

# SPOLEČENSTVO

## STRUKTURÁLNÍ ZNAKY ZOOCENÓZ

### Biologická diverzita = biodiverzita

#### Co je to biodiverzita ?

**Biodiverzita (druhová rozmanitost)** = strukturně kvantitativní vlastnost každého společenstva a znamená poměr počtu druhů k počtu jedinců. K vyjádření tohoto poměru se používá různých indexů (např. Shannonův index).

Biodiverzitu lze chápat na několika úrovních:

- **druhová diverzita (*species diversity*)** = počet druhů v daném prostředí
- **genetická diverzita (*genetic diversity*)** = genetická diverzita uvnitř daného druhu
- **ekologická diverzita (*ecological diversity*)** = počet různých ekosystémů v daném prostředí

Samotný pojem druhové diverzity vymezil Whittaker (1972) pomocí následujících tří kategorií:

- **$\alpha$ -diverzita** = počet druhů ve společenstvu, nebo vymezené části habitatu
- **$\beta$ -diverzita** = je chápána jako způsob změny diverzity mezi jednotlivými habitaty
- **$\gamma$ -diverzita** = celkový počet druhů v regionu, neboli kombinace mezi  $\alpha$  a  $\beta$  diverzitou

## Analýza diverzity spoločenstiev

### **$\alpha$ diverzita**

- 2 prístupy, založené empiricky (s biologickou interpretáciou) alebo matematicky

1. **indexy diverzity** – počet druhov, dominancia, vyrovnanosť spoločenstva
2. **species abundance modely** – popis teoretických rozložení abundancií druhov v spoločenstve

### **Indexy diverzity (Magurran, 1983)**

1. založené na počtu druhov, závislé na počtu druhov vo vzorku
2. založené na pomere početnosti druhov (počet aj početnosť druhov)
3. Q štatistika – tvar krivky abundancie kumulatívneho počtu druhov

## **1. Indexy založené na počtu druhov**

1.1 počet druhov v spoločenstve „species richness“

1.2 MARGALEFOV INDEX (Cliphord & Stephenson, 1975)

$$D_{Mg} = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

S – počet zaznamenaných druhov

N – celkový počet jedincov

1.3 MENHINICKOV INDEX (Whittaker, 1977)

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

## **2. Indexy založené na pomere početnosti druhov**

- neparametrické indexy – nemajú predpoklad o modelovej četnosti druhov

2. 1 indexy vychádzajúce z informačnej teórie (Shannonov a Brillouinov index)

2. 2 indexy dominancie

## 2. 1. 1 SHANNONOV INDEX (Pielou, 1975)

- náhodný výber jedincov z teoreticky neobmedzeného množstva a prítomnosť všetkých druhov spoločenstva vo vzorku
- popisuje známu aj nevzorkovanú časť spoločenstva
- hodnoty 1.5-4.5

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

$$H' = -\sum p_i \ln p_i - \frac{S-1}{N} + \frac{1 - \sum p_i^{-1}}{12N^2} + \frac{\sum (p_i^{-1} - p_i^{-2})}{12N^3}$$

S – celkový počet druhov

$n_i$  – počet jedincov  $i$ -tého druhu

N – celkový počet jedincov

### Variabilita Shannonovho indexu

$$VarH' = \frac{\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2}{N} + \frac{S-1}{2N^2}$$

### T-test (Hutcheson, 1970)

$$t = \frac{H_1' - H_2'}{\sqrt{\frac{1}{2} (VarH_1' + VarH_2')}}}$$

stupne voľnosti

$$df = \frac{(\text{Var}H_1 + \text{Var}H_2)^2}{\frac{(\text{Var}H_1)^2}{N_1} + \frac{(\text{Var}H_2)^2}{N_2}}$$

Evenness Shannonovho indexu – vyrovnanosť (ekvitabilita)

- pomerná hodnota diverzity vyčerpaná daným spoločenstvom  
k spoločenstvu so zhodnou početnosťou druhov

$$E = \frac{H'}{H_{\max}} = \frac{H'}{\ln S}$$

2. 1. 2 BRILLOUIN INDEX (Pielou, 1969, 1975)

- nie je možné zistiť náhodnosť vzorkovania  
- popisuje iba vzorkovanú časť spoločenstva

$$HB = \frac{\ln N! - \sum \ln n_i!}{N}$$

$n_i$  – počet jedincov  $i$ -tého druhu

$N$  – celkový počet jedincov

## 2. 2 Indexy dominancie

- najdôležitejší ukazateľ: početnosť najbežnejšieho druhu

### 2.2.1 SIMPSONOV INDEX (Simpson, 1949)

- silne závislý na najpočetnejšom druhu, menej citlivý k vzácnym druhom

$$E = 1-D$$

$$D = \sum \left( \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right)$$

$n_i$  – počet jedincov  $i$ -tého druhu

$N$  – celkový počet jedincov

### 2.2.2 BERGER-PARKEROV INDEX (Berger & Parker, 1970, May, 1975)

- nezávislý na počte druhov, ovplyvnený veľkosťou vzorku

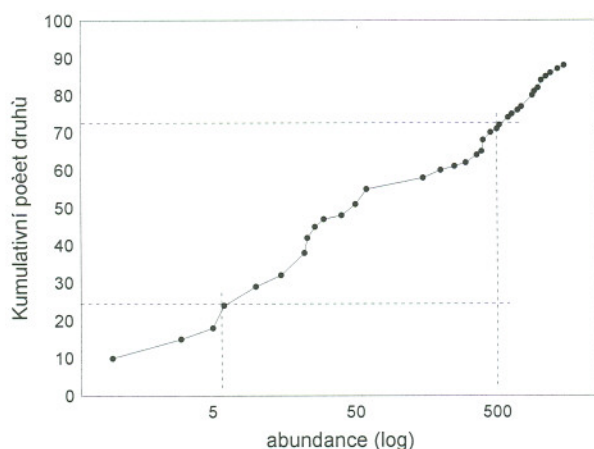
$$d = \frac{N_{\max}}{N}$$

$N_{\max}$  - počet jedincov najpočetnejšieho druhu

$N$  – celkový počet jedincov

### 3. Q štatistika

- meranie krivky abundancie kumulatívneho počtu druhov
- vo vzorku > 50% druhov → malý vplyv veľkosti vzorku
- **Q statistic interquartil** - pôvodná forma: meranie medzikvartilového úseku krivky početnosti kumulatívneho počtu druhov (Kempton and Tailor, 1976, 1978)



$\Sigma n_r$  – celkový počet druhov medzi kvartilmi

S – celkový počet druhov vo vzorku

R1 a R2 – 25% a 75% kvartil

$n_{R1}$  – počet druhov v triede, do ktorej spadá dolný kvartil

$n_{R2}$  – počet druhov v triede, do ktorej spadá horný kvartil

R1 – počet jedincov v triede, do ktorej spadá dolný kvartil

R2 – počet jedincov v triede, do ktorej spadá horný kvartil

$$Q = \frac{\frac{1}{2}n_{R1} + \sum_{R1+1}^{R2-1} n_r + \frac{1}{2}n_{R2}}{\log\left(\frac{R2}{R1}\right)}$$

Výpočet kvartilov

$$\sum_1^{R2-1} n_r < \frac{3}{4}S \leq \sum_1^{R2} n_r$$

$$\sum_1^{R1-1} n_r < \frac{1}{4}S \leq \sum_1^{R1} n_r$$

**Q statistic stochastická** - nová forma: simulácia všetkých možných podspoločenstiev daného spoločenstva (Dušek et al. 1998)

Pre všetky páry  $S_j$  a  $S_{j'}$  a  $N_j$  a  $N_{j'}$  ( $j > j'$ ,  $j=1,2, \dots, r$ )

$S$  – kumulatívny počet druhov

$N$  – počet jedincov v triede

$r$  – počet tried

( $i=1,2, \dots, r(r-1)/2$ )

$$X_i = \frac{S_j - S_{j'}}{\log\left(\frac{N_j}{N_{j'}}\right)}$$



Postup:

1. výpočet parametrov modelu
2. testovanie súladu modelu s týmito datami:

### 2.1 pre deterministické modely:

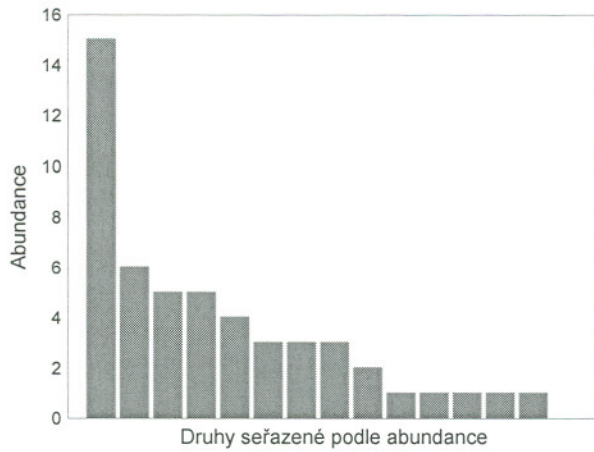
- $\chi^2$  test dobrej zhody – pre veľké spoločenstvá
- Kolmogorov Smirnov test – menšia použiteľnosť, malé spoločenstvá,
- Hellingerova vzdialenosť  $D_{ab}^2 = \sum [\sqrt{P_a(i)} - \sqrt{P_b(i)}]^2$  - kde  $P_a(i)$  a  $P_b(i)$  sú abundancie triedy  $i$  vo vzorku  $a$  (pozorovanie) a  $b$  (teória) (napr. u geometrickej rady, log-normálneho rozloženia, broken stick modelu)

### 2.2 pre stochastické modely

- Test podľa Tokeshiho (1990) – porovnáva simulovaného hodnoty s pozorovaným priemerom (pre triedu s najvyššou abundanciou až triedu s najnižšou abundanciou, kde  $S$  počet druhov)
- Monte Carlo metóda (Manly 1990) – vygeneruje teoretické rozloženie priemerov a odchyliiek pre každú triedu daného modelu

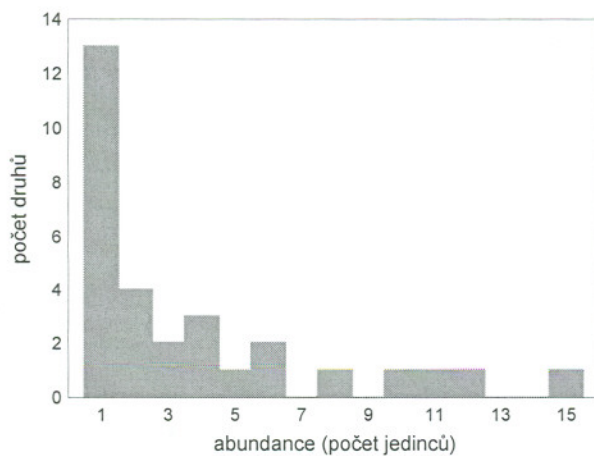
## Zobrazenie priemeru abundancií v spoločenstve

### Rank abundance plot



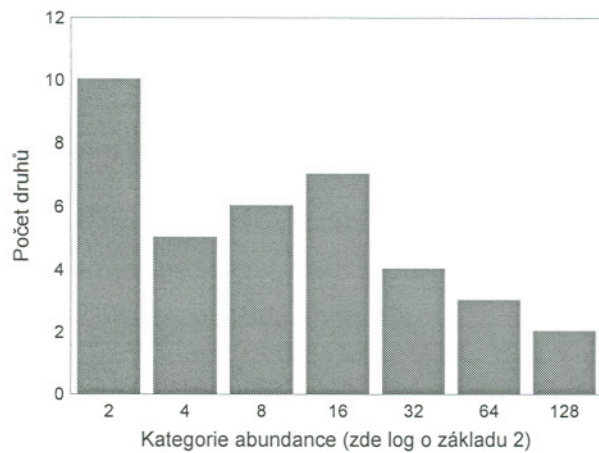
### Abundancia taxónov zoradená podľa ich početnosti

### Graf abundancie druhov



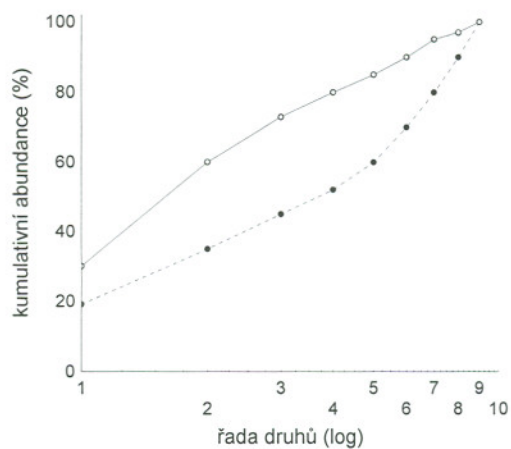
### Počet druhov príslušiacich danej hodnote abundancie

## Graf kategórií abundancie



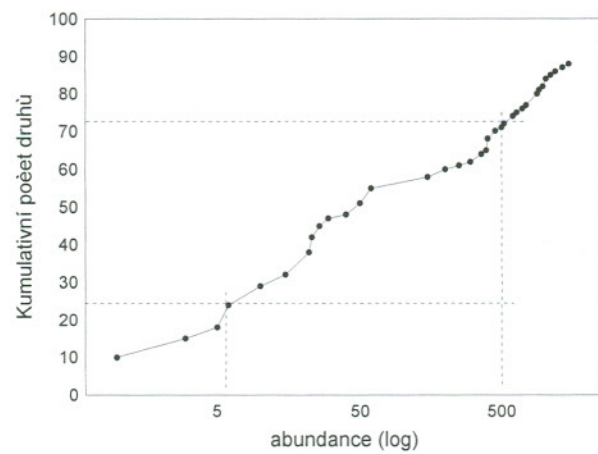
v prípade veľkého rozsahu hodnot abundancií je možné logaritmovať osu x alebo agregovať abundanciu do tried

