

## POSUDEK **OPONENTA** BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Název:** Problémy mnohonásobného testování

**Autor:** Kristína Turzová

### SHRNUTÍ OBSAHU PRÁCE

Práce je členěna do tří kapitol. V první kapitole jsou shrnuty základní principy testování hypotéz a zavedeny další pojmy specifické pro problém mnohonásobného testování. Druhá kapitola zavádí šest různých korekcí a diskutuje jejich základní vlastnosti. Tyto jsou ve třetí kapitole prozkoumány pomocí menší simulační studie.

### CELKOVÉ HODNOCENÍ PRÁCE

**Téma práce.** Téma se jeví jako velice vhodné pro bakalářskou práci na oboru *Obecná matematika*. Umožňovalo využít poznatků získaných v povinných kurzech, zejména pak v přednášce *Matematická statistika 1* a tyto v přiměřené míře rozvinout (s využitím další studijní literatury) a prokázat schopnost formulovat s porozuměním matematický text. Hlavních cílů práce uvedených v zadání bylo dle mého názoru dosaženo.

**Vlastní příspěvek.** Autorka přehlednou formou shrnula šest nejčastěji používaných korekcí používaných v případě vícenásobného testování. Vlastním příspěvkem autorky je též provedení simulační studie a prezentace jejích výsledků ve třetí kapitole.

**Matematická úroveň.** Matematické části textu jsou uváděny vesměs ve formě definic, tvrzení a odvození při konzistentním používání zavedeného značení. Práce obsahuje též několik důkazů, jež jsou vesměs jednoduššího charakteru, což však u bakalářské práce neshledávám za závadné. Největší slabinou práce je nicméně fakt, že zejména první kapitola obsahuje několik matematických nepřesností i chyb. I v dalších částech práce autorka často zapomíná zmínit některé důležité aspekty a z matematického hlediska je tudíž předložený text přinejmenším neúplný, resp. ne zcela rigorózní. Více viz seznam připomínek v druhé části posudku.

**Práce se zdroji.** Zdroje, z nichž práce vychází, jsou řádně a též formálně správným způsobem citovány. Pouze upozorním, že „*bonferroni*“ v názvech článků v seznamu literatury je vlastním jménem a měl by tudíž být uváděn jako „*Bonferroni*“.

**Formální úprava.** Formální úprava práce je na dobré úrovni. Jako výtku bych však uvedl fakt, že tabulky i obrázky jsou uváděny uvnitř textu, což do jisté míry znepřehledňuje jeho čitelnost. Výskyt pravopisných chyb mohu, s ohledem na jazyk práce, kterým je slovenština, posoudit pouze v omezené míře. Nicméně zjevné překlepy se v práci vyskytují v míře zcela minimální a rozhodně nepřesahující míru obvyklou pro tento typ práce.

1. Str. 4: Autorka uvádí „...*budeme predpokladať, že testované hypotézy sú navzájom nezávislé.*“ Co si mám představit pod nezávislostí hypotéz? Dle definice 1 jsou hypotézy podmnožinami parametrického prostoru. Obdobně mi není jasné, co se myslí výrazem „*nezávisle na sebe*“ ve vyjádření „*Všetky nulové hypotézy budeme testovať simultánne a nezávisle na sebe, ...*“ o dva řádky výše. S ohledem na platnost mnohých dále studovaných korekcí (počínaje Šidákovou) se jedná o poměrně zásadní předpoklad a bylo by tedy žádoucí ho jasně matematicky vyjádřit.
2. Str. 5: Druhý vysazený výraz, který končí  $(1 - \alpha)^K$ , není obecně správně. Souvisí to nějak s mojí předcházející připomínkou? Následně (o několik řádek níže) potom není obecně pravda, že  $\alpha_K = 1 - (1 - \alpha)^K$ , z čehož např. plyne, že Šidákova korekce vyžaduje jisté předpoklady.
3. Str. 5: Definice 3 nedefinuje P-hodnotu. Domnívám se, že se autorka snažila prepsat (při svém značení) definici P-hodnoty ze studijního textu Omelka (2019). Záměr se nicméně nezdařil, co vše je zde špatně?
4. Str. 6: V příkladu v druhé polovině této stránky se vychází z předpokladu, že pracujeme se dvěma náhodnými výběry  $\mathbf{X}_1$  a  $\mathbf{X}_2$  z normálních rozdělení s obecně různými středními hodnotami. Následně jsou uvažovány tři testovací problémy. Jedna z hypotéz,  $H_1$  se vztahuje k parametru toliko prvního výběru. Není mi jasné, zda příslušná testová statistika byla počítána z hodnot obou výběrů, či pouze jednoho z nich (v případě prvních dvou testovacích problémů lze uvážit obě varianty). Obdobně,  $H_2$  se vztahuje ke společnému rozptylu obou výběrů. Testování proběhlo dle autorky pomocí jednovýběrového  $\chi^2$  testu. Při výpočtu testové statistiky bylo počítáno se společným výběrovým průměrem nebo s výběrovým průměrem specifickým pro každý výběr?
5. Str. 8: Autorka píše „...*v Definícii 4 sme uviedli silnú kontrolu chyby FWER.*“ Zde podotýkám, že definice 4 pouze definuje FWER (pro sadu rodin), ale neříká nic o její kontrole. O několik řádek níže je v principu uvedena definice „jiné“ FWER (resp. definice FWER pro jednu konkrétní rodinu), nikoliv slabá kontrola FWER.
6. Str. 14: Důkaz tvrzení 6 v podstatě jenom přepisuje definici FDR a následně čtenáři sdělí, že zdůvodnění nerovnosti, jež je potřeba dokázat, se najde v článku Benjaminiho a Hochberga, čímž důkaz skončí. Dle mého názoru by stačilo rovnou uvést (bez přepisování značení), že důkaz se najde ve zmíněném článku. Respektive, mohla by autorka alespoň stručně okomentovat, zda je důkaz předmětné nerovnosti (relativně) triviální, či zda obnáší kroky, jejichž provedení by šlo nad rámec bakalářské práce.
7. Str. 15: Autorka testuje  $K$  hypotéz o středních hodnotách  $K$  náhodných výběrů, jež generuje z normovaného normálního rozdělení. Předpokládám, že použité procedury mnohonásobného testování jsou založeny na použití jednovýběrových t-testů. Toto však není nikde uvedeno.

## ZÁVĚR

I přes výše uvedené výhrady **doporučuji** práci uznat za bakalářskou na oboru *Obecná matematika*.

V Kačlehách dne 14. srpna 2019

doc. RNDr. Arnošt Komárek, Ph.D.

Katedra pravděpodobnosti a matematické statistiky  
Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy