

# DESIGN EKOLOGICKÝCH EXPERIMENTŮ

*“To call in the statistician after the experiment is done may be no more than asking him to perform a post mortem examination: he may be able to say what the experiment died of.”*

Sir Ronald Fisher, Indian Statistical Congress, Sankhya 1939

# POZOROVÁNÍ VS. MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY

## ○ Manipulativní experimenty

- Uměle manipulujeme vysvětlující proměnnou (X) a sledujeme reakci vysvětlované proměnné (Y)
- Umožňuje přímé testování hypotéz
- Můžeme ukázat směr a sílu vztahu mezi příčinou a důsledkem – **kauzalita**
  - *Můžeme předpovědět, že změníme-li X o nějakou hodnotu, změní se dle charakteru vztahu i Y*

## ○ Pozorování, observační studie

- Variabilita ve vysvětlující proměnné daná přírodními jevy
- Slouží spíše k detekci struktur a generování hypotéz než k jejich testování
- Bez dalších externích znalostí nemůžeme určit směr vztahu mezi příčinou a důsledkem – **korelace, koincidence**
  - *Nelze předpovědět, co se stane s Y, když se změní X*
  - *Můžeme si ale pomoci externími znalostmi o vztahu mezi X a Y*

# POZOROVÁNÍ VS. MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY

## SROVNÁNÍ TESTOVANÝCH HYPOTÉZ

**Příklad:** na ostrovech v Karibiku sledujeme vztah mezi počtem ještěrek na určité ploše a počtem pavouků (Gotelli & Ellison 2004)

### Manipulativní experiment

- Provedení:
  - v jednotlivých plochách (klecích) je uměle ovlivněn počet ještěrek a sledováno množství pavouků
- Nulová hypotéza:
  - počet ještěrek nemá vliv na počet pavouků v klecích
- Alternativní hypotéza:
  - se vzrůstající hustotou ještěrek klesá počet pavouků (ještěrky žerou pavouky)

# POZOROVÁNÍ VS. MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY

## SROVNÁNÍ TESTOVANÝCH HYPOTÉZ

### Pozorování, observační studie

- Provedení:
  - na vybraných plochách je sledován počet ještěrek a počet pavouků. Vybíráme plochy (nebo ostrovy) s různou hustotou ještěrek (hustota ještěrek tedy není přímo manipulována, ale záleží na jiných faktorech).
- Možné hypotézy vysvětlující negativní vztah mezi ještěrkami a pavouky:
  1. počet ještěrek (negativně) ovlivňuje počet pavouků (ještěrky žerou pavouky)
  2. počet pavouků má vliv na počet ještěrek (draví pavouci napadají mláďata ještěrek)
  3. počet ještěrek i pavouků je ovlivňován neměřeným faktorem prostředí (třeba vlhkostí)
  4. některý faktor prostředí ovlivňuje sílu vztahu mezi ještěrkami a pavouky (třeba zase vlhkost)
- Možná řešení:
  1. vybírat plochy tak, aby se omezila variabilita vlhkosti (sledovat třeba jen vlhké plochy, které se liší hustotou ještěrek)
  2. dodatečně měřit faktory, které mohou ovlivňovat vztah (např. onu vlhkost)

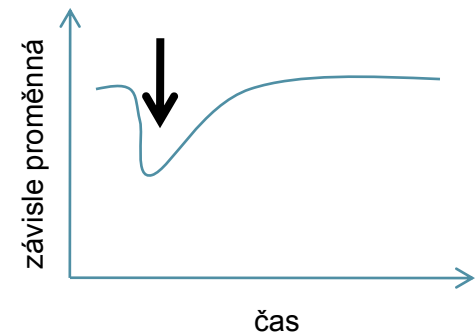
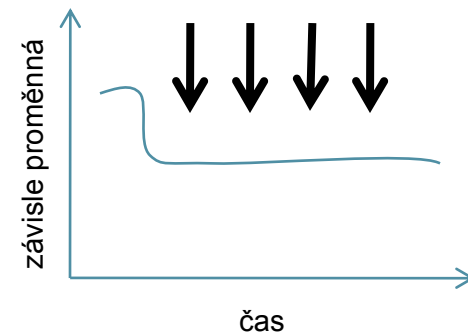
## „SNAPSHOT“ VS „TRAJECTORY“ SAMPLING

- „*Snapshot*“ (momentka)
  - opakuje se v prostoru, ale ne v čase
  - sběr vzorků provedu na několika (mnoha) lokalitách v relativně krátkém čase (týden, sezóna, dva roky sběru dat pro diplomku ...). Experiment udělám tak, že data seberu jednou – když skončí
  - představuje většinu pozorování v ekologii
  - zahrnuje i sukcesní studie, kdy sledujeme zároveň různá sukcesní stadia
- „*Trajectory*“ experiment (sledujeme trajektorii procesu v čase)
  - Opakuje se v čase
  - Sběr vzorků se na daných (většinou pevně vymezených plochách) opakuje několikrát za sebou
  - Sukcesní studie prováděné několik let, trvalé plochy v lesních porostech opakovaně měřené jednou za  $x$  let
  - Sledování několikaletého terénního experimentu v každé sezóně
  - Before-after-control-impact (BACI) design – 2 momenty: před zásahem a po zásahu

# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENT

## „PRESS“ VS „PULSE“ EXPERIMENT

- „*Press*“ experiment (experiment „pod stálým tlakem“)
  - zásah je proveden na začátku experimentu a pak znovu v pravidelných intervalech
  - měří **resistenci** systému na experimentální zásah – jak je systém (společenstvo) schopné odolávat, případně se přizpůsobit změnám v podmínkách prostředí
- „*Pulse*“ experiment (pulzní experiment, „jednou a dost“)
  - zásah je proveden jen jednou, obvykle na začátku experimentu
  - měří **resilienci** systému – jak pružně je systém (společenstvo) schopné reagovat na experimentální zásah

