

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Bakalant: Kristýna Jurová

Praha, 2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kristýna Jurová

Vodní hospodářství

Název práce

**Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně**

Název anglicky

**The pumped-storage hydro power plant Dlouhé Stráně**

---

### Cíle práce

- Hlavním cílem práce je popis přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně
- Popis základních charakteristik vodních turbín
- Přiblížení funkce přečerpávací vodní elektrárny
- Charakteristika přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně jak z hlediska stavebního, tak i elektrotechnického a hydraulického vybavení

### Metodika

- 1) Úvod
- 2) Cíle práce a metodika
- 3) Popis základních typů vodních turbín
- 4) Funkce přečerpávací vodní elektrárny
- 5) Popis přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně z hlediska elektrotechnického a hydraulického vybavení
- 6) Závěr
- 7) Seznam literatury a použitých zdrojů
- 8) Přílohy

## Doporučený rozsah práce

cca 30 stran + grafické přílohy

## Klíčová slova

Vodní turbína, vodní energie, Francisova turbína, Peltonova turbína, Kaplanova turbína, průtok

---

## Doporučené zdroje informací

AUGUSTA, Pavel (ed.). Velká kniha o energii. Praha: L.A. Consulting Agency, 2001, 383 s. ISBN 80-238-6578-1.

KOPŘIVA, Miroslav. Generace Dlouhé Stráně. Šumperk: Pro společnost Energotis, s.r.o. vydal Jiří Mareček, 2009. ISBN 978-80-254-8157-8.

KOPŘIVA, Miroslav, Miloš URBÁŠEK, Petr SKLENÁŘ, Vladimír OCHOTNÝ, Petr MICHÁLEK, Čestmír HÖLL a Jan HÖLL. Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně v Jeseníkách. 3. Vyd. Šumperk: Pro společnost Energotis, s.r.o. 1998

---

## Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2016

**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 31. 3. 2016

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 06. 04. 2016

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně“ vypracovala samostatně pod odborným vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D. a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne 30. 3. 2015

.....

## Poděkování

Chtěla bych poděkovat Ing. Radku Roubovi, Ph.D. za odborné rady, pomoc a především za trpělivost a věnovaný čas. Dále bych chtěla poděkovat týmu přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně, který mi umožnil odbornou exkurzi s výkladem.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá problematikou přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé stráně. Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně je označena za nejvýkonnější elektrárnu v Česku.

Teoretická část obsahuje základní informace o vodní energii, ale také základní rozdělení vodních turbín, popis jejich činností a užití. Dále je zde popsána konstrukce tří nejpoužívanějších vodních turbín. Také je zde zmíněno základní rozdělení vodních elektráren. Vlastní část obsahuje samotnou problematiku přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé stráně. Jsou zde uvedeny problémy s úplným počátkem výstavby i samotným průběhem stavby přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně.

Výsledkem je zpracovaný přehled průběhu výstavby a funkce přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Průtok, vodní turbína, vodní energie, Francisova turbína, Peltonova turbína, Kaplanova turbína.

## **ABSTRACT**

The Bc. thesis deals with the topic of The Dlouhe Strane Pumped-Storage Hydro Power Station ( termín viz: <https://www.cez.cz/en/power-plants-and-environment/hydraulic-power-plants/dlouhe-strane.html>, that is being referred as the most the most powerful pumped-storage in the Czech Republic.

The theoretical part of the thesis contains not only basic information about hydro energy, but also the basic classification of water turbines, a description of their work functions and usage. Further, the thesis describes the construction of the three most used water turbines. The work also mentions the basic classification of hydro power plants. The core of this work contains the issue itself of The Dlouhe Strane Pumped-Storage Hydro Power Station. The thesis mentions the difficulties with the construction process in its beginning and also other difficulties, as the construction works of the Station went along.

**KEY WORDS:** Flow, water turbine, water power, Francis's turbine, Kaplan's turbine, Pelton's turbine.

## Obsah

1.	Úvod .....	9
2.	Cíle práce.....	9
3.	Metodika.....	9
4.	Vodní energie .....	10
4.1	Historie vodní energie.....	10
4.2	Charakteristika vodní energie .....	11
4.3	Využití vodní energie v ČR.....	11
5.	Vodní turbíny .....	12
5.1	Základní rozdělení vodních turbín.....	13
5.2	Další klasifikace turbín .....	13
5.3	Charakteristika jednotlivých vodních turbín .....	14
5.3.1	Francisova turbína.....	14
5.3.2	Kaplanova turbína .....	17
5.3.3	Peltonova turbína .....	19
6.	Rozdělení vodních elektráren .....	21
6.1	Podle soustředění vodní elektrárny .....	21
6.2	Podle jednotkových výkonů .....	21
6.3	Podle velikosti spádu .....	21
7.	Funkce přečerpávací vodní elektrárny.....	21
8.	Přečerpávací vodní elektrárny v ČR a zahraničí .....	23
8.1	Česká republika .....	23
8.2	Zahraníčí přečerpávací vodní elektrárny.....	25
9.	Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně .....	28
9.1	Historie zájmového území.....	28
9.2	Vývoj zájmového území .....	29
9.3	Dopad na životní prostředí.....	32
9.4	Geologické poměry .....	33
10.	Popis stavebních objektů .....	34
10.1	Horní nádrž.....	34
10.2	Dolní nádrž .....	37
10.3	Tlakové přivaděče .....	38
10.4	Podzemní elektrárna.....	39
10.5	Komora traf.....	40

10.6	Sdružený objekt .....	40
11.	Elektrotechnické vybavení elektrárny.....	41
11.1	Generátory .....	41
11.2	Rozběhový asynchronní motor .....	42
11.3	Blokové transformátory .....	42
11.4	Transformátory vlastní spotřeby .....	43
11.5	Zapouzdřená rozvodna a venkovní vedení 400 kV .....	43
11.6	Dieselgenerátor.....	43
12.	Strojně hydraulické vybavení .....	44
12.1	Vtokový objekt a uzávěry horní nádrže .....	44
12.2	Strojovna podzemní elektrárny .....	44
12.3	Strojní vybavení sdruženého objektu .....	47
13.	System řízení PVE Dlouhé Stráně.....	48
14.	Malá vodní elektrárna .....	49
15.	Uvedení do provozu PVE Dlouhé Stráně.....	50
16.	Význam díla .....	51
17.	Závěr.....	51
18.	Seznam literatury a použitých zdrojů .....	54
19.	Seznam obrázků .....	59
20.	Přílohy .....	60



## 1. Úvod

Voda je již od počátku věků nezbytnou složkou k životu na Zemi. Jedná se o nevyčerpatelný a stále obnovitelný zdroj energie. Mezi obnovitelné zdroje patří vodní energie, větrná energie, sluneční energie, energie biomasy a bioplynu, energie prostředí využívána tepelnými čerpadly, geotermální energie a energie kapalných biopaliv.

Trendem je především využívání větrné, vodní a sluneční energie. V České republice ubude necelých 25 ha orné půdy za den, důvodem je výstavba průmyslových zón, skladů a větrných, slunečních elektráren. Za ekologicky čistý zdroj energie můžeme považovat vodní energii, která při své výrobě neznečišťuje ovzduší.

Výroba vodní energie má ovšem také své zatopené osudy, ale tyto osudy přispívají k rekreaci, kdežto větrná elektrárna spolu se sluneční elektrárnou hyzdí krajinu a přispívají k degradaci půdy.

Výroba energie pomocí vody má tzv. dva způsoby využití jedním je výroba energie, která je ekologicky čistá, druhým je sport a rekreace.

