

Seminář k absolventské práci

Návrh a výroba trysky pro model přečerpávací elektrárny

Lukáš Paulík (PaulikLuk2@student.copsu.cz)

13. června 2025

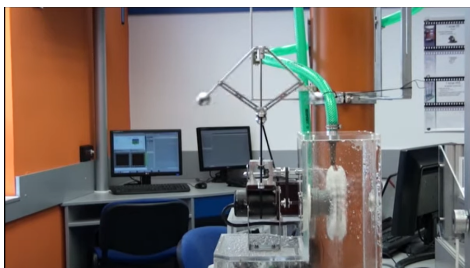
1 Úvod

Výroba trysky pro model přečerpávací elektrárny je výzvou, která může posunout vaše dovednosti a znalosti na vyšší úroveň. Každý krok v procesu výroby je příležitostí k učení a růstu. Každá tryska je jako malý kousek technologického umění, který může přinést nové poznatky a zlepšení do oblasti vodních energetických zdrojů.

V roce 2014 vznikl v Laboratoři aplikované informatiky [3] na Vyšší odborné škole v Sezimově Ústí v rámci absolventské práce [1] model přečerpávací elektrárny, viz obr. 1, který byl v následujícím roce rozšířen o Wattův odstředivý regulátor [2]. V modelu přečerpávací elektrárny je tachodynamo poháněno Peltonovou turbínou na jejíž lopatky dopadá voda z trysky s výtokovým otvorem o průměru 8 mm. Nikdo zatím ale neotestoval, zda je použita neoptimálnější tryska vzhledem k výkonu turbíny.

Cílem této práce je navrhnout a vyrobit takovou trysku, při které bude dosažen maximální výkon na Peltonově turbíně. V rámci této práce budou navrženy trysky dvě a na základě experimentů bude vybrána ta s lepšími parametry.

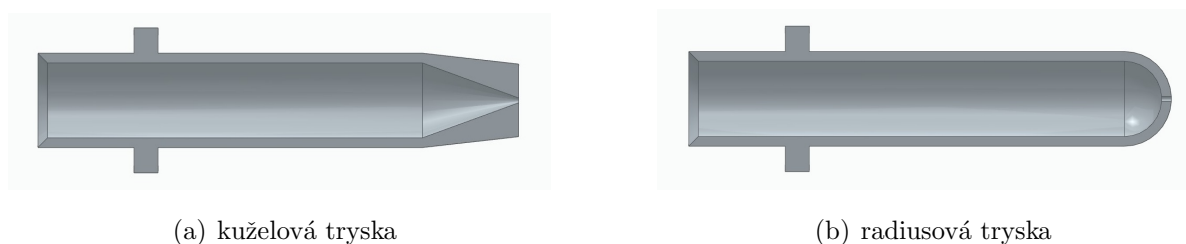
Struktura této práce je následující. V kapitole 2 se práce zabývá tvarem trysky, vymodelováním trysky a exportem pro 3D tiskárnu. Kapitola 3 popisuje, jak trysku vytisknout a následně upravit pro lepší funkčnost. V kapitole 4 jsou popsány experimenty s navrženými tryskami. Kapitola 5 popisuje výrobu trysky a samotnou montáž na model přečerpávací elektrárny.



Obrázek 1: Model přečerpávací elektrárny – převzato z [2]

2 Navržení a vymodelování trysek

Trysky byly navrženy podle skutečné trysky pro Peltonovu turbínu s menší úpravou. Protože nejsou známy všechny fyzikální vlivy a odpor otáčení turbíny, nelze trysku vymodelovat a vytisknout na první pokus, ale je třeba odzkoušet různé výtokové průměry trysek. Z toho důvodu byly špičky trysek navrženy tak, aby se jejich výtokový otvor dal zvětšit bez změny vnitřního tvaru trysky, viz obr. 2(a). Uvnitř trysky taktéž nesmí vzniknout hrana, která bude narušovat proudění vody. Trysky budou vyrobeny dvě, jedna taková jako byla původní tryska (s kuželovým průřezem) a druhá podle trysek používaných na velkých turbínách, tedy s rádiusovým koncem.



