



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výukové texty

pro předmět

*Měřicí technika*

(KKS/MT)

na téma

## Podklady k principu měření hluku, vlhkosti a intenzity osvětlení

Autor: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Podklady k principu měření hluku, vlhkosti a intenzity osvětlení

### 1) Měření hluku

Hluk je „nechtěný“ a „bezcný zvuk“, který znečišťuje a ovlivňuje životní prostředí. Jeho zdrojem je nepravidelné chvění, kmitání hmoty. Hluk ovlivňuje kvalitu prostředí i náš pracovní výkon a duševní zdraví. Ruší náš odpočinek, tedy i soukromý život, vyvolává ztrátu rovnováhy, poruchy spánku, podráždění. Přitom strojů i přístrojů působících hluk přibývá. Proto jsou zavedeny normy, které upravují intenzitu hluku v pracovním prostředí, domácím prostředí, dopravě apod.

Měření intenzity hluku předchází pojem zvuk, neboť se jedná o vlnění o určité frekvenci a intenzitě, která se šíří v prostředí. Zvukové vlny v plynech, které se tedy šíří v prostředí (např. ve vzduchu), představují prostorový přenos kmitové energie, a proto lze definovat veličinu tzv.: intenzita vlnění  $I$ , která je definovaná množstvím kmitové energie  $E$ , která projde jednotkovou plochou  $S$  postavenou kolmo na směr šíření vlnění za jednotku času  $t$  rychlostí  $c$ .

Intenzita hluku neboli akustický tlak  $p$  je druhou velmi často užívanou veličinou, která společně s akustickou rychlostí  $v_{ak}$ , která představuje okamžitou rychlost kmitající částice prostředí (nejde o rychlost v šíření energie vlny!), popisují akustickou vlnu v daném bodě. Obě veličiny se periodicky mění, přičemž amplituda tlaku  $p_{max}$  je úměrná amplitudě akustické rychlosti  $v_{ak,max}$ .

Pak platí  $p_{max} = \rho c v_{ak,max}$ .

Velikosti intenzity zvuku (hluku) se mění v rozmezí mnoha řádů a tato intenzita může nabývat velmi malých hodnot od  $10^{-4} \text{ W.m}^{-2}$  (při šepotu) až do hodnot  $10^5 \text{ W.m}^{-2}$  (při startu proudového letadla). Tato skutečnost byla důvodem k zavedení logaritmické míry (decibelové stupnice) při kvantifikaci akustických veličin a to mezinárodní dohodou. Veličina, která tuto skutečnost vyjadřuje, se označuje  $L$  (jednotkou je dB) a nazývá se hladina akustické intenzity (hladina hluku, hladina zvuku), přičemž

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} [dB],$$

kde  $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$  a je to referenční intenzita odpovídající hladině intenzity o hodnotě dB. Intenzitě  $I = 10^{-11} \text{ W.m}^{-2}$  bude odpovídat hodnota  $L = 10 \text{ dB}$ . Pro intenzitu  $I = 10^{-1} \text{ W.m}^{-2}$



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

odpovídá hodnota  $L = 120\text{dB}$ . Hodnoty hladin akustické intenzity  $L$  vyhodnocujeme hlukoměrem (nebo případným označením zvukoměrem).

Vzhledem k tomu, že lidské ucho lze považovat za snímač nejenom zvuku, ale i akustického tlaku (nikoli akustické intenzity), je na základě uvedeného vzorce, užitečné analogické zavedení hladiny akustického tlaku, která se díky závislosti  $\rho$  a  $c$  na efektivním tlaku od hladiny intenzity mírně liší  $L_p \cong L$ . Tyto zavedené hodnoty se pak využívají také v audiotechnice.

$$L_p = 10 \cdot \log\left(\frac{p^2}{p_P^2}\right) \text{ [dB]} = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_P}\right) \text{ [dB]}$$

