

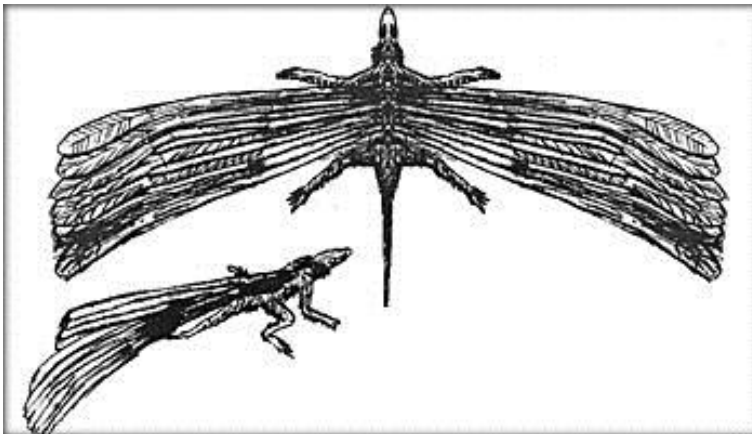
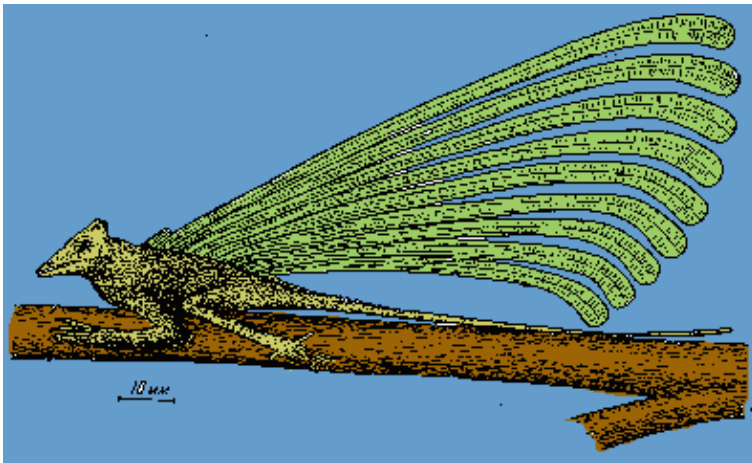
# **Let, letový aparát a lovecké strategie**

# První letci

Jamkozubí archosauři (Archosauria - Thecodontia) - v triasu

- klouzavý let (gliding) - *Longisquama* (240 mil. let)

*Longisquama insignis*



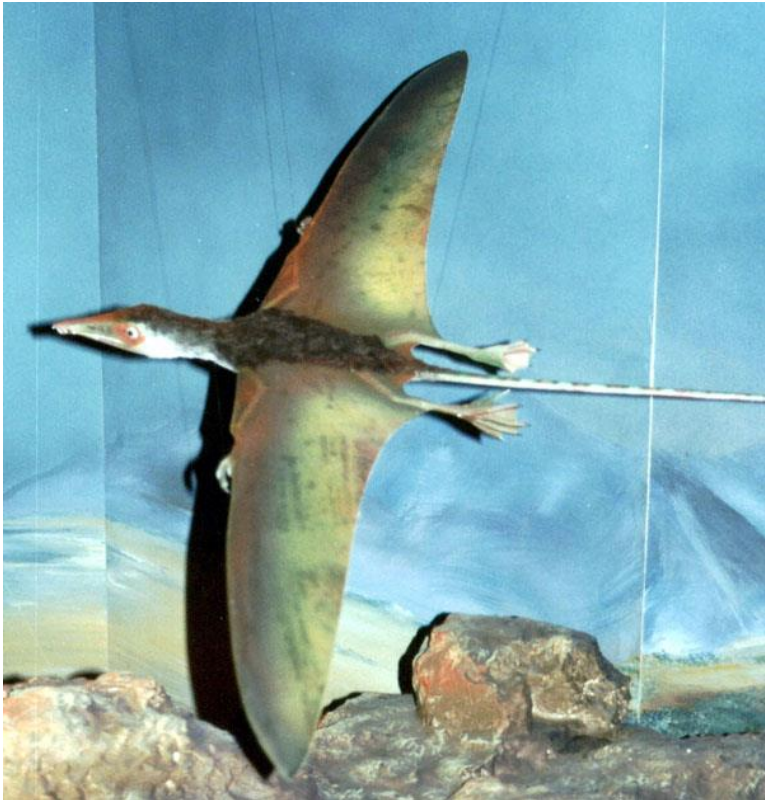
*Sharovipterix*



## Ptakoještěři (Archosauria – Pterosauria) – svrchní trias

- aktivní let (flapping flight) - *Eudimorphodon*,  
*Dimorphodon* (230 mil . let)

*Eudimorphodon*



*Dimorphodon*



- velké formy v juře a křídě - *Pteranodon* (165 mil. let)

*Pteranodon* sp.



# Let u ptáků



*Archaeopteryx lithographica* 135 mil. let



Copyright © 1998 by Jac Tuocistranc and Jeff Palling



## Let u savců

### MARSUPIALIA - Vačnatci Austrálie

- f. Phalangeridae - kuskusovití  
vakoplšík létavý - *Acrobates pygmaeus*
- f. Petauridae – vakoveverkovití (3) - *Petaurus* spp.
- f. Pseudocheiridae  
vakovec – Petauroides (*Schoinobates*)

### *Acrobates pygmaeus*



Feather-tailed glider (Acrobatidae: *Acrobates pygmaeus*)

*Petaurus breviceps*



# RODENTIA

létající formy: méně mláďat ve vrhu, delší březost a odchov mláďat (menší riziko predace než u terestrických druhů), noční stromové formy

- f. Sciuridae, subf. Petauristinae - poletuchy - 13 rodů, 36 druhů, JV-Asie, druhy v Severní Americe, 1 druh na Sibiři a v SV Evropě *Pteromys volans* - poletuška slovanská





- f. Anomaluridae - šupinatkovití - 7-10 druhů, 2 řady šupin na spodní straně ocasu – *Anomalurus*
- f. Theridomyidae, z eocenu, spolu s předchozí podřád Theridomorpha



*Anomalurus* sp.

## DERMOPTERA - letuchy, JV Asie



*Cynocephalus volans* - I. filipínská

30-70 m bez ztráty výšky,  
max. 136 m (ztráta výšky 10-  
12 m)

Všichni jen klouzavý let (gliding) mezi stromy 50-100 m,  
osrstěná blána mezi předními a zadními končetinami.

