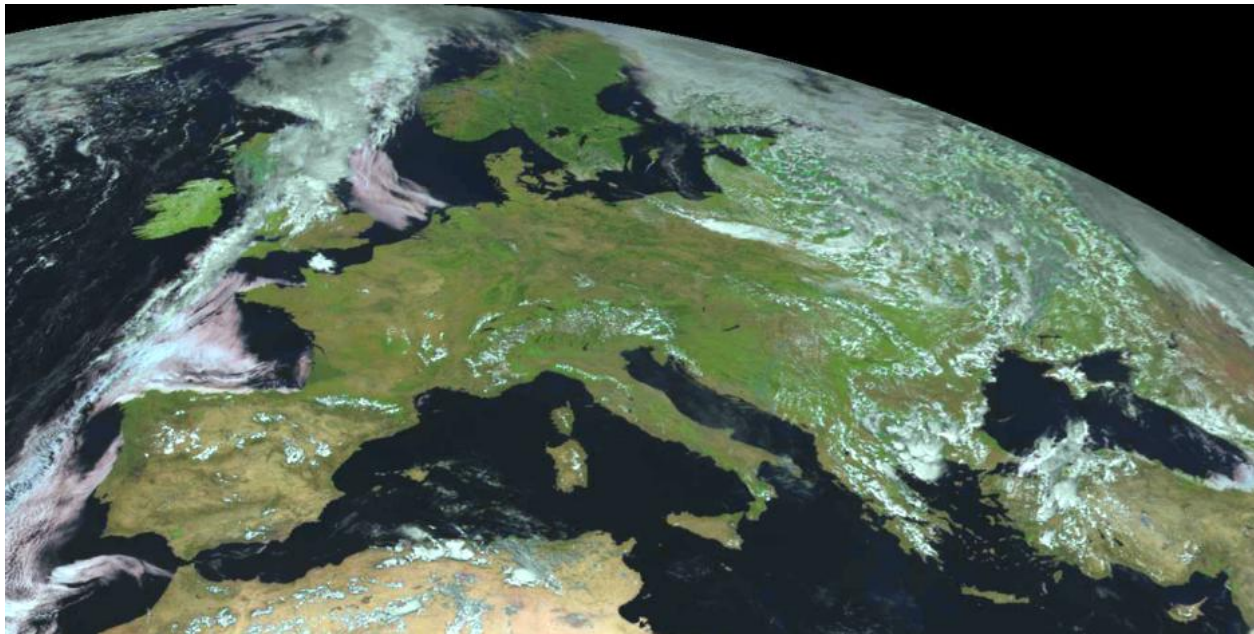


# Prostorová navigace zvířat



Kamil Vlček

Oddělení neurofyzologie paměti

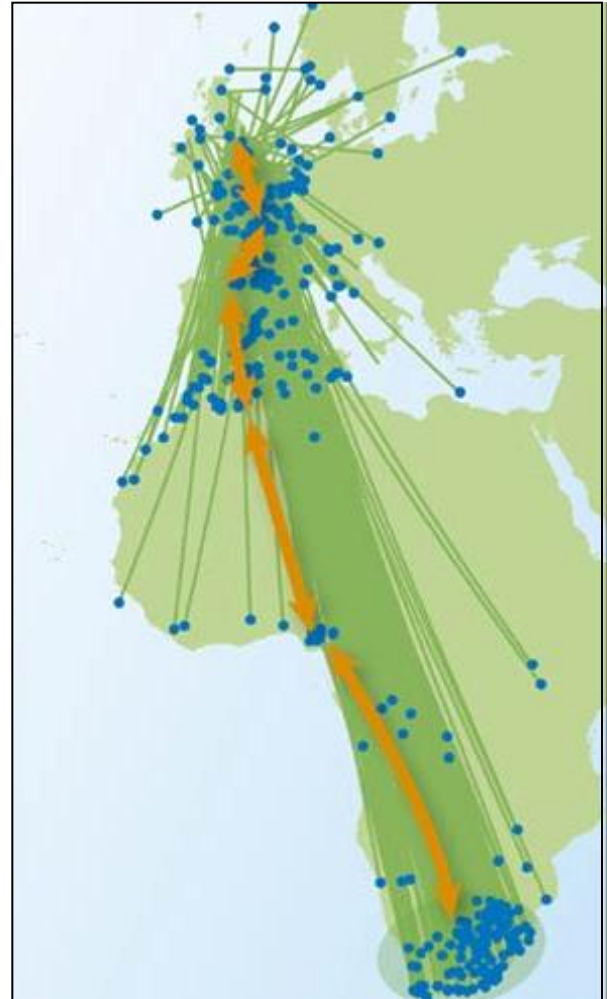
Fyziologický ústav AVČR

*FHS UK, Srovnávací psychologie, 16.12.2020*

# Migrace vlaštovek



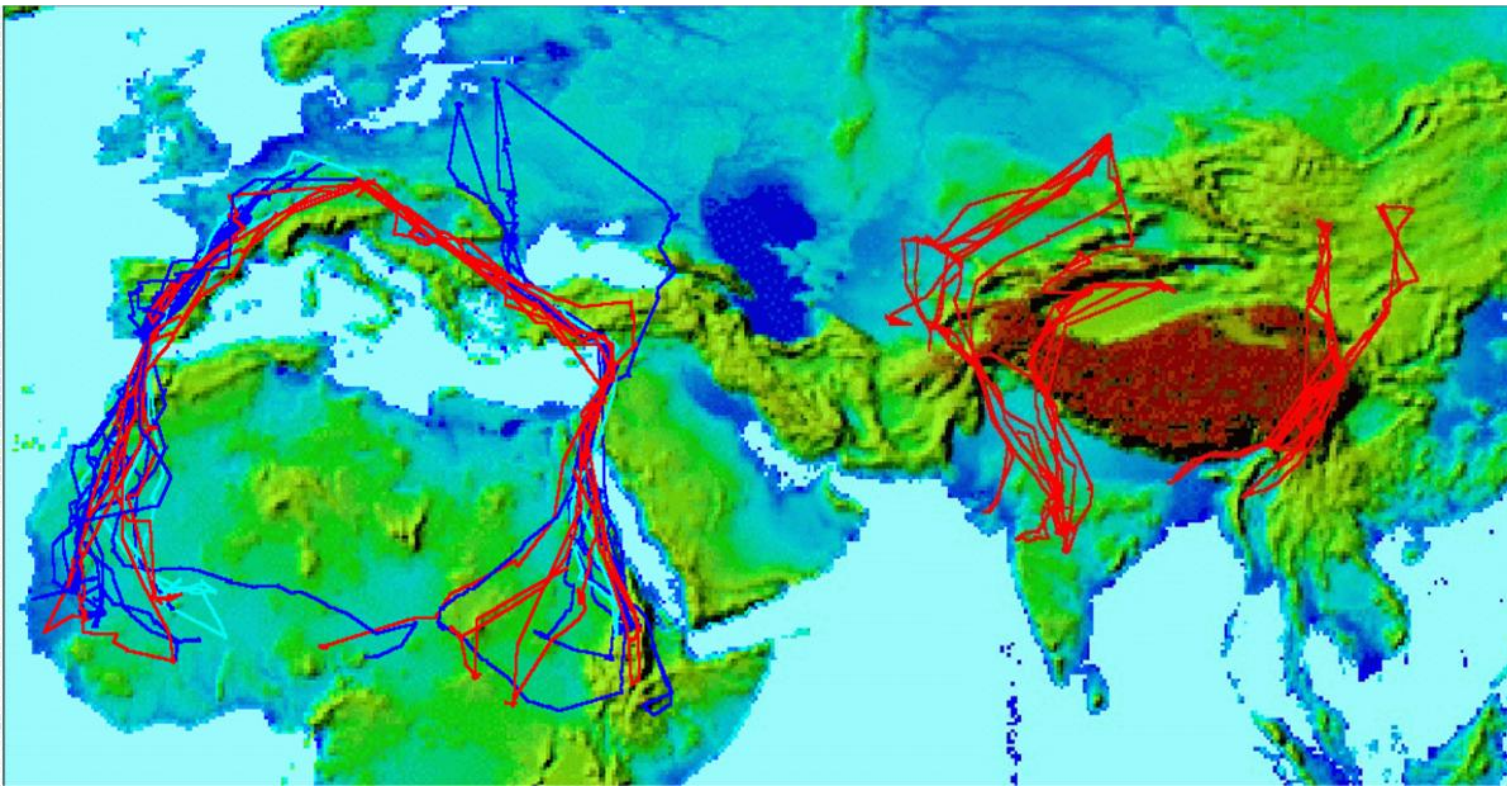
- Většina našich vlaštovek letí zimovat do Jižní Afriky.
- Během asi 100 dní uletí více než 10000 km



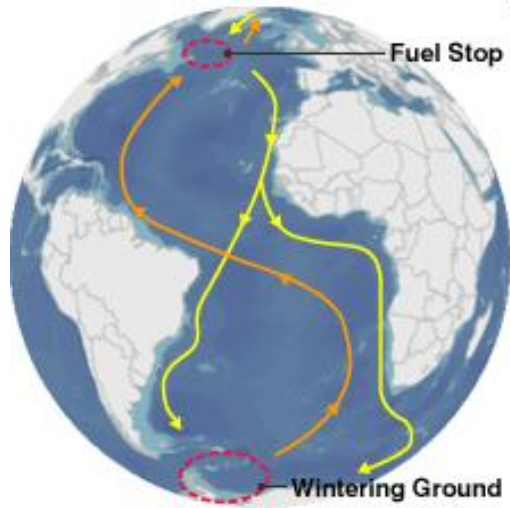
# Migrace čápa černého



- projekt Africká odyssea
  - 1995 – 2000
- Batůžky – satelitní vysílač



# Rekordmani



- Rybák dlouhoocasý uletí za rok asi 70000 km, z Arktidy do Antarktidy a zpět
- Břehouš rudý uletí bez přestávky nejdelší trasu mezi ptáky – asi 11000 km během 9ti dnů



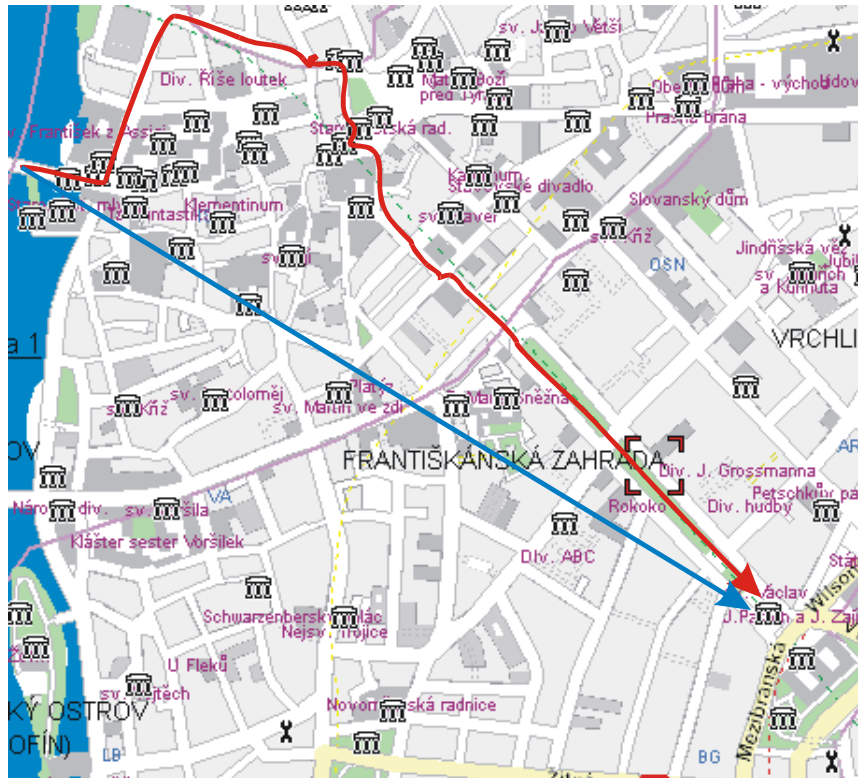
# Návrat buřňáků na hnízdiště



**Jak se orientují?**

# Prostorová navigace

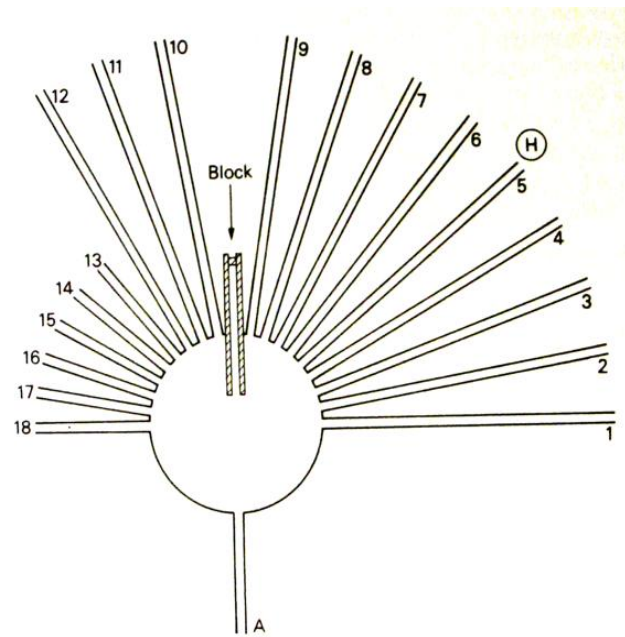
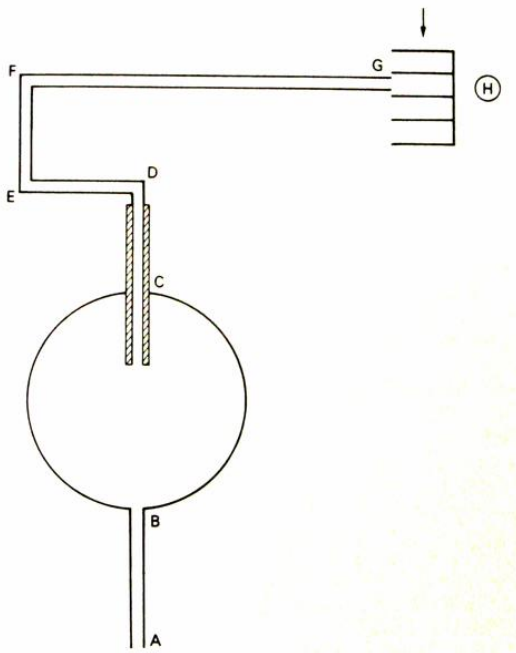
- Navigace je proces **určení** a udržení **dráhy** z jednoho místa na druhé. *Gallistel (1990)*
- Zásadní pro tuto schopnost jsou procesy **odhadu vlastní pozice ve známém světě.**



