

# Binaurální zpracování zvuku

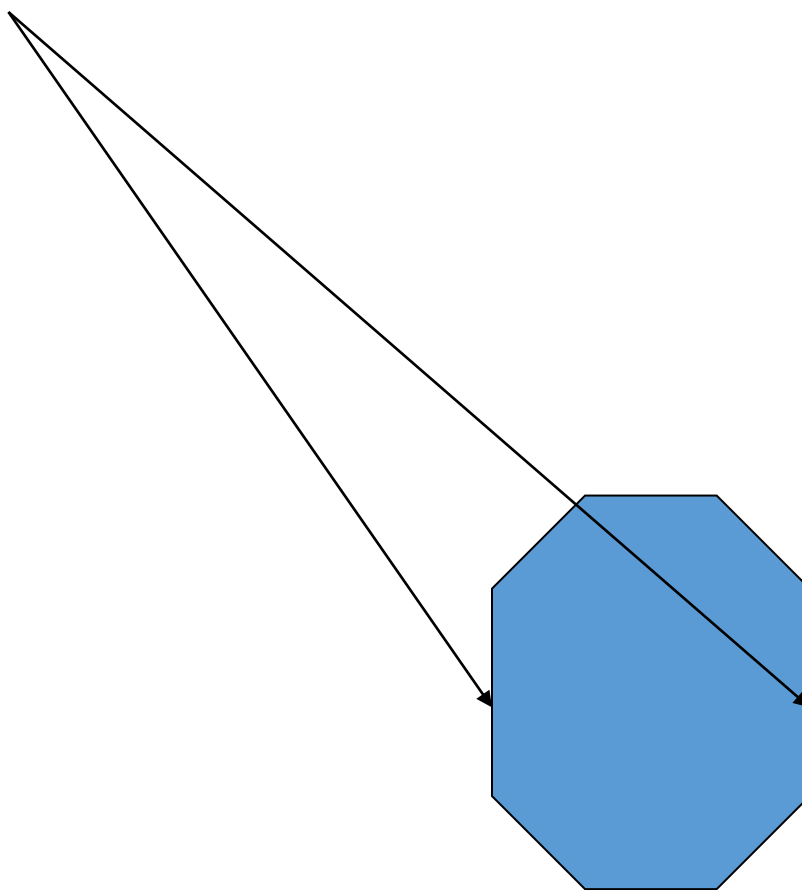
aneb

$$1 + 1 > 2$$

# Interaurální diference zvuku

Zdroj zvuku

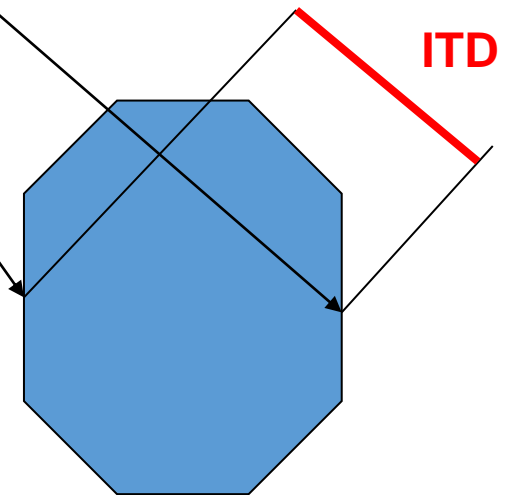
- Časová
- Intenzitní
- Fázová



# Časová interaurální diference (Interaural Time Difference – ITD)

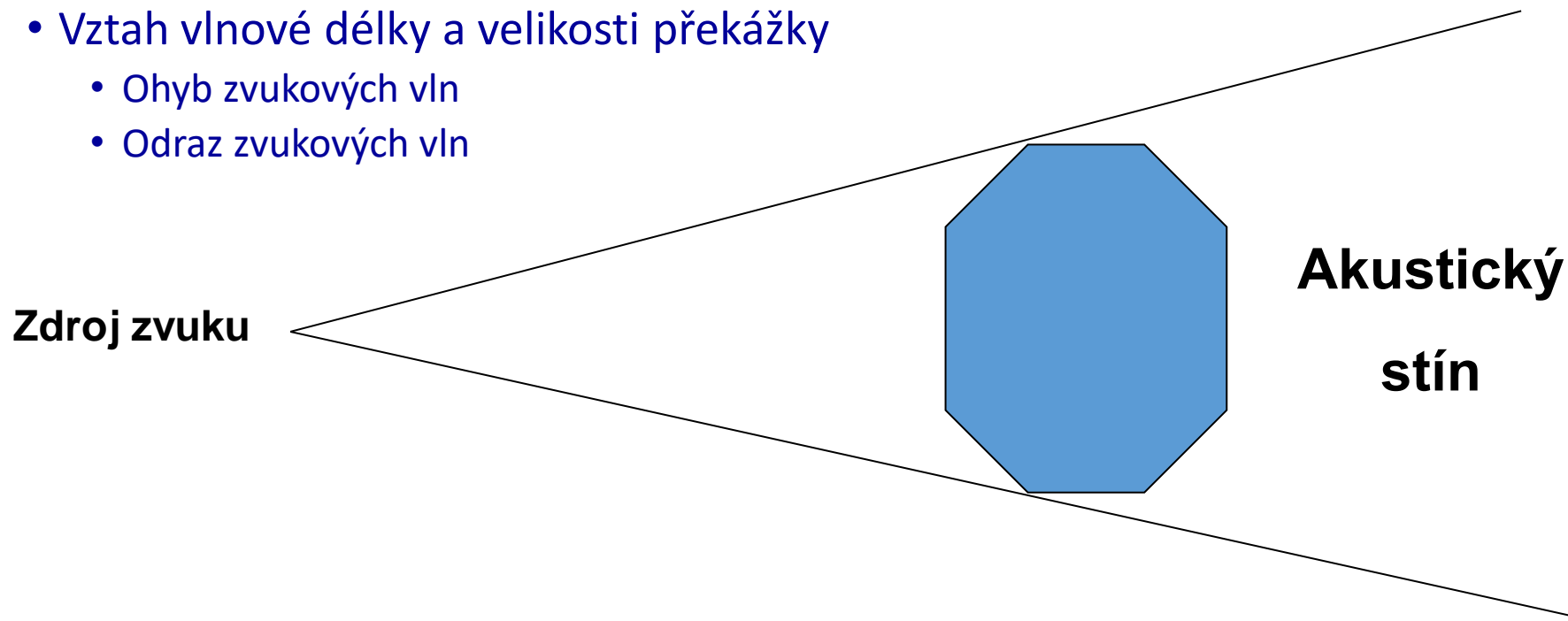
- Dána rychlostí zvuku
- Závislá na směru přicházejícího zvuku
- Maximální hodnota pro hlavu: 0,65 ms
- Minimální subjektivně detekovatelná hodnota: 0,01 ms (pro 500-1000Hz)

