

# MULTIMEDIÁLNÍ A HYPERMEDIÁLNÍ SYSTÉMY

3)  
Zvuk a jeho nahrávání

Petr Lobaz, 26.2.2013

2/31

## ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI

### ZVUK

- příčné kmitání molekul vzduchu
- rychlost  $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $1000 \text{ ft}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $1 \text{ ft}\cdot\text{ms}^{-1}$ )
- vlnová délka pro  $1000 \text{ Hz}$  asi  $1 \text{ ft}$
- minimální slyšitelná změna tlaku  
 $p_0 = 2\cdot 10^{-5} \text{ Pa}$   
(cca  $10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ )
- reakce logaritmická, frekvenčně závislá  
(křivky konstantní hlasitosti)

MHS – Zvuk a jeho nahrávání

## SLUCH

- vnější ucho – boltec, zvukovod
- bubínek – oddělení tlaků vnějšího a středního ucha
- střední ucho – sluchové kůstky, zesilovač kmitání
- vnitřní ucho – obsahuje hlemýžď (cochlea)  
s membránami – vlastní detekce zvuku
  - na kmitání membrány reagují nervová zakončení
  - místo rezonance membrány závislé na frekvenci zvuku
- ⇒ frekvenční analýza zvuku
- popisem slyšení se zabývá psychoakustika

MHS – Zvuk a jeho nahrávání

3/31

## HLASITOST

- Sound Pressure Level (Sound Power Level)
- $\text{dB SPL} = 20 \log_{10}(p/p_0)$ ,  $\Delta p = 10 \log_{10}(P/P_0)$

	dB SPL	$\Delta p$
práh slyšitelnosti (3 kHz)	0	$2,0\cdot 10^{-5}$
tikot hodin	30	$6,3\cdot 10^{-4}$
běžná řeč	50	$6,3\cdot 10^{-3}$
hluk na ulici	80	$2,0\cdot 10^{-1}$
hlasitý zpěv	100	2,0
práh bolesti	130	63,0
start tryskáče	190	20000,0

MHS – Zvuk a jeho nahrávání

4/31

## HLASITOST

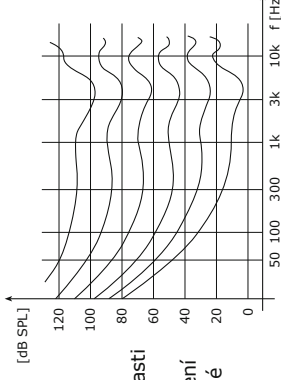
- rozlišení 1 dB, rozsah 120 dB, užitečný rozsah 96 dB
- hlasitost klesá se vzdáleností, dvojnásobná vzdálenost = 25% výkon = pokles o 6 dB ( $10 \log_{10} 0,25 P/P = 10 \log_{10} 0,25 = -6,02$  dB)
- hlasitost součtu zvuků dána součtem dílčích výkonů
- člověk vnímá průměrnou úroveň (měření VU-metrem), pro technické účely lepší PPM (peak program meter)
- další jednotky
  - dBFS 0 dB = maximální věrná hlasitost
  - dBm 0 dB = 1 mW při 600 Ohm
  - dBu 0 dB = 0,775 V (1 mW při 600 Ohm)
  - dBVU 0 dB = +4 dBu nebo -10 dBu

MHS – Zvuk a jeho nahrávání

5/31

## FREKVENCE

- frekvenční rozsah 20 Hz – 20 kHz (s věkem klesá)
- křivky konstantní hlasitosti (Fletcher-Munson; ISO 226)
- dvojnásobek frekvence – 1 oktáva
- logaritmické rozpoznávání nejcitlivější v oblasti 1 – 4 kHz
- frekvenční rozlišení frekvenčně závislé (0,3% při 3 kHz 3% při 100 Hz)

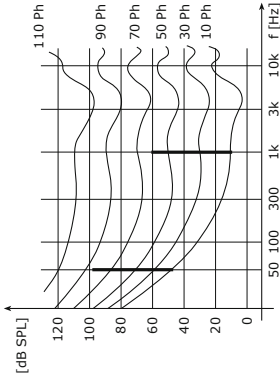


MHS – Zvuk a jeho nahrávání

6/31

## HLASITOST

- jednotka stejné vnímané hlasitosti: fon (Ph)
- odpovídá dB SPL pro 1 kHz
- pro jiné frekvence převod na dB SPL podle F-M křivky
  - změna 50 dB
    - 50 Hz  $\Rightarrow$  80 ph
    - 1 kHz  $\Rightarrow$  50 ph
  - psychologická hlasitost – 1 son