*C. variegatus* - I. malajská



# CHIROPTERA - letouni, aktivní let

## *Icaronycteris index*

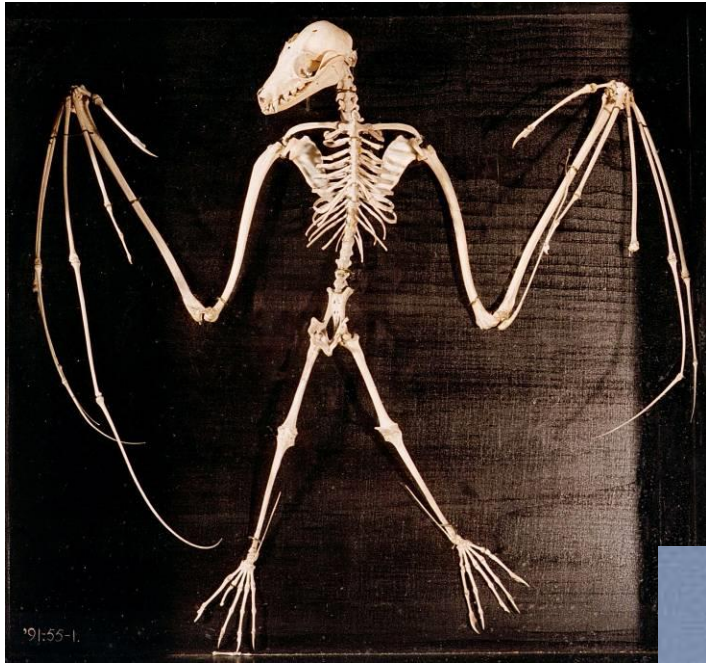


Green River, Wyoming

eocen (60 mil. let),  
LC:70 mm, LAt: 48  
mm

jen jednoduchý  
kloub humerus-  
scapula

# Pteropodidae - kaloni



*Pteropus vampyrus* (1,5 m)

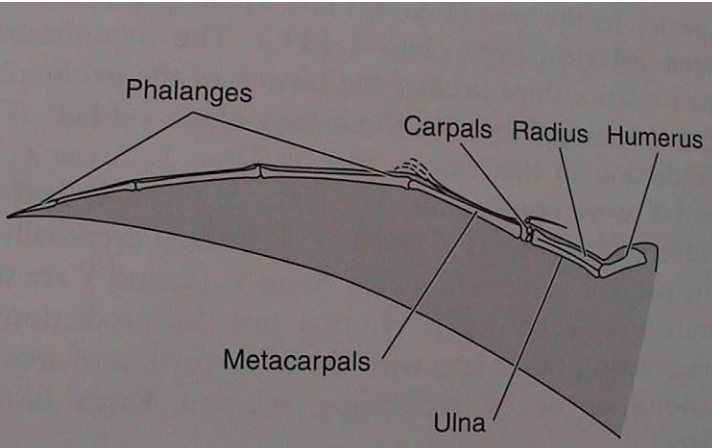


Rhinolophoidea – vrápenci s.l.  
Yangochiroptera - netopýři

*Craseonycteris thonglongyai*

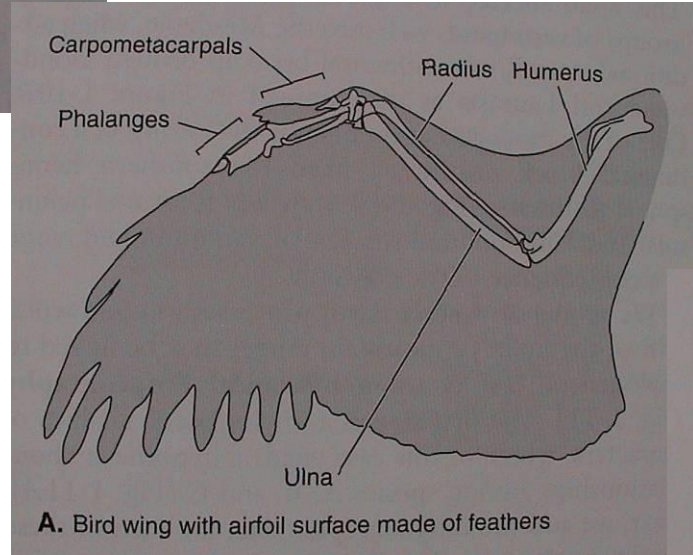


# Srovnání křídelní kostry



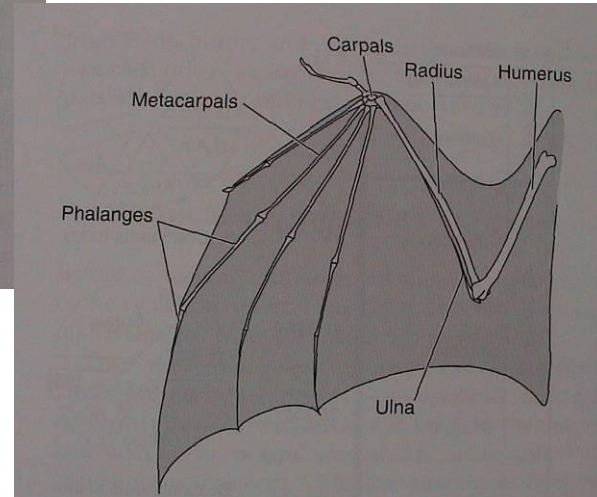
C. †Pterosaur wing with airfoil surface made of skin supported by a single elongated digit

pták



A. Bird wing with airfoil surface made of feathers

letoun



ptakoještěř

# Vznik letu

2 teorie:

- stromová (arboreal) - Darwin 1859, od klouzavého letu ze stromu k aktivnímu letu;
- z běhu (cursorial) - Caple et al. 1983, Norberg et Rayner 1987, běh - poskoky - roztažení křídel - odlepení se ze země - klouzavý let - aktivní let

a) gliding (klouzání) →

b) flapping (mávání)