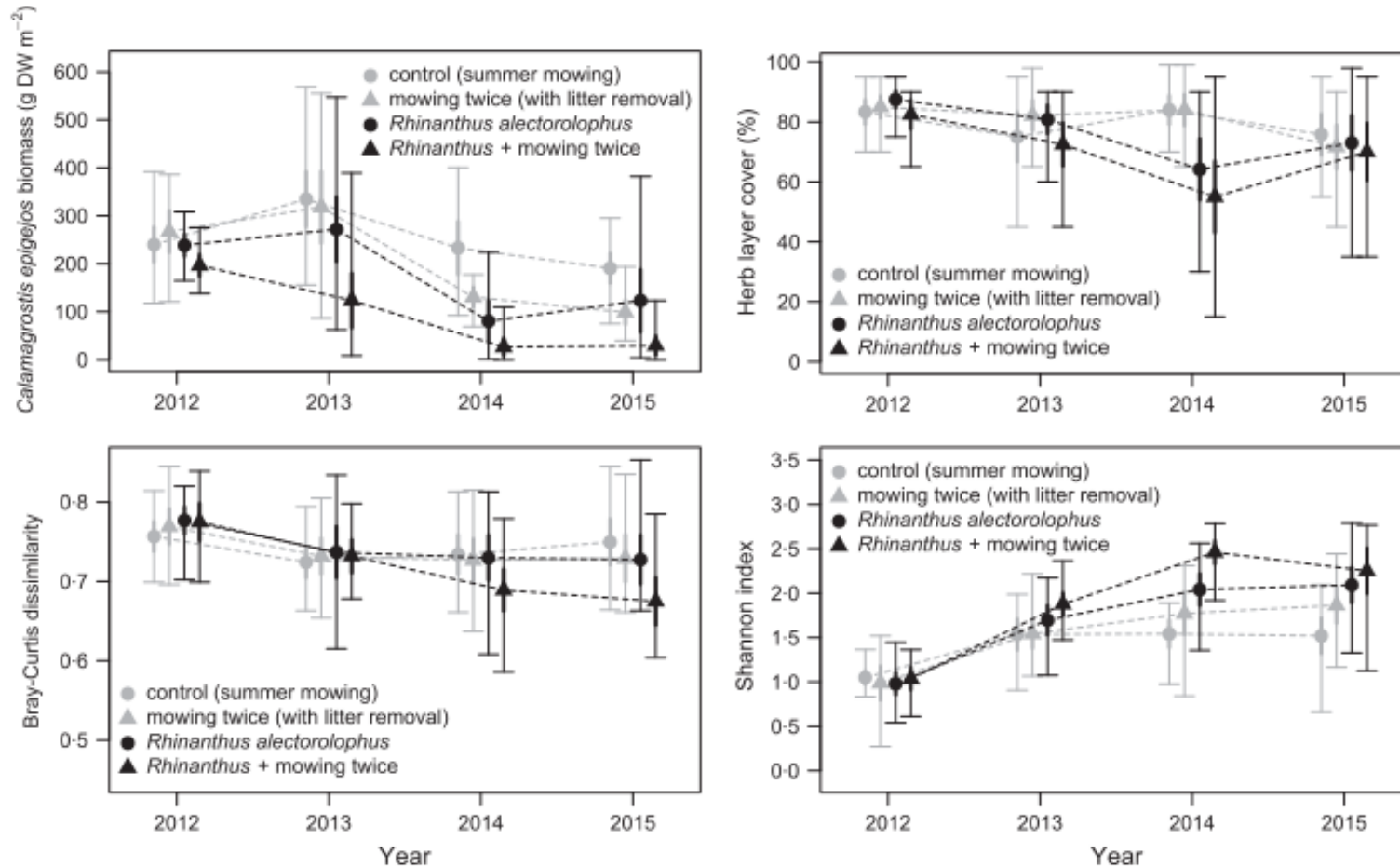


# STRUKTURA DAT

- Statistické analýzy vyžadují nezávislost jednotlivých pozorování
  - Možné splňovat u observačních studií (někdy)
  - Někdy ale nereálné – pak je třeba použít metody pro strukturovaná data
- Experimenty produkují vždy (trajectory, BACI) nebo většinou (snapshot) strukturovaná data
  - Struktura dat MUSÍ být ošetřena v analýze
  - Lineární modely se smíšenými efekty a příbuzné metody
    - *Jednorozměrná odpověď*
    - *Možnost zadat např. experimentální bloky jako faktor s náhodným efektem*
  - Mnohorozměrné analýzy
    - *Struktura dat do analýzy vstupuje pomocí kovariát*
    - *Úprava permutačních testů významnosti*

# TRAJECTORY EXPERIMENT – POTLAČENÍ TŘTINY KŘOVIŠTNÍ POMOCÍ POLOPARAZITŮ (TĚŠITEL ET AL. 2017)

*Suppressing dominants by parasitic plants* 1491



**Fig. 1.** Effects of the experimental treatments on *Calamagrostis epigejos* above-ground biomass, herb layer cover, dissimilarity of vegetation composition to target vegetation and Shannon index in the experiment 1. Means, one standard error intervals, and data ranges are displayed by points, bold lines, and whiskers, respectively.



# Scale- and time-dependent effects of fertilization, mowing and dominant removal on a grassland community during a 15-year experiment

