

## POSUDEK VEDOUcíHO BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Název:** Stejnoměrný zákon velkých čísel, VC dimenze a strojové učení  
**Autor:** Aibat Kossumov

### SHRNUTÍ OBSAHU PRÁCE

Práce se zabývá tzv. stejnoměrnými zákony velkých čísel, které se dají nahlížet jako zobecnění klasické Glivenkovy-Cantelliho věty pro empirickou distribuční funkci. Práce se zaměřuje na zobecnění, které jako postačující podmínku využívá tzv. pokrývacích čísel (*covering numbers*). Dále práce ukazuje souvislost těchto vět s tzv. základní větou strojového učení (*fundamental theorem of learning*), jak je prezentována v kapitole 6.4 knihy *Understanding Machine Learning From Theory to Algorithms* od autorů Shalev-Shwartz a Ben-David.

**Téma práce.** Téma je přiměřené svou náročností bakalářskému studiu na oboru Obecná matematika a autor ho naplnil.

**Vlastní příspěvek.** Autor v první kapitole přehledně sepsal potřebnou teorii empirických procesů, přičemž některé důkazy oproti předloze podrobněji rozepsal. V druhé kapitole pak stručně vysvětlil princip VC dimenze a jak se dá pomocí této dimenze ověřit podmínka na pokrývací čísla. Tyto první dvě kapitoly mu pak pomohly elegantně dokázat ty nejzajímavější ekvivalence výše uvedené základní věty strojového učení. Za povšimnutí stojí, že autor oproti předloze neignoruje možné problémy s měřitelností a také, že zesiluje konvergenci v pravděpodobnosti na konvergenci skoro jistě.

**Matematická úroveň.** Práce obsahuje rigorózně a korektně zformulovaný matematický text. Práci bych po matematické stránce řadil mezi nadprůměrně obtížné. Se všemi obtížemi se však autor dokázal vyrovnat. Samozřejmě, tím jak bylo téma pro autora nové, tak na některých místech by zkušený autor dokázal věci zapsat s o něco větším nadhledem a přehledněji.

**Práce se zdroji.** Zdroje jsou citovány správně. Zpětně však vidím jako mírně problematické, že jsem autora neupozornil, že by měl zmínit, že zejména při důkazu lemmatu 1.3 a věty 1.6 čerpal z mých (neveřejných) poznámek ke kurzu *NMSA603 Pokročilé partie oboru* z roku 2019/2020. Nicméně platí, že autorovy verze důkazů jsou výrazně podrobnější než v těchto poznámkách.

**Formální úprava.** Formální úroveň práce je slušná, i když by se jistě dala vylepšit. Přičemž mnohé stylistické či gramatické nedostatky jdou zřejmě na vrub toho, že autor nepíše ve svém rodném jazyce.

### CELKOVÉ HODNOCENÍ PRÁCE

Autor pracoval svědomitě a usilovně. Téma práce vzniklo do jisté míry na jeho popud, protože chtěl psát práci o strojovém učení. Zároveň se však autor také snažil opravdu pochopit použité matematické techniky včetně možných problémů s neměřitelností. To nakonec vedlo k tomu, že práce je téměř dvakrát delší, než by bylo běžné u bakalářské práce.

Spolupráce s autorem byla podnětná, protože přicházel se zajímavými dotazy, které pro mě nebylo vždy snadné zodpovědět. Kromě této, pro vedoucího práce spíše příjemné úlohy, však bylo zapotřebí také o něco více než je běžné dohlížet, aby vznikal text, který je nejenom matematicky správně, ale také bude pro čtenáře dobře čitelný. Tento úkol byl zkomplikován náročností tématu a také tím, že

čeština není mateřský jazyk autora. Ale myslím, že i z tohoto pohledu nakonec vznikla práce, která je dobře čitelná.

#### ZÁVĚR

Práce patří dle mého názoru k nadprůměrným a splňuje všechny požadavky kladené na bakalářskou práci na oboru *Obecná matematika*. Proto ji doporučuji za ni uznat.

doc. Ing. Marek Omelka, Ph.D.

KPMS MFF UK

3. června 2022