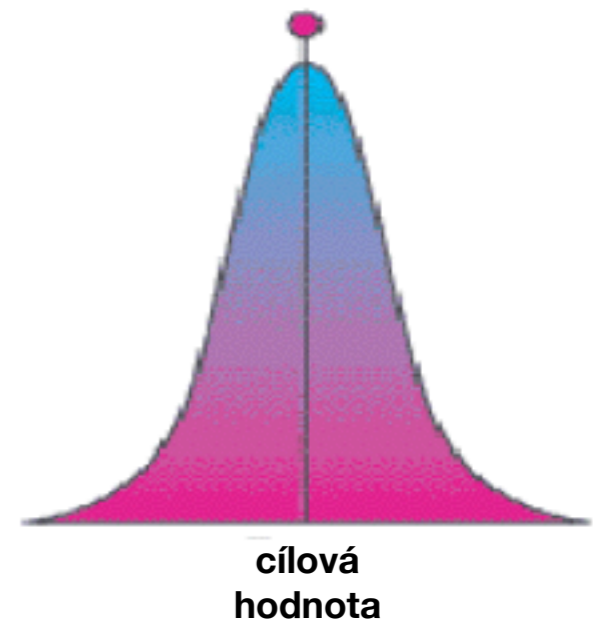
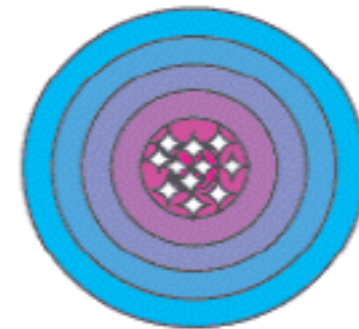
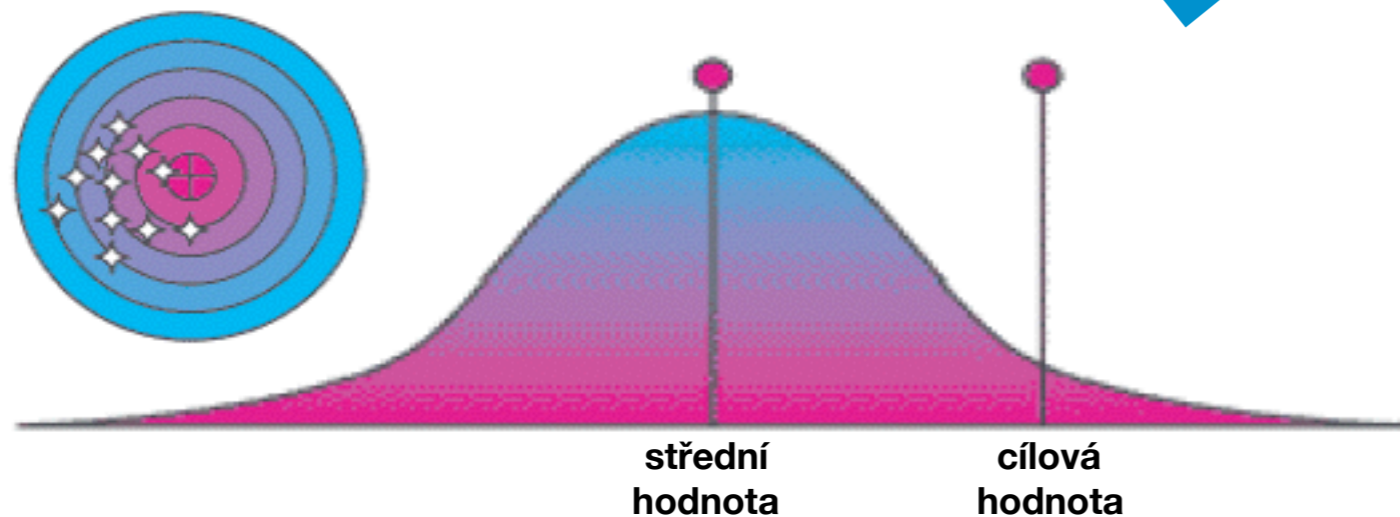


Základy navrhování průmyslových experimentů DOE



1. Úvod, Analýza procesu



Gejza Dohnal

Řízení jakosti (kvality)



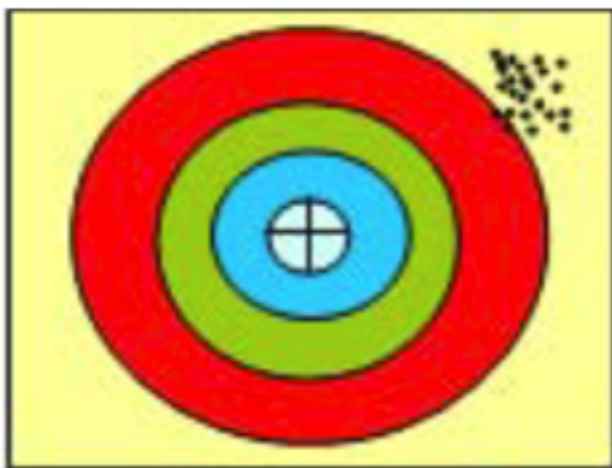
špatná kvalita



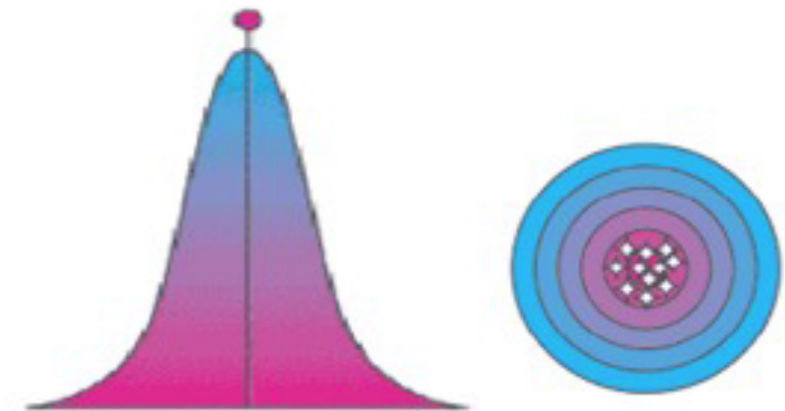
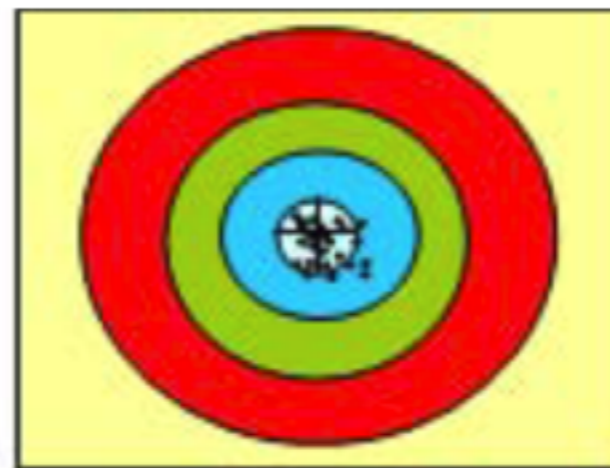
o něco lepší



