

KET/CHH

9. přednáška

Ing. Martin Sýkora, Ph.D

Opakování z minulé přednášky...

Akustická pole

- Jejich rozdělení podle toku energie
- Rozdělení podle vzdálenosti – zákonitosti šíření
- Důležité souvislosti pro měření
- Souvislost tlaku, intenzity a výkonu

Technika pro měření hluku/zvuku

- Zvukoměr/hlukoměr vs. multifunkční analyzátor
- Blokové schéma, části zvukoměru
- Měřicí mikrofon – princip, provedení, vlastnosti

Měřicí mikrofon - citlivost

Citlivost mikrofonu – důležitá vlastnost pro měření

- „Převodní konstanta“ s jakou mikrofon mění akustický tlak na napětí

Dva druhy citlivosti

Tzv. citlivost otevřeného obvodu

- Bez zatížení mikrofonu dalším obvodem
- Řádově desítky mV/Pa

Měřicí mikrofon - citlivost

Citlivost zatíženého mikrofonu

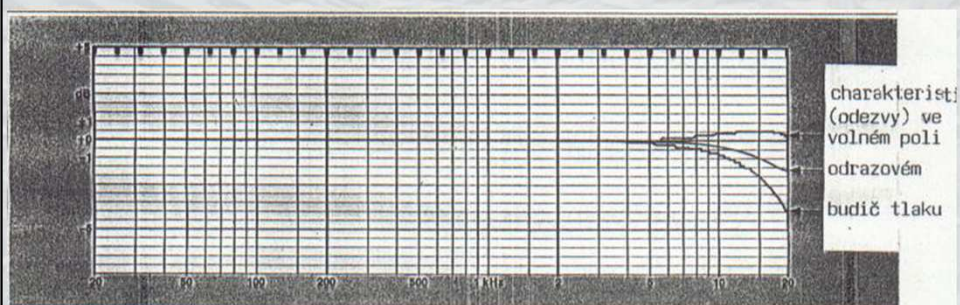
- *Praktická jednotka*
- *Respektuje zatěžovací impedanci měřicího obvodu*
- *Předpokládá se citlivost připojeného mikrofonu 50 mV/Pa*
- *Citlivost 50mV/Pa znamená jinak -26db re 1V/1Pa*
- *V případě jiné citlivosti je třeba započíst korekci K_0 která je součástí dokumentace k mikrofonu (kalibrační list)*

Měřicí mikrofon – frekvenční charakteristika

Závislost citlivosti mikrofonu na frekvenci změn akustického tlaku

- *Vzhledem ke konečně malým rozměrům mikrofonu je frekvenční charakteristika závislá na typu akustického pole*
- *Různá odezva mikrofonu v různém typu pole – speciální mikrofony pro různá typy měření, korekce vlastností*
- *Typy mikrofonů podle použití v různých akustických polích*
 - *Mikrofon pro volné pole*
 - *Mikrofon pro difúzní pole*
 - *Tlakový mikrofon*

Měřicí mikrofon – frekvenční charakteristika



Měřicí mikrofon – typy mikrofonů

Pro volné pole

- *Předpokládá čelní dopad vlny na membránu mikrofonu*
- *Kompenzace přímo provedením membrány*
- *Použití ve volném prostoru, měření v bezodrazové komoře*

Pro difuzní pole

- *Předpokládá dopad vlny na membránu pod různými úhly*
- *Použití v dozvukové komoře*

Tlakové mikrofony

- *Bez kompenzace*
- *Použití ve speciálních případech (mikrofon zapuštěn v ploše, uzavřené komory)*

Vlastnosti a vlivy působící na mikrofony

Vibrace, otřesy

- *Jako snímač akustických vln tj. určité formy pohybu je mikrofón citlivý i na vibrace*
- *Třeba mít v patrnosti při umístění*

Časová stálost

- *Obvykle nevýznamná změna citlivosti za desítky let...*
- *Může být problémem u elektretových mikrofónů*

Vlastní šum

- *Závisí na provedení mikrofónu a předzesilovače*
- *Řádově ekvivalentní hladina šumu kolem 10 dB*
- *Problém při „tichých“ měření*

