



Středoškolská technika 2019

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na
ČVUT**

Přečerpávací vodní elektrárna

Eva Hlavová

Gymnázium Botičská

Botičská 1, Praha 2

Prohlášení

Poděkování

Anotace

V této práci jsem se zaměřila na tematiku týkající se vodních elektráren, a především přečerpávacích vodních elektráren. Vyrobita jsem malý funkční model přečerpávací vodní elektrárny. Zjistila jsem, že jsem schopna vyrábět malé množství energie, které stačí například pro rozsvícení diody. Bohužel tato výroba energie je v domácím prostředí velmi neefektivní, ale naopak v zemích, kde mají vhodné přírodní podmínky pro tuto produkci energie, je to velmi ekologické a efektivní.

Abstract

Obsah

Úvod.....	10
Přehled literatury.....	11
Princip vodní elektrárny	11
Přetlakové turbíny.....	11
Francisova turbína	12
Dériazova turbína	12
Kaplanova turbína.....	12
Bánkiho turbína	14
Vodní elektrárny	15
Přečerpávací vodní elektrárny	15
Průtočné vodní elektrárny	16
Akumulační vodní elektrárny	17
Přílivové elektrárny	17
Vlnové elektrárny	17
Metodika	19
Výsledky a diskuse	21
Závěr	21
Seznam literatury	25
Přílohy.....	26

Úvod

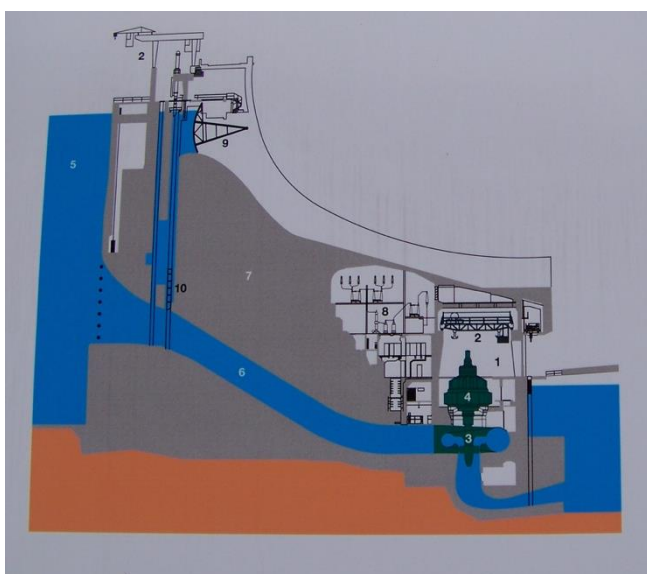
V této odborné práci bych ráda popsala různé druhy vodních elektráren a turbíny, které se využívají. Mým cílem v této práci je vytvořit vlastní model přečerpávací vodní elektrárny. Rozhodla jsem se, že v mém modelu využiji Francisovu turbínu, protože se běžně využívá v elektrárnách tohoto typu. Funkčnost mého modelu ověřím rozsvícením malé diody.

Toto téma jsem si vybrala, protože se domnívám, že energie získaná z vodních toků je maximálně ekologická ve srovnání s jinými způsoby získávání energie. Také si myslím, že je to nejvhodnější budoucí cesta k dosažení největšího možného množství energie.

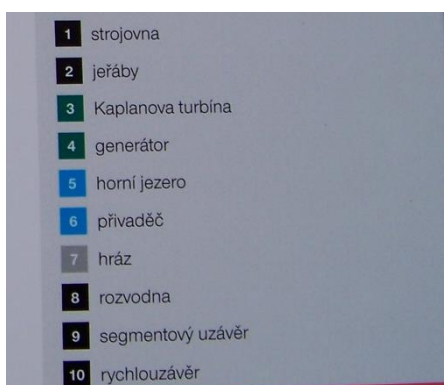
Přehled literatury

Princip vodní elektrárny

Voda protéká turbínou a předává jí svou potenciální energii. Turbína roztáčí generátor připevněný na stejné hřídeli. V generátoru se mění rotační energie na elektrickou energii díky elektromagnetické indukci. Mechanická energie proudící vody se také přemění na energii elektrickou, ta se transformuje a odvede do místa, kde se spotřebuje. Velmi podobný princip se také využívá u jaderných a uhelných elektráren. (1) (2)



Obrázek 1 Schéma vodní elektrárny (3)



Obrázek 2 Legenda schématu vodní elektrárny (3)