není to špatné



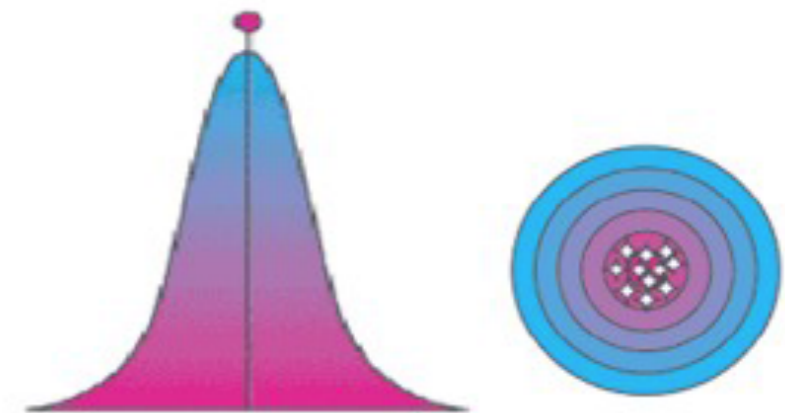
ideální případ



Plánování experimentů - historie



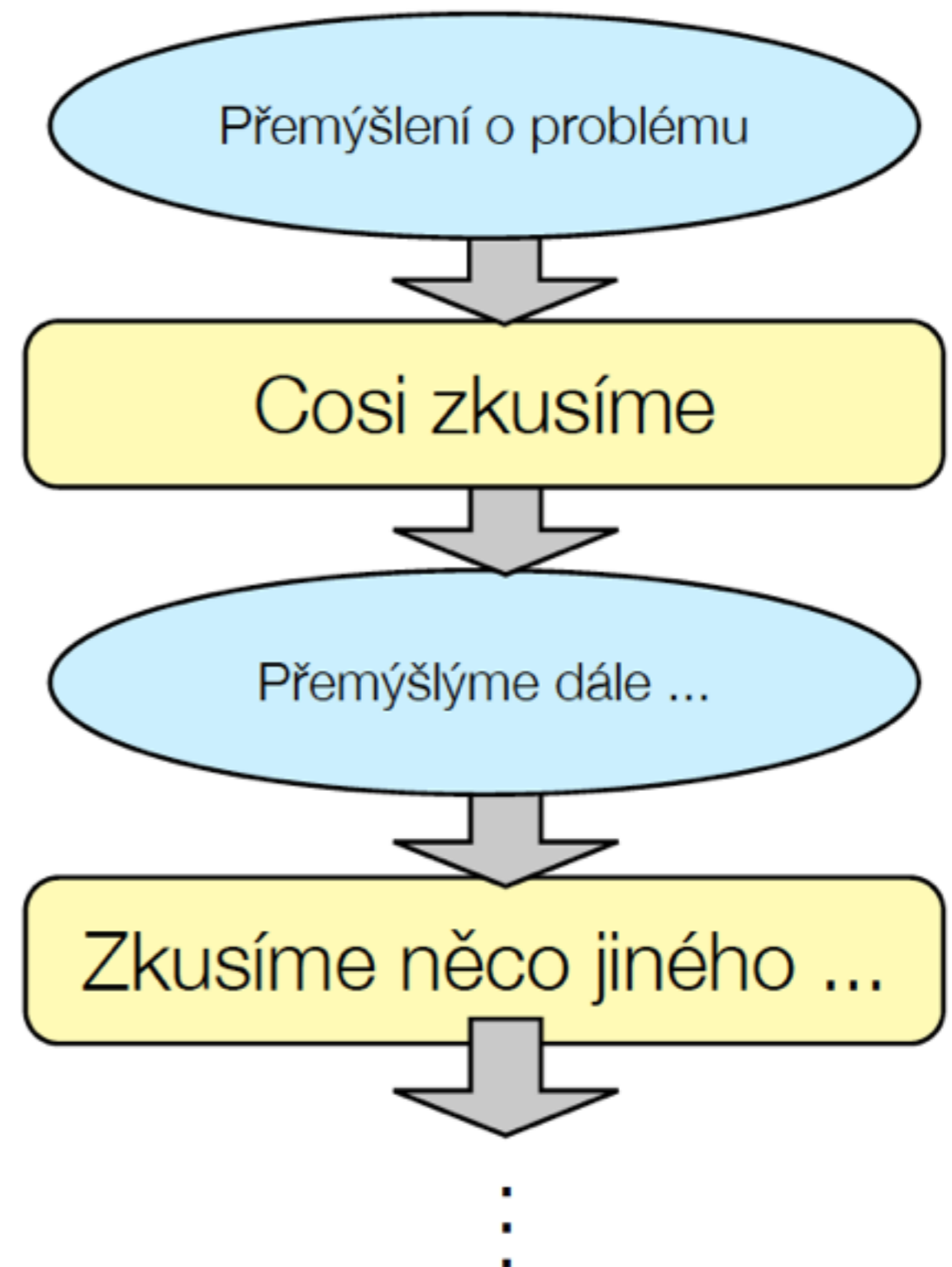
- Klasický přístup - R. A. Fisher (20. léta 20. století)
 - Návrh experimentů (DOE) je založen na
 - statistických metodách
 - studiu společných efektů několika proměnných vlivů
 - určením kombinace hodnot faktorů pro optimální výsledek
- Taguchiho přístup (40. léta 20. století)
 - standardizoval a zjednodušil použití technik DOE
 - 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



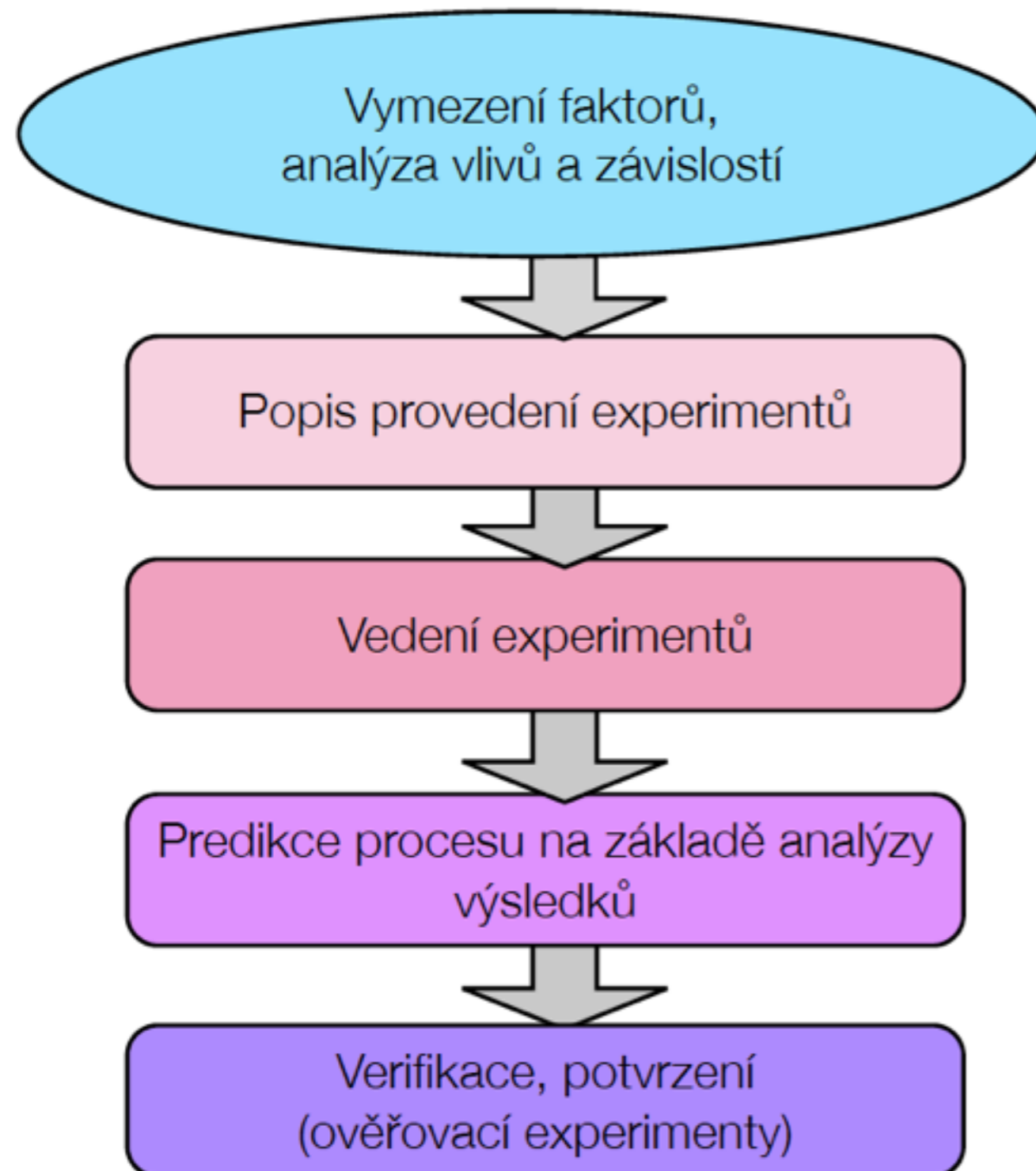
Plánování experimentů - úvod

Nesystematický přístup - metoda "pokusu a omylu":