Ve své bakalářské práci jsem se rozhodla zaměřit na problematiku získávání energie z vody.

## 2. Cíle práce

- Hlavním cílem práce je popis přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně
- Popis základních charakteristik vodních turbín
- Přiblížení funkce přečerpávací vodní elektrárny
- Charakteristika přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně jak z hlediska stavebního, tak i elektrotechnického a hydraulického vybavení

## 3. Metodika

Vypracování bakalářské práce započalo odbornou exkurzí na přečerpávací vodní elektrárně Dlouhé Stráně, pro utříbení vlastních myšlenek. V průběhu psaní bakalářské práce byla uskutečněna ještě jedna exkurze, tentokrát již klasická.

Poté přišla na řadu literatura a studijní materiály, převážně bylo čerpáno z Národní technické knihovny v Praze. Informace byly vyhledávány současně i během zpracovávání problematik v daném tématu, pro lepší pochopení. Pomocí

těchto podkladů je vypracována první část bakalářské práce, tedy teoretická část. Pojednává o tom, co vlastně vodní energie znamená a způsob získávání vodní energie pomocí přečerpávacích vodních elektráren.

Při tvorbě vlastní části bylo především čerpáno z přednášky na přečerpávací vodní elektrárně Dlouhé Stráně a to z vlastních zápisků, které autorka během přednášky zapisovala. Dále posloužila literatura, která byla vydána ředitelem výstavby a kolektivem přečerpávací vodní elektrárny, kde jsou uvedeny veškeré problémy s výstavbou, problematikou dodávky materiálu a uvedením díla do provozu. Vydána byla také kniha ředitelem výstavby, která je zaměřená pouze na elektrotechnické a hydraulické vybavení elektrárny. Z této knihy byly především čerpány technické parametry. Obě tyto knihy nejsou v prodeji, lze je získat pouze v hotelu Dlouhé Stráně na vyžádání. K přiblížení vizuální podoby samotné přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně autorka použila vlastní fotografie.

## 4. Vodní energie

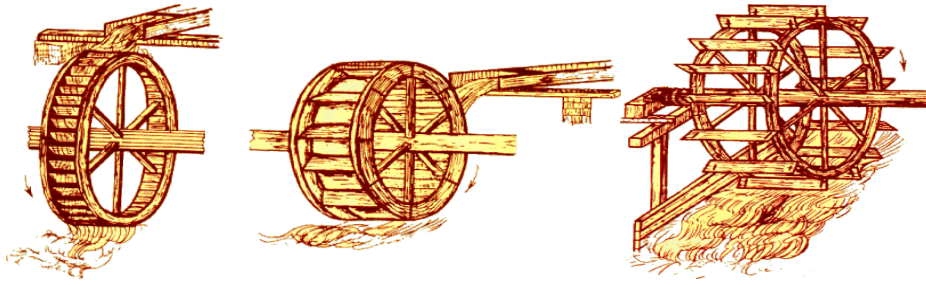
### 4.1 Historie vodní energie

První zmínky o vodních mlýnech pochází již z Mezopotámie. Nejdříve poháněla malé kolečko žena, poté větší osel s pytlíkem přes oči. (Stejskal, 2001) Později z Čech jsou první zmínky o využití vodní energie z let 1100 v klášterních statcích. Vodní energie se zpočátku využívala k pohonu vodních kol v mlýnech, které tuto energii využívali k mletí obilí a také k případnému drcení plodin. Z počátku byla vodní kola poháněna lidmi nebo zvířaty. První písemná zmínka o vodním mlýnu je z roku 1125 v Uněticích. V tomto období už nebyly vodní mlýny žádnou novinkou. Ve 14. století každé menší město mělo zhruba 7 mlýnů.

Podle přítoku vody se vodní kola dělí na – **korečková** (*na vrchní vodu s otáčením ve směru proudu nebo se středním nátokem a otáčením proti směru proudu*) a **lopatková** (*na spodní vodu*).

Vodní kolo je bezpodmínečně spojené s vodním mlýnem. Po dlouhém bádání a zlepšování vlastností vodních kol vznikly vodní turbíny. (August a kol., 2001)

Většina soudobých vodních elektráren či malých vodních elektráren jsou realizovány na historických vodních mlýnech, část vodních mlýnů byla zrušena a náhon byl vysušen. Objekty, které byly přestavěny, jsou alespoň z části zachovány a renovovány a dnes slouží jako muzeum. (Quaschnig, 2010)

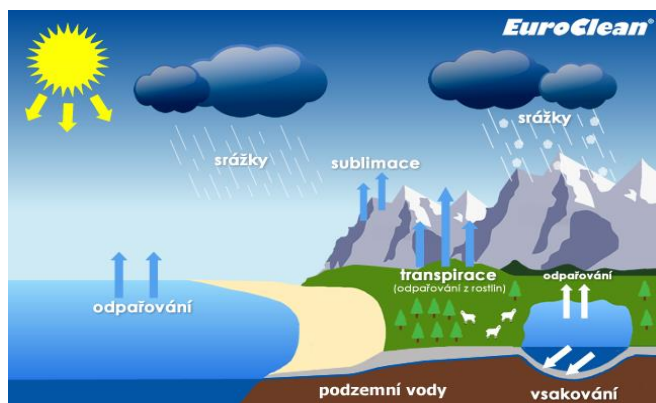


Obr. č. 1, Typy vodních kol (URL 1)

## 4.2 Charakteristika vodní energie

Voda je nositelem energie tepelné, chemické a mechanické. Do energie mechanické se zahrnuje energie vodních srážek, ledovců, moří a vodních toků. Mechanická energie funguje na principu koloběhu vody. (Gabriel a kol., 1998)

Pomocí slunečního záření se voda z oceánu vypařuje a tvoří mraky, ty se na pevninu dostanou v podobě srážek- dešťových, sněhových. Voda se vrací zpět do oceánu pomocí vodního toku nebo podzemní vody, tím je oběh vody ukončen.



Obr. č. 2, Koloběh vody na Zemi (URL 2)

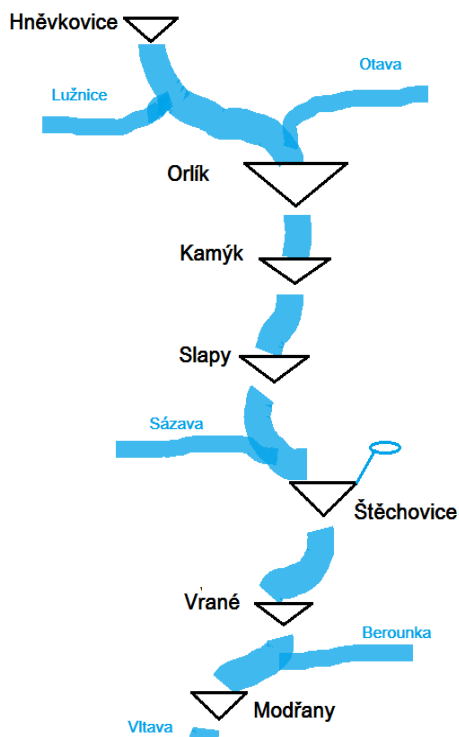
## 4.3 Využití vodní energie v ČR

Výroba vodní energie je v našich podmínkách jedním z nejperspektivnějších zdrojů cenné elektřiny. Pro výstavbu vodních děl jsou v České republice vhodné řeky Vltava a Labe. V současnosti je na řece Vltavě stavba vodních děl zcela vyčerpána. Energeticky významná díla se nachází na řece Jihlavě- Dalešice, toto dílo bylo spojeno s výstavbou jaderné elektrárny Dukovany. Také výstavba jaderné elektrárny Temelín byla spojena s přečerpávací vodní elektrárnou Dlouhé Stráně na řece Divoká Desná i s přečerpávací vodní elektrárnou Štěchovice II na řece Vltavě.