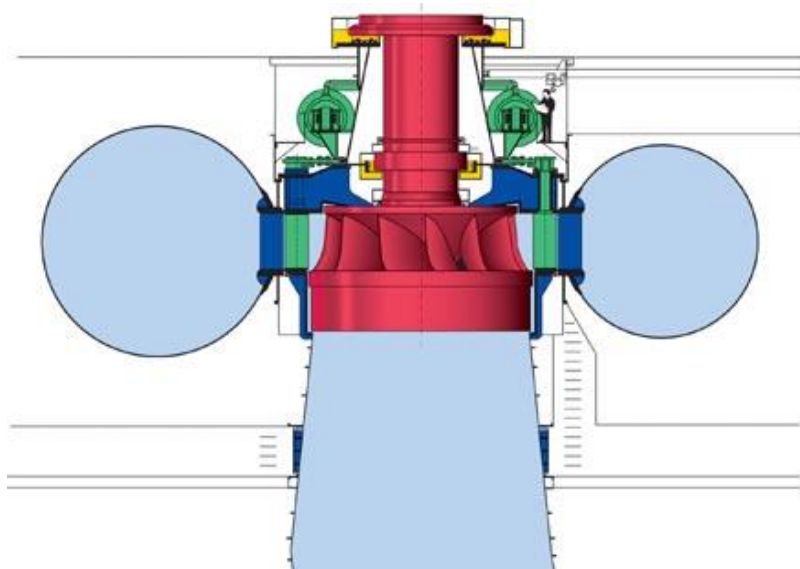
Přetlakové turbíny

Turbíny ve vodních elektrárnách jsou rotační hydraulické stroje (hydrodynamické primární motory), které přeměňují hydraulickou energii na mechanickou energii. U přečerpávací vodní elektrárny se využívá čerpadlová turbína, které pracují buď jako turbína nebo jako čerpadlo, které se otáčí opačným směrem při čerpadlovém chodu než při turbínovém.

Využití různých druhů turbín závisí na konkrétním uspořádání terénu a hydrologických podmínkách v místě elektrárny. (4)

Francisova turbína

Tato turbína je radiálně axiální a přetlaková. Oběžné kolo, které je dostředivě protékané a uzavřené, je opatřeno jedenácti až sedmnácti oběžnými lopatkami pevně spojené s nábojem a věncem kola. Řídící orgán je rozvaděč s natáčivými rozváděcími lopatkami, které ovládá regulační mechanismus. Turbína je většinou vertikální nebo horizontální (vhodné pro nižší výkon) se spirálou a sací troubou. Používá se také jako čerpadlová turbína. (4)(5)



Obrázek 3 Francisova turbína (6)

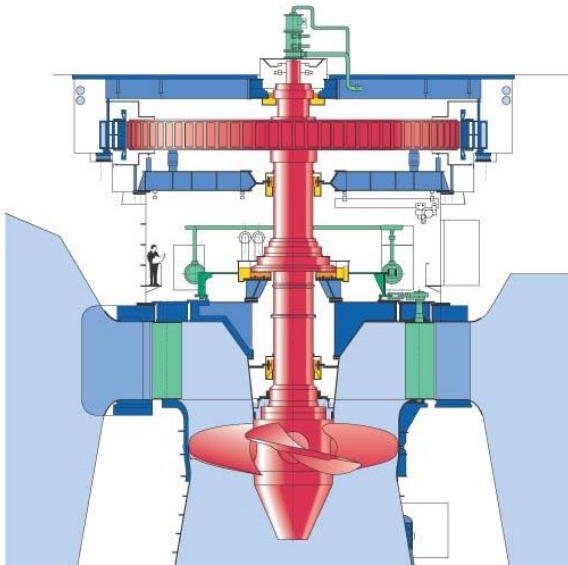
Dériazova turbína

Tato turbína je přetlaková a diagonální. Je to varianta Kaplanovy turbíny. Dériazova turbína je přechodná mezi Francisovou a Kaplanovou. Lopatky oběžného kola nejsou s vnějším věncem, jsou umístěny na kuželovitém náboji kola, jsou natáčivé. V náboji oběžného kola je uložen regulační systém oběžných lopatek, který umožňuje za chodu stroje plynulou změnu polohy lopatek. Úhel svíraný osami čepů oběžných lopatek a osy kola je 30° až 60° . Rozvaděč se používá v radiálním nebo diagonálním uspořádání. Rozváděcí lopatky jsou natáčivé a jsou řízeny vlastním regulačním mechanismem. Používá se také jako reverzibilní stroj. (4) (5)