Jan Lepš\*

4 J. Lepš

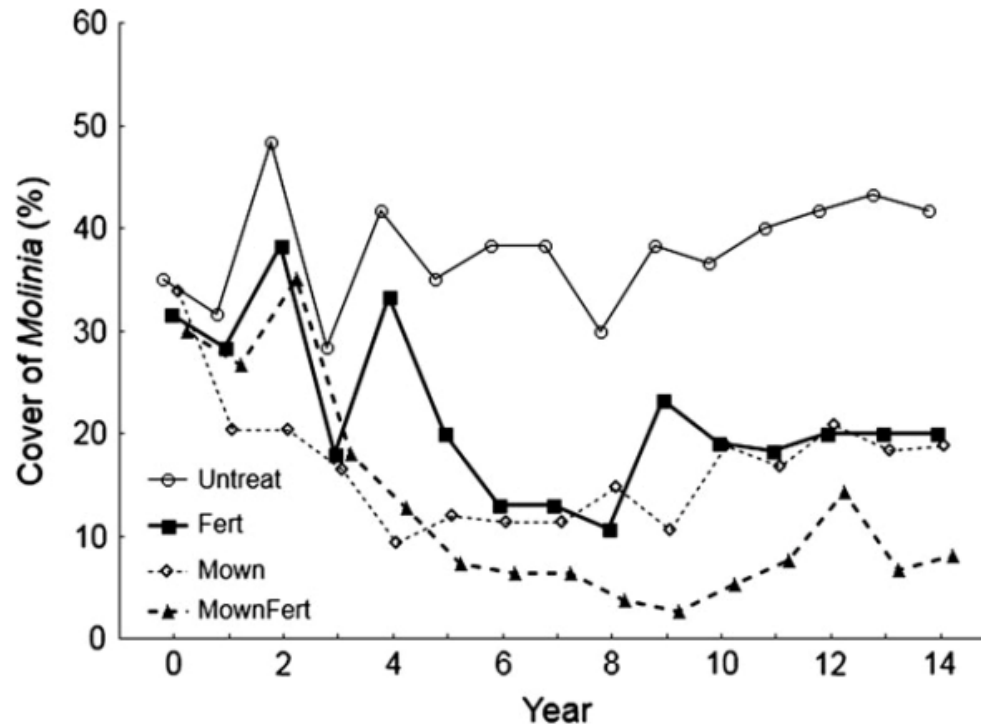
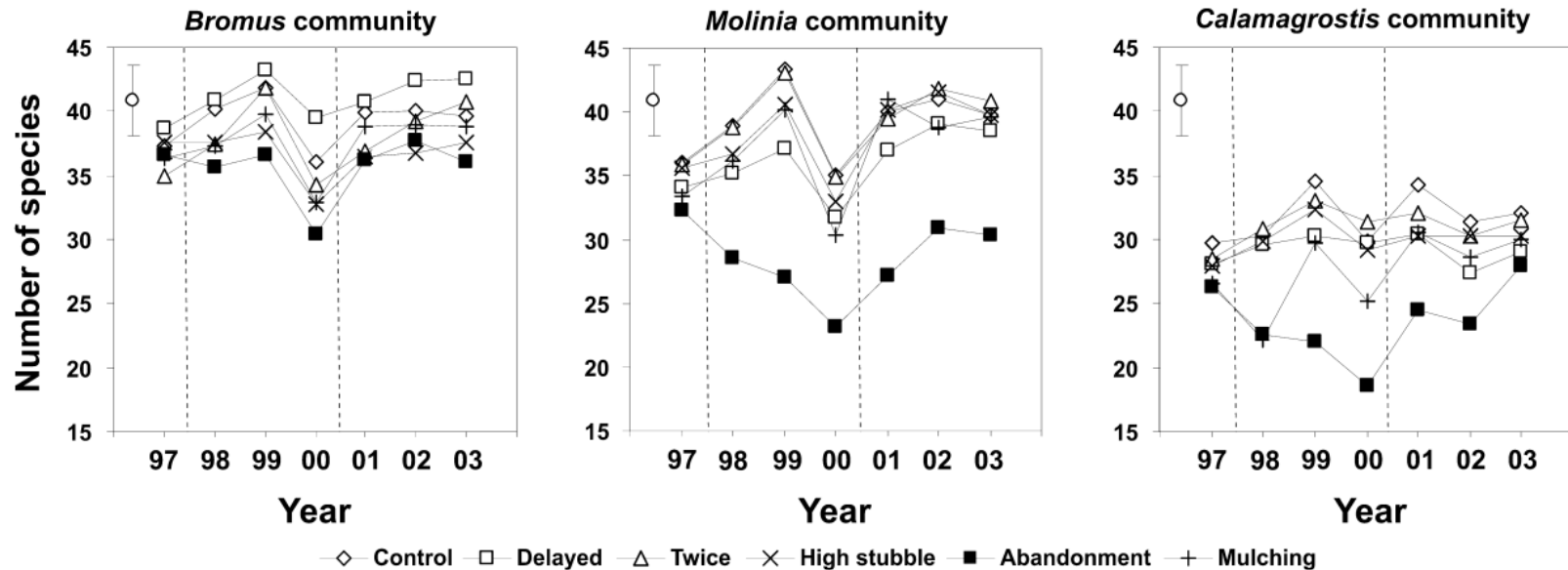


Fig. 1. Changes in mean cover of *Molinia caerulea* as a response to mowing and fertilization over 15 years. Dashed line – mown,

## Effects of changes in management on resistance and resilience in three grassland communities

Leoš Klimeš, Michal Hájek, Ondřej Mudrák, Martin Dančák, Zdenka Preislerová, Petra Hájková, Ivana Jongepierová & Jitka Klimešová



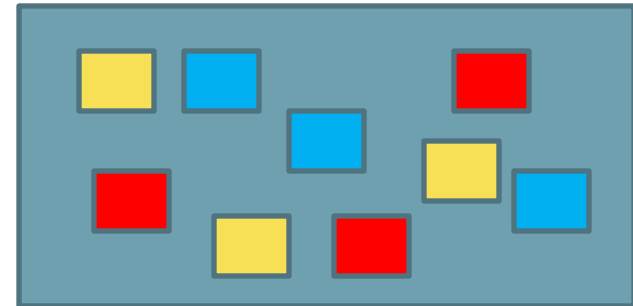
**Fig. 1.** Mean number of species in plots (0.56 m<sup>2</sup> per plot). Vertical dotted lines separate the year 1997 (before the treatments were applied), 1998–2000 (when treatments were applied) and 2001–2003 (when traditional management was resumed). The points with error bars span the 95% confidence interval.

# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENT

## ZÁKLADNÍ TYPY ROZMÍSTĚNÍ PLOCH

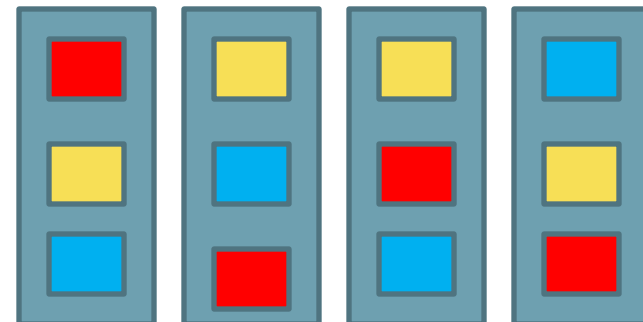
### o kompletně znáhodněný design

- nebere v úvahu heterogenitu prostředí
- Jednoduchý na analýzu, ale ne vždy je nejvhodnější/nejsilnější
- Veliké riziko popletení ploch
- Opravdové znáhodnění by vyžadovalo zavedení systému souřadnic a v rámci něho určení lokalizace ploch pomocí generování náhodných čísel



### o znáhodněné bloky

- vlastní bloky jsou vnitřně homogenní (pokud možno)
- bloky mohou být umístěné podle gradientu prostředí
- v každém bloku je právě jedna replikace každého zásahu



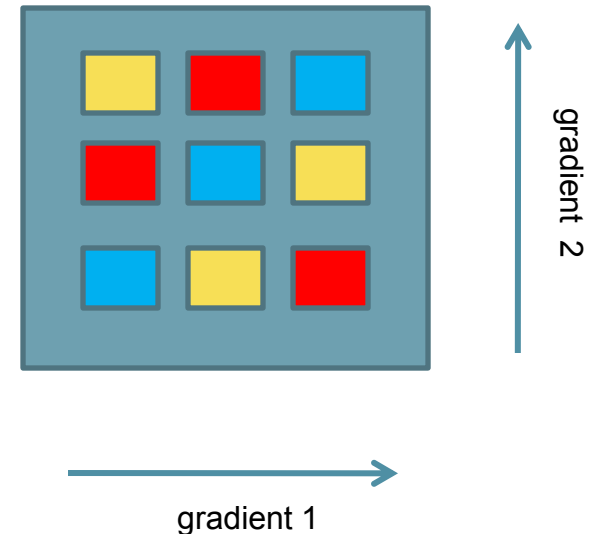
gradient prostředí

# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENT

## ZÁKLADNÍ TYPY ROZMÍSTĚNÍ PLOCH

### ○ latinský čtverec

- předpokládá přítomnost dvou gradientů v prostředí
- každý sloupec a každý řádek obsahuje právě jednu variantu zásahu
- možno použít i několik latinských čtverců



# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENT

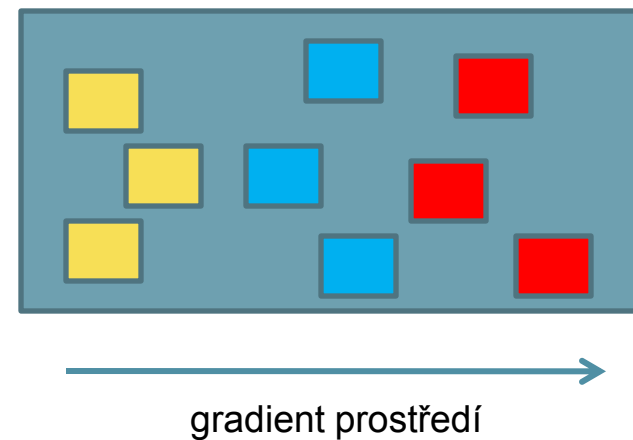
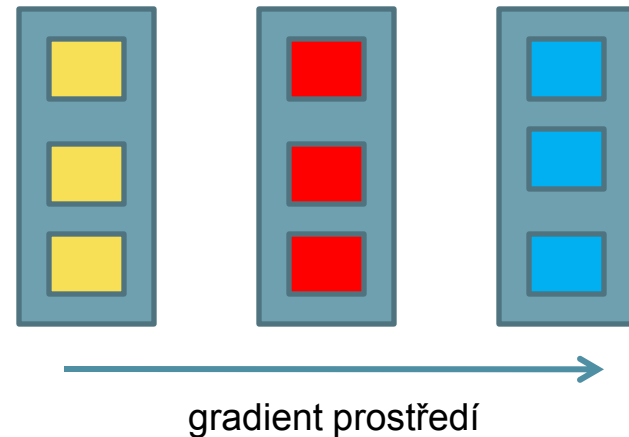
## NEJČASTĚJŠÍ CHYBY

### ○ pseudoreplikace

- testovat lze jen rozdíly v průměrech jednotlivých bloků
- plochy se stejným zásahem jsou umístěny blízko sebe, a mají proto větší pravděpodobnost, že si budou podobné i bez vlivu vlastního zásahu

### ○ neúplně znáhodněný design

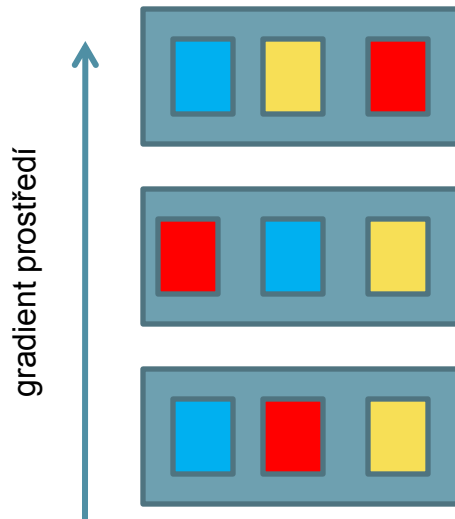
- v podstatě pseudoreplikace, jen méně zřejmá