Zdroj zvuku

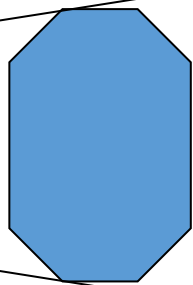


# Intenzitní interaurální diference (Interaural Level Difference – ILD)

- Důsledek akustického stínu hlavy
- Interakce zvuku s pevným objektem
- Vztah vlnové délky a velikosti překážky
  - Ohyb zvukových vln
  - Odraz zvukových vln

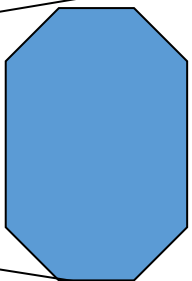


**200 Hz**



**nestíněno**

**7000 Hz**



**stíněno**

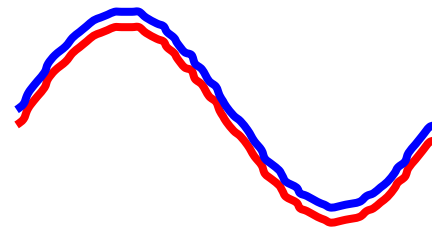
# Vliv akustického stínu hlavy

- Interaurální rozdíl jako funkce azimutu

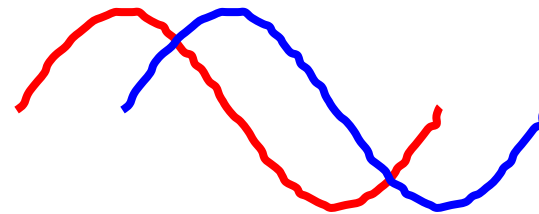
azimut	0 st.	45 st.	90 st.
-----			
frekvence			
• 200 Hz	0 dB	2 dB	3 dB
1000 Hz	0 dB	7 dB	8 dB
2200 Hz	0 dB	9 dB	9 dB
4000 Hz	0 dB	13 dB	13 dB
7000 Hz	0 dB	15 dB	19 dB

# Fázová interaurální diference (Interaural Phase Difference - IPD)

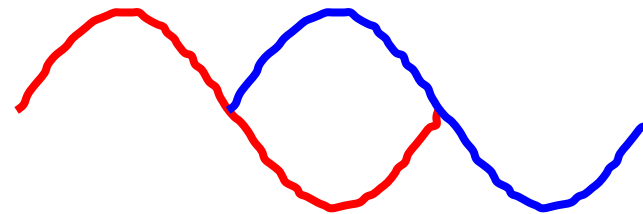
- Bez posunu fáze



- Posun o 90 stupňů

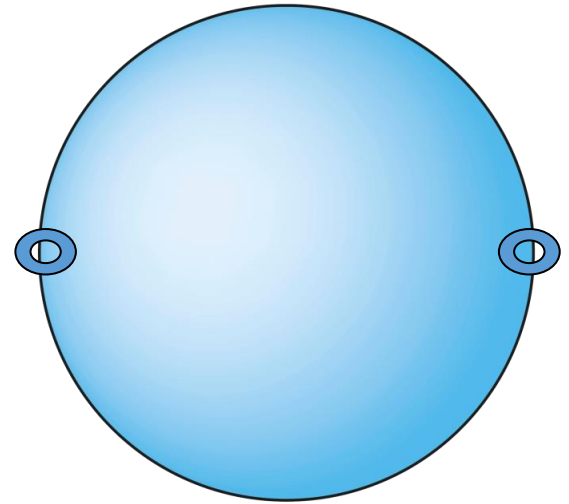


- Posun o 180 stupňů



# Směrové slyšení

- Interaurální rozdíl časový, intenzitní a fázový
- **Koule**
  - Lze identifikovat úhel přicházejícího zvuku
  - Nelze odlišit ZEZADU versus ZEPŘEDU a SHORA versus ZDOLA
- **Hlava**
  - Uši jsou umístěny mírně vzadu
  - Přítomnost a tvar boltců
  - Kraniálně od uší lebka, kaudálně od nich ramena
  - Lze identifikovat úhel přicházejícího zvuku
  - Lze přesně odlišit ZEZADU versus ZEPŘEDU a SHORA versus ZDOLA





# Směrové slyšení u člověka

- Schopnost získaná
  - Objevuje se kolem 6.měsíce života
- Minimum Audible Angle (MAA) u dospělého
  - Horizontální rovina: 1 úhlový stupeň
  - Vertikální rovina: 4 úhlové stupně
- Head-related Impulse Responses
  - Frekvenčně-specifické měření definovaného impulsu před bubínkem aplikovaného z různých směrů
  - Vliv boltců, hlavy, ramen na ITD, ILD a IPD
  - Vysoce idiosynkratické výsledky
- Deformace boltců zhorší přesnost směrového slyšení
  - Možnost nové adaptace pomocí vizuálního feedbacku
- Odstranění boltců naruší lokalizaci kvadrantů
  - Vpředu versus vzadu