Kaplanova turbína

Je přetlaková a axiální. Oběžné kolo nemá vnější věnec a oběžné lopatky jsou upevněny v náboji kola natáčivě. Náboj má vhodný hydrodynamický tvar (plocha náboje je kulová v prostoru lopatek). Regulační mechanismus ovládá lopatky. Mechanismus je uvnitř náboje

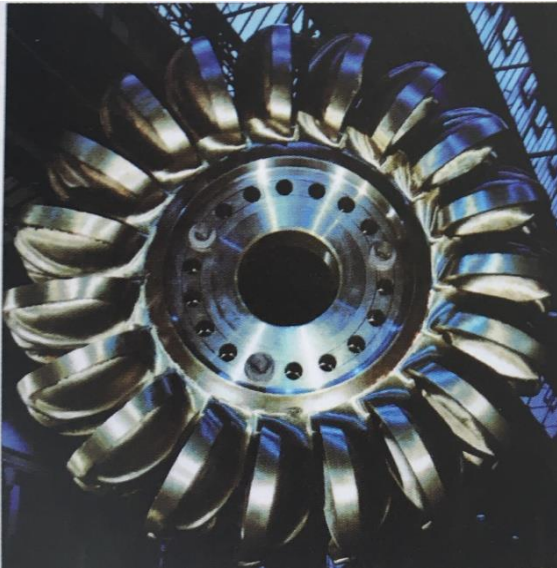
kola. Úhel svíraný osami čepů lopatek a osy náboje je 90° . Rozvaděč je radiální a má natáčivé lopatky, které jsou ovládány vlastním regulačním mechanismem. Oběžné a rozváděcí lopatky se pohybují současně a vázaně. Turbína většího výkonu bývá většinou vertikální. Sací trouba je běžná. Novějším řešením je přímoproudá axiální nízkospádová turbína. (4) (5)



Obrázek 4 Kaplanova turbína (7)

Peltonova turbína

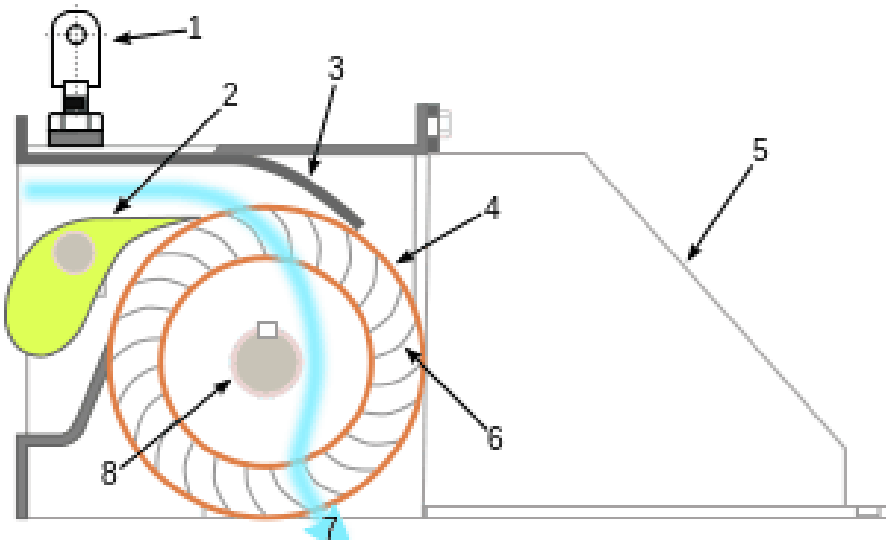
Je rovnotlaká tangenciální. Oběžné lopatky mají tvar dvojitého korečku a jsou neregulační. Rozváděcí stroj je tvořen 1 až 6 dýz, ze kterých voda vystupuje v podobě kompaktního paprsku kruhového průřezu. V dýzách dochází k přeměně tlakové měrné energie v kinetickou měrnou energii vodního paprsku. Změna průtoku, která reguluje výkon, se provádí otevíráním a zavíráním výtokového otvoru dýzy pohybem přímočarým regulační jehly. Soustrojí bývá horizontální, při více jak dvou dýzách je vertikální. (4) (5)



Obrázek 5 Peltonova turbína (8)

