



STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA SDĚLOVACÍ TECHNIKY

110 00 Praha 1, Panská 856/3

☎ 221 002 111, 📠 221 002 666

URL: <http://www.panska.cz>

E-mail: sekretariat@panska.cz

PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY

PRAKTICKÁ MATURITNÍ ZKOUŠKA Z ODBORNÝCH PŘEDMĚTŮ

Studijní obor

**78-42-M/001
Technické lyceum**

Třída

03K

Školní rok

2006/2007

Daniel Lukeš

Jméno a příjmení autora

Anotace

Tato dlouhodobá maturitní práce se zabývá přečerpávacími vodními elektrárnami a je rozdělena do tří částí. V první části je vysvětlen princip přečerpávací vodní elektrárny a také jsou zde popsány základní strojní a elektrotechnické prvky používané v provozu PVE. Druhá část přibližuje některé z obecných závěrů z první kapitoly na příkladu přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně a zároveň obsahuje její stručnou charakteristiku. Poslední část práce popisuje stavbu modelu PVE.

Annotation

This long-term school-leaving project describes the function of the pump-storage hydroelectric power stations. It is divided into three sections. The first section explains basic principle of a pump-storage hydroelectric power station and basic mechanical and electrotechnical components used in the pump-storage hydroelectric power stations. The second section of this project shows some of the common conclusions from the first section in the example of the Dlouhé Stráně hydroelectric power station and also contains brief characteristics of this power plant. The last section of my project describes construction a model of pump-storage hydroelectric power station.

ÚVOD

V současné době je jedním ze závažných celosvětových problémů zajistit dostatečné množství energie pro stále se zvyšující potřeby a nároky lidstva. Hledají se takové zdroje energie, které by neničily už tak dost poničené životní prostředí a které by přitom byly schopné dodávat energii pravidelně. Řešení tohoto problému lidstvo našlo ve vodních elektrárnách. Vodní elektrárny využívají jeden ze stále se obnovujících zdrojů energie – energii vody, kterou Slunce neustále a zdarma „přemísťuje“ z moře a povrchu Země do atmosféry. Při výrobě elektrické energie z vody nespotřebovávají vodní elektrárny žádné suroviny, nevzniká žádný odpad, vyrábějí ekologicky. Umožňují tak snížit výrobu elektrické energie v uhelných elektrárnách v České republice i jinde ve světě a odlehčit životní prostředí o škodlivé zplodiny oxidů dusíku, síry a popelový odpad. Na rozdíl od tepelných elektráren všech typů neprodukuje vodní elektrárny ani oxid uhličitý, který se rozhodujícím způsobem podílí na vytváření skleníkového efektu. Špičkové vodní elektrárny jsou schopny velmi rychle reagovat na změny zatížení sítě a mají proto zásadní význam pro provoz energetické soustavy v globálním měřítku. Vyrábějí elektrickou energii levně a jejich životnost je několikanásobně delší než u jiných zdrojů elektrické energie. Vhodně umístěné akumulární nádrže vodních elektráren zlepšují kvalitu vody, slouží jako zdroj pro odběr průmyslové i pitné vody, snižují nebezpečí povodní, zvyšují minimální průtoky, zlepšují plavební podmínky, umožňují závlahy a v neposlední řadě jsou mnohdy využívány i jako místa pro rekreaci. Jeden z mnoha druhů vodních elektráren tvoří i přečerpávací vodní elektrárny (PVE). Ačkoliv tento druh vodní elektrárny není v povědomí lidí moc známý, spoluutváří základ každé energetické přenosové soustavy. Cílem této práce je informovat jejího čtenáře o přečerpávacích vodních elektrárnách, jejich principu, významu a dalších faktech, v rozsahu větším, než je rozsah středoškolského učiva a názorně ukázat provoz přečerpávacích vodních elektráren na funkčním modelu.

PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY

OBECNĚ

Dělení PVE

Přečerpávací vodní elektrárny lze v závislosti na jejich uspořádání dělit na:

- PVE se sekundární akumulací
- PVE se smíšenou akumulací

PVE se sekundární akumulací jsou takové PVE, které mají uzavřený koloběh vody mezi horní a dolní nádrží. Nazývají se též klasické nebo také čisté PVE. V této skupině se setkáváme nejčastěji s PVE s dolní nádrží umístěnou v údolí, na přirozeném vodním toku. Přitom dolní nádrž může a nemusí být použita i pro jiné účely než energetické. Jako příklad lze uvést PVE Dlouhé Stráně. V poslední době se diskutuje o možnosti stavby PVE v opuštěných důlních šachtách.

PVE se smíšenou akumulací jsou takové PVE, jejichž horní nádrž je přehradní nádrž umístěná na přirozeném toku a obsah horní nádrže je navíc doplňován z dolní nádrže. Dolní nádrž bývá obvykle na tomtéž toku. Příkladem takovéto přehradové PVE je PVE Dalešice.

PVE lze dělit podle mnoha dalších hledisek (podle umístění strojovny na podzemní a nadzemní, podle uspořádání přečerpávacího soustrojí na dvoustrojové, třístrojové apod.).

Základní pojmy hydroenergetiky

Hrubý spád je výškový rozdíl hladin nad a pod vodním dílem při nulovém průtoku turbínou. Pokud budeme uvažovat výškový rozdíl mezi vstupním a výstupním profilem turbíny, dostaneme čistý (užitný) spád. Pod pojmem maximální spád se rozumí největší užitný spád, na který je vodní motor konstruován. Jmenovitý spád je spád, při němž má vodní motor nejlepší hydraulické vlastnosti.

