německé normě (NDR) TGL 200-7755 a DIN 45633 a mezinárodnímu doporučení IEC-179 s dodatkem TC-29/WG8. Impulsní zvukoměry vyrábí kromě firmy Brüel & Kjaer také VEB-RFT Messelektronik, Dresden, NDR. Impulsní zvukoměry měří střední efektivní hodnotu signálu (RMS) a mají špičkový faktor až 40. Mají RC-člen, který má časovou konstantu 35 ms a akumulací okruh, který umožňuje dosažení měřené hodnoty a pomalý návrat ukazatele měřicího přístroje s časovou konstantou mnohem delší. Minimální impulsy, které může přístroj zaznamenat ještě dostatečně přesně, jsou 20 - 30 mikrosekund; další zkrácení je omezeno kvalitou mikrofonu. Je tedy možno zkoušet i impulsy kratší než 5 ms. Firma Brüel & Kjaer doporučuje cejchování přístrojů pro měření impulsního hluku při impulsech délky 0,2 - 0,5 ms.

Pro porovnání, jak impulsní hluky měří obyčejný a impulsní zvukoměr, jsou na obr. 5 uvedeny křivky pro průběh měření jednoho impulsu 2 kHz při časové konstantě 35 ms, 200 ms a 500 ms. Frekvence impulsu je 1 Hz, délka impulsů 50 ms. Je zřejmé, že při větších časových konstantách naměříme méně, než kolik odpovídá ustálenému hluku. Např. u přístroje Brüel & Kjaer je to při 200 ms a 200 ms jednotlivého impulsu o 0 - 2 dB méně, při konstantě 500 ms a délce impulsu 500 ms o 3 - 5 dB méně. Naproti tomu impulsní zvukoměr měří impulsy delší než 50 ms se stejnou přesností jako hluky ustálené, nezávisle na tom, jaká je frekvence a hustota impulsu. Naměřená hladina akustického tlaku je větší než efektivní hodnota při ustáleném hluku, aby byly respektovány zvýšené škodlivé účinky impulsního hluku na lidský sluch. (Efektivní hodnota je fyzikální hodnota akustického tlaku, odpovídající délce a počtu impulsů za jednotku času).

Čím vyšší je frekvence impulsů, počínaje od 5 Hz při F a od 1 Hz při S, tím více se naměřené hodnoty při F a S blíží hodnotám měřeným impulsním zapojením. Při frekvenci 10 Hz a délce impulsu větší než 1 ms jsou rozdíly mezi F, S a I tak malé, že není třeba užívat impulsního zapojení. Prakticky tedy hluk, který má impulsy o hustotě větší než 600 min, lze stejně dobře měřit běžným jako impulsním zvukoměrem. Impulsního zapojení nelze užít při statistické analýze, kdy se projeví nevýhoda pomalého návratu ukazatele, která vede k přehodnocení hluku. Připojení impulsního zvukoměru na magnetofon a zapisovač hlukové úrovně je možné, nastavení základní úrovně se provádí dle návodu výrobce. I zde se ovšem v záznamu projeví zpomalený návrat ukazatele, který neodpovídá skutečnému poklesu hladiny hluku.

Kritéria pro vyhodnocení škodlivosti impulsního hluku

Když byly v roce 1967 připravovány podklady pro znění směrnice č. 32 ministerstva zdravotnictví, nebyla ještě vyvinuta technika měření impulsních hluků, a proto se o nich v textu vyskytuje zmínka pouze na str. 11 a 12, kde jsou uvedeny korekce na třídu N v závislosti na počtu impulsů, a sice:

při počtu impulsů za osmihodinovou směnu: 1 - 4 .. je korekce + 20
4 - 8 .. - " - + 15

8 - 80	+ 10
80 - 480	+ 5
(480 - 48 000) do 100 imp/min	0
(přes 48 000) přes 100 "	- 5

