

# Plánování Průmyslových Experimentů

prof. RNDr. Gejza Dohnal, CSc.

Ústav technické matematiky,

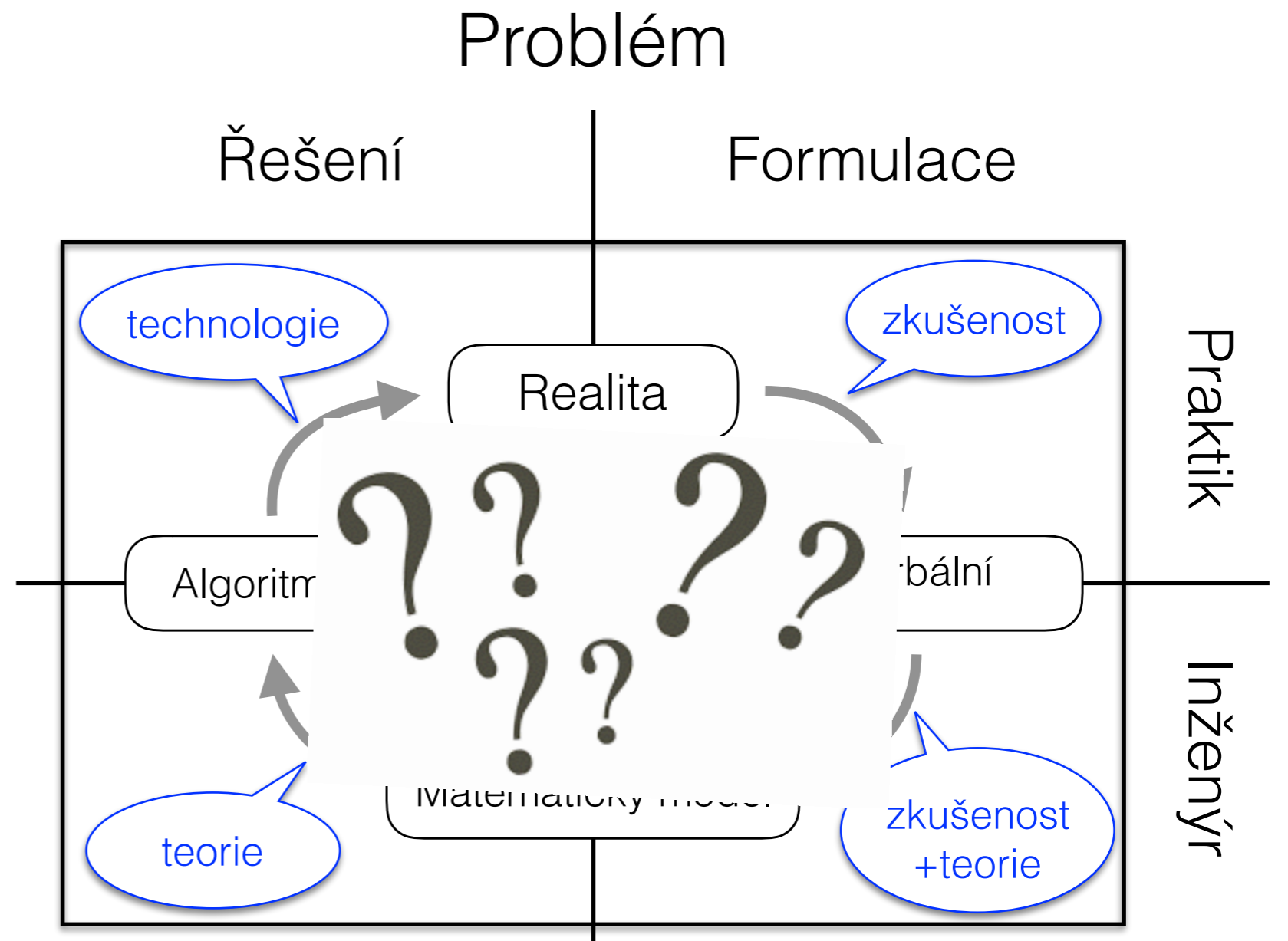
ČVUT v Praze, Karlovo nám. 13, Praha 2

[gejza.dohnal@fs.cvut.cz](mailto:gejza.dohnal@fs.cvut.cz)

