

FYZIKÁLNÍ VELIČINY POPISUJÍCÍ VLIV FYZIKÁLNÍCH POLÍ NA ČLOVĚKA

PHYSICAL QUANTITIES DESCRIBING THE INFLUENCE OF PHYSICAL FIELDS ON A MAN

Abstrakt

Předložený článek se zabývá fyzikálními veličinami, které popisují vliv fyzikálních polí na člověka. Jako příklad je uvedena hladina hlasitosti a křivky stejných hladin hlasitosti (akustické pole) a ekvivalentní a efektivní dávka (pole ionizujícího záření).

Abstract

The submitted article deals with the physical quantities that describe the influence of physical fields on a man. For example, the volume level and curves of the same volume levels (acoustic field) and the equivalent and effective doses (ionizing radiation field) are stated.

Key words: acoustic field, ionizing radiation field, volume level, equivalent and effective doses

Úvod

Fyzikální veličiny jsou vybrané, zpravidla mezinárodně normalizované pojmy, které se používají k výkladu a popisu přírodních a technických dějů. Vyjadřují se jimi vlastnosti hmotných objektů mající kvalitativní a zároveň kvantitativní charakter.

Fyzikální veličiny můžeme dělit podle nejrůznějších kritérií, např.:

- Intenzivní – extenzivní,
- spojité – kvantové,
- skalární – vektorové,
- dobře měřitelné – špatně měřitelné,
- apod.

Významné místo mezi fyzikálními veličinami zauímají veličiny, které popisují vliv fyzikálních polí na člověka. V následujících odstavcích jsou dvě takové skupiny veličin a jejich jednotek popsány a diskutovány.

Zvukové (akustické) pole

Zvuk je mechanické kmitání a jím buzené mechanické vlnění, které je lidský sluchový orgán schopen přijímat a mozek zpracovat ve sluchový vjem. Ze zdroje zvuku o určitém akustickém výkonu se zvuková energie šíří prostředím do okolí. Zvuková energie, která projde za jednotku času jednotkovou plochou, postavenou kolmo na směr šíření zvuku je intenzita zvuku. Označuje se I má jednotku Wm^{-2} .

¹ Doc., RNDr., CSc., VŠB – TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra bezpečnostního managementu, e-mail: jiří.svec@vsb.cz

² Ing., VŠB – TU Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra Automatizace a počítačové techniky v metalurgii, e-mail: pavel.svec@vsb.cz

Ve vzduchu se zvuk šíří podélným vlněním, při kterém jednotlivé částice prostředí kmitají ve směru shodném se směrem šíření zvukové vlny a způsobují tak zhuštění a zředění prostředí. Vlnění se tak projevuje střídavou změnou tlaku vzduchu. Rozdíl mezi tlakem barometrickým a okamžitým se nazývá akustický tlak – p (Pa). Druhá mocnina efektivní hodnoty akustického tlaku je úměrná akustické intenzitě. V praxi se „síla“ zvuku nevyjadřuje pomocí akustické intenzity, ale většinou pomocí akustického tlaku.

Oblast slyšení je vymezena pásmem slyšitelných kmitočtů přibližně od 16 do 16 000 Hz, rozsahem intenzity zvuku mezi prahem slyšení ($\sim 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$), a prahem bolesti ($\sim 1 \text{ Wm}^{-2}$), v případě akustického tlaku jsou to hodnoty $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ a 20 Pa (platí pro frekvenci 1000 Hz).

Rozdíl obou mezních hodnot je 12 řádů a je tedy velmi velký. Je proto velmi důležité nalézt nějaké vhodné měřítko pro počítky sluchového vjemu mezi oběma po fyzikální stránce neobyčejně vzdálenými mezemi slyšitelnosti.

Podle psychofyzického zákona Weber – Fechnerova, který říká, že změna nějakého počítka je úměrná relativní změně popudu, roste subjektivní síla zvukového vjemu s logaritmem fyzikální intenzity zvuku. To vedlo k zavedení logaritmické stupnice pro sílu zvuku. Veličina, která určuje logaritmickou stupnici pro měření síly zvuku, se nazývá hladina intenzity zvuku resp. hladina akustického tlaku a označuje se B . Jednotkou je bel. Mezinárodní dohodou bylo stanoveno, že při desetinásobném zvýšení intenzity zvuku má hladina intenzity zvuku vzrůst o 1 bel. Nula stupnice byla zavedena jako prahová hodnota intenzity zvuku resp. akustického tlaku. Vzhledem k tomu, že bel je jednotka poměrně velká, v praxi se používá decibel (dB).

