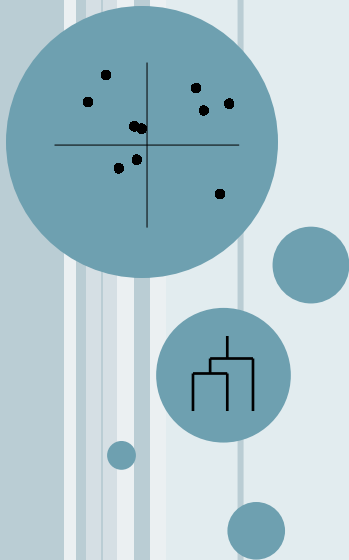


DESIGN EKOLOGICKÝCH EXPERIMENTŮ

“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
- Nemůžeme určit směr vztahu mezi příčinou a důsledkem – **korelace, koincidence**
 - *Nelze předpovědět, co se stane s Y, když se změní X*

ZÁKLADNÍ OTÁZKA: CO CHCI STUDIÍ ZJISTIT?

- Jaká je variabilita proměnné Y v čase nebo prostoru?
 - *pattern description*
 - nejčastější otázka v ekologických observačních studiích
- Má faktor X vliv na proměnnou Y?
 - *hypothesis testing*, otázka pro manipulativní experiment
 - Můžeme interpretovat i u některých pozorování na základě externí informace. Např celkem dobře tušíme, že korelaci deště s používáním deštníků způsobuje vliv deště na chování lidí, nikoliv, že by lidé pomocí deštníků přivolali déšť.
- Jaký model nejlépe vystihuje vztah mezi faktorem X a proměnnou Y?
 - Budování lineárního modelu
 - sbíráme podklady pro matematické modelování

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

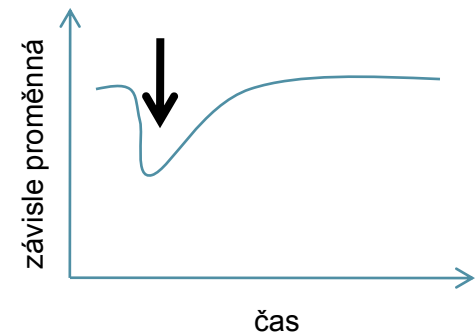
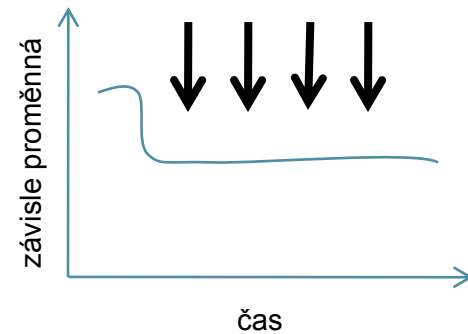
Pozorování, observační studie

- 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)