Průtok turbínou je definován jako množství protékající vody za jednotku času. Určujícím parametrem turbíny je pak jmenovitý průtok, což je průtok, při kterém má turbína nejlepší hydraulické vlastnosti. Často se používá i pojem hltnost turbíny, což je maximální průtok turbínou při daném spádu.

Voda protékající z horní nádrže do nádrže dolní prochází vodním motorem, přičemž vykonává práci. Jeho teoretický výkon P_t je definován jako $P_t = \rho g H Q$, kde ρ je hustota vody, g je tíhové zrychlení, H je hrubý spád a Q je průtok turbínou. Skutečný výkon je teoretický výkon snížený o ztráty při přeměně energií. Pokud jde o elektrický výkon, je to skutečný výkon snížený dále o ztráty při přeměně mechanické energie na elektrickou.

Účinnost turbíny lze definovat jako poměr skutečného výkonu turbíny k jejímu teoretickému výkonu. V této celkové účinnosti jsou zahrnuty veškeré ztráty, k nimž dochází při protékání vody turbínou (tedy hydraulické, objemové i mechanické).

Hlavní vybavení PVE

Turbínová soustrojí

Peltonova turbína

Peltonova turbína, viz obrázek 1, patří do skupiny akčních turbín, mezi kterými má v dnešní době výsadní postavení. Voda je k turbíně přiváděna tangenciálně, pomocí jedné nebo více trysek. Poté narazí na lopatky elipsoidického tvaru a odtéká volně do odpadu. Vodní proud vytékající z trysky předává turbíně celou svou energii. Pro rychlost výtoku c_1 vodního paprsku z trysky platí vztah $c_1 = \varphi \sqrt{2gH}$, kde φ je rychlostní výtokový součinitel ($\varphi = 0,97$), g je tíhové zrychlení a H je čistý spád.

Pro plochu výtokového otvoru trysky platí

$$\text{vztah } S = \frac{Q}{c_1} = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ kde } Q \text{ je průtok}$$

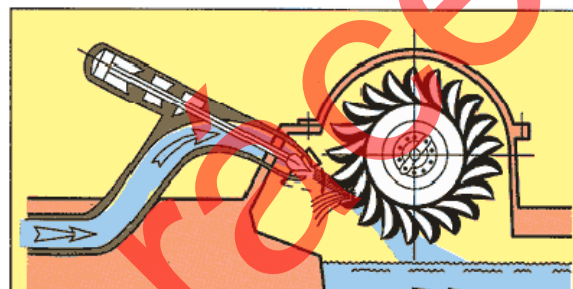
oběžným kolem a d je průměr trysky.

Vyjádříme-li d , dostaneme vztah pro

$$\text{průměr trysky } d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \varphi \sqrt{2gH}}} = 0,55 \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H}},$$

kde konstanta 0,55 nahrazuje konstanty 4, π , φ a $2g$ z předchozího vztahu. Pokud by měl průměr trysky vyjít větší než 200 mm, je nutno zvětšit počet trysek na 2 (horizontální PT) nebo 4-6 (vertikální PT).

Peltonovy turbíny se užívají obvykle v lokalitách, kde jsou k dispozici spády od 30 m do 1800 m a malé vodní průtoky. Je tomu tak díky jejich uspokojivé účinnosti a malým rozměrům (PT jsou totiž menší než přetlakové turbíny, čímž se zmenšují i celkové rozměry elektrárenské budovy).

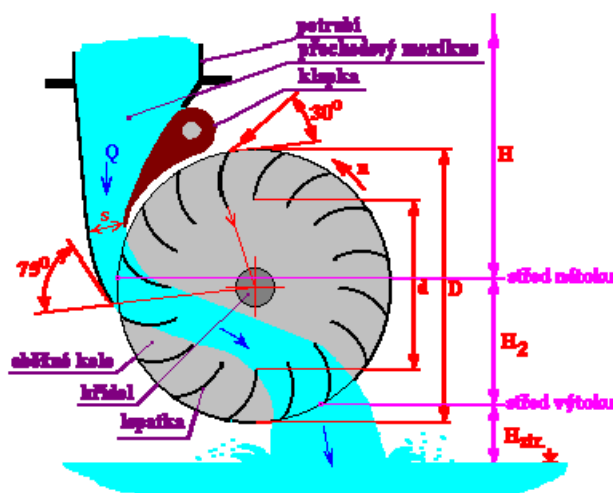


obrázek 1

Bánkiho turbína

Bánkiho turbína (BT), viz obrázek 2, patří do skupiny akčních turbín, se dnes používá u malých vodních elektráren, zejména díky její jednoduché konstrukci, spolehlivosti v provozu a poměrně uspokojivé účinnosti kolem 85%. Přívod vody je řešen tangenciálně. Vodní proud se po průchodu lopatkami dostává do středu oběžného kola. Následně vtéká na jeho protilehlou stranu, kde znovu působí na lopatky. Nakonec volně odtéká do odpadu.