<https://sms.nipax.cz/ppe>

mobil: 777 243 996

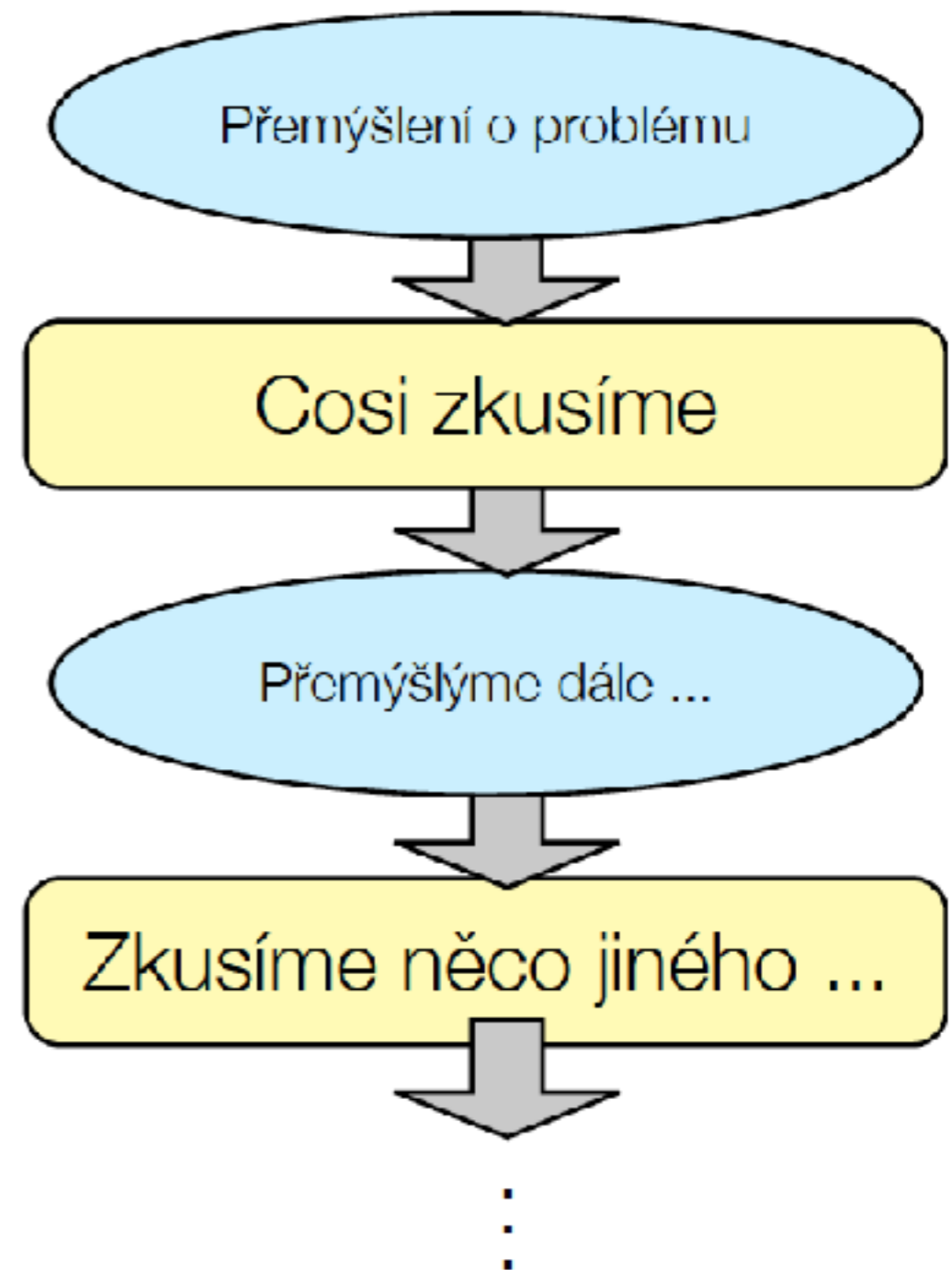
# Plánování Průmyslových Experimentů



# Plánování Průmyslových Experimentů

- funguje v jednotlivých případech a jen s několika málo lidmi
- často čekáme velmi dlouho na výsledek
- vyžaduje zkušenost a intuici
- lze jej využít pouze v omezeném okruhu aplikací

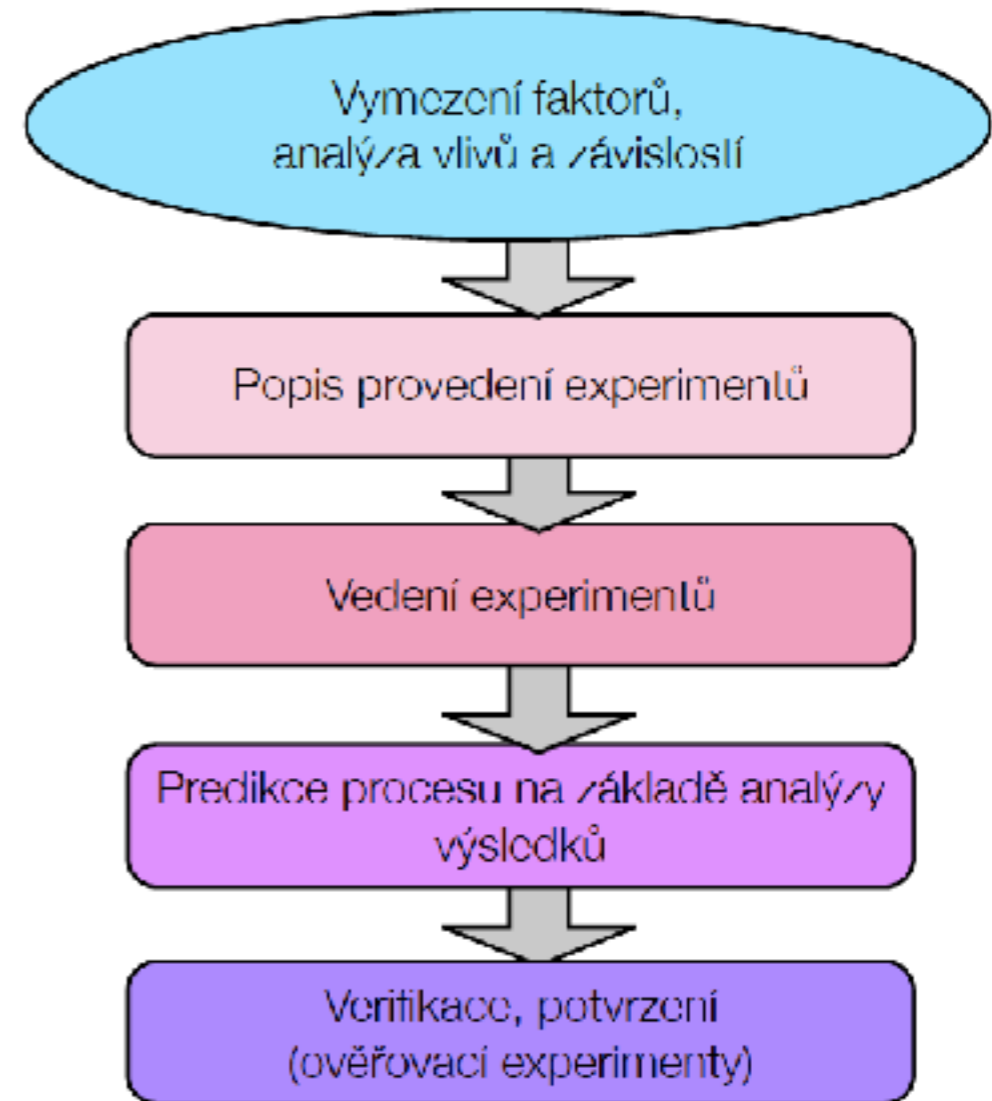
Nesystematický přístup k řešení problémů - metoda "pokusu a omylu":



# Plánování Průmyslových Experimentů

- týmová práce a společné rozhodování
- vyžaduje být aktivní a objektivně plánovat experimenty
- zahrnuje předvídání a ověřování očekávaných výsledků před provedením experimentu
- důraz na optimalitu

Systematický přístup  
k řešení problémů -  
plánování experimentu:



# Plánování Průmyslových Experimentů

- Klasický přístup - R. A. Fisher (20. léta 20. století)
  - Návrh experimentů (Design Of Experiments, DOE) je založen na
    - statistických metodách
    - studiu společných efektů několika proměnných vlivů
    - určením kombinace hodnot faktorů pro optimální výsledek



# Plánování Průmyslových Experimentů



sir Ronald Fischer  
1890 - 1962

Konzultovat se statistikem poté, co je experiment dokončen,  
je často totéž, jako požádat lékaře, aby provedl pitvu.  
Možná bude moci sdělit, nač experiment zemřel.