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



„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

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

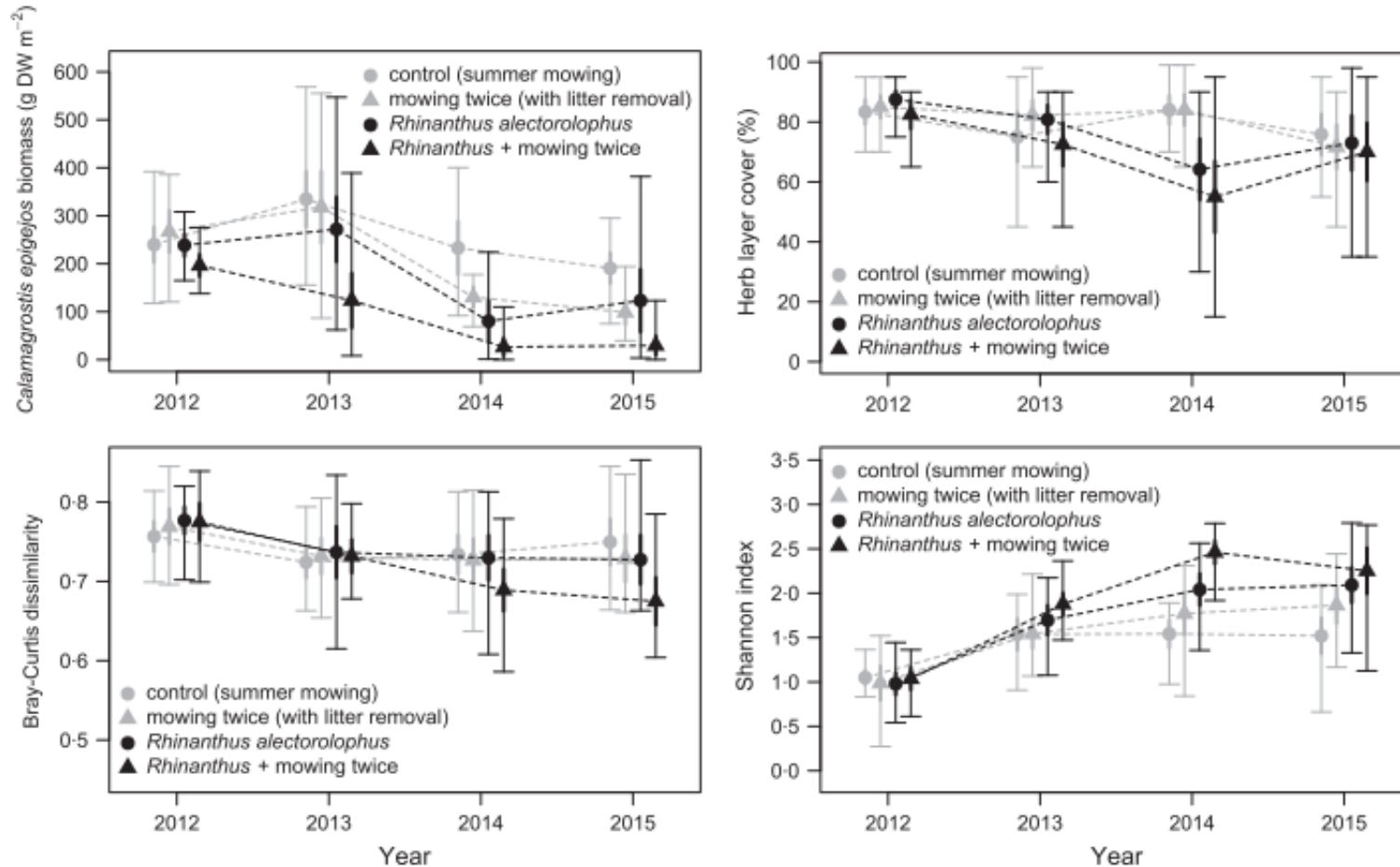


Fig. 1. Effects of the experimental treatments on *Calamagrostis epigejos* above-ground biomass, herb layer cover, dissimilarity of vegetation composition to target vegetation and Shannon index in the experiment 1. Means, one standard error intervals, and data ranges are displayed by points, bold lines,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

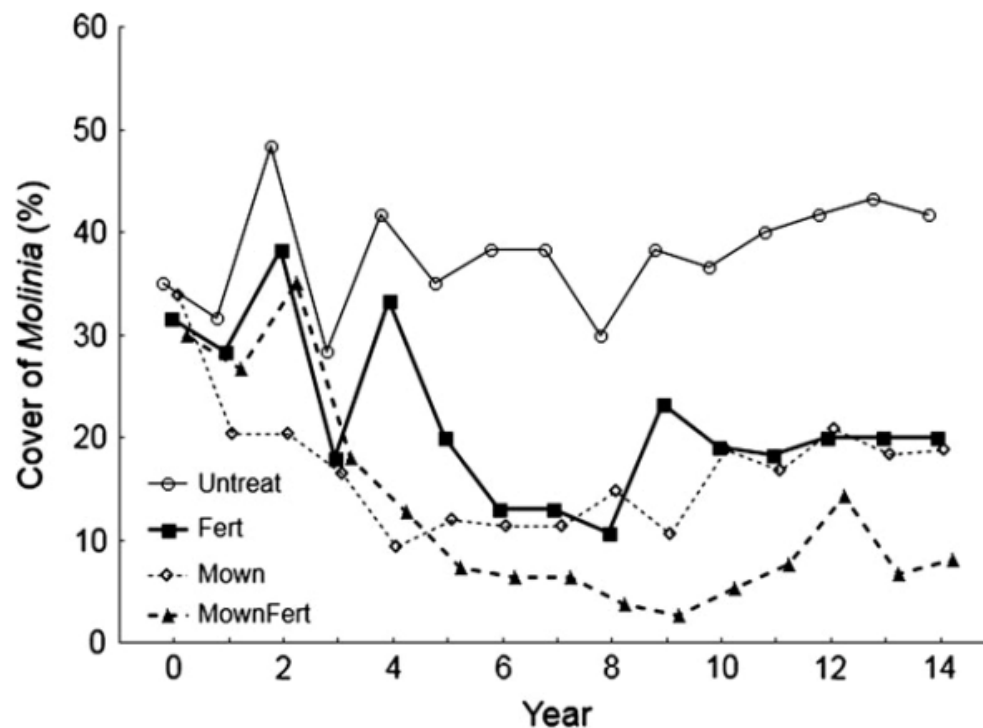


Fig. 1. Changes in mean cover of *Molinia caerulea* as a response to mowing and fertilization over 15 years. Dashed line – mown,

