

Echolokace netopýrů a bat detektory



Doc. RNDr. Zdeněk Řehák, Ph. D.

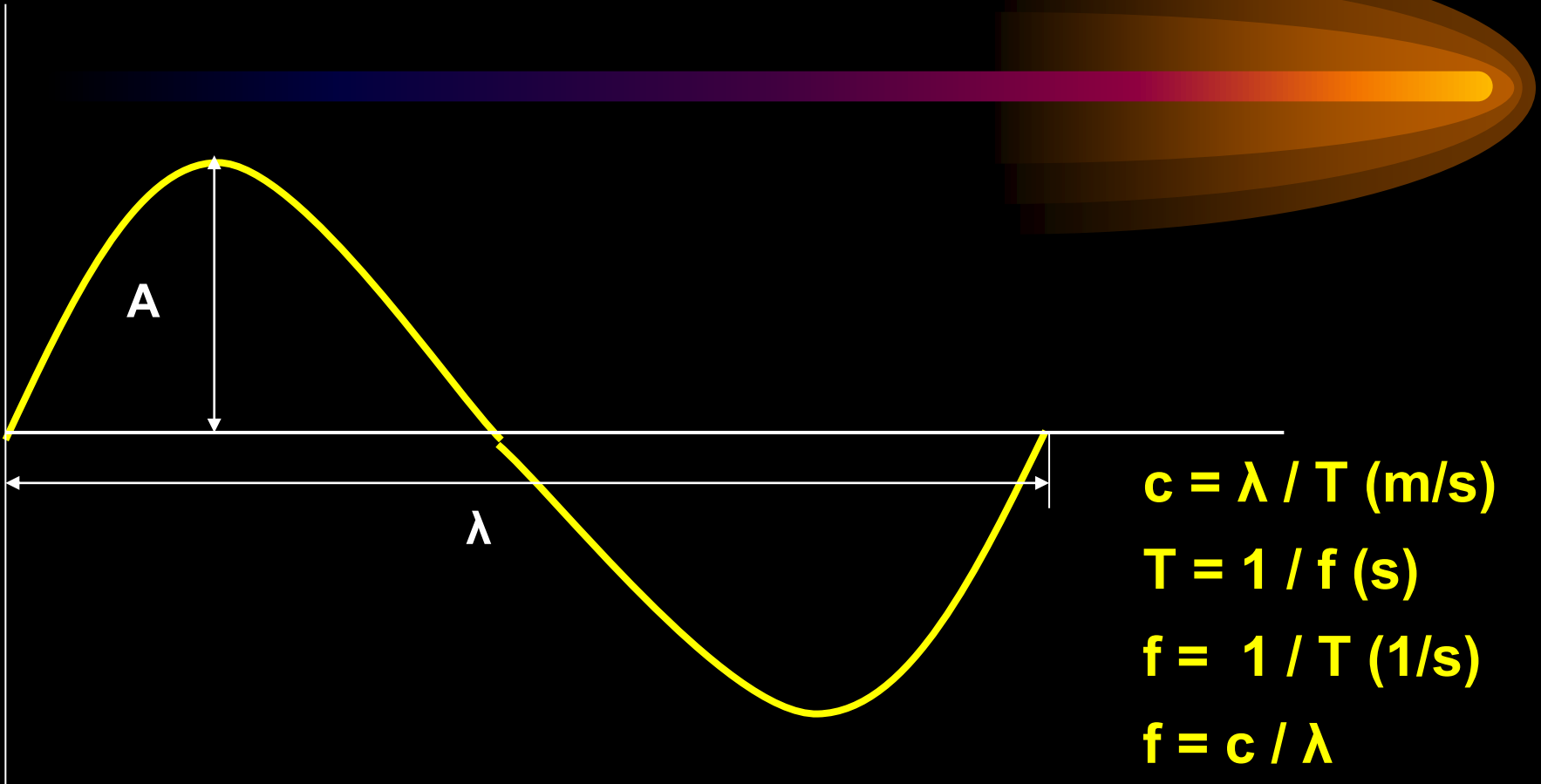
Ústav botaniky a zoologie
Přírodovědecká fakulta MU v Brně

Zvuk = mechanické vlnění

Veličiny a jednotky:

- Rychlost šíření zvuku (c , m/s)
ve vzduchu při 20°C 343 m/s, při 10°C 337 m/s
- Hladina akustického tlaku (L , dB)
 $L = 20 \log (p/p_0)$
- Vlnová délka (λ , m)
- Frekvence (=kmitočet) (f , Hz)
- Perioda (T , s)

Zvuk = mechanické vlnění




$$c = \lambda / T \text{ (m/s)}$$

$$T = 1 / f \text{ (s)}$$

$$f = 1 / T \text{ (1/s)}$$

$$f = c / \lambda$$

$$1/\text{s} \sim \text{Hz}$$

- 
- oblast vnímaná lidským uchem:
16 Hz - 20 000 Hz (lidská řeč 1-3 kHz)
 - ultrazvuk: nad 20 000 Hz
 - echolokační signály našich netopýrů:
14 – 110 kHz



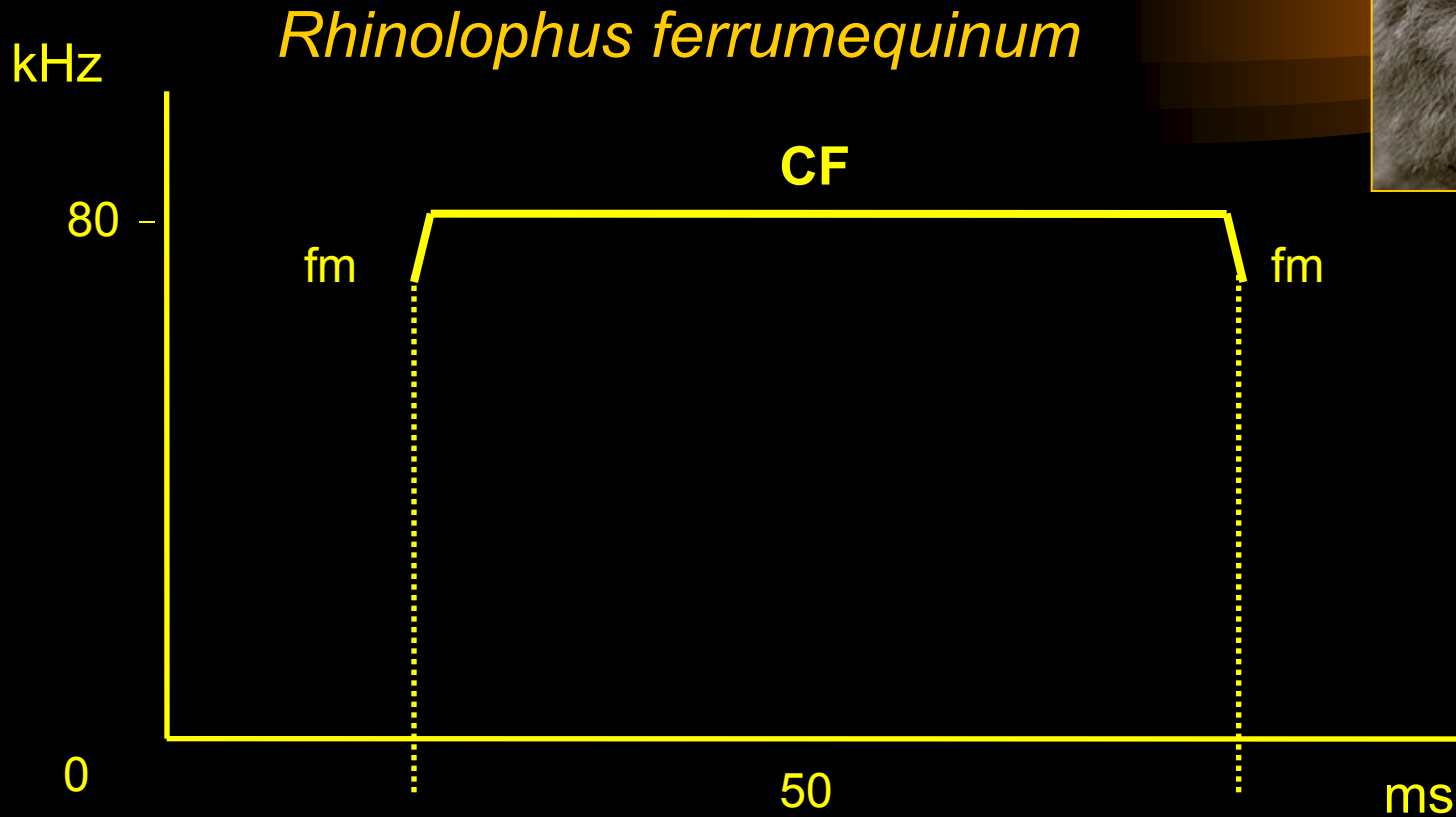
- podstata a význam echolokace
- echolokace u vrápenců, netopýrů a některých kaloňů (*Rousettus aegyptiacus*, *Eonycteris spelaea*)
- typy echolokačních signálů

Parametry ultrazvukových signálů:



- 1) **tónová kvalita**
- 2) frekvence
- 3) hlasitost
- 4) rytmus

CF puls s fm okraji (fm-CF-fm)