# Odhad vzdálenosti zdroje zvuku

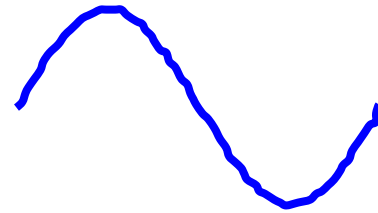
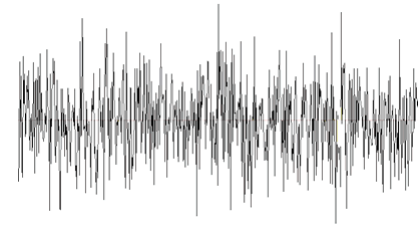
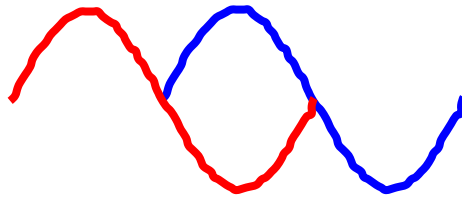
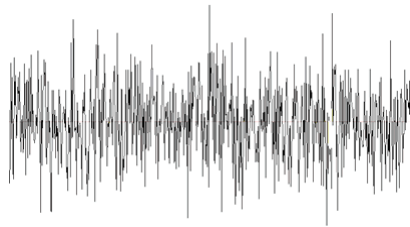
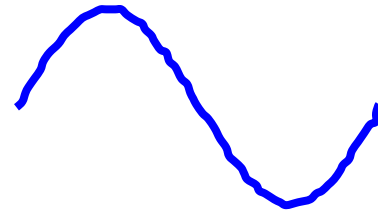
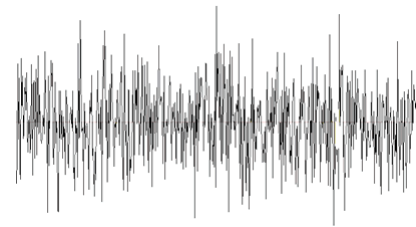
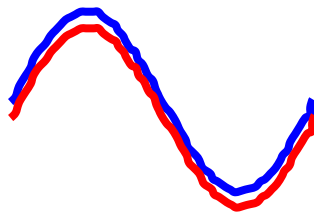
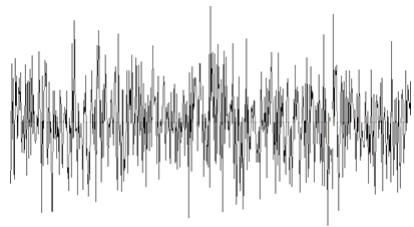
- ITD a ILD
- Pohyby hlavou
- Úbytek energie se čtvercem vzdálenosti
  - -6dB se zdvojnásobením vzdálenosti zdroje zvuku
- Zkušenost
  - Předpoklad úbytku hlasitosti s narůstající vzdáleností
- Reverberace
  - Vzdálenější zdroj zvuku obsahuje více reverberačních prvků
  - Čím větší vzdálenost, tím více

# Sluchová percepce prostoru

- Prostorová orientace nevidomých
- Činoherní scéna: krátký reverberační čas
- Operní scéna: delší reverberační čas

# Detekce a identifikace zvuku na pozadí šumu (Binaural Unmasking)

- Ucho se silnějším signálem (Better Ear): vliv ILD
- Mezistranové difference času a fáze (Směrový vjem): ITD a IPD
- Binaural Masking Level Difference (BMLD)  
(Redukce maskovacího prahu)  
až 15dB při IPD 180°



## Poslech řeči v cocktail party

- Jeden největších problémů nedoslýchavých

• **Slyším, ale nerozumím !**

# Výzkumy v kognitivní psychologii

- Dichotické testy (Attended x Unattended ear)
- Cherry (1953)  
A: rozumění a zapamatování si slov, U: téměř nic si nepamatovali
- Broadbent (1958)  
Zpracovává se signál pouze z A, signál z U se téměř nezpracovává
- Triesman (1964)  
Zpracovávány jsou oba signály  
Trénink přináší lepší výsledky

# Výzkumy v kognitivní psychologii

- Testy ve volném poli

- Spence & Driver (1994)

Reakce na zvuk je rychlejší, pokud subjekt ví, odkud přijde

- Culling & Summerfield (1995)

Zdůraznili princip „Binaural unmasking“

ITD, ILD, IPD

- Darwin & Hukin (1999)

Prostorové zaměření pozornosti

- Arbogast et al. (2005)

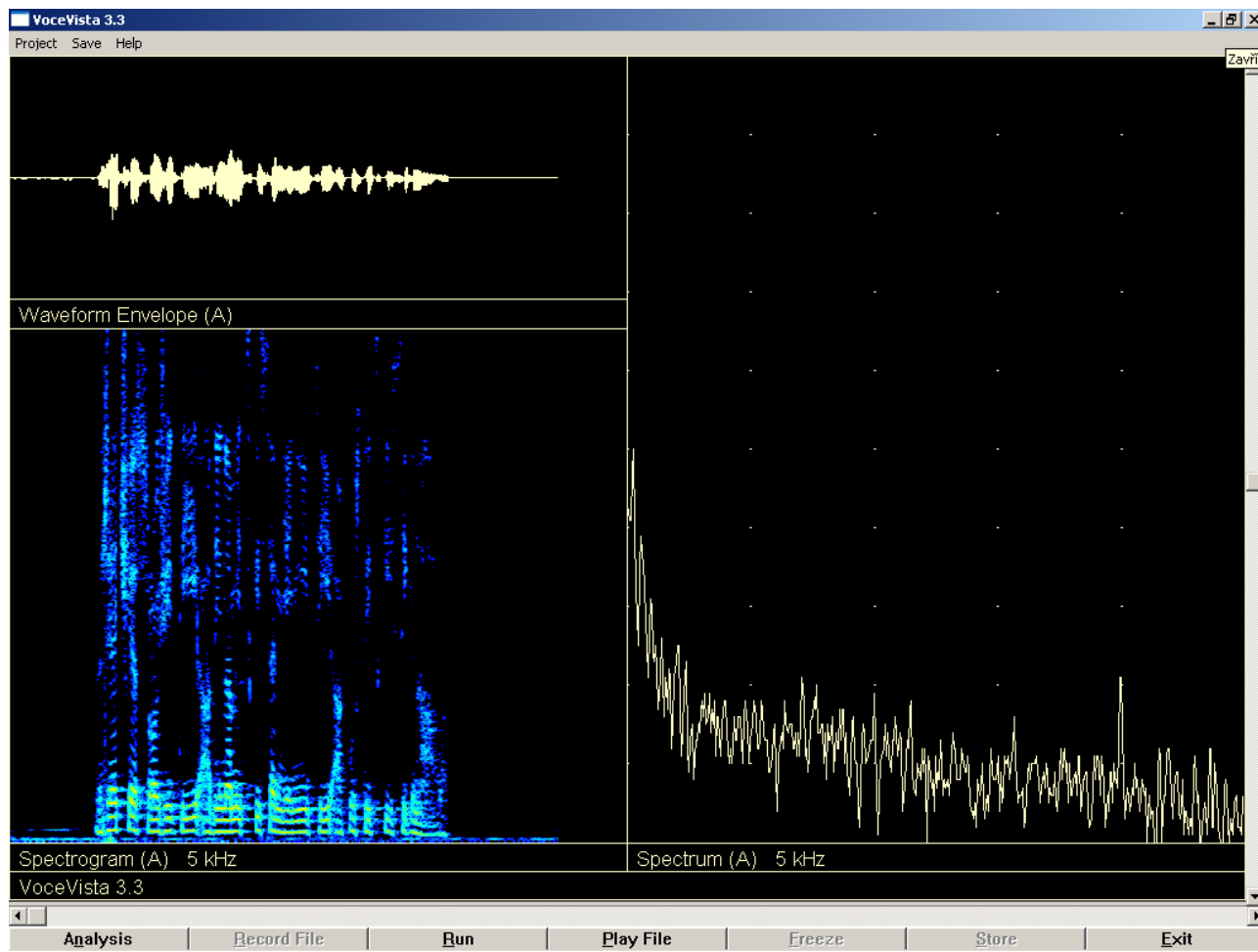
Frekvenčně a amplitudově modulovaná řeč dává vyšší kontrast



# Řeč z akustického hlediska

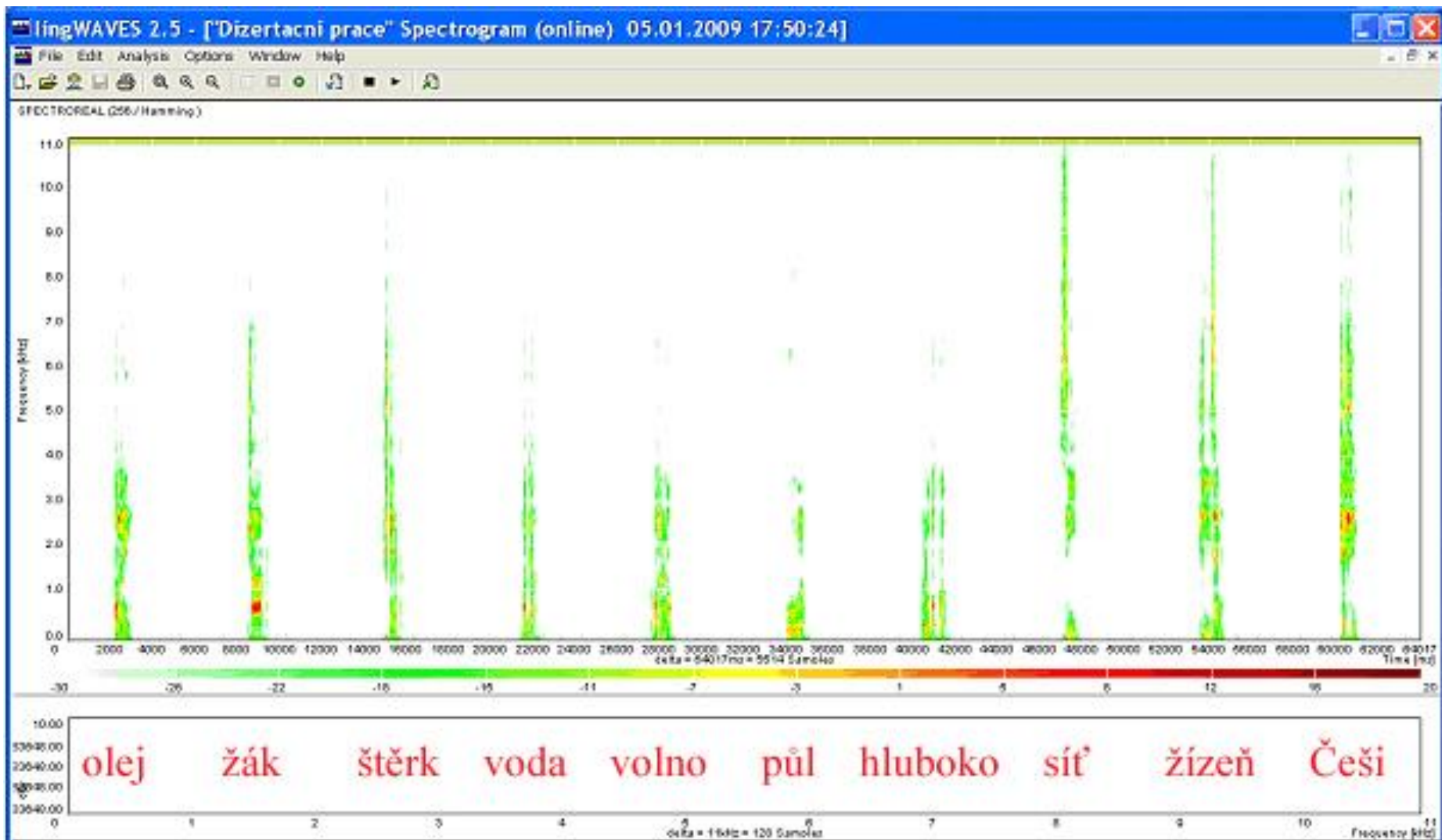
- Řeč:
  - Složitý a dynamicky se měnící akustický signál
  - Souhlásky: šumy, resp. šumy + základní hrtanový tón
  - Samohlásky: složené tóny