## K-dominance plot



logaritmovaná rada druhov zoradených podľa abundancie proti ich kumulatívnej relatívnej abundancii

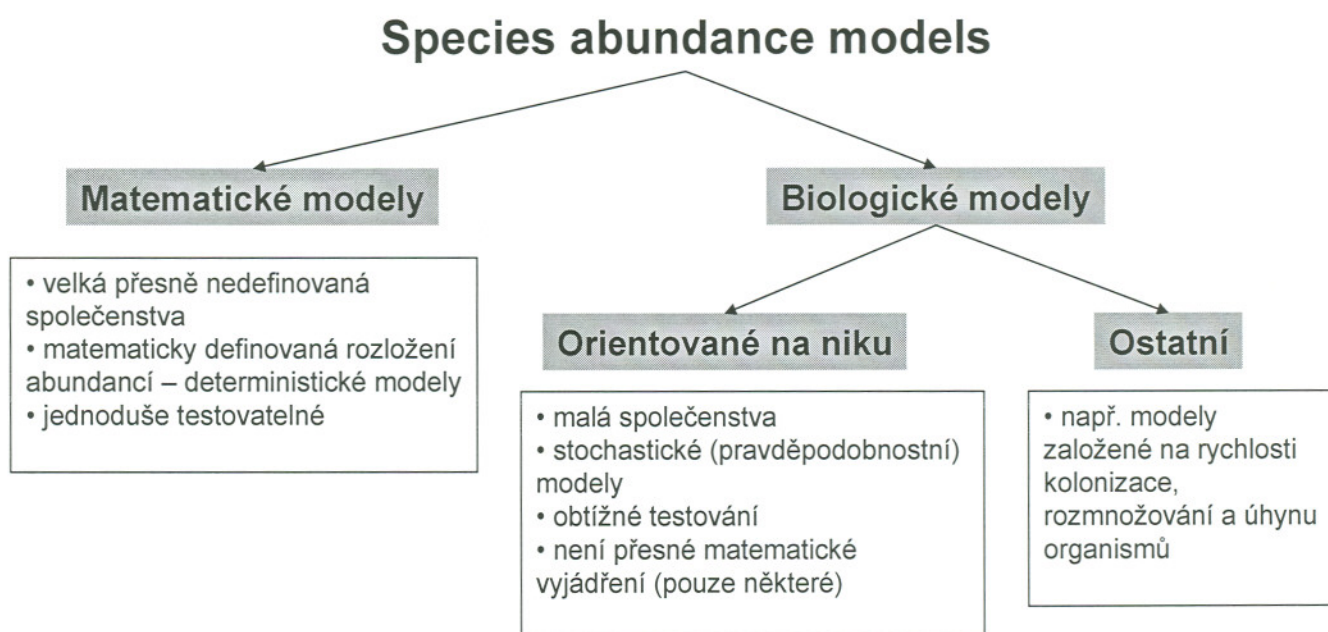
## Graf kumulatívneho počtu druhov



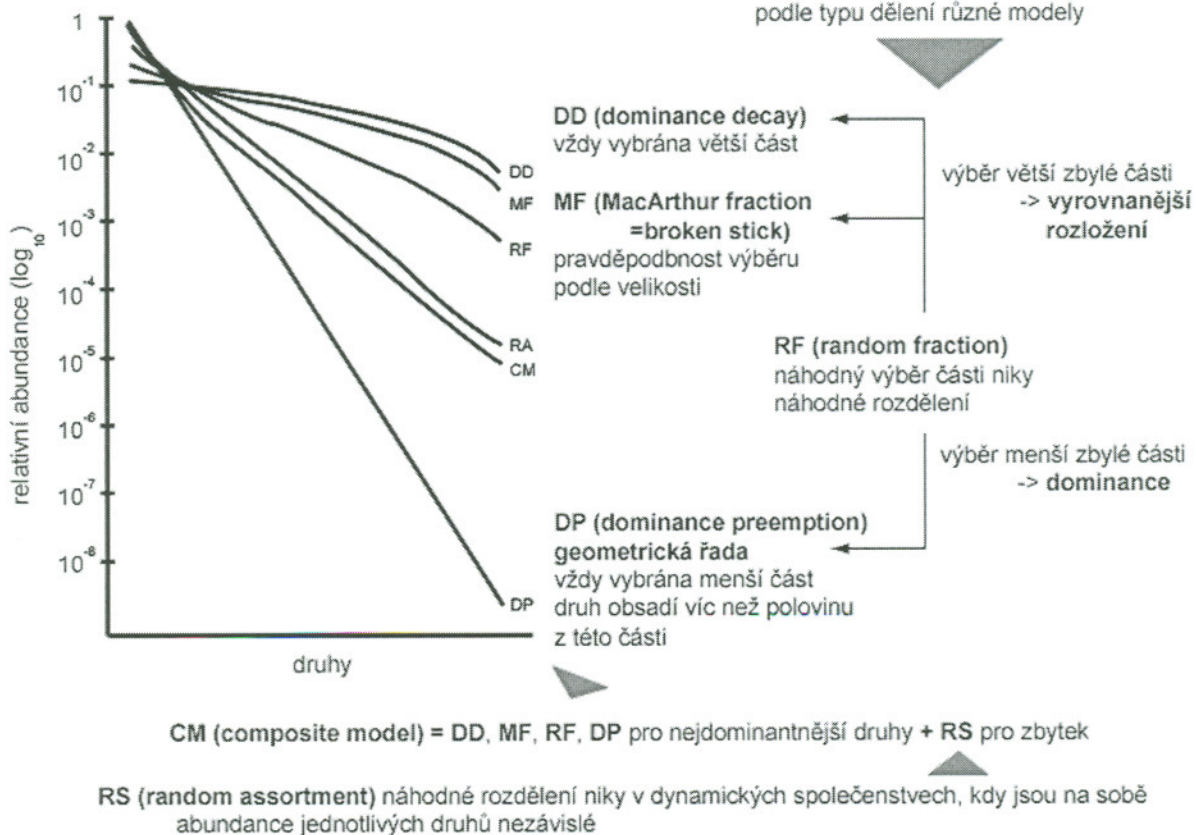
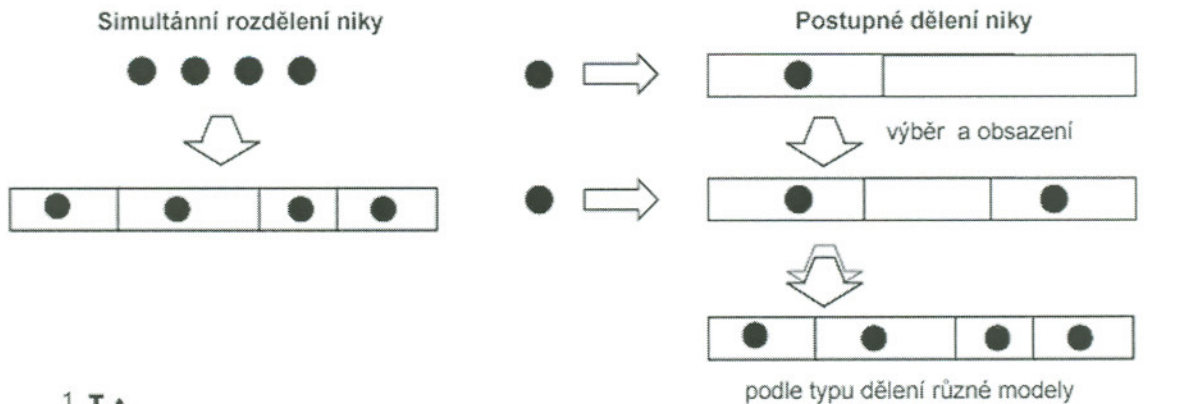
kumulatívny počet druhov proti ose ich zlogaritmovanej abundancie

## Modely rozloženia abundancie

- species abundance modely=modely rozloženia abundancie taxonov
- kategorizácia spoločenstiev podľa typizovaných priebehov kriviek abundancií (priradenie krivky k určitému modelu a biologická interpretácia)

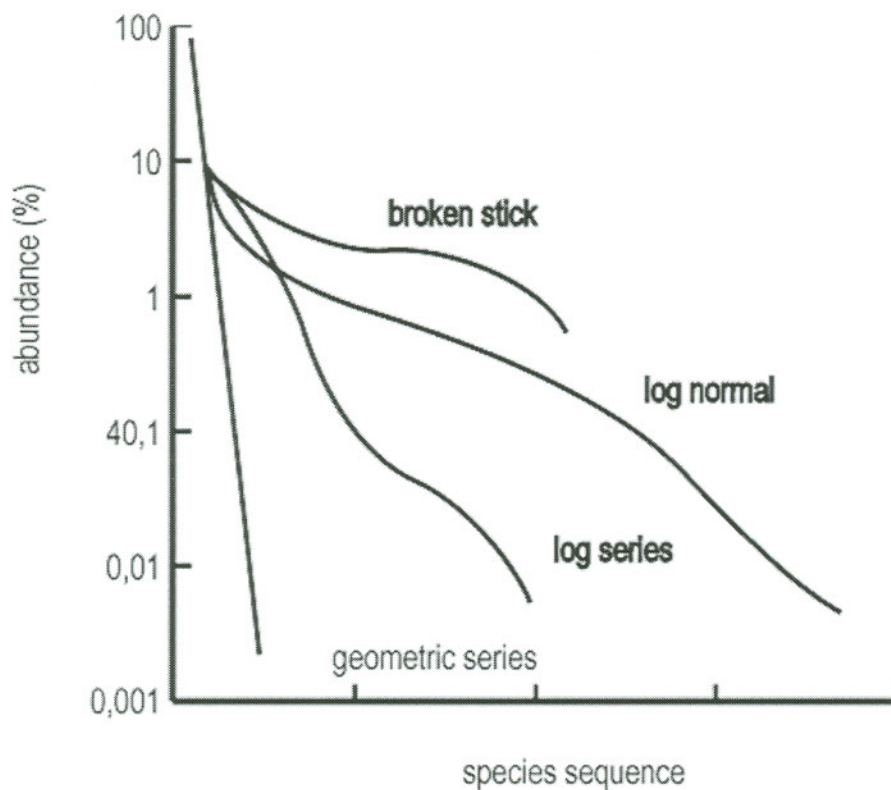


# Základná koncepcia a vlastnosti na niku orientovaných modelov (podľa Tokeshi 1993, 1999)



## Matematické modely

- odvodené od obecných matematických rozložení, existuje pre ne postup výpočtu parametrov rozloženia
- veľké spoločenstvá a obecné zákonitosti
- sú spojené s interakciami, ale ich platnosť není všeobecne prijímaná



Geometrická rada – zhodný s na niku orientovaným modelom  
geometrickej rady

Logaritmickej rada – pokles abundancie medzi jednotlivými druhmi  
pomalejší ako u geometrickej rady

Log – normálne rozloženie – častý jav v biológii, vzniká v dôsledku  
pôsobenia veľkého počtu faktorov na premennú (abundanciu taxónov)

Broken – stick - zhodný s na niku orientovaným modelom

## Zipf-Mandelbrotove modely (Mandelbrot, 1982)

Zipov zákon – poradie slov podľa frekvencie ich výskytu

V ekológii – proces sukcesie, v ktorom pozdní kolonizátori majú viac špecifické požiadavky a sú vzácnejší než druhy, ktoré obsadili priestor prvé

## **Markovove reťazce**

- zložitejší prístup pri hodnotení spoločenstiev
- popisujú systémy, ktoré sú definované svojimi stavmi, ktoré nastávajú v rôznom čase ( $a_1, a_2 \dots a_n$ ), medzi stavmi existuje pravdepodobnosť prechodu
- modelovanie stavu spoločenstiev

$$P = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{matrix} \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix}$$

$P_{m,n}$  je pravdepodobnosť prechodu ze stavu  $a_m$  do stavu  $a_n$  v jednom časovom kroku systému



Základom je väčšinou **asociačná matica**

Asociačná matica medzi objektami – **Q analýza (Q-mode studies)**

Asociačná matica medzi popisnými premennými – **R analýza (R-mode studies)**

**Asociácia** – obecný termín pre akúkoľvek mieru alebo koeficient, ktorý kvantifikuje podobnosť alebo rozdiel medzi objektami alebo popisnými premennými

R-mode – **koeficienty závislosti** (0 = bez asociácie)

Q-mode – **koeficienty podobnosti** (similarity coefficients)

**koeficienty vzdialenosti** (distance coefficients)

Similarity coefficients: maximum - 2 objekty identické, minimum – 2 objekty sú úplne odlišné

Distance coefficients: opačný vzťah

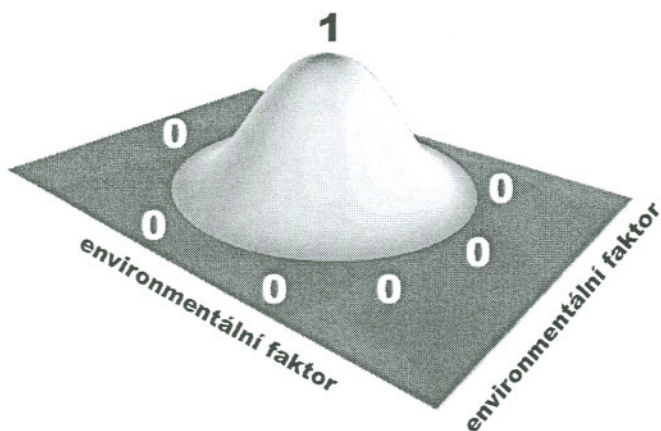
Koeficienty – **prezencia-absencia data**

- **abundancia**

## Teoretické problémy spojené s analýzou podobnosti spoločností

Double – zero problém

V prípade dat prezencia/absencia alebo absencia/abundancia



## Binárne koeficienty podobnosti

		Objekt $x_2$		
		1	0	
Objekt $x_1$	1	a	b	a+b
	0	c	d	c+d
		a+c	b+d	

$a$  - počet deskriptorov, ktoré nadobúdajú pre oba objekty hodnoty 1,  $d$  je počet deskriptorov, ktoré pre oba objekty nadobúdajú hodnoty 0,  $b$  a  $c$  jsou skupiny deskriptorov, pre ktoré nadobúdajú zhodné deskriptory rozdielne hodnoty,  $p$  je celkový počet objektov.