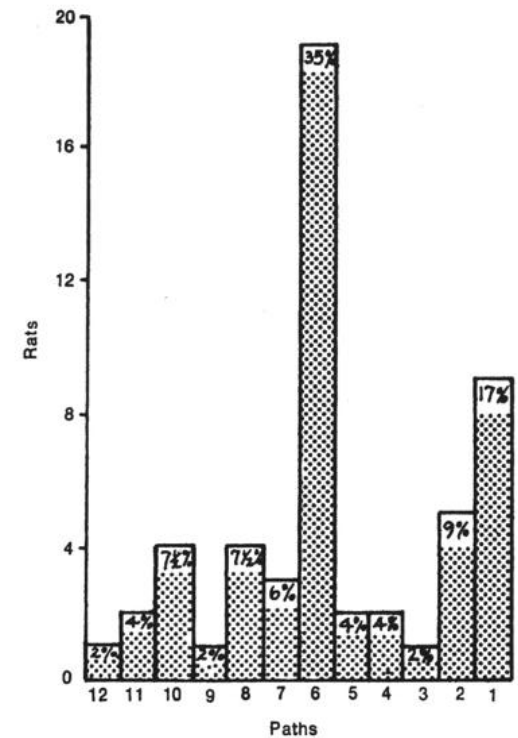
# Kognitivní mapa



Edward Tolman  
(1886-1959)

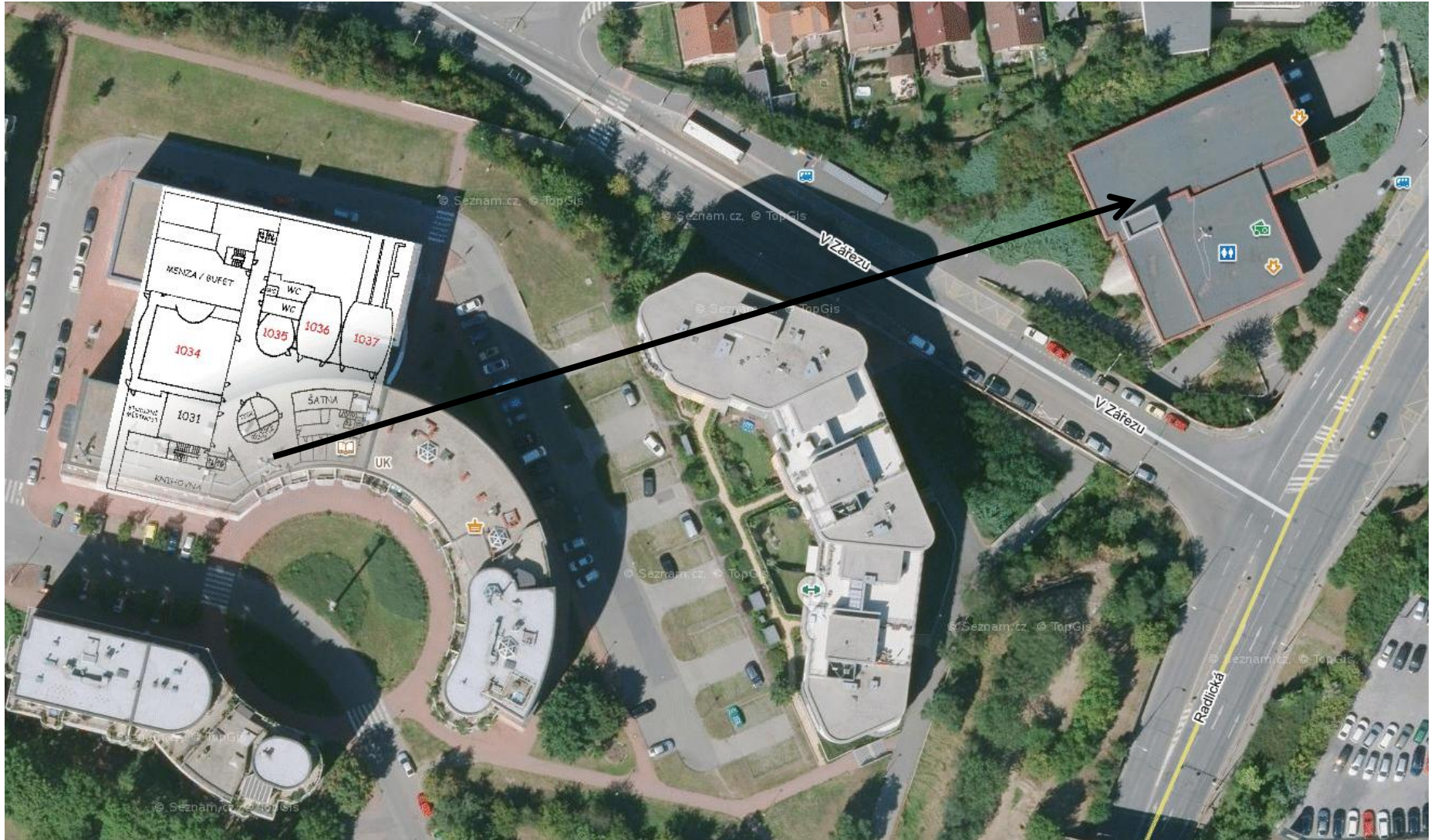


Test – kam půjde potkan?



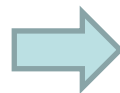


# Experiment

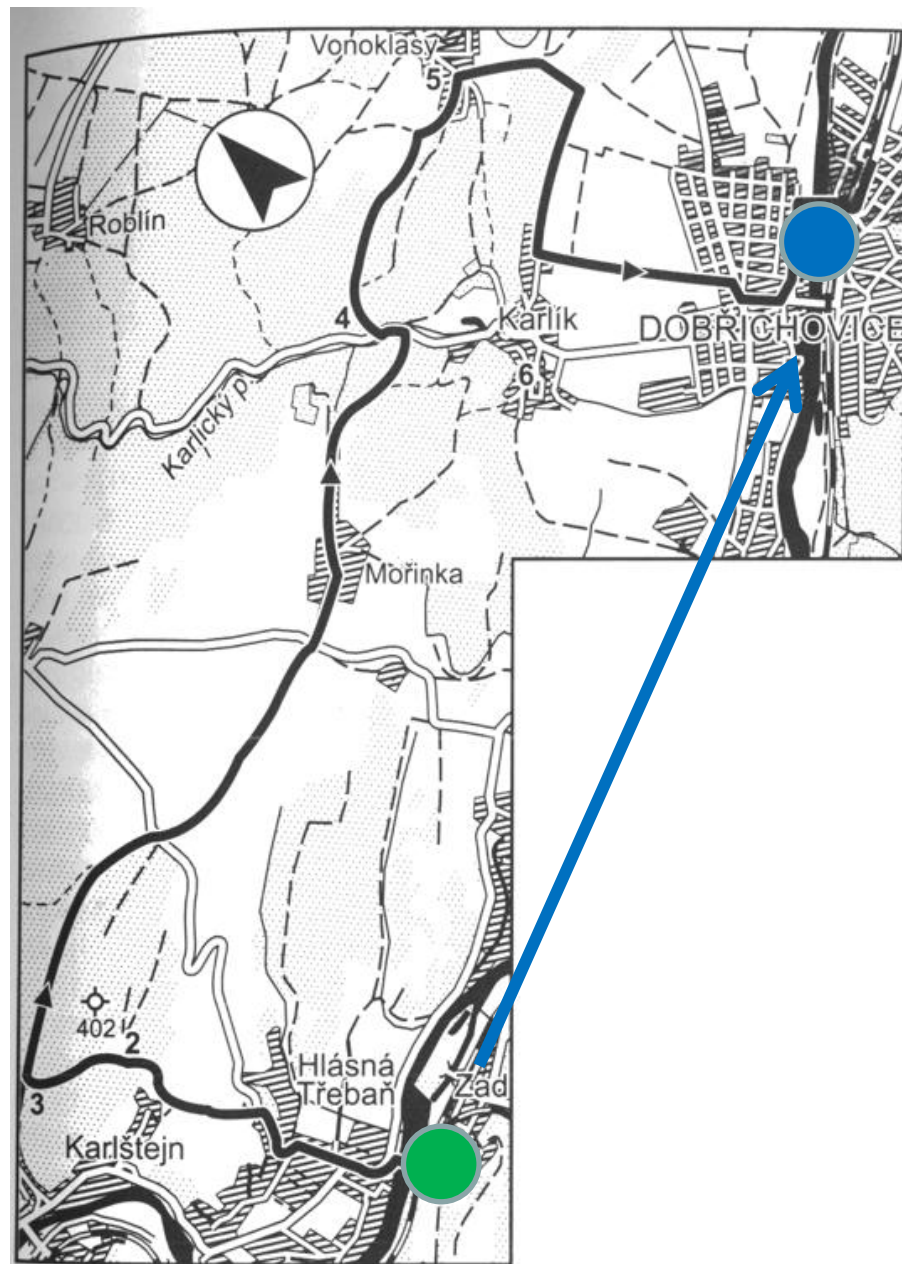


# Jak se dostanu ....?

## Dvě strategie navigace

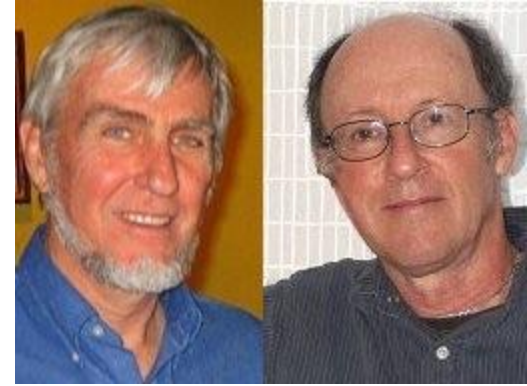


- Výchozím místem putování může být železniční stanice Zadní Třebaň.
- Po žluté turistické značce dojdeme k lávce přes Berounku a po ní zamíříme do Hlásné Třebeň.
- Žlutá značka nás provádí po silnici (směr Mořina) vsí, na jejím konci odbočujeme vlevo do polí, k chatové osadě, lesem pak vystoupáme na půvabnou louku k božím mukám



# Mapy a cesty

- O'Keefe & Nadel 1978
- **Cesty**
  - Seznam příkazů, který vede člověka od jednoho místa ke druhému
  - **Vodítka** (*guidances*), ke kterým nebo od kterých navigujeme, důležitý směr vzhledem k nim
  - **Orientace** (*orientations*), instrukce ke změně osy těla relativně k jiné ose (cesta, kompas, objekt)



John O'Keefe Lynn Nadel

A. Cue Guidance: Approaching directly a visual cue



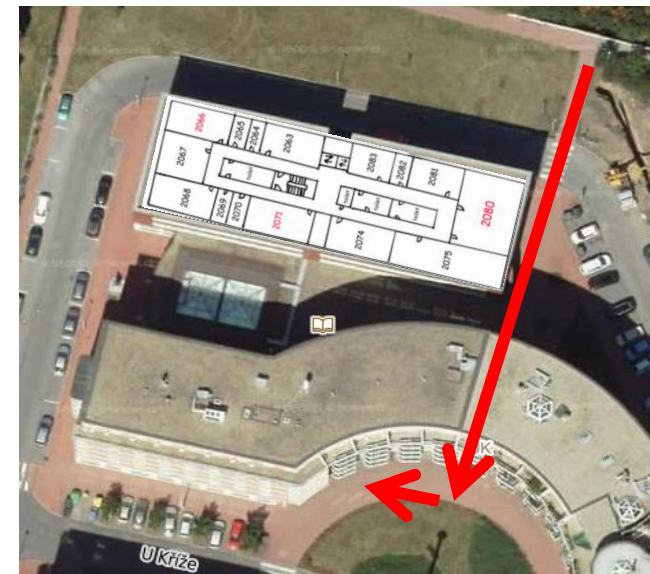
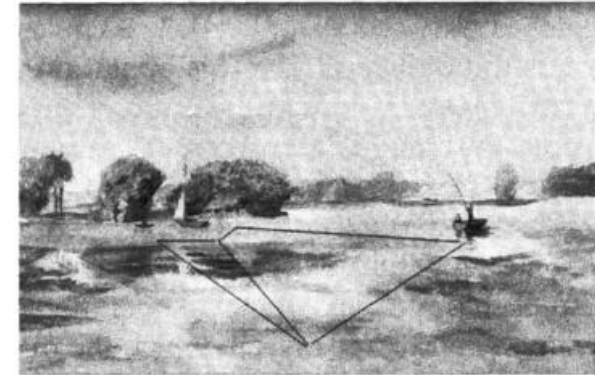
# Cesty

- vedou k nějakému cíli, ze kterého plyne motivace cestu sledovat
- rychlá navigace, nejsou potřeba složité kognitivní procesy
- bez flexibility – žádné možnosti volby během cesty, kromě předem nabídnutých alternativ
- poruchovost – stačí rozbít část cesty a jen těžko lze následovat – možnosti nalezení pokračování jsou omezené
- jen omezeně reverzibilní



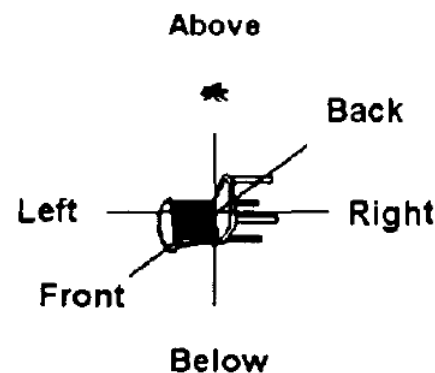
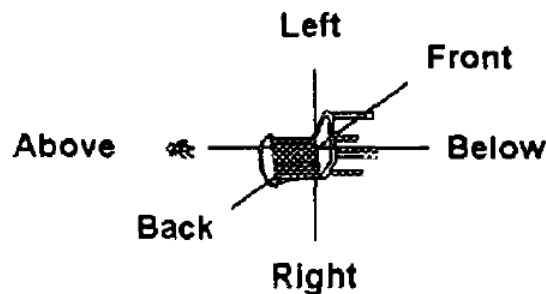
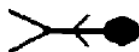
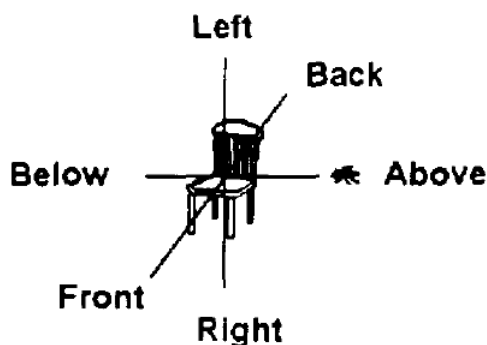
# Mapy

- soubor míst navzájem spojených pomocí prostorových vztahů
- Eukleidovské vztahy, metrické
- umožňuje nalezení cesty z jakéhokoliv místa k jakémukoliv
- umožňuje okliky a zkratky
- vysoká redundance
- **Použití mapy zahrnuje**
  - lokalizace vlastní pozice
  - lokalizace cíle
  - volba vhodné cesty
  - v těchto procesech je výrazný podíl domněnek a úsudku
- **vysoké početní nároky a pomalá navigace**



# Referenční rámce

- Vztažný systém, podle kterého určujeme pozici objektů v prostoru
  - Počátek, orientace
  - Osy: nahoru dolů, dopředu dozadu, vlevo vpravo
- Disociace rámců: je moucha nad židlí?