Naší povinností je provádět shrnutí a jasně a srozumitelně formulovat své  
závěry, abychom umožnili dalším svobodně a nezávisle je využívat  
při vytváření vlastní rozhodnutí.

Induktivní odvozování je jediný známý proces, při kterém přicházejí na svět  
nové důležité poznatky. ➔

# Plánování Průmyslových Experimentů

- Klasický přístup - R. A. Fisher (20. léta 20. století)
  - Návrh experimentů (Design Of Experiments, DOE) je založen na
    - statistických metodách
    - studiu společných efektů několika proměnných vlivů
    - určením kombinace hodnot faktorů pro optimální výsledek
- Taguchiho přístup (40. léta 20. století)
  - standardizoval a zjednodušil použití technik DOE (Taguchiho tabulky)
  - navrhl koncept zlepšování kvality ve všech fázích návrhu a výroby



# Plánování Průmyslových Experimentů



Genichi Taguchi  
1924 - 2012

Cena je důležitější než kvalita ale kvalita je nejlepší způsob, jak snížit cenu.

Vědecké nebo technické studie se vždy skládají z následujících tří kroků:

1. Stanovení cíle.
2. Výběr metody.
3. Vyhodnocení metody ve vztahu k cíli.

(prosadil statisticky navržený experiment do průmyslové praxe)





# Plánování Průmyslových Experimentů

- Klasický přístup - R. A. Fisher (20. léta 20. století)
  - Návrh experimentů (Design Of Experiments, DOE) je založen na
    - statistických metodách
    - studiu společných efektů několika proměnných vlivů
    - určením kombinace hodnot faktorů pro optimální výsledek
- Taguchiho přístup (40. léta 20. století)
  - standardizoval a zjednodušil použití technik DOE (Taguchiho tabulky)
  - navrhl koncept zlepšování kvality ve všech fázích návrhu a výroby
- K významnému rozšíření metody DOE v USA a Evropě došlo až v 80. letech 20. století

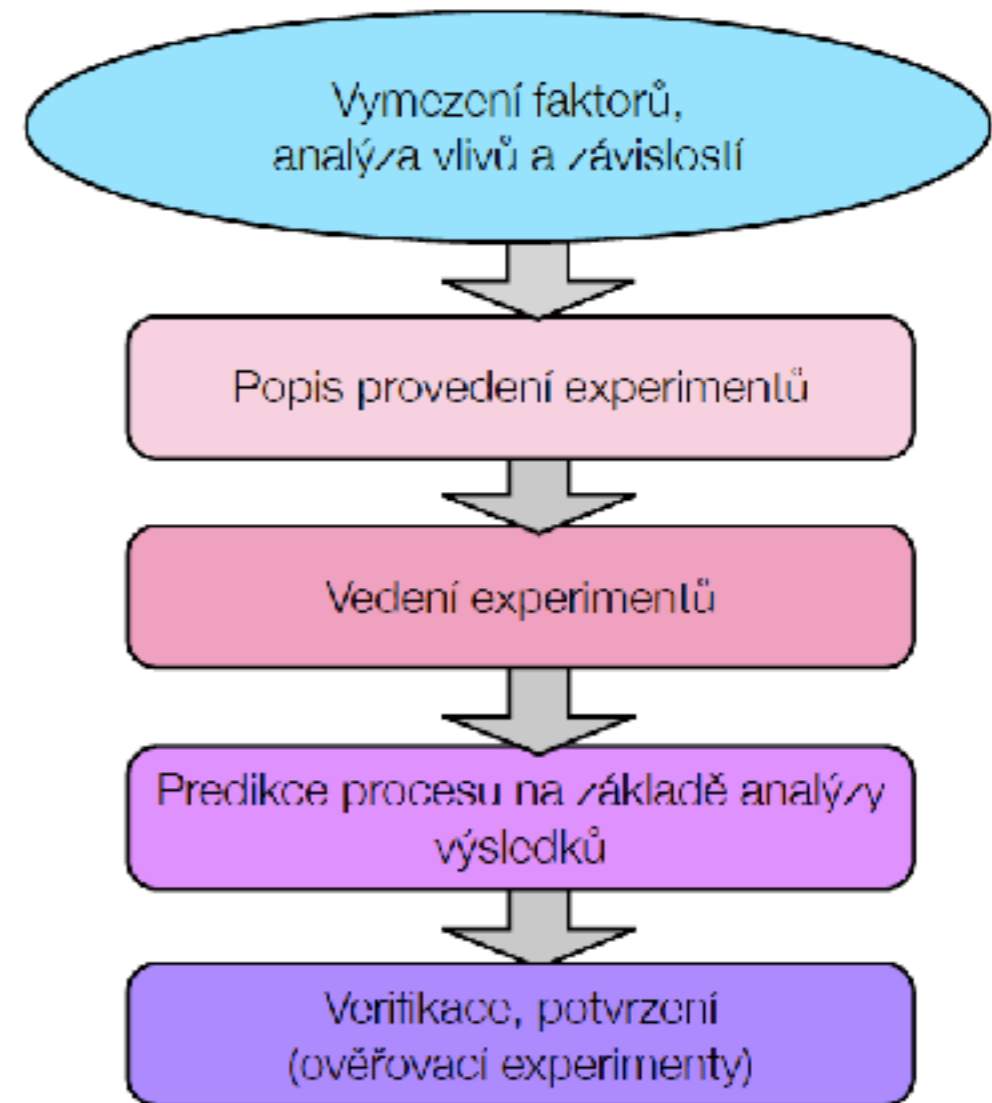


# Plánování Průmyslových Experimentů

**Experiment** je test nebo série testů (pokusů), provedená za účelem zvýšení kvality produktu nebo procesu, případně zvýšení jejich efektivity.