- 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



Plánování experimentů - úvod

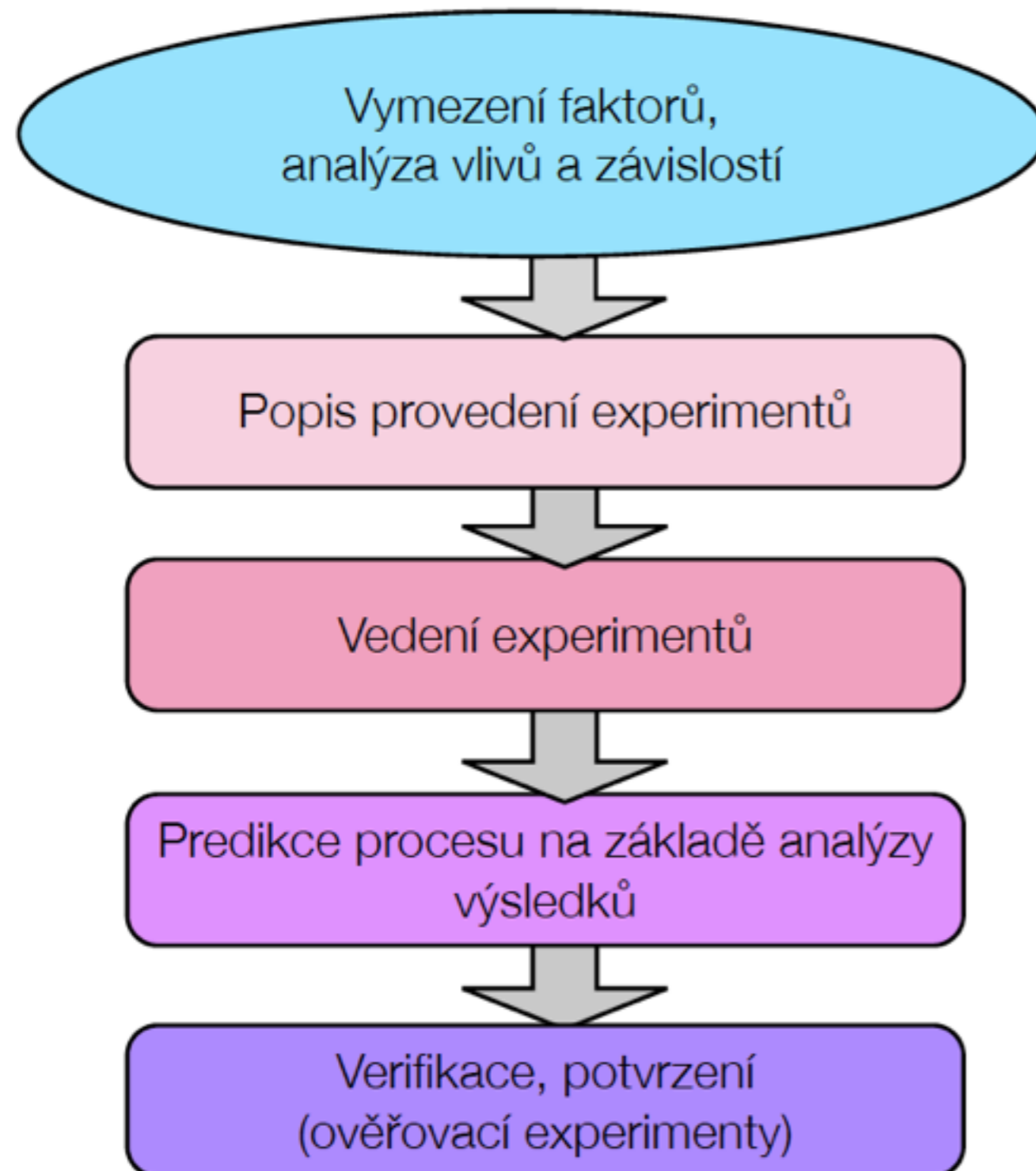


Systematický přístup - plánování experimentu:

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

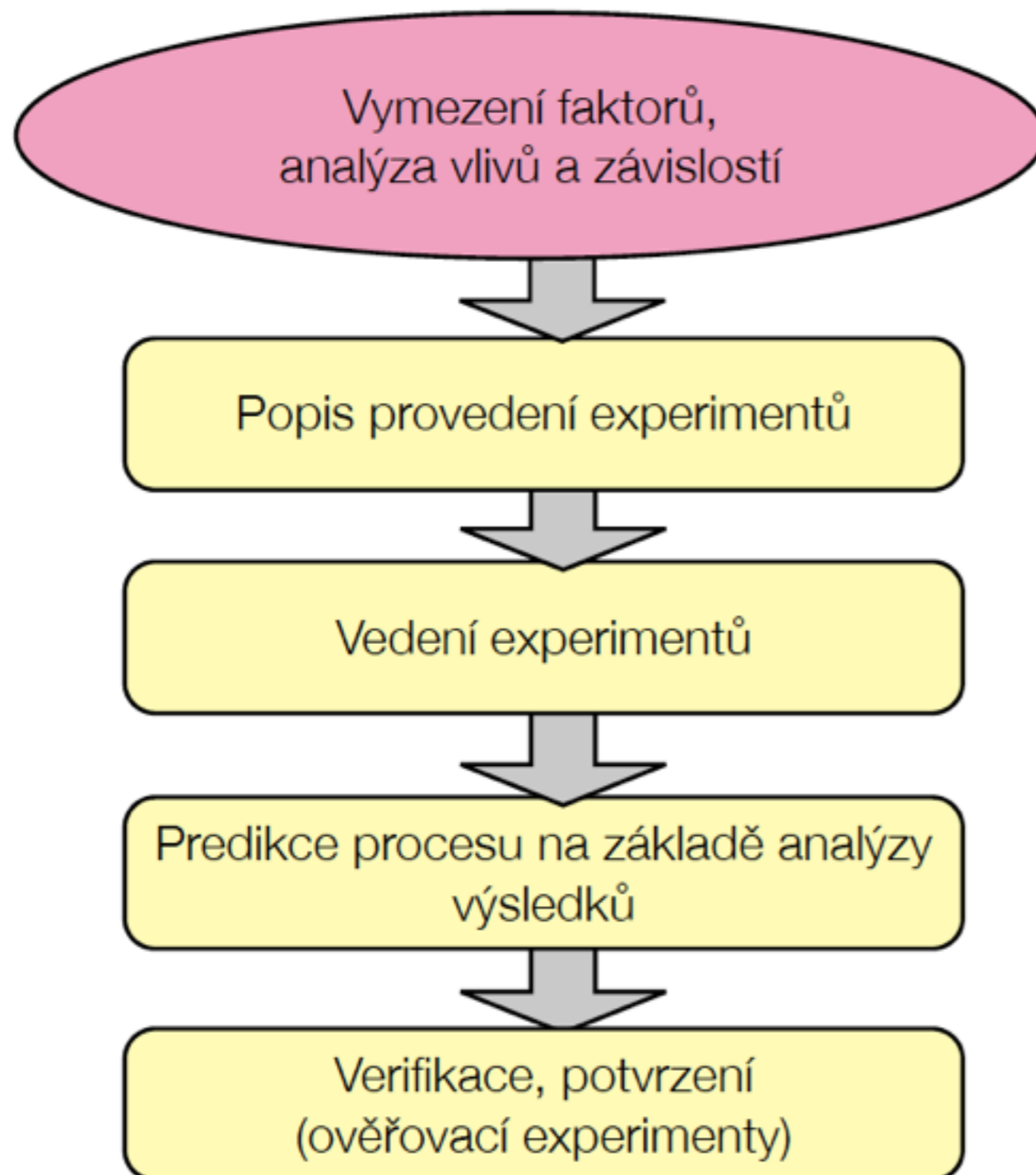
Plánování experimentů - úvod

Norma ČSN ISO 3534/3 Navrhování experimentů (1993)