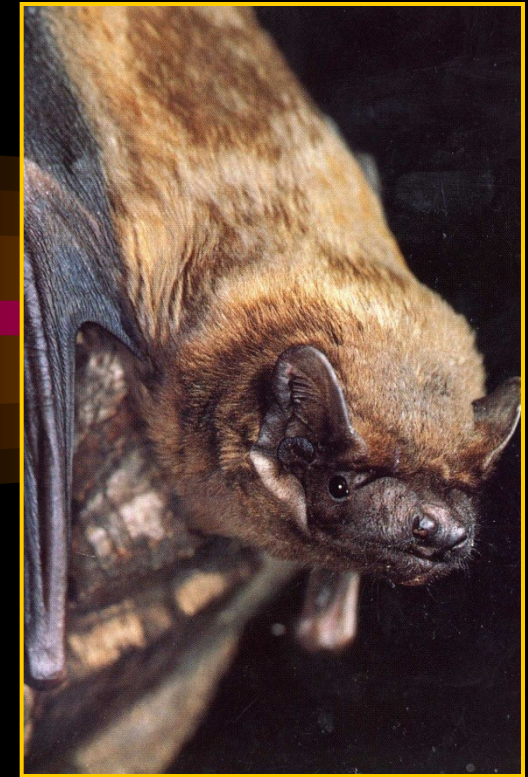
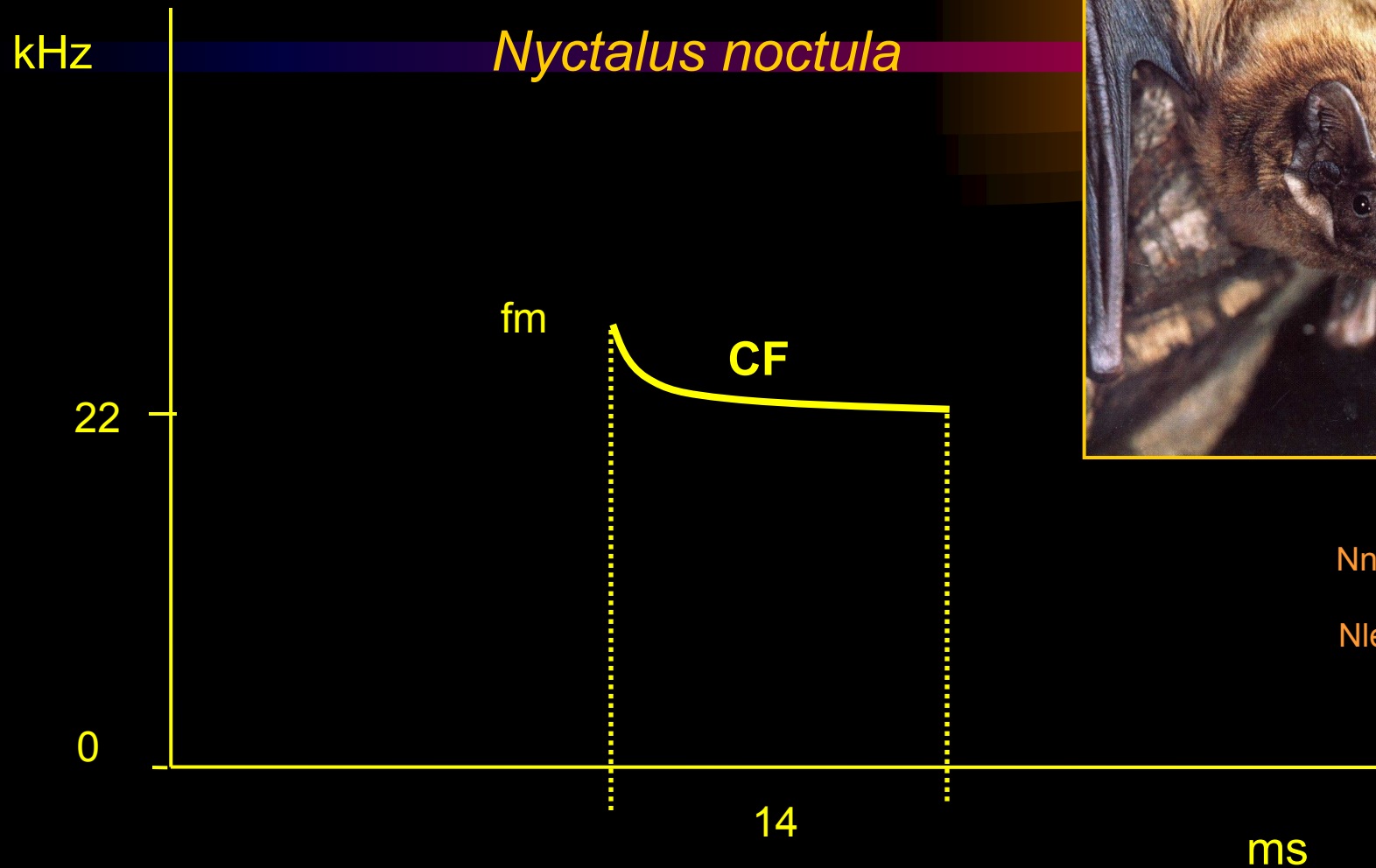


Rfer 

Rhip 

Rhinolophidae, Hipposideridae, Emballonuridae

QCF puls s fm začátkem (fm-CF)