Přitom se předpokládalo, že délka impulsů je maximálně 300 ms, a že se měří normálním zvukoměrem při nastavení filtrů A, B, C a Lin, při časové konstantě F. Sledovalo se rozložení impulsů v čase. Nepřihlíželo se přitom k okolnosti, že vysoké hladiny impulsů působí škodlivě i za krátký čas, ani ke skutečnosti, že při malé hustotě impulsů se na normálním zvukoměru při dané konstantě F naměří o řadu dB méně, a že naopak při velké hustotě impulsů, přes 600/min, se naměří prakticky totéž jako při ustáleném hluku, ani k té okolnosti, že záleží vždy také na délce impulsů, protože 300 impulsů po 200 ms/min je vlastně ustálený hluk a korekce - 5 je tedy bezpředmětná. V poslední době bylo na základě doporučení IEC a v souladu s novou normou ČSN 01 1603 a 35 6870 dohodnuto, že délka impulsu platí v rozsahu 1 - 200 ms, že korekce - 5 odpadá, měříme-li impulsním zvukoměrem a že nastavení na F se pro impulsy nepoužívá, neboť dává jen informativní výsledky. Na začátku měření se pouze přezkoumá, zda hladina při F a I není stejná; v tom případě jsou totiž impulsy tak husté nebo tak dlouhé, že hluk lze považovat za ustálený. Jestliže se hladina a frekvence impulsů nemění, lze provést měření při váhovém filtru A v dB(AI) a také v oktákových pásmech při nastavení Lin. Z toho pak lze obvyklým způsobem určit třídu N a porovnat ji s přípustnou třídou hluku pro danou činnost a charakter hluku dle směrnice č. 32 ministerstva zdravotnictví.

Jestliže se hladina a frekvence impulsů mění, pak nelze provést oktákovou analýzu a musíme se spokojit s hodnotou dB(AI), kterou si lze převádět na třídu N odečtením čísla 5, ale výsledek je jen informativní, protože hodnota 5 je jen přibližná a ve skutečnosti tento rozdíl mezi N a dB(A) v hornictví kolísá mezi + 9 a - 11, v závislosti na rozložení a tvaru frekvenčního spektra hluku.

Pokud se neměří na pracovišti, nýbrž v nevýrobních budovách, ve venkovním prostoru, v dopravních prostředcích a v samohybných pracovních strojích za přepravy, není třeba určovat třídu N, stačí hodnota