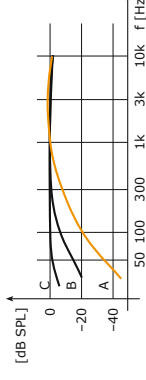


MHS – Zvuk a jeho nahrávání

7/31

## HLASITOST

- označení „hlasitosti“ jedním číslem – kompenzace
  - A – cca 40 fonů, v podstatě ignoruje první oktávy
  - B – cca 70 fonů
  - C – cca 100 fonů
- např. 60 dB SPL při 100 Hz odpovídá 40 dB podle kompenzace A
- měření hluchosti nejčastěji podle kompenzace A

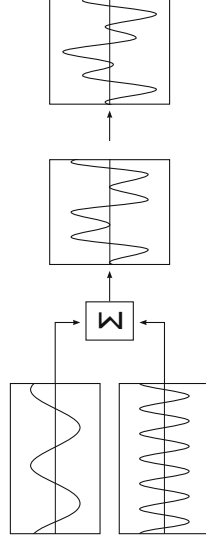


MHS – Zvuk a jeho nahrávání

8/31

## BARVA ZVUKU

- základní tón + harmonické frekvence (celočíselné násobky základní frekvence)
- vnímaný zvuk nezávisí na fázovém posuvu
- barva zvuku dána hlavně frekvenční charakteristikou

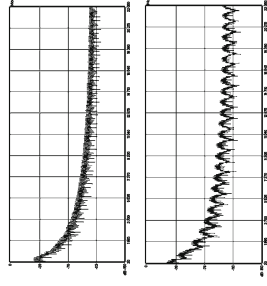


## ZÁKLADNÍ FREKVENCE

komorní A	440 Hz (jedna z definic)
<i>hlas</i>	
bas	82 – 329 Hz
baryton	110 – 370 Hz
tenor	131 – 523 Hz
alt	175 – 698 Hz
mezzosoprán	247 – 880 Hz
soprán	262 – 1397 Hz
housle	196 – 1975 Hz
flétna	262 – 2349 Hz
piano	27 – 4186 Hz
varhany	16 – 8372 Hz

## HŘEBENOVÝ FILTR

- součet fázově posunutých zvuků – změna frekvenční charakteristiky (střídání konstruktivní a destruktivní interference)
- vznik
  - součet zvuku a jeho ozvěny
  - snímání zvuku dvěma mikrofony
- problém při mixáži nebo převodu do mono



## VÝŠKA TÓNU

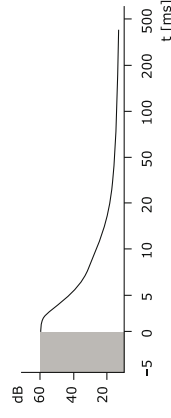
- rozeznávání výšky tónu podle základní frekvence a struktury harmonických frekvencí
- rozpoznání cca po 30 ms od začátku zvuku
- detekuje se místem rezonance membrány vnitřního ucha
- kritické pásmo
  - rozsah kmitání membrány pro danou frekvenci
  - šířka cca 1/3 oktávy
  - zázněje („beats“)

---

## MASKOVÁNÍ

---

- frekvenční maskování
  - maskování slabšího, frekvenčně podobného tónu
- časové (temporal) maskování
  - po ukončení hlasitého tónu chvíli trvá, než se stane slabší tón slyšitelný



---

## IDENTIFIKACE ZDROJE

---

- dobře úhel, rozišovací schopnost asi  $1^\circ$ 
  - stínění hlavy – útlum vysokých frekvencí
  - fázový posuv ( $< 1\text{kHz}$ ), pro tóny
  - časový posuv, pro impulsní zvuky
  - doba rozeznání směru cca 1 ms
- špatně vzdálenost
  - útlum vysokých frekvencí
  - ozvěna (prodleva  $> 30\text{ms}$ )

---

## REPRODUKTORY

---

- poslechové reproboxy – zvuk, akustický výkon
- monitory – dynamika, věrný frekvenční přenos

### PARAMETRY

- optimum 30 – 20000 Hz
- kvalitní monitor 60 – 20000 Hz při  $\pm 3\text{dB}$  toleranci, 35 Hz – 6 dB
- vyrovnaná fázová charakteristika
- rovnoměrná směrová charakteristika
- harmonické zkreslení  $< 1\%$  nad 200 Hz (při 1 W)
- zesilovače 100 – 400 W, velká studia  $> 1\text{ kW/kanál}$
- impedance 4 – 8  $\Omega$  – srovnatelné s impedancí kabelů

---

## REPRODUKTORY

---

### KONSTRUKCE

- vícepásmové
  - typicky woofer, tweeter, dělení okolo 1,5 kHz
  - u větších reproboxů 3 pásma, max. 4 pásma
- aktivní x pasivní dělení signálu
- pro kvalitní kontrolu subwoofer (20 – 120 Hz)
- basreflex – pro poslechové reproboxy