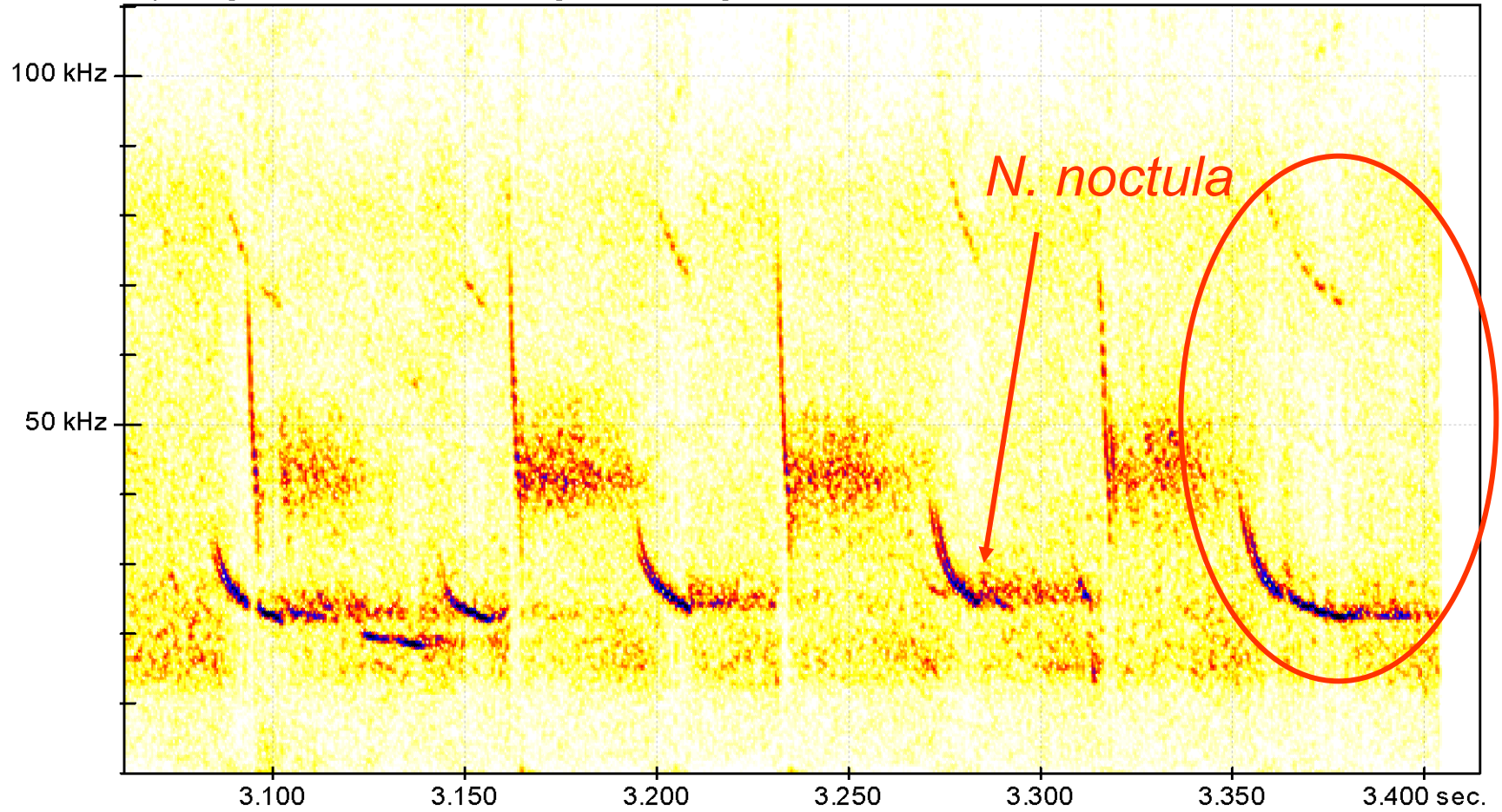


Nnoc 

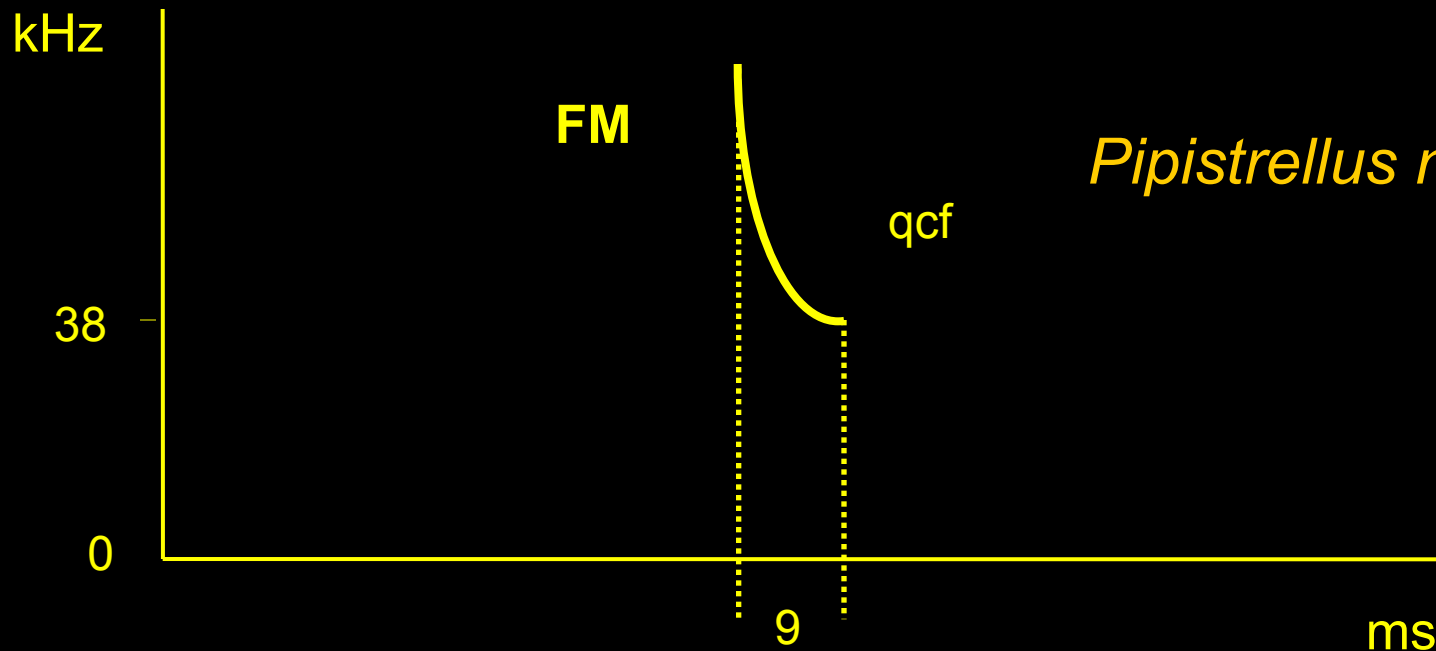
Nlei 

Nyctalus

Spectrogram, FFT size 512, Hanning window. - Right.






FM puls s qcf koncem (FM-qcf)

