

# Úvod do testování hypotéz a vybrané parametrické testy hypotéz — Supplementum ke cvičení 4ST201 Statistika

Lubomír Štěpánek<sup>1, 2</sup>



<sup>1</sup>Oddělení biomedicínské statistiky  
Ústav biofyziky a informatiky  
1. lékařská fakulta  
Univerzita Karlova, Praha



<sup>2</sup>Katedra biomedicínské informatiky  
Fakulta biomedicínského inženýrství  
České vysoké učení technické v Praze

(2019) Lubomír Štěpánek, CC BY-NC-ND 3.0 (CZ)



Dílo lze dále svobodně šířit, ovšem s uvedením původního autora a s uvedením původní licence. Dílo není možné šířit komerčně ani s ním jakkoliv jinak nakládat pro účely komerčního zisku. Dílo nesmí být jakkoliv upravováno. Autor neručí za správnost informací uvedených kdekoli v předložené práci, přesto vynaložil nezanedbatelné úsilí, aby byla uvedená fakta správná a aktuální, a práci sepsal podle svého nejlepšího vědomí a svých „nejlepších“ znalostí problematiky.

# Obsah

- 1 Opakování
- 2 Úvod do testování hypotéz
- 3 Vybrané parametrické testy hypotéz
- 4 Literatura

# Příklad

- V zásilce je 80 kusů zboží. Náhodně vybereme osm kusů a postupně je zvážíme. Získané hmotnosti (v kilogramech) jsou

8   8   9   7   6   8   9   9.

Určeme bodový odhad střední hodnoty hmotnosti jednoho kusu zboží a odhad rozptylu hodnoty hmotnosti jednoho kusu zboží. Měly-li dva z vybraných osmi kusů zboží vadu, jaký je bodový odhad populační četnosti zboží s vadou?

# Příklad

- Změřili jsme tělesnou výšku šesti žen a získali jsme následující hodnoty (v centimetrech)

163    175    177    165    171    174.

Předpokládáme, že tělesná výška ženy sleduje normální rozdělení s (populačním) rozptylem  $49 \text{ cm}^2$ . Určeme

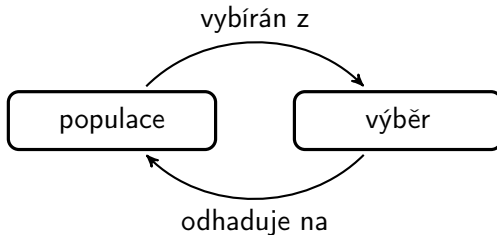
- (i) bodový odhad populační střední hodnoty tělesné výšky ženy;
- (ii) oboustranný 95% interval spolehlivosti pro populační střední hodnotu tělesné výšky ženy;
- (iii) nutný počet žen, jejichž tělesnou výšku bychom museli změřit, abychom snížili přípustnou chybu odhadu<sup>1</sup> populační střední hodnoty tělesné výšky ženy na 1 cm.

---

<sup>1</sup>jde o poloviční délku intervalu spolehlivosti pro střední hodnotu

# Vztah populace a výběru

- z populace je vybírán výběr
- z charakteristik výběru je usuzováno na parametry populace



# Statistické usuzování

- statistické usuzování je založeno na statistických hypotézách
- statistická hypotéza je výrok o parametru pravděpodobnostního rozdělení zkoumaného znaku
- k rozhodování o pravdivosti statistických hypotéz používáme obvykle hodnoty ze statistického výběru
  - populace (základní soubor) je prakticky vždy alespoň částečně nedostupná

## princip

- základním principem testování hypotéz je formulace testované (vyvrátitelné, znegovatelné) hypotézy, kterou při nalezení dostatečně významného protipříkladu<sup>2</sup> vyvrátíme ve prospěch jejího opaku; jinak ji považujeme za platnou (odpovídající realitě)

<sup>2</sup>ve statistice znamená nalezení protipříkladu sesbírání dostatku dat odporujících testované hypotéze

# Nulová hypotéza

- testovanou statistickou hypotézu, kterou lze eventuálně vyvrátit (negovat), nazýváme *nulovou* hypotézou a značíme ji  $H_0$ 
  - např. populační střední hodnota  $\mu$  je rovna konkrétnímu  $\mu_0$ , tedy

$$H_0 : \mu = \mu_0,$$

kde  $\mu_0$  je nějaká konstanta

- nulová hypotéza má obvykle tvar rovnosti<sup>3</sup> populační charakteristiky a konstanty nebo dvou (různých) populačních charakteristik