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

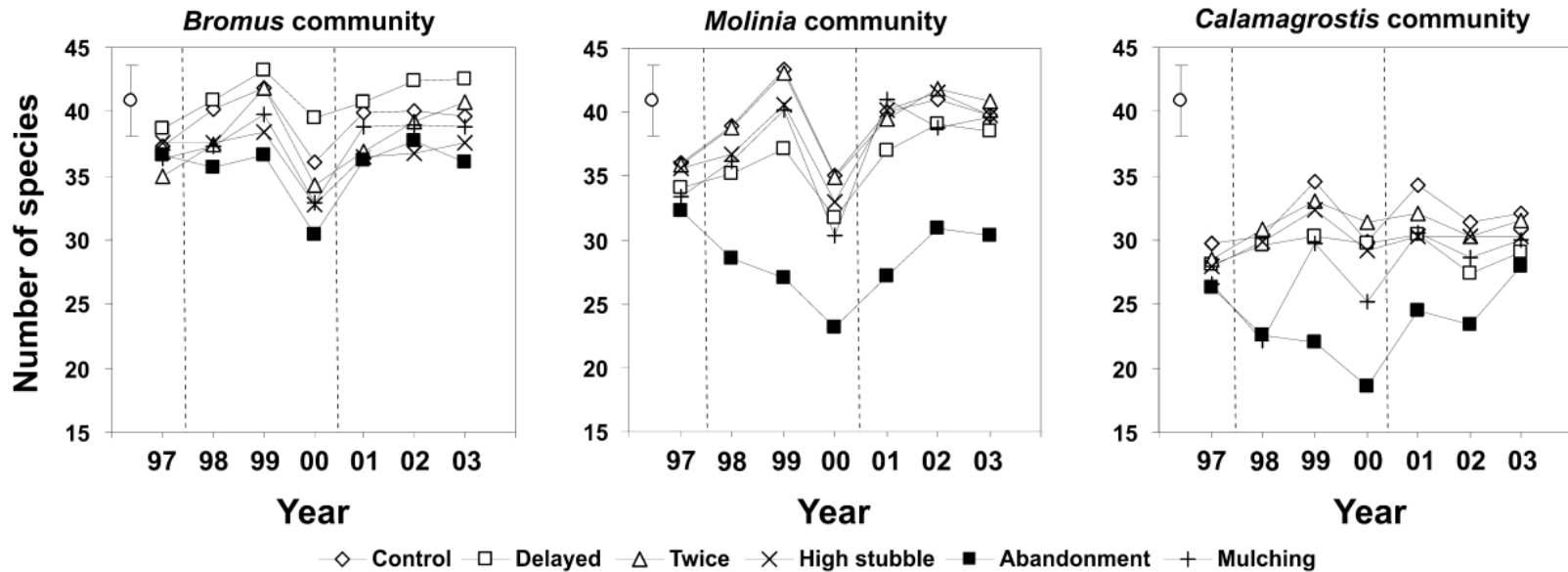


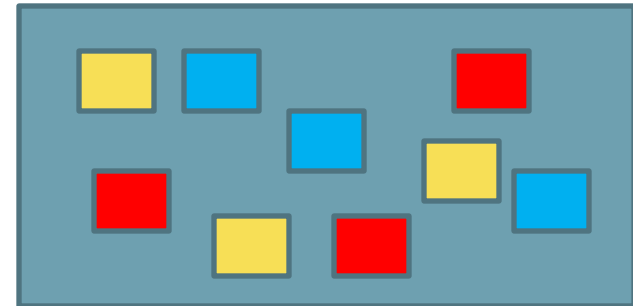
Fig. 1. Mean number of species in plots (0.56 m² per plot). Vertical dotted lines separate the year 1997 (before the treatments were applied), 1998–2000 (when treatments were applied) and 2001–2003 (when traditional management was resumed). The points with error bars span the 95% confidence interval.

MANIPULATIVNÍ EXPERIMENT

ZÁKLADNÍ TYPY ROZMÍSTĚNÍ PLOCH

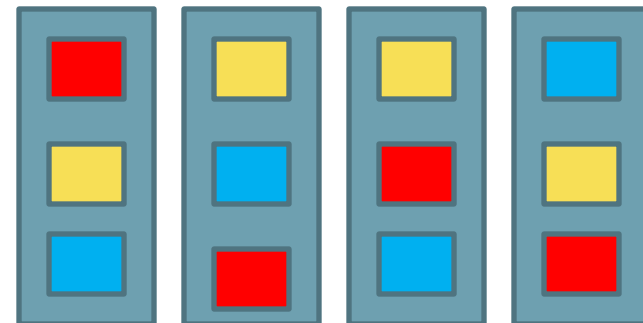
o kompletně znáhodněný design

- nebere v úvahu heterogenitu prostředí
- ne vždy je nejvhodnější
- 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)
- počet bloků = počet opakování
- bloky jsou umístěné podle gradientu prostředí
- v každém bloku je právě jedna replikace každého zásahu



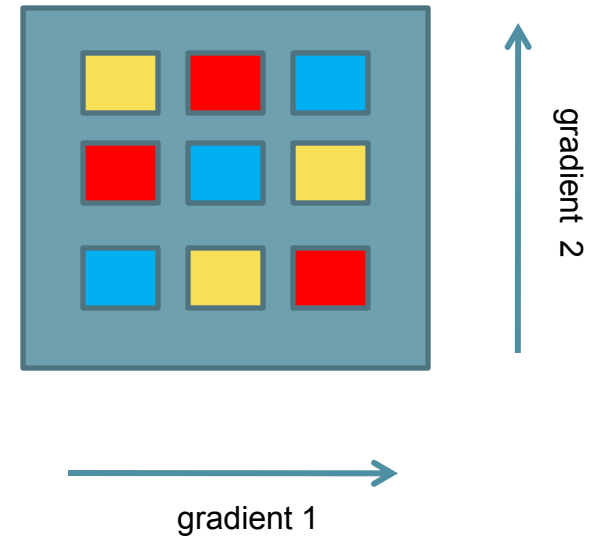
gradient prostředí

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

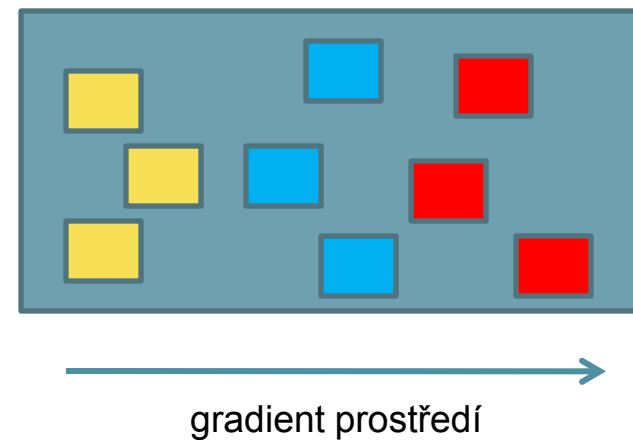
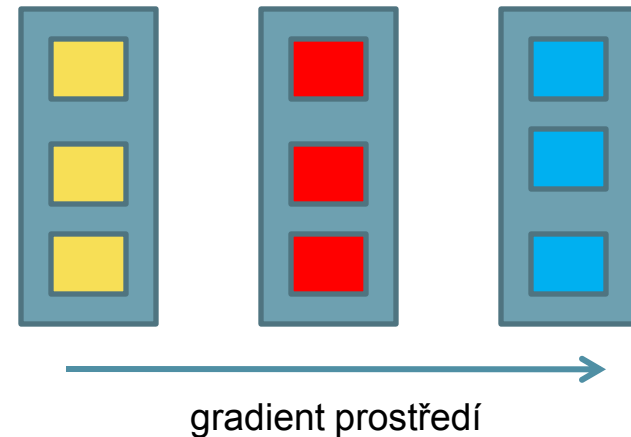
NEJČASTĚJŠÍ CHYBY