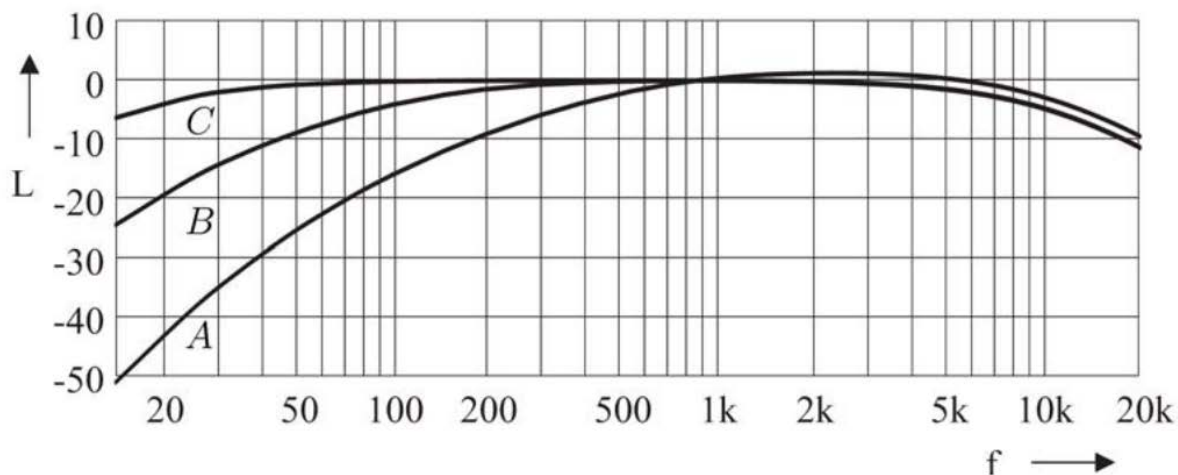
Důležitou vlastností zvuku je jeho frekvenční složení. Pro sledování frekvenčních pásem zvuku lze oblast slyšitelných frekvencí (slyšitelné pásmo zvuku je bráno od 20 Hz až do 20 kHz) rozdělit na deset oktávových pásem, z nichž každé je charakterizováno svým středním kmitočtem. Oktáva je interval mezi dvěma kmitočty, kde druhý je dvojnásobkem prvního.

Při měření hluku je třeba s touto skutečností počítat, neboť zvuk o různých kmitočtech je lidským sluchem vnímán s nesterjnou citlivostí. Při vnímání zvuku tak dochází ke zkreslení, jehož charakter navíc závisí na velikosti akustického tlaku přijímaného zvuku.

Lidský sluch je nejcitlivější v oblasti okolo 1000 Hz, což v podstatě odpovídá frekvenčnímu rozsahu lidské řeči.

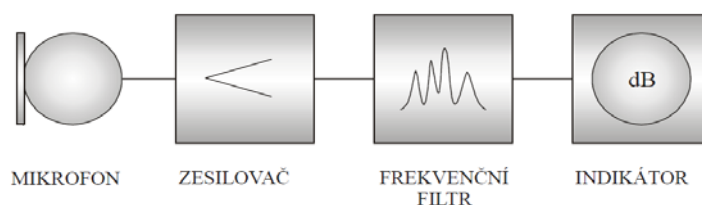
Relativně správným uzpůsobením měření a dobrým přiblížením k těmto vlastnostem lidského sluchového orgánu bylo zavedení tzv. váhových filtrů (obr. 1), které v souladu s citlivostí lidského sluchu upravují citlivost hlukoměru. Ze tří filtrů A, B, C se nejčastěji používá filtr A. Hlukoměr měří hladinu akustické intenzity současně v jednotlivých kmitočtových pásmech. Ke každé změřené hodnotě přičte korekci váhového filtru a teprve takto upravené hodnoty sečte podle pravidel pro počítání s hladinami. V takovémto součtu je vliv některých kmitočtů potlačen, jiných zesílen. Hlukoměr změří hladinu intenzity tak, jak ji vnímá lidský sluch. Takto vzniklá veličina se nazývá hladina hluku  $L_A$  a její jednotka je pak dB(A) psáno těž [dBA].

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1 Grafické zobrazení váhových filtrů

Měření hladiny akustického tlaku je prováděno zařízením, zvaným zvukoměr (resp. hlukoměr), které se sestává většinou z kapacitního měřícího mikrofону na těle přístroje, zesilovače mikrofonního signálu, jednonábového frekvenčního analyzátoru a indikátoru hladiny akustického tlaku.



Obr. 1 Základní blokové schéma hlukoměru

V kapacitním mikrofónu, který je čidlem akustického tlaku  $p$ , vzniká elektrický signál úměrný jeho úrovni. Pokud jde o celkové měření hladiny akustického tlaku v celé frekvenční oblasti slyšitelného zvuku, nahrazuje se působení externího frekvenčního filtru vnitřním fyziologickým váhovým filtrem zvukoměru A pro nižší, B pro střední a C pro vyšší hladiny.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1.1 Příklad hlukoměr s analýzou a záznamem dat z měření

## 2) Měření vlhkosti

Pod pojmem vlhkost vzduchu je definováno množství vodních par obsažených ve vzduchu, tj. nasycenost vzduchu vodními parami. Někdy je voda ve vzduchu obsažena též ve z kondenzované formě - vodních kapičkách (mlhový vzduch), případně krystalcích ledu. Voda je v tomto případě ve dvou fázích, jde tedy o heterogenní směs, množství vody v kapalně či pevné fázi lze zjistit pouze měřicími metodami založenými na separaci vody ze vzduchu (kondenzací, absorpcí) nebo po úpravě vzduchu (ohřátí).