- stanovení charakteristik procesu a jeho optimalizace
- vyhodnocení vlastností materiálů
- návrh a vývoj produktů
- stanovení tolerance komponent a vstupních veličin

Systematický přístup  
k řešení problémů -  
plánování experimentu:

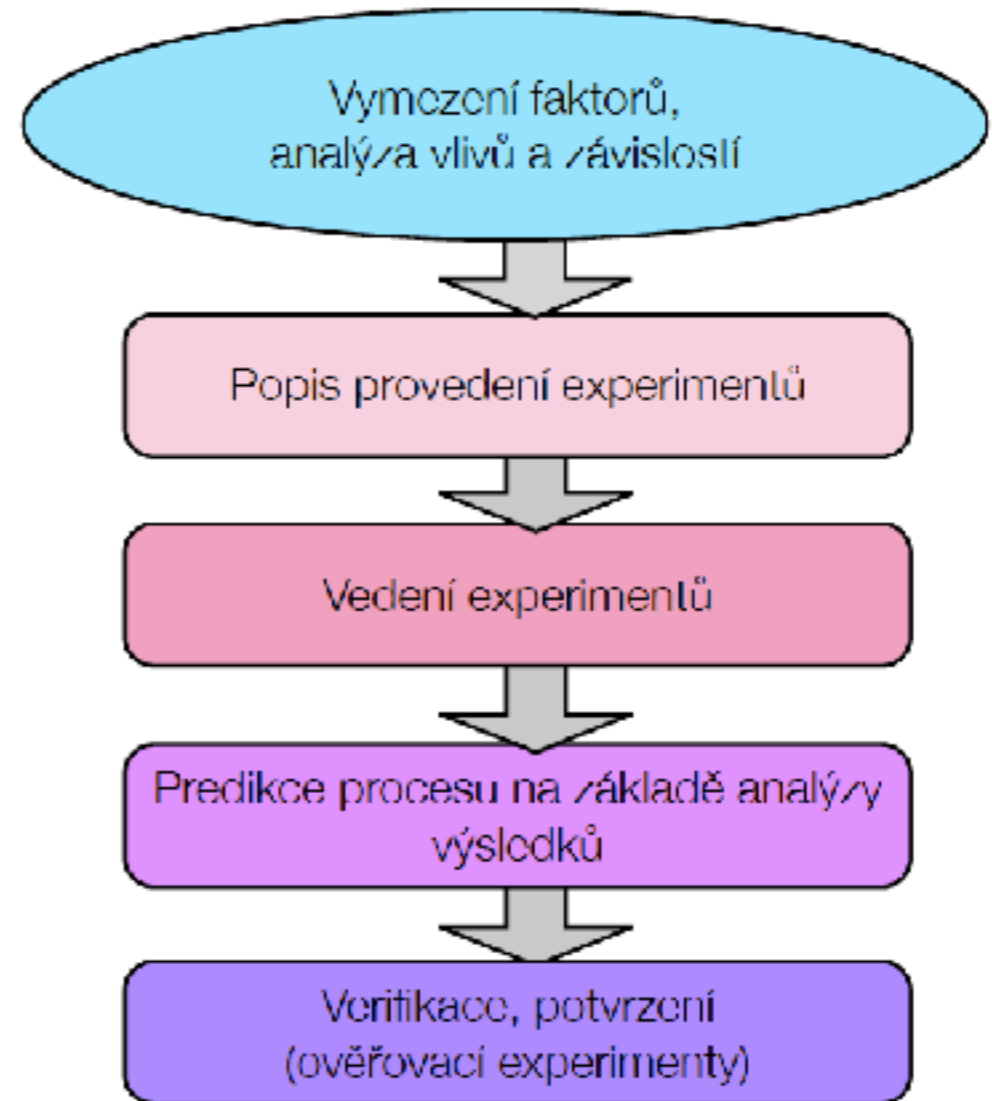


# Plánování Průmyslových Experimentů

## Návrh experimentu

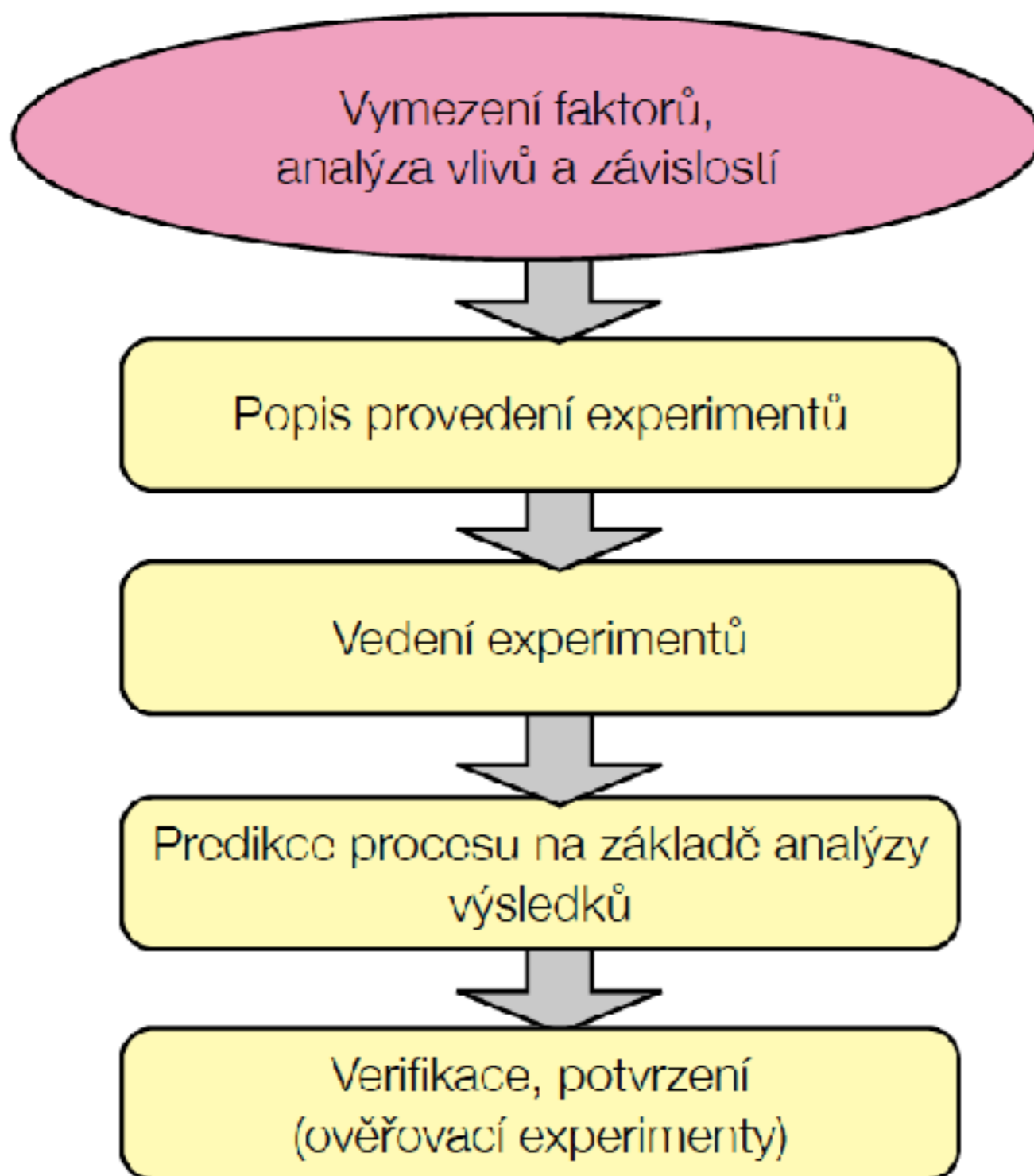
- zkracuje dobu pro návrh a vývoj nových produktů
- zlepšuje fungování stávajících procesů
- zvyšuje spolehlivost a zlepšuje kvalitu výrobků
- zvyšuje robustnost výrobků a procesů
- umožňuje vyhodnocení různých variant, výběr komponent, nastavení parametrů a systémových tolerancí