Rámec pozorovatele (30%)

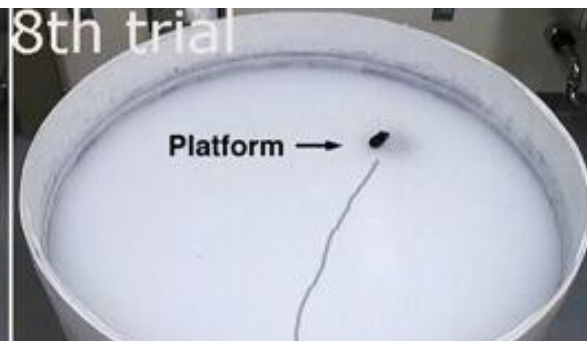
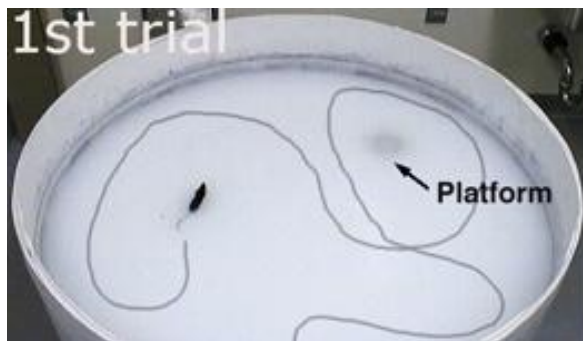
Rámec objektu (34%)

Rámec prostředí (86%)

# Morrisovo vodní bludiště



Richard Morris



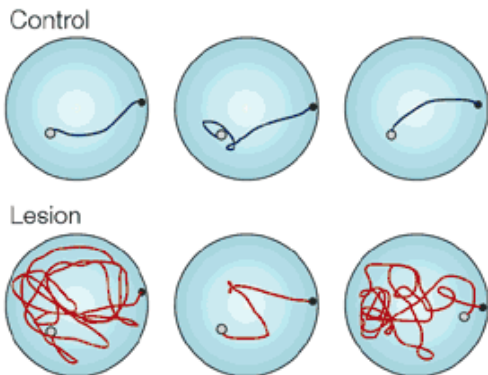
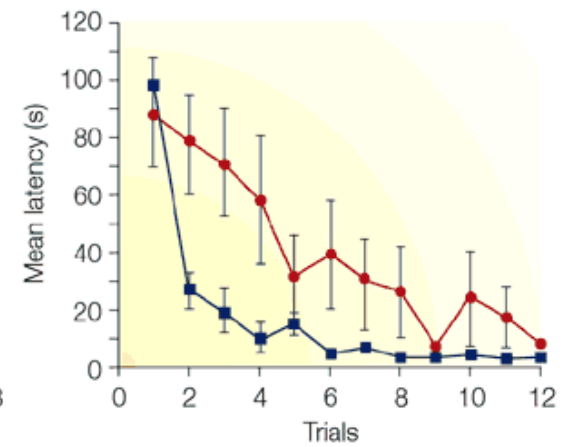
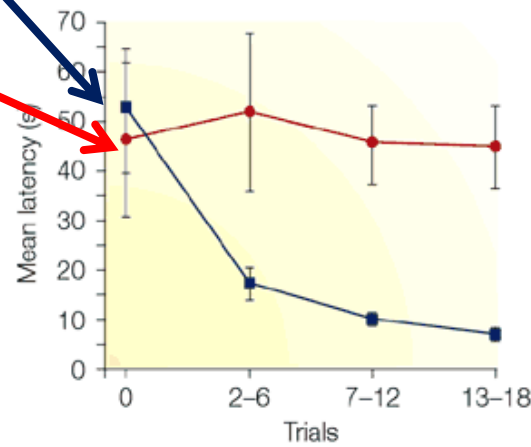
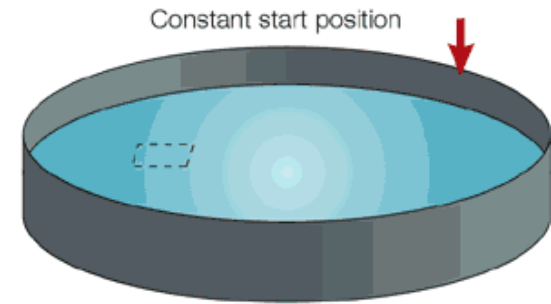
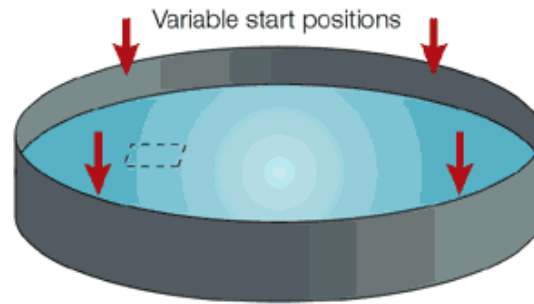
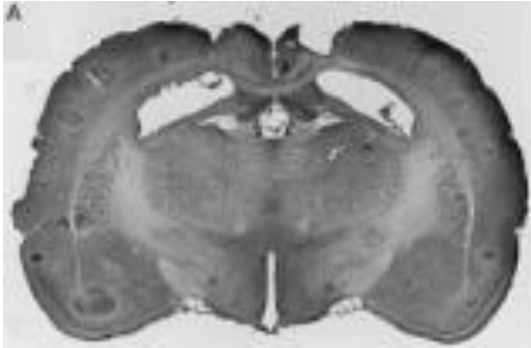
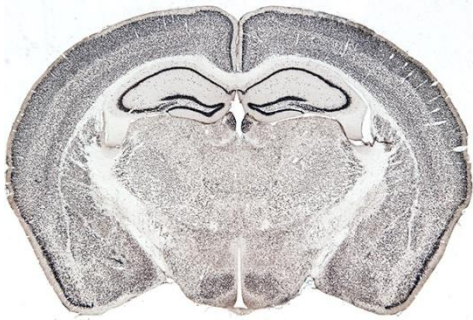
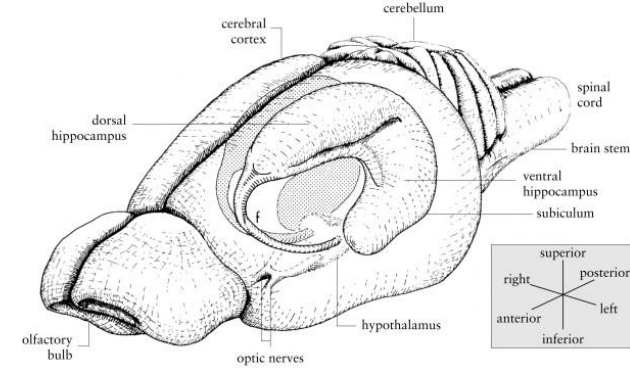
- Morris, 1981

# Video z vodního bludiště

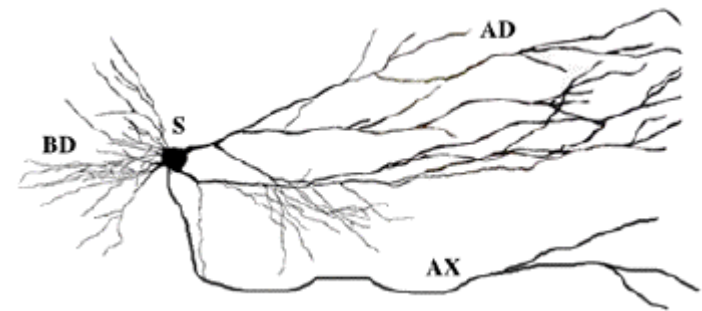
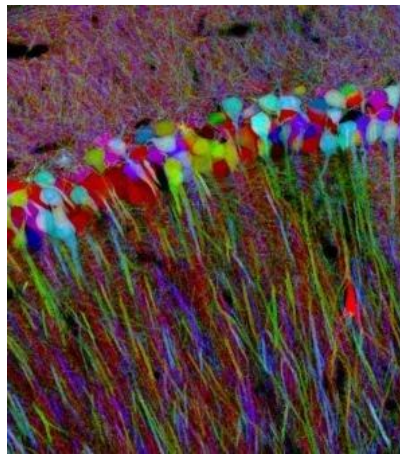
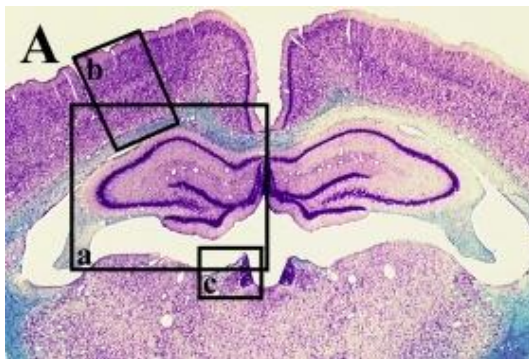
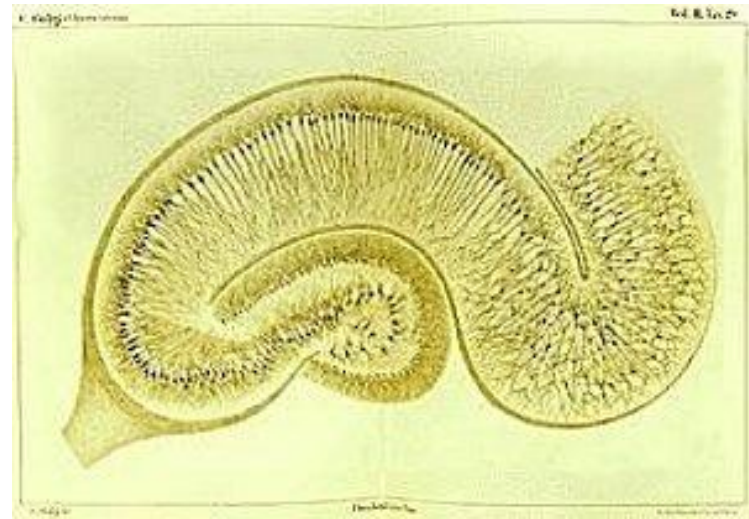
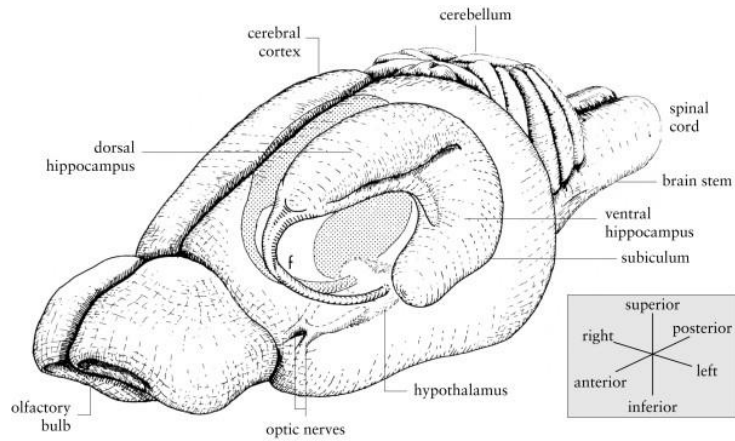




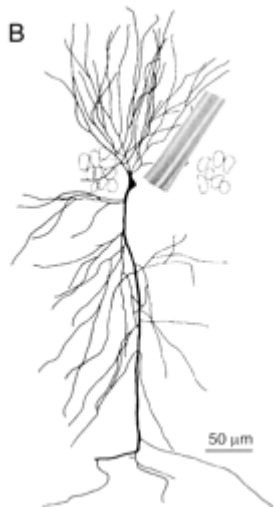
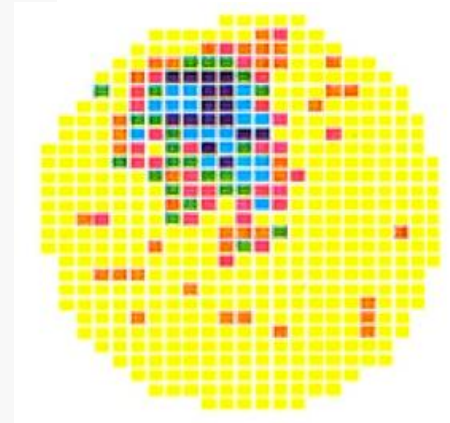
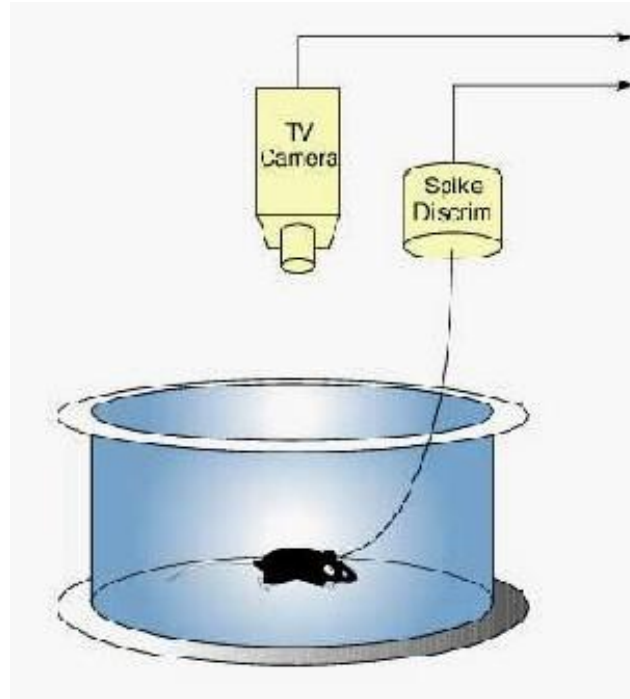
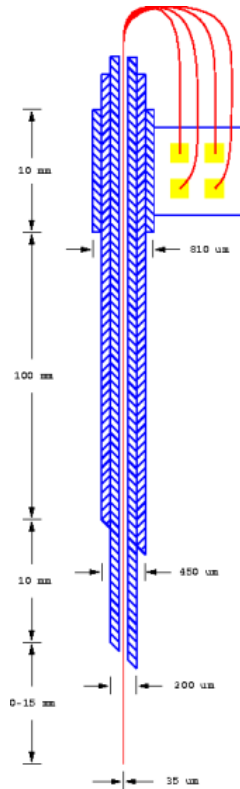
# Hipokampus