# Vznik letu letu a echolokace u letounů

## Vznik letu a echolokace (Speakman 1999)

přímí předkové netopýrů (pre-bats) v eocenu

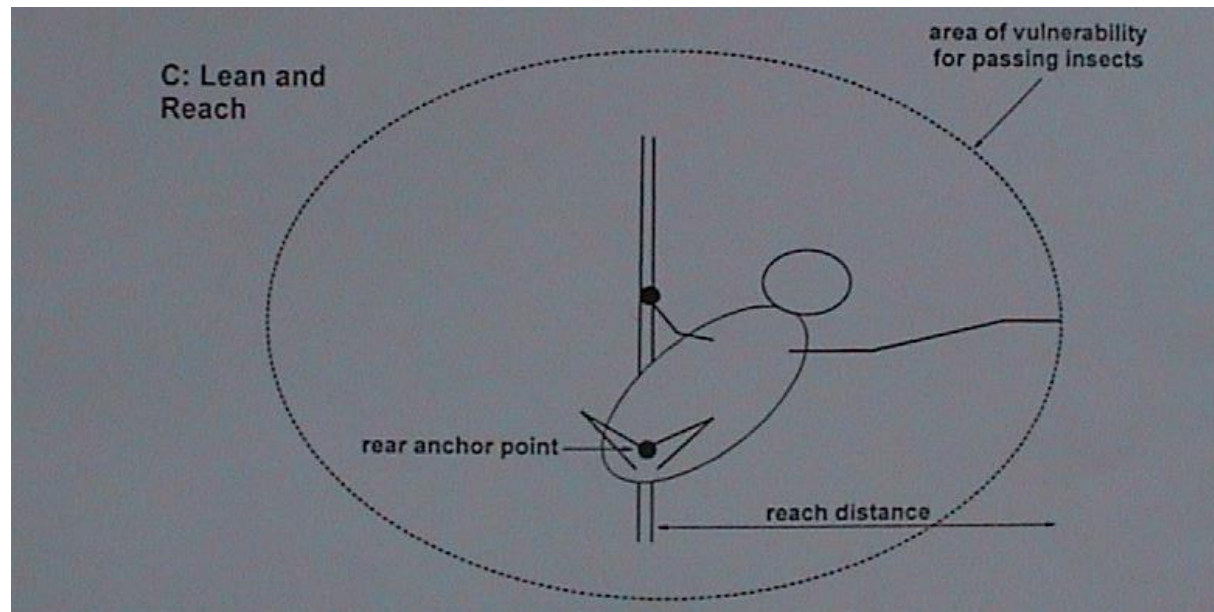
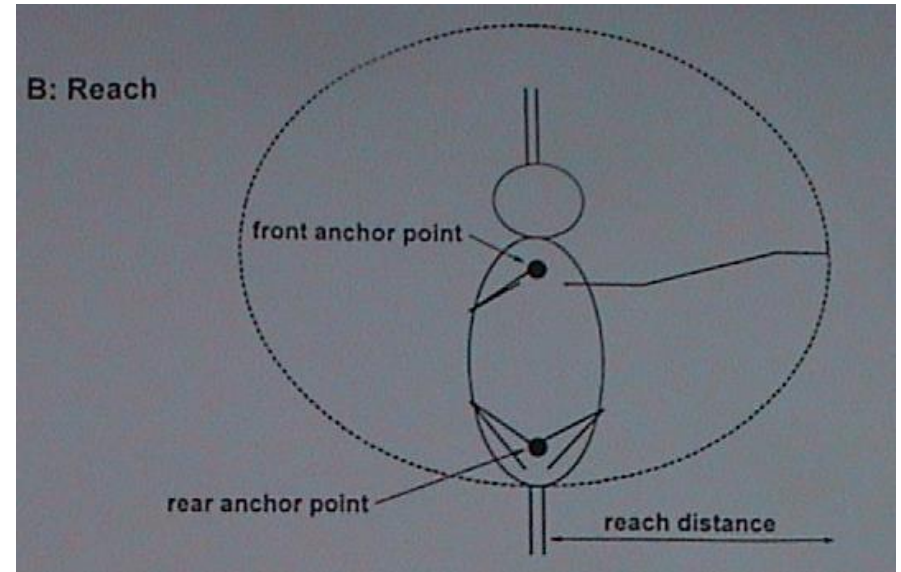
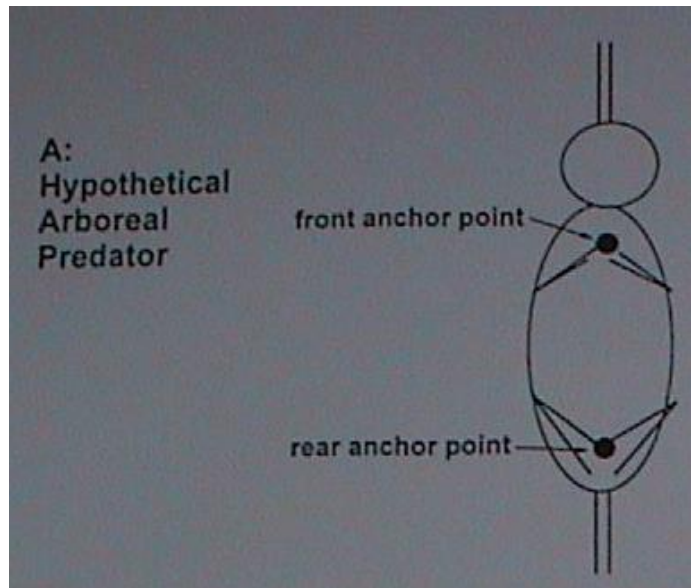
3 hypotézy:

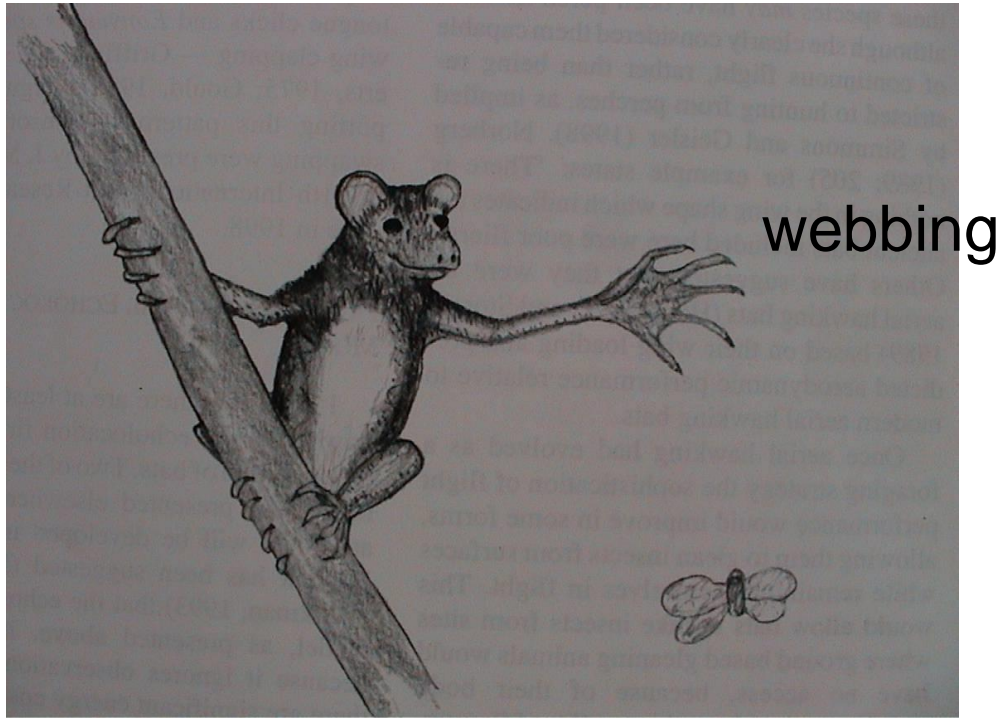
- 1) Echolocation first hypothesis
- 2) Flight first hypothesis
- 3) Parallel development of flight and echolocation



# Vznik letu u letounů

## Reach hunting - lov z číhané





Reach hunting (pre-bat)



Perch hunting (vrápenci, *Plecotus*)



(gliding)