Vlhkost vzduchu lze vyjádřit různým způsobem. Hmotnost vodních par vztažená k určitému objemu vzduchu  $V$  se nazývá absolutní vlhkost (hustota „samotných“ vodních par):

$$\Phi' = \frac{m}{V_V}$$



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Kde:

$m$  ... hmotnost vodní páry [kg]

$V_v$  ... objem vlhkého plynu [ $m^3$ ]

$\Phi'$  ... absolutní vlhkost vzduchu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

Poměr absolutní vlhkosti vzduchu k vlhkosti nasyceného vzduchu (tj. hmotnosti skutečného obsahu vodních par k hmotnosti vodních par nasyceného vzduchu)  $\Phi''$  je relativní vlhkost:

$$\varphi = \frac{\Phi'}{\Phi''}$$

Kde:

$\Phi'$  ... absolutní vlhkost vzduchu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

$\Phi''$  ... vlhkost nasyceného vzduchu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

$\varphi$  ... relativní vlhkost vzduchu [1 nebo %]

(pozn.: symbol " (tj.  $\Phi''$ ) se používá pro označení veličiny vztahující se k sytým vodním parám).

Dalšími veličinami vztahujícími se na vlhkost vzduchu je teplota rosného bodu, která je dána ochlazením vzduchu až na stav sytosti a teplota mokrého teploměru, což je teplota mezního adiabatického ochlazení (tj. ochlazení na stav sytosti odpařováním vody bez přívodu či odvodu tepla).

### **Vlhkoměry pracují na těchto principech:**

#### Dilatační hygrometry

Měřicím principem je změna roztažnosti organických látek vlivem navlhavosti. Tyto látky absorbují vodu v závislosti na relativní vlhkosti okolního vzduchu. Změnou obsahu vody dilatují. Tato dilatace se přenáší mechanismem na ukazatel. Nejvíce využívanými jsou lidské vlasy, koňské žíně, živočišné blány, nebo syntetické organické látky. Nejběžnějším je vlasový hygrometr používaný hlavně v přístrojích pro domácnost (pokojový hygrometr) a v meteorologii ve formě pisátkových zapisovačů (zapisovací hygrograf).



evropský  
sociální  
fond v ČR

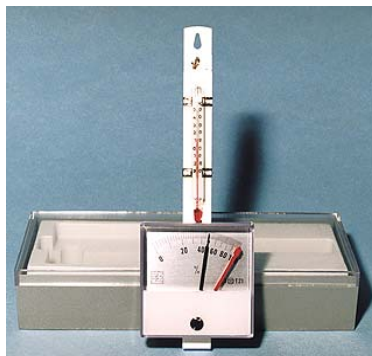


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1.2 Vlasový hygrometr s teploměrem

### Odporové a kapacitní hygrometry

Hygrometr s tuhým elektrolytem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  je tvořen jednou hliníkovou elektrodou s vrstvičkou  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a druhou elektrodou z napařené tenké vrstvičky zlata propustné pro vodní páry. Absorbací vody do elektrolytu se mění elektrický odpor, z něhož je pak vyhodnocena vlhkost.



Obr. 1.2 Hygrometr s odporovým snímačem vlhkosti

Kapacitní hygrometr je postaven na principu kondenzátoru s dielektrikem z polymeru, který má hygroskopické vlastnosti. Jedna z elektrod je provedená tak, že umožňuje vodním parám z okolního vzduchu difundovat do polymeru. Polymer absorpcí vody mění své dielektrické vlastnosti, tím se mění i kapacita kondenzátoru, ze které se vyhodnotí vlhkost.

### Psychrometry

Psychrometrický způsob zjištění vlhkosti je založen na měření tzv. mezního adiabatického ochlazení - realizuje se jako ochlazení teploměru obaleného vodou namočenou punčoškou v proudu vzduchu. Takto upravený teploměr se nazývá mokrý teploměr. Psychrometr tedy obsahuje suchý a mokrý teploměr, kolem kterých je ventilován měřený vzduch. Ventilátor zabezpečující proudění vzduchu kolem teploměrů a je poháněn elektromotorkem. Teploměry musí být chráněné proti sálání. Ze změřených teplot suchého  $t_1$  a mokrého teploměru  $t_m$  lze spočítat z upravené předchozí rovnice parciální tlak vodních par:



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Psychrometrický rozdíl:  $(t_1 - t_m)$

$t_1$  ... teplota měřeného prostředí (suchý teploměr);  $t_m$  ... ustálená teplota vlhkého teploměru

Nedosycenost vzduchu:  $(p_m'' - p_1')$

$p_m''$  ... teplota měřeného prostředí (suchý teploměr)

$p_1'$  ... ustálená teplota vlhkého teploměru

Závislost mezi psychrometrickým rozdílem a nedosyceností plynu (vzduchu):

$$(t_1 - t_m) = \frac{p_m'' - p_1'}{A \cdot p_s}$$

Kde:

A ... psychrometrický koeficient

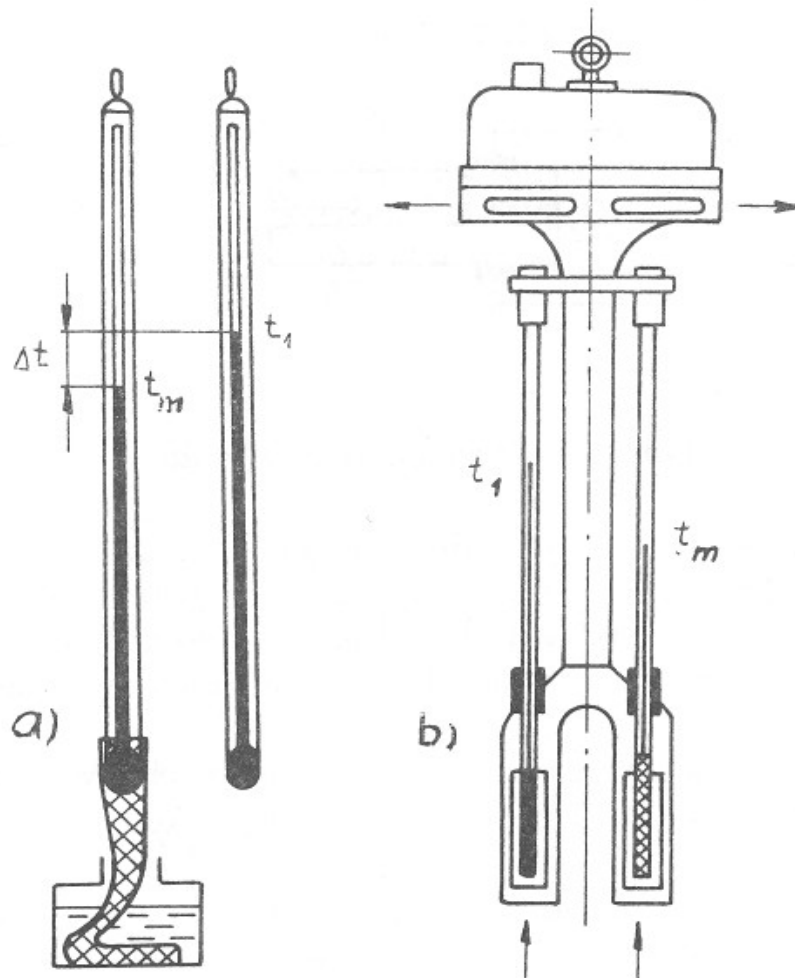
$p_s$  ... statický tlak vzduchu

Relativní vlhkost: 
$$\varphi = \frac{p_1'}{p_1''} = \frac{p_m''}{p_1''} - \frac{p_s}{p_1''} \cdot A \cdot (t_1 - t_m)$$

Psychrometrický koeficient A zahrnuje odchylky skutečného procesu sycení vzduchu (plynu) a adiabatického sycení. Jeho velikost závisí na rychlosti proudění plynu (vzduchu) kolem psychrometru. Nejlépe psychrometry měří při rychlosti proudění měřeného vzduchu přes 2,5 m.s<sup>-1</sup>.



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1.3 Psychrometr (a- nevětraný; b- uměle větraná tj. aspirační) [3]

Pro člověka příjemné prostředí by mělo mít vlhkost vzduchu v rozmezí 30 až 60 % relativní vlhkosti.



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### 3) Měření intenzity osvětlení

Kvalitní osvětlení, má velmi významný vliv na výkon, zdraví, bezpečnost pracovníků. Kvalitním osvětlením můžete zlepšit pracovní prostředí, snížit chybovost a zlepšit výkon svůj i svých zaměstnanců. Účelem měření osvětlení je zajištění splnění všech požadavků na osvětlení vnitřních prostor a musí vyhovovat určitým minimálním a maximálním hodnotám, které jsou velmi pečlivě sledovány a kontrolovány.