Systematický přístup  
k řešení problémů -  
plánování experimentu:



# Plánování Průmyslových Experimentů

- 5 základních kroků



## Krok 1: Analýza procesu

- volba odezvy (spojitá, diskrétní)
- vymezení faktorů (nenáhodné, náhodné, blokové)
- stanovení (měřitelných) úrovní faktorů
- základní statistická analýza, stanovení modelu, hypotéz

# Plánování Průmyslových Experimentů

- 5 základních kroků

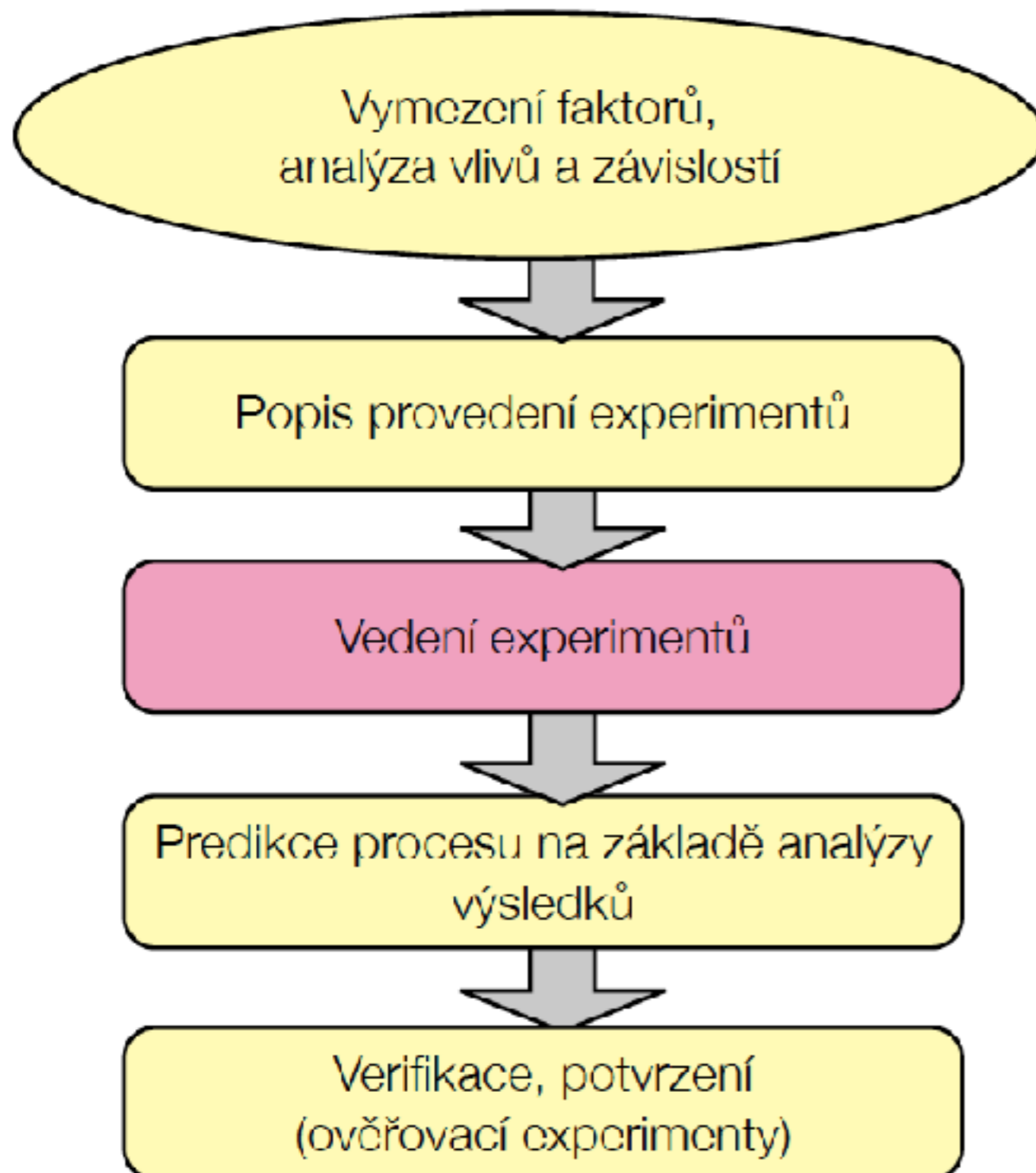


## Krok 2: Návrh experimentu

- zvažení časové a ekonomické náročnosti
- výběr typu experimentu (norma ČSN ISO 35343)
- návrh organizace experimentu (blokování, randomizace)