- z týchto parametrov sú počítané binárne indexy podobnosti

## **Koeficienty podobnosti**

Asymetrické koeficienty – hodnotia nulové hodnoty ináč ako iné hodnoty

Symetrické koeficienty – nulové hodnoty pre dva objekty sú hodnotené rovnako ako aj iné hodnoty pre páry objektov

Oba môžu byť binárne alebo kvantitavíne

Pravdepodobnostné koeficienty – založené na štatistickom odhade významnosti vzťahu medzi objektami

## Asymetrické binárne koeficienty

JACCARDOV KOEFICIENT (Jaccard 1900, 1901, 1908)

$$S(x_1, x_2) = \frac{a}{a + b + c}$$

všetky členy majú rovnakú váhu

SØRENSENŮV KOEFICIENT (Sørensen, 1948; Dice, 1945)

$$S(x_1, x_2) = \frac{2a}{2a + b + c}$$

prezencia druhu je viac informatívna ako absencia tj. dvojnásobná váha dvojitým prezenciám

$$S(x_1, x_2) = \frac{3a}{3a + b + c}$$

trojnásobná váha dvojitým prezenciám

## Kvantitatívne indexy podobnosti

### Symetrické kvantitatívne koeficienty

	Decriptors										
Object X <sub>1</sub>	9	3	7	3	4	9	5	4	0	6	
Object X <sub>2</sub>	2	3	2	1	2	9	3	2	0	6	
Agreements	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	4

$$S_1(X_1, X_2) = \text{agreements}/p = 4/10 = 0.4$$

### Asymetrické kvantitatívne koeficienty

KVANTITATIVNÍ SØRENSENŮV KOEFICIENT (Bray and Curtis, 1957)

	Species abundance					aN	bN	jN
Site X <sub>1</sub>	7	3	0	5	0	16		
Site X <sub>2</sub>	2	4	7	6	0	3	22	
Minimum	2	3	0	5	0	1		11

$$S(x_1, x_2) = \frac{2jN}{(aN + bN)}$$

aN a bN sú celkové počty jedincov na lokalite A alebo B a jN je suma vždy nižšej z abundancií druhov nájdených na lokalitách

MORISITA-HORN INDEX (Wolda, 1981)

$$S(x_1, x_2) = \frac{2 \sum (a_i b_i)}{(d_a + d_b) aN \cdot bN}$$

$aN$  je celkový počet jedinců na lokalitě A,  $a_i$  je počet jedinců druhu  $i$  na lokalitě A a  $d_a = \frac{\sum a_i^2}{aN}$ , obdobně pro lokalitu B.

Similarity	$D = 1 - S$ metric, etc.	$D = 1 - S$ Euclidean	$D = \sqrt{1 - S}$ metric	$D = \sqrt{1 - S}$ Euclidean
$S_1 = \frac{a+d}{a+b+c+d}$ (simple matching; eq. 7.1)	metric	No	Yes	Yes
$S_2 = \frac{a+d}{a+2b+2c+d}$ (Rogers & Tanimoto; eq. 7.2)	metric	No	Yes	Yes
$S_3 = \frac{2a+2d}{2a+b+c+2d}$ (eq. 7.3)	semimetric	No	Yes	No
$S_4 = \frac{a+d}{b+c}$ (eq. 7.4)	nonmetric	No	No	No
$S_5 = \frac{1}{4} \left[ \frac{a}{a+b} + \frac{a}{a+c} + \frac{d}{b+d} + \frac{d}{c+d} \right]$ (eq. 7.5)	semimetric	No	No	No
$S_6 = \frac{a+d}{\sqrt{(a+b)(a+c)} \sqrt{(b+d)(c+d)}}$ (eq. 7.6)	semimetric	No	Yes	Yes
$S_7 = \frac{a}{a+b+c}$ (Jaccard; eq. 7.10) *	metric	No	Yes	Yes
$S_8 = \frac{2a}{2a+b+c}$ (Sørensen; eq. 7.11) *	semimetric	No	Yes	Yes
$S_9 = \frac{3a}{3a+b+c}$ (eq. 7.12) *	semimetric	No	No	No
$S_{10} = \frac{a}{a+2b+2c}$ (eq. 7.13)	metric	No	Yes	Yes
$S_{11} = \frac{a}{a+b+c+d}$ (Russell & Rao; eq. 7.14)	metric	No	Yes	Yes
$S_{12} = \frac{a}{b+c}$ (Kulczynski; eq. 7.15)	nonmetric	No	No	No
$S_{13} = \frac{1}{2} \left[ \frac{a}{a+b} + \frac{a}{a+c} \right]$ (eq. 7.16)	semimetric	No	No	No
$S_{14} = \frac{a}{\sqrt{(a+b)(a+c)}}$ (Ochiai; eq. 7.17)	semimetric	No	Yes	Yes
$S_{15} = \sum w_j s_j / \sum w_j$ (Gower; eq. 7.20)	metric	No	Yes	Likely* ( $S_1$ )
$S_{16} = \sum w_j s_j / \sum w_j$ (Estabrook & Rogers; eq. 7.21)	metric	No	Yes	Likely* ( $S_1$ )
$S_{17} = \frac{2W}{A+B}$ (Steinhaus; eq. 7.24) *	semimetric	No	Likely* ( $S_8$ )	Likely* ( $S_8$ )
$S_{18} = \frac{1}{2} \left[ \frac{W}{A} + \frac{W}{B} \right]$ (Kulczynski; eq. 7.25)	semimetric	No	No* ( $S_{13}$ )	No* ( $S_{13}$ )
$S_{19} = \sum w_j s_j / \sum w_j$ (Gower; eq. 7.26)	metric	No	Yes	Likely
$S_{20} = \sum w_j s_j / \sum w_j$ (Legendre & Chodorowski; 7.27)	metric	No	Yes	Likely* ( $S_7$ )
$S_{21} = 1 - \chi^2$ metric (eq. 7.28)	metric	Yes	Yes	Yes
$S_{22} = 1 - p(\chi^2)$ (eq. 7.30)	semimetric	No	-	-
$S_{23} = 2(\sum d) / n(n-1)$ (Goodall; eq. 7.31) or	semimetric	No	-	-
$S_{23} = 1 - p(\chi^2)$ (Goodall; eq. 7.32)	semimetric	No	-	-
$S_{26} = (a+d/2) / p$ (Faith, 1983; eq. 7.18)	metric	-	Yes	-

\* These results follow from the properties of the corresponding binary coefficients (coefficient numbers given) when continuous variables are replaced by binary variables.  
 - Property unknown for this coefficient.

## Metódy štúdia ekologickej štruktúry spoločenstiev

**Ekologické zhlukovanie** (cluster analysis)

**Ordinácia** – v priestore s redukovaným počtom dimenzií

### Cluster analysis

- analýza podobnosti medzi objektami alebo popisnými premennými založená na princípe zhlukovanie objektov alebo popisných premenných (descriptor)
- súbor objektov alebo popisných premenných je rozdelený na dva alebo viac podsúborov (zhlukov) na základe dopredu stanovených pravidiel delenia
- výsledkom je hierarchická nested štruktúra objektov alebo popisných premenných v závislosti na selektovanom modeli zhlukovej analýzy
- podobnosť lokalít, lokalizácií, hostiteľov.....

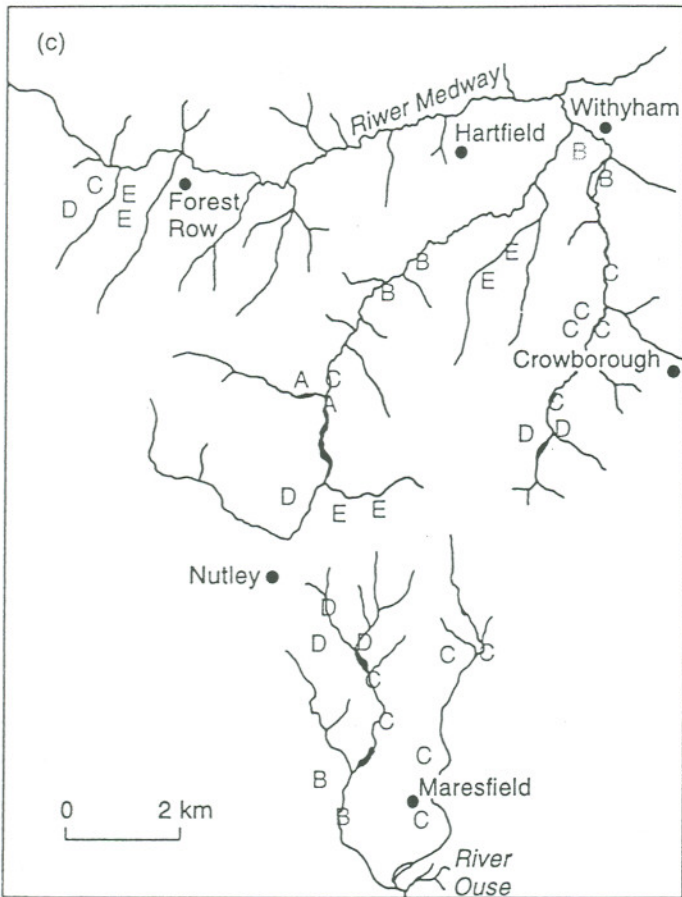
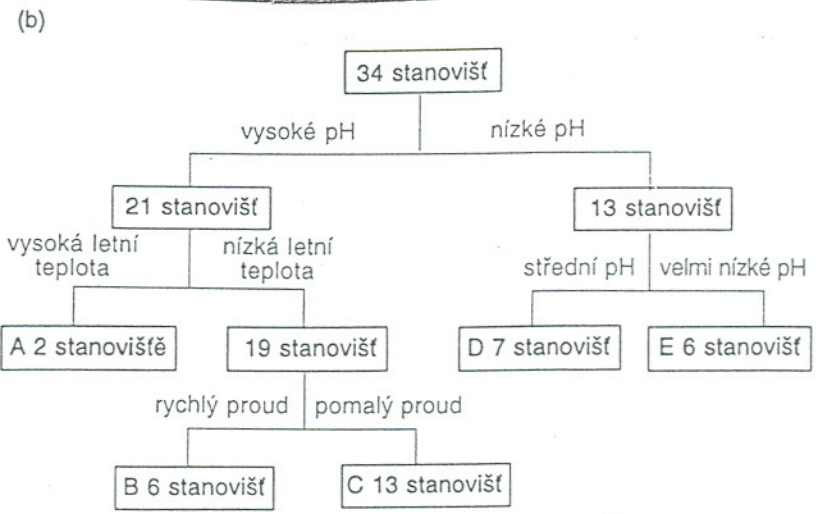
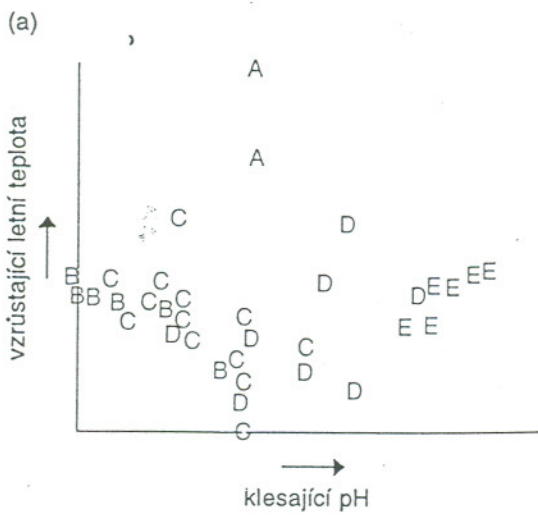


### **Ordinácia v redukovanom priestore**

- Objekty alebo popisné premenné sú umiestnené v priestore, ktorý obsahuje niekoľko rozmerov (reduced dimensionality), ktoré sú vzťahované k originálnym dátám
- Umožňujú poskytnúť kvantitatívne informácie o kvalite projekcie a štúdium vzťahov medzi deskriptormi ako aj objektami
- Multidimensionálny scatter diagram je premietaný do dvojrozmerných grafov, ktorých osi sú vybrané tak, aby reprezentovali najväčšiu frakciu variability viacrozmernej matice dat

### **Ordinácia v redukovanom priestore**

- Objekty alebo popisné premenné sú umiestnené v priestore, ktorý obsahuje niekoľko rozmerov (reduced dimensionality), ktoré sú vzťahované k originálnym dátám
- Umožňujú poskytnúť kvantitatívne informácie o kvalite projekcie a štúdium vzťahov medzi deskriptormi ako aj objektami
- Multidimensionálny scatter diagram je premietaný do dvojrozmerných grafov, ktorých osi sú vybrané tak, aby reprezentovali najväčšiu frakciu variability viacrozmernej matice dat