Zmínky o menších vodních elektrárnách pochází již z konce 19. století. Větší se začaly realizovat až na počátku 20. století. Menší vodní elektrárny byly později zdevastovány a zrušeny. Byly označeny za neefektivní. V 50. letech 20. století se vybudovaly největší vodní díla v České republice, jedná se o tzv. Vltavskou

kaskádu- Štěchovice, Lipno, Kamýk, Orlík, Slapy. Tyto vodní díla byly později doplněny- Hněvkovice, Kořensko, Vrané, Modřany.

Nové lokality pro výstavbu vodních děl se převážně nachází v chráněných krajinných oblastech, proto se dnes soustředíme na obnovu malých vodních děl, které byly ve 20. století zdevastovány, jedná se tak o ekologicky a ekonomicky levnější variantu. Česká republika má momentálně 1400 vodních děl. (Štoll a kol., 1977)



Obr. č. 3, Vltavská kaskáda (Zdroj: autor)

## 5. Vodní turbíny

Vodní turbína je točivý hydraulický stroj, který slouží k přeměně kinetické nebo tlakové energie na mechanickou energii. Na prvopočátku bylo vodní kolo. Spojení generátoru s turbínou je hlavní součástí vodních elektráren. Generátor převádí mechanickou energii na elektrickou energii. Průtok vody turbínou je dán množstvím vody protékajícím za jednotku času.

Parametry turbíny jsou velice významné, mohou ovlivnit chod celé elektrárny. Tyto parametry plynou z technicko- ekonomického rozboru díla. Optimální průtok každou turbínou je dán rozбором poukazujícím na minimální zůstatkový průtok ve vodním toku. Celkový rozbor určí cenu kilowatthodiny elektrické energie, která kolísá v závislosti na průtoku vody dílem. (Melichar, 2013)

## 5.1 Základní rozdělení vodních turbín

Turbíny se dělí podle těchto základních hledisek:

### A) Přetlakové- s plným vtokem.

Při přívodu vody k oběžnému kolu turbíny je **jen část** tlakové měrné energie přeměněna v kinetickou měrnou energii vody. Zbytek větší části tlakové měrné energie vody se změní v měrnou kinetickou energii až při průtoku oběžným kolem. Na výstupu z rozvaděče má voda tlakovou měrnou energii, průtokem vodní turbínou se realizuje působení přetlaku na přítoku do oběžného kola. Proto turbíny přetlakové.

### B) Rovnotlaké- s parciálním vtokem.

Při přívodu vody k oběžnému kolu turbíny se přemění **celá** tlaková měrná energie v kinetickou měrnou energii vody. Na přítoku a odtoku vodní turbíny je stejný tlak. Proto turbíny rovnotlaké. (Melichar, 1995)

## 5.2 Další klasifikace turbín

### A) Způsob přenosu energie vody na oběžné kolo

- *Reakční rovnotlaké a přetlakové turbíny* (např. turbína vrtulová, Kaplanova turbína, diagonální, Francisova).
- *Akční rovnotlaké turbíny* – využívají pouze kinetické energie (např. Peltonova turbína).

### B) Směr průtoku vody oběžným kolem turbíny ke hřídeli

- *Axiální*- rovnoběžný s hřídelem turbíny (např. turbína Giardova, Kaplanova, vrtulová, přímoproudová).
- *Radiální* – směr proudění vody v oběžném kole je kolmý na osu hřídele. Vodní proud může mířit k hřídeli nebo naopak; podle toho dělíme turbíny:
  - *centripetální*- dostředivá (např. pomaloběžná Francisova turbína).
  - *centrifugální*- odstředivá (např. Fourneyronova turbína).
- *Diagonální*- směr proudění vody v oběžném kole je k hřídeli šikmý (např. diagonální turbína Deriazova nebo Kvjatkovského).
- *Tangenciální*- proud přicházející na oběžné kolo má směr mimoběžně kolmý k hřídeli čili směr tečný (např. turbína Peltonova).

### C) Poloha hřídele

- *Vertikální* (patří sem převážná většina turbín, mimo přímoproudové).
- *Horizontální* (patří sem hlavně velké turbíny přímoproudové).
- *Se šikmým hřídelem* (menší turbíny).

#### **D) Rovnoměrný přítok na oběžné kolo**

- *S plným vtokem* – do oběžného kola voda vtéká po celém obvodu (např. typy turbín se spirálou).
- *S částečným vtokem* – do oběžného kola voda přitéká pouze v obvodu (např. turbína Schwamkrugova a Peltonova).

#### **E) Počet oběžných kol na společném hřídeli**

- *Jednoduchá* - na hřídeli je jedno oběžné kolo turbíny (nejpoužívanější uspořádání).
- *Dvojitá a vícenásobná* - na hřídeli jsou dvě nebo více oběžných kol, které mají oddělený přívod nebo savky.
- *Zdvojená* – na hřídeli jsou v blízkosti těsně dvě oběžná kola, mají společný přívod vody a savku.

#### **F) Smysl rotace oběžného kola**

- *Jednosměrná* – oběžné kolo se otáčí v jednom směru.

Podle směru mohou být turbíny:

- *Pravotočivá* - oběžné kolo se otáčí ve směru hodinových ručiček
- *Levotočivá* – oběžné kolo se otáčí v protisměru hodinových ručiček
- *Obousměrná* – oběžné kolo se otáčí při provozu v jednom směru (ve směru hodinových ručiček nebo v protisměru hodinových ručiček), při čerpadlovém provozu opačně

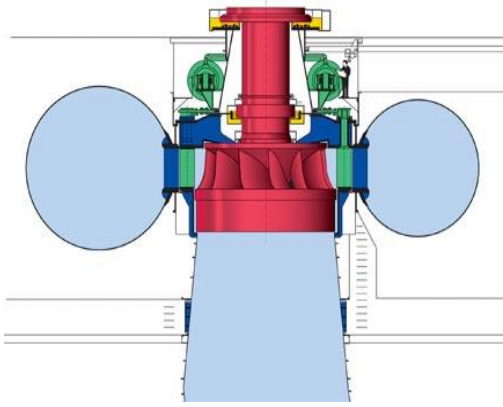
Tyto uvedené informace postačí pro pojmové přiblížení moderních ale i reverzibilních turbín. (Štoll a kol., 1977)

### **5.3 Charakteristika jednotlivých vodních turbín**

#### **5.3.1 Francisova turbína**

- Úvod

Tato turbína byla vyvinuta Jamesem B. Francisem. Je jedna z nejpoužívanějších a nejznámějších turbín, které patří mezi přetlakové turbíny. V roce 1848 pomocí měření a testování James B. Francis vylepšil předchozí typ turbíny a dokázal dosáhnout až o 90% celkové účinnosti, jeho výpočty a měření se staly součástí teorie turbín. (Melichar, 1998)



Obr. č. 4, Francisova turbína (URL 3)

- princip činnosti

Francisova turbína je přetlaková, z čeho vyplývá, že voda mění svůj tlak během cesty turbínou, přitom odevzdává energii. V pochodu vody turbínou se jedná o přeměnu tlakové energie postupně v energii rychlostní a konečný stav v energii mechanickou.

Hlavní části: rozváděcí kolo, oběžné kolo a sací trouba.