- **Analýza procesu**
- **Návrh experimentu**
- **Provedení zkoušek**
- **Analýza výsledků**
- **Závěry**

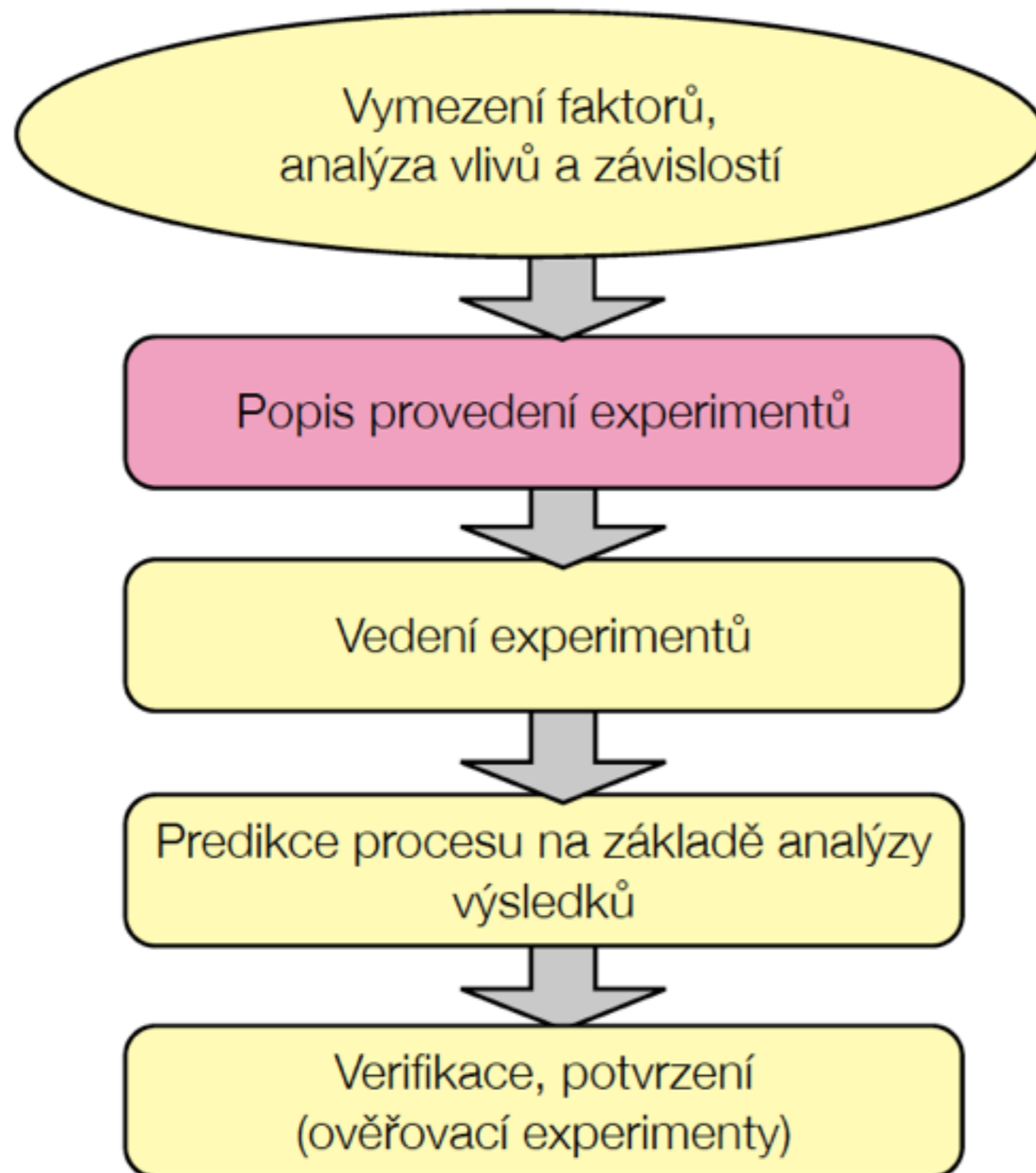
Plánování experimentů - 5 základních kroků



Krok 1: Analýza procesu

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

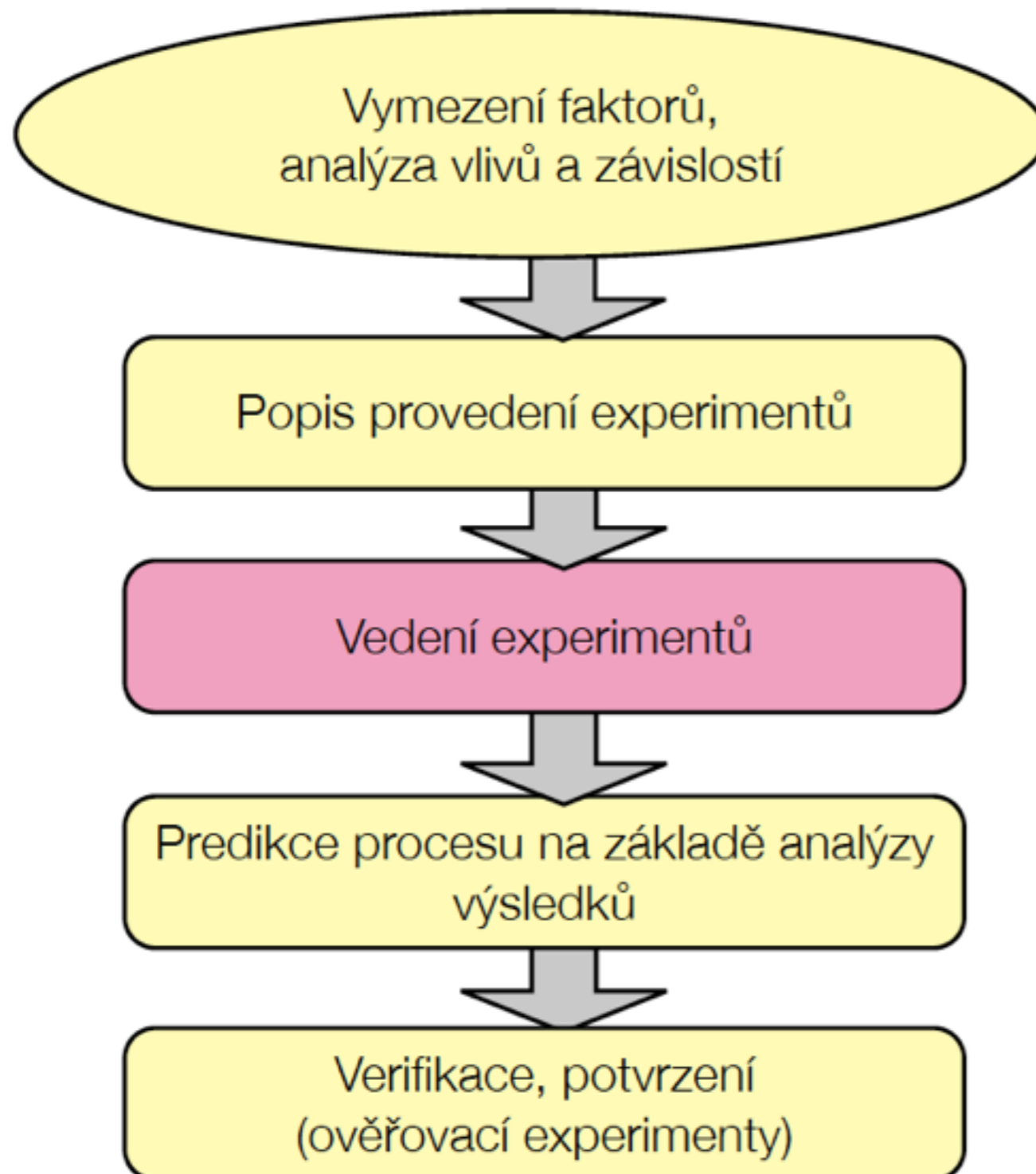
Plánování experimentů - 5 základních kroků