○ 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

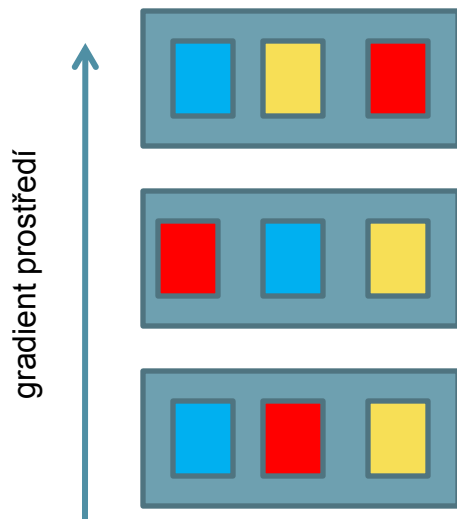
- v podstatě pseudoreplikace, jen méně zřejmá



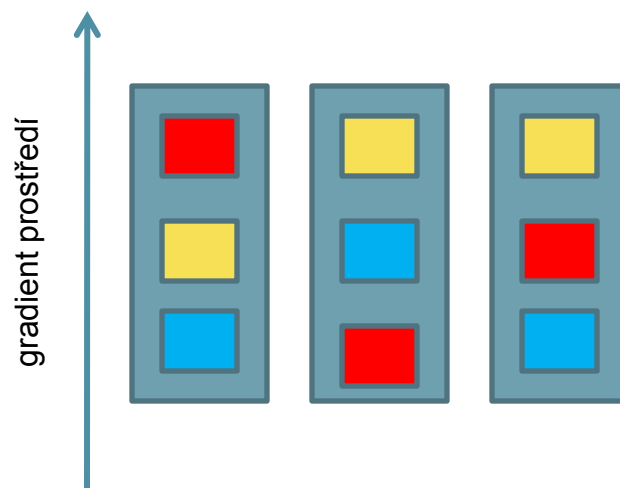
MANIPULATIVNÍ EXPERIMENT

NEJČASTĚJŠÍ CHYBY

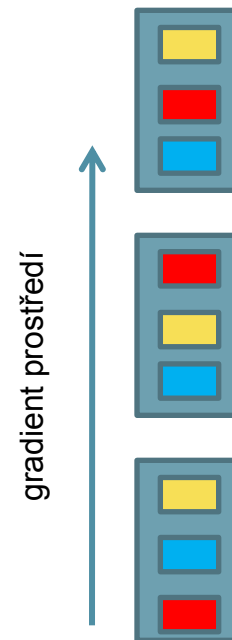
- design se znáhodněnými bloky – špatná orientace bloků



správně



špatně

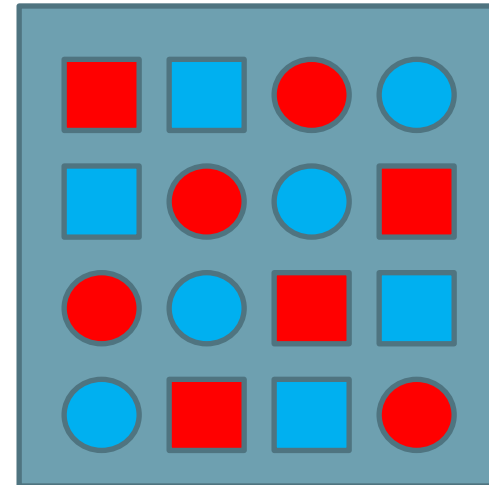


špatně

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



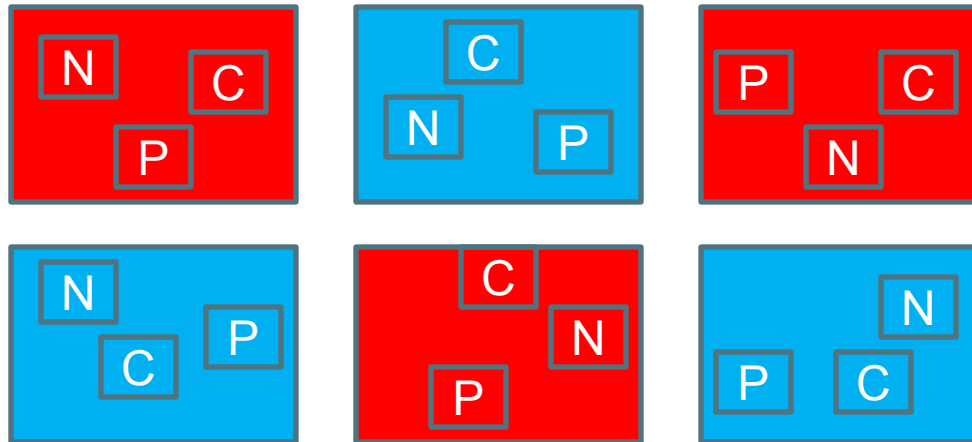
| | ano | ne |
|---------|---|---|
| koseno |  |  |
| hnojeno |  |  |

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)



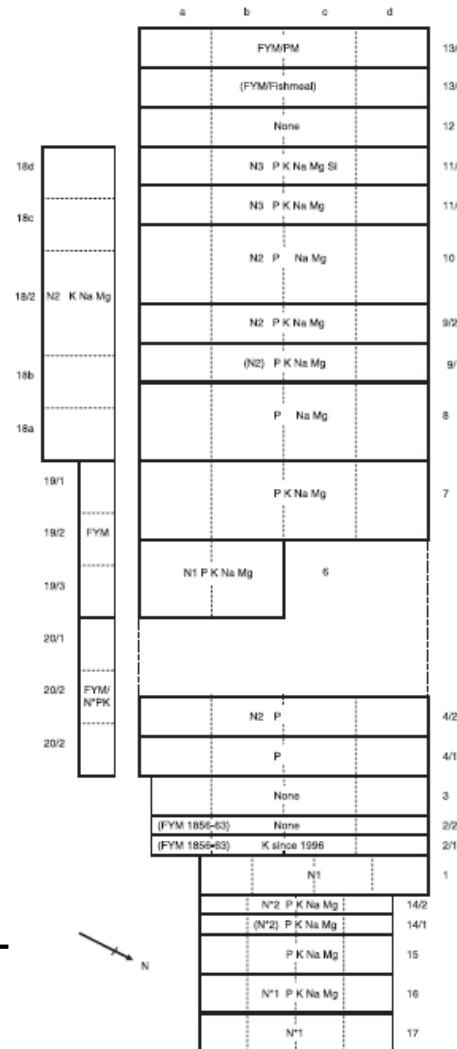
MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY – PŘÍPADOVÉ STUDIE ROTHAMSTED (ENGLAND) – PARK GRASSLAND EXPERIMENT (ZALOŽEN 1843)

letecký pohled



Silvertown et al. (2006) *J. Ecol.*

plán zásahů



Plot treatments
(per hectare per year unless indicated)

Nitrogen (applied in spring)

N1, N2, N3: ammonium sulphate supplying
48, 96, 144 kg N and 55, 110, 165 kg S

N*1, N*2: sodium nitrate supplying
48, 96 kg N and 78, 157 kg Na

(N2), (N*2): last applied 1989

Minerals (applied in winter)

P: triple superphosphate supplying 35 kg P

K: potassium sulphate supplying 225 kg K
and 99 kg S

Na: sodium sulphate supplying 15 kg Na
and 10 kg S

Mg: magnesium sulphate (Epsom salts)
supplying 10 kg Mg and 13 kg S

Si: water soluble sodium silicate supplying
135 kg Si and 63 kg Na

Plot 20: rates of fertilizer in years when FYM
is not applied; 30 kg N*, 15 kg P, 45 kg K

Organics (applied every 4 years)

FYM: 35 t ha⁻¹ farmyard manure supplying
c. 240 kg N, 45 kg P, 350 kg K,
25 kg Na, 25 kg Mg, 40 kg S, 135 kg Ca

PM: Pelleted poultry manure (replaced
fishmeal in 2003) supplying c. 65 kg N

On plot 13/2 FYM and PM (previously fishmeal)
are applied in a 4-year cycle, i.e.
FYM in 2005, 2001, 1997, 1993 etc.
PM in 2003, fishmeal in 1999, 1995, 1991 etc.

(FYM/Fishmeal): FYM and fishmeal last applied
in 1993 and 1995 respectively.

Lime

Sub-plots a, b and c: differential amounts of
chalk applied, if needed, every 3 years to
maintain soil pH 7, 6 and 5, respectively

Sub-plot d receives no chalk

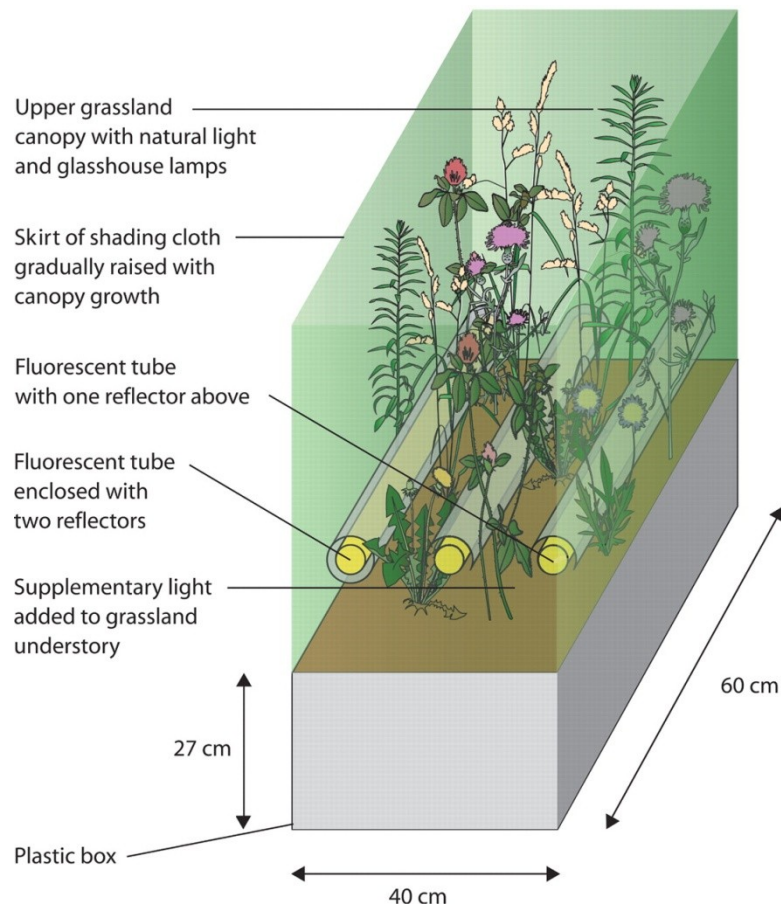
MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY – PŘÍPADOVÉ STUDIE ROTHAMSTED (ENGLAND) – PARK GRASSLAND EXP.



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?