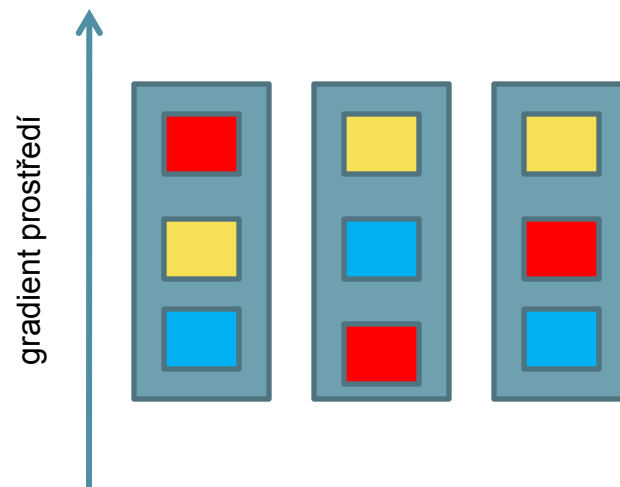
# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENT

## NEJČASTĚJŠÍ CHYBY

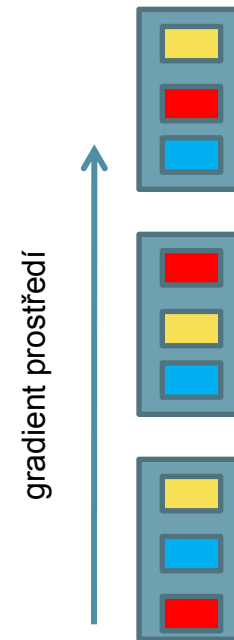
- design se znáhodněnými bloky – špatná orientace bloků
- Není to tragédie, ale snižuje sílu testů



správně



špatně

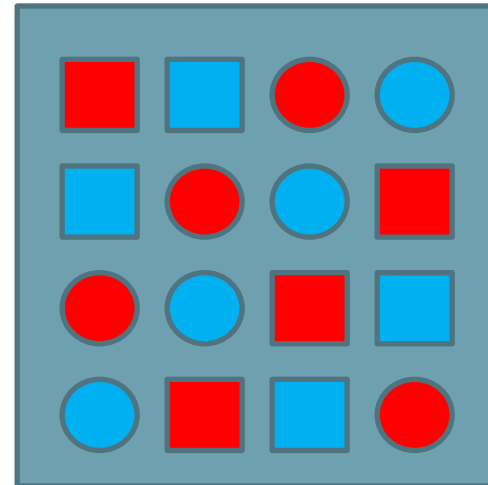


špatně

# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENT S VÍCE NEŽ JEDNÍM TYPEM ZÁSAHU

## o faktoriální design

- každá hladina prvního faktoru je kombinovaná s každou hladinou druhého faktoru (případně třetího atd.)
- například kombinace
  - o *koseno vs nekoseno*
  - o *hnojeno vs nehnojeno*
- jednotlivé kombinace mohou být rozmístěny v prostoru např. v rámci latinského čtverce

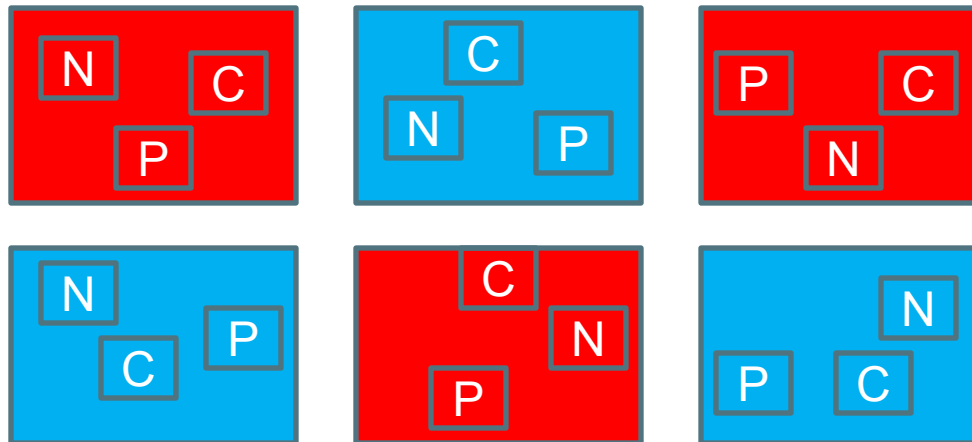


	ano	ne
koseno		
hnojeno		

# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENT S VÍCE NEŽ JEDNÍM TYPEM ZÁSAHU

## ○ split-plot design

- faktory jsou strukturovány hierarchicky (*nested*)
- například plochy hnojené různými hnojivy (C, N, P) v rámci bloků umístěných na vápenci (modrá) a žule (červená barva)







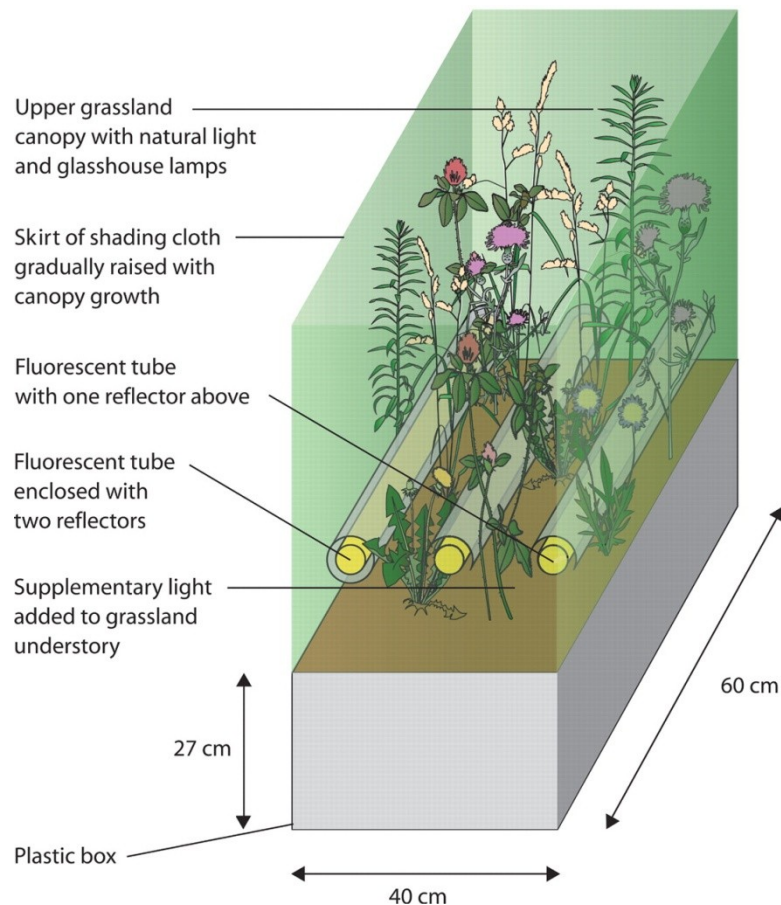
# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY – PŘÍPADOVÉ STUDIE ROTHAMSTED (ENGLAND) – PARK GRASSLAND EXP.