Bánkiho turbína

Tato turbína je specifický typ rovnotlaké turbíny. Má parciální vtok (Do oběžného kola vtéká voda jen na část jeho obvodu) a dvojitý průtok kapaliny oběžným kolem. Lopatky na oběžném kole jsou vytvořené z kruhově prohnutých desek, umístěných mezi paralelní kotouče. Do oběžného kola vstupuje voda dostředivě a vystupuje odstředivě. Průtok se reguluje zpravidla klapkou, která je umístěna ve vtokovém tělese, případně segmentovaným uzávěrem. Turbína je uspořádána horizontálně. (4)(5) (9)



Obrázek 5 Bánkiho turbína (10)

Vodní elektrárny

Výkon odebíraný vodním tokům závisí na spádu vody a na průtočném množství. Přírodní výškový rozdíl využívají téměř všechny hydroelektrárny pomocí technických prostředků. (8)

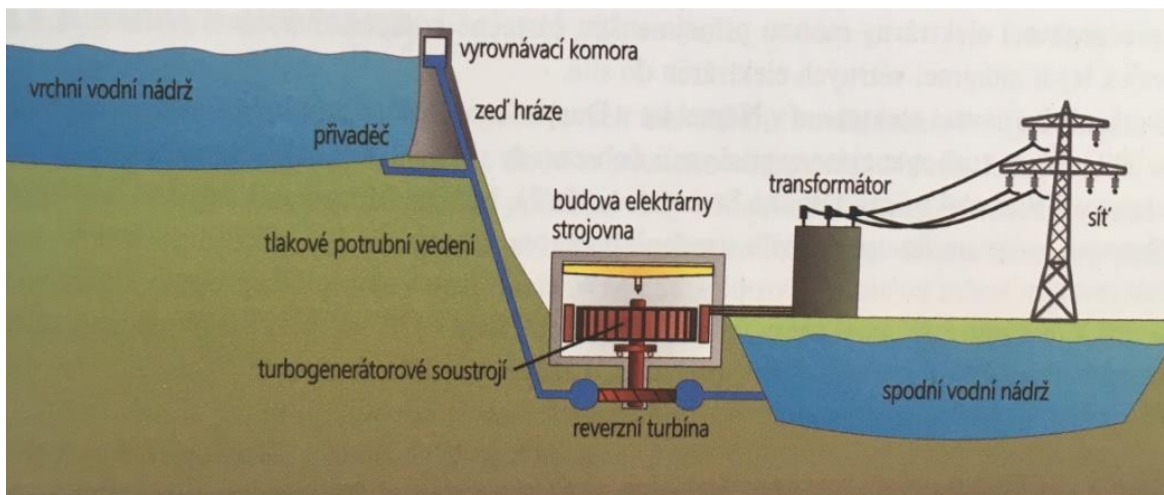
Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací vodní elektrárny musí být postaveny na vhodném geografickém území. Jedno z kritérií je, že se musí postavit dvě nádrže pokud možno s největším spádovým rozdílem. Další podmínka pro vybudování elektrárny je řeka vlévající se do horní nádrže, avšak to není nezbytně nutné. Takové elektrárny, bez přirozeného přítoku vody, se nazývají čistě přečerpávací vodní elektrárny.

Z horní nádrže přitéká pomocí tlakového potrubí voda k turbíně, která jí odebírá energii. Použitá voda odtéká do dolní vodní nádrže. Pomocí transformátoru se napětí z generátoru převede do elektrické sítě. Pokud dojde k přebytku elektrické energie, přepíná se elektrárna do reverzního režimu. Nadbytečná energie ze sítě je odebírána elektromotorem, který pohání vodu ze spodní nádrže zpět do horní. Pokud tedy dojde k nadměrné výrobě elektrické energie, může dojít k velkým výkyvům tlaků a v nejhorších případech i k poškození součástí stroje. Tzv. vyrovnávací komora pomáhá regulovat změny tlaku.

Tyto elektrárny jsou ekonomicky velmi výhodné i při velkých ztrátách (až 30%). Když vzniká přebytek energie, proud je levný, naopak když je na trhu proudu málo, lze prodávat elektrický proud drah.