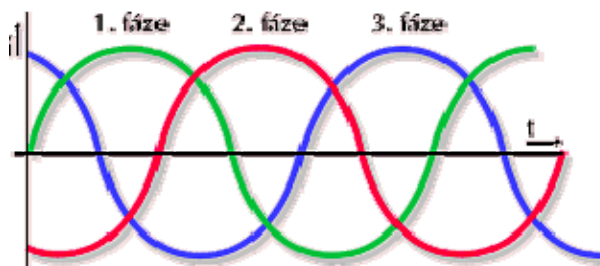
BT se používá pro spády do 60 m a průtoky do $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.



obrázek 2

Princip hydroalternátoru

Jak už bylo řečeno, hydroalternátor slouží k přeměně rotační energie turbínového hřídele na energii elektrickou (v turbínovém nebo též generátorickém režimu). Jestliže turbína otáčí rotorem alternátoru a v jeho budícím vinutí prochází



stejnoseměrný proud, vzniká (budí se) točivé magnetické pole, které ve statorovém vinutí indukuje střídavé napětí. Po přifázování elektrárny k síti vyvolá střídavé napětí na statorovém vinutí průchod střídavého proudu. Tím vznikne druhé točivé magnetické pole. Pokud se tato dvě točivá magnetická pole otáčejí se stejnou frekvencí, jedná se o hydroalternátor synchronní, pokud frekvence stejná není, jedná se o hydroalternátor asynchronní. Jako charakteristiku asynchronního alternátoru lze zavést veličinu, nazvanou skluz.

Hydroalternátor v motorickém chodu funguje přesně opačně než v chodu generátorickém. Přeměňuje elektrickou energii na energii rotujícího turbínového hřídele. Když začne vinutím statoru procházet střídavý proud, vytváří se točivé magnetické pole. To indukuje střídavé napětí ve vinutí rotoru, způsobující průchod střídavého proudu. Díky tomu se vytváří druhé magnetické pole. Vzájemná interakce tohoto rotorového magnetického pole a statorového magnetického pole způsobí otáčení rotoru a tím i turbínového hřídele.

Hydroalternátor může pracovat též v kompenzačním režimu. V tomto provozním stavu je hydroalternátor připojen k elektrizační soustavě, přičemž pracuje jako motor v chodu naprázdno (oběžné kolo turbíny je zavzdušněno). K uvedení PVE do kompenzačního režimu se přistupuje tehdy, je-li potřeba v elektrizační síti kompenzovat jalové odběry spotřebičů. Proto hydroalternátor pracuje v přebuzeném stavu (viz kapitola podbuzený a přebuzený hydroalternátor). Kompensační provoz PVE se uskutečňuje výhradně v době mimo špičkový provoz a mimo období čerpání.

PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNA DLOUHÉ STRÁNĚ

Historie PVE Dlouhé Stráně

První záměry výstavby

Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) se budují všude na světě jako osvědčený regulační prvek energetické přenosové soustavy. Také u nás energetika přikročila k jejich výstavbě.

První studijní práce související s možnostmi výstavby byly započaty již v roce 1957 se zaměřením na výběr vhodných lokalit. Po několikaletém přerušení došlo k jejich obnovení v roce 1962, kdy vznikla vyhledávací studie o možnostech umístění



obrázek 3

PVE na území Čech, Moravy a Slezska. Zabývala se několika desítkami lokalit, které by mohly být vhodné pro výstavbu elektrárny. Výběr vhodné lokality a základní geologické průzkumy probíhaly v letech 1963-1966. Na základě této studie bylo vybráno asi 40 variant technického řešení PVE na několika možných místech. K hlavním technickým požadavkům na umístění PVE patřila možnost vybudovat dostatečně velké nádrže s dolní nádrží na přirozeném toku,

při udržení dostatečné horizontální vzdálenosti nádrží. Z moravských lokalit, které umožňovaly instalaci výkonů nad 500 MW s denní akumulací, byly všechny situovány do oblasti Jeseníků. Vybrané lokality se dále porovnávaly podle předpokládaných nákladů na instalovaný výkon a na vyrobenou kilowatthodinu (kWh). V následující tabulce jsou uvedeny některé z nich (ukazatelé na PVE Dlouhé Stráně mají hodnotu 100%).

Hodnocená lokalita	Výkon v MW	Náklady na instalovaný výkon v %	Náklady na vyrobenou kWh v %
Dlouhé Stráně	525	100	100
Vysoká Hole	1141	135	122
Břidličná	675	144	136
Černé Stráně	504	120	116

Na základě již zmíněné studie z let 1963-1966 bylo v roce 1968 rozhodnuto, že plánovaná přečerpávací vodní elektrárna bude umístěna do oblasti Hrubého Jeseníku, na tok Divoká Desná.

Od myšlenky k realizaci

Základní parametry díla a velikost instalovaného výkonu stanovil vydaný investiční záměr. Následně se zpracovávaly ještě různé srovnávací studie, jejichž účelem bylo



obrázek 4

dále řešit, prohlubovat a zpřesňovat koncepční otázky a uspořádání PVE Dlouhé Stráně (PVE DS). Jednoznačným se jevílo situování horní nádrže na temeno vrcholu Dlouhé Stráně. Hledala se však optimální poloha a výška obvodové hráze tak, aby se vyrovnaly výkopy a násypy hráze. Rovněž umístění tlakových přivaděčů prodělalo variantní řešení. I když povrchové vedení potrubí vycházelo cenově poněkud levněji, bylo rozhodnuto umístit ocelové potrubí přivaděčů pod povrch, do dvou ražených tunelů. Důvodem bylo hlavně co nejméně

narušit ráz krajiny a to nejen potrubím na povrchu, ale zejména přístupovými cestami při jeho realizaci. Toto řešení dále vyloučilo zamrzání vody v přivaděčích při případné zimní odstávce provozu elektrárny a umožnilo provádět stavební práce nezávisle na počasí. Počet přivaděčů a jejich průtočný profil byl určen se zřetelem na náklady a hydraulické ztráty při přečerpávacím cyklu. Umístění hydrocentrály (strojovny) se uvažovalo buď v podzemí nebo na povrchu, vedle dolní nádrže. Tento problém byl řešen studií z roku 1969. Ta doporučila umístit hydrocentrálu do podzemí. Umístění hráze dolní nádrže se studovalo až nakonec a to ve dvou říčních profilech. Oba profily, vzdálené od sebe 900 m, se vyhodnocovaly komplexně, jak z hlediska náročnosti realizace samotné hráze, tak i z hlediska celkové koncepce PVE. Důležitým činitelem při výběru umístění hráze dolní nádrže se stala i celková délka tlakových přivaděčů, zejména pak jejich poměr délky ke spádu a také geologické podmínky v oblasti.