- Rozváděcí kolo: Výkon turbíny je zvětšován nebo zmenšován průtokem vody rozváděcích lopatek otvíráním nebo přivíráním. Lopatky jsou v rozváděcím kole natáčeny tak, že usměrňují průtok vody, aby při víření a narážení na lopatky byla ztráta co nejmenší. Tyto lopatky v oběžném kole turbíny mají tvar v průřezu rybí tělo a uprostřed jsou provrtány.
- Oběžné kolo: Skládá se z lopatek, vnějšího věnce a náboje. Při přítoku do oběžného kola je voda pod tlakem, výtok je už bez tlaku, ale se značnou rychlostí. Francisovy turbíny mají různé tvary oběžných kol, záleží na spádu a množství vody, které turbínou proteče.
- Sací trouba: Potrubí, které je přišroubované na skříň vodní turbíny pod oběžné kolo, které zasahuje pod hladinu podzemní vody. (Melichar, 1995)

- Použití

Francisova turbína je typická pro přečerpávací vodní elektrárny. Je představitelem turbín pro střední spád vody. Používá se především v místech, kde se dá zajistit konstantní rozdíl hladin i průtoků.

- Příklady vodních děl

- **Dlouhé Stráně**

Ukázkovým příkladem Francisovi turbíny v přečerpávacích elektrárnách jsou Dlouhé Stráně, které leží na říčce Divoká Desná. Jsou zde nainstalovány dvě Francisovi turbíny o výkonu 2 x 325 MW, největší reverzibilní vodní turbíny v Evropě. Horní nádrž je vybudovaná na uříznutém vrcholu hory v nadmořské výšce 1350 m. Elektrárna dodržuje krajinný ráz Jeseníků. Je řešena v podzemí. (Plich a Pohunek, 2012)



Obr. č. 5, Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně (URL 4)

- **Itaipu**

Itaipu je gigantická hydroelektrárna na pomezí Brazílie a Paraguaye ležící na řece Paramá. Elektřinu vyrábí 20 turbín o maximálním výkonu 14 GW. Hráz má 7,7 m a výška je 196 m. (cestování.idnes.cz)



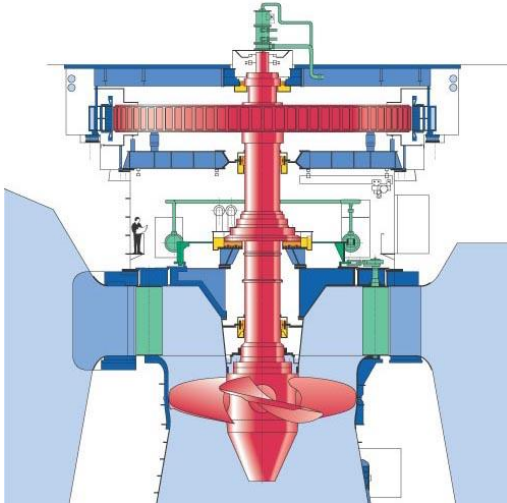
Obr. č. 6, Přečerpávací vodní elektrárna Itaipu (URL 5)



### 5.3.2 Kaplanova turbína

- Úvod

Tato turbína je přetlaková. Autorem této turbíny je prof. Kaplan, má vyšší účinnost než již zmíněná Francisova turbína. Kaplanova turbína byla velice dobrým alternativem na vývoz z tehdejší ČSR. (Bednář, 2013)



Obr. č. 7, Kaplanova turbína (URL6)

- princip činnosti

Oběžné kolo Kaplanovy turbíny má malý počet lopatek (3-10 lopatek) než Francisova turbína. Rozdíly v tlaku a rychlosti jsou tím větší, čím menší je počet lopatek v oběžném kole. Oběžným kolem protéká voda rovnoběžně s osou rotace.

- použití

Využívají se především pro vodní díla s nejmenším spádem (od 1- 70,5 m) a největším průtokovým množstvím vody. Malý spád charakterizuje malou rychlost vody s tím i malou obvodovou rychlost. Tato turbína je typická pro elektrárny s přehradními jezy velkých povodí. (Gabriel, Čihák, Kalandra, 1998)

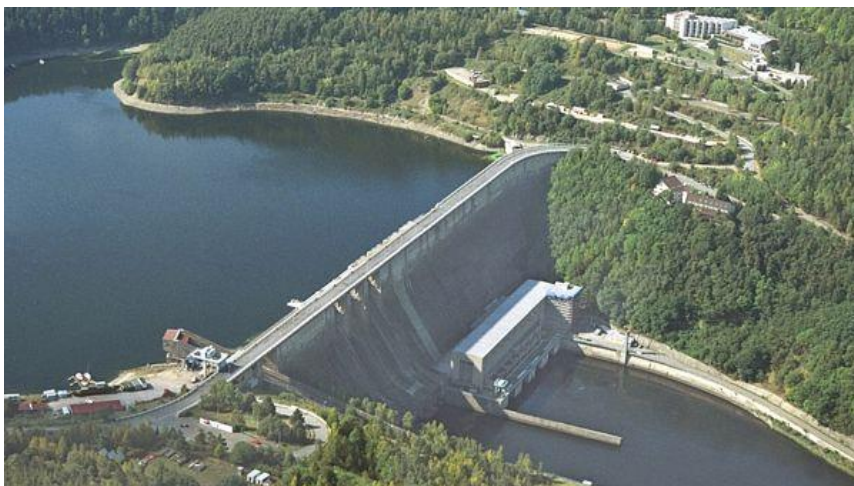
- příklady vodních děl

- **Orlík**

Přehrada Orlík je součástí Vltavské kaskády, pracuje s Kaplanovými turbínami

4 x 91 MW pro spád 70,5 m. Vodní dílo bylo stavěno v letech 1954-1961, uvedeno do provozu bylo na přelomu 1961-1962. Gravitační betonová hráz má výšku 91,5 m, délka koruny hráze je 450 m. Přehrada je také vybavená třemi bezpečnostními přelivy s rozměry 15 x 8 m s maximální kapacitou 2 184 m<sup>3</sup>/s pro případný Q100

(stoletá voda). Voda je na turbíny přiváděna čtyřmi potrubími z ocelového materiálu, které jsou zabetonovány v hrázi o průměru 6250 mm. Vodní dílo Orlík je plně automatizované a ovladatelné z centrálního dispečinku ve Štěchovicích. (Motyčková a Šír, 2012)



Obr. č. 8, Přehrada Orlík (URL 7)

- **Rance- St. Malo**

Jedná se o přílivovou elektrárnu na řece Rance ve Francii, která byla uvedena do provozu roku 1966. Dokáže využít energie přílivu a odlivu. Rozdíl hladin přílivu a odlivu je 13 m. Elektrárna je automatizovaná 24 Kaplanovými turbínami, které mají i funkci čerpadla, lopatky turbíny mají nastavitelný sklon, proto se mohou otáčet na obě strany. Turbíny využívají energii proudu, ale i energii přílivu a odlivu. (www.dlr.de)

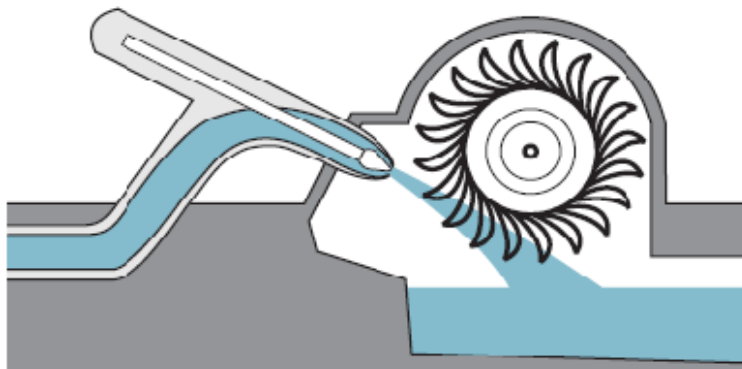


Obr. č. 9, Rance- St. Malo (URL 8)