Hautier et al. (2009) *Science* 324: 636-638

MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY – PŘÍPADOVÉ STUDIE

KOMPETICE O SVĚTLO V EXPERIMENTÁLNÍM PROSTŘEDÍ

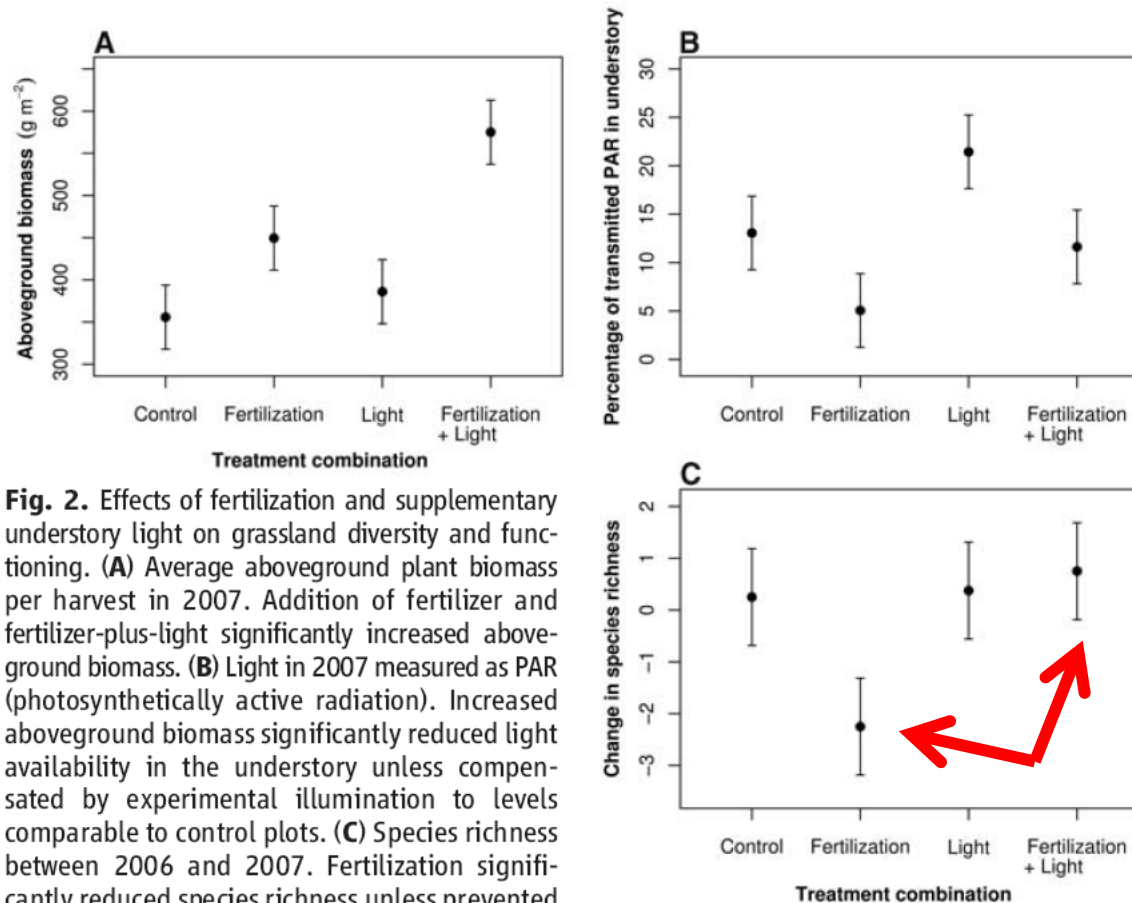


Fig. 2. Effects of fertilization and supplementary understory light on grassland diversity and functioning. **(A)** Average aboveground plant biomass per harvest in 2007. Addition of fertilizer and fertilizer-plus-light significantly increased aboveground biomass. **(B)** Light in 2007 measured as PAR (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

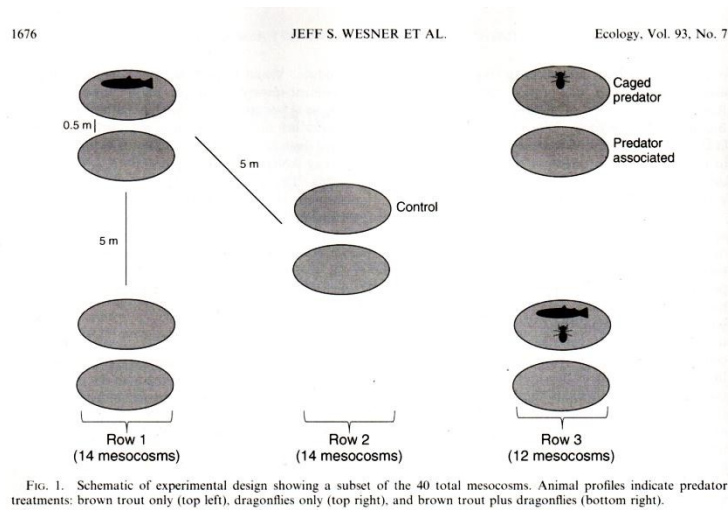


Control pot with Perlite
– the highest concentration of fertilizer



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.



