

POSUDEK OPONENTA NA BAKALÁŘSKOU PRÁCI
VIKTORA BAHÝL'A
UNIVERZÁLNÍ TURINGŮV STROJ

Zadáním práce je stručně „Sestrojit vlastní univerzální Turingův stroj“. Vypracování sestává ze dvou hlavních částí: obecného úvodu do Turingových strojů a z vlastního návrhu univerzálního stroje. Tato druhá část obsahuje 1) diskusi kódování Turingova stroje, 2) program univerzálního stroje a 3) důkaz jeho univerzálnosti.

Celá práce je v řadě ohledů nešťastná. Slovensky psaný text čítá 41 stran (výrazně více, než je doporučený rozsah) a je psán ve Wordu, což je vzhledem k informatické povaze práce a nutnosti používat poměrně bohaté značení, zarážející. Obě tyto vnější charakteristiky bohužel předznamenávají nedostatečnou matematickou úroveň práce. Téma Turingova stroje je v tomto ohledu nebezpečné, protože svádí k empirickému popisu „pásek“, „hlav“ a „pohybů“ na úkor matematické formulace. Autor práce se stal obětí tohoto nebezpečí v plném rozsahu. Práce snad neobsahuje jedinou matematicky korektní definici, resp. tvrzení. Rozhodně tak nenaplnuje základní požadavek formulovaný ve *Standardech* takto:

Při hodnocení práce se klade důraz na schopnost prezentovat rigorózním a korektním způsobem matematický text. Každá práce by měla mít aspoň jednu část, na níž student tuto schopnost prokáže.

Domnívám se tedy, že práce nemůže být přijata jako bakalářská.

Podrobnější zdůvodnění:

- Hlavním problémem je nepřipustné míchání neformálního popisu s formálním.
 - Definice Turingova stroje (Definice 1, str. 4) sice po proškrtání obsahuje přijatelnou matematickou definici, ale již v ní se mluví o „směru pohybu hlav“, „prázdném políčku na pásce“, „stavech, ve kterých se stroj může nacházet“. *Páska* je definována ve volném textu o dva odstavce dále jako „nekonečná polopřímka sestávající z paměťových bloků“ (což je zřejmě totéž jako „políčko“ z definice).
 - Již druhá definice, totiž definice výstupu, je matematicky nepřijatelná zcela, protože vůbec není definován *chod*, resp. je chápán pouze zcela intuitivně. Definice je nepřesná i v řadě dalších ohledů: jak je dán vstup? co se stane, pokud je na výstupní pásce přítomen neprázdný pracovní symbol? Neformální odpovědi na podobné otázky lze obvykle najít někde ve volném textu, což ovšem formální definice nijak nezachraňuje.
 - Třetí definice je formálně přijatelná (odhlédnuto od nedefinovaných pojmů v ní obsažených), ale libovolné dva Turingovy stroje počítající stejnou částečnou funkci se podle ní vzájemně simulují. To zjevně není pojem simulace, který má práce později na mysli.
 - Definice centrálního pojmu *Univerzálního Turingova stroje* je nesmyslná, dokud se nezavede nějaké standardní kódování Turingových strojů, což se děje až po definici. To je ostatně typický rys práce: definice jsou dodatečně opravovány a doplňovány. Např. definice Turingova stroje je dodatečně rozšířena o řadu obvyklých požadavků na přechodovou funkci. To by snad mohlo být přijatelné, pokud by se na to výslovně upozornilo. Namísto toho se požadavek na funkci δ vyhlašuje výroky typu: „Pokiaľ sa hlava nachádza na najľavejšom konci jej pásky a pokúsi sa pohnúť viac doleva, tak namiesto toho zostane na mieste“.
- Za těchto okolností samozřejmě nelze očekávat ani smysluplná tvrzení a jejich důkazy. Jistým extrémem je v tomto ohledu Tvrzení 1 na str. 16, u kterého se dokazuje, že neformálně popsany zápis přechodové funkce tabulkou je reprezentací Turingova stroje, což je nedefinovaný pojem. Ve skutečnosti se v „důkazu“ upozorňuje na to, že chování Turingova stroje (formálně nedefinováno) je dáno jeho programem (tj. přechodovou funkcí), což už bylo dříve na neformální úrovni konstatováno, a že konečnou funkci lze zapsat jako posloupnost jejích hodnot. To je jedno ze dvou míst, kde se autor pokouší o důkaz nějakého obecného tvrzení.