# Plánování Průmyslových Experimentů

- 5 základních kroků

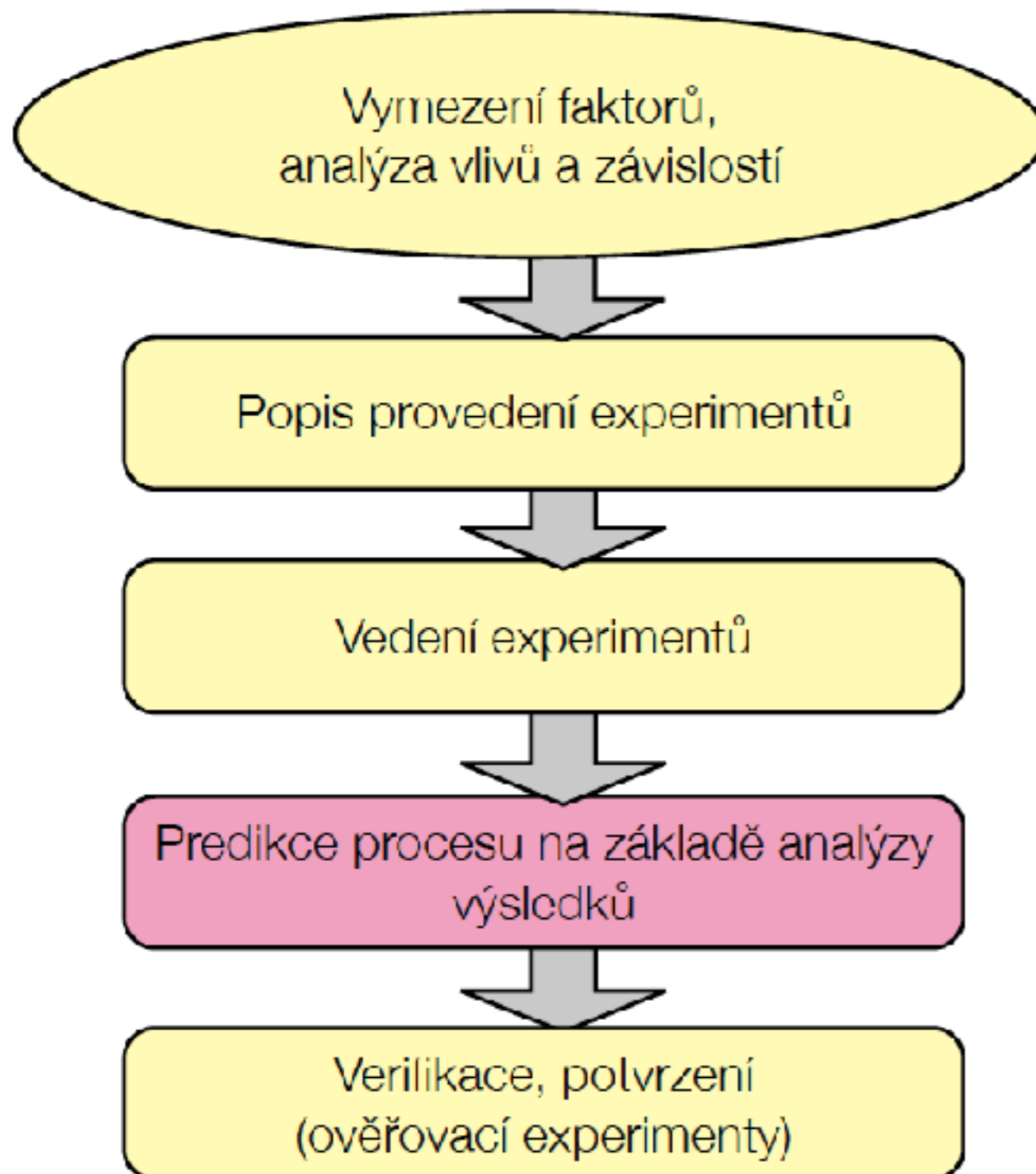


## Krok 3: Provedení zkoušek

- měření ve stanoveném pořadí (náhodném)
- měření v blocích
- zaznamenávání výsledků (software)

# Plánování Průmyslových Experimentů

- 5 základních kroků

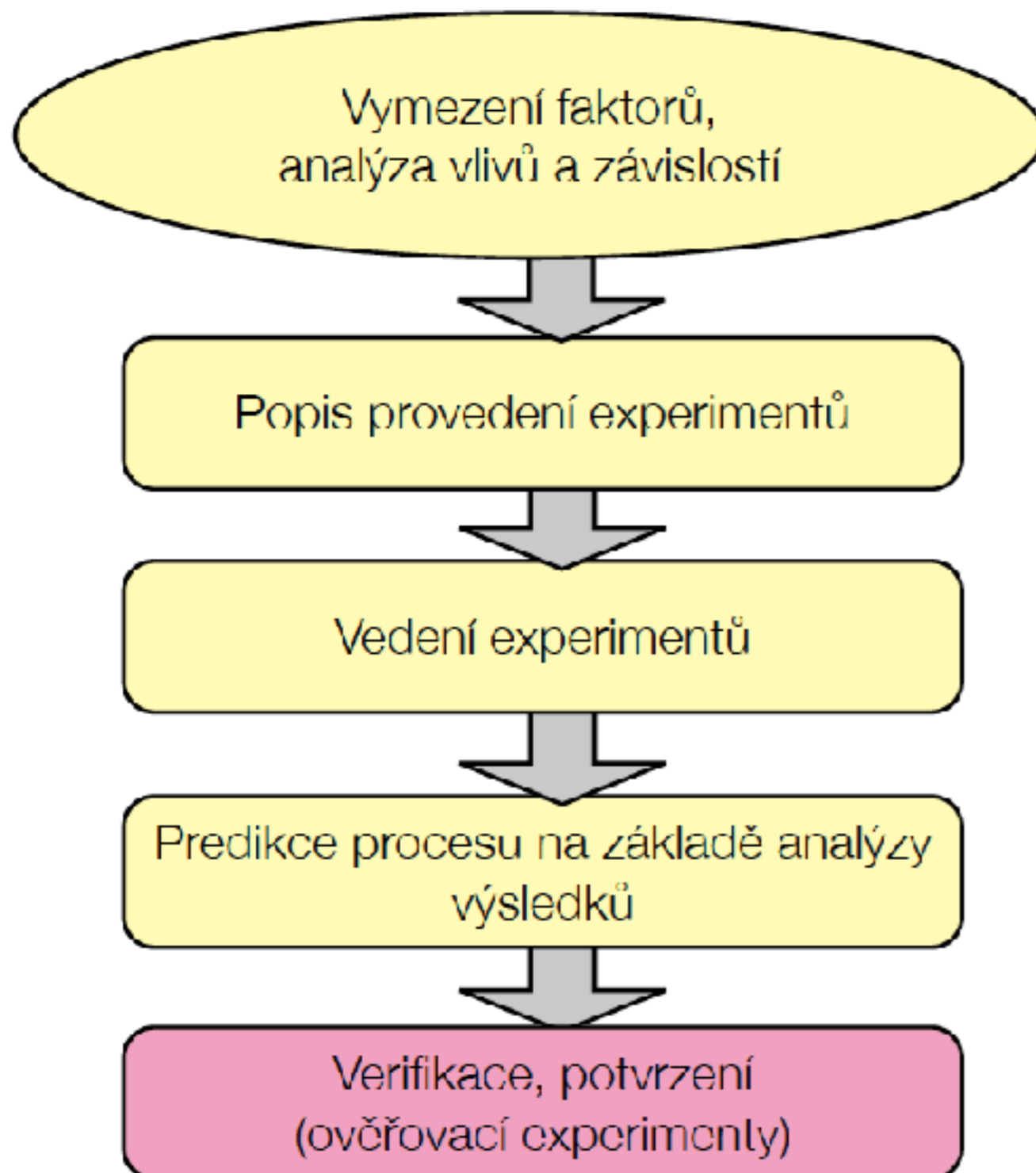


## Krok 4: Analýza výsledků

- vyhodnocení vlivů faktorů a jejich interakcí
- využití matematicko-statistických metod
- optimalizační metody