Krok 2: Návrh experimentu

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

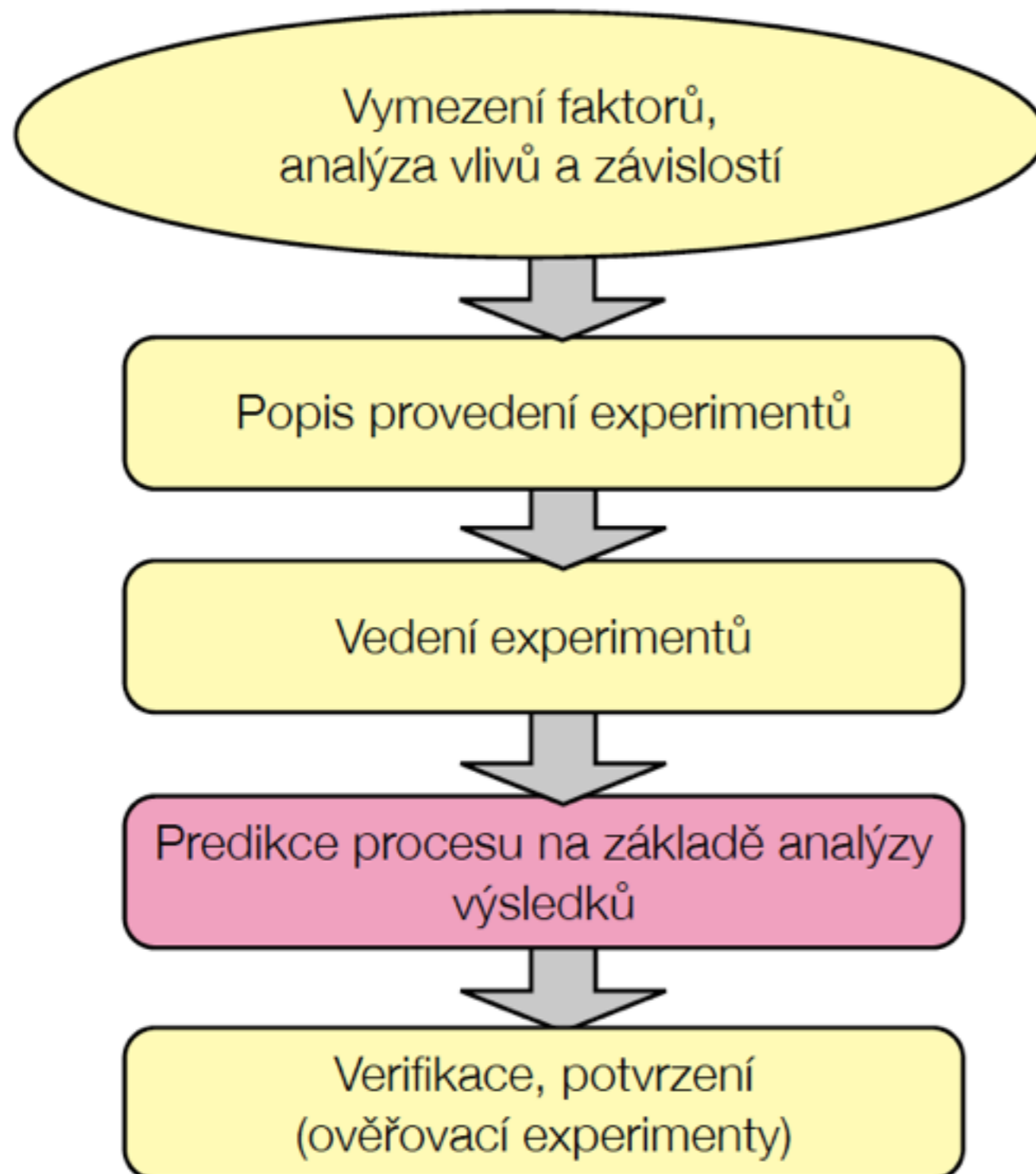
Plánování experimentů - 5 základních kroků



Krok 3: Provedení zkoušek

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

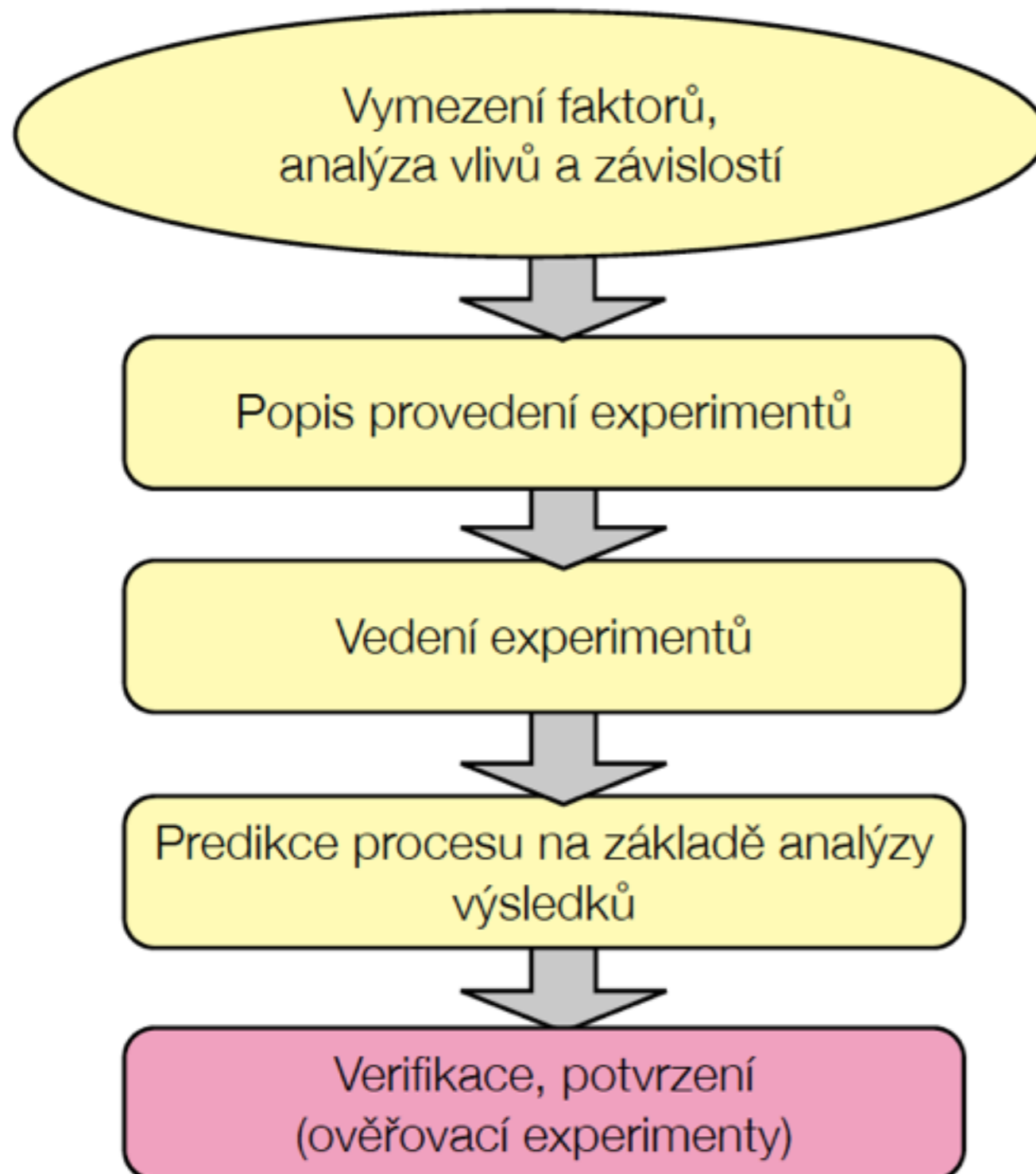
Plánování experimentů - 5 základních kroků