Záznam hlasu autora



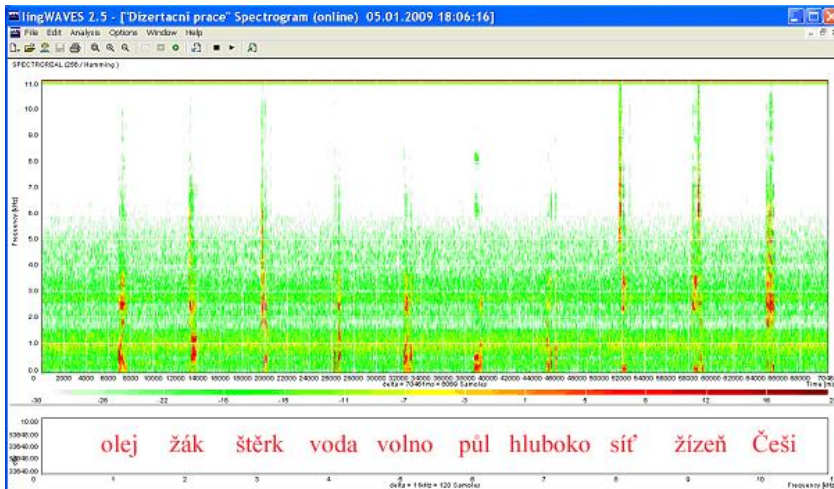
# Sonagram české slovní audiometrie

Software lingWAVES 2.5., 2.dekáda slovní audiometrie

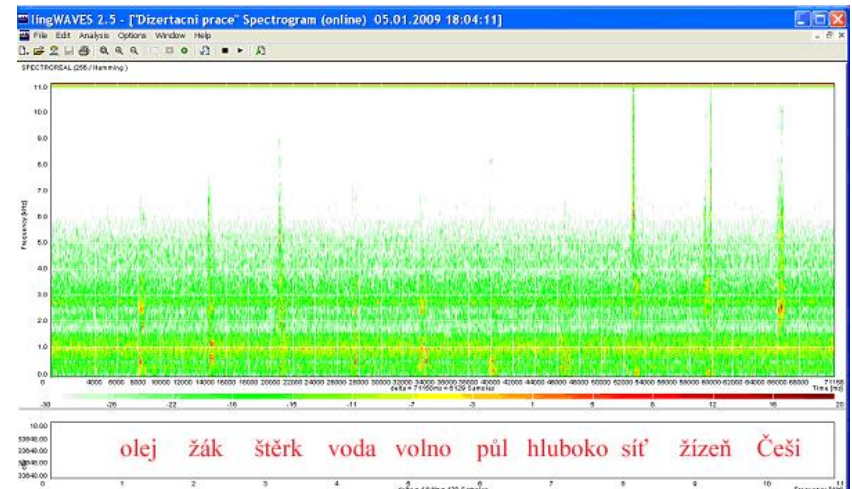


# Sonagramy jednotlivých SNR

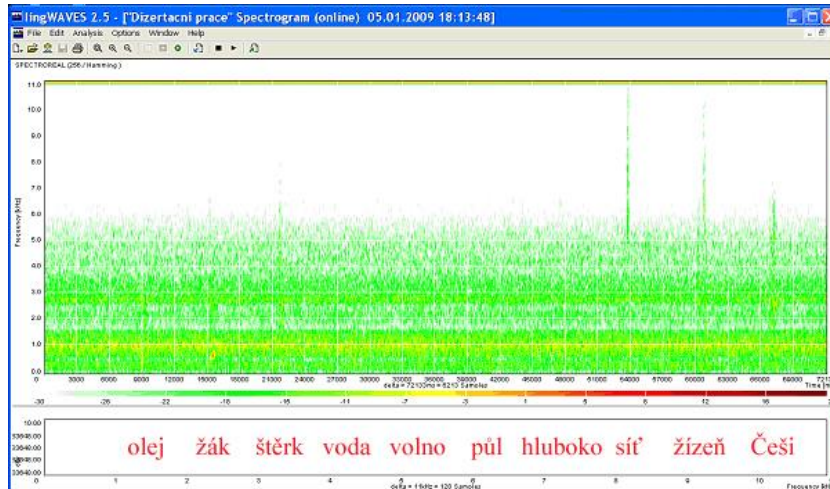
Software lingWAVES 2.5., 2.dekáda slovní audiometrie