Platí:

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \left(\frac{p_e}{p_{e,0}} \right)^2 = 20 \log \frac{p_e}{p_{e,0}}$$

kde I – akustická intenzita daného zvuku,
 p_e – efektivní akustický tlak,
 $I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$ – prahová akustická intenzita zvuku pro $f = 1000 \text{ Hz}$,
 $p_{e,0} = 10^{-5} \text{ Pa}$ – prahová hodnota efektivního akustického tlaku.

Zvýšení nebo snížení hladiny intenzity zvuku lze udat i vzhledem k libovolné intenzitě.

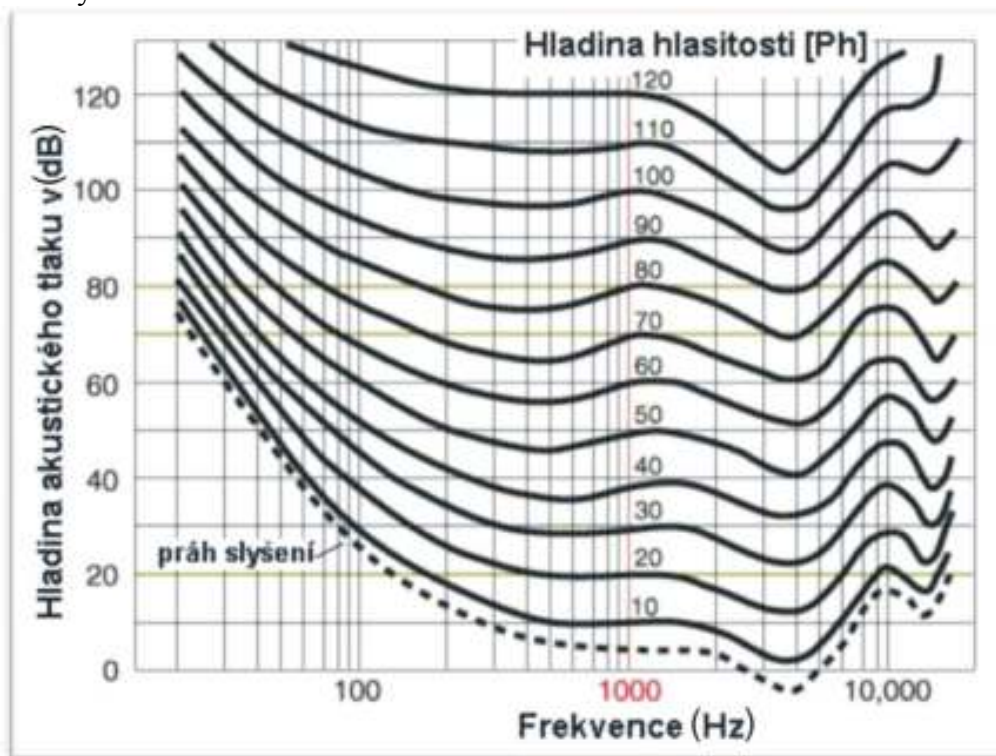
Zvuk bude o 1 dB silnější, zvýší-li se jeho intenzita přibližně o 26%, což je právě nejmenší rozdíl, který normální ucho ještě poslechne.

Hladina akustického tlaku je fyzikální veličina (změřitelná), která je měřítkem fyzikálního akustického tlaku a nemá nic společného se subjektivní silou zvuku. Důvod je v tom, že sluch není stejně citlivý pro všechny frekvence v okruhu slyšitelných tónů. Protože tomu tak není, zavádíme pro subjektivně vnímané hlasitosti tónů různých frekvencí veličinu hladina hlasitosti, označuje se L a má jednotku fon (Ph).

Hladina hlasitosti zkoumaného zvuku ve fonech se rovná hladině intenzity (v dB) referenčního tónu o frekvenci 1000 Hz, který se v místě poslechu jeví stejně hlasitý jako zkoumaný zvuk.