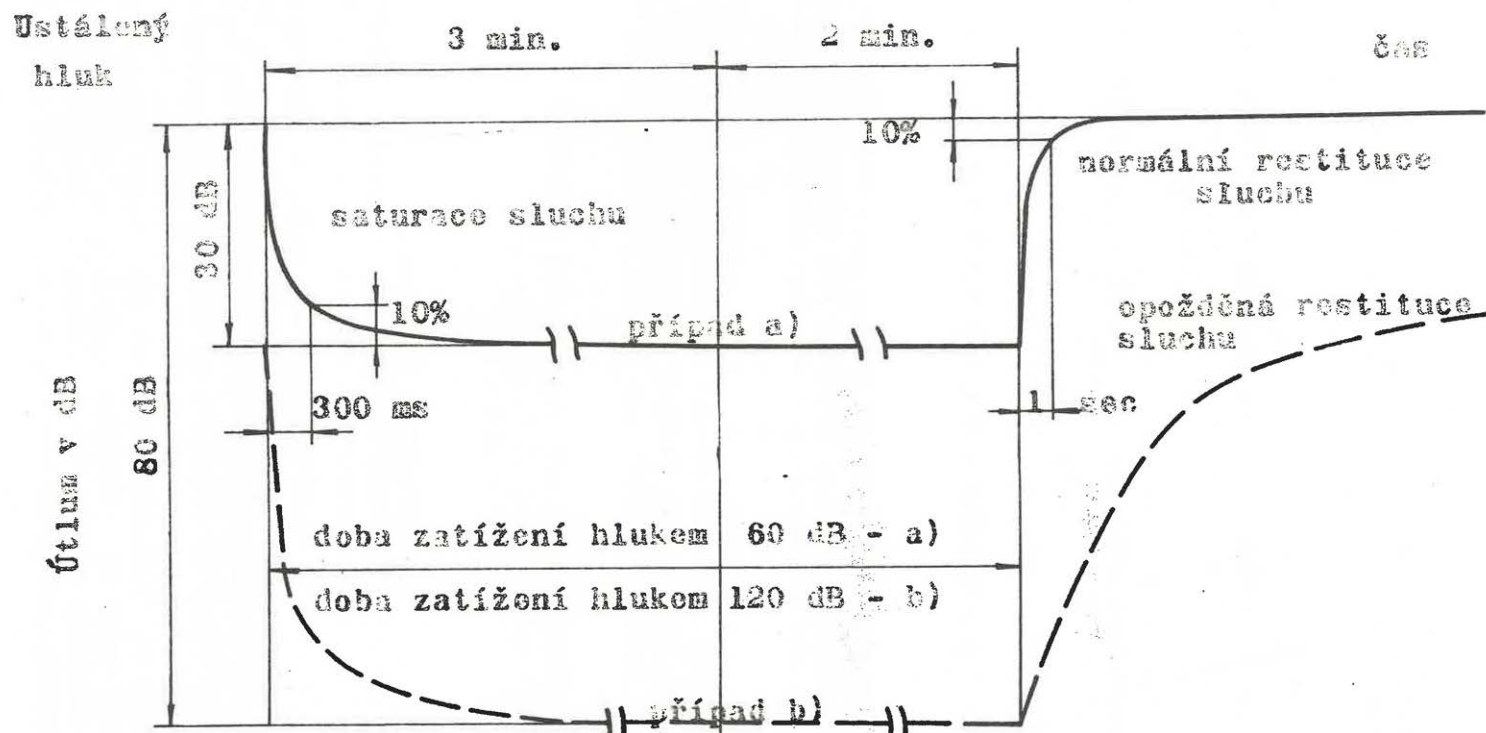
dB(AI), kterou lze porovnat s příslušnou přípustnou hladinou hluku v dB(A). Impulsní zvkoměr umožňuje tedy spolehlivé měření hodnot potřebných pro určení závažnosti hlukových poměrů ve vztahu k předpisům platným v ČSSR. Méně se hodí pro časové rozbor hluku, registraci hladin a magnetofonové záznamy (pro pomalý návrat ukazatele). Pokud jde o podrobný časový rozbor hluku, je nejvýhodnější popsaná oscilografická metoda.