Vlastnosti a vlivy působící na mikrofony

Teplota

- *Malý vliv – teplotní koeficient kolem $-0,005 \text{ dB/}^{\circ}\text{C}$*
- *Pro běžné rozsahy (-10 až $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$) nevýznamné*

Atmosférický tlak

- *Omezení na spodní straně frekvenčního pásma*
- *Mikrofon má vyrovnávací kanálek pro vyrovnání změn atmosférického tlaku – závisí na jeho provedení*

Vlhkost

- *Relativní vlhkost jako taková není zásadní problém*
- *Podstatná je kondenzace vlhkosti na elektrodách – hrozí až výboj a zkrat mezi elektrodami*

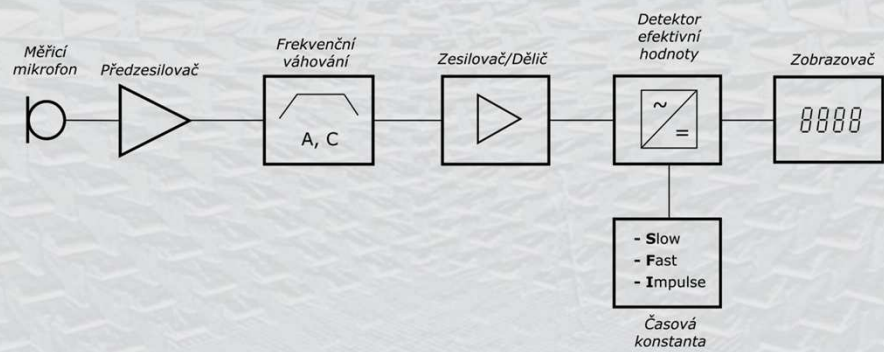
Příslušenství mikrofonů



KET/CHH 9.přednáška

10

Zvukoměr – blokové schéma

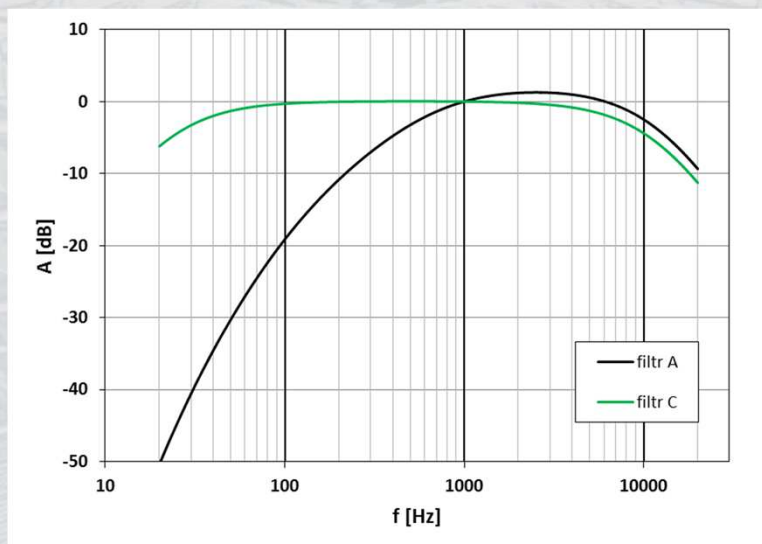


Váhovací filtry

Váhovací filtry – neboli frekvenční váhování

- *Přizpůsobení výsledné měřené hodnoty fyziologii lidského sluchu*
- *Lidský sluch má různou citlivost na různé frekvence – viz přednáška o fyziologii sluchu, křivky stejné hlasitosti*
- *Průběh filtrů je standardizován - norma ČSN EN 61672-1*
- *Filtry se značí velkým písmenem*
 - *A – inverzní vůči křivkám stejné hlasitosti při 40 dB*
 - *B – zrušen*
 - *C - inverzní vůči křivkám stejné hlasitosti při 120 dB*
 - *D – pro hluk letecké dopravy*

Váhovací filtry - průběh



Váhovací filtry - vlastnosti

Důležité poznatky o váhovacích filtrech

- Nejčastěji používaný - filtr „A“ (hygienická měření)
- Filtr „C“ – při měření vyšších hladin zvuku (např. koncerty)
- Z principu útlum na obou koncích slyšitelného pásma

Přenos je udáván jako relativní v dB

- Na frekvenci 1 kHz přenos 0 dB – žádné ovlivnění
- Naopak může být velký rozdíl mezi váženou a neváženou hladinou na nízkých frekvencích
- Filtr „A“ na 20 Hz útlum 50 dB, na 100 Hz útlum 20 dB!
- Filtr „A“ má nejen útlum, ale v určitém pásmu i zisk!