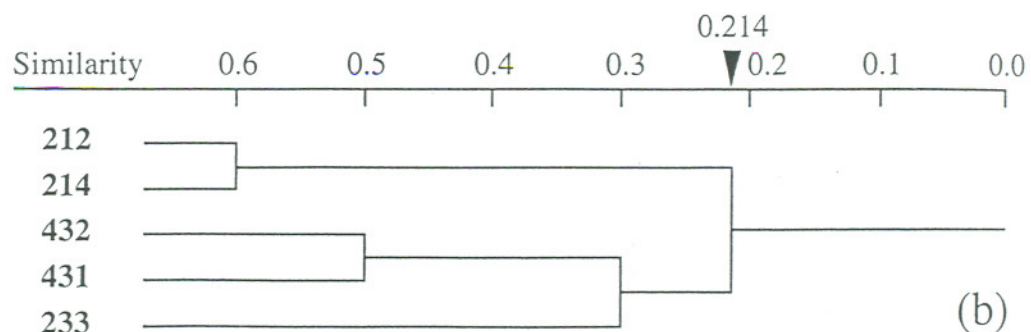
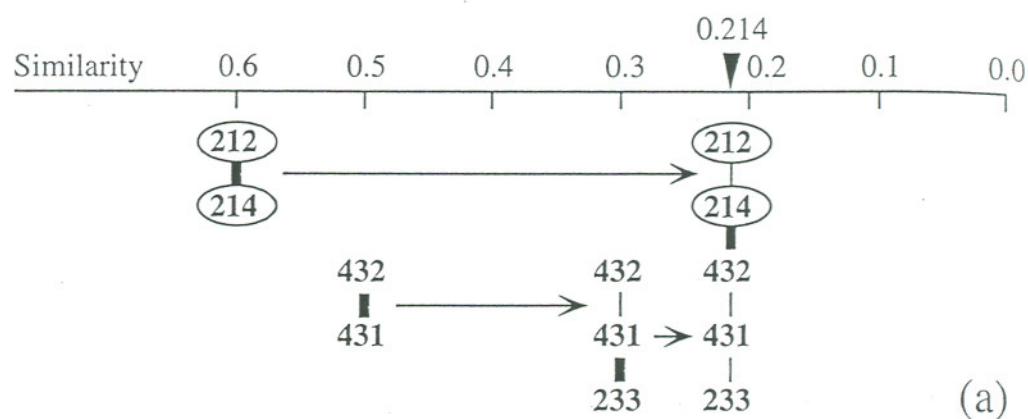


Obrázek 17.7. Analýza 34 společenstev bezobratlých na vodních tocích v jižní Anglii: (a) ordinace (písmena A až E označují třídy společenstev, které byly odvozeny podle klasifikace); (b) klasifikace; (c) distribuce společenstev tříd A až E v povodích (Townsend *et al.*, 1983)

Ponds	Ponds				
	212	214	233	431	432
212	—				
214	0.600	—			
233	0.000	0.071	—		
431	0.000	0.063	0.300	—	
432	0.000	0.214	0.200	0.500	—

The first clustering step consists in rewriting these similarities in decreasing order:

$S_{20}$	Pairs formed
0.600	212-214
0.500	431-432
0.300	233-431
0.214	214-432
0.200	233-432
0.071	214-233
0.063	214-431
0.000	212-233
0.000	212-431
0.000	212-432

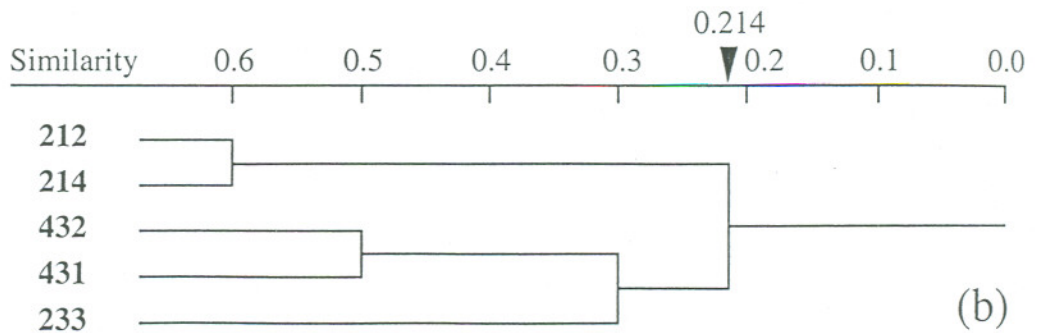
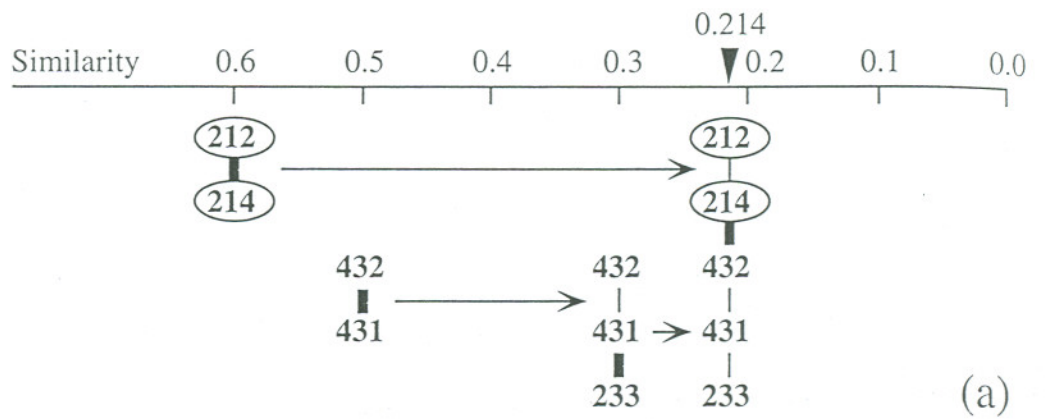


**Figure 8.2** Illustrations of single linkage agglomerative clustering for the ponds of the example. (a) Connected subgraphs: groups of objects are formed as the similarity level is relaxed from left to right. Only the similarity levels where clusters are modified by addition of objects are represented. New links between ponds are represented by heavy lines; thin lines are used for links formed at previous (higher) similarity levels. Circled ponds are non-permanent; the others are permanent. (b) Dendrogram for the same cluster analysis.

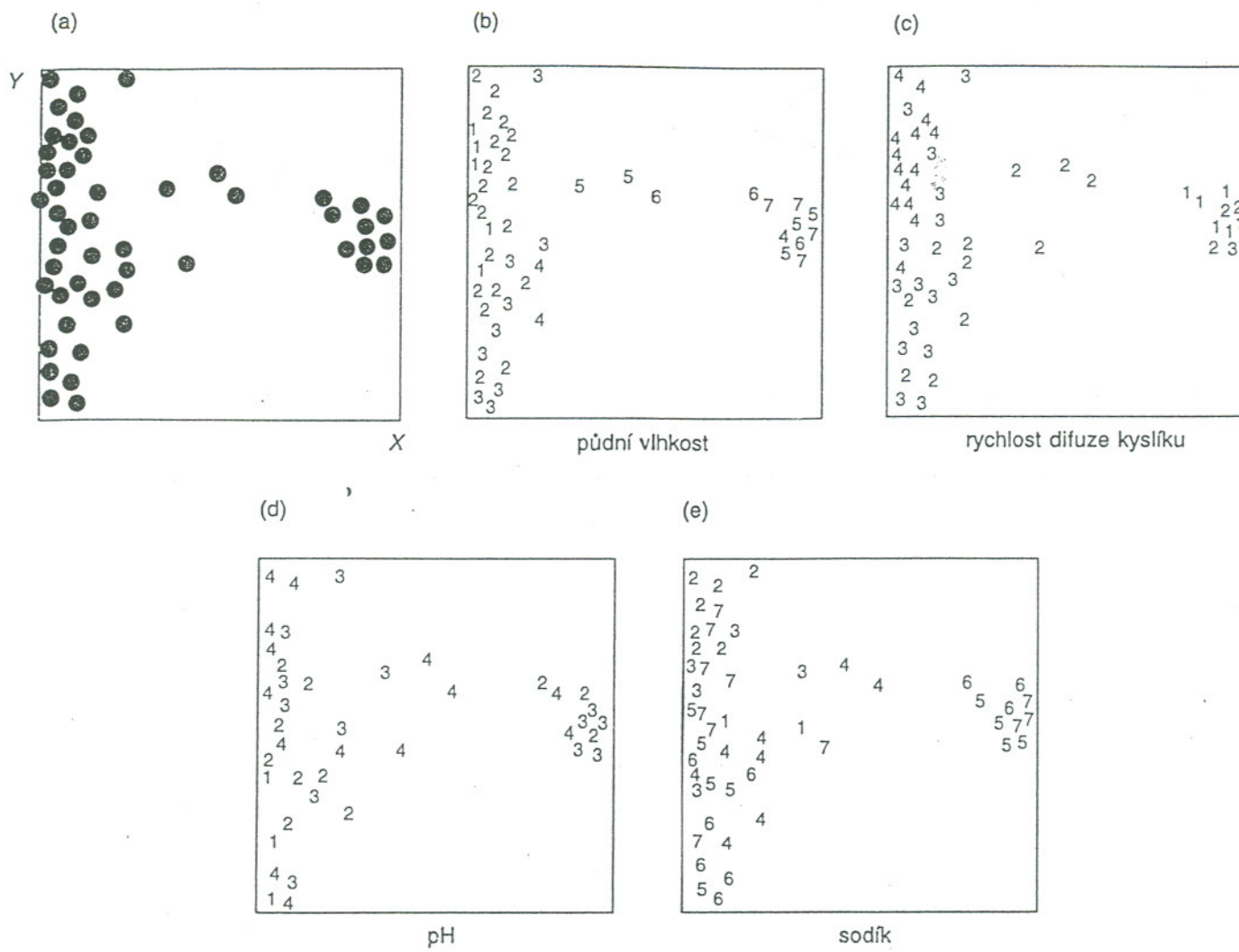
Ponds	Ponds				
	212	214	233	431	432
212	—				
214	0.600	—			
233	0.000	0.071	—		
431	0.000	0.063	0.300	—	
432	0.000	0.214	0.200	0.500	—

The first clustering step consists in rewriting these similarities in decreasing order:

$S_{20}$	Pairs formed
0.600	212-214
0.500	431-432
0.300	233-431
0.214	214-432
0.200	233-432
0.071	214-233
0.063	214-431
0.000	212-233
0.000	212-431
0.000	212-432



**Figure 8.2** Illustrations of single linkage agglomerative clustering for the ponds of the example. (a) Connected subgraphs: groups of objects are formed as the similarity level is relaxed from left to right. Only the similarity levels where clusters are modified by addition of objects are represented. New links between ponds are represented by heavy lines; thin lines are used for links formed at previous (higher) similarity levels. Circled ponds are non-permanent; the others are permanent. (b) Dendrogram for the same cluster analysis.



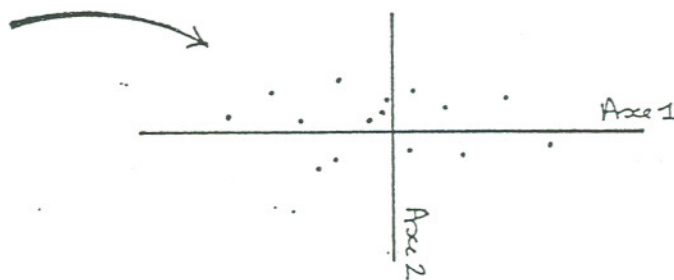
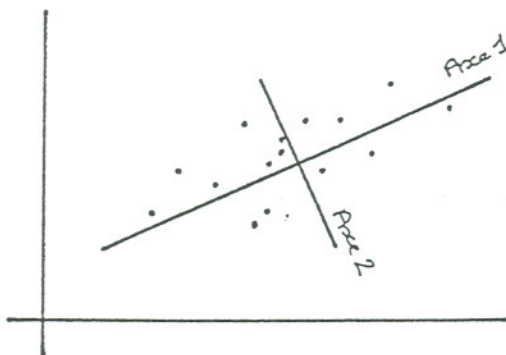
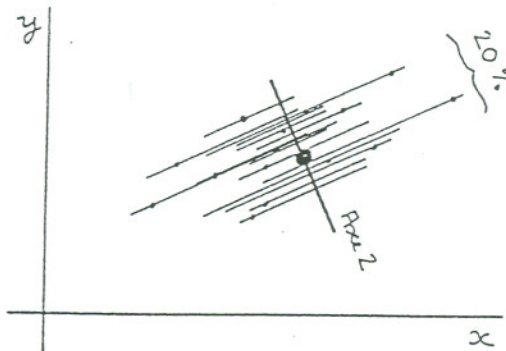
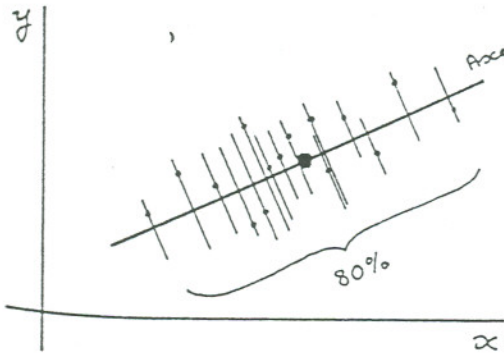
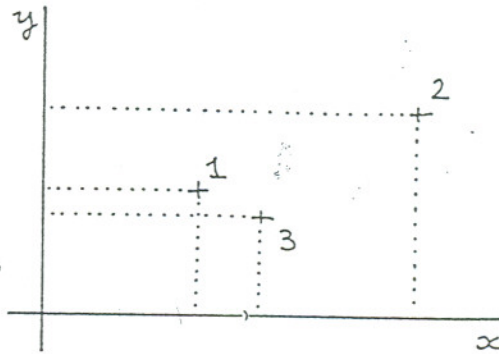
**Obrázek 17.6.** (a) Ordinance 50 vegetačních stanovišť (společenstev) na písčných přesypech ve Walesu; (b) ordinance, v níž je ke všem stanovištím přiřazena pořadová hodnota vlhkosti půdy; (c) ordinance, v níž je ke všem stanovištím přiřazena hodnota rychlosti difuze kyslíku; (d) ordinance, v níž je ke všem stanovištím přiřazena pořadová hodnota pH; (e) ordinance, v níž je ke všem stanovištím přiřazena pořadová hodnota koncentrace sodíku (Pemadasa *et al.*, 1974)