Hladinu hlasitosti libovolného zvuku určujeme tedy tak, že měníme intenzitu (akustický tlak) srovnávacího tónu 1000Hz a srovnáváme sílu subjektivního vjemu u obou zvuků. Jakmile se nám oba zvuky (měřený i srovnávací) zdají stejně hlasité, pak příslušná hladina intenzity srovnávacího tónu je v dB dává hladiny hlasitosti vyšetřovaného zvuku ve fonech.

Vztah mezi hladinou intenzity a hladinou hlasitosti lze znázornit křivkami stejné hladiny hlasitosti (obr. 1.), které byly získány subjektivním zkoumáním pro tentýž subjektivní vjem při různých frekvencích.



Obr. 1: Křivky stejných hladin hlasitosti

Tyto křivky udávají ve fonech od nuly do 120 Ph pro každou frekvenci intenzitu zvuku, hladinu intenzity v dB nebo akustický tlak potřebný k dosažení uvedených hladin hlasitosti. Z obrázku je zřejmé, že hladina intenzity v dB se shoduje s hladinou hlasitosti v Ph jen v úzkém frekvenčním intervalu kolem srovnávacího tónu o frekvenci 1000 Hz. Tak např. tónům frekvence 300 Hz a 1000 Hz o stejné hladině intenzity 40dB přísluší hladiny hlasitosti 30 Ph a 40 Ph, tj. tón o frekvenci 300 Hz slyšíme slaběji. K dosažení stejné hladiny hlasitosti 40 Ph u obou tónů, je nutné zesílit hladinu intenzity tónu 300 Hz asi o 10 dB. Pak oba tóny uslyšíme stejně silně.

Příklady hladin hlasitosti jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka: Příklady hladin hlasitosti

Prostředí	Hladina hlasitosti (Ph)
práh sluchu	0
šepot, šum listů	10 – 20
hovor, vzdálenost 1m	40 – 50
pouliční hluk	60 – 80
silná repro hudba	80 – 100
nýtování, motocykl bez tlumiče	110
letadlo, 10m	120
práh bolesti	130

Pole ionizujícího záření

Ionizující záření vytváří při průchodu látkovým prostředím z neutrálních atomů kladné a záporné ionty (iontové páry). K ionizujícím zářením patří záření alfa, beta, gama, RTG, neutronové apod. Zdroji ionizujícího záření mohou být přirozené nebo umělé radionuklidy nebo různé generátory záření (např. RTG – trubice, urychlovače apod.)

Působení záření na látku popisuje veličina, která se nazývá dávka – D. Je to, zjednodušeně řečeno, energie záření absorbovaná v hmotnostní jednotce ozařované látky. Jednotkou dávky je gray (Gy) s rozměrem J kg^{-1} . Dávka 1 Gy tedy znamená, že v jednom kilogramu ozařované látky se absorbuje energie záření 1 J.

Veličiny charakterizující působení záření na člověka vycházejí z dávky, tj. z energie, kterou předá záření tkáním a orgánům lidského organismu. Škodlivé účinky ionizujícího záření souvisí s ionizací prostředí, kterým prochází. Ionizační schopnost různých záření je různá, a proto také stejné ozáření člověka různými zářeními bude mít na člověka různé biologické účinky. Ke sjednocení účinků je nutné přiřadit každému záření určitý koeficient (který vyjadřuje jeho biologickou účinnost) a tím koeficientem vynásobit dávku ve tkáni nebo orgánu. Uvedený koeficient se nazývá radiační váhový faktor (w_R) a takto získaná veličina ekvivalentní dávka (H_T).

Je definována vztahem

$$H_T = w_R D_{TR}$$

kde D_{TR} - střední dávka záření typu R ve tkáni nebo orgánu T (Gy),
 w_R - radiační váhový faktor příslušný záření typu R.

Jednotkou ekvivalentní dávky je sievert (Sv). Radiační váhový faktor vyjadřuje relativní biologickou účinnost jednotlivých typů záření vzhledem k záření fotonovému. Jeho hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka: Hodnoty radiačního váhového faktoru

Záření, energie	w_R
fotonové záření	1
beta záření	1
neutrony < 10 keV	5
neutrony (10 až 100) keV	10
neutrony (100 keV až 2 MeV)	20
neutrony (2 až 20) MeV	10
neutrony, > 20 MeV	5
alfa záření	20

Z tabulky vyplývá, že biologické účinky beta a gama záření jsou stejné a biologické účinky alfa záření jsou dvacetkrát větší než záření beta nebo gama. Dávka 1 mGy vyvolá v případě beta a gama záření ekvivalentní dávku 1 mSv, v případě alfa záření 20 mSv.