<http://nwdragonflier.blogspot.cz>



<http://www.jjphoto.dk>

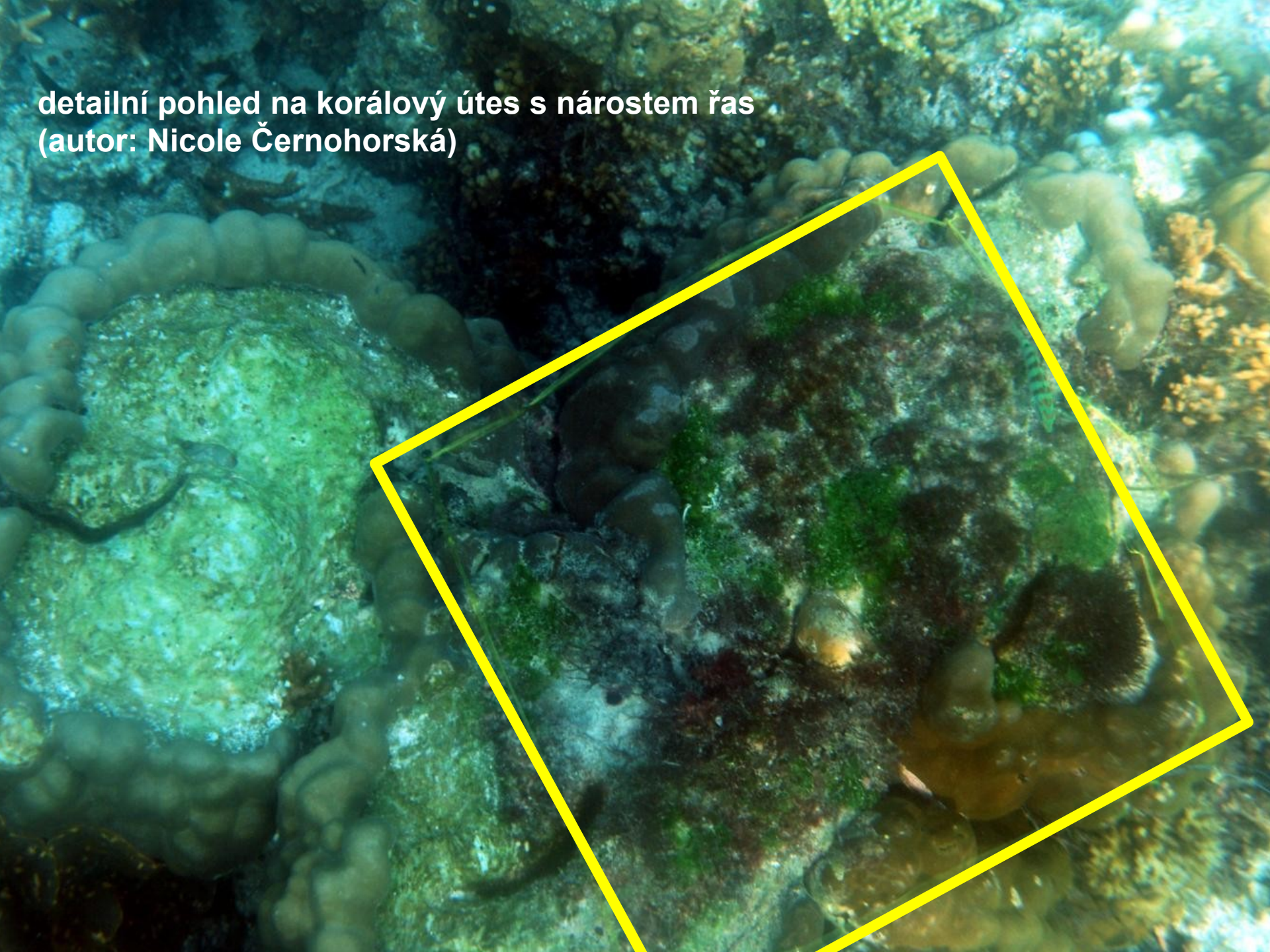
MANIPULATIVNÍ EXPERIMENTY – PŘÍPADOVÉ STUDIE

VLIV HERBIVORNÍCH RYB NA DRUHOVÉ SLOŽENÍ KORÁLOVÝCH ÚTESŮ



Autor: Nicole Černohorská (v rámci disertační práce)

detailní pohled na korálový útes s nárostem řas
(autor: Nicole Černohorská)