## Ordination in reduced space

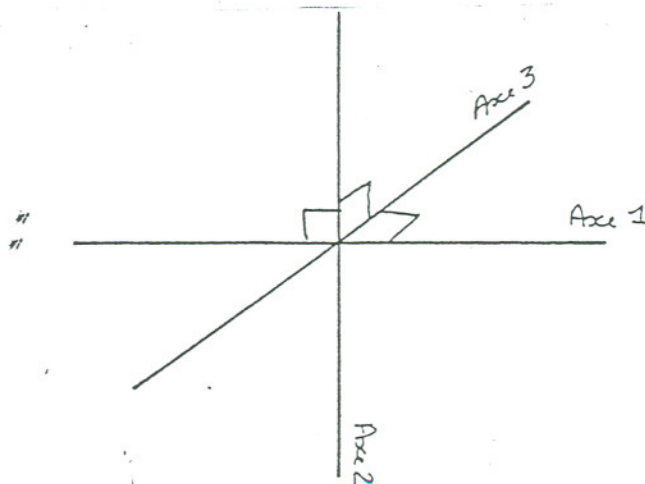
**Table 9.1** Domains of application of the ordination methods presented in this chapter.

Method	Distance preserved	Variables
Principal component analysis (PCA)	Euclidean distance	Quantitative data, linear relationships (beware of double-zeros)
Principal coordinate analysis (PCoA), metric (multidimensional) scaling, classical scaling	Any distance measure	Quantitative, semiquantitative, qualitative, or mixed
Nonmetric multidimensional scaling (NMDS, MDS)	Any distance measure	Quantitative, semiquantitative, qualitative, or mixed
Correspondence analysis (CA)	$\chi^2$ distance	Non-negative, dimensionally homogeneous quantitative or binary data; species abundance or presence/absence data
Factor analysis <i>sensu stricto</i>	Euclidean distance	Quantitative data, linear relationships (beware of double-zeros)

	$x$	$y$
1	...	...
2	...	...
3	...	...
4	...	...
etc	...	...



	$x$	$y$	$z$
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...
4	...	...	...
etc	...	...	...





# SPOLEČENSTVO

## Biologická diverzita

### Proč studovat biologickou diverzitu ?

- 1) Biologická diverzita je jedním z ústředních témat ekologie.
- 2) Biologická diverzita je často indikátorem stavu („zdraví“) ekosystému.
- 3) Stále existuje diskuse o tom jak měřit diverzitu.

### Co jsou elementy biodiverzity ?

Elementy biodiverzity (podle Heywood a Baste, 1995)

Ekologická diverzita	Genetická diverzita	Diverzita organismů
Biomy		Říše
Bioregiony		Kmeny
Krajina		Čeledě
Ekosystémy		Rody
Habitaty		Druhy
Niky		Podruhy
Populace	Populace	Populace
	Jedinci	Jedinci
	Chromosomy	
	Geny	
	Nukleotidy	

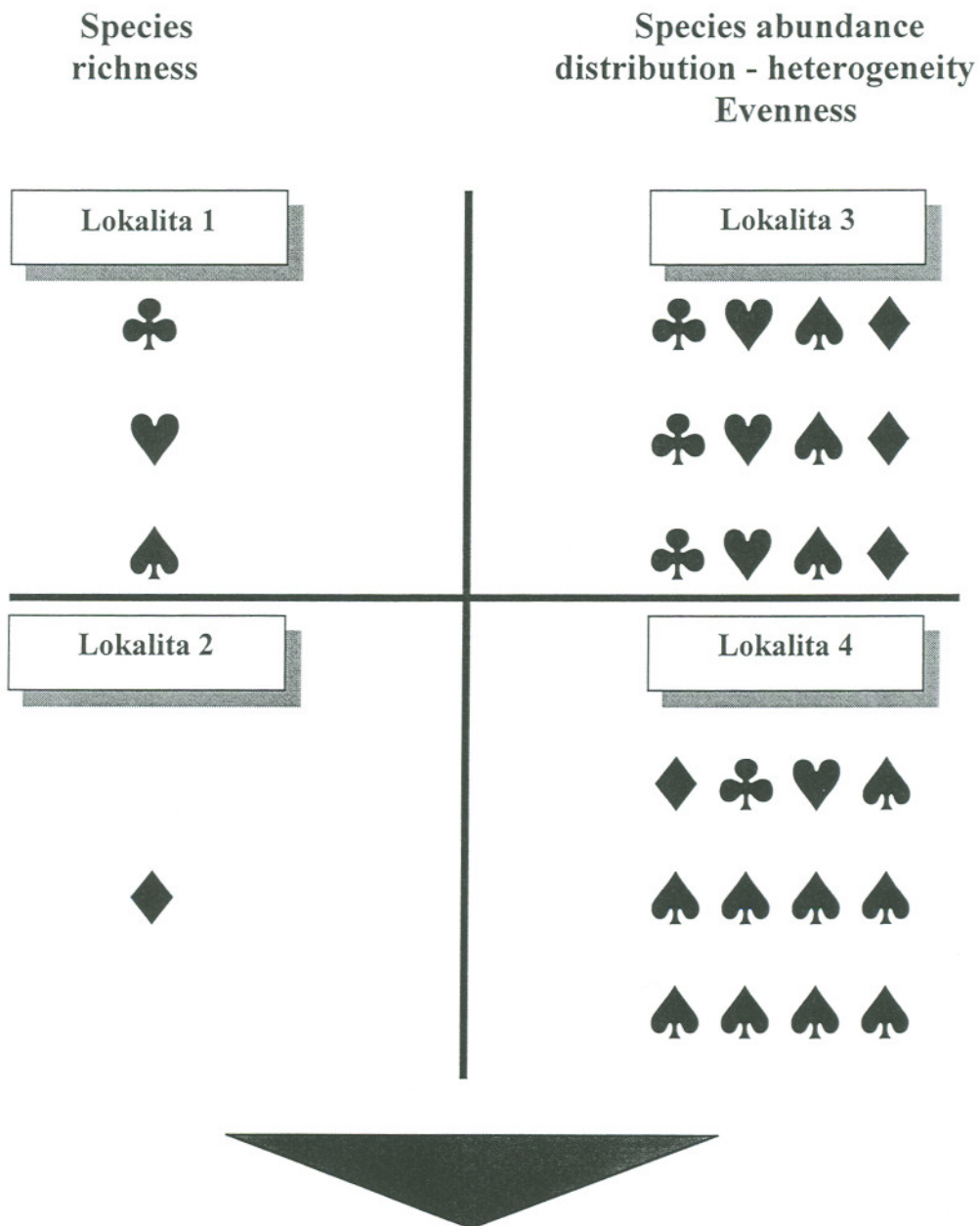
Populace = soubor jedinců určitého druhu ... ⇒ Co je to druh ?



# SPOLEČENSTVO

## Dualistická koncepce biodiverzity

Species richness *versus* Species abundance distribution



Lokalita 1 má větší diverzitu než lokalita 2: species richness

Lokalita 3 má větší diverzitu než lokalita 4: evenness

# SPOLEČENSTVO

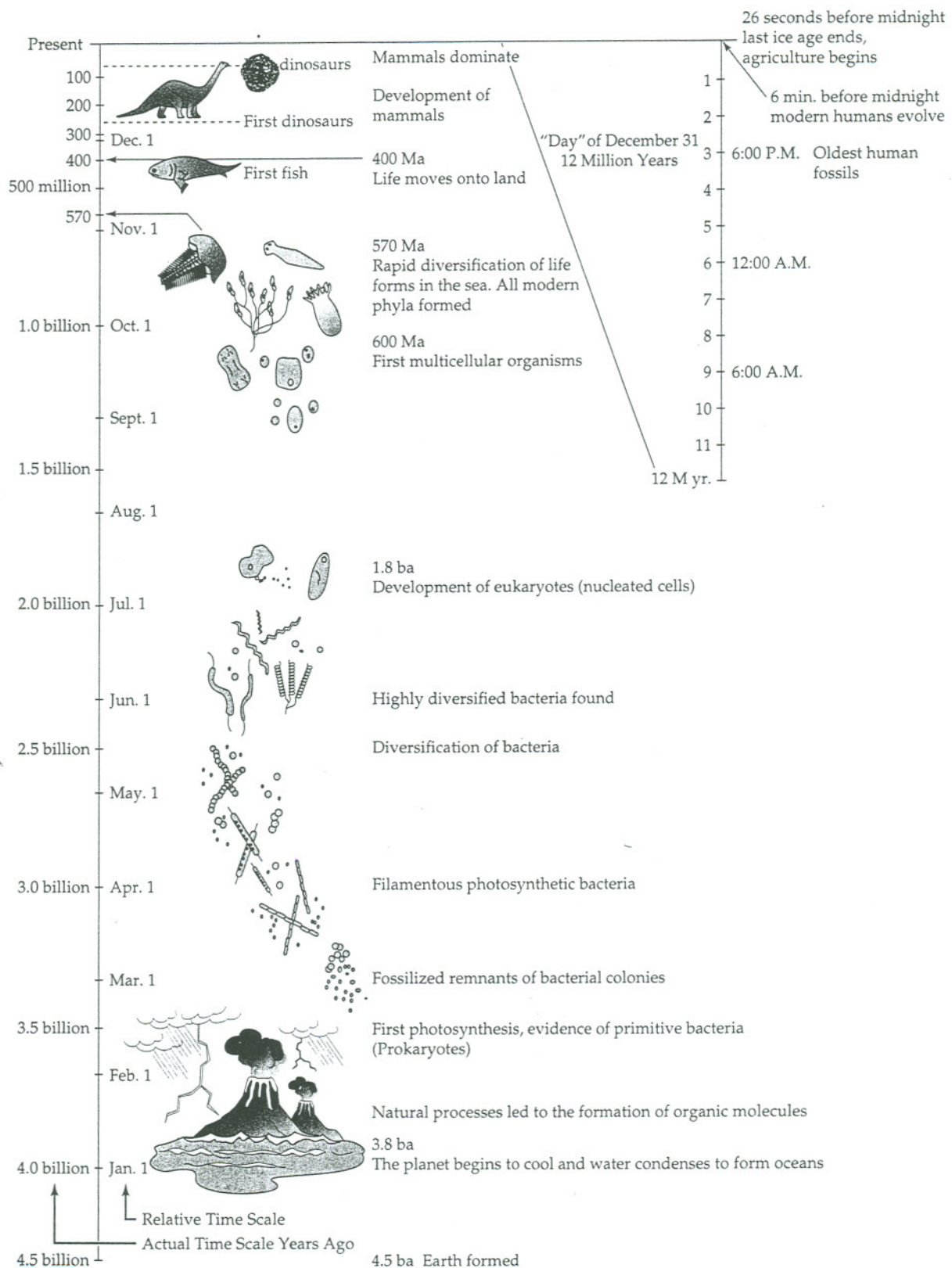
## Biodiverzita v čase

Problém měřítko ⇒ **evoluce versus ekologie**

Evoluce – krátká historie biodiversity:

Chronologie hlavních událostí v historii ZEMĚ:

Éra	perioda	čas	hlavní událost
Prekambrium	PE	4500	vznik života, první mnohobuněční
Paleozoikum	Kambrium (E)	550	fosilie všech hlavních kmenů
	Ordovik (O)	500	první obratlovci
	Silur (S)	440	kolonizace země rostlinami a členovci
	Devon (D)	410	diversifikace kostnatých ryb
	Karbon (C)	360	rozsáhlé lesy cévnatých rostlin, vznik plazů, dominují obojživelníci
Mesozoikum	Perm (P)	290	masové vymírání mořských bezobratlých, vznik předchůdců savců a moderního hmyzu
	Trias (T)	250	vznik a diverzifikace plazů, původ savců, dominují gymnospermní rostliny
	Jura (J)	210	dominují plazi a gymnospermní rostliny, původ ptáků
	Křída (K)	140	původ květnatých rostlin, vyhynutí plazů a mnoha skupin bezobratlých
Kenozoikum	Terciér (T)	65	diversifikace savců, ptáků a hmyzu –opylovači, květnaté rostliny; pozdní T/ranný Q = zenit biodiverzity
	Kvartér (Q)	1.8	vznik člověka



**Figure 1.4 A condensed history of the development of life on Earth.** The last 12 million years of history are enlarged, and the analogy of a 24-hour period is used to demonstrate the brevity of human history. However disappointing it may be to Hollywood film producers, dinosaurs had died out more than 60 million years before the first human ancestor evolved.