---

## REPRODUKCE

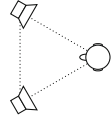
---

### MONOFONNÍ 1.0

- jeden zdroj zvuku
- typický výstup mikrofону
- množství starých nahrávek, zvukových stop filmů
- předpokládány způsob reprodukce u rádia

### STEREOFONNÍ 2.0

- dva zdroje zvuku (L, R)
- posluchač a zdroje – rovnostranný trojúhelník, ve stejné výšce
- sluchátka – rychlejší únava, zvuk před posluchačem vnímán jako uvnitř hlavy



---

## REPRODUKCE

---

### LFE

- low frequency effect
- hluboké tóny málo slyšitelné  
⇒ musí mít velkou amplitudu  
⇒ zabírají dynamický rozsah
- řešení – nízké tóny ve zvláštní mono stopě, zvláštní hlasitost

### 2+1

- L, R, (LFE)
- signál z LFE a LR do subwooferu ⇒ bass management
- subwoofer typicky uprostřed

---

## REPRODUKCE

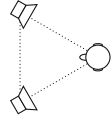
---

### MONOFONNÍ 1.0

- jeden zdroj zvuku
- typický výstup mikrofону
- množství starých nahrávek, zvukových stop filmů
- předpokládány způsob reprodukce u rádia

### STEREOFONNÍ 2.0

- dva zdroje zvuku (L, R)
- posluchač a zdroje – rovnostranný trojúhelník, ve stejné výšce
- sluchátka – rychlejší únava, zvuk před posluchačem vnímán jako uvnitř hlavy



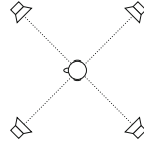
---

## REPRODUKCE

---

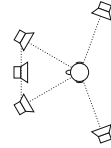
### KVADROFONNÍ (4.0)

- dva alternativní systémy:
  - hudební 45°, 135°
  - filmový (středový reproduktor kvůli posluchači mimo osu), reproduktory jako u 5.1 (oba zadní reproduktory stejný zvuk)



### SURROUND (5.1)

- L, R, C (center), LS, RS (left/right surround), LFE
- rozmístění 0°, 30°, 110°



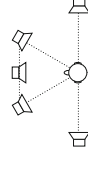
---

## REPRODUKCE

---

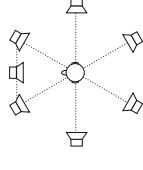
### DD-EX, DTS-ES (6.1)

- L, R, C, LS, RS, B (back), LFE
- v případě Dolby Digital je zadní kanál matricově uložen v surround kanálech
- rozmístění 0°, 30°, 90°, 180°



### DD+, DTS-HD, DOLBY TRUEHD, SDDS (7.1)

- L, R, C, LS, RS, LB, RB, LFE
- rozmístění 0°, 30°, 90°, 150°
- WIDESCREEN 7.1**
- 5 kanálů pod plátnem, 2x rear



---

## REPRODUKCE

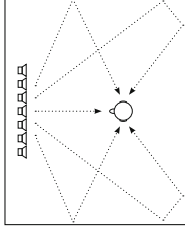
---

### REPRODUKTOROVÉ POLE

- cca 40 malých reproduktorů + 2x woofer
- reproduktory ve fázi – maximální hlasitost před nimi
- fáze reproduktorů lineární – maximální hlasitost v jistém úhlu

⇒ tvorba „zvukových paprsků“

- surround efekt
- odrazem od stěn
- simulace sterea, směřování zvuku k jednomu posluchači, ...



---

## REPRODUKCE

---

- downmixing
  - typicky stereo → mono
  - 5.1 → stereo
  - 5.1 → Dolby Surround stereo
- problém s hřebenovým filtrem
- největší problém, vzniká-li výchozí zvuk upmixem
  - C → LR musí zachovávat energii
  - ½ energie =  $-3 \text{ dB}$  ⇒  $L + = \sqrt{2} \cdot C$ ,  $R + = \sqrt{2} \cdot C$
- upmixing
  - typicky stereo → 5.1
  - odvozeno z fázových a časových posunů

---

## ZPRACOVÁNÍ ZVUKU

---

### NAHRÁVÁNÍ

- snímání, předzpracování, záznam

### MIXÁŽ

- čtení, mixážní pult, zvukové procesory, záznam

### MASTERING

- čtení, premastering, mastering, výroba nosiče

### REPRODUKCE

- čtení, výkonový zesilovač, reproduktava
- cíl: stejný poslechový vjem jako u zdroje zvuku