# Plánování Průmyslových Experimentů

- 5 základních kroků



## Krok 5: Návrh experimentu

- stanovení statisticky významných faktorů a jejich interakcí
- vymezení úrovní faktorů, které vedou k optimální odezvě
- vymezení irelevantních faktorů



# **P**lánování **P**řemyslových **E**xperimentů



Walter Edward Deming  
1900 - 1993

Věříme pouze v Boha, všechno ostatní musí přinést data.

Pokud nemůžete popsat to, co děláte jako proces, pak nevíte,  
co děláte.

Nestačí dělat věci co nejlépe; musíte vědět, co máte dělat,  
a pak to dělat co nejlépe.

Ovlivňujeme příčiny, nikoli důsledky. →

# Plánování Průmyslových Experimentů



George E. P. Box  
1919 - 2013

... všechny modely jsou přibližné. V podstatě všechny modely jsou špatné, ale některé z nich jsou užitečné.

Nicméně, přibližný charakter modelu musíme mít vždy na paměti, ...

Nezapomeňte, že všechny modely jsou špatné; v zásadě jde o to, jak špatné mohou být, aby byly ještě užitečné.

Jediným způsobem, jak zjistit, jak se bude složitý systém bude chovat poté, co jej změníme, je změnit jej a sledovat, jak se chová.

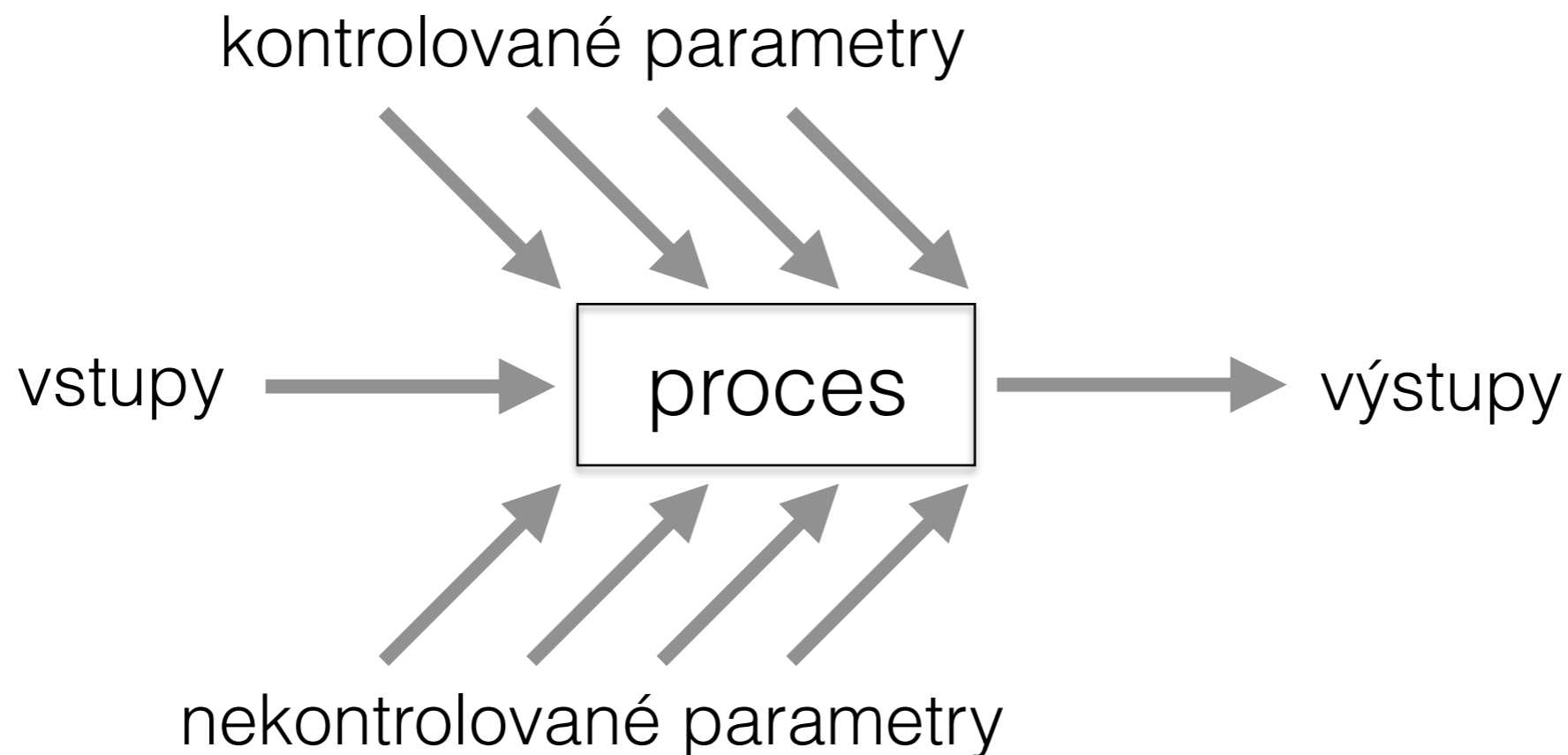


# 1.1. Co je to experiment?

- **Experiment** je test nebo série měření či pozorování (pokusů), provedená za účelem získání informací o produktu nebo procesu.