První projekt PVE DS pochází už z roku 1969 a počítá se šesti strojovými jednotkami s Francisovou turbínou F8 o jednotkovém výkonu 85,8 MW a s akumulčním čerpadlem o příkonu 70 MW. Následně nabídlo ČKD Blansko dodání soustrojí s vyšším jednotkovým výkonem. To umožnilo snížit počet jednotek na 4. V dodatku k projektu z roku 1970 se už tedy počítá jen se čtyřmi soustrojími s Francisovou turbínou



obrázek 5

F10 o jednotkovém výkonu 130 MW a s dvoustupňovým čerpadlem o příkonu 108 MW.

Realizovat stavbu v letech 1972-1978, jak se původně předpokládalo, se nepodařilo. Až do roku 1977 stále docházelo k ujasňování technických parametrů díla. Následně vznikl nový projekt. Ten počítal s jednotkovým výkonem soustrojí už 150 MW, navíc provozní objem nádrží byl zvětšen skoro na dvojnásobek, tedy

2,58 milionů m³. Stavební povolení z března 1978 umožnilo stavbu konečně zahájit a to dne 11. 5. 1978. Po roce 1980 však došlo k pozastavení tempa stavby. Objevily se negativní názory a snahy stavbu zastavit. Teprve rok 1987 znamená definitivní ukončení období útlumu výstavby, neboť v tomto roce se roční prostavěný objem financí pohybuje na úrovni cca 100 milionů Kčs. Během uplynulých sedmi let došlo



obrázek 6

znovu k přehodnocení koncepce elektrárny, tentokrát už k poslednímu. V PVE Dlouhé Stráně se nyní počítalo se dvěma strojovými jednotkami o výkonu 325 MW.

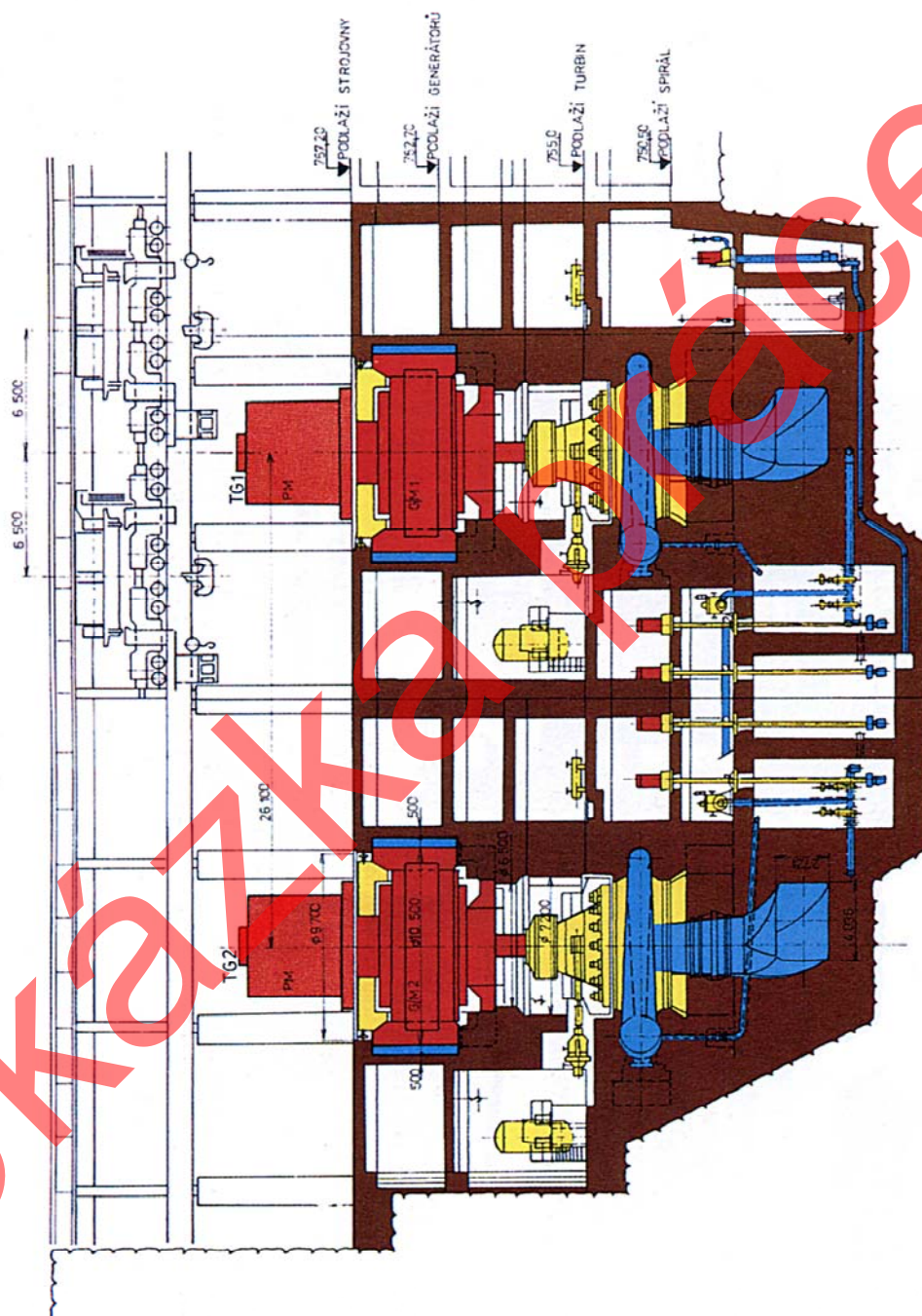
Po pádu komunismu v roce 1989 byla PVE Dlouhé Stráně konfrontována s PVE západních států. Porovnání však ukázalo, že technická úroveň i provedení díla jsou se zahraničními PVE srovnatelné a v některých parametrech je dokonce předčí. Za vše svědčí například fakt, že amplituda chvění na