Obrázek 2: Řez navrženými tryskami

2.1 Modelování trysek

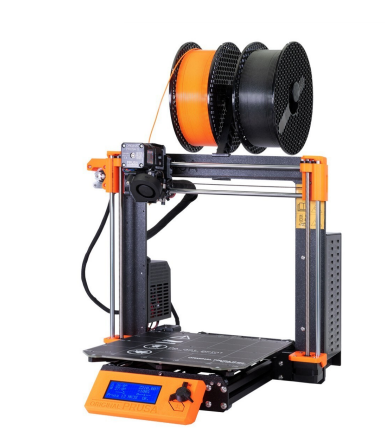
Trysky byly vymodelovány v programu Solid Edge tak, že se vytvořil 3D model v záložce nové součásti (metrická součást ISO). Postupů modelování, které se dají použít, je několik. V tomto případě byla použita rotace. Proto bylo nutné si nejprve udělat obrys součásti, který byl vytvořen ve skice a pod tento obrys byla přidána přímka, kolem které se obrys orotoval o 360° , čímž vznikne 3D model, viz obr. 3. Po tomto kroku stačí dát 3D model uložit do formátu STL; v možnostech uložení změnit palce na milimetry a model uložit.



Obrázek 3: 3D model navržené trysky

3 Výroba trysek

K vytisknutí trysky je potřeba soubor STL vložit do programu pro 3D tisk a umístit model správně do tisknouceho prostoru. Poté se soubor pro 3D tiskárnu uloží na kartu a vloží do 3D tiskárny. K 3D tisku byla použita tiskárna Prusa i3 MK3S+, viz obr. 4. Dále je třeba zvolit materiál, ze kterého se bude tisknout. V tomto případě byl zvolen materiál PLA a výrobek se dal tisknout. Tento tisk trval přibližně 4 hodiny.



Obrázek 4: 3D tiskárna Prusa i3 MK3S+

3.1 Dokončení výroby trysek

Po vytisknutí je nutné odloupat všechny podpěry. Jelikož se trysky tiskly naležato, tak se podpěry vytiskly i dovnitř trysek, což nebylo úplně dobré ze dvou důvodů. Za prvé se špatně dostávají podpěry z vnitřku trysek. A po odloupení se vyskytl druhý problém, a to je hrubý povrch uvnitř trysek, který je potřeba zlepšit kvůli proudění vody, kterou by hrubý povrch brzdil. Proto se tento povrch musel přebrousit nebo naleptat. Bohužel naleptání nebylo možné z toho důvodu, že PLA se dá leptat obtížně [4], a proto se povrch pouze přebrousil.



Obrázek 5: Fotografie vyrobených trysek

4 Zkouška vyrobených trysek

Trysky byly odzkoušeny tak, že se postupně namontovaly do modelu přečerpávací elektrárny a změřilo se napětí na tachodynamu při maximálním proudu vody. Poté se změnil průměr výstupního otvoru trysky a měření se opakovalo. Naměřená data jsou v následující tabulce. Odtud je patrné, na jakém výtokovém průměru daných trysek byly největší otáčky.

Tabulka 1: Závislost napětí tachodynamu na výtokovém průměru trysek

Výtokový průměr trysky	Radiusová tryska	Kuželová tryska
\varnothing [mm]	Napětí U [V]	Napětí U [V]
3,0	0,45	0,30
3,5	1,25	1,00
4,0	2,00	1,40
4,5	2,20	2,35
5,0	2,75	2,50
5,5	3,00	2,80
6,0	3,10	2,00
6,5	3,00	2,30
7,0	2,50	2,15

Z výše uvedené tabulky je patrné, že tryska s radiusovou špičkou dává větší otáčky turbíny než tryska kuželová. Největších otáček bylo dosaženo při průměru 6 mm. Tyto maximální otáčky jsou také větší než otáčky s původní tryskou. Jelikož těmito pokusy byla tryska zvětšena až na výtokový průměr 7 mm, kde jak se ukázalo, otáčky turbíny klesají, musela se vytisknout finální tryska s průměrem 6 mm znovu.