---

<sup>3</sup>konkrétní rovnost (=) lze na rozdíl od obecné nerovnosti ( $\neq$ ) přímočaře negovat



# Alternativní hypotéza

- při testování hypotéz se vždy nakonec pro platnost některé hypotézy rozhodneme, proto doplňujeme nulovou hypotézu ještě o její negaci, tzv. *alternativní* statistickou hypotézu značenou  $H_1$ 
  - např. populační střední hodnota  $\mu$  není rovna (je větší než, je menší než) konkrétnímu  $\mu_0$ , tedy

$$H_1 : \mu \neq \mu_0 \quad (\text{dvoustranná varianta})$$

anebo

$$H_1 : \mu > \mu_0 \quad (\text{jednostranná varianta})$$

anebo

$$H_1 : \mu < \mu_0, \quad (\text{jednostranná varianta})$$

kde  $\mu_0$  je vždy nějaká konstanta

# Vyvrácení nulové hypotézy a možné závěry testování

- protože usuzujeme na populační charakteristiky pomocí hypotéz postavených pouze na výběrových hodnotách, může dojít i k chybným závěrům

		závěr testu (pravděpodobnost)	
		$H_0$ se nezamítá	$H_0$ se zamítá
skutečnost	$H_0$ je pravdivá	správné rozhodnutí $(1 - \alpha)$	chyba I. typu $(\alpha)$
	$H_0$ není pravdivá	chyba II. typu $(\beta)$	správné rozhodnutí $(1 - \beta)$

# Obecný postup testování hypotéz

- (i) formulace hypotéz
  - začíná volbou porovnávaných parametrů, tj. měr střední hodnoty, variability či tvaru
- (ii) volba testového kritéria
  - testové kritérium je skalární proměnná, která převede test hypotézy coby rozhodovací pravidlo pouze na úroveň jednoho čísla
  - obvykle se pro zvolené porovnávané parametry využívá ustálených algoritmů (testů hypotéz) a výpočtů testového kritéria
- (iii) sestrojení kritického oboru
  - kritický obor je interval hodnot testového kritéria, pro které zamítneme nulovou hypotézu ve prospěch alternativní
- (iv) výpočet hodnoty testového kritéria
- (v) formulace závěrů testu

# Parametrické testy hypotéz

- testem hypotézy rozumíme obvykle ustálené rozhodovací pravidlo založené na testování statistické hypotézy určitého typu
  - jednotlivé testy hypotéz se od sebe liší především tím, jaké parametry základního souboru a výběru, resp. dvou výběrů mezi sebou porovnávají
- parametrické testy hypotéz předpokládají platnost některých apriorních *parametrů* výběru či základního souboru
  - hodnoty výběru či základního souboru tvoří kvantitativní znak
  - mnohdy předpokládáme normální rozdělení zkoumané statistické veličiny (viz dále)

# Test hypotézy o střední hodnotě

- testuje nulovou hypotézu  $H_0 : \mu = \mu_0$  o tom, zda se průměr  $\mu$  základního souboru (populace) rovná určité hodnotě  $\mu_0$
- testovým kritériem je v případě známého populačního rozptylu  $\sigma^2$

$$U = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma} \sqrt{n} \sim \mathcal{N}(0, 1^2)$$

kde  $\bar{x}$  je výběrový průměr a  $n$  rozsah výběru

- a v případě známého populačního rozptylu

$$U = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s_x} \sqrt{n} \sim \mathcal{N}(0, 1^2),$$

kde  $\bar{x}$  je výběrový průměr,  $n$  rozsah výběru a  $s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$  je výběrový rozptyl

# Test hypotézy o střední hodnotě

- pro malé výběry do  $n < 30$  nahrazujeme testové kritérium statistikou

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s_x} \sqrt{n} \sim t(n - 1),$$

kde  $\bar{x}$  je výběrový průměr,  $n$  rozsah výběru,  $s_x^2$  výběrový rozptyl a  $t(n - 1)$  je kvantil Studentova  $t$ -rozdělení o  $n - 1$  stupních volnosti

# Test hypotézy o střední hodnotě

- alternativní hypotézou a kritickým oborem tak může být

$$H_1 : \mu \neq \mu_0, \quad W_\alpha = \{u : |u| \geq u_{1-\alpha/2}\} \quad (\text{dvoustranný test})$$

anebo

$$H_1 : \mu > \mu_0, \quad W_\alpha = \{u : u \geq u_{1-\alpha}\} \quad (\text{jednostranný test})$$

anebo

$$H_1 : \mu < \mu_0, \quad W_\alpha = \{u : u \leq -u_{1-\alpha}\} \quad (\text{jednostranný test})$$

# Příklad

- Ředitel tvrdí, že průměrná mzda v jeho firmě je 25000 korun. Chceme ověřit jeho tvrzení, neboť se domníváme, že údaj o průměrné mzdě nadhodnotil. Máme údaje o 49 mzdách, ze který jsme spočítali průměr 23929 korun a výběrovou směrodatnou odchylku 5603 korun. Předpokládáme, že mzdy mají normální rozdělení. Hladinu významnosti volme 0,05.