Vzhledem k tomu, že radiační váhový faktor pro beta a gama záření je jedna, je v tomto případě dávka číselně rovna ekvivalentní dávce. Proto se někdy hlavně v případě gama záření používá pro ekvivalentní dávku místo jednotky Sv jednotka Gy.

Při celotělovém ozáření dochází k určité zdravotní újmě, ke které však přispívají ozářené tkáně a orgány různým způsobem (např. červená kostní dřeň určitě více než povrch kůže nebo kostí). K vyhodnocení celotělového ozáření je tedy třeba přiřadit každému orgánu nebo tkáni určitý koeficient (který souvisí s citlivostí orgánu či tkáně k ozáření) a tímto koeficientem vynásobit ekvivalentní dávku v příslušné tkáni a všechny tyto součiny sečíst. Tímto způsobem vyhodnotíme celotělové ozáření člověka. Uvedený koeficient se nazývá tkáňový váhový faktor (w_T) a takto získaná veličina efektivní dávka (E).

Je definována jako součet vážených středních hodnot ekvivalentních dávek v tkáních nebo orgánech lidského těla

$$E = \sum w_T H_T$$

kde H_T - ekvivalentní dávka v tkáni nebo orgánu (Sv),

w_T - tkáňový váhový faktor.

Jednotkou efektivní dávky je sievert (Sv).

Tkáňový váhový faktor vyjadřuje relativní příspěvky orgánů nebo tkání ze stochastických účinků k celkové zdravotní újmě způsobené rovnoměrným celotělovým ozářením. Jinými slovy tkáňové váhové faktory vyjadřují rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání ke vzniku stochastických účinků záření (zhoubných nádorů a genetických změn). Hodnoty tkáňových váhových faktorů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka: Hodnoty tkáňových váhových faktorů

Tkáň, orgán	w_T
gonády	0,20
mléčná žláza	0,05
červená kostní dřeň	0,12
plice	0,12
štítná žláza	0,05
povrch kostí	0,01
tlusté střevo	0,12
žaludek	0,12
játra	0,05
kůže	0,01
ostatní tkáně a orgány	0,05

Je-li například tkáňový faktor pro plíce 0,12, znamená to, že při celotělovém ozáření přispívají plíce k celkové zdravotní újmě dvanácti procenty.

Výhodou efektivní dávky je možnost zhodnotit míru závažnosti i velmi nehomogenního ozáření člověka. Radiační zátěž lze charakterizovat jediným číslem. Efektivní dávka představuje veličinu, která je určena pouze pro použití v ochraně před zářením za účelem ocenění pravděpodobnosti výskytu stochastických účinků záření. To znamená, že její aplikace je omezená pouze do dávek, které leží dostatečně nízko pod prahovou úrovní deterministických účinků.

Ekvivalentní a efektivní dávka je základem obecných limitů (pro obyvatelstvo), limitů pro radiační pracovníky a limitů pro učně a studenty.

Závěr

Veličiny používané k hodnocení vlivu fyzikálních polí na člověka nejsou ve většině případů fyzikálními veličinami v pravém slova smyslu. Vycházejí obvykle z absorbované energie a jsou modifikovány různými experimentálně zjištěnými koeficienty, tak aby vyjadřovaly co nejlépe vliv příslušných fyzikálních polí na člověka.

Použitá literatura

- [1] Smetana, C. a kol.: *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. Sdělovací technika, Praha 1998, ISBN 80-901936-2-5
- [2] Navrátil, L. a kol.: *Medicínská biofyzika*, Grad Publishing, a.s., Praha 2005, ISBN 80-247-1152-4
- [3] Beneš, J. a kol.: *Základy lékařské biofyziky*, skripta UK, Nakladatelství Karolinum, Praha 2005, ISBN 978-80-246-1386-4
- [4] Obdržálek, J.: *Fyzikální veličiny a jednotky SI*, 1. Díl, Nakladatelství ALBRA, Úvaly 2004, ISBN 80-7361-002-7
- [5] Kol. autorů: *Principy a praxe radiační ochrany*, SÚJB, Praha 2000, ISBN 80-238-3703-6