L i t e r a t u r a

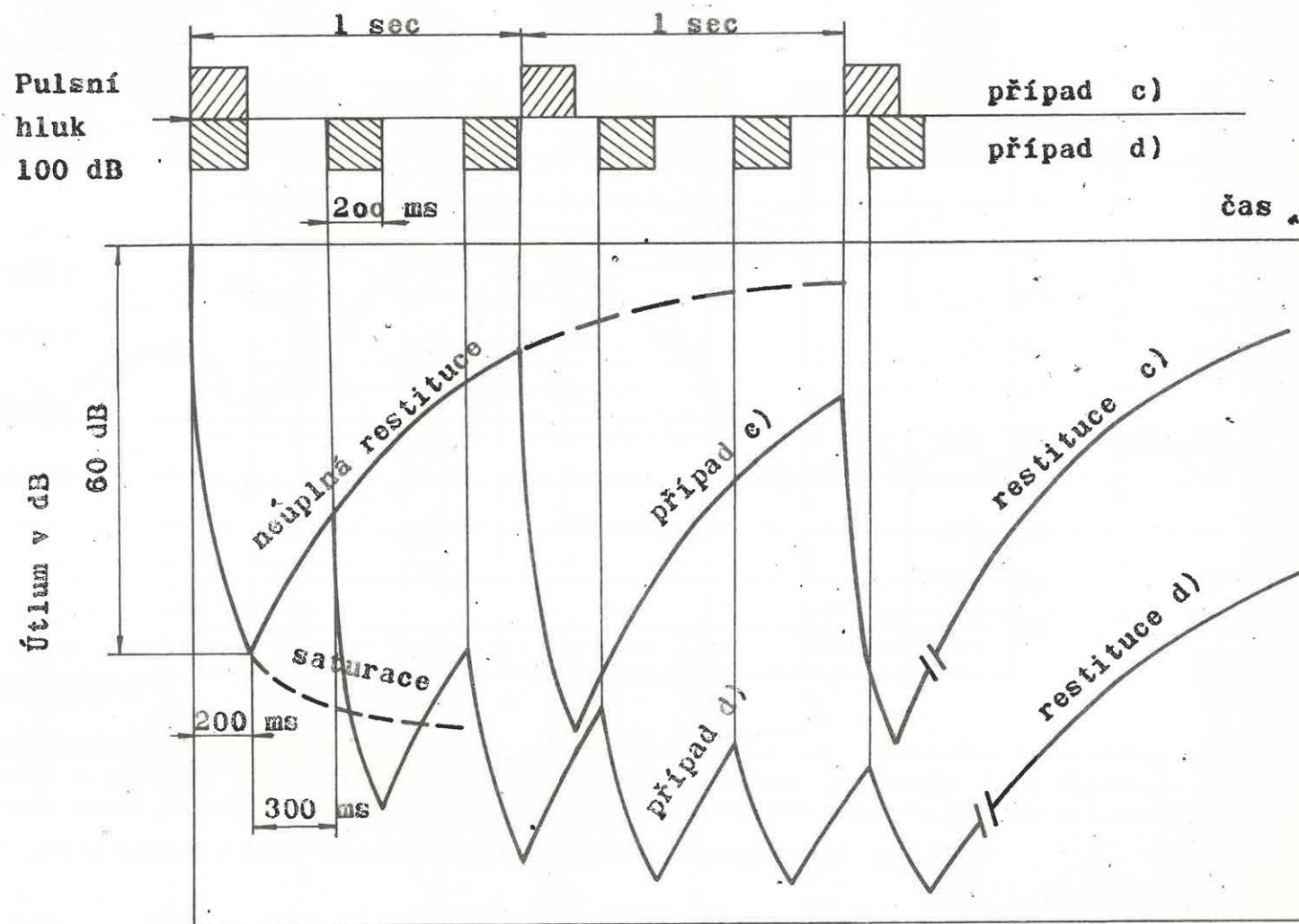
- 1/ Hygienické předpisy sv. 28/1967, směrnice č. 32 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku
- 2/ Normy ČSN 01 1603, Metody měření hluku (od 1.8.1968) a ČSN 35 6870 Zvkoměry (od 1.10.1969)
- 3/ Norma NDR-TGL 200-7755 Gruppe 364
- 4/ Doporučení IEC/TC-29/WG8 Prague, jako doplněk k doporučení IEC 179
- 5/ Wöhrle K.: Die Messung von Impulsgeräuschen, časopis Lärmbekämpfung č. 5/1969, str. 121
- 6/ Schreiber H.: Zur Messung und Beurteilung von Geräuscheinwirkungen mit zeitlich wechselndem Pegel. Bergbautechnik č. 5/1970, str. 269
- 7/ Meister & Ruhrberg: Das Hören im Bereich adaptiver Vorbelastung. Lärmbekämpfung č. 5/1970
- 8/ Schurno & Dahl: Zur Schwerhörigkeit der Bolzenschieser in der Bauindustrie. Zeitschrift für die ges. Hygiene, č. 3/1968, str. 161
- 9/ Wahrmann C.: Impulsschallpegelmessung, Technical Review č. 1/1969.
- 10/ Brohm F.: Hluk a sluch, Životné prostredie č. 4/1969, str. 176
- 11/ Sedláček K.: Základy audiologie, 1956, SZM
- 12/ Littler: The Physics of the Ear, Pergamon Press, 1965, London