- Druhým místem je Věta 1 (str. 30), která je klíčová pro skutečný pojem simulace: univerzální stroj prochází stavy, které jednoznačně odpovídají průběhu výpočtu simulovaného stroje. Je snadno vidět, že důkaz tohoto klíčového tvrzení je zcela nedostatečný, přinejmenším je zde nutná nějaká podoba indukce (případný zájemce si může na tomto místě na třinácti řádcích udělat vlastní úsudek o charakteru práce).
- Způsob, jakým se autor vyrovnává s otázkou determinismu je další intenzivní ukázkou nepřijatelnosti celého textu (druhý odstavec na str. 7). Nedeterminismus stroje je zde charakterizován jednoznačností *výstupu* namísto jednoznačnosti přechodové funkce (v tomto případě by bylo nutno mluvit o přechodové relaci). Současně se ovšem pojem „výstupu“ a pojem „přechodové funkce“ směšuje (viz: „přechodová funkcia má rozhodovací charakter a pri jednotlivých vstupoch môže dochadzať k voľbe výstupu“). Deterministický stroj konečně samozřejmě nemůže nedeterministický stroj simulovat ve smyslu Definice 3. Takové tvrzení je nejen nepravdivé, ale nedává ani dobrý smysl.
- Je dobré poznamenat, že teprve v druhé části práce se objevuje jeden z klíčových pojmů, který by umožnil definovat *výpočet*, totiž *okamžitý popis* (Definice 5, str. 29). (Výpočet je posloupnost okamžitých popisů kompatibilní s přechodovou funkcí.) Definice 5 ovšem v souladu s duchem celé práce postupuje obráceně a definuje okamžitý stav pomocí domněle známého pojmu „chodu“ stroje a jeho „okamžiků“.
- Drobnější ukáзка práce s matematickým formalismem: již definice okamžitého stavu a tedy i první část Věty 1 přirozeně používá zřetězení, je tedy s podivem, že se zřetězení náhle definuje v druhé polovině Věty 1.
- Vzhledem k zadání práce je vhodné se samostatně vyjádřit k samotnému kódu navrženého Turingova stroje. Nedomnívám se, že je úkolem oponenta ověřovat funkčnost tabulkami definovaného Turingova stroje s více než čtyřiceti instrukcemi (počítáno bez opakování „stejných“ instrukcí pro různé znaky). Důkaz univerzality je v zásadě důkazem toho, že navržené instrukce opravdu v intuitivním smyslu „simulují“ chod stroje zapsaného na druhé pásce. Základní myšlenka simulace je přímočará a nijak se neliší od obvyklého postupu. Autorův výklad není příliš přátelský, ale to je asi už otázka vkusu čtenáře a literární dovednosti autora. Poznávám jen, že se zde těžko může jednat o formální důkaz. Tvrzení 3 (str. 31) je např. jistě obecně vzato nepravdivé, protože „důkaz“ používá dodatečný předpoklad $a_2 = a_3 = \square$, který může být v daném kontextu oprávněný, ale není obsažen v Tvrzení. Pokud jde o neformální přesvědčivost, bylo by jistě představitelné, že by student demonstroval funkčnost svého návrhu na nějakém existujícím simulátoru. Je ale třeba zdůraznit, že přesvědčivost popisu simulace, ani přesnost vypsání instrukcí není a neměla by být rozhodující otázkou pro posouzení práce. Proto se zde zdržím podrobnějších výtek a pochybností.
- Závěrem ještě jedna obecná, pro hodnocení rovněž méně důležitá poznámka. Jediným bodem doporučené literatury je epochální Turingův článek z roku 1937. Ani na této všeobecně vzdělávací úrovni není práce uspokojivá. Historické poznámky předcházející oddíl 1.2 jsou téměř nesmyslné a vzbuzují pochybnost, zda si student z Turingova článku něco odnesl (pokud ho četl).