Největší přečerpávací vodní elektrárna na našem území je elektrárna Dlouhé Stráně. Nachází se v okrese Šumperk na Moravě. V roce 1996 byla uvedena do provozu. Tato elektrárna se skládá z největší reverzní vodní turbíny v Evropě-325 MW. Má také největší spádový rozdíl z elektráren v České Republice-510,7 m a největší instalovaný výkon hydroelektrárny u nás-2×325 MW. Pomocí dvou převaděčů je propojená horní nádrž s podzemní elektrárnou. Elektrárna a dolní nádrž je propojená dvěma odpadními tunely. Dolní nádrž leží na říčce Divoká Desná a má objem 3,4 mil. kubických metrů. Horní nádrž leží ve výšce 1350 m. n. m. na hoře Dlouhé Stráně. Objem této nádrže je 2,72 mil. kubických metrů. (8)



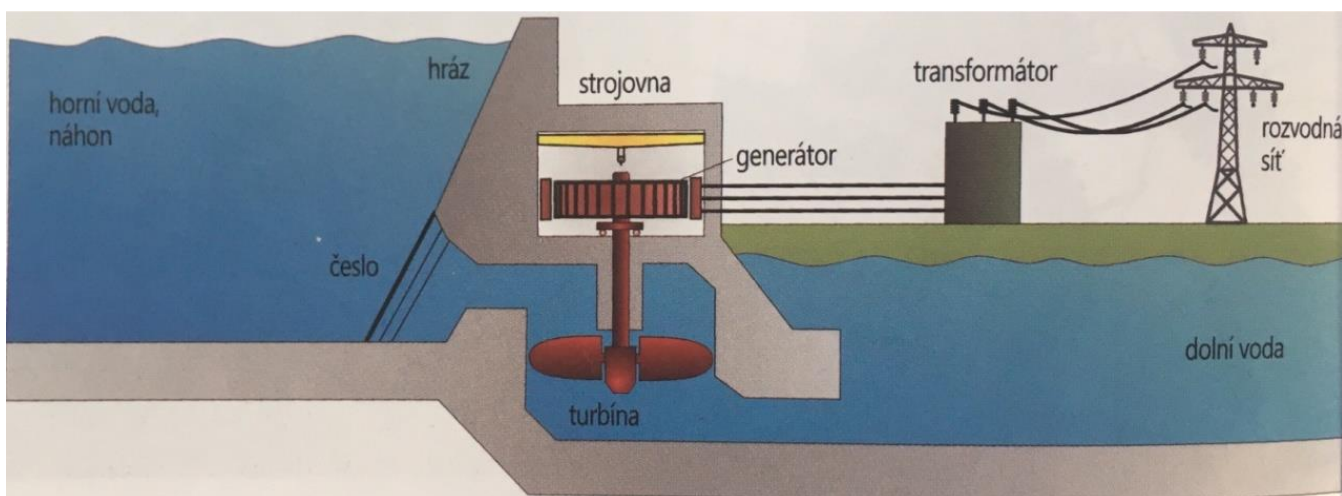
Obrázek 6 Schéma přečerpávací vodní elektrárny (8)

Průtočné vodní elektrárny

Pokud se na vodním toku nachází velký výškový rozdíl lze tam vystavět průtočnou elektrárnu. Zadržením vody hrází vznikne vzdutí, čím se přímo vytvoří výškový rozdíl mezi hladinami toku před a za elektrárnou. Voda teče na turbínu na vzdouvacím stupni, která pohání generátor. Přístupu naplaveninám odpadu k turbíně zabráňuje česlo. Napětí generátoru mění na požadované napětí do rozvodové sítě transformátor.

U větších vodních elektráren je několik paralelně běžících turbín poháněno vodou. Při období nedostatku vody se musí některé turbíny vysadit z provozu. Díky tomu nedochází ke snižování účinnosti turbín při částečném provozu. Naopak při vysokém stavu vody se musí některá voda odvádět.

Díky plavebním komorám lze překonat výškový rozdíl mezi hladinami. To umožňuje průplav živočichům a lodím na území přehrad a jezů. (8)



Obrázek 7 Schéma průtočné vodní elektrárny (8)

Akumulační vodní elektrárny

U těchto elektráren lze dosáhnout vyššího výkonu. Díky přehradám a hrázím je možné ve vhodném geografickém prostředí zadržet velké množství vody. Tzv. údolní nádrže poskytují možnost instalace a provozu akumulačních elektráren v oblastech hor. Do strojovny je voda přiváděna pomocí tlakového přívodního potrubí. Vytváří se vysoký přetlak až 20 MPa díky vysokému spádu. Ve strojovně jsou turbíny poháněny vodou a pohání generátor, který vytváří elektrický proud.

Hráze bývají vysoké přibližně 100 m. Slouží také jako nádrže pitné vody a pro regulaci stavu vody na řekách. (8)

Přilivové elektrárny

Vlivem působících gravitačních sil Měsíce, Země a slunce vzniká příliv a odliv. Tyto děje způsobují na otevřeném moři výškové rozdíly hladin přes 1 m. V oblastech pobřeží s velkými přílivovými vlnami se zátoka rozdělí přehradní hrází.