# Neurony v hipokampu

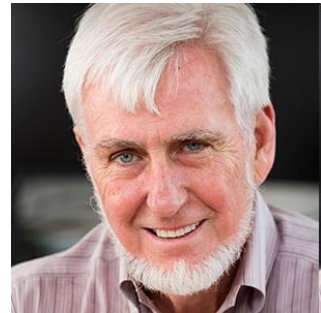


# Místové buňky



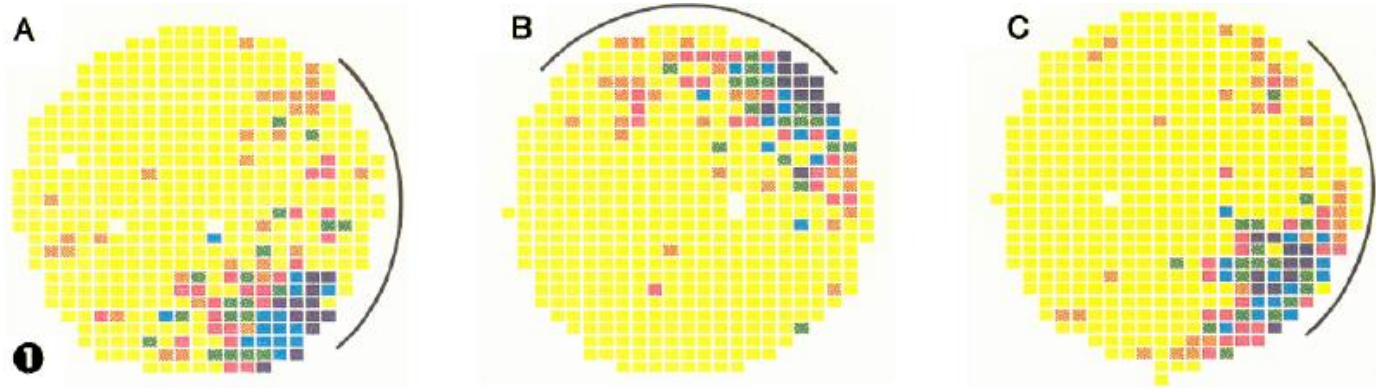
- O'Keefe & Dostrovsky, 1971

John O'Keefe

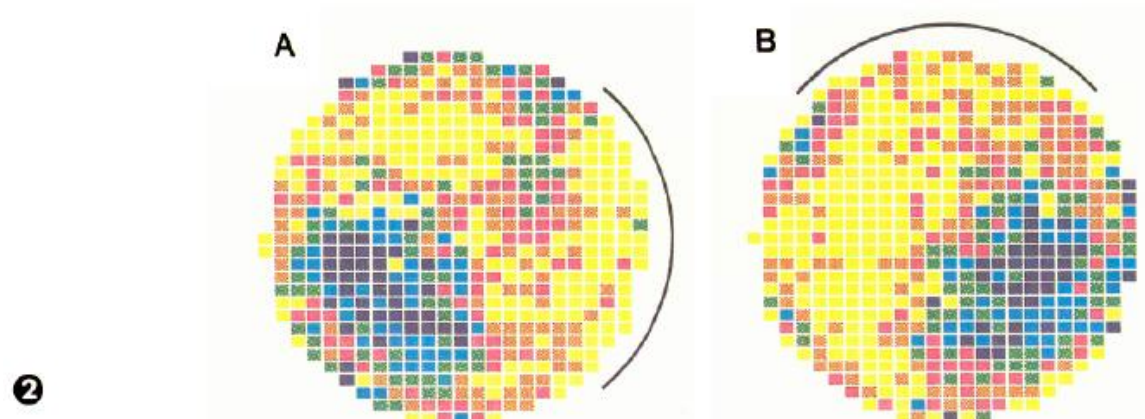


# Místové buňky jsou kontrolovány orientačními značkami

Buňka 1



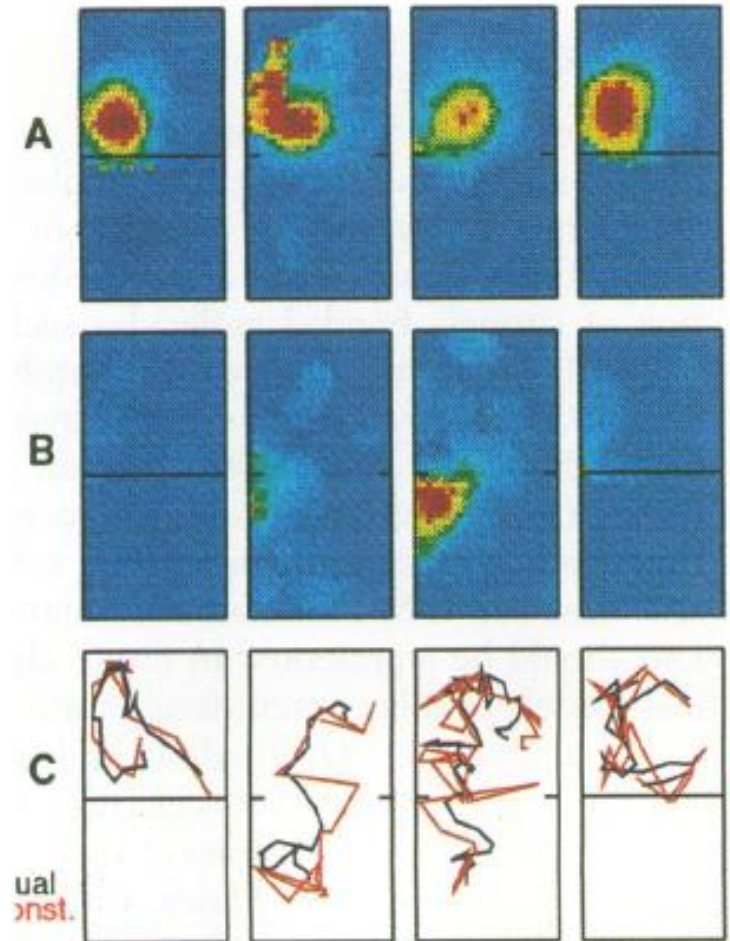
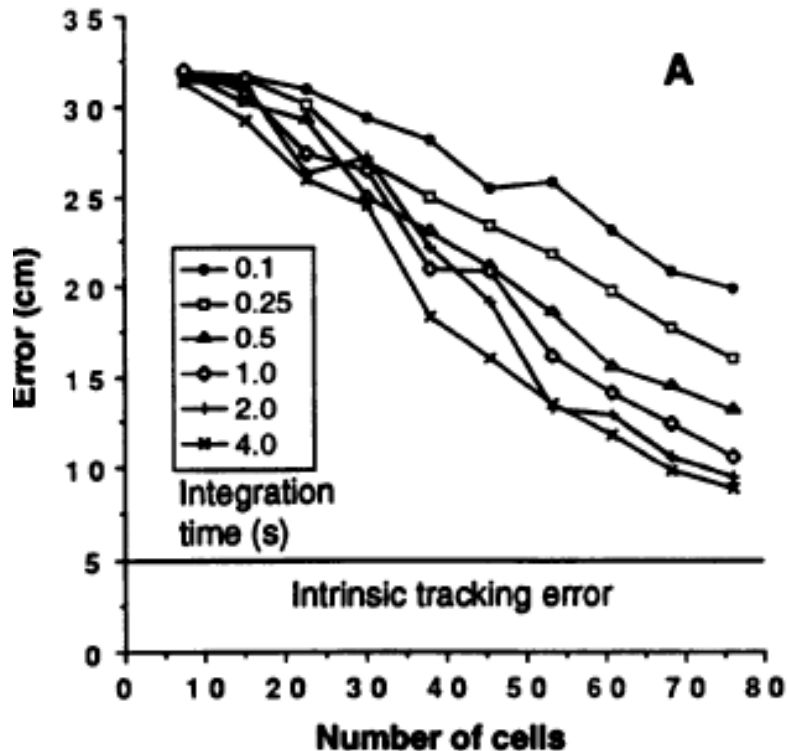
Buňka 2



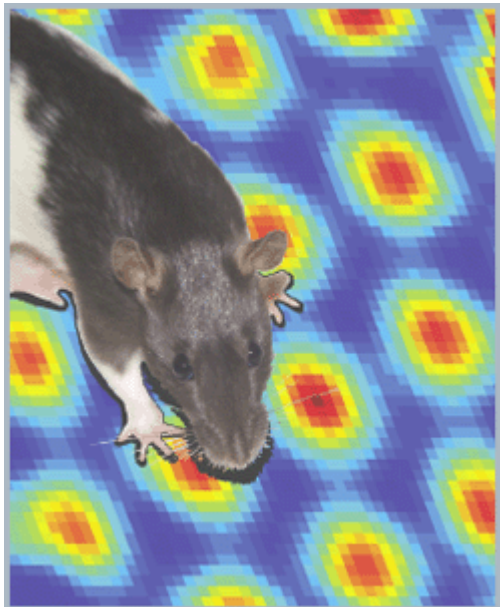
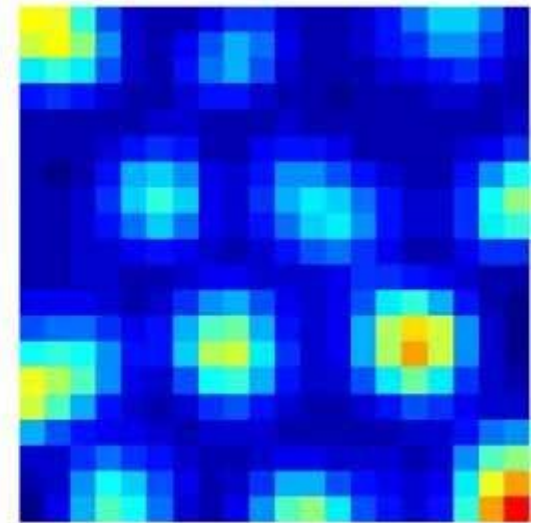
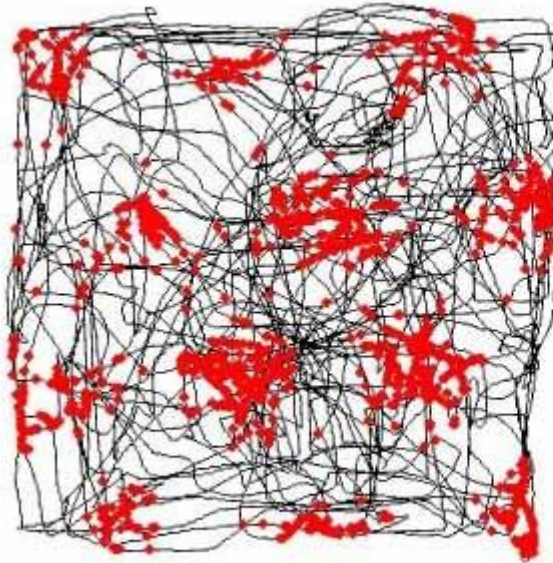
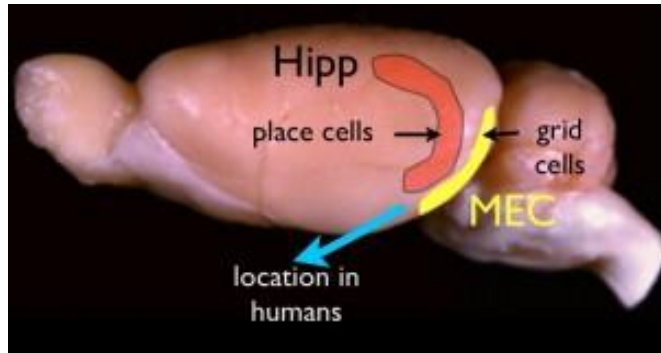
- Muller Kubie 1987 J Neurosci

# Předpověď' pozice potkana

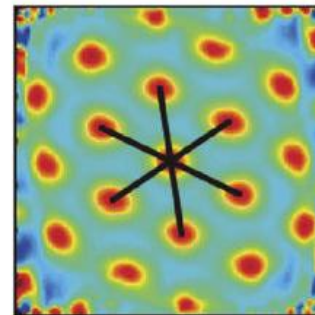
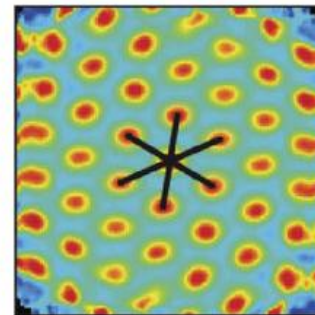
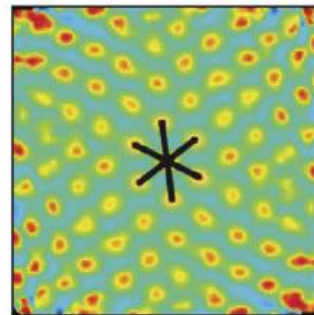
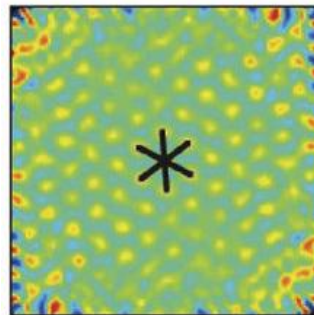
- Pozici potkana můžeme spočítat podle aktivity skupiny místových buněk  
Chyba 10-30 cm