společné hřídeli turbína - hydroalternátor - asynchronní rozběhový motor se pohybuje okolo 20 - 60 μm.

Nové termíny dokončení PVE byly stanoveny na rok 1994 a 1995. Tyto termíny se však znovu nepodařilo dodržet. Dne 10. června 1994 se při jedné ze zkoušek soustrojí 1 vyskytla technická porucha, která měla za následek jeho havárii. Vedle velkých materiálních škod způsobila havárie i posun termínů dokončení a to na rok 1996.

Výstavba celé přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně byla po mnoha technických problémech a odkladech dokončena 31. 12. 1996. Náklady na její výstavbu dosáhly částky 5 miliard Kč. Pro zajímavost lze uvést, že PVE Dlouhé Stráně má čistý zisk zhruba 1 miliardu Kč ročně a tudíž si na svou výstavbu vydělala po pěti letech provozu.

Podélný řez soustrojím PVE Dlouhé Stráně



obrázek 7

Základní charakteristiky horní nádrže uvádí následující tabulka.

Objem stálého napuštění nádrže		0,140 mil. m ³
Provozní objem nádrže		2,580 mil. m ³
Celkový objem nádrže		2,720 mil. m ³
Kóta koruny hráze		1350 m. n. m.
Kóta dna		1322 m. n. m.
Hladina stálého napuštění nádrže		1326,2 m. n. m.
Maximální hladina		1348,0 m. n. m.
Provozní kolísání hladiny		21,8 m
Maximální zatopená plocha		15,4 ha
Kubatura násypu hráze		2,025 mil. m ³
Obvod hráze v koruně		1742,5 m
Plocha AB-pláště	dno	71000 m ²
	svahy	98000 m ²
	celkem	169000 m ²

Vtokový objekt

Jedná se o stavbu umístěnou na severním konci horní nádrže. Nachází se zde česle, vyústění tlakových přivaděčů a jejich tabulové rychlouzávěry a zavzdušňovací systém přivaděčů sloužící při jejich vypouštění.

Dolní nádrž

Dolní nádrž PVE Dlouhé stráně (viz obrázek 18 a obrázek 19) je klasickou údolní nádrží, která vznikla přehrazením přirozeného toku říčky Divoké Desné u někdejší Jezerní chaty. Hráz je navržena jako kamenitá, pokrytá AB-pláštěm. Stavba dolní nádrže byla zahájena v roce 1987. Materiál pro násyp byl odebírán z výlomů kaveren a taktéž z nedalekého kamenolomu Zámčisko. Po dokončení násypu hráze se prováděly vegetační úpravy tak, aby okraje hráze přirozeně přecházely do okolní vegetace.



obrázek 8

Současně s tím byly prováděny těsnící vrty, které se plnily betonem a byl pokládán třívrstvý AB-plášť o tloušťkách 10 cm a 2*6 cm.

Dolní nádrž se začala napouštět 1. 7. 1992. Hladina nádrže dosáhla i přes extrémně suché léto v roce 1992 poprvé maximální hodnoty dne 23. 5. 1993.



obrázek 9

Základní charakteristiky dolní nádrže uvádí následující tabulka.

Objem stálého napuštění nádrže	0,825 mil. m ³
Provozní objem nádrže	2,580 mil. m ³
Celkový objem nádrže	3,405 mil. m ³
Kóta koruny hráze	824,7 m. n. m.
Hladina stálého napuštění nádrže	800,5 m. n. m.
Maximální hladina	822,7 m. n. m.
Provozní kolísání hladiny	22,2 m
Maximální zatopená plocha	16,13 ha
Kubatura násypu hráze	0,840 mil. m ³
Délka hráze v koruně	306 m
Plocha AB-pláště	23200 m ²
Plocha povodí nádrže	17,1 km ²
Průměrný roční průtok nádrží	0,46 m ³ s ⁻¹
Průměrná roční teplota vody	4 °C

Sdružený objekt

Sdružený objekt (viz obrázek 20) je umístěn v dolní nádrži na jejím levém břehu, přibližně 150 m od hráze. Má výšku 57,6 m (celkem 12 pater) a je celý postaven z železobetonu. S okolím je spojen komunikačním mostem. Ve sdruženém objektu se nacházejí následující funkční zařízení elektrárny:

- Vyústění výtoků od turbín (tzv. odpadní kanály) a česle.
- Přeliv o třech polích sloužící k regulaci povodňových stavů o kapacitě $3 \cdot 26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.
- Dvě spodní výpusti nádrže s kapacitou $2 \cdot 20,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.
- Peltonova dýza¹ pro vypouštění tlakových přivaděčů.
- Malá vodní elektrárna.



obrázek 10

¹ Dýza je kanál s plynule se měnícím průřezem, v němž se mění tlaková energie vody na energii kinetickou.