S h r n u t í

Byly popsány vlastnosti, způsob klasifikace a účinky impulsního hluku, zvláště se zřetelem k funkci několika druhů adaptace lidského sluchového orgánu. Přitom bylo porovnáno, jak ucho reaguje na hluk ustálený, hluk impulsní s nízkou frekvencí a hluk impulsní s vysokou frekvencí rázů. Byly probrány metody měření impulsního hluku a jak na něj reagují různé měřicí soustavy. Nakonec byla uvedena platná kritéria pro posuzování a vyhodnocení škodlivosti impulsního hluku pro zdraví pracujících.

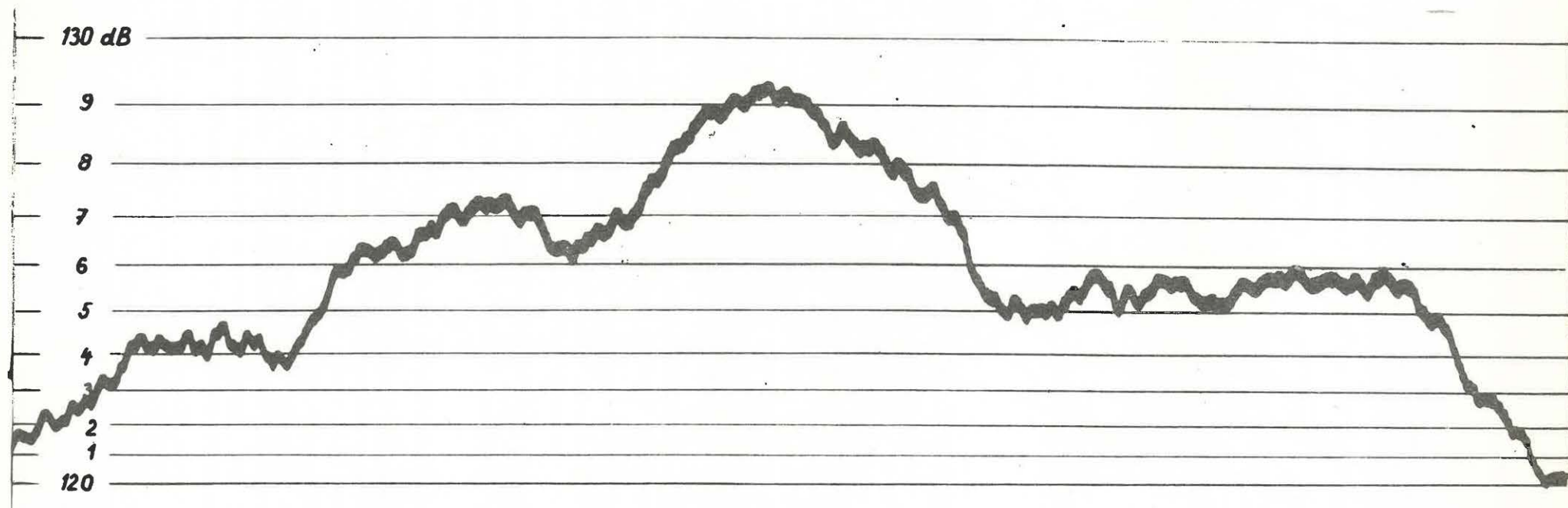


obr. 1



Adaptace a útlum sluchu při impulsním hluku

obr. 2



IMPULSNÍ HLUK STROJNÍCH NŮŽEK.

Obr. 4

1cm = 20ms

Odchylka od hladiny ustál.signálu v dB
Výchylka ručky přístroje (přibliž.)