# Mřížkové buňky



Dorsal → Ventral

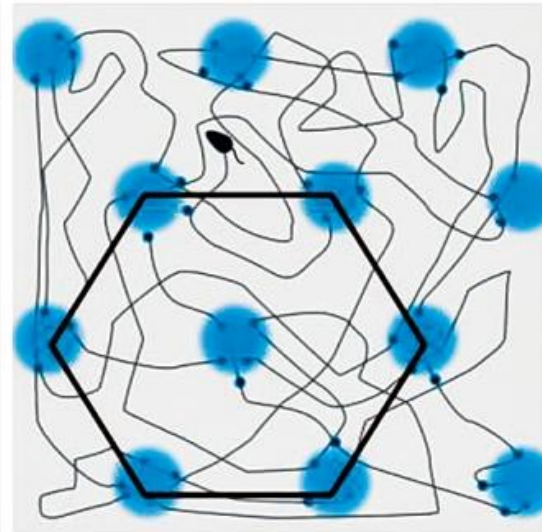


# Nobelova cena 2014

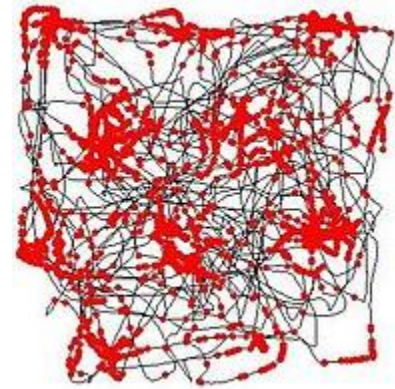
## Místové + mřížkové buňky



Hippocampus



Entorhinal cortex

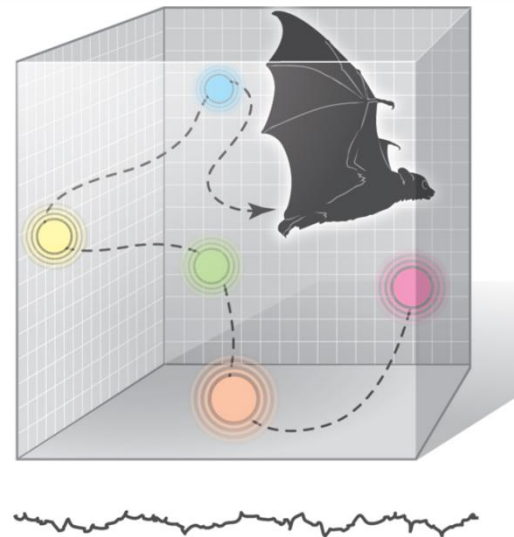
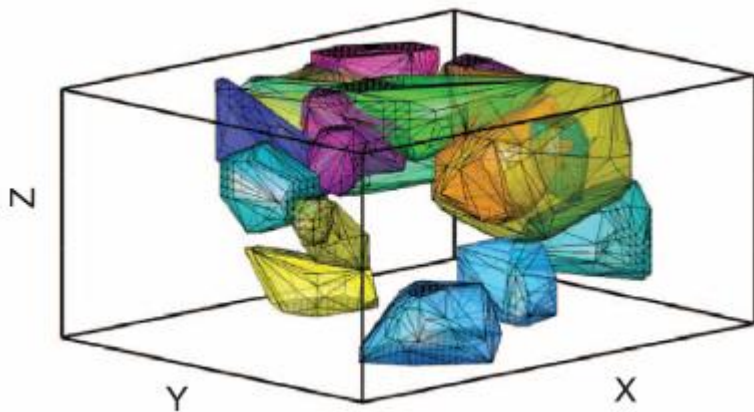
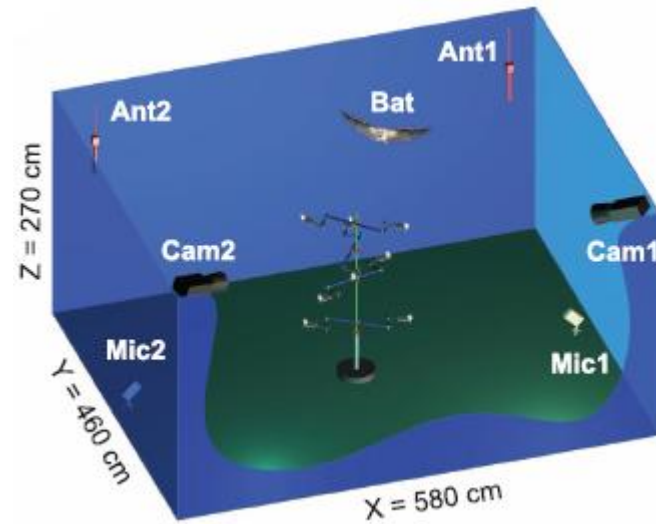


Moser & Moser

John O'Keefe



# Místové buňky u netopýrů



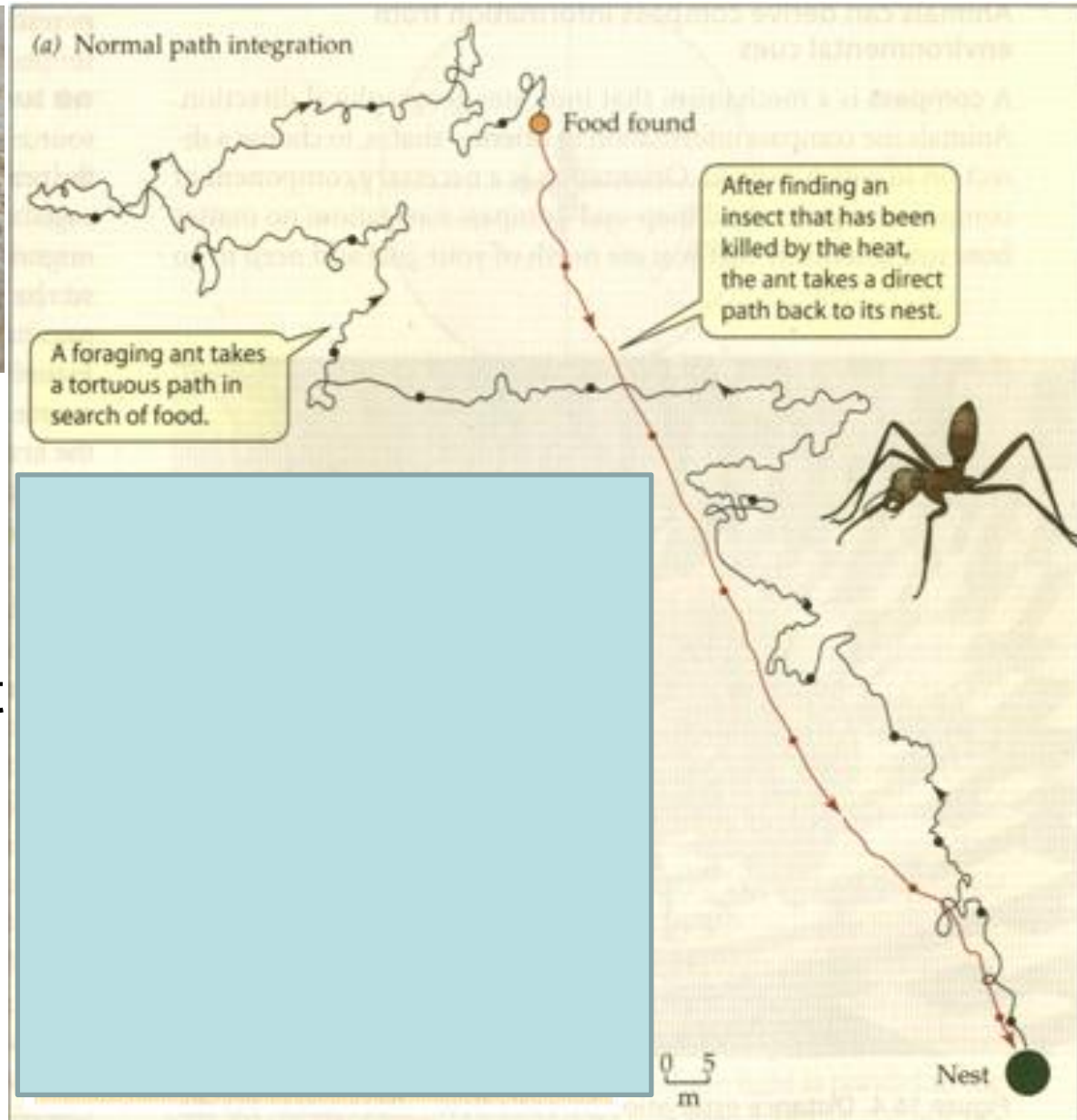


# Navigace pouštního mravence

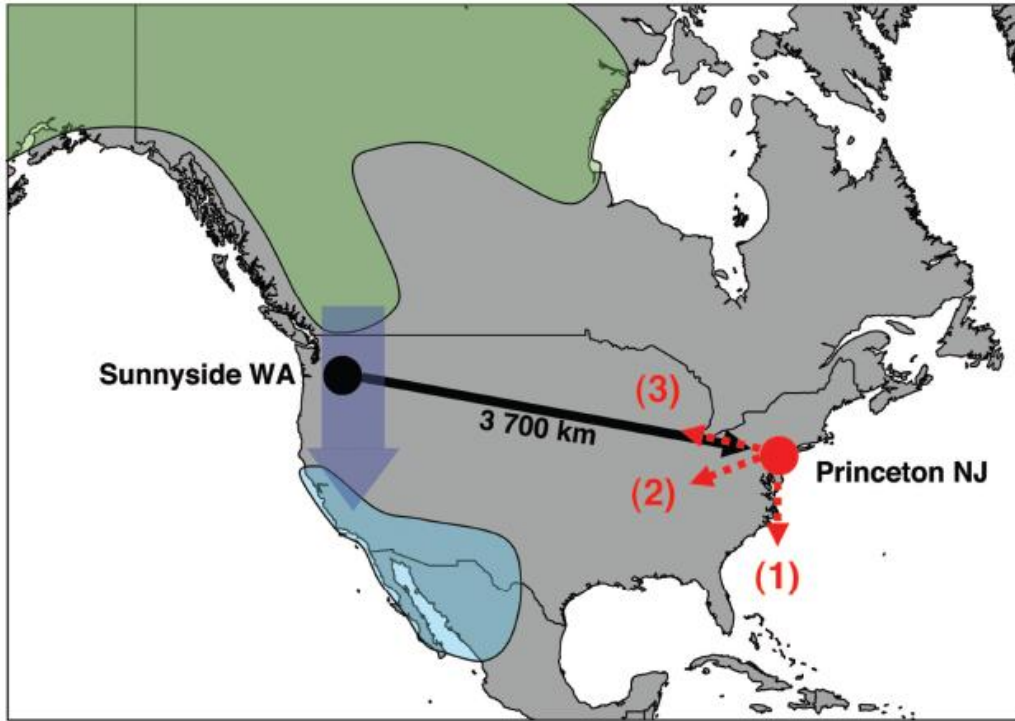


*Cataglyphis fortis*

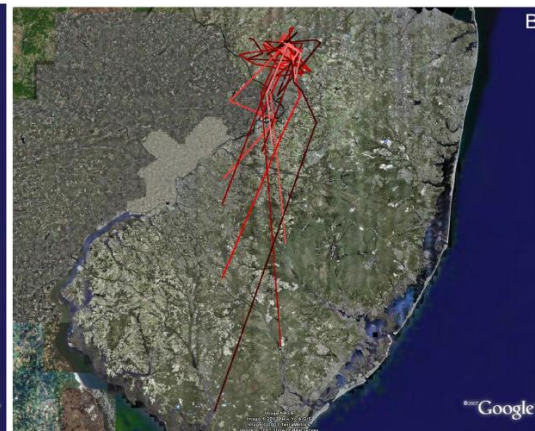
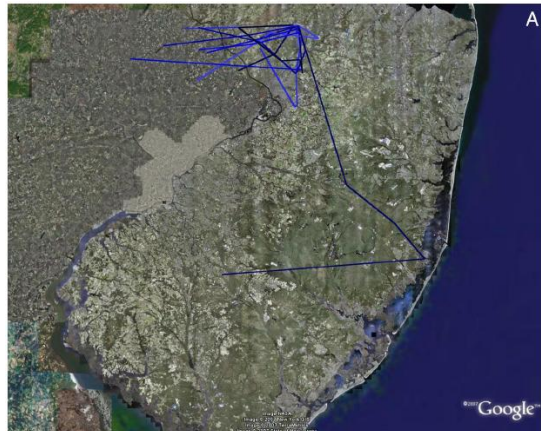
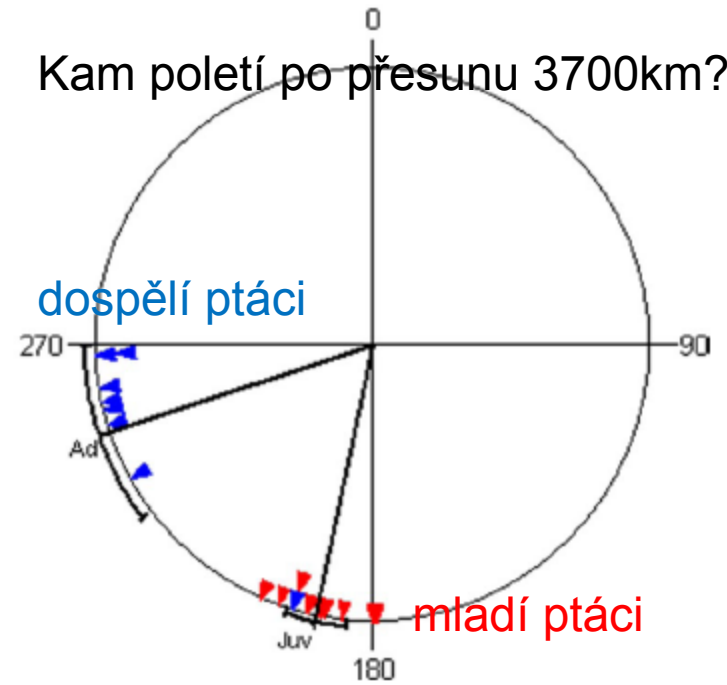
- po cestě za potravou dlouhé přes 100m se vrátí přímou cestou zpět
- po přenesení se vrací stejným směrem do stejné vzdálenosti
- **integrace dráhy**



# Kognitivní mapa u migrujících ptáků



Kam poletí po přesunu 3700km?