MODEL PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY

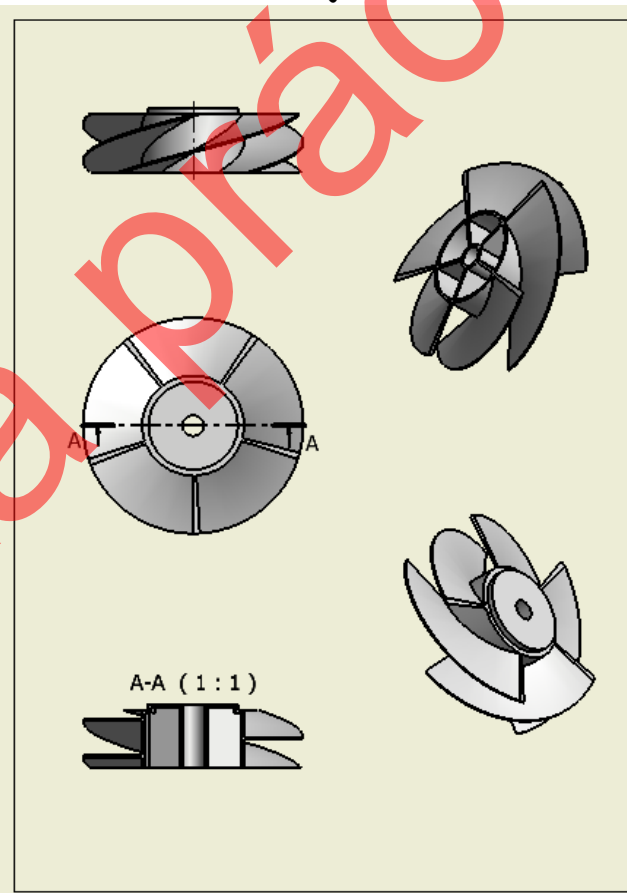
Konstrukce modelu

První fáze – „průzkum trhu“

Celé období konstrukce modelu lze rozdělit na tři etapy, přičemž pro první z nich je nejvhodnější pojmenování „průzkum trhu“.

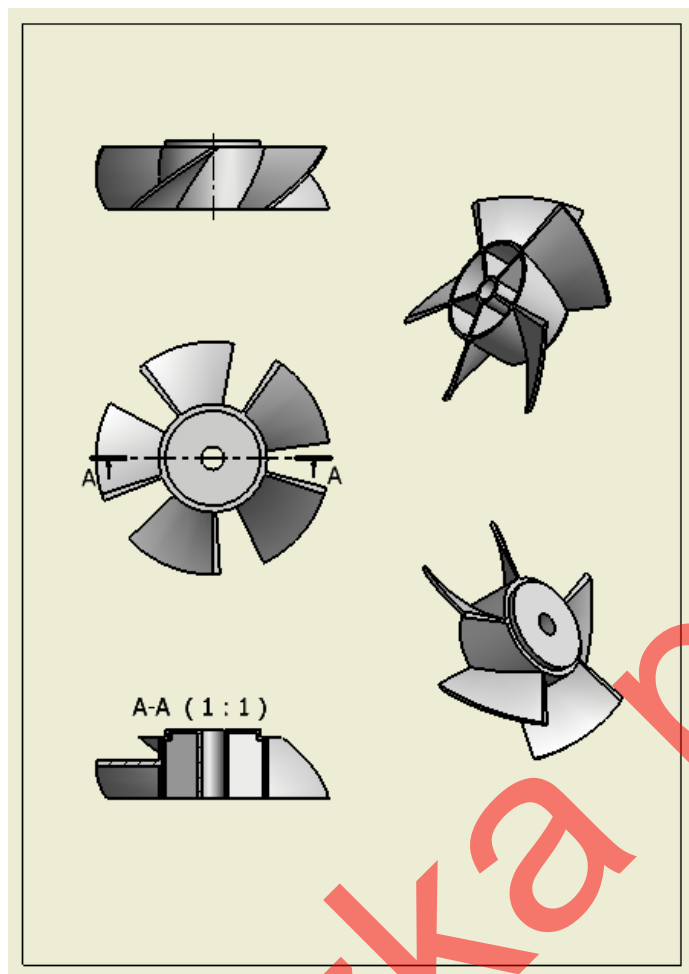
Na začátku se vše zdálo jako jednoduchá záležitost – zajít do modelářství, nakoupit turbínu a motor, ve sklenářství nechat slepit akvárium a pak vše složit dohromady. Věci se ale začaly komplikovat hned po prvním pokusu o nákup. V modelářství jsem na doporučení prodáváče koupil daný typ motorku, k němu hřídel a jedinou turbínu, která byla k dispozici. Očekával jsem, že vše bude fungovat tak, jak by mělo, ale s prvním testem jsem zjistil, že účinnost celého soustrojí je naprosto mizivá a to jak v provozu čerpadlovém, tak i v provozu turbínovém. Objem vody, který nad sebou motorek dokázal udržet, nepřesahoval 2 litry a v režimu turbíny vygeneroval pouze 500 mV, což nestačilo na rozsvícení ani nejslabšího zdroje světla. Jako největší zdroj ztrát v celém soustrojí jsem určil turbínu, která měla naprosto nevhodný tvar lopatek a na druhém místě motor.