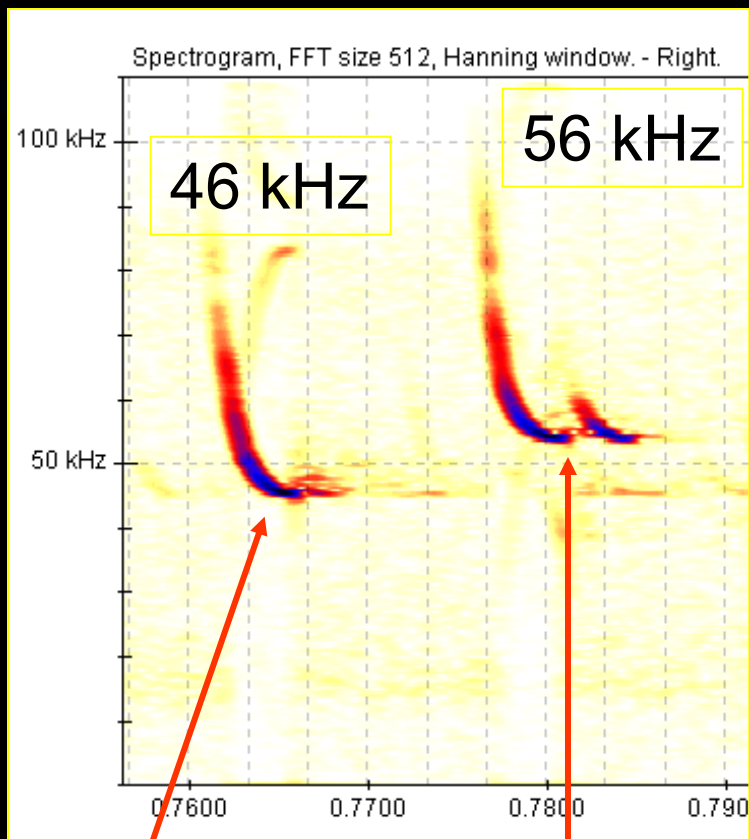


Pipistrellus nathusii

- Eser 
- Enil 
- Pnat 
- Ppip 

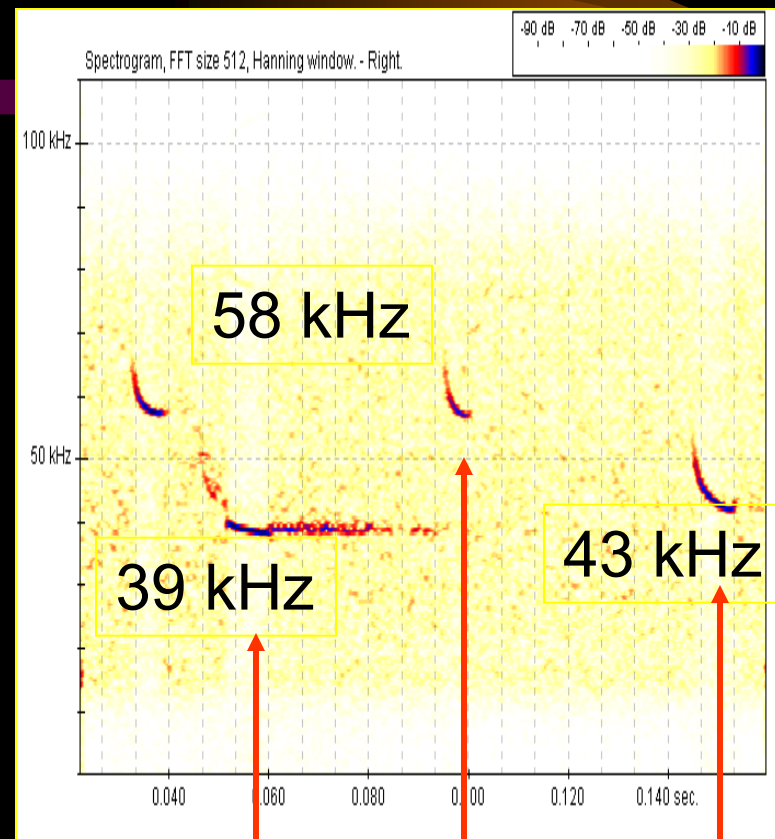
- Vmur 
- Msch 
- Hsav 
- Pkuh 

Eptesicus, Pipistrellus



P. pipistrellus

P. pygmaeus

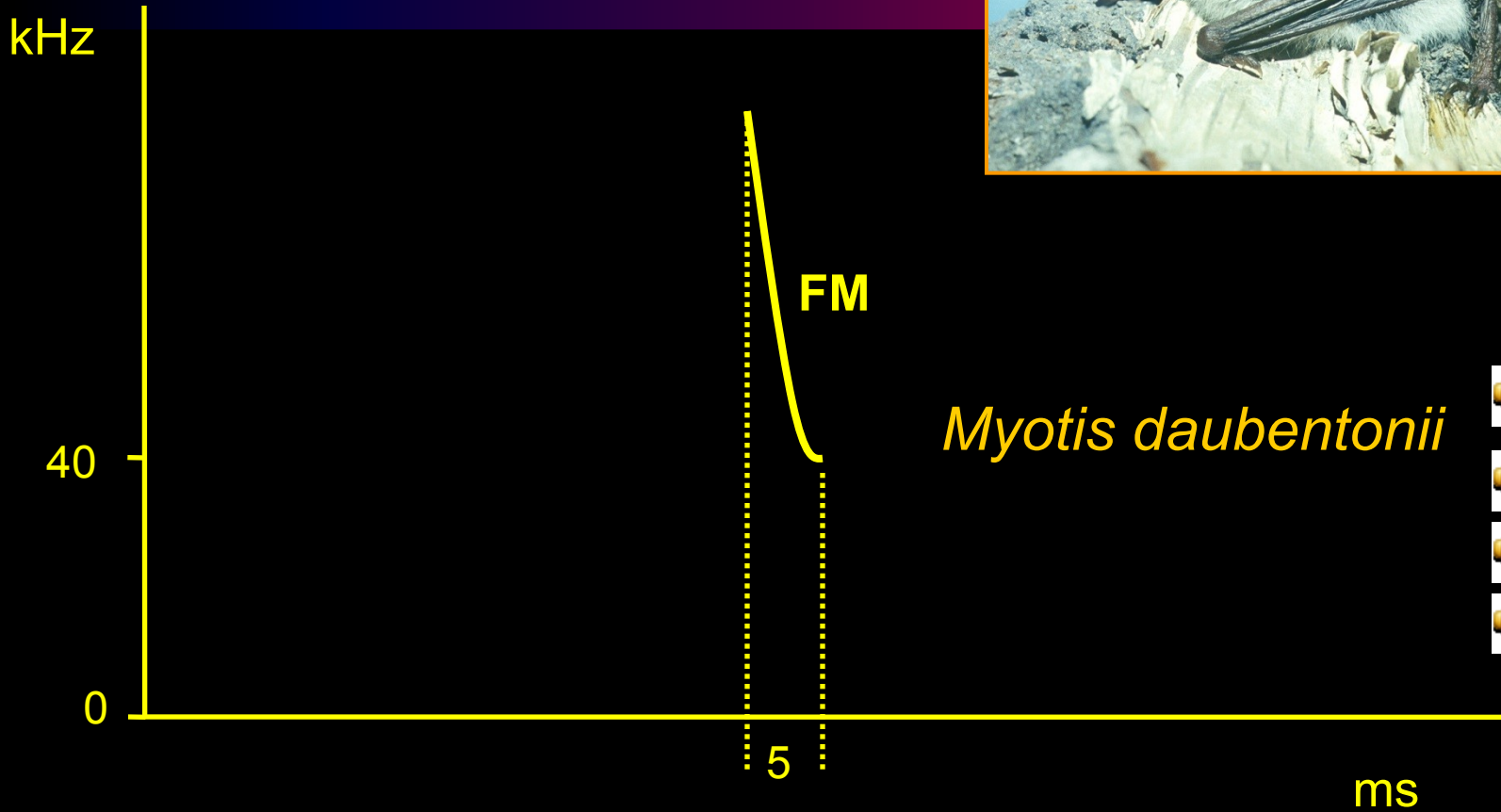


P. nathusii

P. pygmaeus

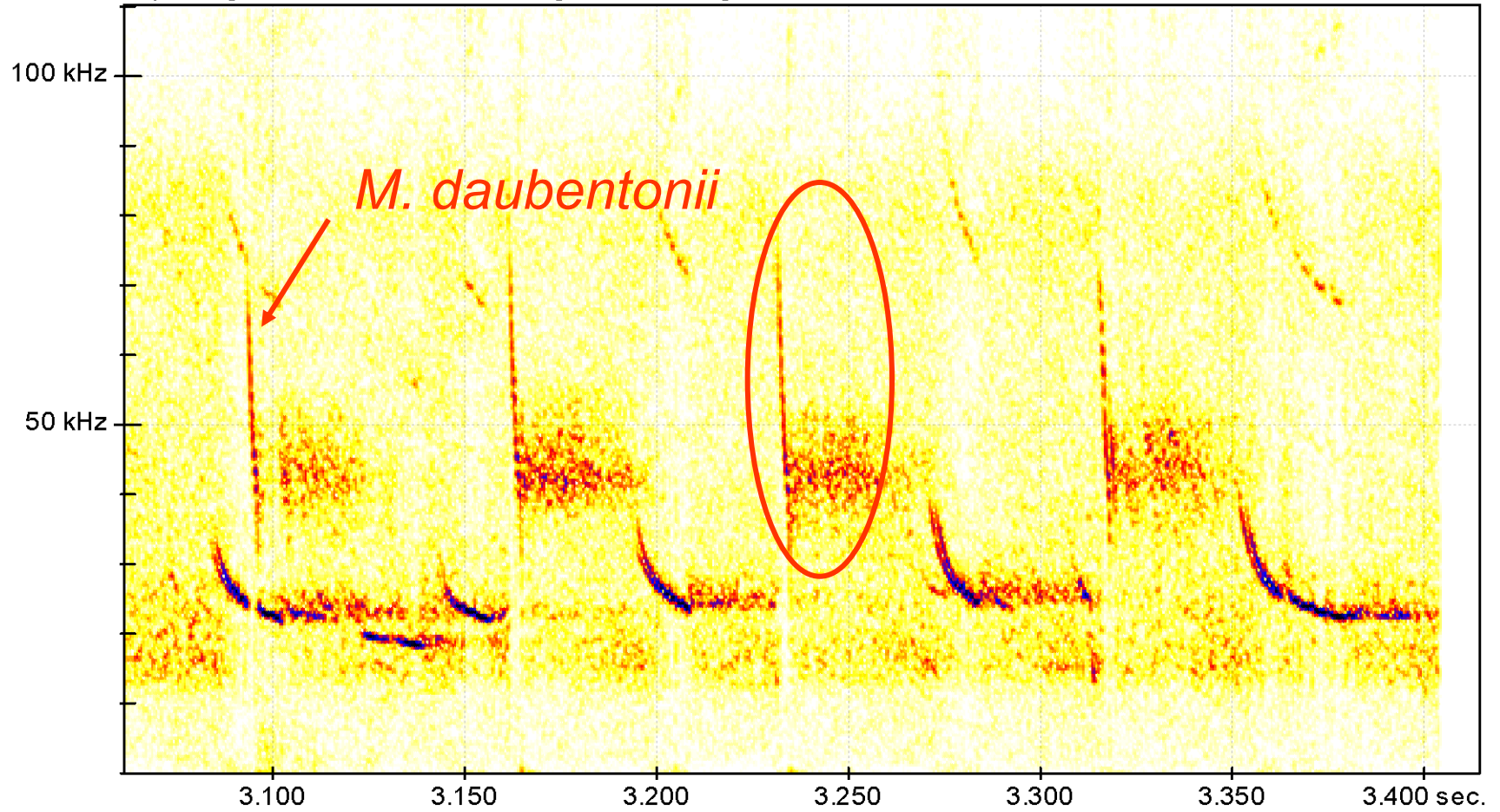
P. nathusii

FM puls (FM)

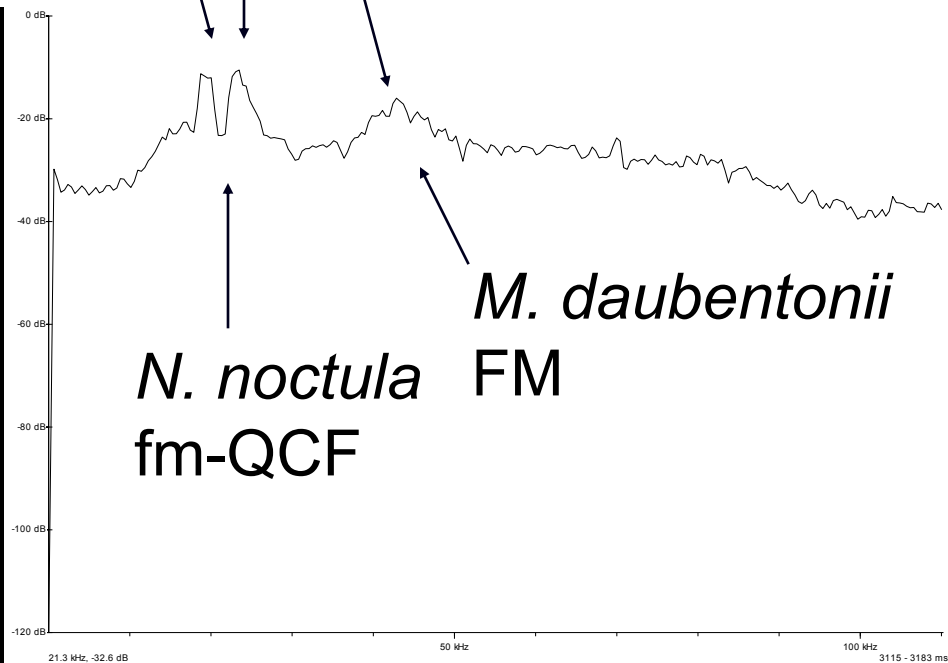
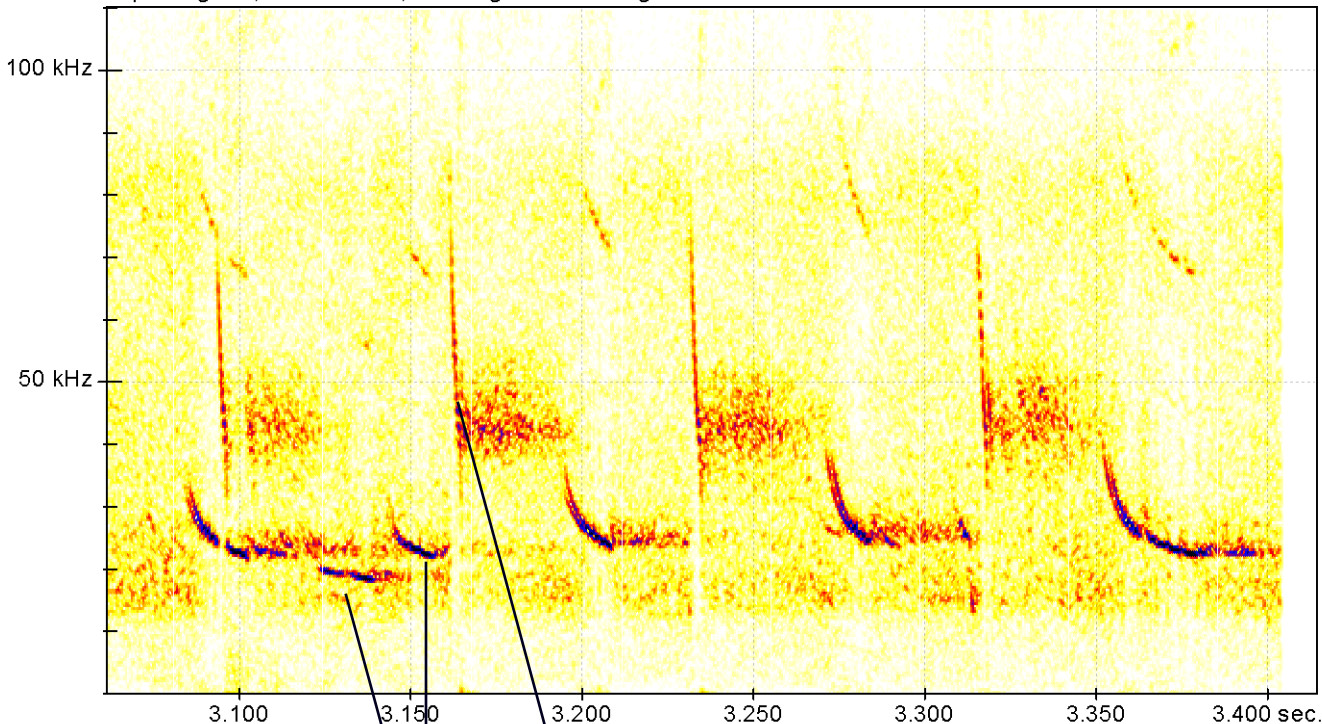


Myotis, Barbastella, Plecotus

Spectrogram, FFT size 512, Hanning window. - Right.