### 5.3.3 Peltonova turbína

- Úvod

Lester Allan Pelton byl vynálezce této turbíny, zhotovil ji v roce 1884. Jedná se o akční rovnotlaké vodní kolo, které má bezkonkurenční použití mezi těmito turbínami. Předlouhou pro návrh bral Pelton klasické vodní kolo. (Štoll, 1977)



Obr. č. 10, Peltonova turbína (URL 9)

- princip činnosti

Úkolem je přeměnit mechanickou energii vody na kinetickou energii vody vytékající z trysky turbíny. Voda přitéká do turbíny kruhovým potrubím, které směřuje k dýzám. V dýze se energie ze spádu přemění na energii pohybovou. Voda vteče do oběžného kola k lopatkám elipsoidního tvaru. Uprostřed elipsoidních lopatek je břit, který rozdělí proud vody na dvě poloviny. Tyto lopatky se snaží otočit proud vody tekoucí zpět, tím docílí předání energie oběžnému kolu. Rychlostí vody tekoucí po lopatce při otáčení kola dojde k opuštění vody na vnější straně turbíny, tato voda pak s minimální rychlostí stéká do odpadu pod turbínou. Tryska turbíny reguluje průtok vody. Z hlediska bezpečnosti se musí průtok vody usměřňovat plynule a nenáhle. (Březina, 1963)

- Použití

Tento typ turbín se používá pro velký spád a malý průtok vody.

- příklady vodních děl

- **Černé jezero**

Jde o nejstarší elektrárnu v České republice v nadmořské výšce 1008 m. Černé jezero je největší přírodní unikát České republiky s rozlohou 18, 43 ha s maximální hloubkou 40,6 m.

Z prvopočátku fungovala jako přečerpávací vodní elektrárna, ale roku 1960 byl čerpadlový provoz omezen, byla to první přečerpávací vodní elektrárna

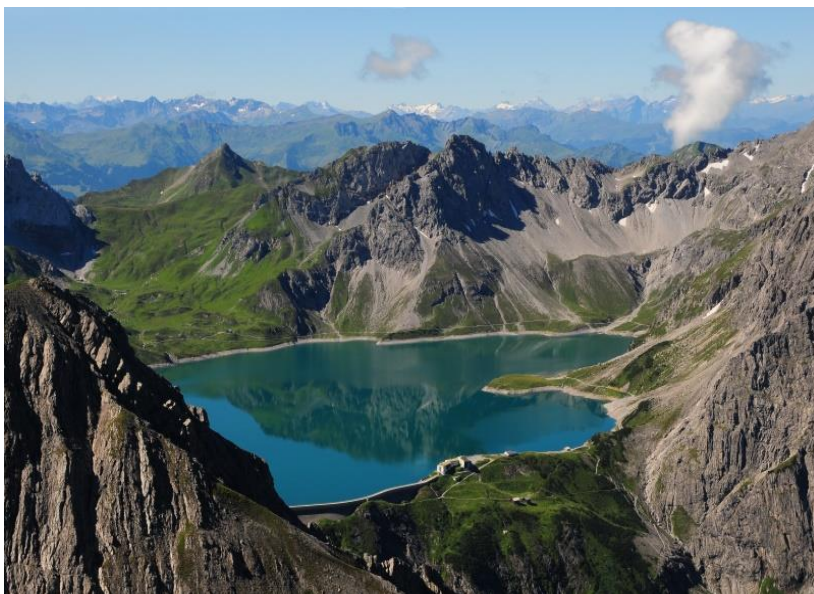
na území Československa. Vzhledem k prostředí a náročnosti byla stavba krátkodobá v rozmezí 1-2 let s pořizovacími náklady 10 milionů Kč. Elektrárna začínala s jednou Peltonovou turbínou výkonu 275 kW. V roce 2004 byl nainstalován nový turbogenerátor s výkonem 40 kW, ke kterému v roce 2005 přibil nový turbogenerátor o výkonu 370 kW. Nyní se v elektrárně nachází 3 Peltonovy turbogenerátory. (Motyčková a Šír, 2012)



Obr. č. 11, Černé jezero (URL 10)

- **Lünersee**

Lünersee leží na úpatí vrcholu Schesaplana v nadmořské výšce 1 907 m. Jedná se o největší jezero ve východním Rakousku. Dílo je obklopeno drsnými horami a protkané roklemi. Přehrada byla postavena v roce 1958. ([www.jitravelclub.com](http://www.jitravelclub.com))



Obr. č. 12, Lünersee (URL 11)

## 6. Rozdělení vodních elektráren

### 6.1 Podle soustředění vodní elektrárny

- Přehradní a jezové- nízkotlaké vodní elektrárny, slouží ke vzedmutí hladiny, ke spádu dochází prostřednictvím jezu.
- Derivační- využívá derivačního přivaděče, který odvádí vodu uměle z koryta toku přímo do turbíny a poté je voda vrácena zpět do vodního toku.
- Přečerpávací- pokrývají energetickou špičku, při dostatku energie se přes turbínu čerpá voda do horní nádrže (přes noc), v energetické špičce se spouští voda z horní nádrže přes turbínu a generátor do dolní nádrže, tím se vyrovnávají energetické nedostatky.

### 6.2 Podle jednotkových výkonů

- Nad 520 KW
- 100- 520 KW
- Do 100 KW

### 6.3 Podle velikosti spádu

- Nízkotlaké do 20 m- především elektrárny jezové a kanálové. Voda se přivádí k turbínám z jezové zdrže nebo kanálu.
- Středotlaké 20-100 m- voda je k elektrárně přiváděna pomocí tlakového přivaděče.
- Vysokotlaké nad 100 m- nachází-li se elektrárna v blízkosti hráze je přivaděč ocelový, pokud je vzdálenost větší, voda je přiváděna pomocí derivate.

(Gabriel, 1992)

## 7. Funkce přečerpávací vodní elektrárny

V předchozích kapitolách bylo zmíněno, jaký je význam vodní energie. Hydrocentrála je nejefektivnějším akumulátorem energie, která je rychle použitelná. Vhodné jsou přehrady, kdy kapacita dokáže pokrýt špičkové zatížení.

Jde o akumulární nádrž, která může být buď umělá nebo přírodní, umístěná nad tokem nebo nad nádrží, která je na toku. Takovou elektrárnu lze budovat pouze v kvalitních geologických podmínkách, přivaděče vody by byly příliš dlouhé a investice by byla nepřijatelná. (Březina, 1963)