Voda proudí na turbínu, která je v zátocě, při přílivu a v opačném směru voda proudí v době odlivu.

Lidé se pokoušeli využívat přílivů a odlivů pomocí vodních mlýnů již ve středověku. V dnešní době stojí jen velmi málo moderních přílivových elektráren. Největší přílivová elektrárna je Rance ve Francii, která funguje od roku 1967. Dopad na životní prostředí v zátocě je viditelný a také vliv mořské vody způsobuje korozi.

Výstavba a provoz těchto elektráren je poměrně drahá, proto ani do budoucna nejsou plány na výstavbu mnoha dalších. (8)

Vlnové elektrárny

Vhodné prostředí pro vlnové elektrárny je mělké pobřeží

Vlnové elektrárny rozlišujeme na systémové s plováky, komorový systém, zařízení „TapChan“

Potenciální energii vln využívají plovákové systémy. Ke dnu je připevněná nepohyblivá část a plovák, který plave na hladině, kopíruje pohyb vln. Na turbínu nebo píst se přenáší pohyb plováku.

U komorového systému uzavírá hladina vzduchovou komoru a díky vlnění vln se hladina v komoře pohybuje. Chvějící se hladina stlačuje vzduch. Proud vzduch pohání turbínu napojenou na generátor v obou směrech.

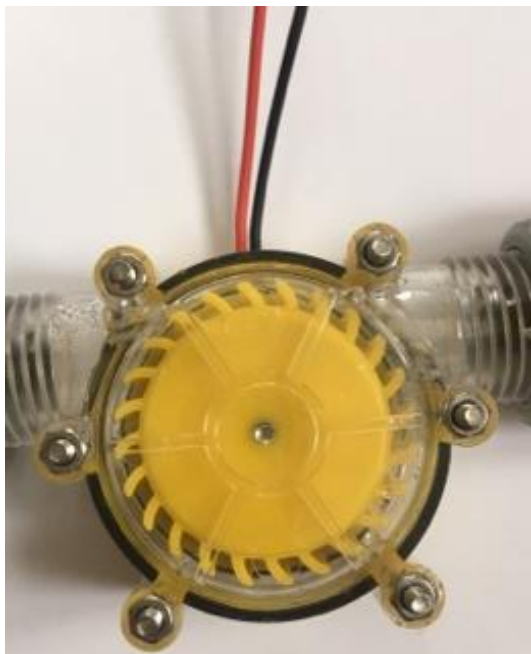
„TapChan“ nebo-li „zašpičatělý kanál“ využívá proudění vln pobřežním nebo na plovoucím zařízení kanál, který se zužuje do špičky. Turbínu pohání zpětný proud vody. (8)

Elektrický výkon

Elektrický výkon vyjadřuje práci, která je vykonaná, za jednotku času. Tato veličina se značí písmenem P a základní jednotkou je watt (W). Elektrický výkon se se liší u střídavého a stejnosměrného napětí. Výkon u stejnosměrného proudu se počítá rovnicí: $P = U \times I$, kde je proud i a napětí konstantní. Na rozdíl od tohoto je vzorec pro výkon střídavého proudu mnohem složitější. Musí se brát v potaz, že obě veličiny jsou závislé na čase. (11)

Metodika

Základní součástí pro sestavení modelu přečerpávací vodní elektrárny je v mém případě generátor, který jsem si objednala na zahraničním e-shopu za 523 Kč.



Obrázek 8 Generátor

Dále jsem použila zahradní hadici o vnitřním poloměru 0,00625 m, která přivádí vodu z horní nádrže do generátoru. Totožnou hadici jsem použila k odvodu vody z dolní nádrže do horní. Jako horní nádrž jsem použila gumový tvarovatelný kanystr, který má objem 15 litrů, ale takto velká nádrž není nutná.

Aby bylo možné vyčerpat vodu zpět do horní nádrže, potřebovala jsem čerpadlo. Doma jsem našla malé vodní čerpadlo, které se běžně využívá v akvaristice. Toto čerpadlo roztočím pomocí běžné akumulátorové vrtačky.



Obrázek 6 čerpadlo

Díky stavebnici Boffin 500, ze které jsem využila několik součástek, jsem sestavila jednoduchý elektrický obvod. Využila jsem na to červenou LED diodu a rezistor, který má odpor $100\ \Omega$ a 2 kontaktní vodiče. Vše jsem sestavovala na podložní destičce.