Spectrogram, FFT size 512, Hanning window. - Right



Parametry signálu:

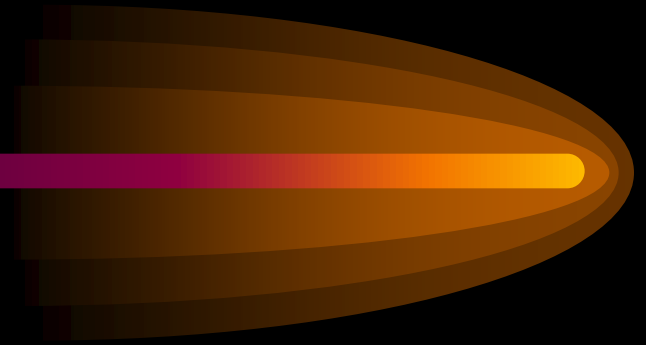
- 1) tónová kvalita
- 2) frekvence
- 3) hlasitost
- 4) rytmus

$$f_{\min} \sim f_{\text{end}}$$

$$f_{\max} \sim f_{\text{start}}$$

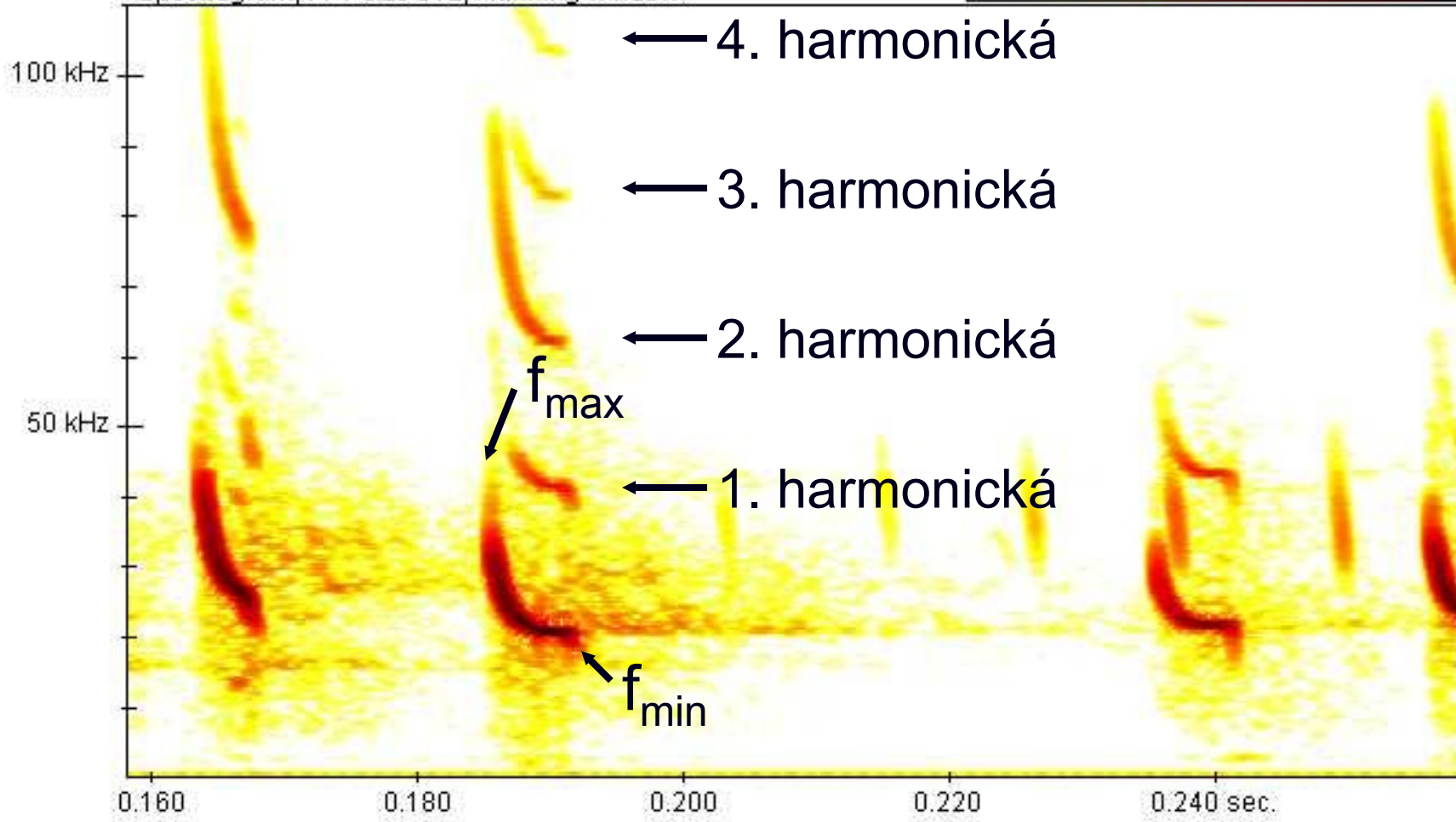
frekvenční rozsah: $f_{\max} - f_{\min}$

harmonické frekvence - násobky fundamentálních frekvencí,
zpravidla nejsilnější signál je signál tvořený fundamentálními
frekvencemi





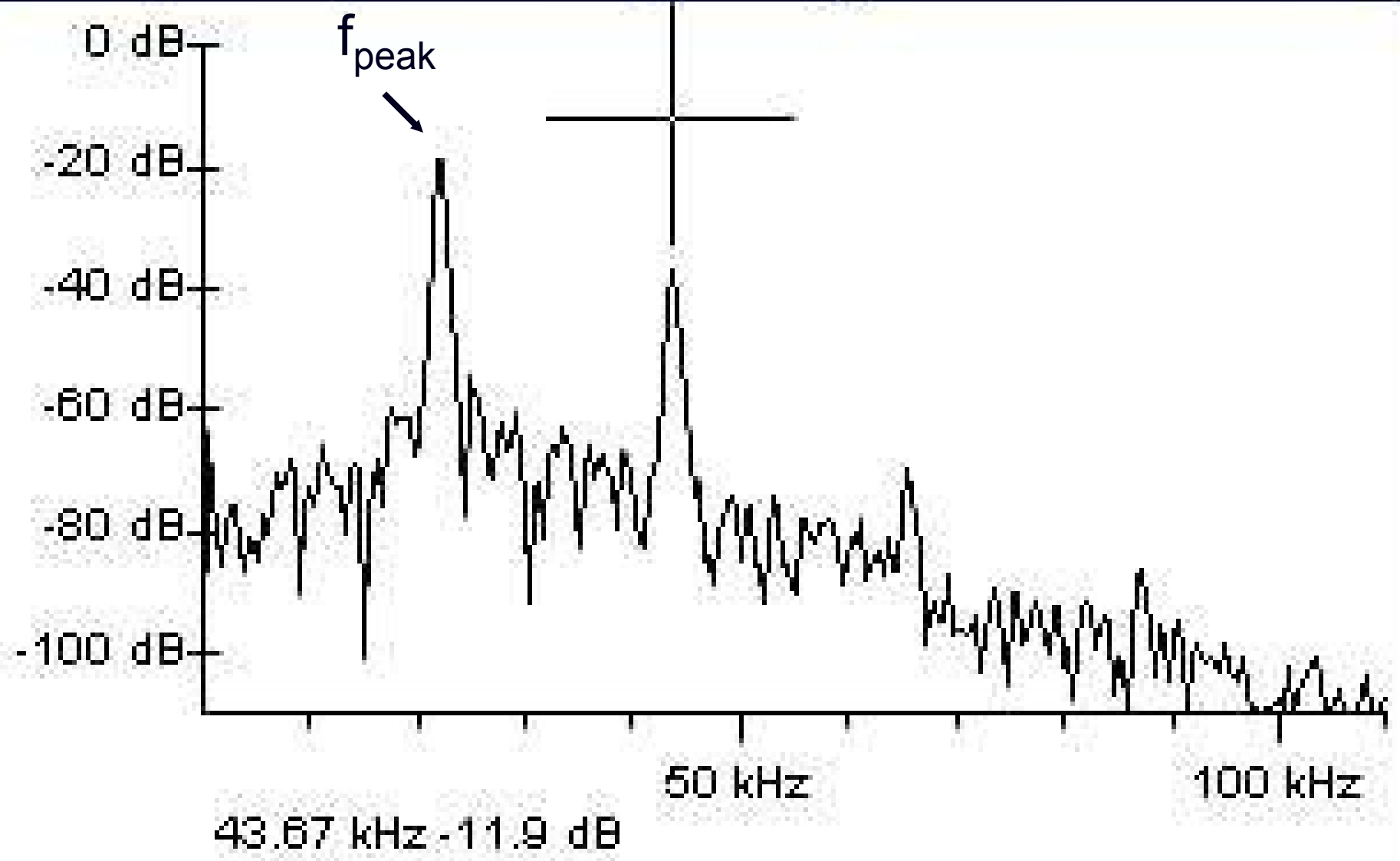
Spectrogram, FFT size 512, Hanning window.