Váhovací filtry - vlastnosti

Pozor při kalibraci zvukoměru!

- *Kalibrace známým zdrojem ak, tlaku – kalibrátor, pistonfon*
- *Kalibrace při různých frekvencích a hladinách*
- *Kalibrace při 1 kHz – filtr „A“ nemá vliv (přenos 0 dB)*
- *Kalibrace při 250 Hz – filtr „A“ útlum cca. 9 dB!*

Časové váhování

Zhodnocení časového průběhu zvuku

- *Zvuk – časově proměnný signál*
- *Kromě spektrálních vlastností závisí i na časových vlastnostech*

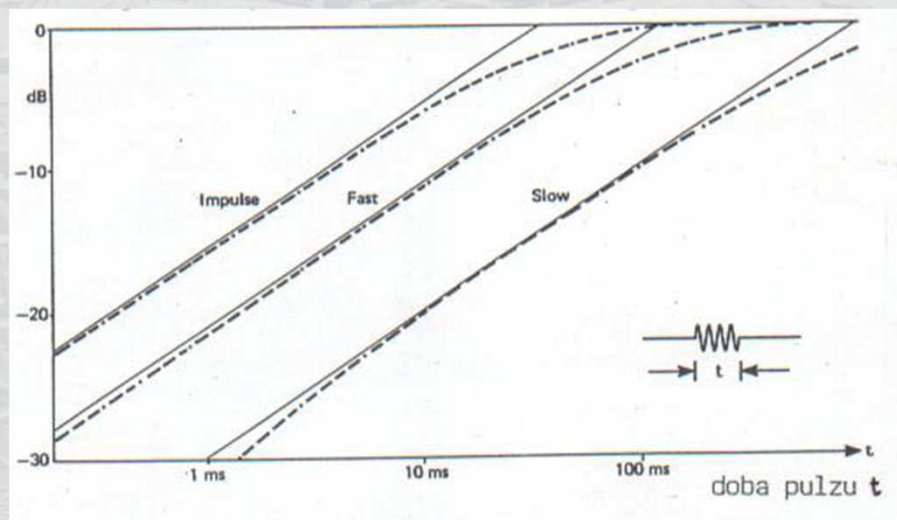
Vyhodnocení časových průběhů

- *Hodnocení efektivních hodnot - integrace*
- *Různá doba integrace*
 - *Konvenční zvukoměr – pevné časové konstanty*
 - *Integrující/průměrující zvukoměr – celá doba měření*

Časové váhování – konvenční zvukoměr

- *Průběh měřeného ak. tlaku v čase může obsahovat velmi rychlé změny – nemá smysl měřit okamžitou hodnotu*
- *Měření efektivní hodnoty převedeného napětí*
- *Časové vážení – exponenciální průběh s časovou konstantou*
 - *Fast – časová konstanta 0,125 s*
 - *Slow – časová konstanta 1 s*
 - *Impulse*
- *Volba časové konstanty podle charakteru zvuku*
- *Tzv. konvenční zvukoměr*