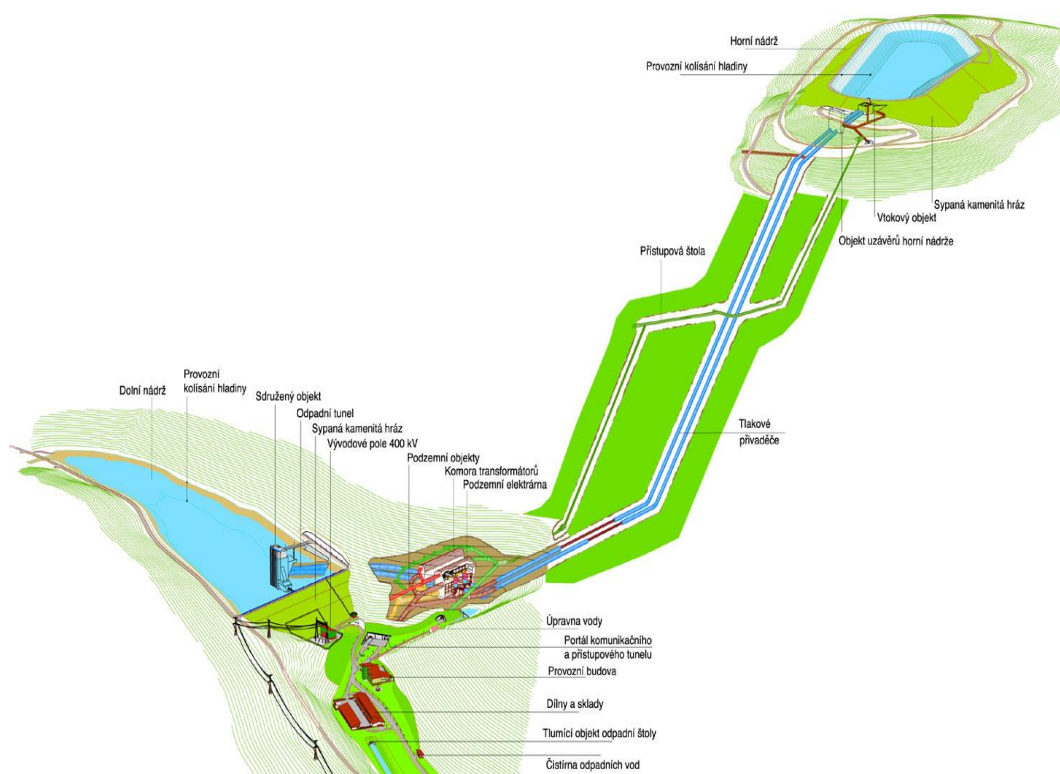
Zatížení sítě během 24 hodin je proměnné, proto se budují elektrárny s většími jednotkami. Přečerpávací elektrárny jsou zařízením, které přebytečnou

energii uskladňují a v době špičky ji vrací do sítě. Důležité je, aby hladiny v obou nádržích byly vyrovnané a příliš nekolísaly. Turbína má minimální výkon při nejnižší horní a nejvyšší dolní hladině v nádrži při spuštění vody dolů, kdežto u čerpání vody do horní nádrže je potřeba nejvyšší přítok při nejnižší hladině v dolní a nejvyšší hladině v horní nádrži. Při kolísání hladin dochází ke zhoršování čerpadla a turbíny, proto je lepší se tomu vyvarovat.

Čerpadlo může být umístěno v ose s generátorem a turbínou nebo může být poháněno vlastním elektromotorem. Generátor energii vyrábí nebo pracuje jako synchronní motor a odebírá proud ze sítě. Spojka se zapíná při nízkých otáčkách servomotorem. U rozběhu čerpadla je možnost použít malou turbínu. Rozběh generátoru čerpadla je složitý, protože je nutnost startovat bez zátěže čili bez vody, proto je potřeba vodu vytlačit z kola stlačeným vzduchem.

Praktické je turbína-generátor-čerpadlo, točí se společně. Při dopravě vody do horní nádrže využívá motor-čerpadlo, které vytlačí vodu stlačeným vzduchem z turbíny, druhým způsobem přepravy vody do dolní nádrže turbína-generátor dojde k zavzdušnění čerpadla.

U tohoto provozu přečerpávacích elektráren se musí počítat se značnými ztrátami (např. ztráta v čerpadle, turbíně, potrubí a generátoru). I přes tyto ztráty je řešení přečerpávací vodní elektrárny stále výhodné a neustále v Evropě propagované.



Obr. č. 13, Schéma přečerpávací vodní elektrárny (URL 12)

S postupem času se prosazovala funkce oběžné kolo turbíny i jako čerpadlo, skladba je pouze z generátoru a turbíny. Voda otáčí turbínou, která zároveň otáčí generátorem, tak se získává elektrický proud. Při čerpání vody z dolní nádrže do horní, generátor odebírá proud ze sítě a otáčí se kolem turbíny v protisměru hodinových ručiček na principu čerpadla. Provoz těchto generátorů je až o 90% účinnější a náklady jsou nižší.

## 8. Přečerpávací vodní elektrárny v ČR a zahraničí

### 8.1 Česká republika

- **PVE Dlouhé Stráně**

Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně se nachází v Jeseníkách na říčce Divoká Desná. Tato elektrárna se stala divem České republiky, jedná se o nejvýkonnější elektrárnu ČR. Elektrárna byla uvedena do provozu roku 1996, ale výstavba byla zahájena roku 1978. Na počátku osmdesátých let byla pozastavena, uvedena do útlumu. (Motyčková a Šír, 2012)

Jedná o největší vodní stavbu České republiky s výkonem 650 MW a největším spádem 510,7 m. Řešení této elektrárny je zcela podzemní.

- **PVE Dalešice**

Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice byla vybudována v souvislosti s Jadernou elektrárnou Dukovany. Vyrovnávací nádrží je Mohelno. Nádrž Dalešice slouží k rekreaci a chovu ryb, ale především slouží jako zdroj technologické vody pro Jadernou elektrárnu Dukovany a vyrovnává průtoky na řece Jihlavě. Snižuje povodňově špičky.

Kvalitu vody zajišťují raci a pstruzi, kteří se vyskytují pod vyrovnávací nádrží Mohelno. Funguje na principu výroby energie při energetické špičce a odběru energie při jejím přebytku, ale také má funkci vyrovnávací.

Elektrárna je plně automatizovaná stejně tak, jako Dlouhé Stráně je ovládaná z dispečinku v Praze. Dílo bylo realizováno v letech 1970-1978.

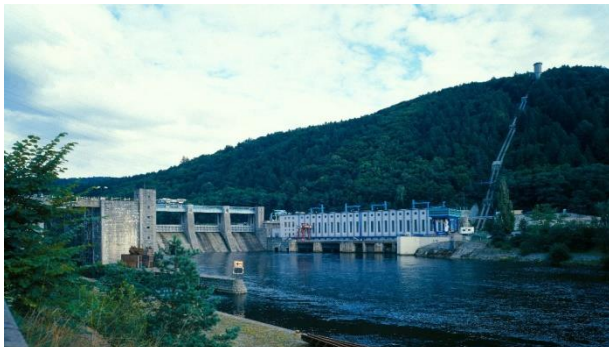
Nádrž má sypanou hráz s jílovitým těsněním s výškou 100 m. Hráz je zařízená na případné převádění velkých vod. K turbíně přivádí vodu čtyři ocelové roury, které spojují vtokový objekt



Obr. č. 14, Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice (URL 13)

s elektrárnou. Vtok a výtok je vybaven česlemi. Jsou zde nainstalovány čtyři Francisovy turbíny pro spád 90 m o celkovém výkonu 480 MW. (Motyčková a Šír, 2012)

- **PVE Štěchovice II**



**Obr. č. 15, Přečerpávací vodní elektrárna Štěchovice (URL 14)**

Štěchovice I. byly postaveny jako doplněk vltavské kaskády, nádrž tohoto vodního díla končí ve vývaru vodní elektrárny Slapy. Vyrovnává kolísavý odtok elektrárny Slapy. S elektrárnou Vrané vyrovnává odtok z vltavské kaskády.

Elektrárna o výkonu 22,5 MW je ovládaná z centrálního dispečinku vltavské kaskády. Štěchovice byly realizovány v letech 1938-1944. Betonová přehrada je 22,5 m vysoká a 120 m dlouhá, nachází se tu 5 přelivných hran (bezpečnostních přelivů) maximální průtočnost je 2400 m<sup>3</sup>/s.