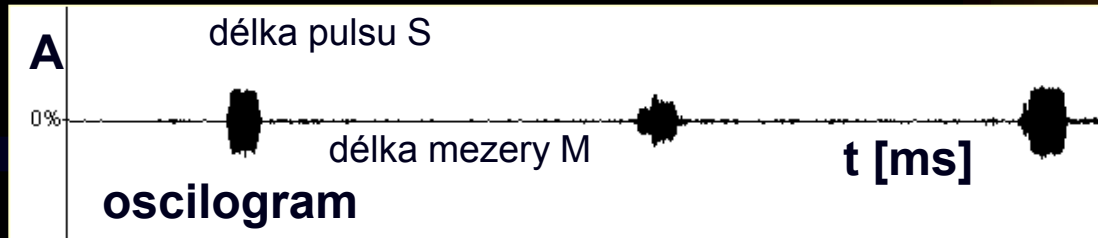
Distribuce energie

f_{peak} 17 - 200 kHz, max. energie

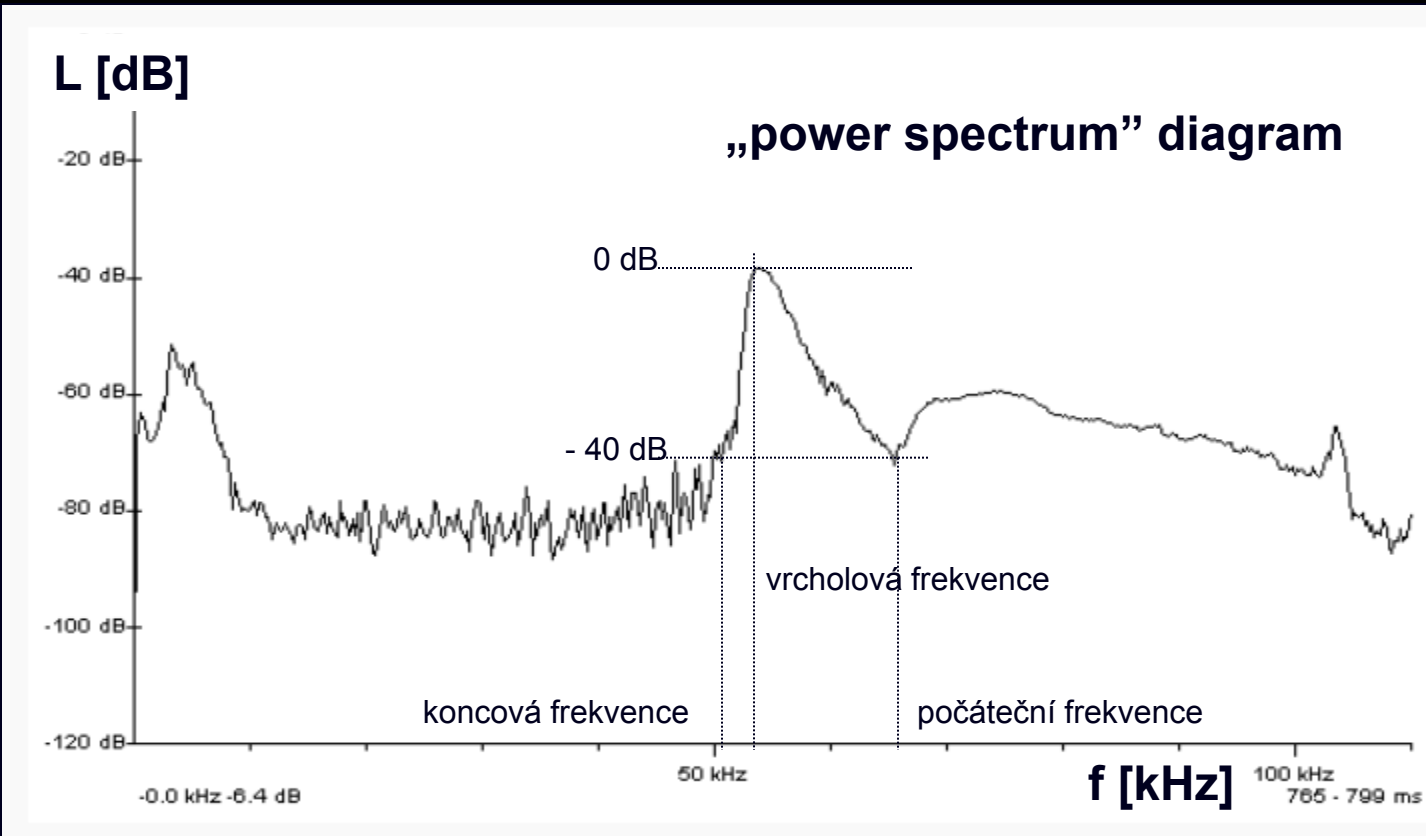
Power spectrum, FFT size 512, Hanning window.



časové parametry



frekvenční parametry



Parametry signálu:

- 1) tónová kvalita
- 2) frekvence
- 3) hlasitost
- 4) rytmus

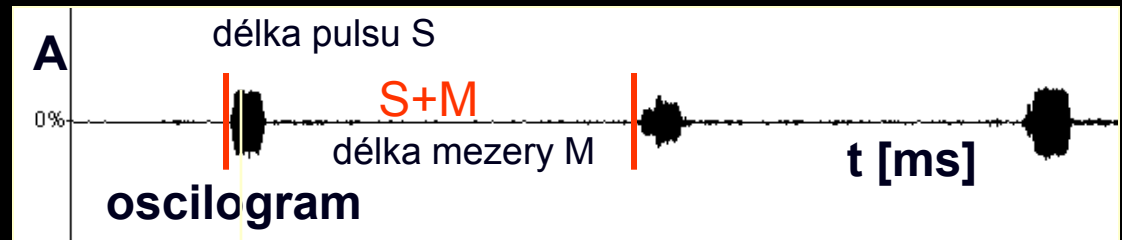
Amplituda ve vztahu k citlivosti mikrofonu detektoru ultrazvuku, směru a vzdálenosti letících netopýrů

„hlasité“ druhy: *Nyctalus* spp., *Eptesicus* spp., *Pipistrellus* spp., *Myotis daubentonii*, *M. dasycneme*

„tiché“ druhy: *Myotis nattereri*, *Plecotus* spp., *Rhinolophus* spp.

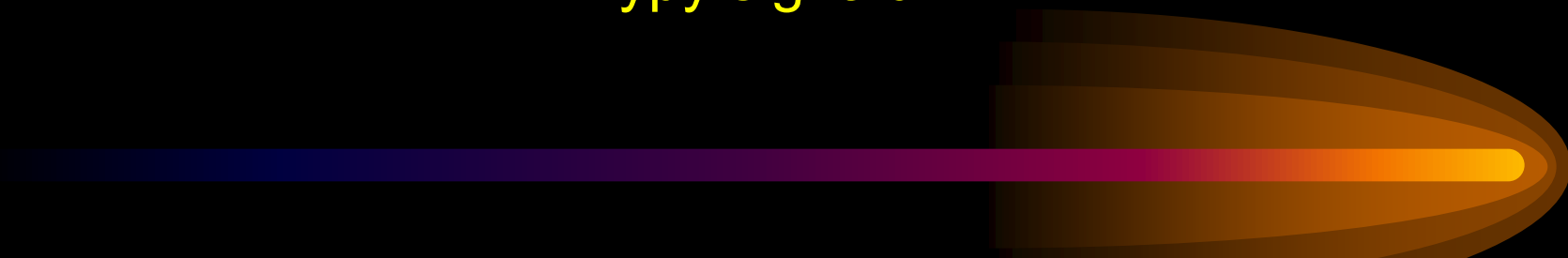
Parametry signálu:

- 1) tónová kvalita
- 2) frekvence
- 3) hlasitost
- 4) rytmus



- délka signálu (S): 0,3 (krátké) - 200(dlouhé) ms
FM 5 ms, FM-qcf 10 ms, fm-QCF 25 ms, fm-CF-fm nad 50 ms
- délka mezery (M)
- rytmus rychlý, pomalý
- rytmus pravidelný, nepravidelný
- opakovací poměr (repetition rate) $RR = \text{počet signálů} / t [1/s]$
duty cycle
 $DC = 100 \cdot \frac{\sum S}{t} [\%]$
 $DC = 100 \cdot \frac{S}{S+M} [\%]$

Typy signálů:

- 
- A) search calls - vyhledávací hlasy, druhově specifické a charakteristické, vyhledávání kořisti, dlouhé signály, nízký opakovací poměr ("repetition rate"), CF a FM složky
 - B) approach calls - přibližovací hlasy, detekce kořisti, zkracování délky pulsů a jejich zrychlení, frekvence klesá, redukce CF složky, často sílí harmonické frekvence
 - C) "feeding buzz" (terminal phase, potravní bzukot) - chytací signály, konečná fáze těsně před ulovením, velmi krátké signály, vysoký repetititon rate