strnavec  
bělokorunkatý

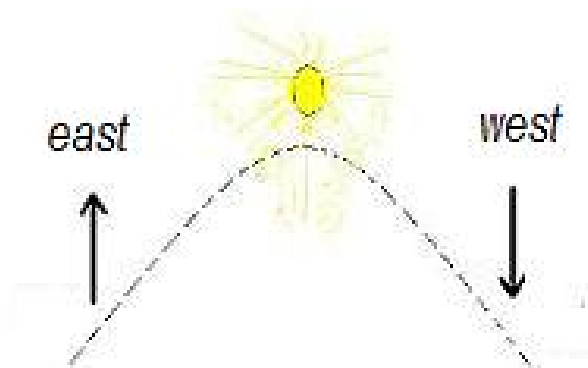


0.5-g radio  
transmitter

# Podle jakých vodítek si vytváří mapu?



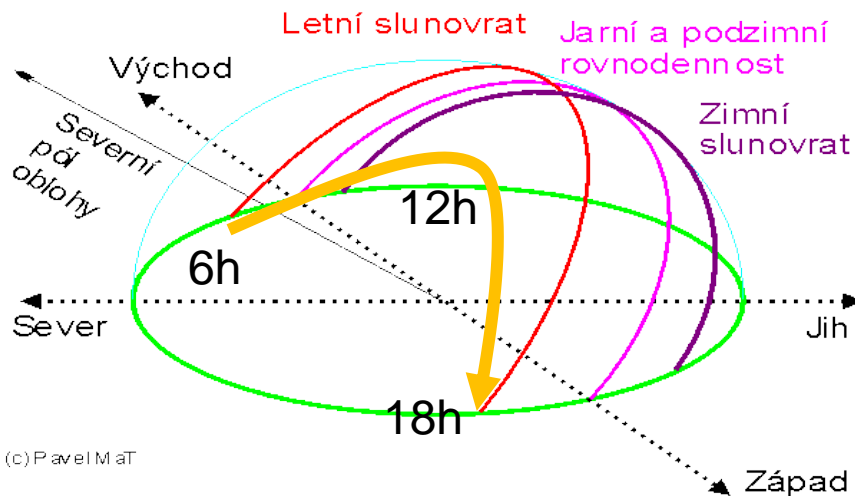
# Navigace pomocí slunce



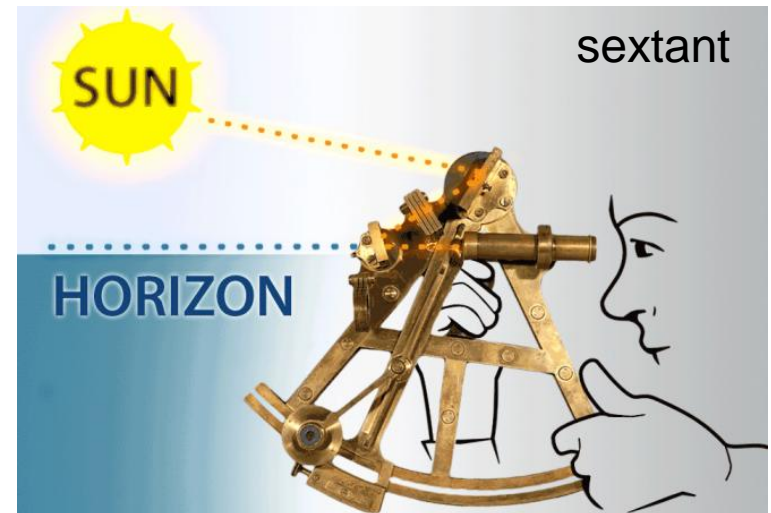
Zdánlivý pohyb Slunce na obloze



*northern hemisphere*

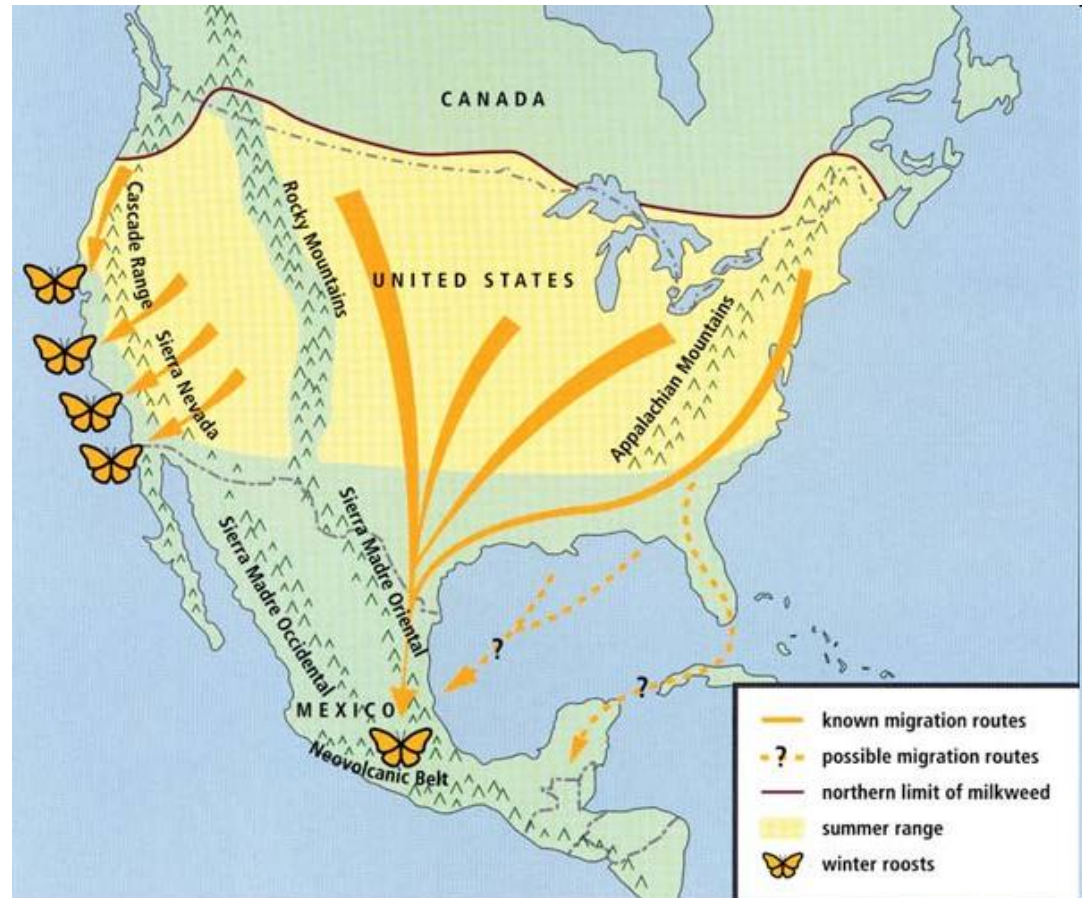


(c) Pavel Mař



Určení pozice pomocí slunce

# Migrace motýlů monarchů

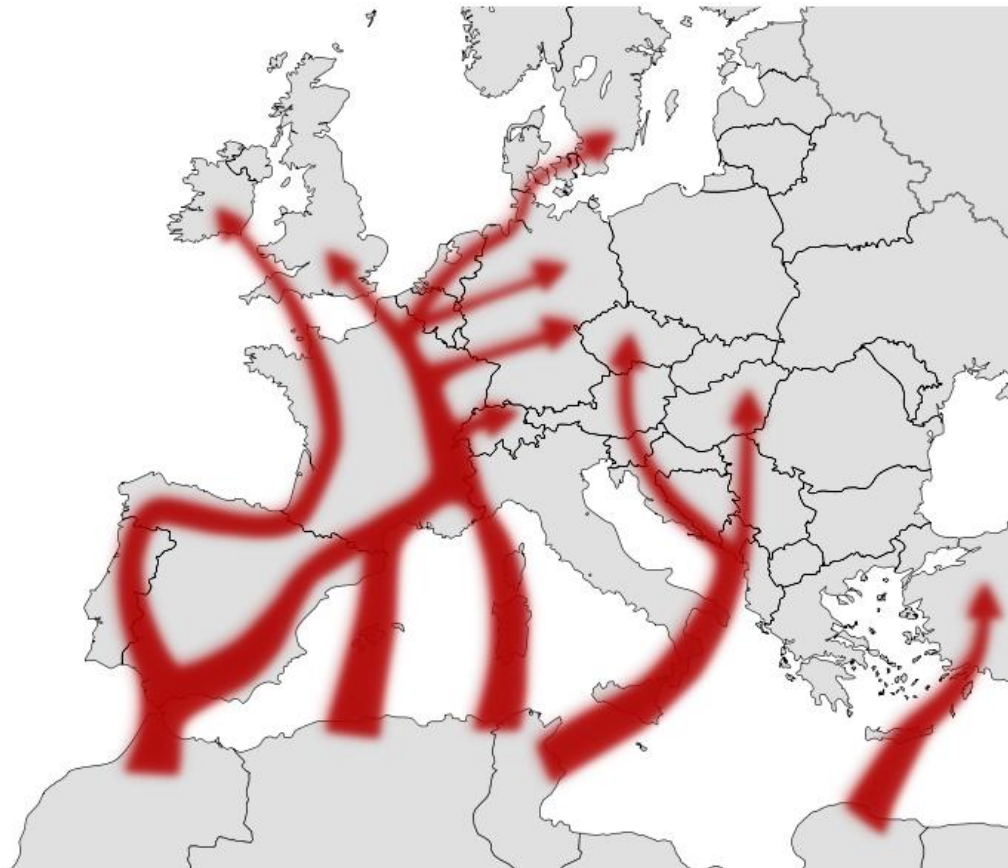


*Danaus plexippus*

# Migrace evropských motýlů



Babočka bodláková



# Orientace monarchů



Figure 1

- Motýli monarchové používají k orientaci kombinaci pozice slunce a denní doby

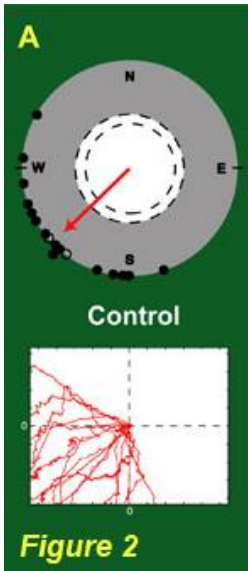
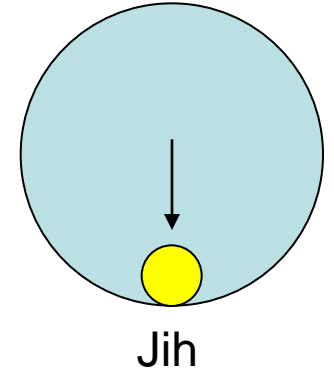
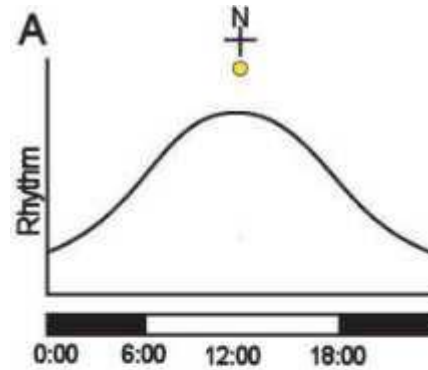
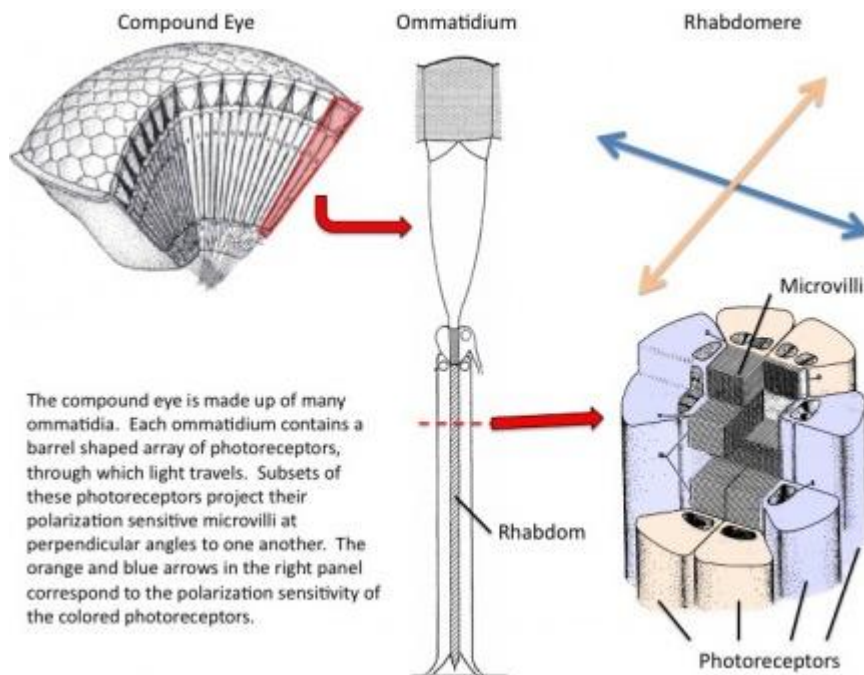
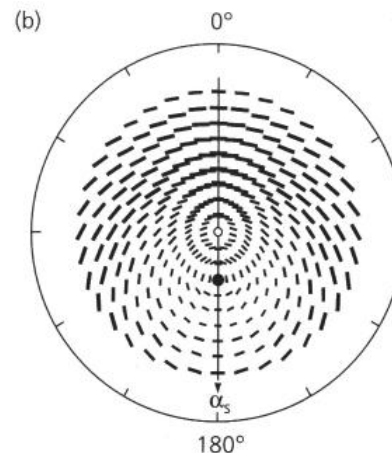
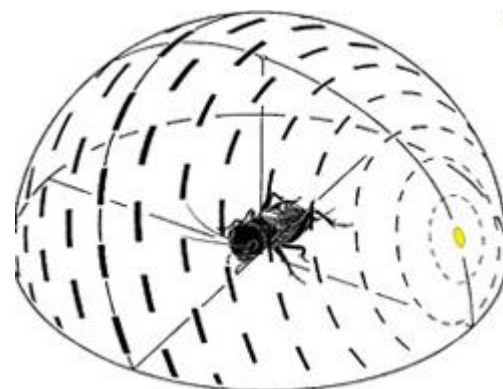
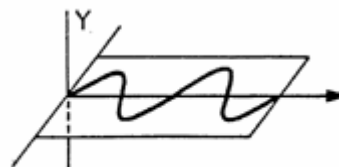


Figure 2

# Polarizované světlo

- Polarizované světlo vzniká ze slunečního světla odrazem, například na kapkách vody rozptýlené ve vzduchu

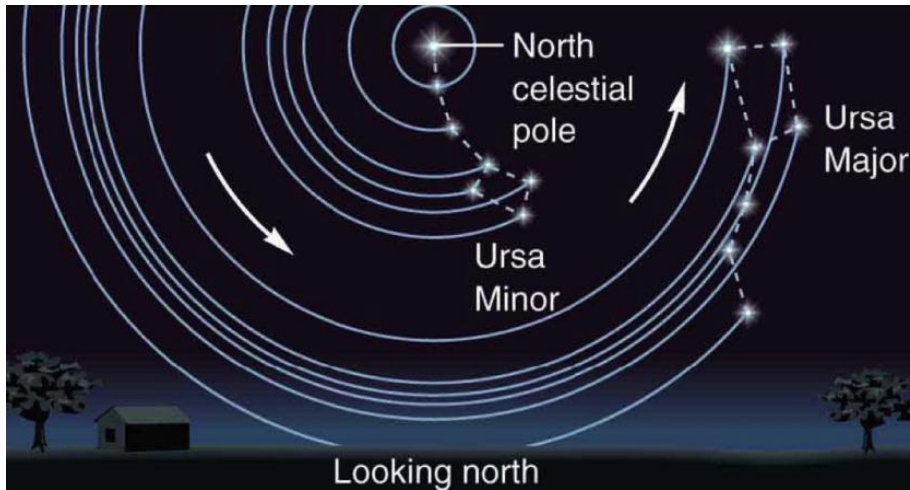


The compound eye is made up of many ommatidia. Each ommatidium contains a barrel shaped array of photoreceptors, through which light travels. Subsets of these photoreceptors project their polarization sensitive microvilli at perpendicular angles to one another. The orange and blue arrows in the right panel correspond to the polarization sensitivity of the colored photoreceptors.