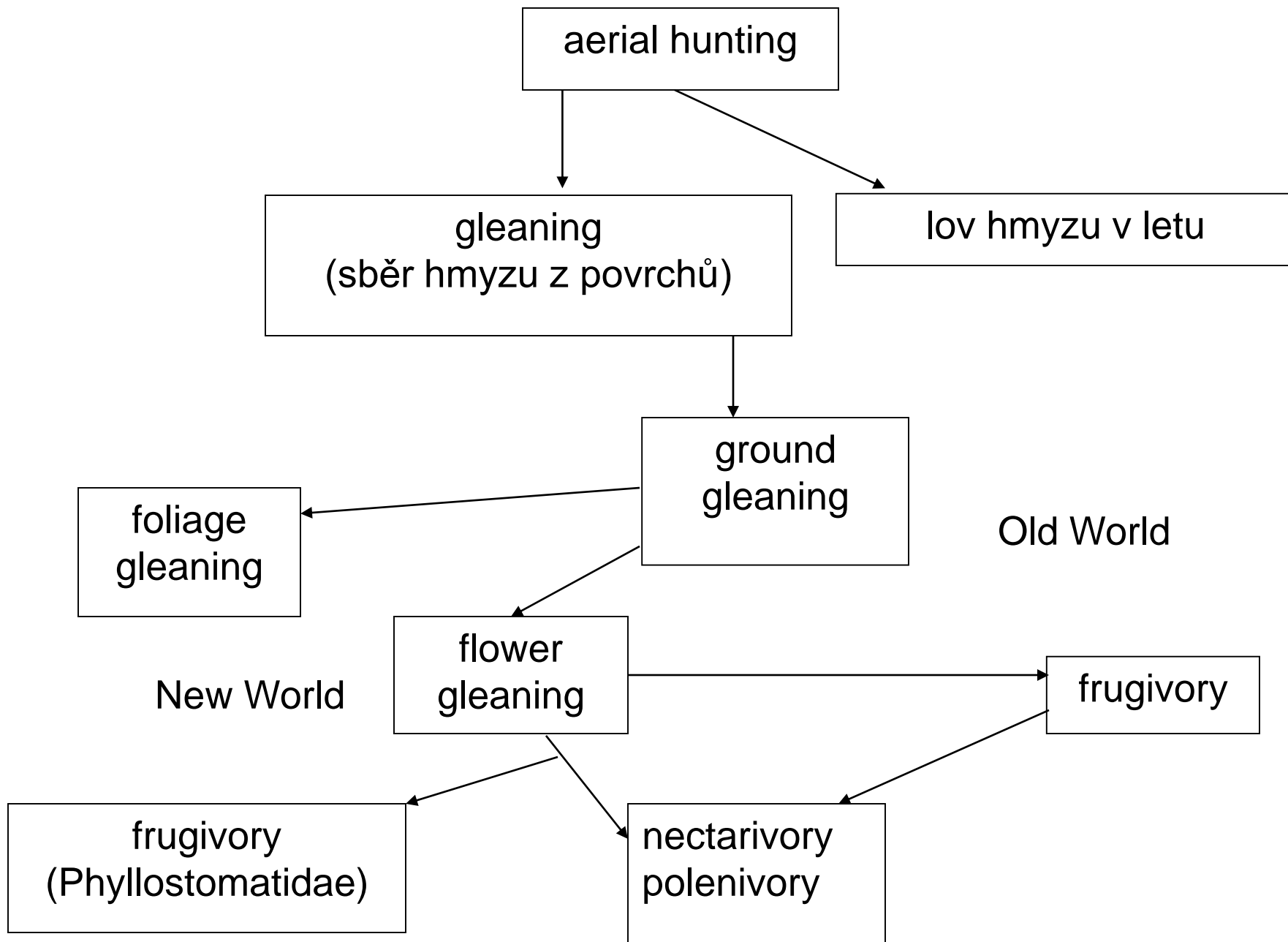


Aerial hunting

*Icaronycteris*, *Archaeonycteris* - PH nebo již AH (poor fliers)

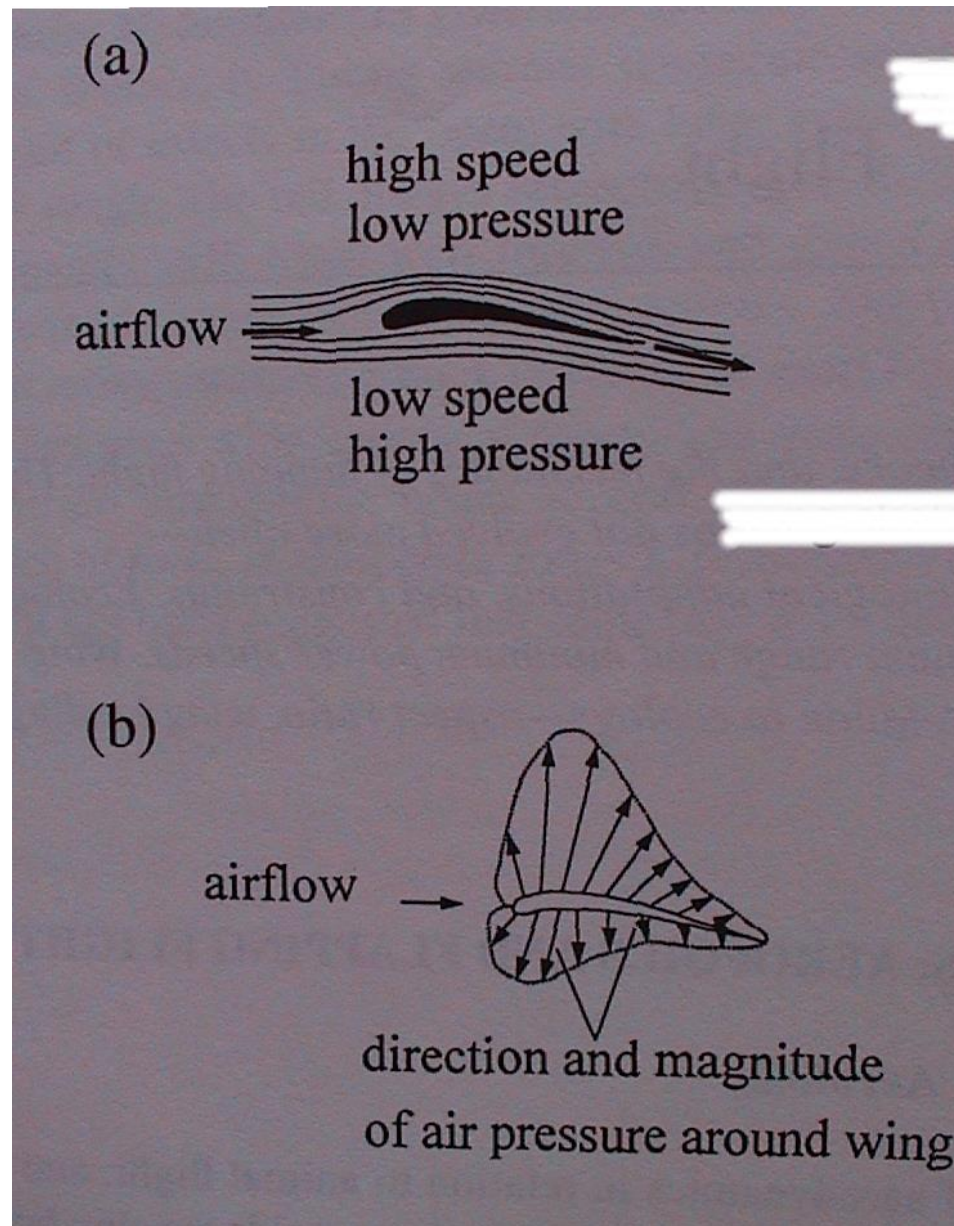
*Palaeochiropteryx*, 50 mil.let (Grube Messel u Darmstadt), *Archaeonycteris* (Messel, Německo), *Icaronycteris index* (Wyoming, USA) - eocén 56-36 Myr