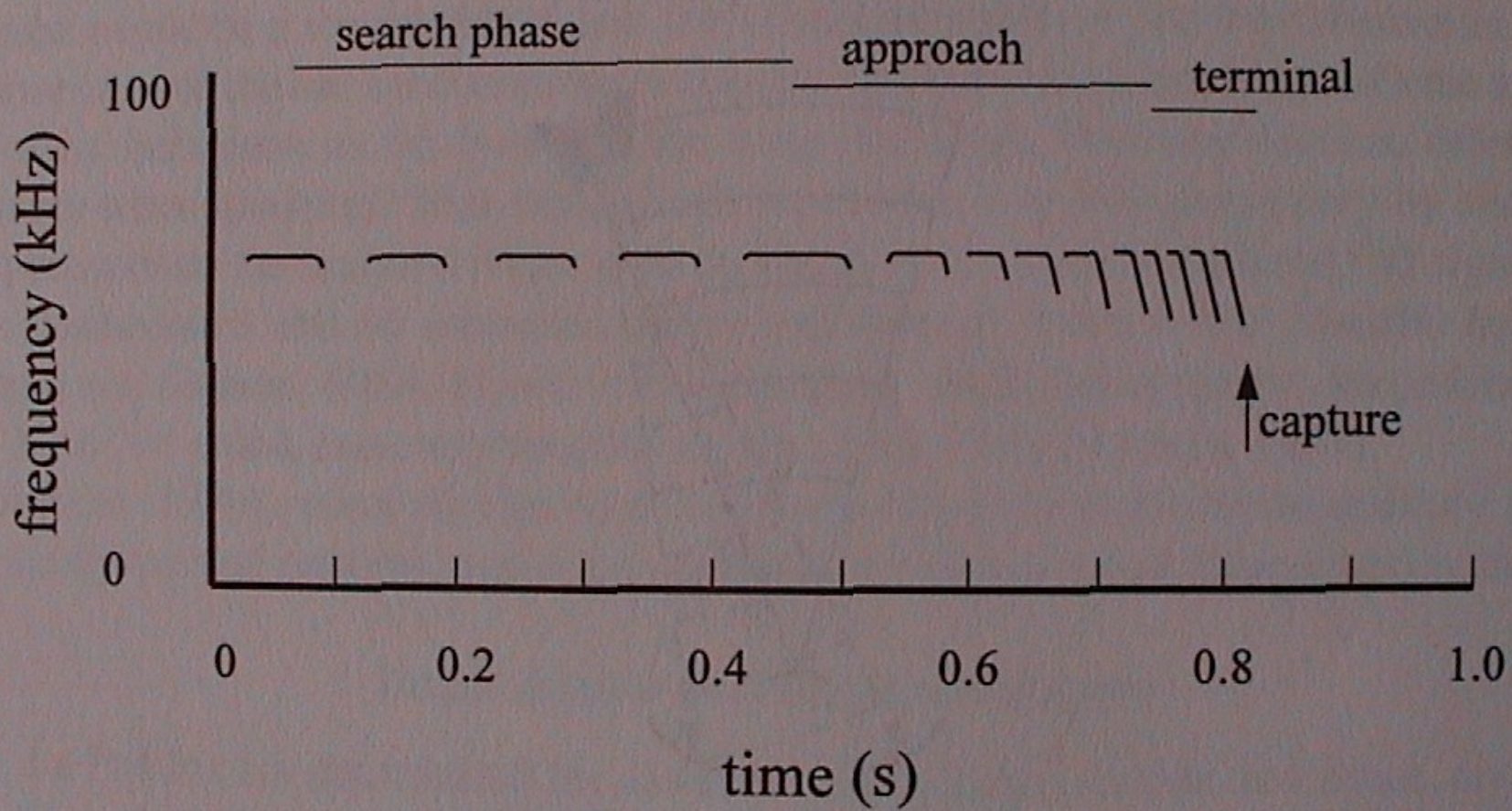


Fig. 3.13. Call structure during prey capture in a CF bat.

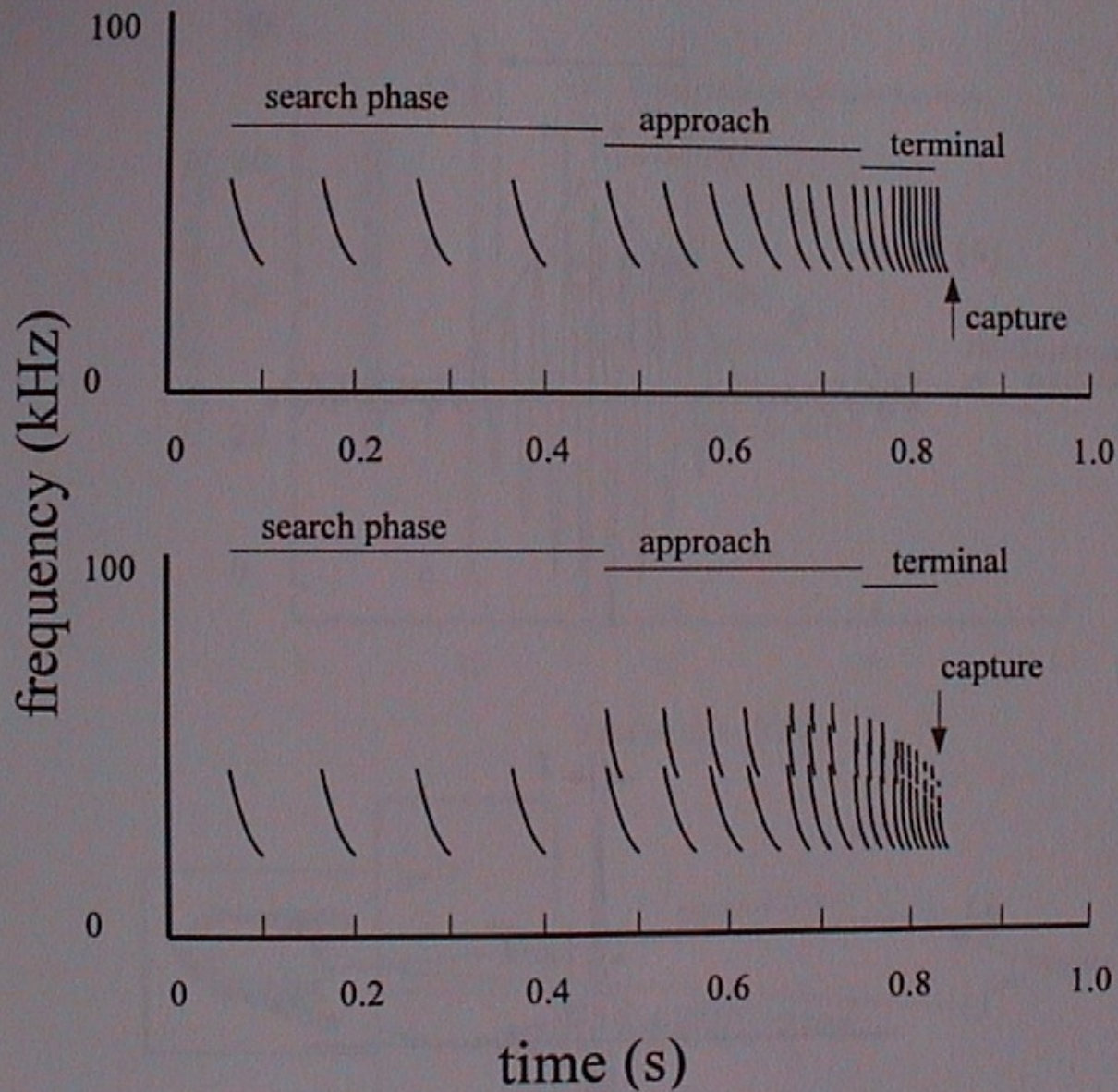
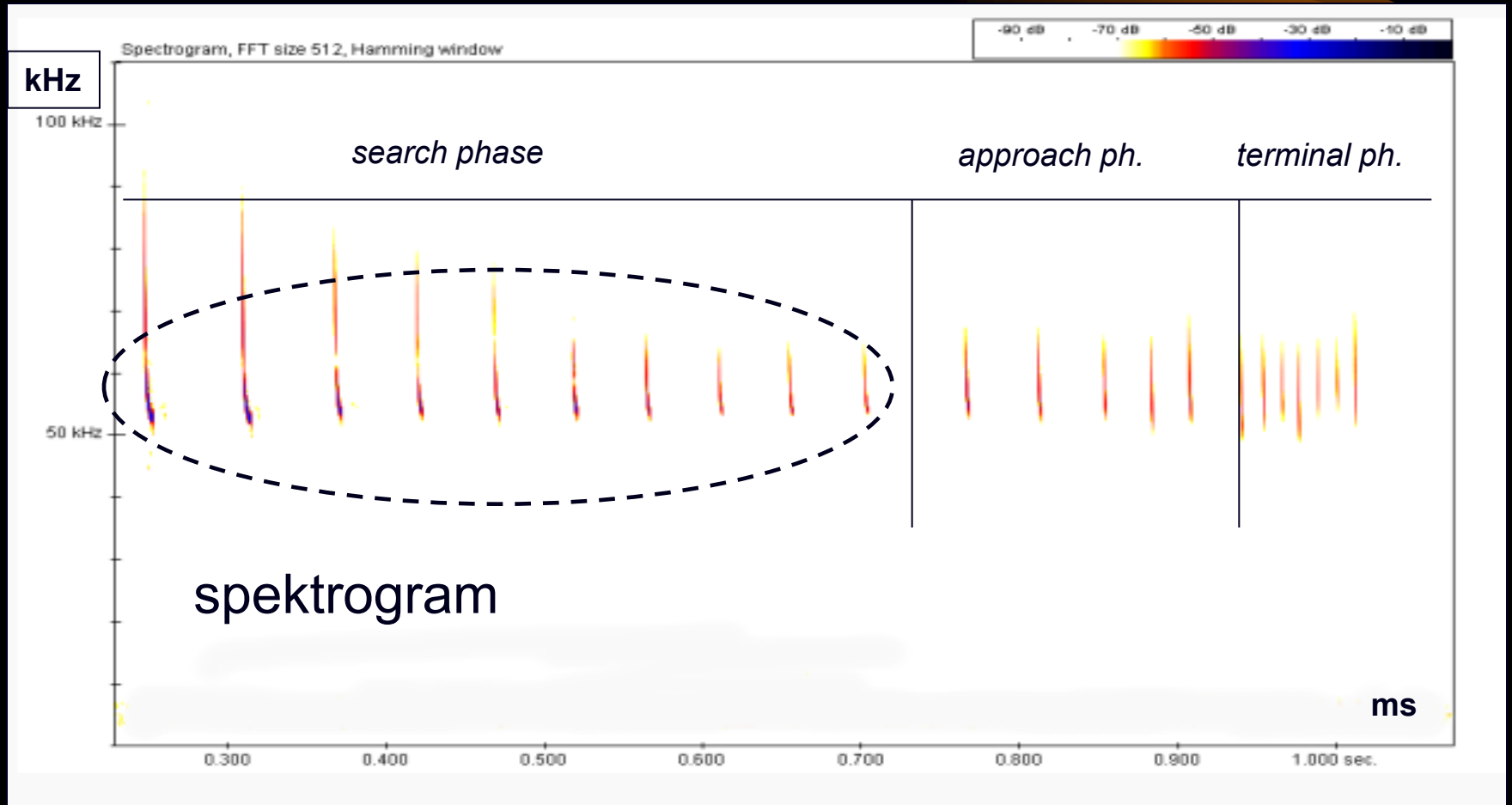
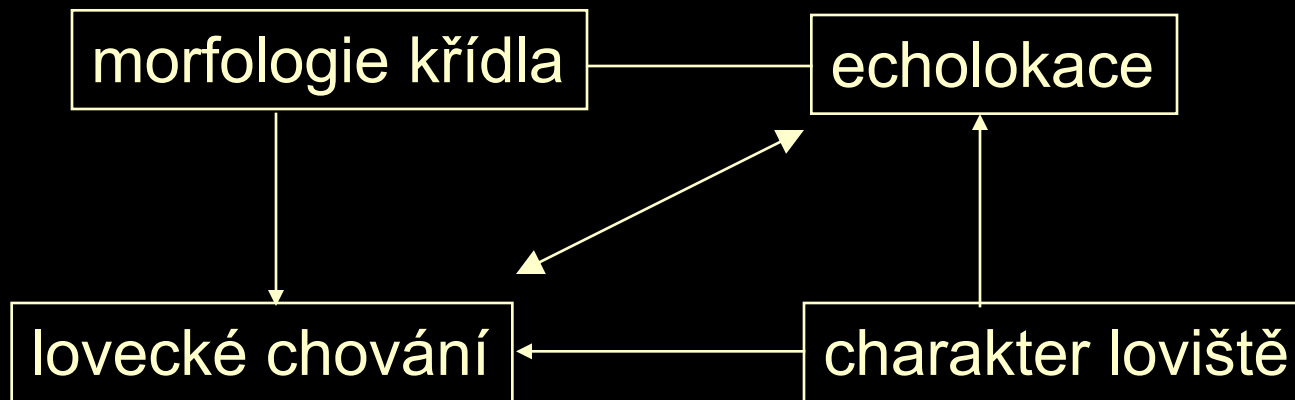