5 Výroba finální trysky

Finální tryska pro model přečerpávací elektrárny musela být upravena, protože do modelu byl přidán kulový kohout na ruční zastavení vody tekoucí do trysky. Bylo potřeba upravit jak kohout, tak samotnou trysku. Kohout musel být upraven z toho důvodu, že na obou svých stranách má osazení pro upevnění na zahradní hadici. Proto byla jedna strana tohoto kohoutu odsoustružena na průměr 20 mm, jak je vidět na obr. 6, na níž byl následně nasazena a přilepena závitová vložka z důvodu aretace trysky k plexisklu.



Obrázek 6: Upravený kulový kohout

Když byl kohout upravený bylo třeba navrhnout a vyrobit trysku a závitovou vložku. Závit na vložce a trysce musí být z důvodu uchycení trysky k plexisklu. Nejprve byla navržena závitová vložka, viz obr. 7, na odsoustruženou stranu kohoutu. Proto byl vnitřní průměr závitové vložky 20 mm. Následně bylo potřeba navrhnout závit této vložky. Byl vybrán $M24 \times 1,5$. Tento závit byl vybrán z důvodu co nejmenšího vnějšího průměru a dostatečné síle stěny této vložky. Tento závit se musí vyrobit i na trysce, na které je nutné dodržet celkovou délku, proti předchozímu prototypu, aby lopatky turbíny nenarážely do trysky.



Obrázek 7: Finální tryska se závitovou vložkou

Po navržení těchto komponent byly komponenty vytištěny na 3D tiskárně a po vytištění se tryska s kohoutem zkompletovala tak, že závitová vložka se nasadila na kohout a zalepila se

lepidlem. Po vytvrdnutí lepidla se tryska s kohoutem, na kterém je nalepená vložka, sešroubovaly k sobě. Na druhou stranu kohoutu byla stahovacím železným páskem uchycena hadice a tryska byla připravena k používání.



Obrázek 8: Zkompletovaná tryska na laboratorním modelu

První test trysky dopadl úspěšně až na problém s netěsností kohoutu v zavřeném stavu, kdy voda unikala pod tělesem zavírání kohoutu. Po rozebrání kohoutu bylo zjištěno že je vadný těsnící kroužek na tělese zavírání kohoutu. Jelikož byly kohouty objednány dva, jeden na 3/4 palcovou hadici a druhý na 1/2 palcovou, bylo možné tělesa zaměnit a tím byl problém odstraněn. Kohout neprotékal a všechno fungovalo bez problémů.

6 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a vyrobit trysku pro model přečerpávací elektrárny, se kterou dokáže Peltonova turbína dosáhnout nejvyšších otáček. Tryska byla vyrobena a po testování bylo zjištěno, že turbína dosahuje nejvyšších otáček s rádiusovou tryskou při výtokovém průměru 6 mm. Po této zkoušce byla tryska vyrobena tak, aby mohla být namontována na laboratorní model spolu s kohoutem.

Trysku by dále šlo ještě vylepšit, pokud by byly známy všechny fyzikální vlivy. Pak by mohla být vnitřní geometrie trysky lépe navržena a tryska by mohla dosáhnout ještě větších otáček turbíny.

Literatura

- [1] BOŠTIČKA, J. Model vodní elektrárny – elektronika. (Absolventská práce), VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí, Sezimovo Ústí, 2014.
- [2] PAVLÁT, P. Řízení otáček turbíny pomocí Wattova odstředivého regulátoru. (Absolventská práce), VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí, Sezimovo Ústí, 2015.
- [3] ROUBAL, J. A CHVÁTAL, S. *Laboratoř aplikované informatiky* [online]. [cit. 2025-05-21], (<https://LoAI.copsu.cz>), 2025.
- [4] SHARPLAYERS. Jak upravit povrch u výtisků z PLA filamentu [online]. [cit. 2024-04-12], (<https://eshop.sharplayers.cz/a/povrchova-uprava-vytisku>), 2023.

Poděkování

Autor této práce děkuje panu Kržovi a panu Tousekovi za pomoc při výrobě trysek a škole za poskytnutý materiál pro 3D tisk.