# Rozvoj loveckých strategií

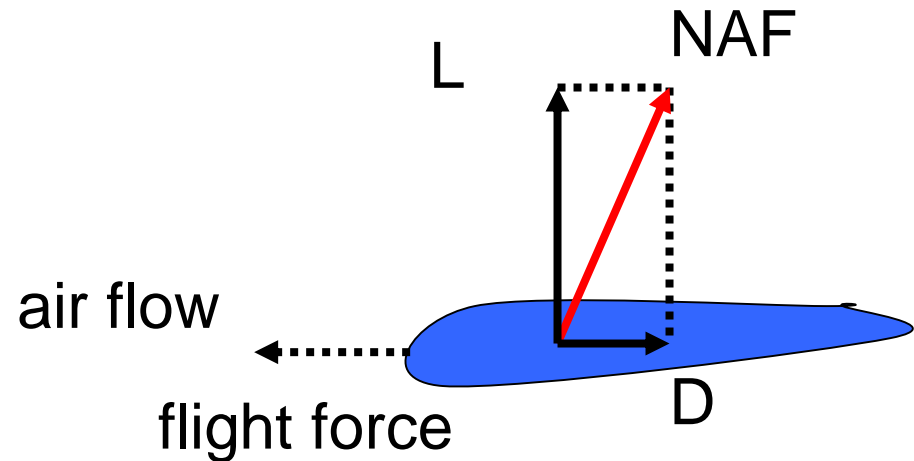


# Létací aparát

Podmínka letu: vznik dostatečně velké vztlakové síly při obtékání křídla



Výsledná aerodynamická síla (net aerodynamic force - NAF) = vektorový součet vztlaku (lift - L) a horizontálního odporu vzduchu při letu vpřed (drag - D)



$$D = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_D$$

$\rho$  ... hustota vzduchu

$V$  ... rychlost letu

$S$  ... plocha křídla

$C_D$  ... koeficient odporu

$$L = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_L$$

$C_L$  ... koeficient vztlaku

weight  $G=mg$

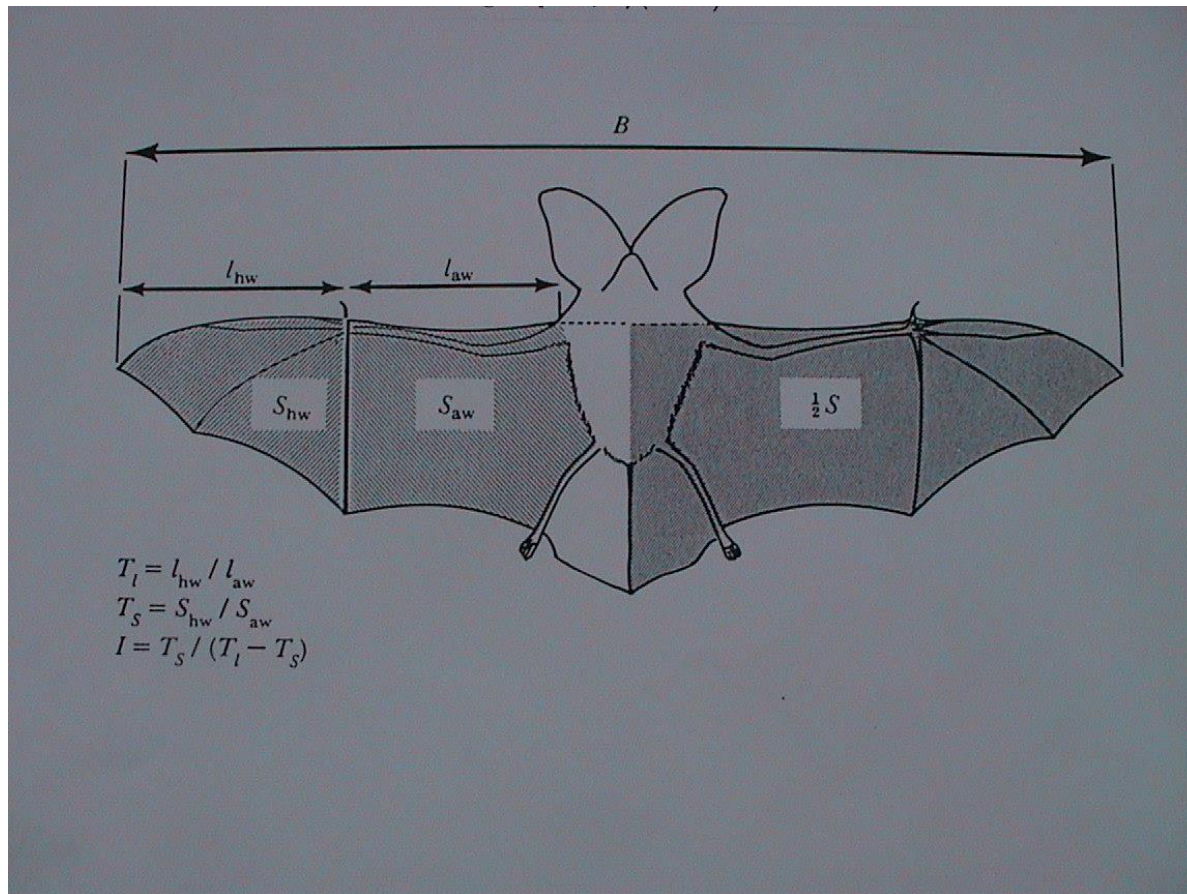
Optimum - **L : D = 10 : 1**

## Stanovení plochy křídla - S

(odhad dle Blood & McFarlane 1988)

$$S = (FA \times D5) + 0,5 \cdot (D5 \times D3)$$

FA ... forearm, předloktí, D ... digit, prst



Složky odporu:

Indukovaný odpor - induced drag

Profilový odpor - profile drag

Doplňkový odpor - parasite drag

Letová energie:  $P = P_{aer} + P_{ine}$

$P_{aer} = P_{ind} + P_{pro} + P_{par}$  aerodynamická síla potřebná pro vznik vztlaku (opačná orientace než složky odporu)

$P_{ine}$  (inerted) nezávislá setrvačná síla pro pohyb křídel nahoru a dolů ( $p = 0, D = 0$ )

$P_{ind}$  ... k překonání turbulence, pro vznik vztlaku a tahu vpřed, klesá s rostoucí rychlostí letu a rozpětím křídel, roste s hmotností, význam u pomalu létajících

$P_{pro}$  ... k překonání odporu křídel, roste s letovou rychlostí a plochou křídel, význam u rychle létajících, výhodnější přímý let

$P_{par}$  ... k překonání odporu těla, dána frontálním profilem trupu, analogie



## Závěr: minimální aerodynamická síla

- proudnicový tvar těla  $P_{\text{par}} = \text{min.}$
- nízká hmotnost  $P_{\text{ind}} = \text{min.}$
- dlouhá křídla  $P_{\text{ind}} = \text{min.}$
- vysoký tvarový poměr křídel - aspect ratio AR (malá plocha křídel, velké rozpětí)  $P_{\text{pro}} = \text{min.}$

$$\mathbf{AR = b^2/S} \quad b = \text{rozpětí, } S = \text{plocha}$$

Faktory ovlivňující hodnotu energie potřebné k letu

1) třepotavý let (hovering)