Snažil jsem se tedy sehnat turbínu jinou, naneštěstí žádná jiná turbína požadované velikosti není na českém trhu k dispozici. Po návštěvě několika modelářství mi bylo doporučeno, abych si turbínu navrhl sám a nechal si jí vysoustružit. Pustil jsem se tedy do studia hydrodynamiky a teorie návrhu vodních turbín, které mi zabralo několik desítek hodin pomalého postupu skrz skripta pro třetí ročník magisterského studia na strojní fakultě ČVUT. Během této doby se mi podařilo proniknout do hloubky teorie vodních turbín a zjistit potřebné podrobnosti pro návrh vlastní turbíny (mnou navržená turbína je na obrázek 36; na následující straně jí lze porovnat s turbínou použitou v modelu - obrázek 37 - rozdíl je v úhlu naklopení lopatek turbíny). Pro návrh jsem použil modelář



obrázek 11

Autodesk Inventor Professional 9.0, kde jsem využil znalosti z předmětu CAD systémy vyučovaném na naší škole. Můj návrh byl po dokončení zhodnocen jako



obrázek 12

povedený, bylo mi ale řečeno, že takový výrobek nelze na soustruhu zhotovit. Našel jsem si tedy na internetu firmu Mavel a. s., která sídlí v Benešově a zabývá se návrhem a výrobou vodních turbín. V e-mailu, který psal svým jménem vedoucí práce, Mgr. Jaroslav Reichl, jsme firmu Mavel a. s. žádali o pomoc při školním projektu s cílem zhotovení turbíny na zakázku. Po čtrnácti dnech mlčení jsem se ale vzdal i této naděje. Jen pro zajímavost, nikdo z firmy Mavel a. s. se neobtěžoval odpovědět dodnes a to ani kladně ani záporně. To byl poslední pokus o sehnání turbíny s obстоjnou účinností a zároveň můj první vážný neúspěch.

Současně se studiem hydrodynamiky a pokusy o sehnání vhodné turbíny jsem sháněl i lepší motorek. Měl jsem na výběr ze dvou typů - stejnosměrný, cenově

přijatelný, ale za to s velmi malou účinností v čerpadlovém provozu nebo vhodný, střídavý, ale neúměrně drahý. Koupil jsem tedy stejnosměrný motor, který se používá do modelů letadel a po poradě s vedoucím práce jsem přehodnotil koncepci modelu. Původně se mělo jednat o model přesně po vzoru přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně, po přehodnocení pouze o model klasické přečerpávací vodní elektrárny s uspořádáním turbína, generátor, čerpadlo.

Do druhé etapy konstrukce modelu jsem tedy vkročil s motorem s obstojnou účinností v turbínovém provozu, s turbínou s mizivou účinností a hřídelí pro jejich spojení.

Druhá fáze - akvárium

Po přehodnocení koncepce modelu PVE bylo nutno dokoupit čerpadlo. To byl pravděpodobně nejjednodušší úkol z celé stavby modelu - vybral jsem na internetu čerpadlo do akvárií pro rybičky, objednal a koupil. K sestavení modelu tak zbývalo už jen koupit akvárium, které mělo být jednou z bezproblémových částí modelu.

Udělal jsem tedy návrh akvária s horní a dolní nádrží, kde měla každá objem 40 litrů a odnesl ho do sklenářství. Jak jsem po několika dnech zjistil, pravděpodobně

se mi podařilo vybrat nejhorší sklenářství ze všech. Bylo mi řečeno, že akvárium bude hotové do týdne. Týden co týden celý měsíc jsem pak volal a ptal se, jestli už si ho mohu přijet vyzvednout. Po čtyřech týdnech mi prodavač ze sklenářství LANA, které sídlí v Praze 5 na Smíchově, oznámil, že akvárium není a nebude, protože se při vrtání díry rozbil stroj, akvárium spadlo, rozbilo se a střepy z něj zranily jednoho sklenáře. V té době už do odevzdání mé práce zbýval jen měsíc a tak jsem se vydal do jiného sklenářství, rozhodnutý zaplatit cokoliv za rychlou výrobu. Bohužel, přišla další komplikace - mojí objednávku ve sklenářství nepřijali, protože by mi nemohli zaručit, že mnou navržené akvárium nepraskne. To byl druhý velký neúspěch v mém počínání, který ve svých důsledcích vedl k dalšímu přehodnocení koncepce modelu.

Po konzultaci s vedoucím práce jsem se rozhodl vyrobit model, který bude simulovat pouze přeměnu energií v přečerpávací vodní elektrárně. Nechal jsem tedy slepit klasické akvárium ve tvaru kvádru o rozměrech 30 cm * 30 cm * 40 cm, se kterým už naštěstí žádné problémy nebyly a mohl jsem přikročit ke třetí fázi výroby.

Třetí fáze - skládání modelu

Třetí, poslední fáze výroby, byla nejkratší ze všech - trvala pouze jeden týden.



obrázek 13

Protože měl být motor umístěn pod turbínou a zároveň mimo akvárium, bylo nutno vyrobit podstavec (viz obrázek 38). Ten jsem zhotovil ze železných L-profilů a topenářských trubek. Celá konstrukce je svařovaná, 3x natřená barvou a zespodu osazená čtyřmi plastovými špunty, aby se předešlo zničení podlahy. Deska podstavce je 4 cm vysoká lisovaná dřevotříska s tvrdou úpravou povrchu proti odření. Podstavec má rozměry 52 cm * 48 cm * 20 cm.

Dalším krokem bylo vyvrtání děr do desky podstavce. Bylo nutné vyvrtat 4 díry pro osazení plastových špuntů proti pohybu akvária a dále jednu díru pro hřídel. Vrtání do lisované dřevotřísky akumulátorovou vrtačkou nebylo snadné, ale nakonec se vrtání zdařilo a já mohl osadit akvárium.