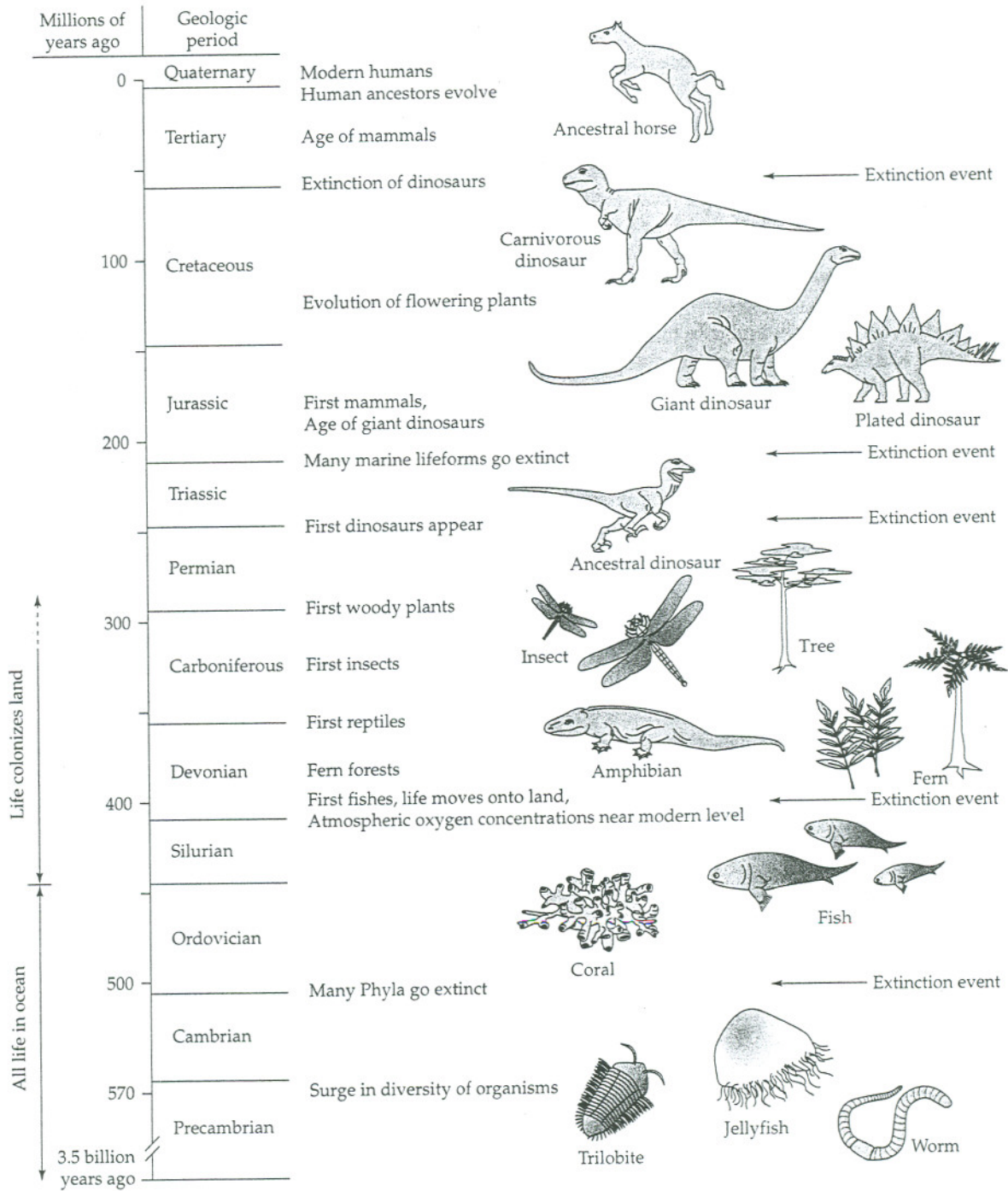
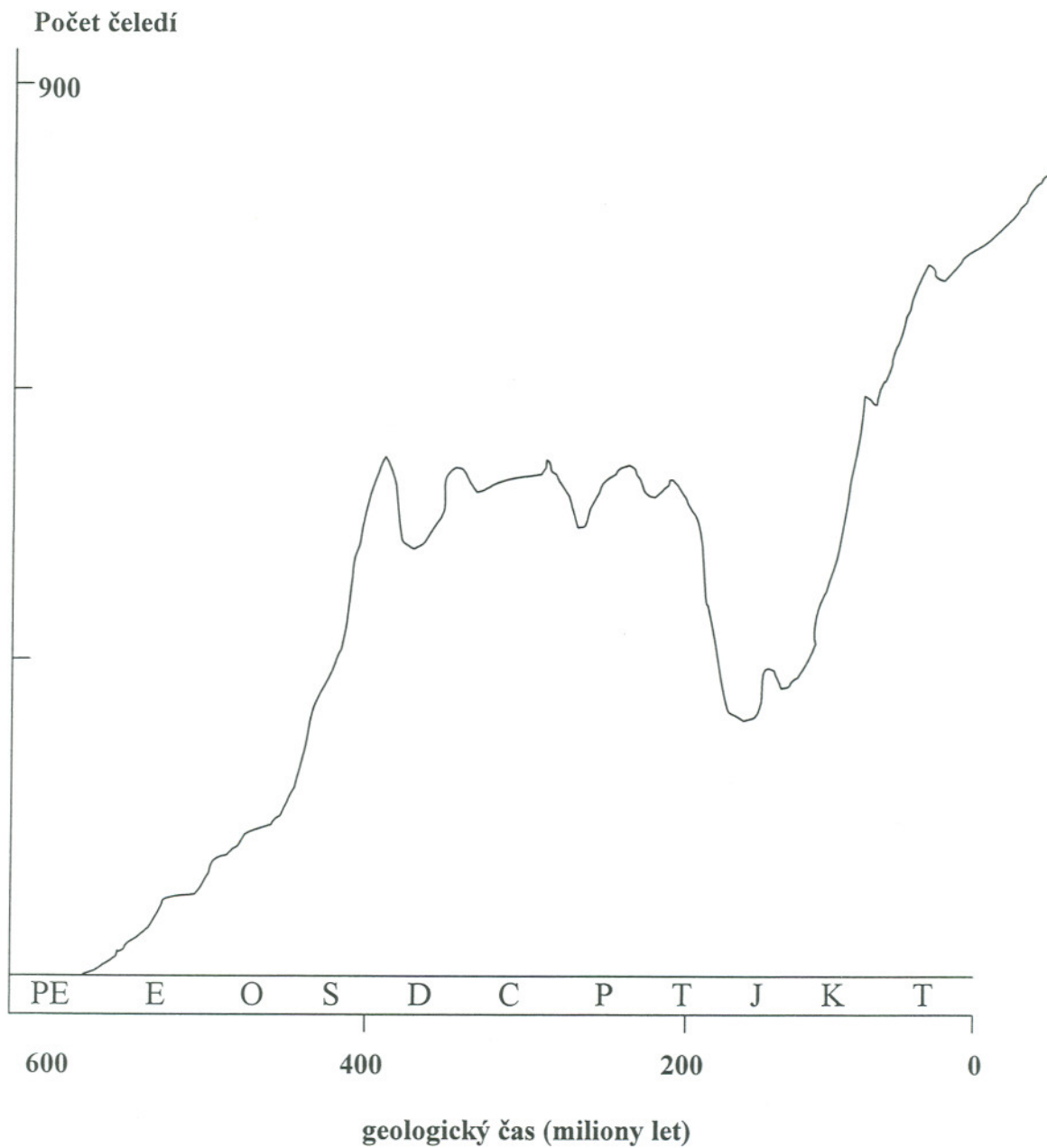


Figure 2.2 Some of the evolutionary events of the last 600 million years.

# SPOLEČENSTVO

## Biodiverzita v čase

Příklad: Časová dynamika počtu čeledí mořských živočichů



# SPOLEČENSTVO

## Biodiverzita v čase

Přibližné počty popsáných druhů (v tisících)

	Σ druhů	odhadovaný počet druhů			znalost
		vysoký	nízký	skutečný	
Viry	4	1000	50	400	velmi malá
Bakterie	4	3000	50	1000	velmi malá
Houby	72	2700	200	1500	střední
Prvoci	40	200	60	200	velmi malá
Řasy	40	1000	150	400	velmi malá
Rostliny	270	500	300	320	dobrá
Nematodi	25	1000	100	400	malá
Crustacea	40	200	75	150	střední
Arachnida	75	1000	300	750	střední
Insecta	950	100 000	2000	8000	střední
Mollusca	70	200	100	200	střední
Chordata	45	55	50	50	dobrá
Ostatní	115	800	200	250	střední
<b>Celkem</b>	<b>1750</b>	<b>111 655</b>	<b>3655</b>	<b>13 650</b>	<b>velmi malá</b>



# SPOLEČENSTVO

## Biodiverzita v čase

Změny biodiverzity v reálném čase

Tak jako se mění důležitost druhů v prostoru, mění se také jejich struktura v čase.

Druh se na lokalitě vyskytuje za těchto okolností:

- 1) lokalita je pro něj dostupná
- 2) na lokalitě jsou vhodné podmínky a zdroje
- 3) lokalitu předem neučiní neobyvatelnou konkurenti a predátoři

Sukcese = nesezónní, směrované a spojitý proces kolonizace a zániku populací jednotlivých druhů v určitém místě.

Sukcese:    Degradační  
                  Alogenní  
                  Autogenní

Degradační sukcese = proces rozkladu organické hmoty. Tento typ sukcese končí tím, že zdroj je zcela zmetabolizován, zmineralizován a rozložen.  
Je to sukcese na rozložitelném zdroji !

Příklady: mrtvá těla rostlin a živočichů, svlečená kůže hada, fekálie,

Jsou zde čistě heterogenní procesy = heretogenní sukcese.

Tento proces vede ke vzniku humusu.

# SPOLEČENSTVO

## Biodiverzita v čase

**Alogenní sukcese** = dočasná sukcese druhů na lokalitě navozená vnějšími vlivy, které změnily podmínky.

*Příklad:* přechod mezi slanou bažinou a lesním porostem zonace, vliv zanášení bahnem apod.

**Autogenní sukcese** = sukcese druhů probíhající v čase a v určitém místě řízená procesy probíhajícími uvnitř společenstva

**primární sukcese** = na místech, která dosud neovlivňovalo žádné společenstvo

*Příklad:* po ustoupení ledovce, nově vytvořené písčité přesypy, proud lávy

**sekundární sukcese** = po odstranění vegetace, ale půda je zachována a obsahuje semena a spory

*Příklad:* v lese po chorobě stromů, po požáru, po těžbě dřeva, i uměle založené společenstvo = antropogenní cenózy = biocenoid, opuštěný sad, pole, louka

### **Možné mechanismy sukcesí:**

**facilitace** = raně sukcesní druh umožní imigraci nových druhů, připraví podmínky, stanoviště, zdroje

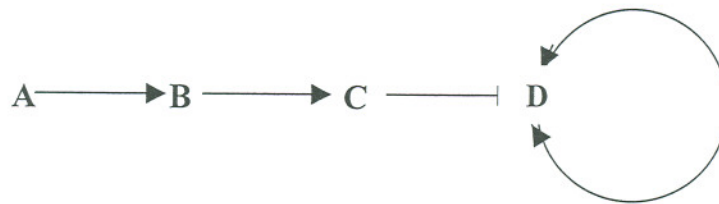
**inhibice** = tendence raně sukcesních druhů odolávat invazi pozdějších druhů

**tolerance** = situace, kdy modifikace prostředí sukcesně raními druhy má jen malý nebo nulový účinek na následný úspěch pozdě sukcesních druhů