Přečerpávací vodní elektrárna Štěchovice II. má spád 220 m, na horní části PVE je uměle vytvořená nádrž s obsahem 500 000 m<sup>3</sup> na vrcholu kopce Homole. Štěchovice II svůj provoz zahájily roku 1947, ale v roce 1991 byl provoz přerušen z důvodu příchodu moderní technologie, kterým tato elektrárna neodpovídala.



**Obr. č. 16, Přelivné hrady (URL 15)**

V roce 1996 byla zrealizovaná nová moderní elektrárna, která splňovala parametry současné doby. Horní a dolní nádrž spojuje ocelové potrubí o délce 590 m. Elektřinu zde vyrábí jedna reverzibilní Francisova turbína o výkonu 45 MW. (www.cez.cz)



## 8.2 Zahraničí přečerpávací vodní elektrárny

- **PVE Turlough Hill**

PVE Turlough Hill se nachází v Irsku. Výstavba byla zahájena roku 1968 a dokončena byla o 6 let později.

Horní nádrž se nachází uvnitř hory a může generovat až 292 MW elektrické energie v době špičky. Může také z klidu jít na plnou kapacitu za pouhých 70 sekund. Elektrotechnické vybavení elektrárny je umístěno uvnitř hory o rozměrech 76x21x27 m se čtyřmi reverzibilními turbínami Francis s celkovou kapacitou 292 MW. Horní nádrž je v hloubce 19,4 m s kapacitou 2,3 milionu m<sup>3</sup> s rozlohou 160 000 m<sup>2</sup>. Elektrárna je určena k výrobě energie v době špičkové poptávky. ([www.coltinfo.co.uk](http://www.coltinfo.co.uk))



Obr. č. 17, Turlough Hill (URL 16)

- **PVE Taum Saunk**



Obr. č. 18, Horní nádrž Taum Saunk (URL 17)

Přečerpávací vodní elektrárna Thaum Saunk je vzdálená více než 80 km od vodního zdroje řeky Mississippi. Je realizovaná na vrcholu hory St. Francois, asi 140 km jižně od St. Louis. Elektrárna je čistě přečerpávací, během energetické špičky

vyrábí energii a v době přebytku (noc), kdy je energetická poptávka nižší čerpá vodu pomocí čerpadla zpět do horní nádrže. Funguje jako obrovská baterie, která ukládá přebytečnou energii, dokud je potřeba. Výstavba začala v roce 1960 a provoz byl zahájen v roce 1963. Obě původní reverzibilní čerpadlové- turbínové jednotky jsou schopny generovat 2x 175 MW. V roce 1999 byly modernizovány na 2x 225 MW.

Nádrž v roce 2005 utrpěla katastrofální selhání, protrhla se a vytekly 4 miliony kubických metrů ve dvanácti minutách, příval vody stekl do blízkého státního parku, zranila tři malé děti. Elektrárna byla uvedena po nehodě do provozu po čtyřech letech. Horní nádrž byla označena za omyl inženýrů, aby nedošlo k podobné katastrofě je nádrž střežena kamerovým systémem a 24-hodinovou ostrahou, která kontroluje zařízení po celý den. Elektrárna je často navštěvována studenty geologie. (www.amusingplanet.com)



Obr. č. 19, Protržená nádrž (URL 17)

#### ▪ PVE Ludington

Přečerpávací vodní elektrárna leží podél břehu jezera Michigan 4 km jižně od města Ludington. PVE byla postavena v roce 1969- 1973. Elektrárna vyhrála několik ocenění za bezpečný provoz. Obsah nádrže je až 27 miliard litrů vody. Turbíny Francis produkují výkon 6x 312 MW. V noci, kdy je elektrická poptávka nižší fungují turbíny jako čerpadla a čerpají vodu do horní nádrže s převýšením 363 metrů od jezera Michigan. Voda je čerpána přes šest trubek. V době poptávky elektrické energie voda průtokem turbíny vyrábí elektrický proud. Elektrárna zásobuje 1,4 milionů lidí elektrickou energií. (www.consumersenergy.com)



Obr. č. 20. Přečerpávací vodní elektrárna Ludington (URL 18)

- **PVE Čierny Váh**

Čierny Váh patřív k největší přečerpávací vodní elektrárně na Slovensku. V roce 1981 byla tato elektrárna uvedena do provozu s instalovaným výkonem 735 MW. Elektrárna je v nadmořské výšce 733 m s objemem 3,7 milionů m<sup>3</sup> vody.

Skládá se ze dvou nádrží a to horní a dolní. Horní nádrž se nachází v nadmořské výšce 1160 m, byla realizována na krasové plošině. V elektrárně jsou umístěny 6 x Francisovy turbíny a 1x Kaplanova turbína. (Chmelár, 1984)



Obr. č. 21, Přečerpávací vodní elektrárna Čierny Váh (URL 19)

# VLASTNÍ ČÁST

## 9. Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně

### 9.1 Historie zájmového území

Monumentální území se nachází v okolí Hrubého Jeseníku, který lemuje moravskoslezské pomezí, patří do CHKO a je srdcem Jeseníků. Stavba byla situována do nynější obce Loučná nad Desnou v okrese Šumperk. S obcí je vázáno feudální panství do roku 1848. Vízmbek, tak se obec Loučná nad Desnou dříve jmenovala, byla přejmenovaná až v roce 1949. Vízmbek dříve zahrnoval obce Rejhotice, Filipovou, Kociánov, Přemyslov a Kouty. Jakmile byl Vízmbek přejmenován, všechny tyto obce se staly součástí Loučné nad Desnou.

Na hřebenovém pásmu v 17. století byla objevena Vřesová studánka se zázračným pramenem, která se stala poutním místem, později zde byla postavena dřevěná kaple. Kryštof Zeidler losinský lesmistr nechal zhotovit v roce 1683 boží muka na soutoku Divoké a Hučivé Desné, signalizovaly vstup na koutské území, dodnes je výtvar chráněn památkáři.

Kouty vstoupily do historie s příchodem roku 1718, kdy byl nalezen doklad o prodeji panského mlýna. Hlavním zájmem v 18. století vízmberského panství bylo především železářství, ale také byl zájem o obilné mlýny a pily.

Vízmberský zámek měl osídlení Rejhotice, Kociánov, Filipová, Přemyslov, Kouty. Postupem času se osadám začalo říkat podle zámku Vízmbek. Rejhotice se zapsaly do historie železářstvím na severní Moravě.

V Koutském údolí byl také zřízen plavební kanál, který sloužil k dopravě dřeva, odbočoval z Divoké Desné. V 19. století zašel, ale pozůstatky jsou zde dodnes.

S příchodem roku 1829 losinské panství využilo holin k pastvě podle alpského vzoru. K tomuto účelu byly postaveny dvě salaše, jedna byla na místě dnešní turistické chaty Švýcárna a druhá salaš byla po cestě na Praděd. Pastva byla preferována do 60. let 19. století.

S modernizací a rozvojem na hřebenech hor vyrostly turistické chaty např. Švýcárna (1887), Vřesová studánka (1893), také za zmínku stojí otevření rozhledny na Pradědu v roce 1912. Do historie vstoupila úzkokolejná lesní železnice, která sloužila k přepravě dřeva z hory Černá stráň 1237 m. n. m.