Časové průběhy integrace



Ekvivalentní hladina hluku

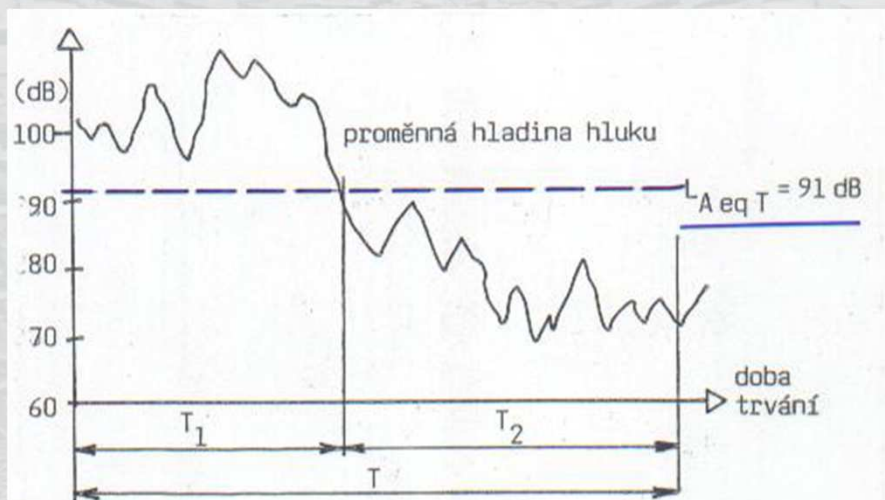
Stanovení dlouhodobějšího ukazatele hladiny zvuku v čase

- Vyjádření jako integrál hladiny tlaku za definovanou dobu
- Integrace plochy pod křivkou časového průběhu

$$L_{A \text{ eq } T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt$$

... kde T ...doba měření
 p_A ...akustický tlak vážený filtrem A
 p_0 ... vztažný prahový tlak

Ekvivalentní hladina hluku



Hluková expozice

Ekvivalentní hladina zvuku vztažená na čas jedné sekundy

$$SEL = 10 \log \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 \cdot dt$$

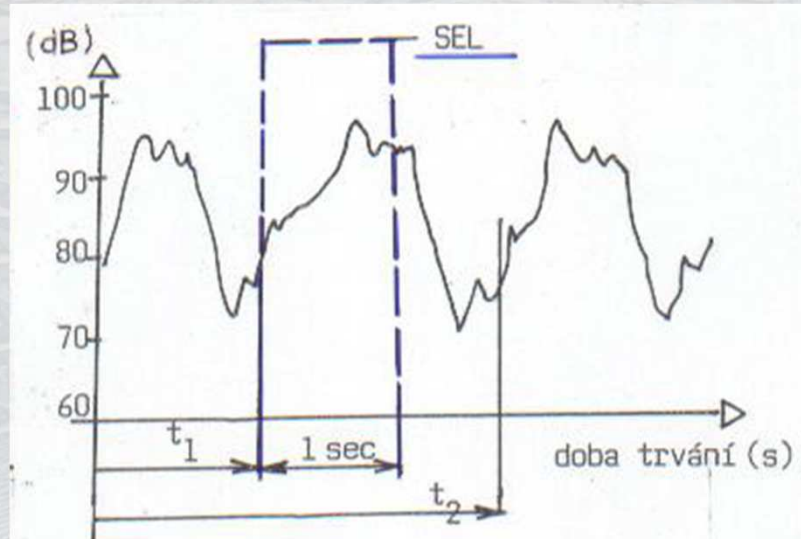
kde $p_A(t)$... tlak vážený filt. A

p_0 ... vztažný tlak (20 uPa)

t_0 ... vztažný čas = 1 sekunda

$t_2 - t_1$... časový interval, který má respektovat charakter hluku.

Hluková expozice



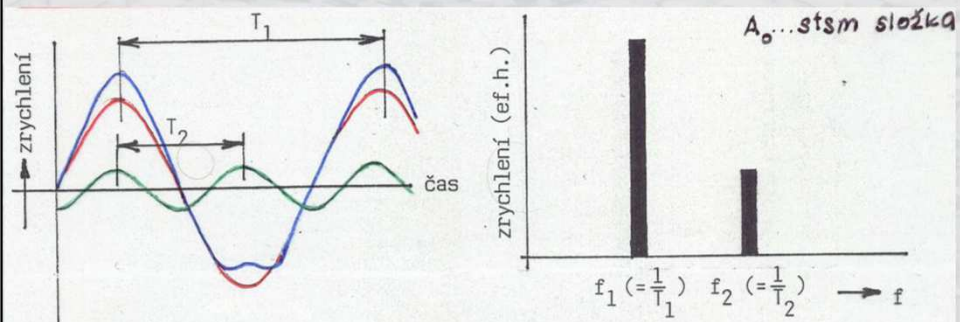
Frekvenční analýza zvuku - FFT

Základem je tzv. Fourierova transformace

- *Integrální transformace umožňující přechod z časové oblasti do frekvenční oblasti*
- *Rozklad obecného signálu na jednotlivé harmonické složky*