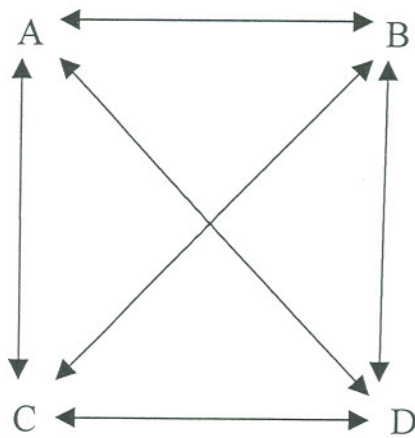
# SPOLEČENSTVO

## Modely mechanismů sukcese

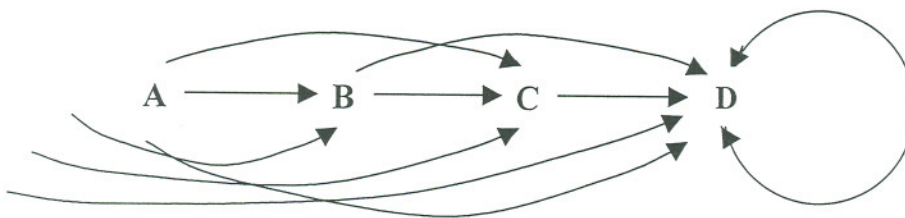
### MODEL FACILITACE



### MODEL INHIBICE

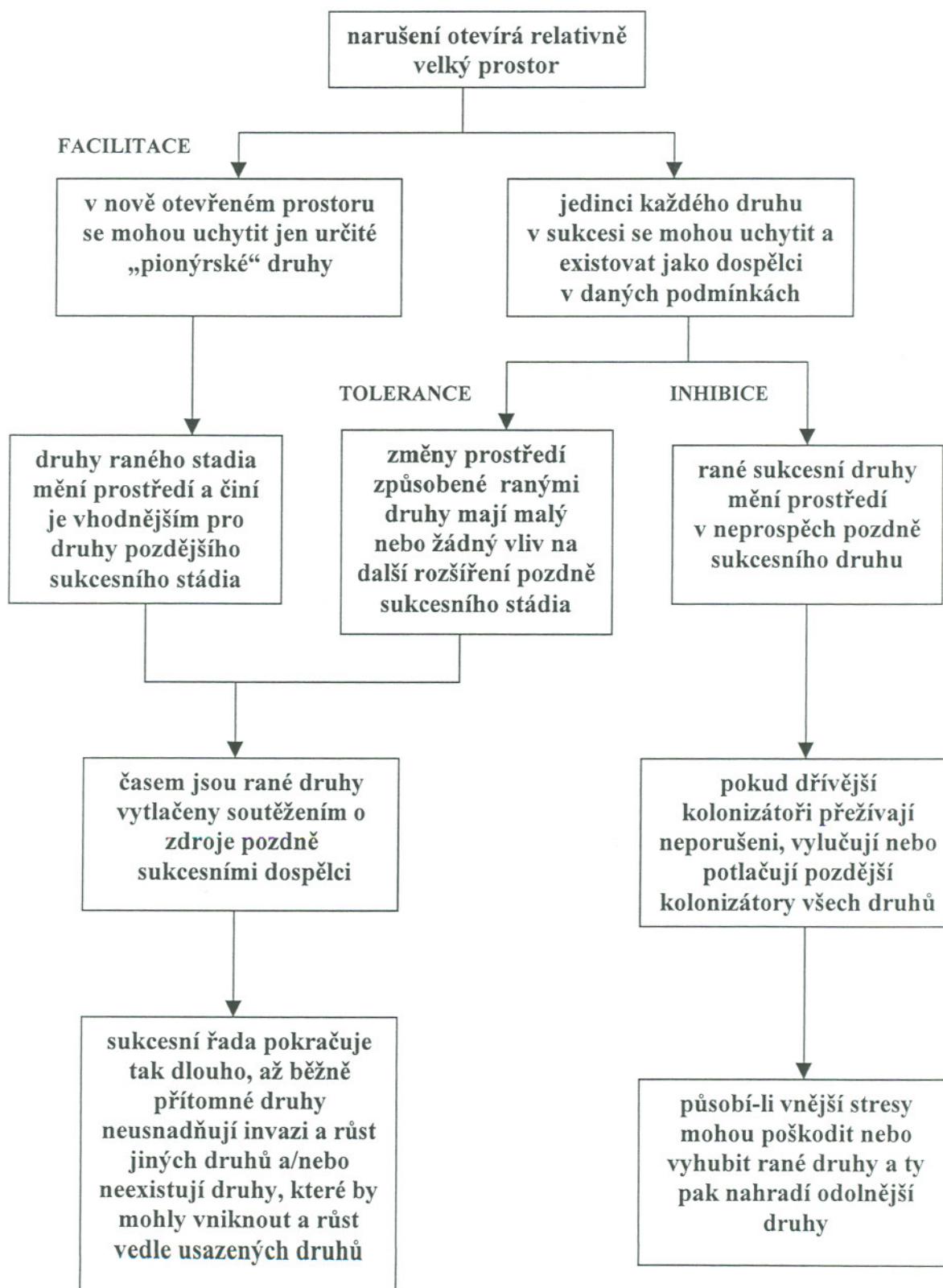


### MODEL TOLERANCE



# SPOLEČENSTVO

## Modely mechanismů sukcese



# SPOLEČENSTVO

## KLIMAX

Sukcesní stádia  $\Rightarrow$  sukcesní řada  $\Rightarrow$  Klimax

**Klimax** = předpokládaný konečný bod sukcesní řady; společenstvo, které dosáhlo stabilního stavu  
je zde nejvíce mezidruhových vztahů = největší diverzita  
je to homeostatický systém

V podmínkách střední Evropy = členitý terén = je zde několik typů klimaxových společenstev, jež se navzájem prolínají = tvoří zákonitý řetězec = **katéna**

Sukcesní série: 1) úplné = vznik klimaxu = lesní společenstva  
2) částečné = vliv půdních podmínek = klimax nevzniká (suťový les)

Sukcese ve vodě = hydrosérie  
Sukcese na souši = xerosérie

### Klimaxová společenstva

- 1) klimatický klimax = rovnováha v podnebí
- 2) edafický klimax = podle půdních poměrů
- 3) antropogenní subklimax = vliv člověka – udržované společenstvo

klimaxová společenstva - makroklima – biogerion - biom:

Příklady: tundra, tajga, listnaté lesy mírného pásma, tropické deštné pralesy

# SPOLEČENSTVO

## PERIODICITA

Druhy v biocenóze = cirkadiánní aktivity  $\Rightarrow$  sezónní výskyt  $\Rightarrow$  vliv na složení společenstva

Fenologie

- různá cirkadiánní aktivita = zabraňuje mezidruhové kompetici
- sezónní výskyt = sezónní periodicitu zoocenóz

mírné pásmo = teplota = roční cyklus

tropické pásmo = srážky, vlhkost

vodní prostředí = teplota, salinita

Podle sezónnosti výskytu: **stenochromní** versus **eurychromní**

Sezónní aspekty:

- |    |                            |                      |
|----|----------------------------|----------------------|
| 1. | zimní = hiemální:          | XI. – III.           |
| 2. | předjarní = prevernální:   | III. – IV.           |
| 3. | jarní = vernální:          | V. – VI.             |
| 4. | letní = estivální:         | pol. VI. – pol. VII. |
| 5. | pozdněletní = serotinální: | pol. VII. – pol. IX. |
| 6. | podzimní = autumnální:     | IX. – X.             |

# SPOLEČENSTVO

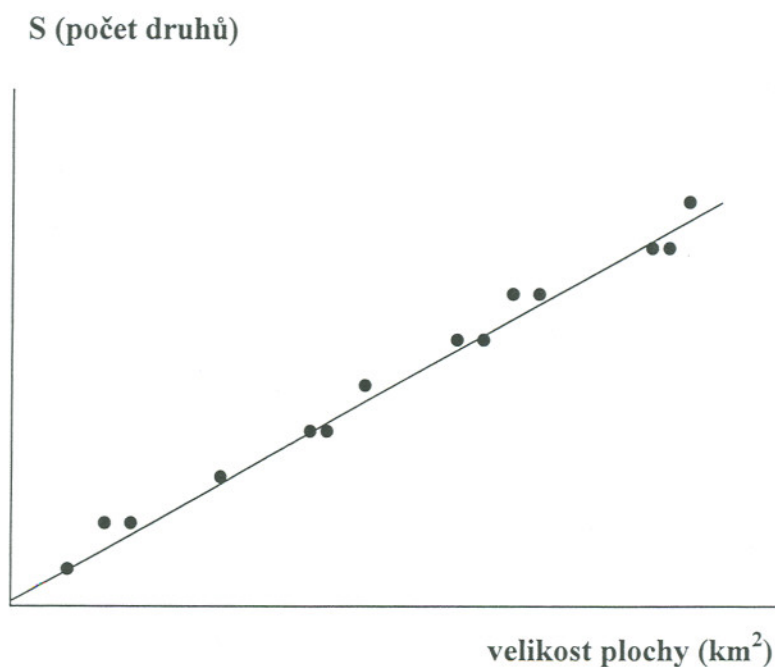
## Biodiverzita v prostoru

Vztah počet druhů – plocha ⇒ koncepce biogeografie ostrovů

### Co je to ostrov ?

Je známo, že na ostrovech se vyskytuje méně druhů než na srovnatelně velkých územích na pevnině. Proč ?

Počet druhů rychle klesá se zmenšováním velikost ostrova. Proč ?



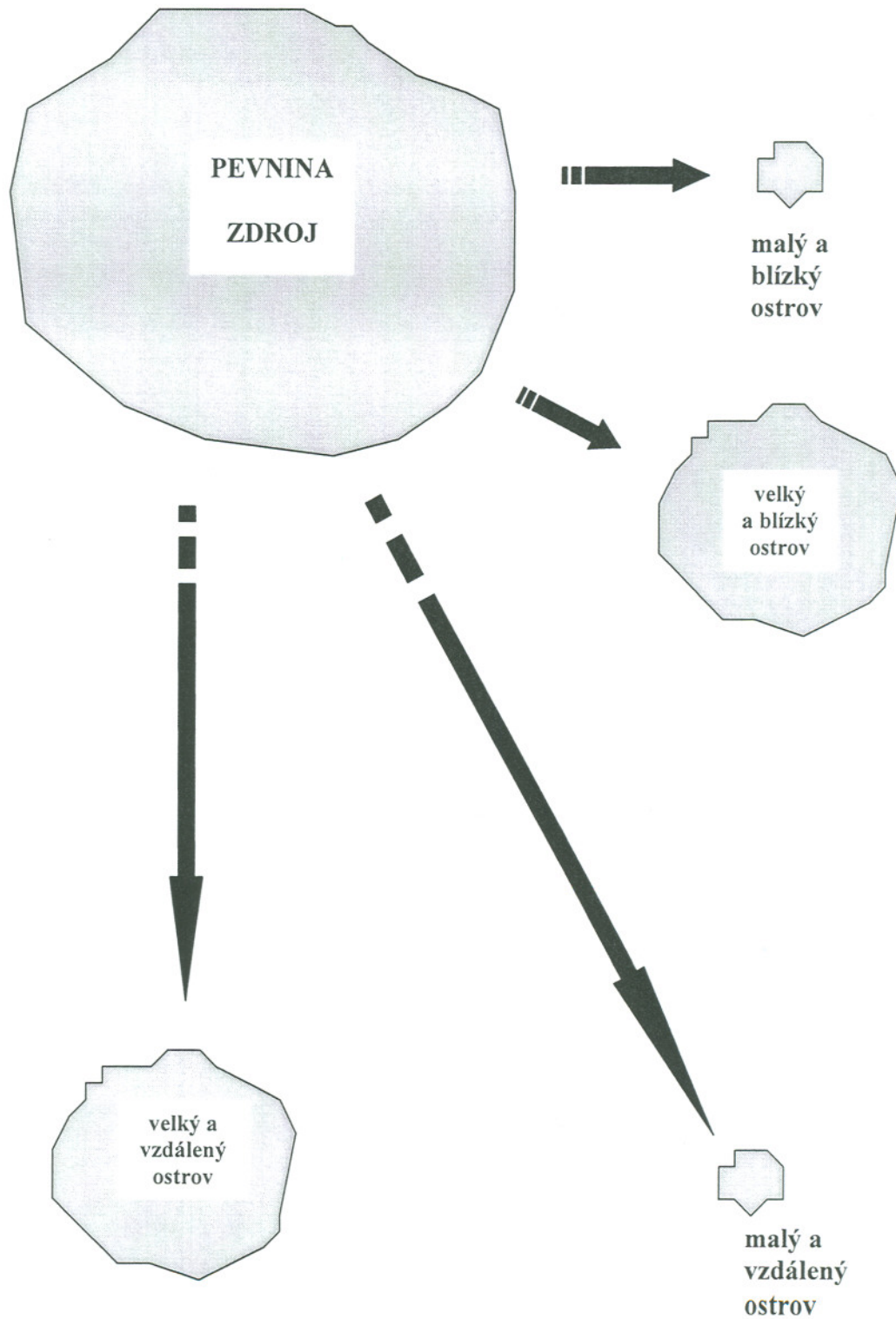
Co vše může být ostrovem ?

- ostrov suché země v moři vody
- jezero - ostrov vody v „moři země“
- vrchol hory = ostrov výšky v oceánu nízké nadmořské výšky
- oblast geologického, půdního, vegetačního typu
- organismus hostitele pro parazita
- rezervace obklopena zemědělskou či průmyslovou krajinou