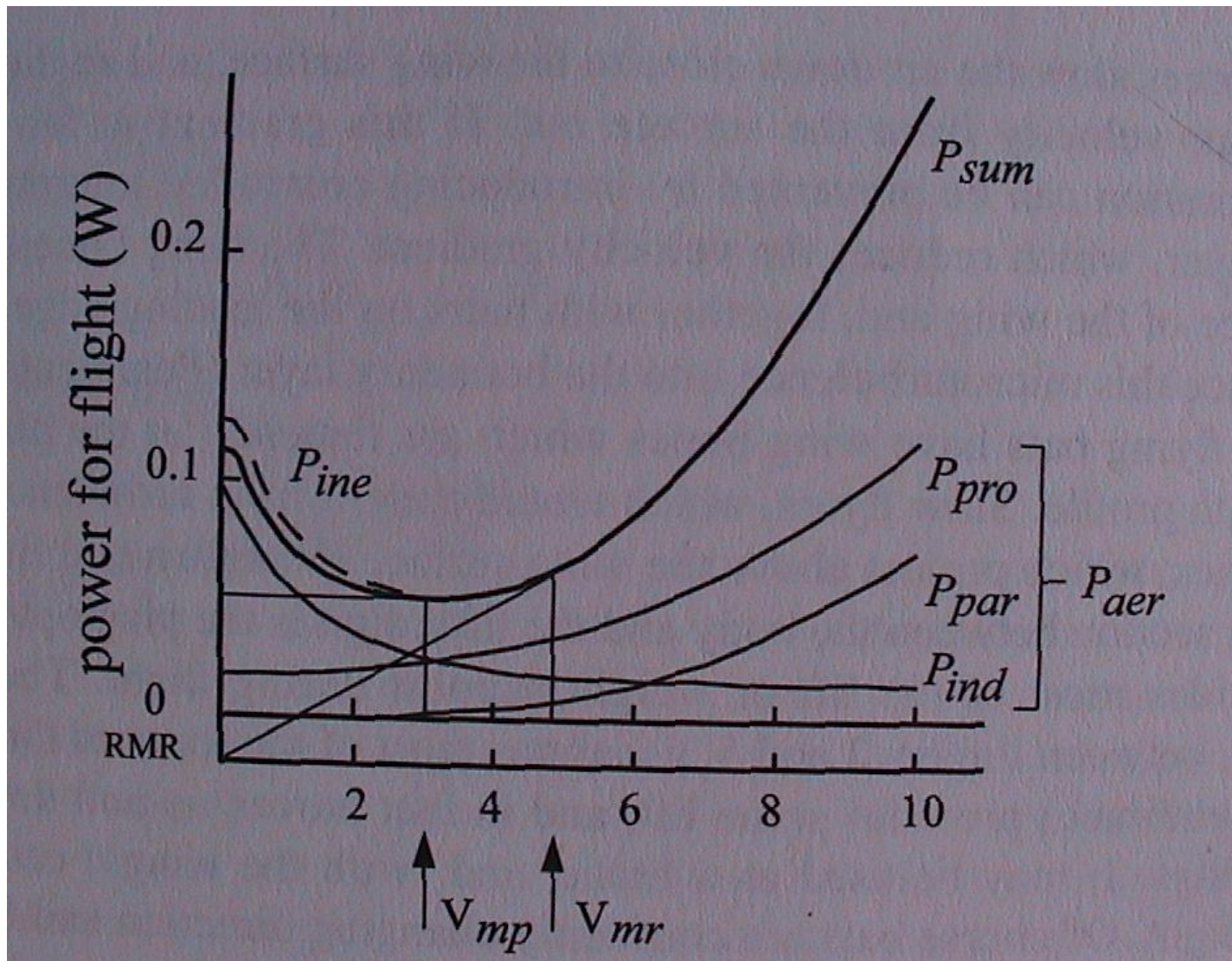
$$P_{\text{ind}} \sim m \cdot g^{3/2} / b \quad P_{\text{pro}} \sim b^3 \cdot \mathbf{S} / T^3 \quad T \dots \text{doba mávnutí křídla} \sim b$$

2) rychlý přímý let (hawking)

$$P_{\text{ind}} \sim m \cdot g^2 / b^2 \cdot V \quad P_{\text{pro}} \sim S \cdot V^3 \quad P_{\text{par}} \sim A \cdot V^3$$

A... frontální plocha těla

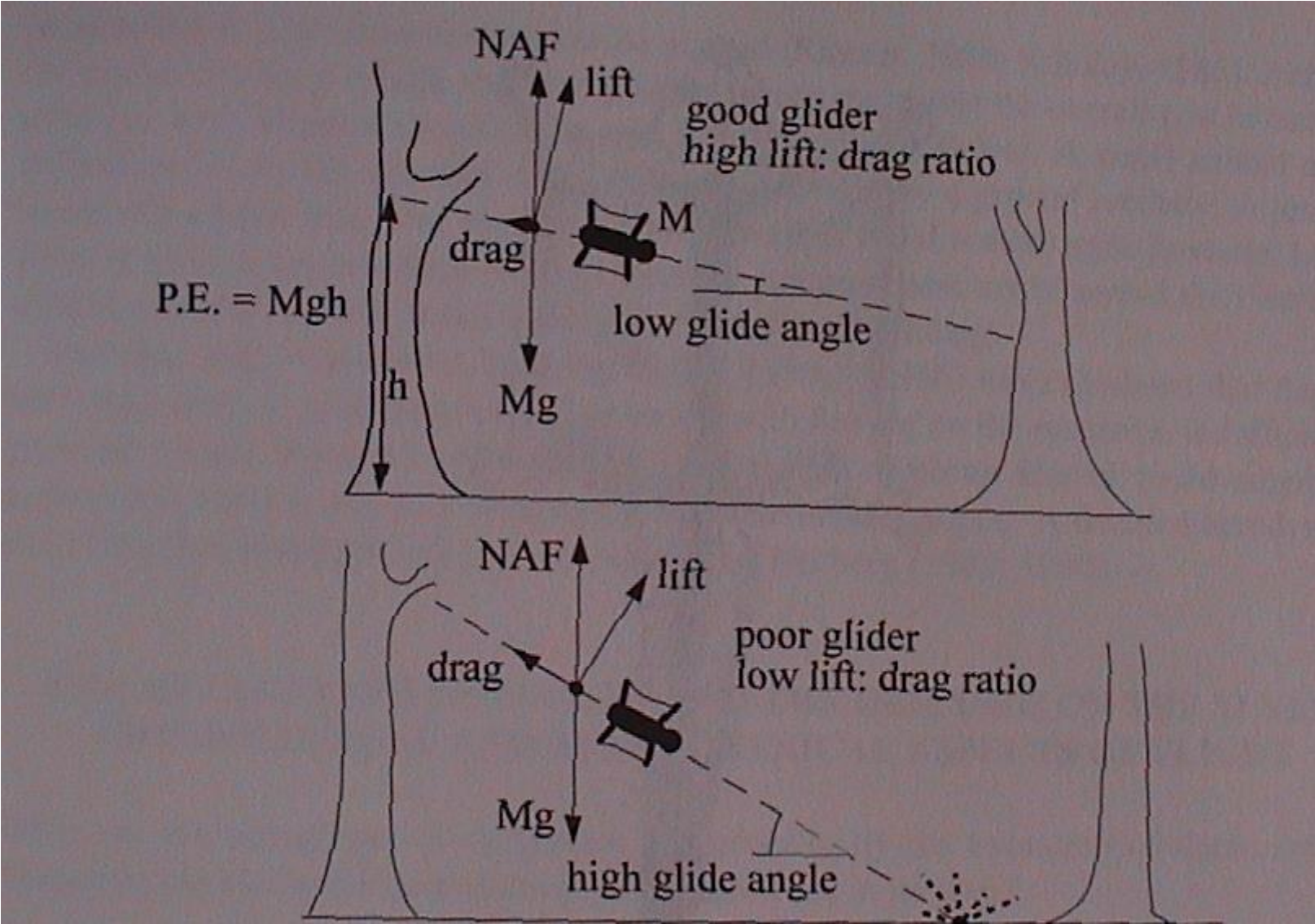
Energie se snižuje s klesající hmotností a plochou křídla