Klíčové pojmy: Experiment, proces, odezva, faktory, náhodný a systematický vliv

## Proces:

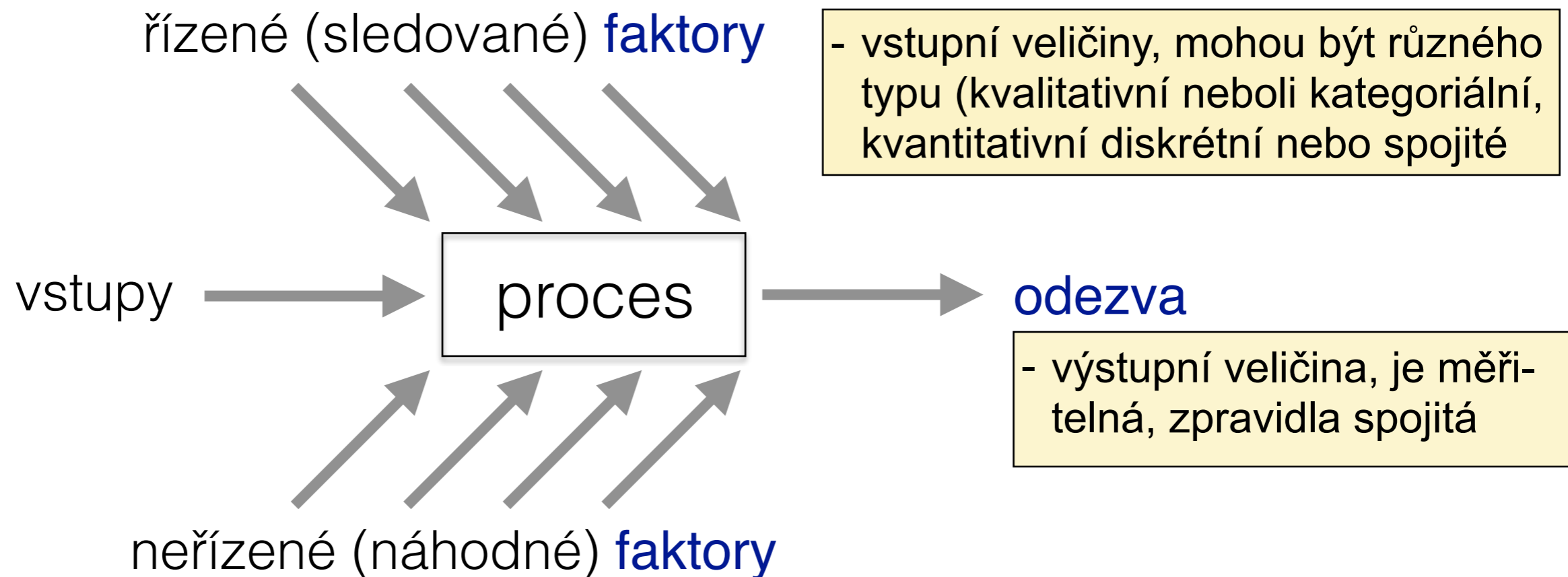


# 1.1. Co je to experiment?

- **Experiment** je test nebo série měření či pozorování (pokusů), provedená za účelem získání informací o produktu nebo procesu.

Klíčové pojmy: **Experiment, proces, odezva, faktory, náhodný a systematický vliv**

## Proces:



# 1.1. Co je to experiment?

- **Experiment** je test nebo série měření či pozorování (pokusů), provedená za účelem získání informací o produktu nebo procesu.
- **Odezva**
  - výstupní veličina
  - měřitelná, zpravidla spojitá
- **Faktory**
  - vstupní veličiny
  - kvalitativní (kategoriální), kvantitativní (diskrétní, spojité)
  - hlavní, vedlejší, blokové
- **Náhodný vliv**
  - neznáme jeho příčiny, nelze jej odstranit
  - způsobuje variabilitu, kterou lze měřit (experimentální chyba)
  - lze jej předvídat, snaha je co nejvíce jej snížit
- **Systematický vliv**
  - je způsoben známými vlivy (vymežitelnými příčinami)
  - projevuje se například trendem, periodicitou, posunutím
  - snažíme se jej popsat a kvantifikovat jej
- **Interakce**
  - současné působení několika (alespoň dvou) faktorů



# 1.1. Co je to experiment?

## Příklad 1: Studie nahrazení šicího stroje se spojkovým motorem strojem s plnou automatizací

Srovnání strojů využívajících spojkové motory a servomotory z hlediska produktivity, spotřeby nití a spotřeby el. energie

- Odezva: produktivita dílny, spotřeba nití, spotřeba elektrické energie
- Faktory: typ stroje (2 úrovně: se servomotorem, s asynchronním motorem)

## Příklad 2: Hmotová nestejnomyšnost vícenásobně skaných přízí

Ověření zákona o družení, zjištění vlivu družení, jemnosti a zákrutu na hmotovou nestejnomyšnost.

- Odezva: hmotová nestejnomyšnost příze
- Faktory: počet jednoduchých přízí ve skané přízi (3 úrovně: 2,3,4), jemnost (3 úrovně: 2x20 tex, 2x29,5 tex, 2x50 tex)



# 1.1. Co je to experiment?

## Příklad 3: Studie o využití multimediální a počítačové techniky na SOŠ s textilní a oděvní problematikou.

Srovnání 20 středních škol na základě dotazníkového šetření.

K hodnocení byla použita 5ti stupňová škála (1-5).

- Odezva: stupeň využití techniky při výuce textilních a oděvních předmětů
- Faktory: počet studentů, účast na soutěžích, počet absolventů pokračujících na VŠ, počet studentů na 1 učitele, sponzoři, region, ...

## Příklad 4: Vliv různých faktorů na prodej textilních výrobků pro děti do 3 let.

Vyhodnocení vlivu různých faktorů na objem prodeje na základě dotazníkového šetření.

- Odezva: objem prodeje daného typu výrobků
- Faktory: ekologický výrobek, zdravotní nezávadnost, móda, pohodlí dítěte, kvalita, značka, cena, charakteristika kupujícího (věk, pohlaví, vzdělání, ...), ...



# 1.1. Co je to experiment?

## Příklad 5: Studie o vlastnostech speciálních kompozitních materiálů z geopolymerů s využitím odpadových čedičových vláken.

Zjištění závislosti pevnosti výsledných kompozitních materiálů na hmotnostních poměrech jejich složek.

- Odezva: pevnost v ohybu
- Faktor: poměr hmotnosti přidaných krátkých čedičových vláken (30%, 50%, 60%)

## Příklad 6: Vliv pracího prostředku na stálost vlastností textilie.

Sledování stálosti v otěru na koupených materiálech a po jednom vyprání stálost v praní a rozměrovou stálost.

- Odezva: stálost v otěru, stálost praní a rozměrová stálost
- Faktory: typ materiálu (100% bavlna, 100%PE), typ pracího prášku (Ariel, Dreft, Bonux, Perwol, Woolite), teplota praní (30,60,90)