# SPOLEČENSTVO

## Biodiverzita v prostoru

MacArthurova a Wilsonova teorie rovnovážného stavu



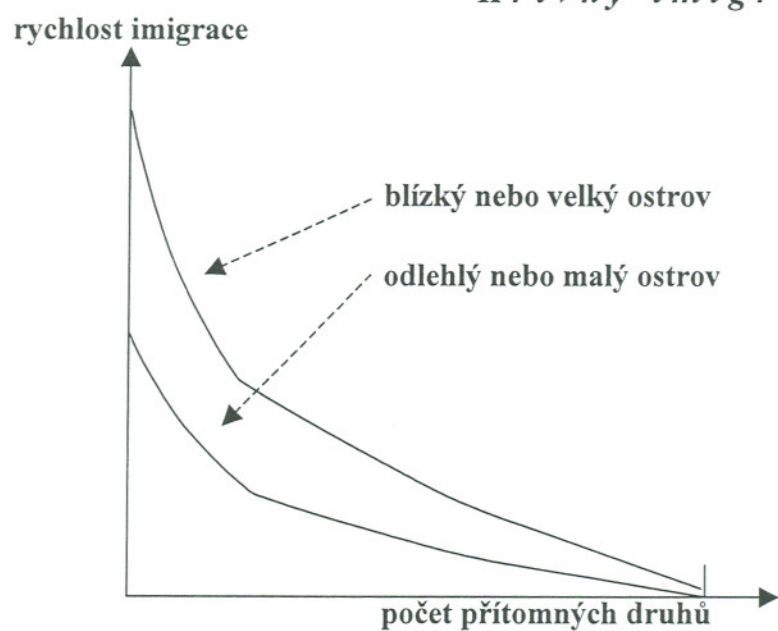


# SPOLEČENSTVO

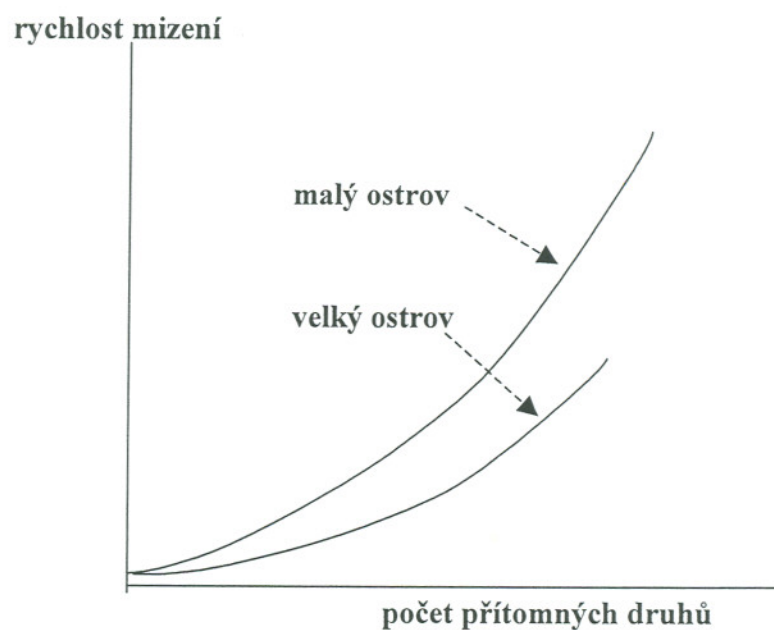
## Biodiverzita v prostoru

MacArthurova a Wilsonova teorie rovnovážného stavu

### *Křivky imigrace*



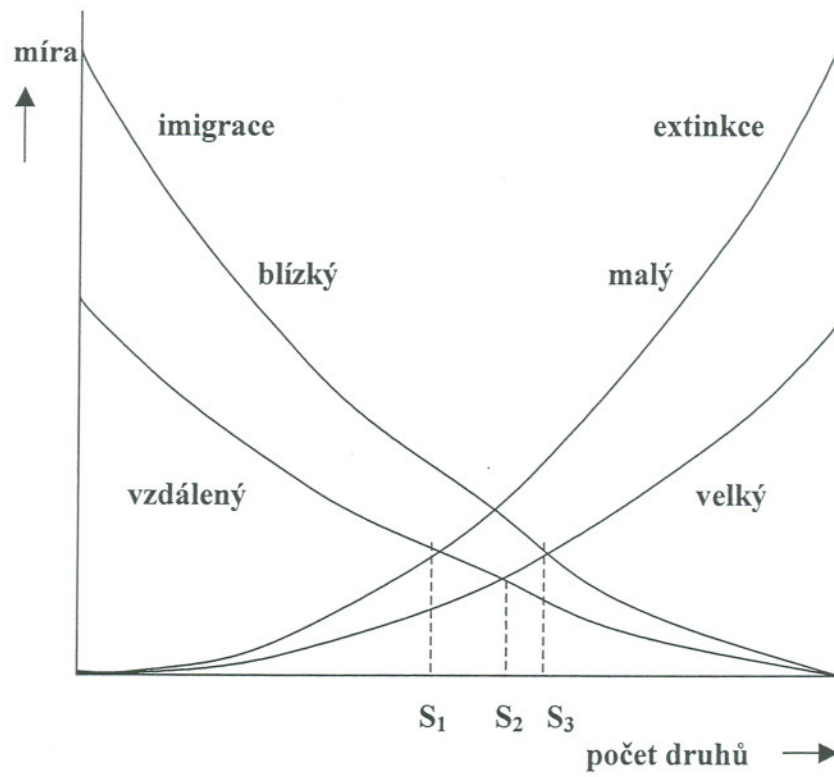
### *Křivky vymírání*



# SPOLEČENSTVO

## Biodiverzita v prostoru

MacArthurova a Wilsonova teorie rovnovážného stavu

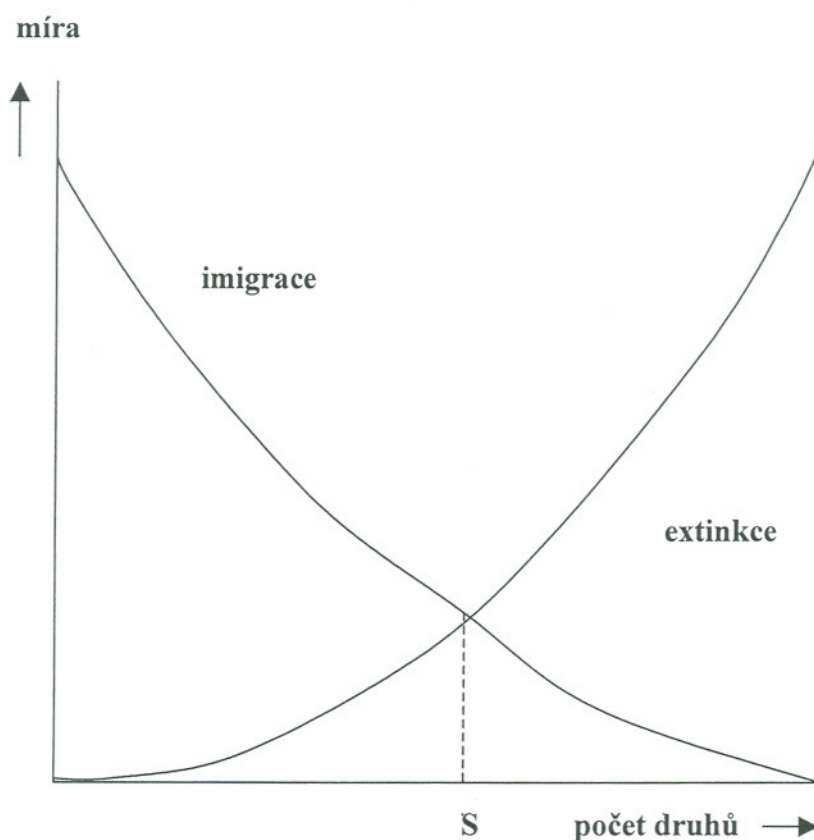


**Malý a vzdálený ostrov ( $S_1$ ) bude mít méně druhů než ostrov velký a blízký ( $S_3$ )**

# SPOLEČENSTVO

## Biodiverzita v prostoru

### MacArthurova a Wilsonova teorie rovnovážného stavu



Počet druhů na „ostrově“ je determinován dynamickou rovnováhou mezi procesem imigrace nových kolonizátorů a extinkce již přítomných druhů. Jak se počet kolonizujících druhů zvyšuje, počet imigrantů, kteří dosáhnou „ostrova“ klesá.

Na druhé straně, s růstem kompetice mezi druhy poroste míra extinkce. Bod na kterém se počet druhů ustálí je dán rovnováhou mezi mírou imigrace a extinkce.

Tento model dobře vysvětluje chování populací (metapopulací) živočichů na „ostrovech“ fragmentovaných habitatů jakými jsou například rezervace, tvořící mozaiku v krajině změněné činností člověka.

**Nutnost zachování migračních cest = biokoridorů !**

# SPOLEČENSTVO

## Gradienty biodiverzity

### Biotické teorie

**Teorie prostorové heterogenity:** v tropech více rostlin  $\Rightarrow$  více býložravců  
 $\Rightarrow$  více masožravců

Diverzita rostlin zvyšuje diverzitu herbivorů 2 způsoby:

- 1) více rostlin  $\Rightarrow$  více monofágních herbivorů
- 2) více rostlin  $\Rightarrow$  větší „architektonická“ diverzita prostředí  
 $\Rightarrow$  více nik

**Teorie kompetice:** v mírných pásmech = extrémní změny podmínek prostředí  $\Rightarrow$  většina druhů = r – strategové  
v tropech = prostředí stabilní  $\Rightarrow$  většina druhů K – strategové  $\Rightarrow$  to vede k redukci velikosti nik a to opět k tomu, že zde může koexistovat více druhů

**Teorie predáčního tlaku:** v tropech je více predátorů a parazitů  $\Rightarrow$  populace kořisti a hostitelů jsou potlačovány a není zde silná vnitrodruhová kompetice  $\Rightarrow$  to dovoluje koexistenci většího množství druhů

**Teorie opylovačů:** v tropech jsou méně časté větry  $\Rightarrow$  proto je zde mnoho opylovačů – hmyz, ptáci, netopýři – mnozí jsou velmi specifictí  $\Rightarrow$  roste reprodukční izolace mezi rostlinami  
 $\Rightarrow$  roste míra speciace = více druhů

# SPOLEČENSTVO

## Gradienty biodiverzity

### Abiotické teorie

- Teorie ekologického času:** diverzita se zvyšuje v čase, mírné oblasti jsou mnohem mladší než tropy  $\Rightarrow$  méně druhů v mírném pásmu = vliv doby ledové = endemiti = jezero Bajkal = 580 druhů bentických bezobratlých; v Kanadě v Great Slave Lake (leží ve stejné zóně) jsou jen 4 druhy
- Teorie klimatické stability:** v mírném pásmu = změny ekologických faktorů v tropech = klima je stabilní = organismy jsou přizpůsobeny malým změnám faktorů = malým fluktuacím = více specializovaných druhů; podpora také z podmořského prostředí, kde v hlubinách (stabilní prostředí) je větší diverzita bezobratlých, než v mělkých vodách (labilní prostředí).
- Teorie produktivity:** nazývá se též species-energy hypothesis – větší produkce vede ke větší diverzitě;
- Teorie velikosti plochy:** větší plocha umožňuje větší izolovanost populací, což podporuje růst speciace; na větší ploše jsou rovněž spíše podmínky pro existenci většího počtu druhů

# SPOLEČENSTVO

## Biocenotické principy

### 1. Biocenotický princip (*Thienemann, 1918, 1920*)

Čím jsou životní podmínky biotopu rozmanitější, tím více druhů je v biocenóze zastoupeno, přičemž hustota druhových populací je poměrně nízká.

Příklad: Entomocenózy tropického deštného pralesa

### 2. Biocenotický princip (*Thienemann, 1918*)

Čím více se životní podmínky biotopu odchyľují od normálu (optimálního stavu), tím je biocenóza druhově chudší, přitom populace několika málo druhů dosahují vysoké početnosti.

Příklad: Tundra, znečištěné vodní prostředí, slaná jezera, hlubiny nádrží a moří, vysokohorské polohy.

### 3. Biocenotický princip (*Franz, 1952*)

Čím jsou životní podmínky v biotopu stálejší, tím je biocenóza druhově bohatší, vyrovnanější a stabilnější.

Příklad: Korálové útesy, tropické deštné pralesy, staré jeskyně

# SPOLEČENSTVO

## Biodiverzita v prostoru

### Vliv zeměpisné šířky

Obecně lze říci, že diverzita jak v terestrickém prostředí, tak v prostředí mořském klesá od rovníků k pólům.

Největší diverzita: na souši = tropické deštné pralesy  
v mořském prostředí = korálové útesy

Vzestup diverzity směrem k rovníku má dva rysy:

- 1) je to stálý rys historického vývoje diverzity
- 2) gradient je kolem rovníku rozložen asymetricky, roste rychle směrem ze severu k rovníku a klesá pomalu směrem na jih

Řada mechanismu vysvětluje gradienty diverzity:  
kompetice, mutualismus, predace, členitostí habitatu, stabilita prostředí, prediktabilita prostředí, produktivita, plocha, počet habitatů, ekologický čas, evoluční čas a solární energie

Prostorové gradienty diverzity jsou též důsledkem rozdílné míry původu, imigrace, extinkce a emigrace.

### Vliv nadmořské výšky

Obecně platí, že se stoupající nadmořskou výškou klesá diverzita.

### Vliv hloubky

Hloubka je ve vodním prostředí analogií nadmořské výšky na souši.  
U pelagických a bentických společenstev je největší diverzita ve středních hloukách:

Pelagická společenstva = maximum při hloubce 1000 - 1500m

Bentická společenstva = maximum při hloubce 2000 – 3000 m

## SPOLEČENSTVO

**Guild** = druhy lze kategorizovat do tzv. guildů, což jsou skupiny, což jsou skupiny druhů obsazujících podobnou niku. Tento pojem - ekologický guild - odvozuje svou existenci od stejného zdroje. Tam, kde je silná mezidruhová kompetice je pravděpodobně mezi členy téhož guildu.

**Komplexita společenstva** = je funkcí počtu vzájemných vztahů mezi elementy společenstva. Komplexita stoupá se zvyšujícím se počtem druhů ve společenstvu. Tyto interakce mohou být **horizontální** mající tedy povahu kompetice mezi druhy téhož trofického stupně nebo **vertikální**. Zde patří především vztahy jako: rostlina- herbivor, dravec- kořist, parazit-hostitel apod. – tedy vztahy zahrnující druhy různých trofických úrovní.

**Stabilita** = zahrnuje dva pojmy = **resilience** a **resistence**

**Resilience** = schopnost společenstva vrátit se do původního stavu (např. po předchozím narušení společenstva)

**Resistence** = schopnost společenstva odolávat narušování vedoucí ke změnám ve společenstvu.

### Jak souvisí komplexita společenstva s jeho stabilitou ?

Obecně jsou komplexní společenstva považována za stabilnější. Změna na úrovni jedné populace je kompenzována mnohočetnými interakcemi mezi druhy a nevyvolá změnu společenstva jako celku.

Příklad: hmyz v tropickém pralese *versus* v monokultuře

- Stabilita biomasy je obvykle největší u komplexnějších společenstev.
- Tok energie společenstvem má rovněž vliv na míru jeho resilience. (např. tundra má nejmenší „obrat“ energie a tudíž i nejmenší resilienci)
- Trofická komplexita se zvyšuje s počtem trofických stupňů společenstva a délkou potravinového řetězce.
- Míra resilience společenstva jako celku je dána mírou nejméně resilientního druhu.