$V_{mp}$  ... letová rychlost s minimální energetickou spotřebou za jednotku času (minimum power speed)

$V_{mr}$  ... letová rychlost s nejdelším doletem za jednotku „paliva“

# Gliding (klouzavý let)



# **Morfologie křídla**

# Tvar křídel versus lovecké strategie (kde loví, jak loví, co loví)

Extrémy: relativní velká plocha v. relativní malá plocha

Parametry:

1) WING LOADING (zatížení křídel, nosnost)

$$WL = m.g/S \text{ [N.m}^{-2}\text{]} \quad \text{velcí netopýři s malými křídly}$$

2) ASPECT RATIO (tvarový poměr)

$$AR = b/c \quad b \dots \text{ rozpětí křídel, } c \dots \text{ průměrná šířka křídla}$$

$$S = b.c$$

$$AR = b.b/b.c \quad AR = b^2/S$$

netopýři s dlouhými úzkými křídly

3) další parametry: poměr mezi ruční (chiropatagium) a pažní částí (plagiopatagium), charakter špičky křídla (manévrování)

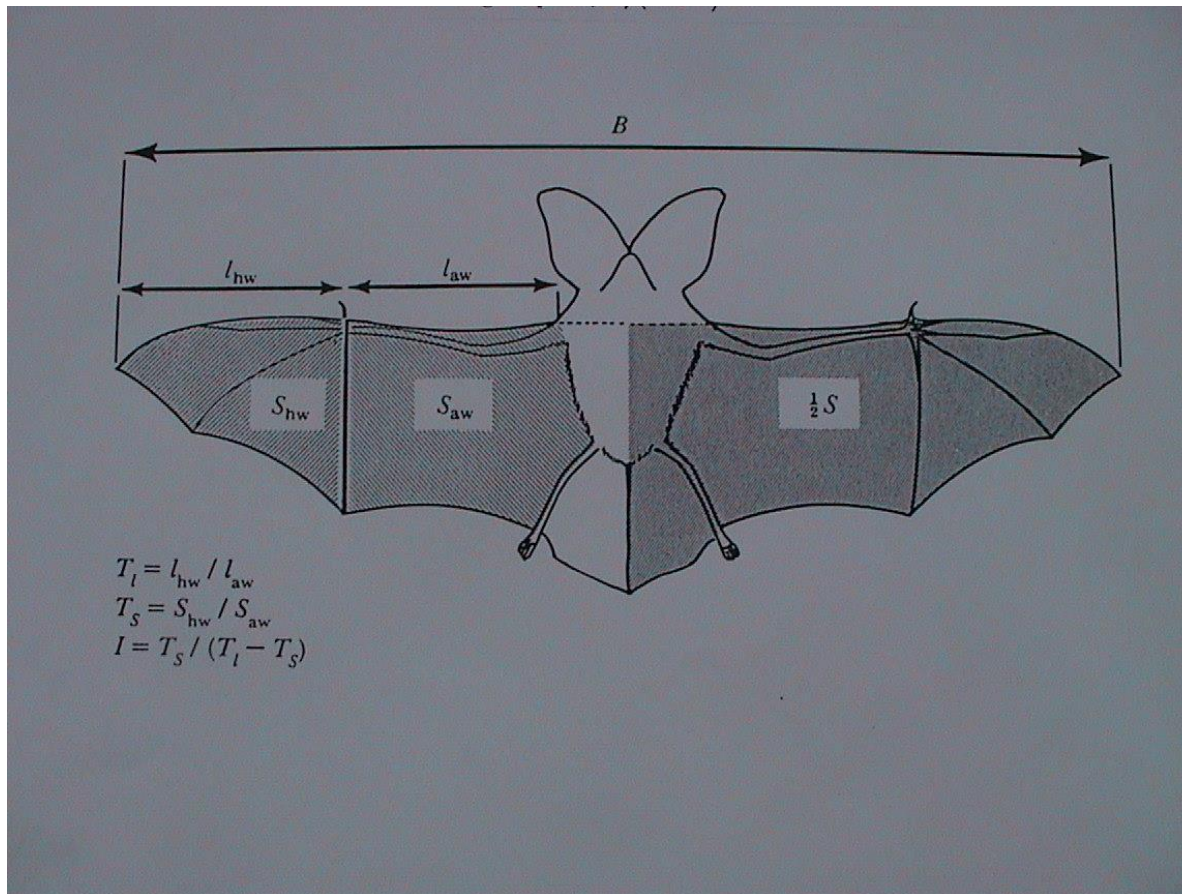
tip area ratio  $T_S = S_{hw}/S_{aw}$

hand wing area, arm wing area

tip length ratio  $T_l = l_{hw}/l_{aw}$

hand wing length, arm wing length

wingtip shape index  $I_{tip} = T_S / (T_l - T_S)$



$I > 1$



$I = 1$



$I < 1$

# WL versus AR

# Principal component analysis

<WL  
>AR

short-range  
hawking,  
trawling  
malí, úzká  
dlouhá křídla  
pomalý přímý let  
**trawlers**

<WL  
<AR

gleaning,  
hovering  
široká krátká  
křídla  
pomalý třepotavý  
let v korunách

>WL  
>AR

long-range  
hawking  
velcí, úzká  
dlouhá křídla  
rychlý přímý let  
ve výškách