Veličiny, které vyjadřují nebo spíše popisují vlastnosti zdrojů světla jeho přenos prostorem i děje spojené s dopadem světla na plochu nebo předměty, se označují jako veličiny fotometrické. Třemi základními veličinami jsou svítivost, světelný tok a intenzita osvětlení.

#### Svítivost

Svítivost  $I$  je vlastností zdroje světla, kdy je hlavní jednotkou tzv. kandela [cd], která je jedna ze základních jednotek SI. (Svítivost 1 cd – přibližně odpovídá svítivosti plamenu svíčky, žárovka o elektrickém příkonu 100 W má svítivost zhruba 200 cd.)

#### Světelný tok

Světelný tok  $\Phi$  určuje šíření světla daným prostorem. Světelný tok označuje, jak velkou světelnou energii zdroj vyzáří za jednu sekundu – jde tedy vlastně o formu výkonu. Jednotkou je tzv. lumen [lm], který je definovaný jako světelný tok vyzářený zdrojem o svítivosti 1 kandela do prostorového úhlu 1 steradián (což odpovídá  $1/4\pi$  plného prostorového úhlu). Platí přibližný převod, že  $1 \text{ W} \cong 680 \text{ lm}$ .

#### Intenzita osvětlení

Intenzita osvětlení  $E$  (ve starších učebnicích „osvětlení“) je definována jako:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$$

Kde:

$\Delta\Phi$  je část světelného toku dopadající na plochu o obsahu  $\Delta S$

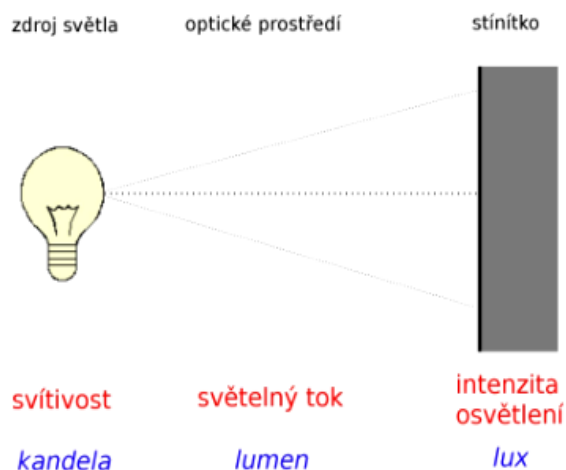
Z tohoto vztahu plyne jednotka intenzity osvětlení:  $[E] = \text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$ , a její jednotkou je tzv. lux [lx]. Z převodního vztahu mezi lumenem a watterem plyne, že  $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 680 \text{ lx}$ .

Schematicky jsou fotometrické veličiny znázorněny na obrázku 1.4. Považujeme-li zdroj světla za bodový, platí mezi intenzitou osvětlení a svítivostí následující vztah:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$$

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

kde  $r$  je vzdálenost zdroje světla od osvětlené plochy a  $\alpha$  úhel, pod kterým světlo na danou plochu dopadá (měříme jej od normály plochy, při kolmém dopadu je tedy osvětlení maximální).



Obr. 1.4 Schématické znázornění intenzity osvětlení [8]



Obr. 1.5 Příklad měřidla pro intenzitu osvětlení (Luxmetr)



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Doporučené intenzity osvětlení pro různá pracoviště:

| Pracoviště        | Intenzita osvětlení [lux] |
|-------------------|---------------------------|
| Sklad             | 120                       |
| Učebna            | 250                       |
| Kancelář, čítárna | 500                       |
| výstava           | 750                       |
| Montáž            | 1000                      |
| Jemná montáž      | 1500                      |
| Hodinářská práce  | 2000                      |

Poděkování

Investice do rozvoje vzdělávání.

Tento výukový text je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/28.0206 „Inovace výuky podpořená praxí“.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Literatura

- [1] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [2] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [3] JENČÍK, J., Volf, J. a kol.: *Technická měření*. ČVUT v Praze, Praha 2000, ISBN 80-01-02138-6
- [4] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [5] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [6] NOVÝ, R.: *Hluk a chvění*, Vydavatelství ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-01-02246-3
- [7] FORMÁNEK, J.: Hluk a vibrace strojních zařízení a jejich snižování. *Energetické stroje-termomechanika-mechanika tekutin-2005*, konference s mezinárodní účastí, ZČU, Plzeň, Česká Republika, 2005, s.33-36, ISBN 80-7043-360-4
- [8] Světlo, [http://fyzweb.cz/materialy/kacovsky/fotometricke\\_veliciny.pdf](http://fyzweb.cz/materialy/kacovsky/fotometricke_veliciny.pdf)