Třídění bylinné biomasy do druhů (kolem roku 1930) (<http://www.rothamsted.ac.uk>)

# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY – PŘÍPADOVÉ STUDIE

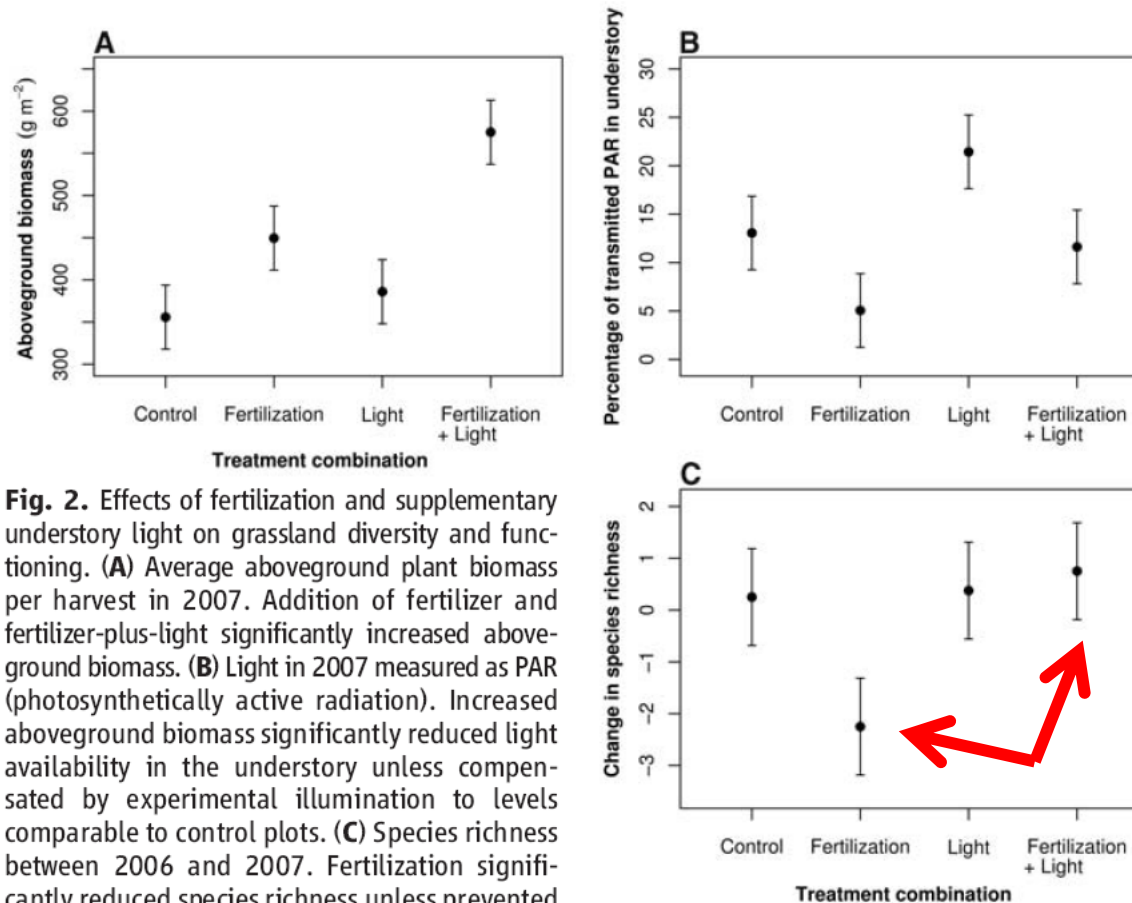
## KOMPETICE O SVĚTLO V EXPERIMENTÁLNÍM PROSTŘEDÍ



Při vyšším přísunu živin rostou rostliny rychleji a začnou si konkurovat o světlo – tak proč jim trochu nepřisvítit?

# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY – PŘÍPADOVÉ STUDIE

## KOMPETICE O SVĚTLO V EXPERIMENTÁLNÍM PROSTŘEDÍ



**Fig. 2.** Effects of fertilization and supplementary understory light on grassland diversity and functioning. **(A)** Average aboveground plant biomass per harvest in 2007. Addition of fertilizer and fertilizer-plus-light significantly increased aboveground biomass. **(B)** Light in 2007 measured as PAR (photosynthetically active radiation). Increased aboveground biomass significantly reduced light availability in the understory unless compensated by experimental illumination to levels comparable to control plots. **(C)** Species richness between 2006 and 2007. Fertilization significantly reduced species richness unless prevented by the addition of supplementary light to the understory. Points denote treatment means, and the intervals show least significant differences (treatments with nonoverlapping intervals are significantly different at  $P = 0.05$ ).

# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY – PŘÍPADOVÉ STUDIE

## STANOVENÍ POTENCIÁLNÍ STANOVIŠTNÍ PRODUKTIVITY V DOUBRAVÁCH PĚSTOVÁNÍM ŘEDKVIČEK VE SKLENÍKU



The most obvious differences



Control pot with Perlite  
– the lowest concentration of fertilizer

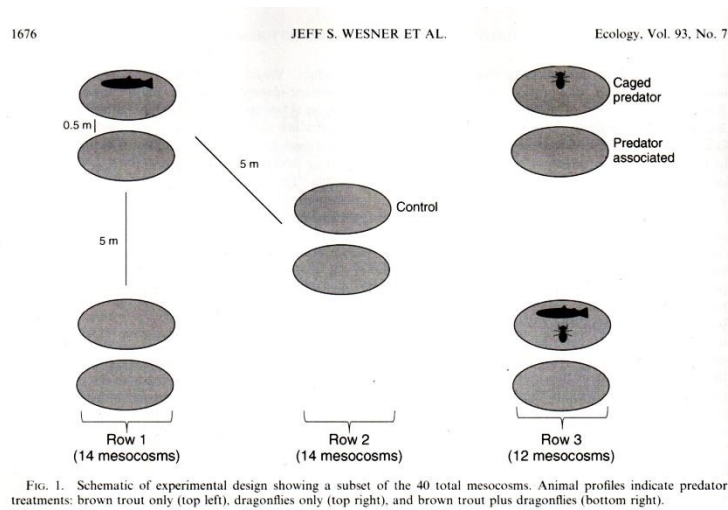


Control pot with Perlite  
– the highest concentration of fertilizer



# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY – PŘÍPADOVÉ STUDIE

## MEZOKOSMOVÝ EXPERIMENT S HMYZEM A PREDÁTORY



Kádě, které samy o sobě nejsou obsazeny predátory (larvy vážek a pstruzi), ale jsou v blízkosti kádí s predátory, jsou pro létající hmyz kladoucí vajíčka stejně neatraktivní jako vlastní kádě s predátory.



# MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY – PŘÍPADOVÉ STUDIE

## VLIV HERBIVORNÍCH RYB NA DRUHOVÉ SLOŽENÍ KORÁLOVÝCH ÚTESŮ



Autor: Nicole Černohorská (v rámci disertační práce)

# OBSERVAČNÍ STUDIE

## ROZMÍSTĚNÍ VZORKOVACÍCH PLOCH

- Preferenční





# OBSERVAČNÍ STUDIE

## ROZMÍSTĚNÍ VZORKOVACÍCH PLOCH

- Systematické rozmístění v síti (*lattice*)



# OBSERVAČNÍ STUDIE

## ROZMÍSTĚNÍ VZORKOVACÍCH PLOCH

- Systematické rozmístění v síti (*grid*)



# OBSERVAČNÍ STUDIE

## ROZMÍSTĚNÍ VZORKOVACÍCH PLOCH

- Systematické rozmístění na transektu



# OBSERVAČNÍ STUDIE

## ROZMÍSTĚNÍ VZORKOVACÍCH PLOCH

- Náhodné rozmístění



# OBSERVAČNÍ STUDIE

## ROZMÍSTĚNÍ VZORKOVACÍCH PLOCH

### ○ Preferenční rozmístění

- **statistické hledisko:** snímky nejsou náhodným výběrem, což limituje jejich použití při statistických analýzách (Lajer 2007, *Folia Geobotanica*)
- **hledisko vegetačního ekologa:** popisují maximální variabilitu vegetace
- **praktické důsledky:** snímky bývají druhově bohatší, obsahují větší počet diagnostických nebo vzácných druhů

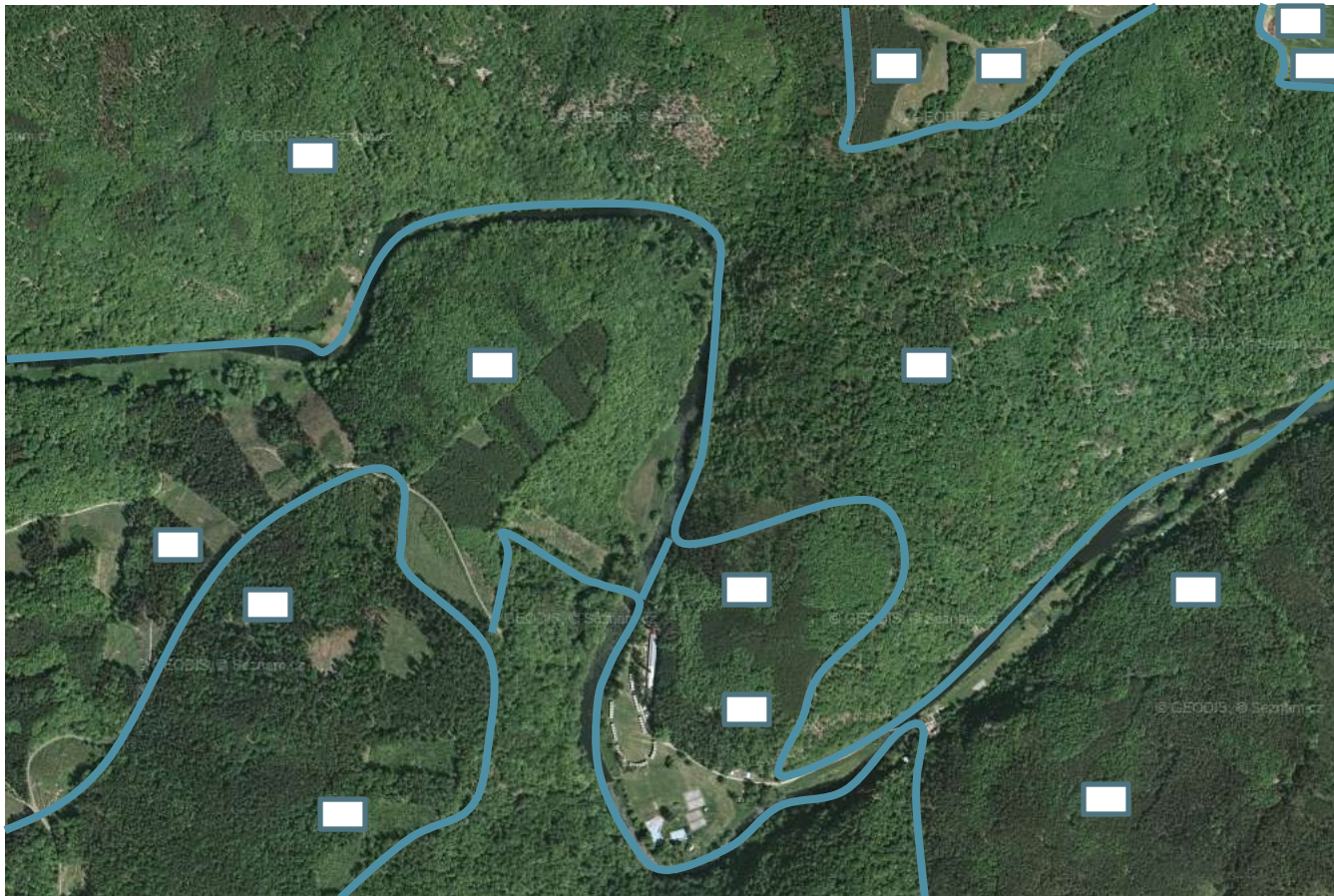
### ○ Náhodné (a systematické) rozmístění