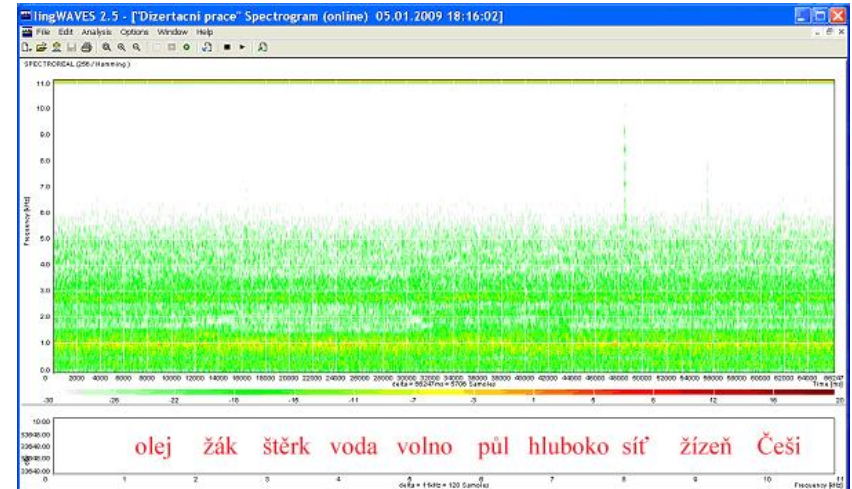
SNR +10 dB



SNR 0 dB



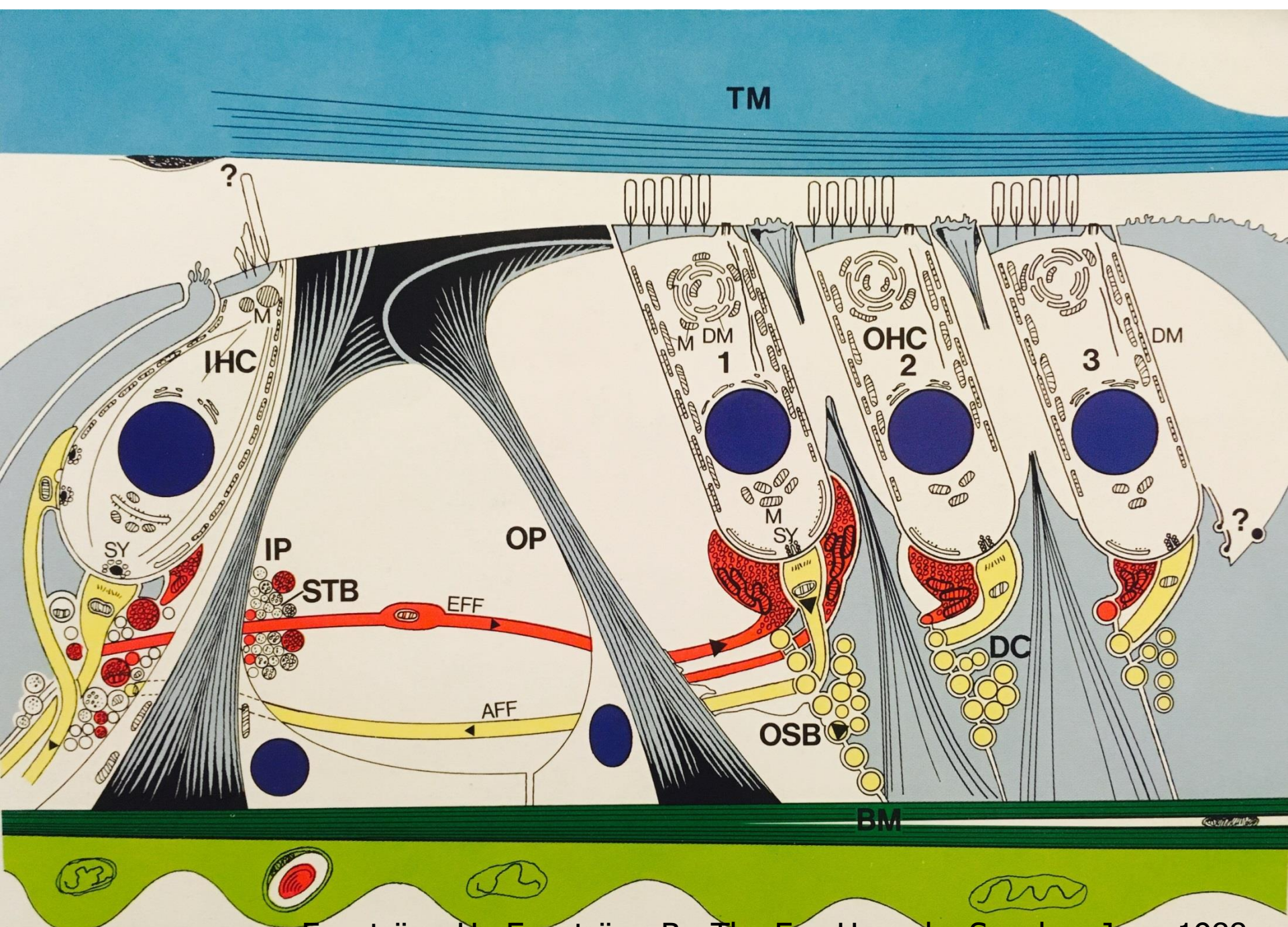
SNR -10 dB



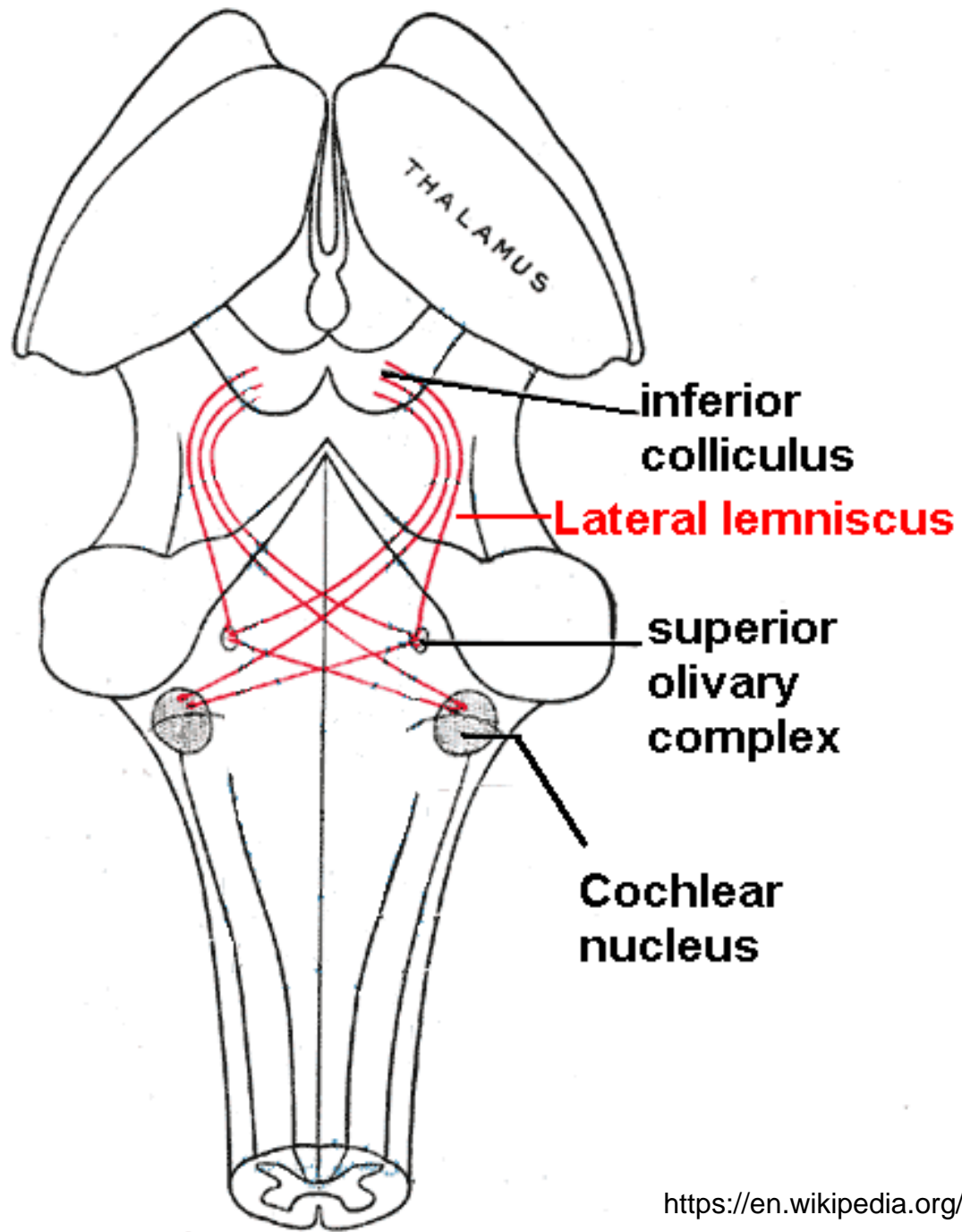
SNR -20 dB

# Poslech řeči v cocktail party

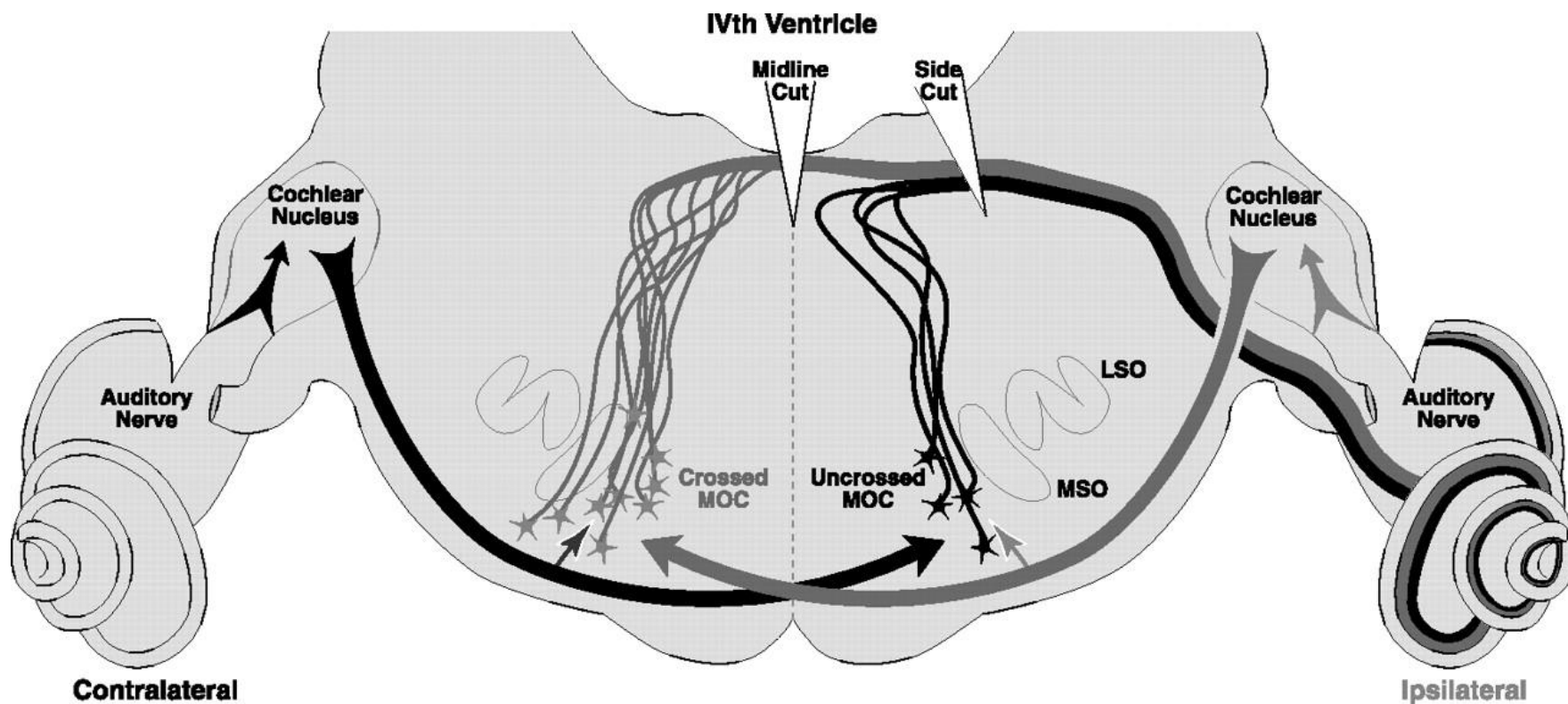
- Řeč:
  - Složitý a dynamicky se měnící akustický signál
  - Souhlásky: šumy, resp. šumy + základní hrtanový tón
  - Samohlásky: složené tóny
- Podobně jako u Binaural Unmasking
  - Ucho se silnějším signálem: vliv ILD