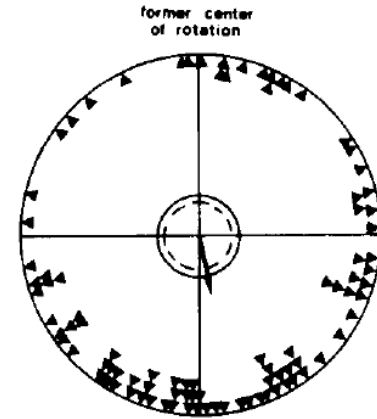
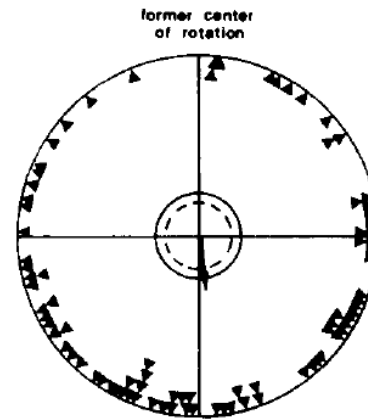
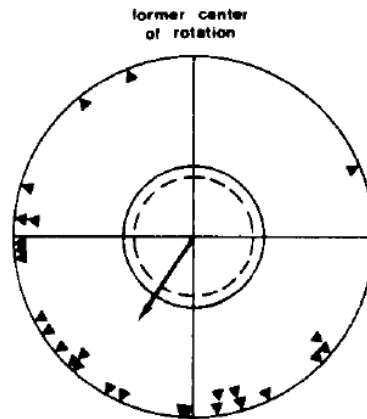


# Navigace pomocí hvězd

Polárka



pěnice slavíková



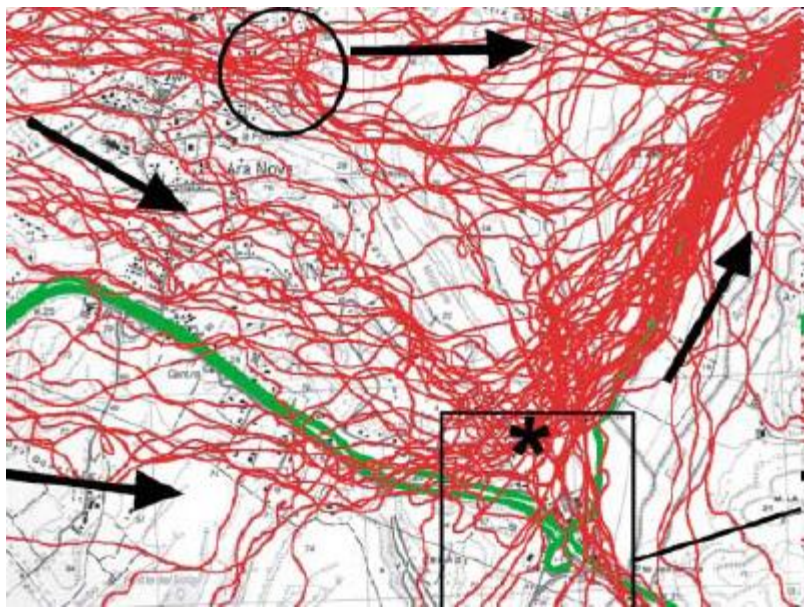
# Jak se ptáci orientují?

- Emlenův trychtýř

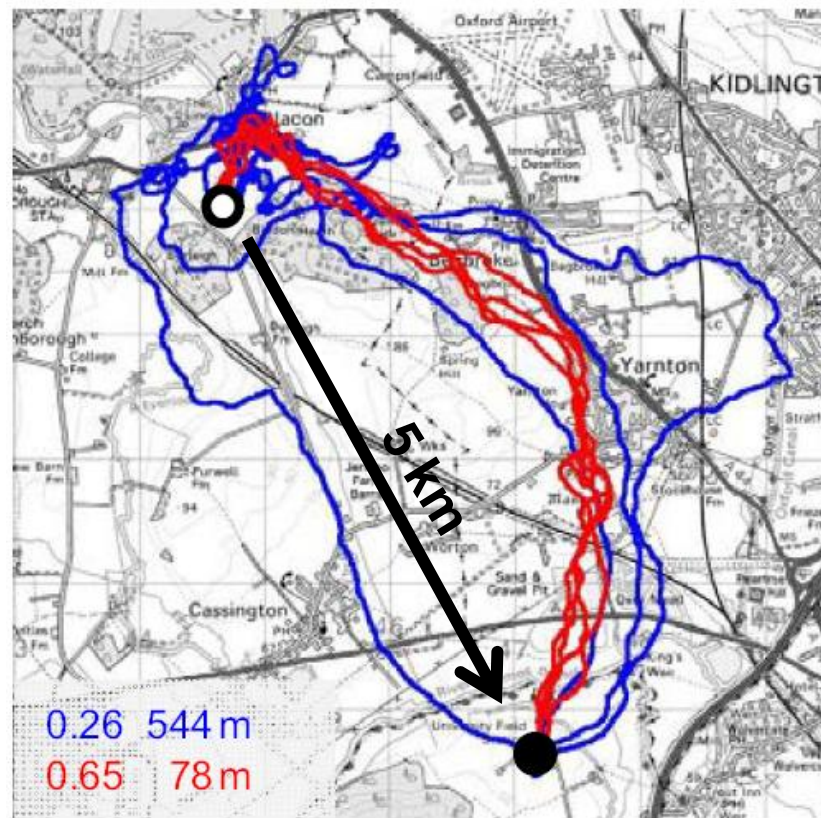


jespák klínoocasý

# Vizuální navigace



Poštovní holub



Návraty na holubník

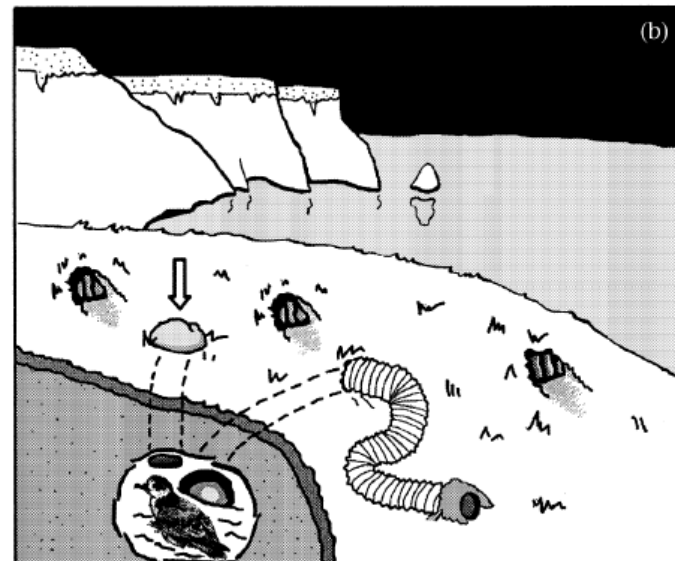
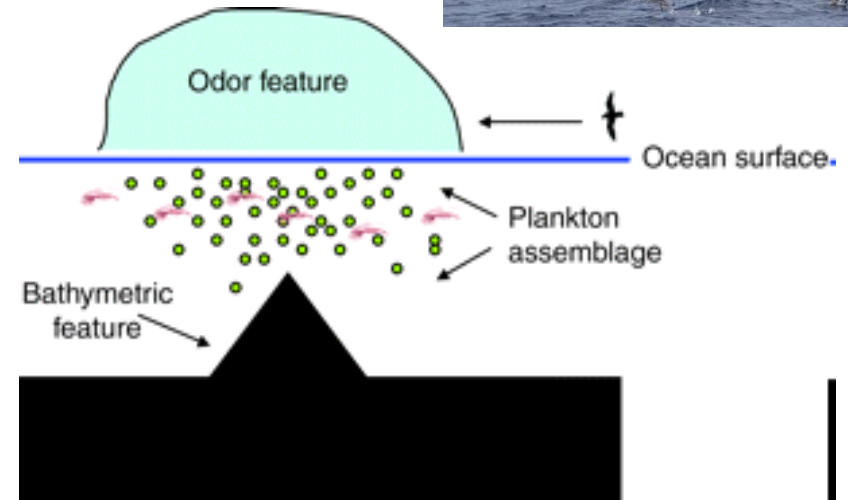
První čtyři

Poslední čtyři

# Role čichu



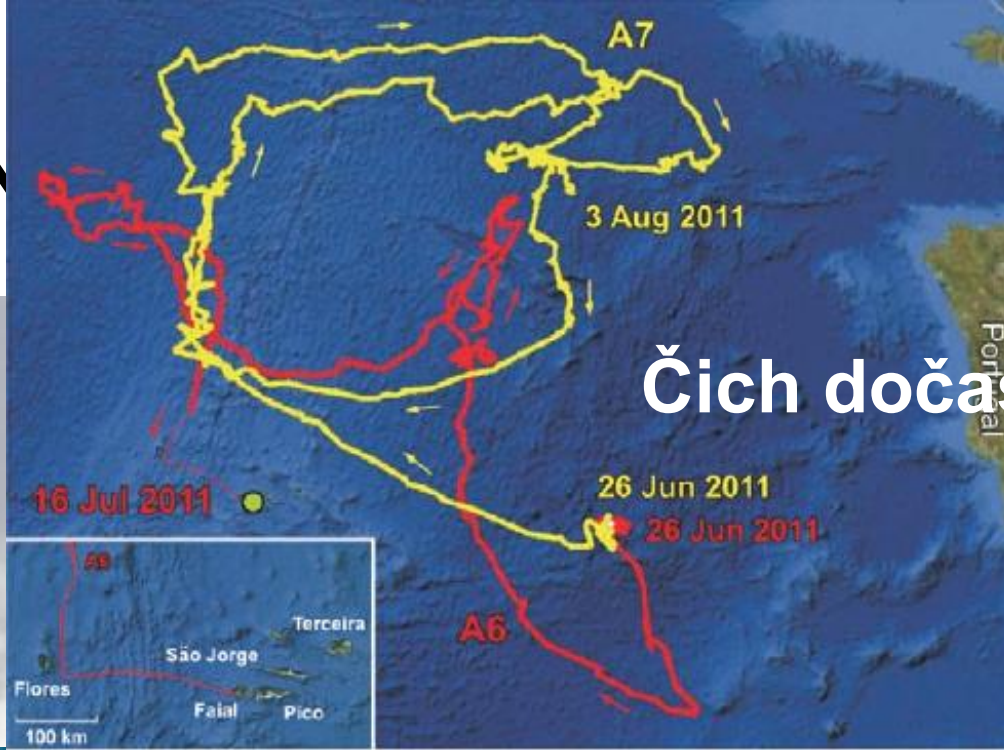
- uvažuje se o roli čichu u holubů při navigaci na krátkou vzdálenost
  - experimentální vyřazení čichu – zhoršení hledání holubníku
- Prokázána byla u buřňáků, kterým oblak dimethyl sulfidu pomáhá najít plankton a ryby



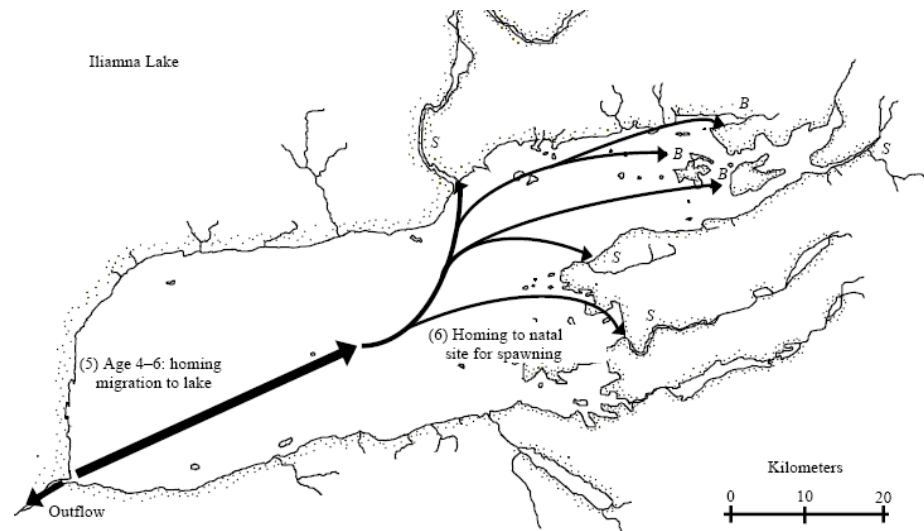
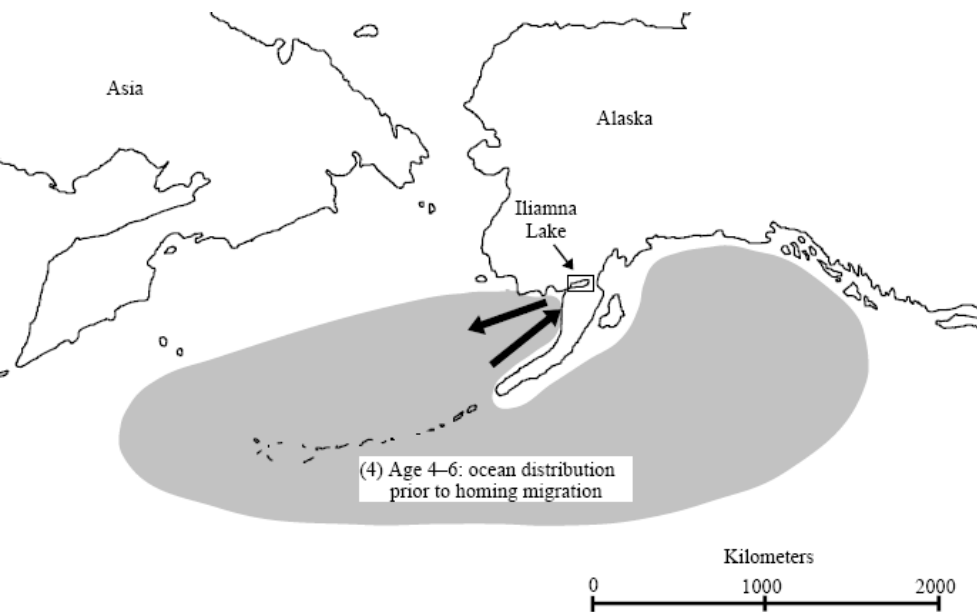
M