Abych mohla vypočítat daný výkon musela jsem si nejdříve změřit napětí a výkon při daném rozdílu výšek nádrží. Toto měření jsem provedla pomocí dvou multimertrů, které jsem zapojila paralelně do obvodu k LED diodě dvěma dráty o průměru $0,3\ \text{mm}^2$.

Mým dalším úkolem v této práci bylo zjistit závislost výkonu generátoru a rozdílu výšky nádrží. Proto jsem provedla 4 měření. První bylo z výšky 3,1 m, druhé z výšky 4,5 m, třetí z výšky 8,5 m a čtvrté z výšky 11,5 m.

Výsledky a diskuse

Sestrojila jsem funkční model přečerpávací vodní elektrárny, jak jsem již popsala v metodice. Měřila jsem pomocí dvou multimetrů napětí a proud. Toto měření jsem provedla čtyřikrát v různých výškových rozdílech nádrží. První měření jsem provedla u výškového rozdílu 3,1 m druhé u 4,5 m třetí u 8,5 m a poslední s výškovým rozdílem 11,5 m. Z těchto dat jsem sestavila tabulky a vypočítala pomocí funkce směrodatné výchylky, které jsem v tabulce zvýraznila zelenou barvou.

Tabulka 1 3,1 m

napětí [V]	proud [mA]
2,7	23,2
2,6	23,1
2,7	23,2
2,7	24,0
2,8	24,1
2,7	24,6
2,7	24,0
2,6	23,5
2,6	24,2
2,7	24,2
0,0	0,5

Tabulka 2 4,5 m

napětí [V]	proud [mA]
3,1	32,0
3,1	31,0
3,1	33,1
3,1	31,6
3,0	32,8
3,0	33,1
3,1	31,6
3,0	32,0
3,1	31,2
3,2	33,3
0,1	0,8

Tabulka 3 8,5 m

napětí [V]	proud [mA]
3,3	51,0
3,4	52,0
3,4	50,2
3,3	51,3
3,8	50,0
3,9	51,3
3,8	50,1
2,9	50,2
3,9	52,0
3,8	51,0
0,3	0,3

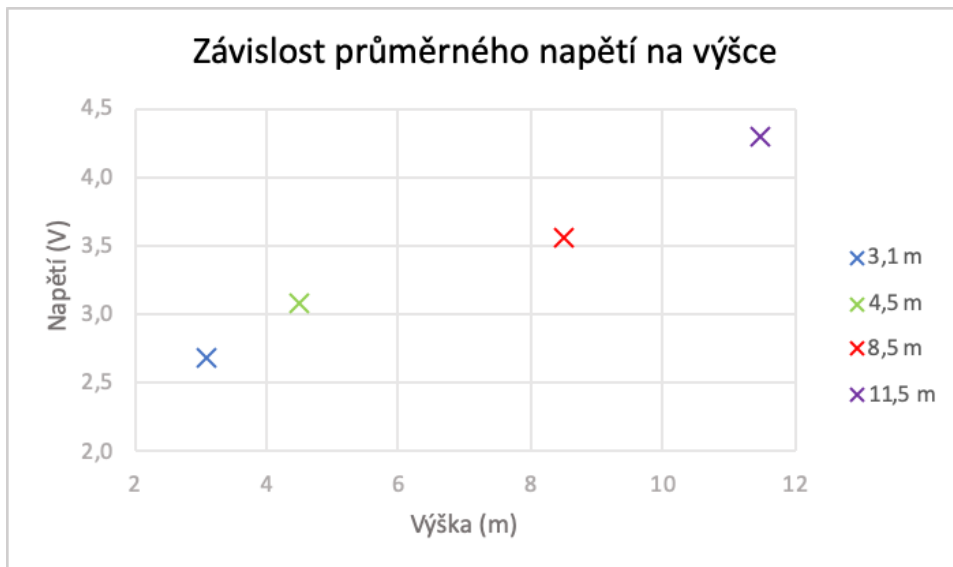
Tabulka 4 11,5 m

napětí [V]	proud [mA]
4,3	61,2
4,3	60,1
4,3	60,5
4,3	60,1
4,3	60,3
4,3	60,0
4,3	62,1
4,3	60,8
4,3	61,7
4,3	60,0
0,0	0,7

Dále jsem z naměřených dat sestavila tři grafy. Nejprve jsem si vypočítala průměrné napětí z každé sestavené tabulky a vytvořila jsem první graf závislosti průměrného napětí na výšce. Pro druhý graf jsem si ze všech tabulek vypočítala průměrný proud a vytvořila jsem graf

závislosti průměrného proudu na výšce. A pro vytvoření třetího grafu jsem si vypočítala průměrný výkon pro každou z tabulek pomocí vzorce

$P = U \times I$. Musela jsem nejprve převést jednotky proudu z mA na A a do vzorce jsem dosadila průměrné napětí a průměrný proud. Z výkonů, který jsem vypočítala jsem sestavila graf závislosti průměrného výkonu na výšce.