Krok 4: Analýza výsledků

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

Plánování experimentů - 5 základních kroků

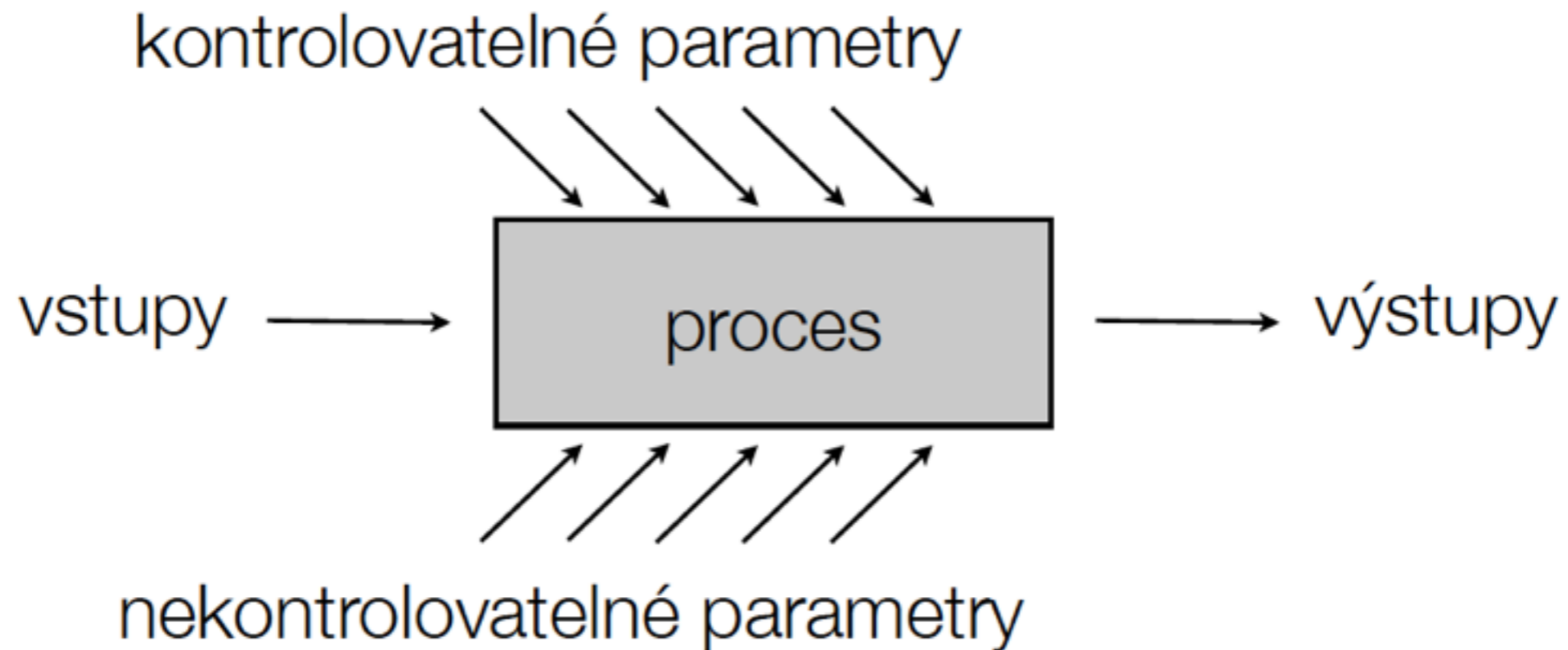


Krok 5: Návrh experimentu

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

Plánování experimentů - základní pojmy

- **Proces**



Plánování experimentů - základní pojmy

- **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
- **Všechny experimenty jsou navržené experimenty, některé dobře, jiné špatně**
- **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

Plánování experimentů - základní pojmy

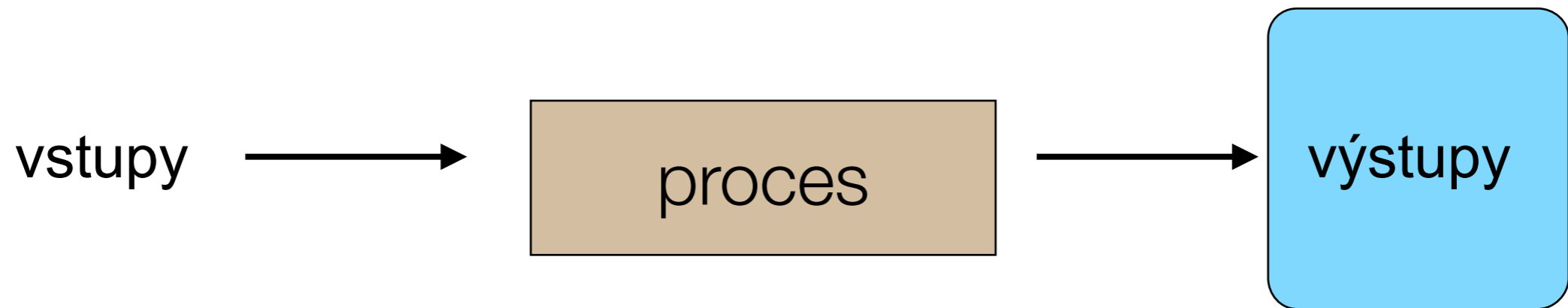
-
- **Odezva**
 - výstupní veličina
 - měřitelná, zpravidla spojitá
 - **Faktory**
 - vstupní veličiny
 - kvalitativní (kategoriální), kvantitativní (diskrétní, spojité)
 - hlavní, vedlejší, blokové
 - **Náhodný vliv**
 - neznáme jeho příčiny, nelze jej odstranit
 - způsobuje variabilitu, kterou lze 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

Plánování experimentů - základní pojmy

- **Replikace**
 - opakování zkoušek za (přibližně) stejných podmínek (úrovní faktorů)
 - umožňuje měřit náhodnou variabilitu a oddělit ji od variability celkové
- **Znáhodnění**
 - stanovení pořadí zkoušek podle náhodného "zamíchání"
 - do jisté míry může eliminovat vedlejší vlivy
 - zajišťuje vyšší míru "nezávislosti" jednotlivých pokusů
- **Blokování**
 - uspořádání do bloků slouží ke snižování náhodné variability (variability náhodné složky)
 - v rámci bloku probíhají zkoušky za přibližně stejných experimentálních podmínek (ale při různých kombinacích úrovní faktorů)
 - často představuje jednu repliku experimentu

Plánování experimentů - analýza procesu

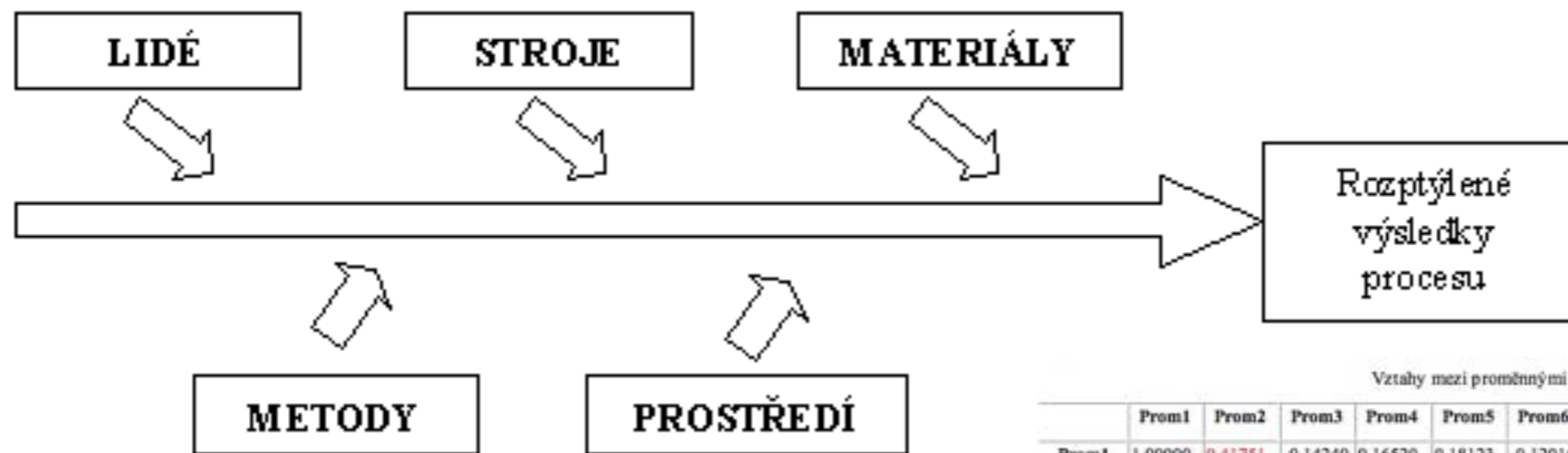
- Definice procesu
- Volba odezvy
- Vymezení faktorů