  - Mezistranové difference času a fáze: ITD a IPD
  - Binaural Masking Level Difference (BMLD): až 15dB při IPD 180°
- + složité děje v periferním i centrálním sluchovém orgánu vedoucí ke zvýšení poměru signál-šum (SNR)
  - Zapojení vláskových bb na mediální a laterální olivokochleární svazky
  - Horní olivární komplex
  - Zpracování zvuku ve sluchových centrech
  - Komisurální a asociační dráhy



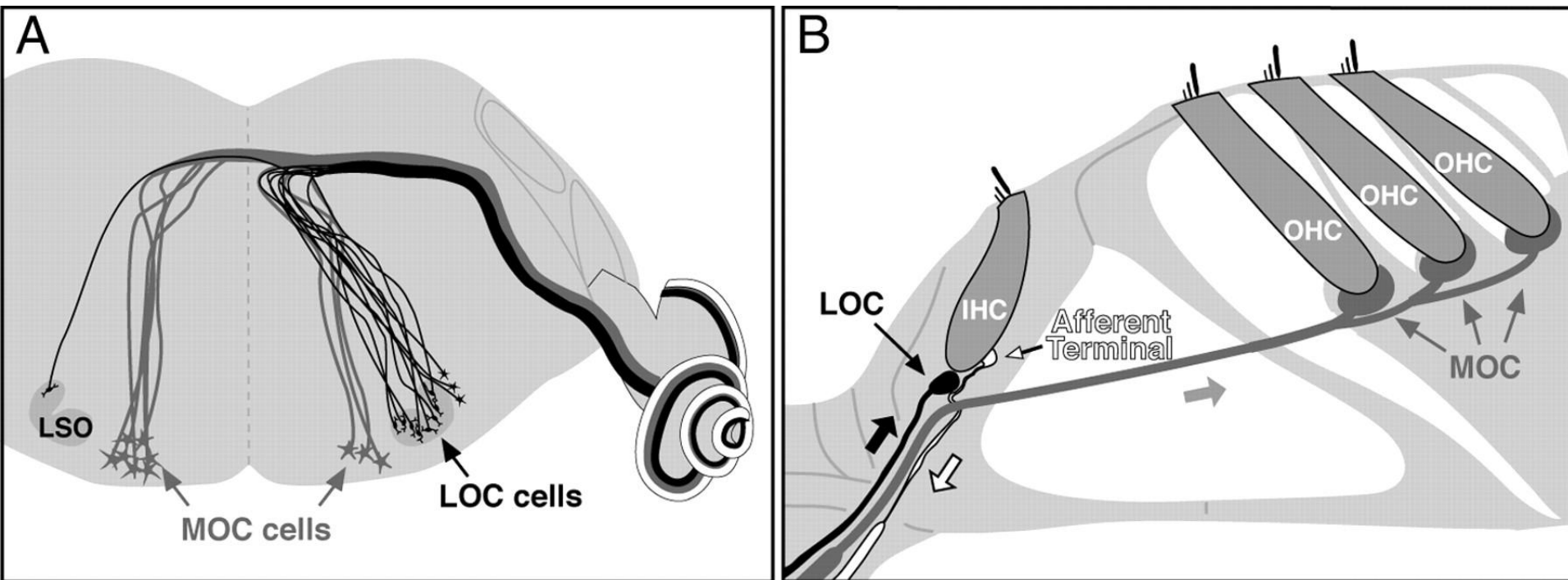
Engström, H., Engström, B.: The Ear. Uppsala, Sweden, June 1988