---

## MIKROFONY

---

### PARAMETRY

- maximální akustický tlak
- citlivost – odstup signál – šum (SNR) pro 1 kHz
- elektrický šum (tišší nahrávaný zvuk ⇒ horší SNR)
- směrová charakteristika (charakteristiky)
- konstrukce mikrofonní kapsle
- frekvenční charakteristika

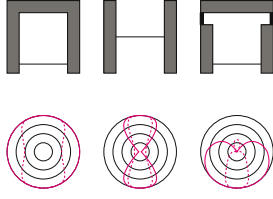
příklad:

- max. SPL 140 dB (1 kHz),  
134 dB pro 20–20000 Hz (0,5 % zkreslení)
- šum 25 dB, 14 dB podle kompenzace A  
⇒ dynamický rozsah min. 126 dB

## SMĚROVÁ CHARAKTERISTIKA

### VŠESMĚROVÝ

- nemají proximity effect
- přirozenější zvuk
- přeselechy



### OSMIČKOVÝ

- proximity efekt
- speciální aplikace

### KARDIOIDNÍ

- proximity efekt
- minimální přeselechy

## SMĚROVÁ CHARAKTERISTIKA

### PROXIMITY EFEKT

- u mikrofonů s otevřenou kapslí
- zvuk z velké vzdálenosti – akustický tlak z obou stran membrány srovnatelný
- zvuk z blízka – díky útlumu akustický tlak z jedné strany větší, stínění kapsle ⇒ zdůraznění nízkých frekvencí
- kompenzace ⇒ nejsou slyšet nízké frekvence z dálky



## SMĚROVÁ CHARAKTERISTIKA

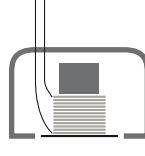
### SMĚROVÝ MIKROFON

- v mikrofonu několik kapslí, výsledný signál „součet“
- zvuk z jednoho směru ⇒ výstup z kapslí ve fázi ⇒ výsledný součet velký
- poměrem signálů z kapslí lze měnit směrovou charakteristiku
- mikrofonové pole – kapsle rozmístěny v ploše
  - stejný princip jako pole reproduktorů
  - elektronicky lze mikrofon zaměřit na daný bod v prostoru

## KONSTRUKCE MIKROFONŮ

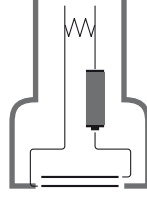
### DYNAMICKÉ

- umí snimat velký akustický tlak, bez napájení, odolný
- velká membrána ⇒ menší šum, horší frekvenční rozsah



### KAPACITNÍ

- vynikající frekvenční rozsah
- fantomové napájení (48 V)
- elektretový – kondenzátor nabitý stabilně, vyžaduje napájení vnitřního zesilovače



---

## STEREOFONNÍ NAHRÁVKA

---

- dozvuk z různých směrů, sejmutí mikrofonem, reprodukce z jednoho směru  $\Rightarrow$  hřebenový filtr
  - nástroje ve stopách, stereobáze v mixáži
  - skutečné stereofonní nahrávání
  - XY – kardioidní mikrofony v úhlu  $90^\circ$ , kapsle u sebe  
 $L = X, R = Y$
  - MS – kulový + osmičkový mikrofon, kapsle u sebe  
 $L = M - S, R = M + S$  (příp. obráceně)
  - AB – dva kulové mikrofony vedle sebe  
+ bodové mikrofony pro mixáž
- vzdálenost základních mikrofonů taková, aby se hřebenový filtr odsunul do neslyšitelné oblasti

---

MHS – Zvuk a jeho nahrávání

29 / 31

---

## SNÍMÁNÍ HLASU

---

- na živo dynamický mikrofon
- ve studiu kapacitní mikrofon
- explozivní hlásky – b, p, d, t
- sykavky – c, s, z
- malá vzdálenost mikrofonu od úst – proximity efekt, nežádoucí ruchy
- velká vzdálenost mikrofonu od úst – musí být citlivý mikrofon, přeslechy, odrazy
- typicky 15 – 60 cm

---

MHS – Zvuk a jeho nahrávání

30 / 31

---

## SNÍMÁNÍ NÁSTROJŮ

---

- volba vhodného typu mikrofonu
- volba vhodné nahrávací vzdálenosti
- volba počtu mikrofonů a součtu jejich signálů
- volba prostředí, kde se bude nahrávat,
- umístění mikrofonů vzhledem k podlaze a zdem
- případná úprava nástroje (obalení strun, přeladění, ...)
- zvuk se dále elektronicky upravuje (komprese, gate, ekvalizace, ...)
- žádnoucí podoba zvuku závisí na použití v mixu

---

MHS – Zvuk a jeho nahrávání

31 / 31