Fig. 3.8. FM echolocation call changes from search to capture. (a) Fundamental frequency only.
 (b) With harmonics.

Pipistrellus pygmaeus



Echolokační signály a registrace jejich ozvěn jsou adaptovány na typ loviště a loveckého chování



Lovecké strategie ve vztahu k echolokaci

1) dlouhé CF a úzkopásmové fm-QCF signály

- ❑ long-range detection - detekce 20 - 40 m, úzce modulované fm-QCF signály, dlouhé signály nad 10 ms, intenzivní hlasy, nízká frekvence (úspora energie na úkor přesnosti - málo informací o kořisti, zvýšení rozsahu f při přiblížení ke kořisti), rychle létající, lovící ve volném prostoru, **aerial hawking** (vysoké WL a AR), *Tadarida*, *Taphozous*, *Nyctalus noctula*

Úzký vztah mezi tvarem křídla a charakterem signálů - při rychlém letu je detekce na velkou vzdálenost nezbytná

- ❑ fluttering-insect detection, úzce směrové fm-CF-fm signály pro registraci pohybu kořisti (využívá Dopplerova efektu), slabá intenzita hlasů, malý dosah (1-3 m), vysoká frekvence (1. harmonická), v uzavřených biotopech absorbujících ultrazvuk (v korunách stromů), **hovering** (nízké WL, různé AR), Rhinolophidae, Hipposideridae, *Rhinolophus hipposideros*

2) krátké širokopásmové FM a FM-qcf signály

Rozpoznávání vzdálenosti kořisti, v blízkosti pak i rozlišení povrchové textury měřením zpoždění odraženého signálu. Různá morfologie křídla (různé WL a AR) - např. *Pipistrellus* spp. v. *Plecotus* spp.

Echolakace a létací aparát se vyvíjel nezávisle na sobě v souvislosti s rozvojem rozmanitých loveckých strategií, jejich korelace je sekundární

- **hovering a foliage gleaners** - velmi krátké signály (<2 ms, echo se nesmí překrývat s emitovaným signálem) v uzavřených biotopech (v korunách stromů), detekce kořisti do 1 m, vysoké manévrovací schopnosti (nízké WL a AR, zaokrouhlená křídla), *Plecotus* spp.
- **ground gleaners** - velmi krátké signály velmi nízké intenzity (aby unikli kořisti schopné registrovat ultrazvuky), využití harmonických frekvencí (přesné „ohmatání“ okolního prostoru), často vypnutí echolakace a poslouchání kořisti, *Megaderma lyra*

3) kombinace obou typů

Adaptace na konkrétní situaci (chování, biotop), např. *Rhinopoma hardwickei* při přeletu používá CF signály s harmonickými frekvencemi (nejsilnější 1. harmonická jako u našich vrápenců), při pronásledování kořisti přechod na krátké FM signály opět s harmonickými frekvencemi

Lovecké strategie ve vztahu k echolokaci u čeledi Vespertilionidae (Fenton 1986)

- ❑ rychle létající, lovící ve volném prostoru, úzce modulované fm-QCF signály, detekce do 20 m, dlouhé signály nad 10 ms, intenzivní hlasy, *Nyctalus noctula*
- ❑ pomaleji létající, lovící při okrajích porostů, kolem korun stromů nebo v blízkosti vody, intenzivní hlasy, ale široce modulované o vyšší frekvenci, FM-qcf, délka signálu do 10 ms, detekce kořisti do 1 m, *M. daubentonii*, *N. leisleri*, *P. pipistrellus*, *E. serotinus*, *B. barbastellus*, *M. nattereri*
- ❑ létající v uzavřeném prostoru - v korunách stromů, sběrači z povrchů, pomalý nepravidelný let, výborné manévrovací schopnosti, slabé hlasy o nízké intenzitě, velké frekvenční rozpětí, krátké signály do 1 ms, *Plecotus* spp., *M. bechsteinii*

UTZ detektor



- ultrazvukový mikrofon
- elektronické zařízení převádějící signál
- reproduktor
- baterie

Typy detektorů



- ❑ heterodynovací
- ❑ frequency division
- ❑ time expansion

Výhody a nevýhody heterodynovací

- ❑ vysoká senzitivita
- ❑ určitelnost
- ❑ zachování typu signálu (FM, CF atd.)
- ❑ může být doplněn o skanování
- ❑ levný
- ❑ omezen jen na část frekvencí
- ❑ manuální ovládání ladění
- ❑ neanalyzovatelný záznam

Výhody a nevýhody

frequency division

- ❑ širokopásmový
- ❑ analyzovatelný
- ❑ reálný čas
- ❑ omezené rozlišení frekvencí
- ❑ analyzovatelný záznam s omezením (nezaznamená harmonické frekvence)

Výhody a nevýhody

time expansion



- všechny charakteristiky signálu zachovány pro analýzu
- částečná určitelnost
- širokopásmový
- délka doby ukládané do paměti
- nereálný čas
- vysoká cena

Holgate

HET



QMC mini

HET





Skye Inst

HET



D 100

HET



D 200

HET



D230

HET+FD



D 200



D 230



D 240



D 240x



Holgate

HET





D 980

HET+FD+TE



Základní principy použití detektoru



Kdy ?

- během roku
- během noci

Kde ?

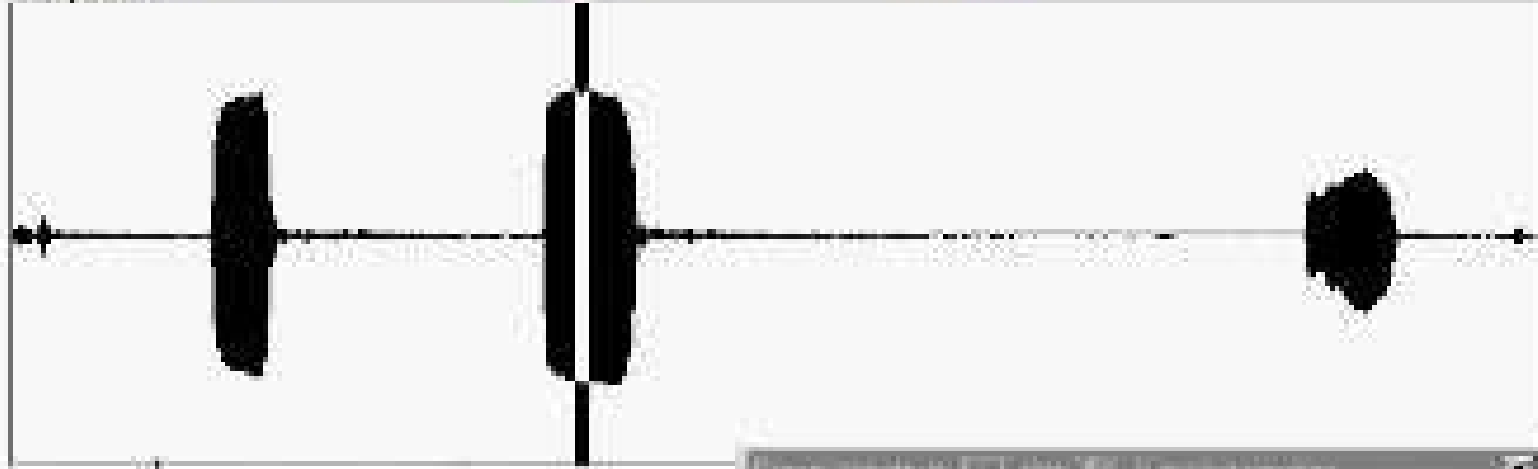
- loviště
- úkryty
- ochrana před klimatickými vlivy (vítr apod.)

Typy výzkumu

- sledování jednoho druhu
- výzkum netopýrů v jednom biotopu
- vyhledávání úkrytů
- liniové transekty, bodová metoda
- faunistický výzkum části krajiny (např. obce)



Amplitude



0.251 s

0.030 sec

Spectrogram, FFT size 512, Hanning window