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + A_3 \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots + A_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$$

Frekvenční analýza zvuku - FFT

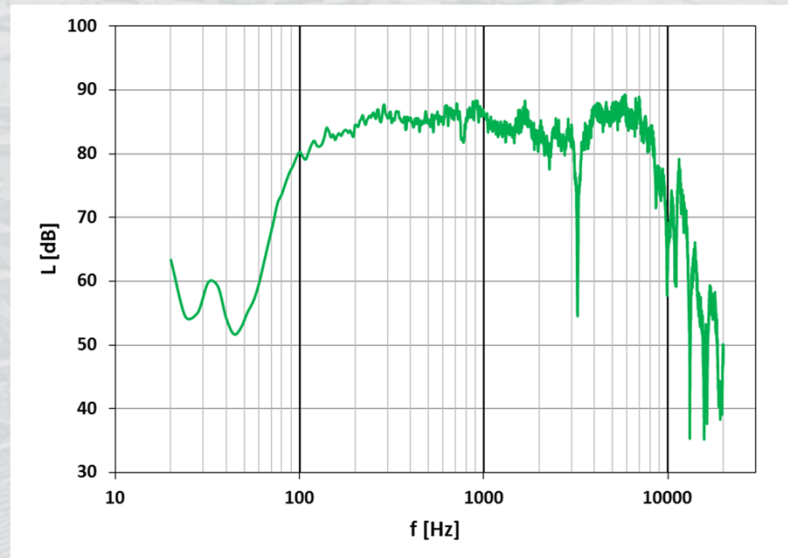


Frekvenční analýza zvuku - FFT

Výpočetní algoritmus FFT – Fast Fourier Transform

- *Nejprve digitalizace signálu a následně výpočet spektra*
- *Algoritmus optimalizovaný pro výpočet*
- *Počet vzorků transformace n (mocnina 2)*
- *Konstantní vzdálenost spektrálních čar vypočteného spektra*
- *Vzdálenost frekvenčních čar $f = \frac{f_{max}}{n}$*
- *Rozlišení závisí na frekvenčním rozsahu a počtu bodů*
- *Návaznost na měření v akustice a elektroakustice pomocí bílého šumu*

Frekvenční analýza zvuku - FFT



Frekvenční analýza zvuku – pásmové filtry

Rozdělení celého fr. rozsahu do užších pásem - filtrace

Tzv. oktávové a zlomko-oktávové filtry dle ČSN EN 61260

- *1/1 oct., 1/3 oct., 1/6 oct., 1/12 oct.*
- *Střední frekvence filtrů – vyvolené kmitočty*
- *Šířka pásma – právě daný zlomek oktávy*
- *Oktáva – interval, dvojnásobná vzdálenost frekvencí – relativní vztah*
- ***Důsledek: Různá absolutní šířka jednotlivých pásem***