- výstupní veličina
- měřitelná, zpravidla spojitá
- charakterizující nějakou vlastnost výstupu
- míra kvality výstupu
- míra kvality procesu

Plánování experimentů - analýza procesu

- Definice procesu
- Volba odezvy
- Vymezení faktorů



Ishikawův diagram

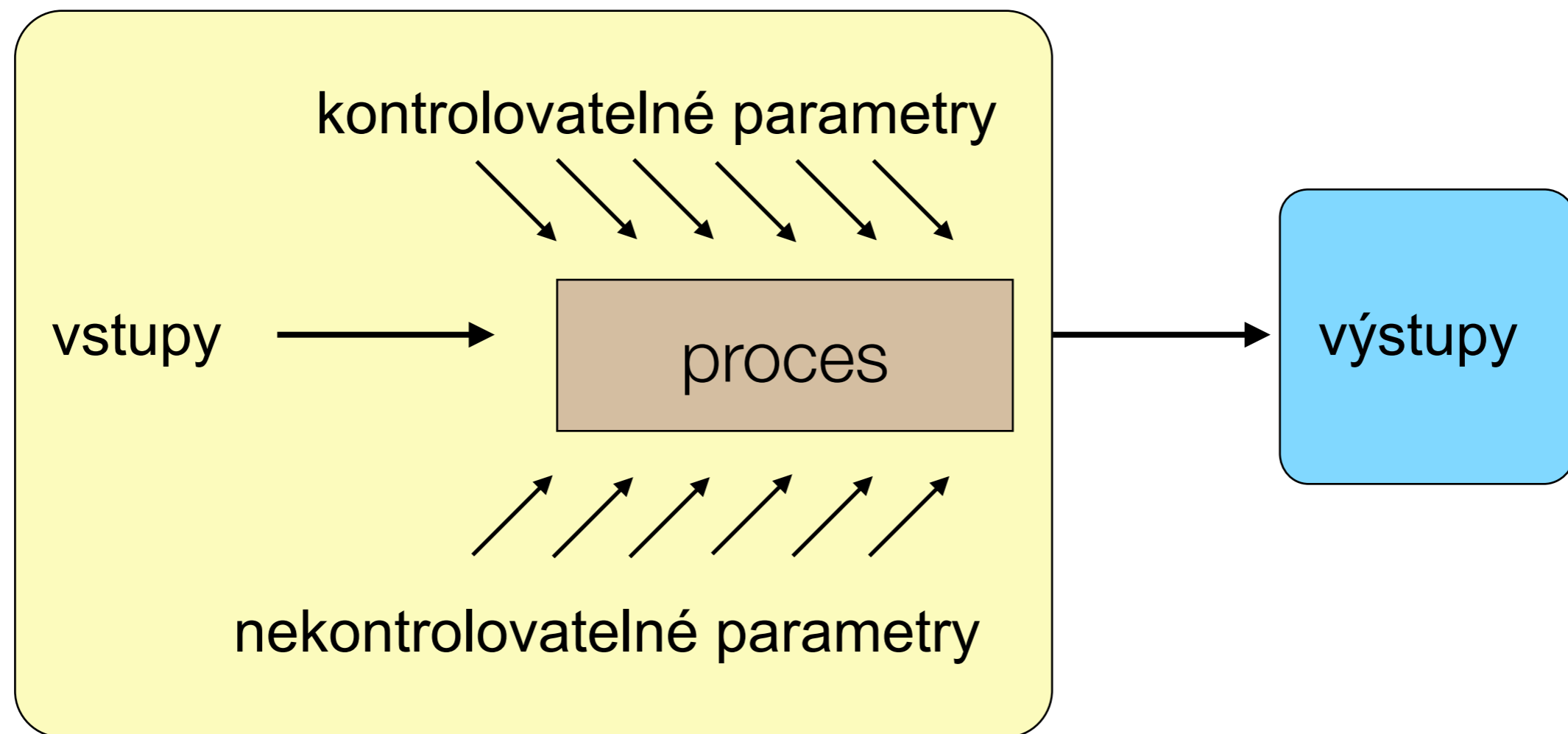
Vztahy mezi proměnnými

	Prom1	Prom2	Prom3	Prom4	Prom5	Prom6	Prom7	Prom8	Prom9	Prom10
Prom1	1,00000	0,41751	-0,14240	0,16520	0,18123	-0,12016	-0,01114	0,21660	0,20847	0,22494
Prom2	0,41751	1,00000	-0,08809	0,46050	0,23849	0,03854	0,18485	0,19321	-0,17372	0,25236
Prom3	-0,14240	-0,08809	1,00000	0,53066	-0,09957	0,07507	0,01896	-0,16897	-0,41554	-0,18221
Prom4	0,16520	0,46050	0,53066	1,00000	0,04964	-0,00920	-0,09900	-0,12158	-0,42370	-0,07118
Prom5	0,18123	0,23849	-0,09957	0,04964	1,00000	-0,03731	0,14979	-0,00201	0,06294	0,00679
Prom6	-0,12016	0,03854	0,07507	-0,00920	-0,03731	1,00000	0,18537	-0,10264	-0,05058	-0,07301
Prom7	-0,01114	0,18485	0,01896	-0,09900	0,14979	0,18537	1,00000	-0,14477	-0,12047	0,07507
Prom8	0,21660	0,19321	-0,16897	-0,12158	-0,00201	-0,10264	-0,14477	1,00000	0,02049	0,23242
Prom9	0,20847	-0,17372	-0,41554	-0,42370	0,06294	-0,05058	-0,12047	0,02049	1,00000	0,46218
Prom10	0,22494	0,25236	-0,18221	-0,07118	0,00679	-0,07301	0,07507	0,23242	0,46218	1,00000
Průměry	87,48276	10,93103	40,31034	40,41379	58,06897	55,34483	15,03448	143,03448	28,79310	51,75862
Sm.Odch.	32,80094	8,76246	18,94183	17,04514	14,99031	24,18423	10,21023	47,38179	20,60925	29,64511
Poč.přij	29,00000									
Matrix	1,00000									