# Olivo-kochleární svazky



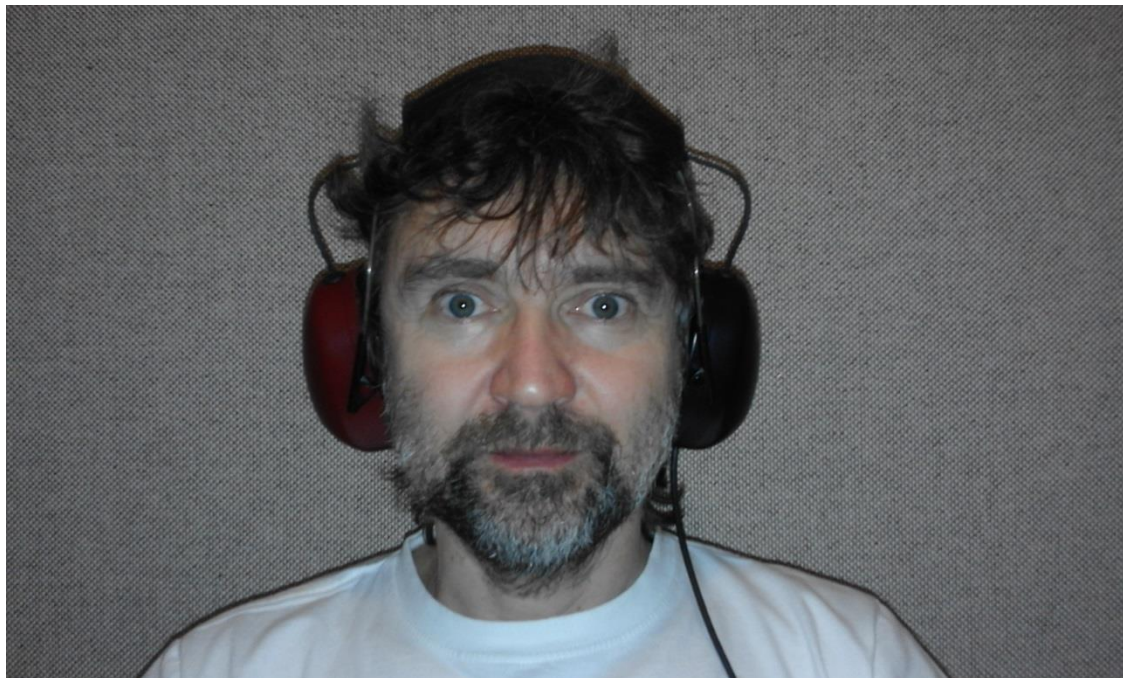
# Olivo-kochleární svazky





# Binaurální sumace

- Centrální zvýšení hlasitosti slyšeného zvuku při poslechu oběma ušima současně
- HTL: +3dB
- MCL: +6dB



# Párové smyslové orgány

- zdvojení funkce
- vzájemné doplnění funkce
- synergický efekt

# Základní výhody binaurálního slyšení

- prostorové slyšení
  - určení směru přicházejícího zvuku
  - odhad vzdálenosti zdroje zvuku
  - sluchová percepce prostoru
- binaurální sumace
- eliminace vlivu akustického stínu hlavy
- zvýšení SNR

# Prostorové slyšení

- určení směru přicházejícího zvuku
- odhad vzdálenosti zdroje zvuku
- sluchová percepce prostoru

- Viz výše

# Binaurální sumace

- Dvěma ušima slyšíme hlasitěji než jedním

# Eliminace akustického stínu hlavy

- Jeden zdroj zvuku = nikdy nemohou obě uši ležet současně v akustickém stínu hlavy
- Jedno ucho tak vnímá plnohodnotný, spektrálně neochuzený akustický signál

# Potlačení informačního šumu v CNS (central squelch)

- Řeč + balastní zvuky
- Maskování řečového signálu = zhoršení srozumitelnosti řeči
- Časový, intenzitní a fázový interaurální rozdíl – zvýšení poměru signál-šum v CNS – zvýšení srozumitelnosti
- Příznivější je situace, kdy řeč a šum přicházejí z různých směrů

# Monaurální poslech u normálně slyšících osob

- Absence binaurální sumace – o 30% horší
- Vliv akustického stínu hlavy – horší o 20-50% dle použité sestavy slov, event. kombinace s rušivým signálem
- Centrální squelch – zhoršení až o 70%
- Porucha směrového slyšení – odchylka 60-100 úhlových stupňů



# Závěry

- Binaurální poslech je výhodnější než monaurální
- Hlavní výhody binaurálního poslechu jsou:
  - prostorové slyšení
  - binaurální sumace
  - eliminace akustického stínu hlavy
  - zvýšení poměru signál-šum v centrálním sluchovém orgánu (zlepšení srozumitelnosti řeči v hluku)