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

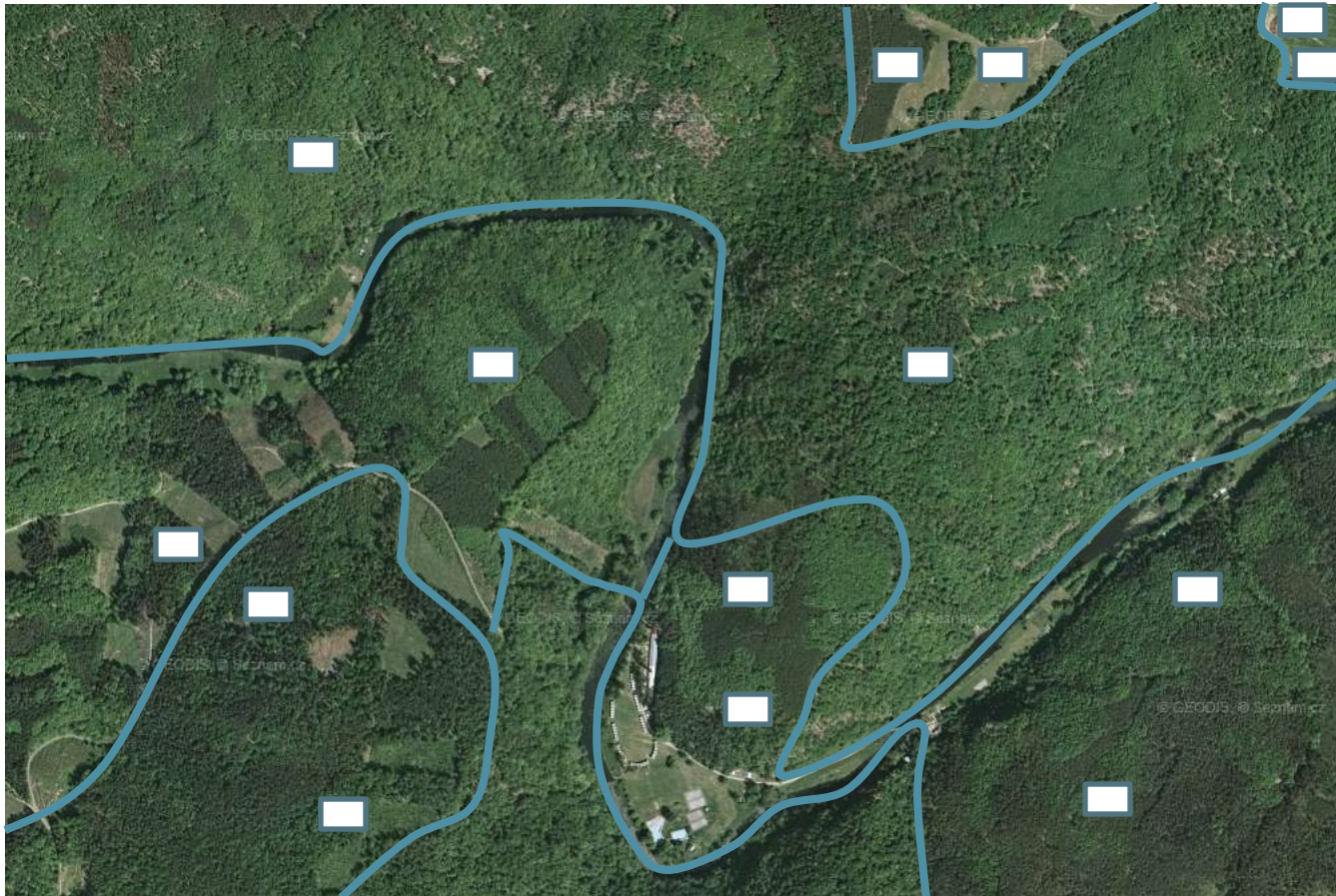
○ Náhodné (a systematické) rozmístění

- **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

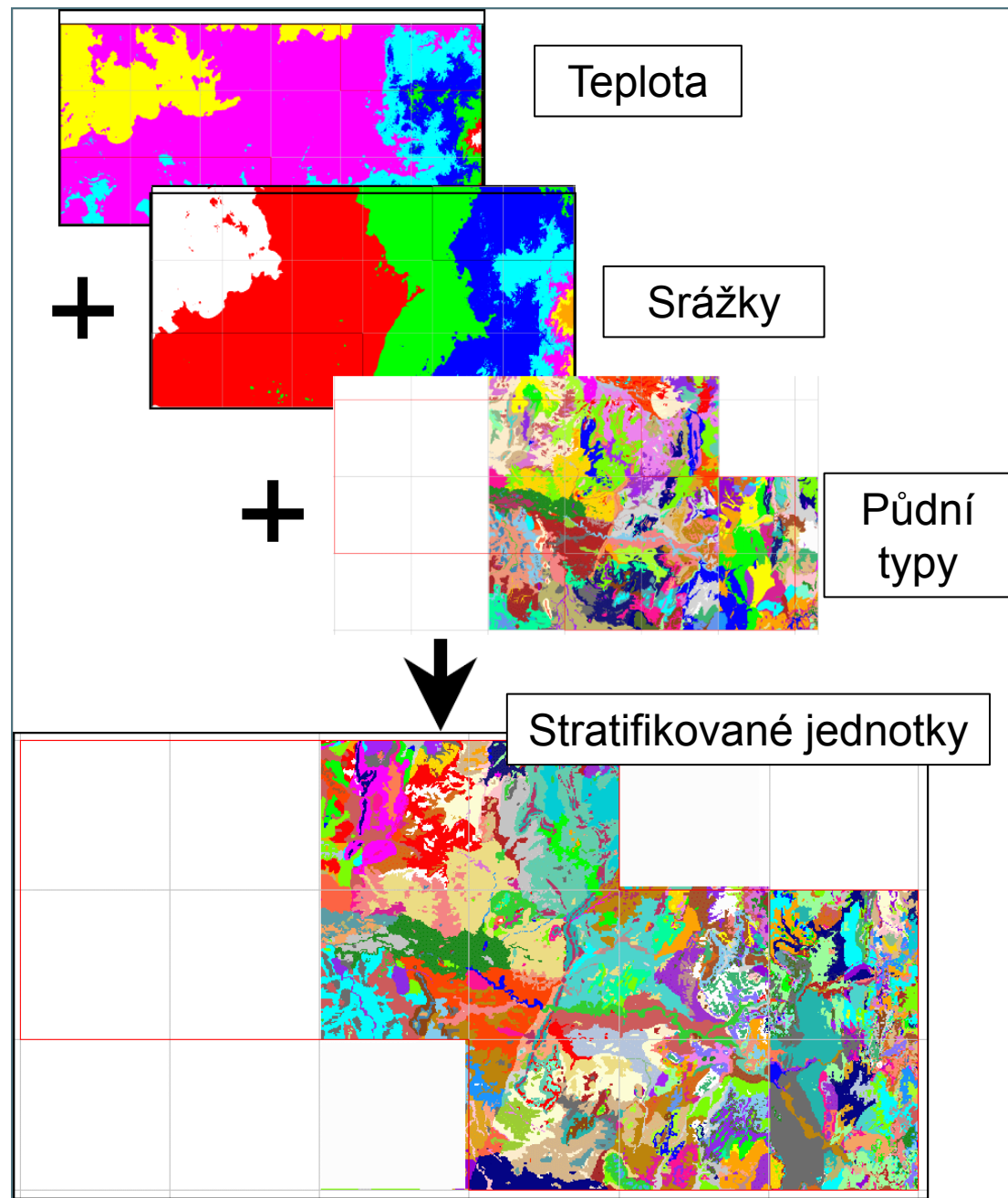
OBSERVAČNÍ STUDIE

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