**migrators**

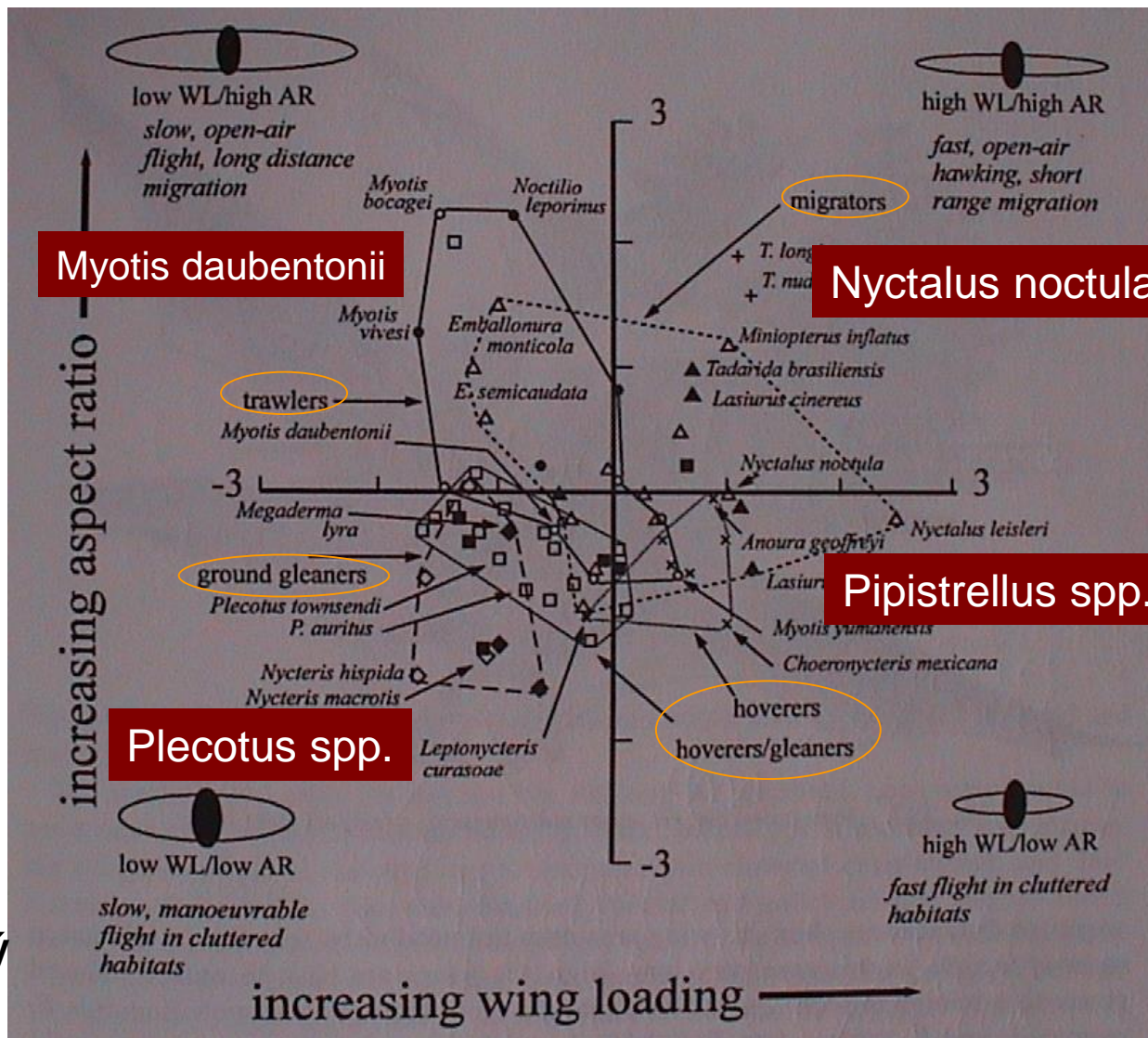
>WL

<AR

hovering

krátká  
křídla  
rychlý let,  
manévrování  
v korunách

**hoverers**



**Myotis daubentonii**

**Nyctalus noctula**

**Plecotus spp.**

**Pipistrellus spp.**

**gleaners, flycatchers**

## Lovecké strategie

- Fast, long-range hawking: lov ve volném prostoru za rychlého letu, migrace, max. WL, AR - *N. noctula*, *Vespertilio murinus*, *Miniopterus schreibersii*
- Slow, short-range hawking: lov ve volném prostoru za pomalého letu, let ve výškách, max. WL, min. AR - *N. leisleri*
- Trawling: sběr z vodní hladiny, min. WL, max. AR - *M. daubentonii*, *Noctilio leporinus*
- Gleaning a hovering: sběr z povrchů nebo lov z třepotavého letu, min. AR - *Plecotus* spp., *Rhinolophus* spp.
- Flycatching: lov z vyvýšeného místa, z číhané - *Plecotus* spp.

Většina druhů používá zpravidla kombinaci více strategií.

Vliv biotopu, potravní nabídky a její dosažitelnosti.

Převažuje potravní oportunistus nad specializací.

**Volba strategie: minimální ztráty, maximální efekt**



# Lovecké zóny

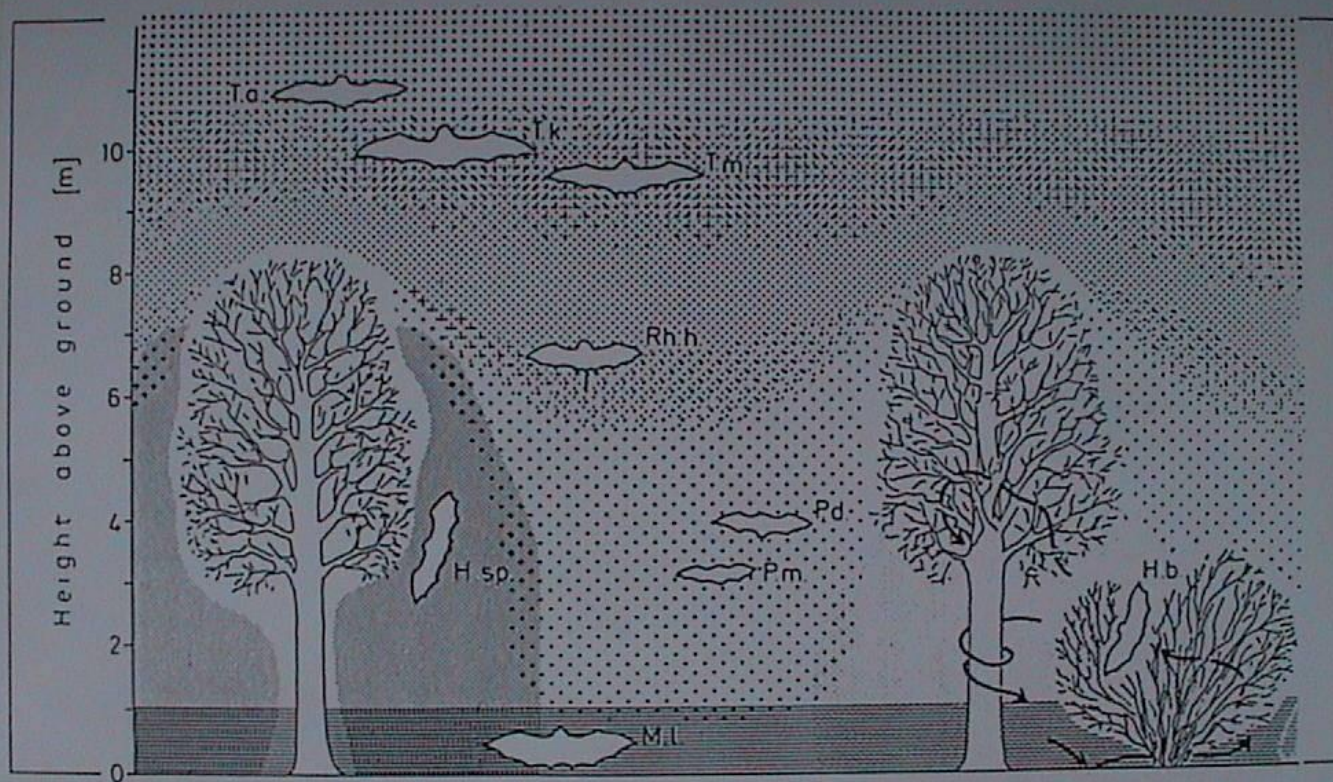


Fig. 1. Preferred foraging zones of the nine most common echolocating bat species in Madurai (South India). Zones of open spaces: T.a. *Tadarida aegyptiaca*, T.k. *Taphozous kachhensis*, T.m. *Taphozous melanopogon*, Rh.h. *Rhinopoma hardwickei*, P.d. *Pipistrellus dumeri*, P.m. *Pipistrellus mimus*. Zone close to and within vegetations: H.sp. *Hipposideros speoris*, H.b. *Hipposideros bicolor*; arrows indicate typical flight paths of *H. bicolor*. Ground gleaning: M.l. *Megaderma lyra* (after [9])

open - semicluttered - cluttered