Následovalo připevnění pláště turbíny ke stěně akvária (viz obrázek 39 a obrázek 40), což byla práce vyžadující milimetrovou přesnost. Za tím účelem bylo potřeba vyřezat ze dřeva kvádr, který jsem později vložil mezi plášť turbíny a stěnu akvária, aby se předešlo rušení proudu vody. Dřevěný kvádr jsem pak přilepil ke stěně akvária a k němu pomocí železné objímky připevnil plášť turbíny. Dřevo jsem následně pokryl silikonem, abych zamezil jeho kontaktu s vodou, po kterém by se mohlo začít rozkládat.



obrázek 14

Dalším krokem bylo umístění hřídele. Pomocí dvou šroubků jsem připevnil hřídel k motoru, dírou v podstavci jsem jí protáhl do akvária a na druhý konec jsem přišrouboval oběžné kolo turbíny. Proti vertikálnímu pohybu jsem hřídel zajistil železným páskem (viz obrázek 41). Abych předešel horizontálnímu pohybu a vibracím, přilepil jsem hřídel silikonem v místě jejího vstupu do prostoru turbíny k turbínovému plášti.



obrázek 15

Když silikon zaschnul, bylo možné v sestavování pokračovat. Následovalo připevnění hadice k čerpadlu (viz obrázek 42) pomocí hadicové objímky, přilepení gumové podložky ke dnu akvária, přilepení čerpadla k podložce a dále vyvedení kabelu od čerpadla ven z akvária, což obnášelo jeho přilepení ke stěně.

Poté jsem se soustředil na vyvedení výkonu od motoru. K němu jsem použil jednu svorkovnici a měděné

vodiče zakončené krokodýlky (viz obrázek 43). Mohl jsem sice volit připájení žárovky přímo k vodičům, nicméně krokodýlky jsou vhodnější, protože umožňují připojit i jiná zařízení, včetně osciloskopu.

Úplně posledním krokem bylo dosilikonování zbylých částí, například přilepení akvária k podstavci, utěsnění díry okolo hřídele ve dně a podobně a také přilepení plastové trubky nad turbínu (viz obrázek 44), jakožto usměrňovače proudu vody.



obrázek 16



obrázek 17



obrázek 18

Používání modelu PVE

Návod k obsluze

Před zapnutím modelu je potřeba připojit k výstupním svorkám zátěž (žárovka nebo osciloskop). Poté se zapne čerpadlo do zásuvky a hadice se nasměruje tak, aby voda vytékala z hadice přímo na lopatky turbíny.

Na modelu lze částečně nasimulovat i přečerpávací cyklus. Je možné utěsnit prsty ruky výtok z turbíny, dokud se zásobník nad turbínou nenaplní vodou a pak dát ruku pryč. Při tomto pokusu svítí žárovka dobře, jinak doporučuji používat k indikaci vygenerovaného napětí osciloskop.



obrázek 19

Příklady využití v hodinách fyziky

Model přečerpávací vodní elektrárny najde široké využití v hodinách fyziky. Lze ho využít například v:

- mechanice při výkladu zákona zachování energie
- mechanice při výkladu otáčivých účinků sil (působení vodního proudu na lopatky turbíny), resp. při výkladu momentu síly
- mechanice při výkladu hydrodynamiky
- elektřině a magnetismu při výkladu Faradayova zákona elektromagnetické indukce – v tomto případě se jedná pravděpodobně o nejtypičtější využití.



obrázek 20



obrázek 21

ZÁVĚR

Dá se říci, že už od prvního ročníku jsem hledal téma, které si vyberu jako svou dlouhodobou maturitní práci. Dva roky marně. Pak přišel ve druhém ročníku (květen 2005) výlet do Jeseníků a s ním spojená návštěva přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně a pokud se dá říci, že předchozí dva roky jsem tápal, při prohlídce Dlouhých Strání jsem měl už po deseti minutách jasno – to je to pravé téma, které si zvolit. Věděl jsem, že mě nečeká jednoduchý úkol, ale nemohl jsem se spokojit s „jednoduššími“ pracemi, ve kterých převažuje teorie nad praxí.

Nepředpokládal jsem, že moje DMP bude jednoduchá, na druhou stranu jsem byl zpočátku idealista. Nakonec jsem místo předpokládaných desítek hodin práce strávil nad jejím vytvářením stovky hodin a místo ceny modelu v řádu stovek korun se jeho cena dostala do rozměrů tisíců (celkem 3760 Kč bez vytištění a svázání). Zároveň se mi nepodařilo v plné míře splnit vše, co jsem si předsevzal.

Teoretická část se mi podařila na 100%, přičemž jsem strávil nezapomenutelných 14 dní prohlídkou PVE Dlouhé Stráně v květnu 2006. Praktickou část jsem s určitými ústupky popsanými v textu výše splnil také. Mám-li teď praktickou část zpětně hodnotit, nepovažuji ji ale za špatnou. Moje neúspěchy byly dány hlavně nedostupností zdrojových materiálů, neochotou českých firem podílet se na školních projektech a hlavně značně omezenými finančními prostředky. I když se mi nepodařilo vyrobit model PVE přesně podle koncepce Dlouhých Strání, jsem se svojí prací spokojen, protože vím, kolik času, peněz a hlavně úsilí jsem jí věnoval. Někdo by možná mohl říci, že můj model je dobrý pro někoho, kdo má malé účty za elektřinu. Ano, je pravdou, že model má účinnost blížíící se k nule. S prostředky, které jsem měl k dispozici, je to ale, alespoň z mého pohledu, úspěch a kdybych si měl vybírat téma svojí DMP znovu, vybral bych si opět přečerpávací vodní elektrárny.