Korelační analýza

Plánování experimentů - analýza procesu

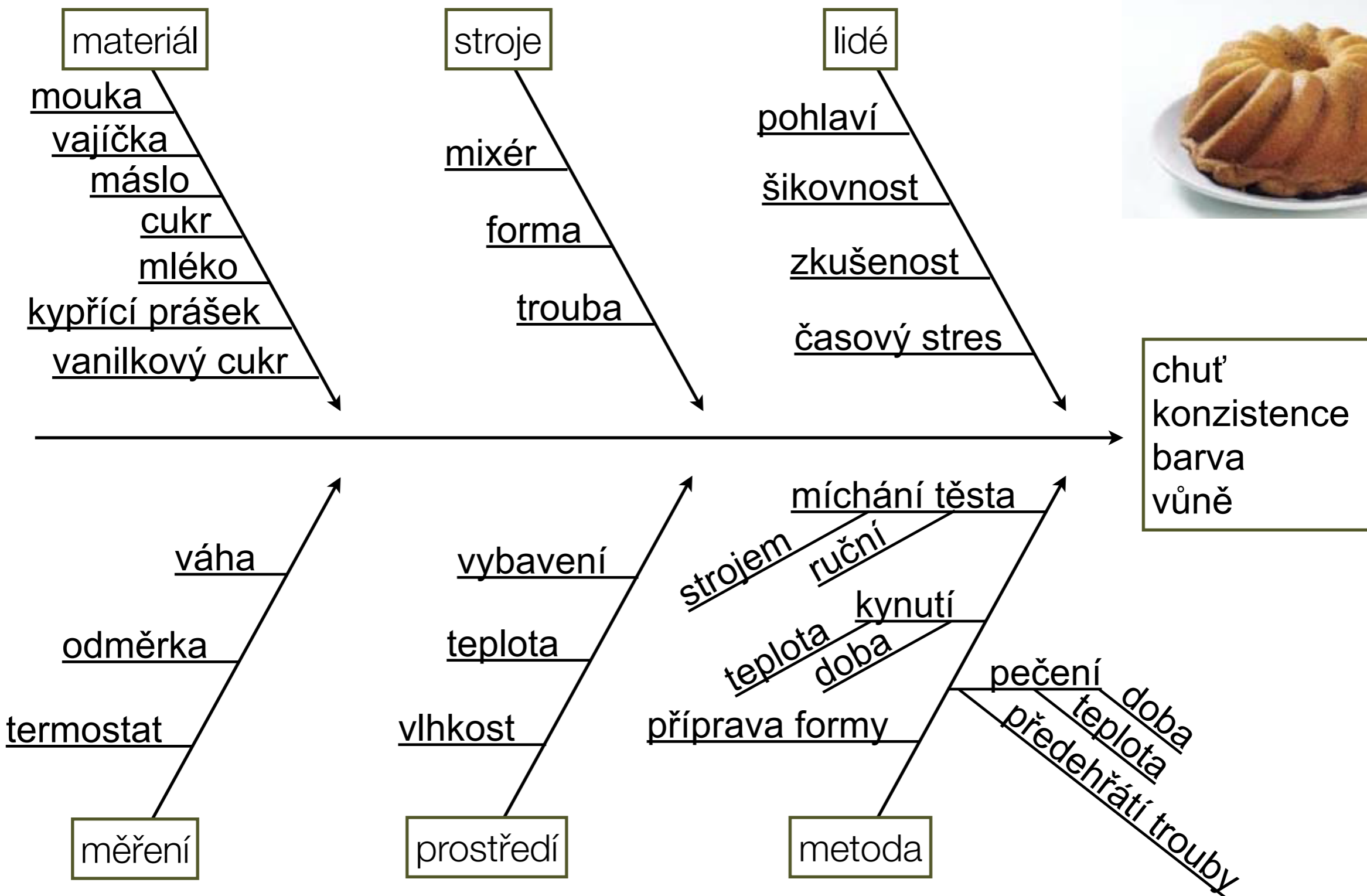
- Definice procesu
- Volba odezvy
- Vymezení faktorů



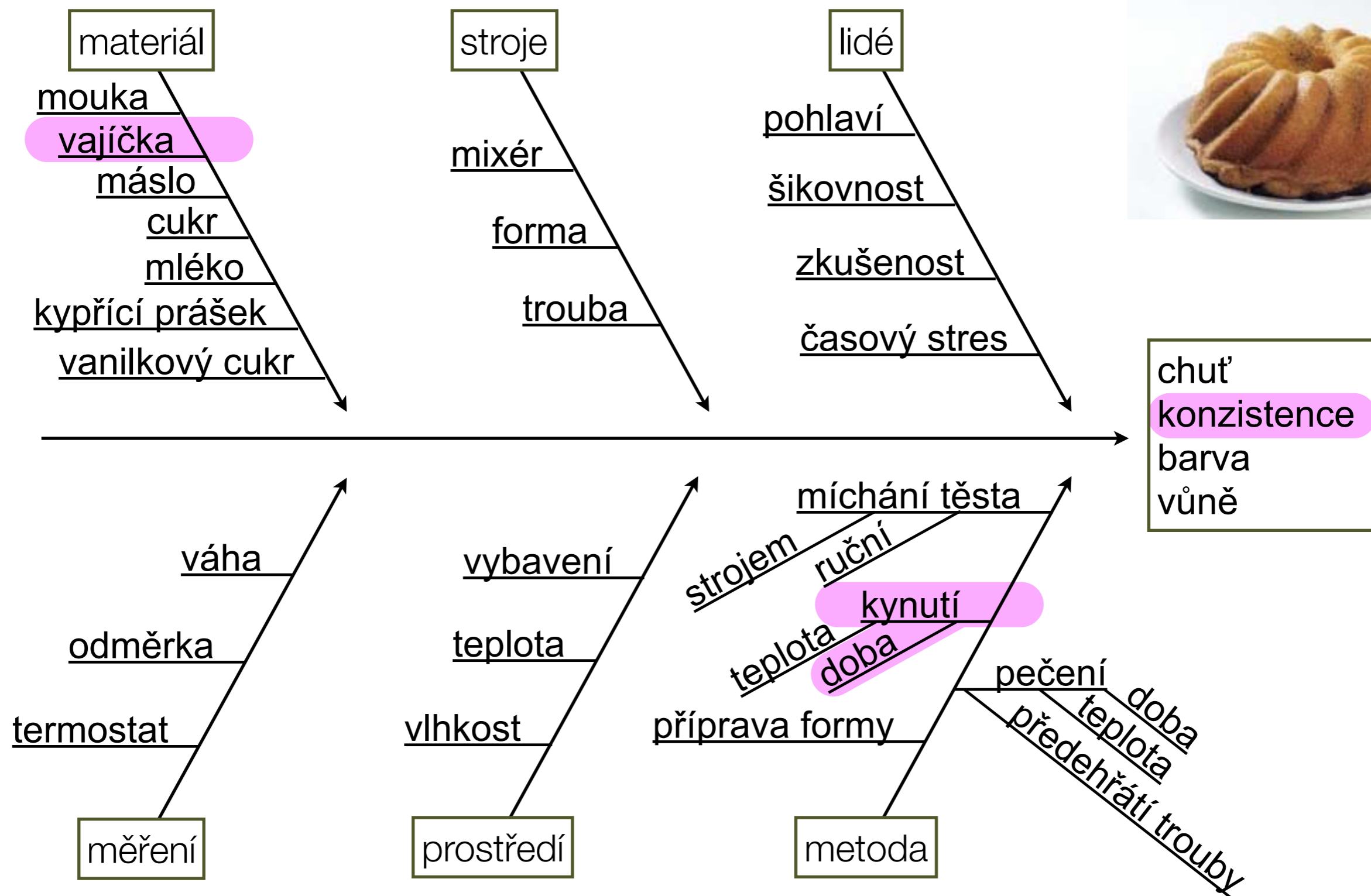
Plánování experimentů - analýza procesu

pečení bábovky

Plánování experimentů - analýza procesu



Plánování experimentů - analýza procesu



Plánování experimentů - příklady

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)
- Bloky: 2 dílny, v každé 9 strojů

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)
- pro každou přízi dané jemnosti, družení a zákrutu byly proměřeny čtyři cívky, na každé cívce byly provedeny dvě měření, tj. celkem osm naměřených hodnot sledovaného parametru u každé příze určité jemnosti a zákrutu.

Plánování experimentů - příklady

Příklad 3: Studie o využití multimediální a počítačové techniky na středních odborných školách 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, ...), ...

Plánování experimentů - příklady

Příklad 5: Studie o vlastnostech speciálních kompozitních materiálů z geopolymérů 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)
- 2 replikace (2 vzorky na každý prášek, materiál a teplotu = 60 vzorků)