Graf 1 Závislost průměrného napětí na výšce



Graf 2 Závislost průměrného proudu na výšce



Graf 3 Závislost průměrného výkonu na výšce

Závěr

Zhotovila jsem přečerpávací vodní elektrárnu a provedla jsem měření. Funkčnost modelu jsem ověřila rozsvícením malé červené diody. Jako první měření jsem zkoumala napětí, které jsem vytvořila díky mému modelu. Jako druhé měření jsem pozorovala proud, který jsem vyrobila. Tyto hodnoty jsem měřila pokaždé desetkrát a poté změnila výškový rozdíl nádrží. Takto jsem to provedla čtyřikrát. První výškový rozdíl byl 3,1 m, druhý 4,5 m, třetí 8,5 m a čtvrtý 11,5m. Pozorovala jsem závislost výškového rozdílu na napětí a výkonu. Tyto hodnoty jsem nejprve zpracovala do čtyřech tabulek a vypočítala směrodatné odchylky. Vypočítanými odchylkami jsem zjistila, že měření bylo velmi přesné až na několik odchylek, které by se daly vysvětlit nepřesným měřením přístroje nebo slabším tokem vody z horní nádrže. Směrodatné odchylky u proudu byly o něco větší a dají se odůvodnit lehkou nepřesností měřícího přístroje.

Dále jsem z naměřených hodnot vytvořila tři grafy. Pro lepší přehlednost grafů jsem si vypočítala průměrné napětí a proud pro daný výškový rozdíl. Z těchto hodnot jsem sestrojila dva grafy, první závislosti průměrného napětí na výšce a druhý závislosti průměrného proudu na výšce. Pro třetí graf jsem si vypočítala průměrný výkon pro daný výškový rozdíl a tyto hodnoty jsem dosadila do třetího grafu. Všechny tři grafy jsou téměř lineární, proto si myslím, že by graf vypadal stejně, ať bych měřila s jakýmkoliv výškovým rozdílem.

Seznam literatury

1. GABRIEL, Pavel a Jitka KUČEROVÁ. *Navrhování vodních elektráren*. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01304-9.
2. HODÁK, Tomáš a Peter DUŠIČKA. *Malé vodné elektrárne*. Bratislava: Jaga, 1998. ISBN 80-967676-8-2.
3. Wikimedia Commons contributors. File:Slapská přehrada, informační tabule.jpg [Internet]. Wikimedia Commons, the free media repository; 2014 Jun 10, 12:13 UTC [cited 2019 May 20]. Available from: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Slapsk%C3%A1_p%C5%99ehrada,_informa%C4%8Dn%C3%AD_tabule.jpg&oldid=126246719.
4. BEDNÁŘ, Josef. *Turbíny: (malé vodní elektrárny)*. Českovice: Marcela Bednářová, c2013. ISBN 978-80-905437-0-6.
5. MELICHAR, Jan. *Hydraulické a pneumatické stroje, část vodní turbíny*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05283-9.
6. Příspěvatelé Wikipedie, *Francisova turbína* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2019, Datum poslední revize 12. 01. 2019, 11:50 UTC, [citováno 13. 05. 2019]
<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Francisova_turb%C3%ADna&oldid=16852443>
7. Příspěvatelé Wikipedie, *Kaplanova turbína* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2019, Datum poslední revize 9. 05. 2019, 08:22 UTC, [citováno 13. 05. 2019]
<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kaplanova_turb%C3%ADna&oldid=17224219>
8. QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
9. VOBOŘIL, David. *Vodní elektrárny-princip a rozdělení* [online]. 2016 [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni/>
10. Příspěvatelé Wikipedie, *Bánkiho turbína* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2014, Datum poslední revize 5. 11. 2014, 19:59 UTC, [citováno 23. 01. 2018]
<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=B%C3%A1nkiho_turb%C3%ADna&oldid=11986917>
11. Příspěvatelé Wikipedie, *Elektrický výkon* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2019, Datum poslední revize 22. 01. 2019, 09:51 UTC, [citováno 20. 05. 2019]
<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektrick%C3%BD_v%C3%BDkon&oldid=16879112>

Přílohy