# Test hypotézy o relativní četnosti

- testuje nulovou hypotézu  $H_0 : \pi = \pi_0$  o tom, že relativní četnost  $\pi$  určité varianty znaku v základním souboru (populaci) se rovná určité hodnotě  $\pi_0$
- testovým kritériem je

$$U = \frac{p - \pi_0}{\sqrt{\pi_0(1 - \pi_0)}} \sqrt{n} \sim \mathcal{N}(0, 1^2)$$

kde  $p$  je výběrová relativní četnost dané varianty znaku

# Test hypotézy o relativní četnosti

- alternativní hypotézou a kritickým oborem tak může být

$$H_1 : \pi \neq \pi_0, \quad W_\alpha = \{u : |u| \geq u_{1-\alpha/2}\} \quad (\text{dvoustranný test})$$

anebo

$$H_1 : \pi > \pi_0, \quad W_\alpha = \{u : u \geq u_{1-\alpha}\} \quad (\text{jednostranný test})$$

anebo

$$H_1 : \pi < \pi_0, \quad W_\alpha = \{u : u \leq -u_{1-\alpha}\} \quad (\text{jednostranný test})$$

# Příklad

- V malé nemocnici se za poslední měsíc narodilo 90 dívek a 60 chlapců. Na hladinách významnosti (i) 0,05 a (ii) 0,01 chceme otestovat hypotézu, zda se dívky a chlapci rodí se stejnou pravděpodobností.

# Test hypotézy o shodě dvou středních hodnot

- testuje nulovou hypotézu  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$  o tom, zda se průměr  $\mu_1$  jednoho základního souboru rovná průměru  $\mu_2$  druhého základního souboru
- předpokládáme, že známe rozptyly  $\sigma_1^2$  a  $\sigma_2^2$  v obou souborech
- testovým kritériem je

$$U = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \sim \mathcal{N}(0, 1^2)$$

kde  $\bar{x}_1$  a  $\bar{x}_2$  jsou výběrové průměry v obou výběrech z daných souborů,  $n_1$  a  $n_2$  jsou rozsahy výběrů

# Test hypotézy o shodě dvou středních hodnot

- alternativní hypotézou a kritickým oborem tak může být

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2, \quad W_\alpha = \{u : |u| \geq u_{1-\alpha/2}\} \quad (\text{dvoustranný test})$$

anebo

$$H_1 : \mu_1 > \mu_2, \quad W_\alpha = \{u : u \geq u_{1-\alpha}\} \quad (\text{jednostranný test})$$



anebo

$$H_1 : \mu_1 < \mu_2, \quad W_\alpha = \{u : u \leq -u_{1-\alpha}\} \quad (\text{jednostranný test})$$

# Příklad

- Bylo vybráno 73 polí stejné kvality. Na 38 z nich se zkoušel nový způsob hnojení, zbývajících 35 bylo ošetřeno původním způsobem. Průměrné výnosy pšenice při novém způsobu hnojení byly 5,4 tun na hektar a výběrový rozptyl byl 0,27. Průměrné výnosy pšenice při původním způsobu hnojení byly 4,7 tun na hektar a výběrový rozptyl byl 0,24. Chceme zjistit, zda nový způsob hnojení má vliv na výnosy pšenice. Hladinu významnosti volme 0,05.

# Literatura

-  Hindls, Richard, Stanislava Hronová, Jan Seger a Jakub Fischer. *Statistika pro ekonomy*. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN: 978-80-86946-43-6.
-  Marek, Luboš. *Statistika v příkladech*. Praha: Professional Publishing, 2015. ISBN: 978-80-7431-153-6.

Děkuji za pozornost!

lubomir.stepanek@vse.cz

lubomir.stepanek@lf1.cuni.cz

lubomir.stepanek@fbmi.cvut.cz

[https://github.com/LStepanek/4ST201\\_Statistika](https://github.com/LStepanek/4ST201_Statistika)