- **statistické hledisko:** snímky jsou náhodným výběrem v reálném prostoru (ne ale v ekologickém hyperprostoru)
- **hledisko veg. ekologa:** nezachytí celou variabilitu vegetace - chybí maloplošné a vzácné vegetační typy, převládají velkoplošné a běžné typy, zahrnují řadu špatně klasifikovatelných vegetačních přechodů
- **praktické důsledky:** snímky odrážejí reálnou strukturu a bohatost vegetace v krajině, ale metoda je neúměrně pracná

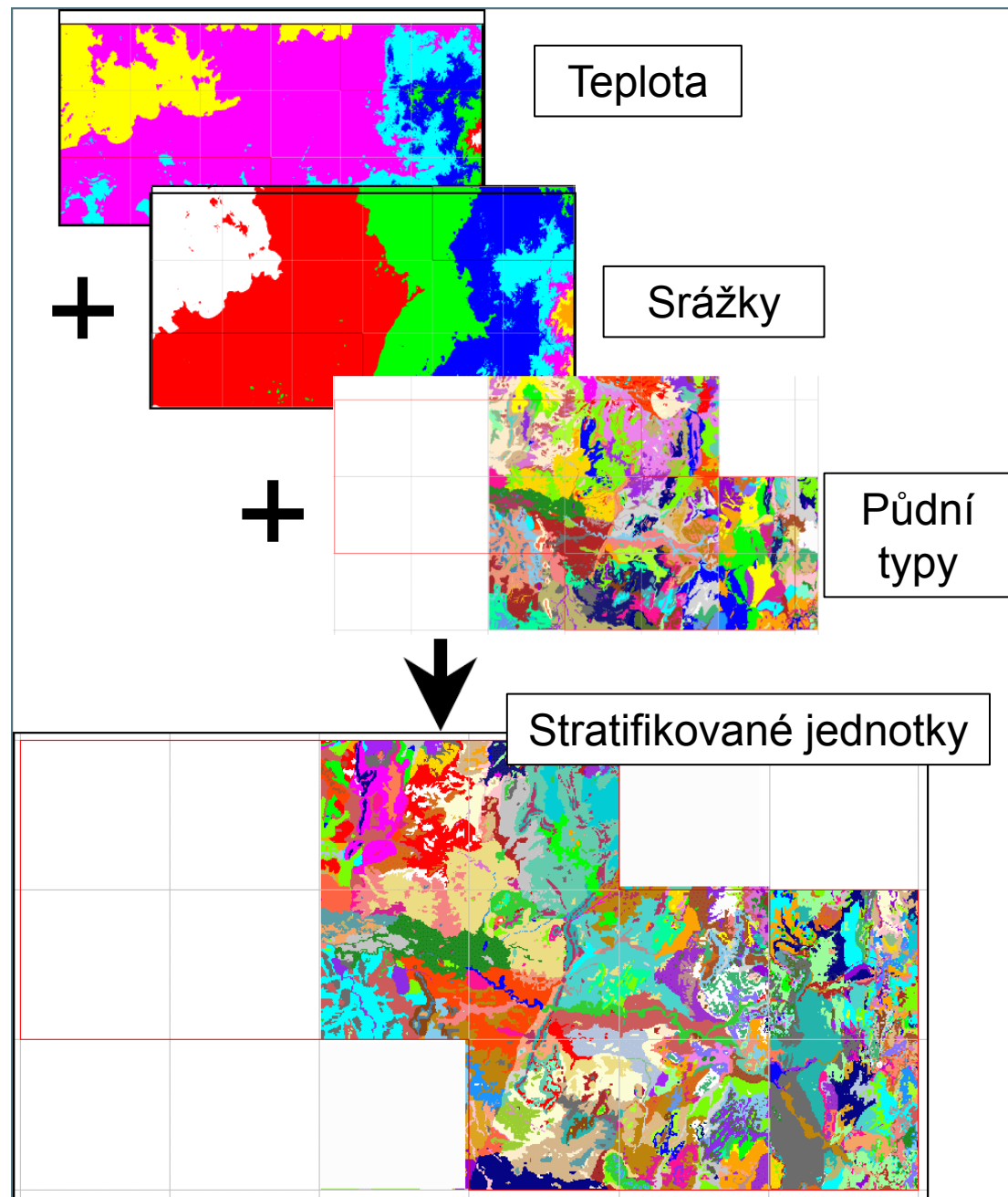
# OBSERVAČNÍ STUDIE

## ROZMÍSTĚNÍ VZORKOVACÍCH PLOCH

- Stratifikované náhodné rozmístění



# STRATIFIKACE KRAJINY V GIS



Austin et al. 2000

# PROSTOROVÁ AUTOKORELACE

- bližší plochy jsou si podobnější
- Její vliv lze odhadnout (ale často ne odfiltrovat) pomocí vhodné zvolené analýzy