Frekvenční analýza zvuku – pásmové filtry

Návaznost na měření pomocí růžového šumu v akustice a elektroakustice

Důležité při přepočtu spekter z FFT na pásmové filtry

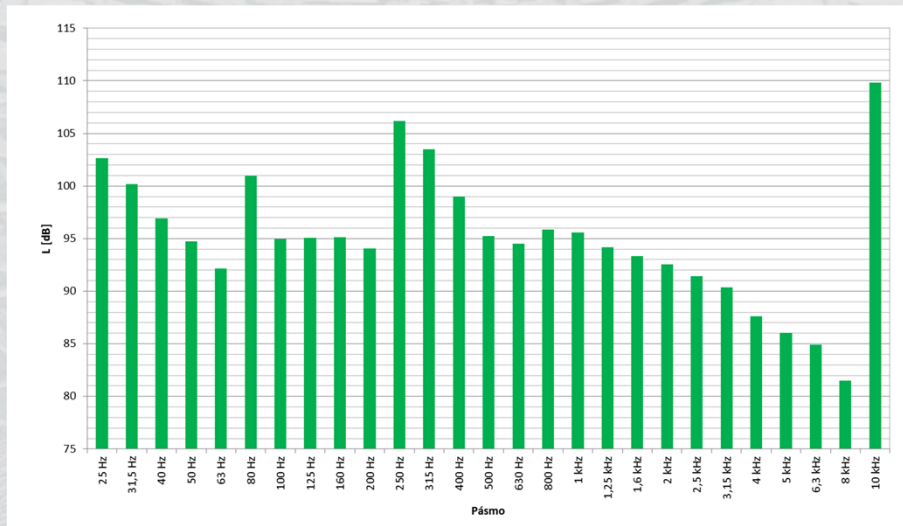
- *Každé pásmo různý počet čar!*

Pásmové filtry lze realizovat jak výpočetně, tak analogově, jako elektronické obvody

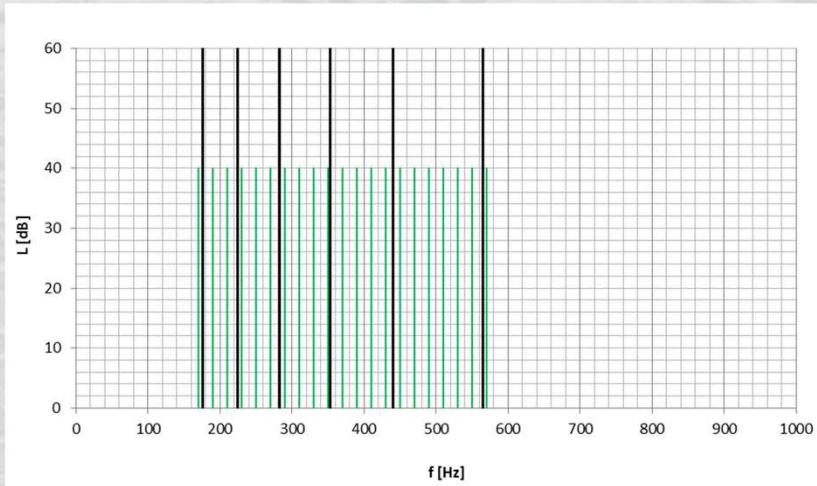
Pásmové filtry – třetinooktávová pásma

f_c	f_d	f_h	f_c	f_d	f_h
25	22	28	800	707	891
31,5	28	35	1000	891	1122
40	35	44	1250	1122	1412
50	44	56	1600	1412	1778
63	56	70	2000	1778	2238
80	70	89	2500	2238	2818
100	89	112	3150	2818	3548
125	112	141	4000	3548	4466
160	141	177	5000	4466	5623
200	177	223	6300	5623	7079
250	223	281	8000	7079	8912
315	281	354	10000	8912	11220
400	354	446	12500	11220	14125
500	446	562	16000	14125	17782
630	562	707	20000	17782	22387

Pásmové filtry – třetinooktávová pásma



Souvislost FFT a pásmových filtrů



Souvislost FFT a pásmových filtrů

Lze přepočíst spektrum získané pomocí FFT na pásmové filtry

- Výkonové sčítání jednotlivých čar FFT spektra spadajících do daného pásma
- Šířka pásma filtru s rostoucí frekvencí roste, zatímco FFT spektrum má konstantní vzdálenost čar → roste počet čar padajících do pásma
- Tj. při stejné velikosti FFT čar (ploché spektrum, bílý šum) bude CPB spektrum

Význam frekvenční analýzy

Pásmové filtry

- *Nejčastěji v hygienických měřeních, stavební a prostorová akustika*

FFT analýza

- *Umožňuje poměrně velké rozlišení (menší než 1 Hz)*
- *Především v hlukové a vibrační diagnostice*
- *Přesná analýza významných frekvenčních složek*



Děkuji za pozornost