# hnízdiště

## Čich dočasně vyřazen



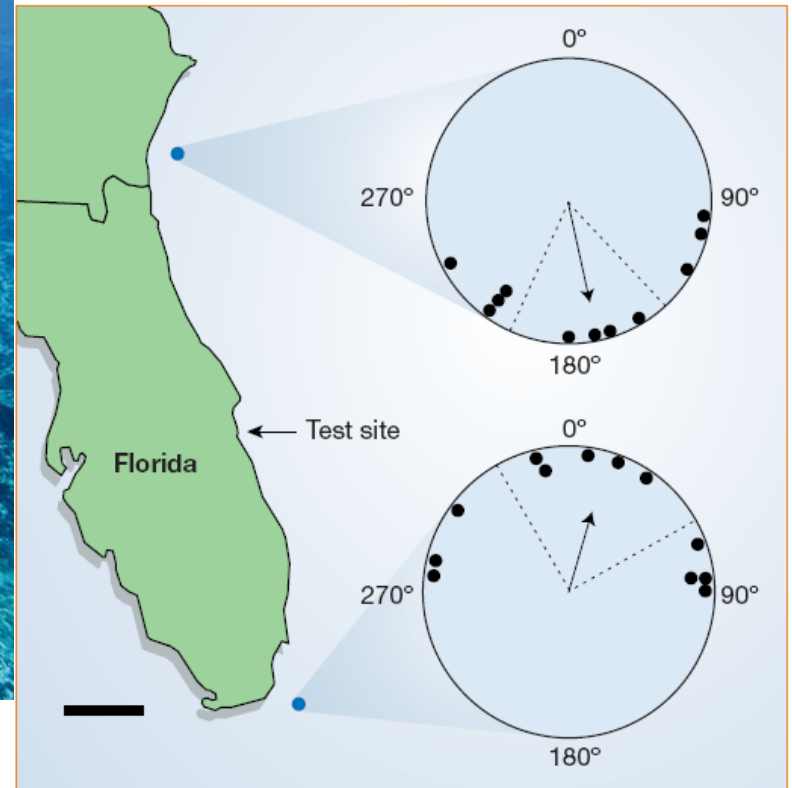
# Navigace číchem u lososů



Losos nerka

# Magnetická orientace v moři

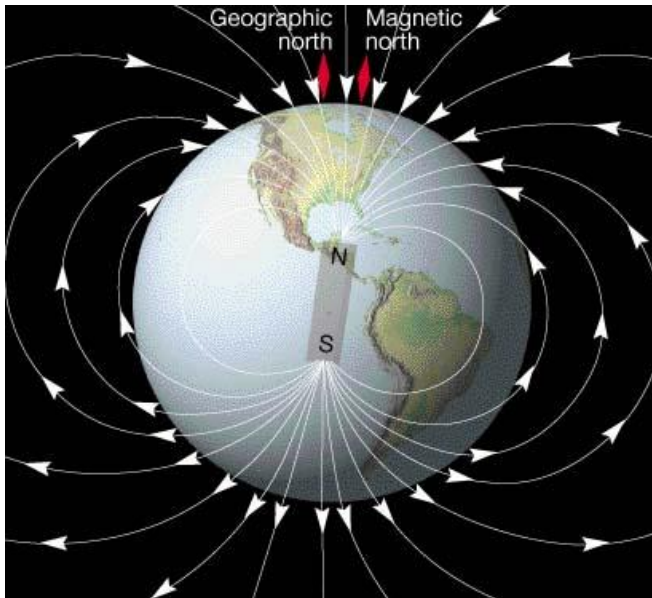
- Mořská želva **kareta pravá**
- V bazénku simulace magnetického pole na severu a jihu Floridy
- Dokázali bychom to s běžným kompasem?



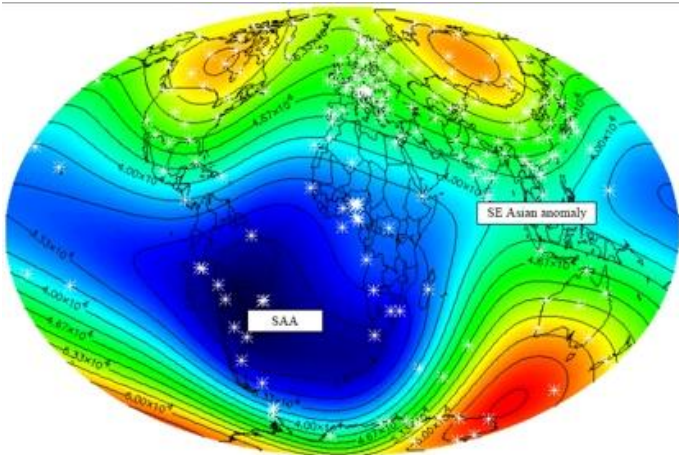
Lohmann et al 2007

Florida, USA

# Magnetopercepce



- Složky magnetického pole
  - Deklinace
  - Inklinace
  - Intenzita
- Dva druhy kompasu
  - polaritní
    - deklinace
    - horizontální složka
    - k severu vs. k jihu
  - Inkliniční
    - inklinace
    - svislý náklon siločar
    - k pólu vs. k rovníku





# Magnetická orientace a zrak

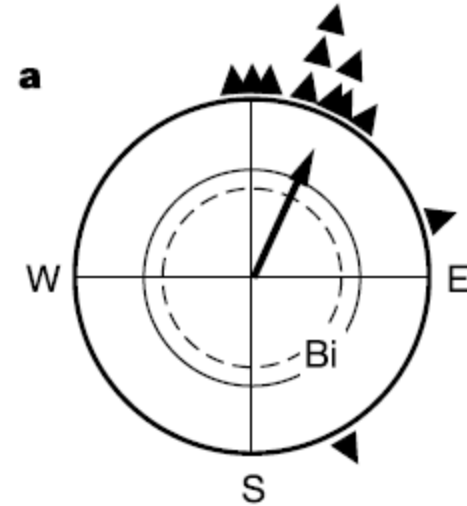
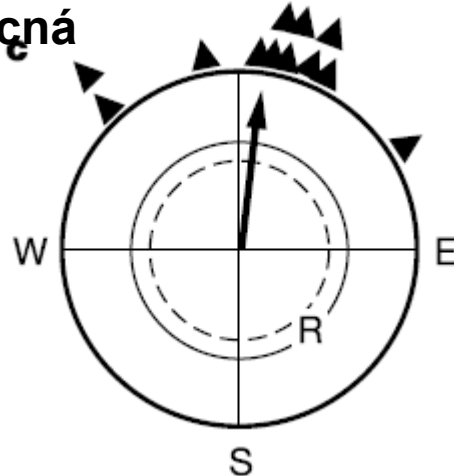
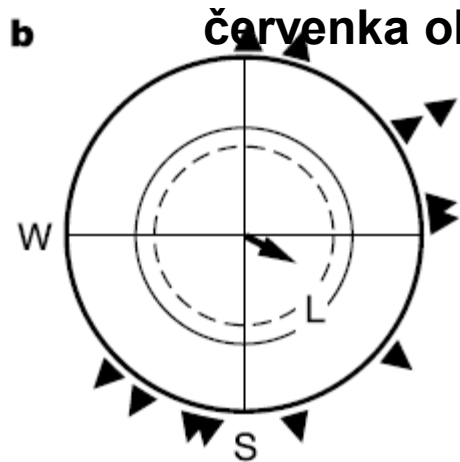
[www.naturfoto.cz](http://www.naturfoto.cz)



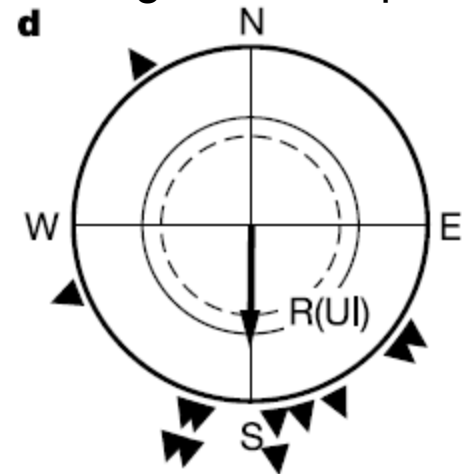
Zakryté levé oko

Zakryté pravé oko

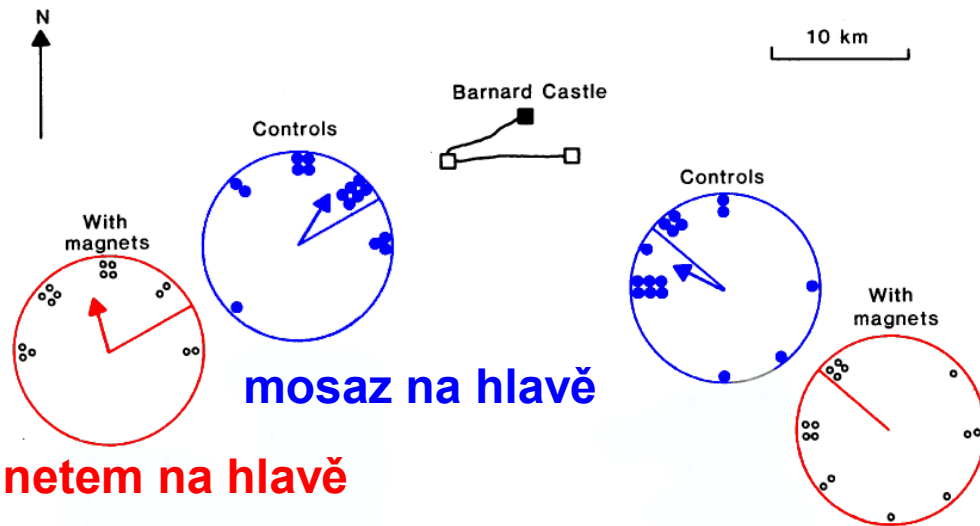
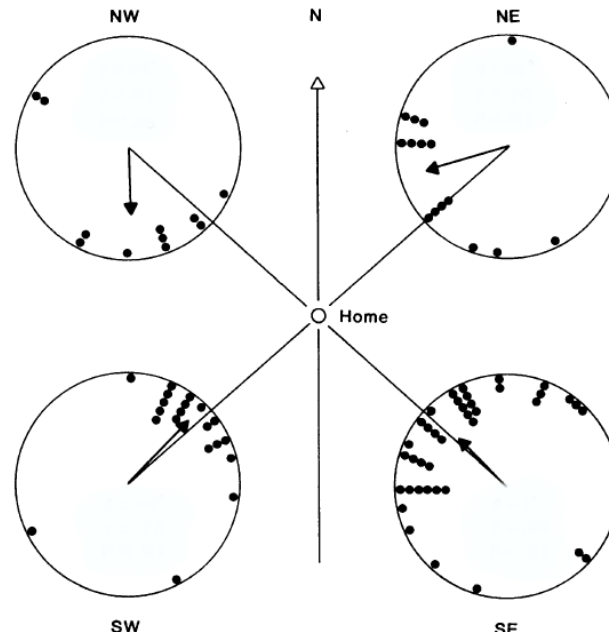
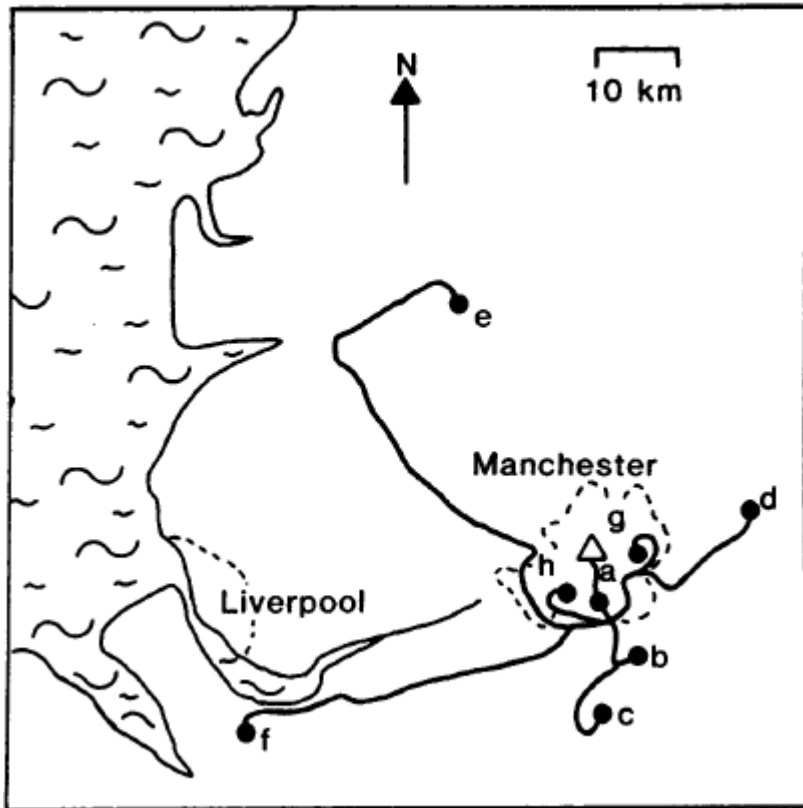
červenka obecná



Převrácený směr magnetického pole



# Magnetická orientace u lidí



Baker 1980

s magnetem na hlavě

Děkuji za pozornost