Obec Kouty se spojila v roce 1961 s Loučnou nad Desnou. V roce 1969 se území stalo součástí chráněné krajinné oblasti. S postupem času vše dostávalo

novou podobu, v roce 1988 se zbourala původní chata na Vřesové studánce s myšlenkou postavit novou, ale to už se nikdy neuskutečnilo. Na místě bývalé chaty byl vybudován hotelový komplex (Kurzovní). Medvědí hora byla obohacena třemi větrnými elektrárnami v nadmořské výšce 1160 m. První byla uvedena do provozu v roce 1993. Dnes jsou v provozu pouze dvě, třetí nemá vrtuli.

Historie Dlouhých Strání sahá až do roku 1950, ale vyvíjet se začala až od roku 1978. (Kopřiva a kol., 1997)

## 9.2 Vývoj zájmového území

Přečerpávací vodní elektrárny se budují po celém světě jako nejlepší regulační prvek energetické soustavy. I naši energetici se rozhodli k realizaci těchto elektráren. Výzkum o možnostech přečerpávací vodní elektrárny velkého výkonu byl realizován již od roku 1957 se zaměřením na výběr vhodných lokalit. V roce 1962 se výzkum zabýval výběrem vhodné lokality. Vybíralo se z několika desítek lokalit, které by vyhovovaly pro výstavbu přečerpávací vodní elektrárny. K výběru vhodné lokality, základnímu geologickému průzkumu a studijnímu zpracování došlo v letech 1963- 1966. Základním požadavkem na výběr lokality přečerpávací vodní elektrárny bylo vybudování dolní nádrže na přirozeném vodním toku s dosažením potřebného energetického spádu, také s dostatečným obsahem vody v horní i dolní nádrži. Projekt musel dodržovat základní požadavky:

- Klima, geomorfologie území, ochrana přírody
- Tehdejší možnosti technologických a stavebních dodavatelů
- Požadavky naší energetické soustavy

Dílo muselo být i nadčasové, aby se provoz elektrárny mohl měnit podle vývoje energetické soustavy ve státě a i v závislosti na postavení české energetiky k celoevropské soustavě. Ekonomicky nejvýhodnější lokalitou byla vybrána oblast Hrubého Jeseníku na toku Divoká Desná.

Centrem dění byla současná obec Loučná nad Desnou v okrese Šumperk s rozlohou 94,3 km<sup>2</sup> s nadmořskou výškou 490 m, která je srdcem CHKO Jeseníky.

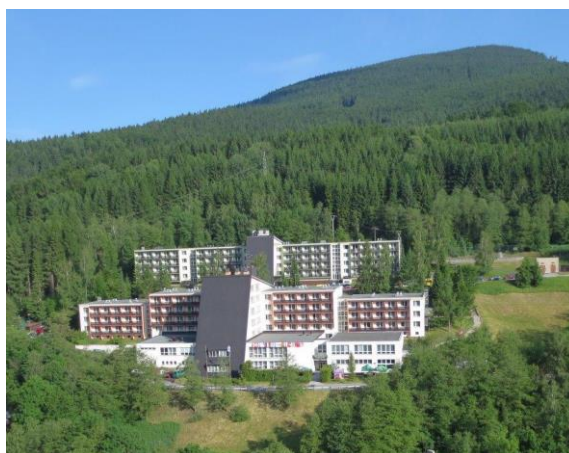
První zmínky o lokalitě pochází již z padesátých let, ale nabírat na obrátkách začala počátkem sedmdesátých let, kdy byl vyhotoven projekt díla.

První základní stavební kámen byl položen v květnu roku 1978. V období reálného socialismu se veškeré výstavby a velké projekty vlekly, proto se Dlouhé Stráně ocitly v konkurenci s výstavbou PVE Dalešice na jižní Moravě a PVE Čierny Váh na Slovensku. Uvedené stavby dostaly přednost, vzhledem k tomu, že Dlouhé

Stráně byly teprve před počátkem realizace, uvedené elektrárny se nacházely před úplným dokončením nebo před uvedením do provozu.

K výstavbě tak významného díla nestačilo jen prosté stavební povolení, ale muselo projít mnoha orgány např. Federální ministerstvo paliv a energetiky, Federální ministerstvo pro technický a investiční rozvoj, Státní plánovací komise apod. Pokud projekt prošel těmito důležitými orgány, dostal registrační číslo spolu se stavebním povolením. Dlouhé Stráně měli registrační číslo 7805412.

Od počátku výstavby se projednávaly důležité nedostatky investic i dodávky ze zahraničí. Investor rozhodl stavbu rozdělit do etap. První etapou byly přípravné práce, zde bylo zahrnuto ubytování pro pracovníky, budování přístupových cest a první ražba tunelů a štol. Byla zahájena výstavba bytových jednotek pro stavaře elektrárny, společně s hotelovým komplexem, který po ukončení stavby měl být k dispozici zaměstnancům energetiky pro rekreaci. Dnes slouží jako hotel pro turisty s kapacitou 650 lůžek.



Obr. č. 22, Hotel Dlouhé Stráně (URL 20)

Z počátku se vše tvářilo tak, jak bylo v plánu uvedeno, stavba mohla být dokončena v plánovaném termínu. První brzdou projektu byla investice. Státní plánovací komise udělila Dlouhým Stráním pro výstavbu 300 mil. Kč, přičemž dílo mělo rozpočet 3,4 miliardy Kč.

Jaderná elektrárna Temelín byla spjata s výstavbou Dlouhých Strání. Temelín se dostal do skluzu, a proto se uvažovalo, zda nebude lepší využít tohoto útlumu k modernizaci díla Dlouhých Strání. V roce 1981 byl vypracovaný nový projekt o změně a modernizaci díla. Nová podoba měla tři varianty turbosoustrojí. Zvítězilo současné řešení elektrárny s výkonem 2 x 325 MW. Nebylo jasné, kdo tohle monstrózní turbosoustrojí vyrobí, hledalo se v zahraničí. V roce 1983 se ČKD Blansko zavázalo výrobou oběžného kola pro Dlouhé Stráně.

Do konečné fáze se projekt dostal kolem roku 1985. Po dlouhých jednáních se odsouhlasilo zmenšení kaverny a to z 140 000 m<sup>3</sup> na 100 000 m<sup>3</sup>, také prostor transformátoru se snížil. Výsledkem bylo vyhotovení projektu 20. 5. 1985, který byl připraven k realizaci. S příchodem roku 1986 vyvrcholily zkoušky vodní turbíny, nebylo vůbec jednoduché takovou turbínu navrhnout a propracovat. Firma ČKD

Blansko měla bohaté zkušenosti s výrobou turbín, ale Dlouhé Stráně vyžadovaly turbínu o výkonu 325 MW, která se v té době ještě nikdy nerealizovala. Při výrobě kola je potřeba dbát na tyto vlastnosti- vysoká účinnost a odolnost vůči kavitaci- kavitace je proces, při kterém dochází vlivem tlakových a chemických procesů k uvolňování částic oceli z lopatek turbíny. Oběžné kolo Dlouhých Strání váží přes 20 tun a průměr přesahuje 4,5 m.

Problémy stavbu neustále doprovázely, ale s příchodem roku 1988 už nikdo nepochyboval o přerušení stavby, všichni věřili v realizaci. Stavba se dala do pohybu po zhruba desetiletém útlumu. Ražba podzemních přivaděčů byla v plném proudu. Přivaděč je 1,5 km dlouhý a na elektrárně jsou dva. Skládá se ze tří částí- spodní vodorovný, šikmý se stoupáním 45° a vrchní vodorovný. Oba přivaděče se razily zároveň zhruba 130 m za měsíc. Také kaverna dostávala svoji podobu délky 87,15 m, výšky 50,00 m a šířky 25,50 m. Odstřelená hornina měla ještě využití ke stavbě hráze dolní nádrže. Také nedaleký lom Zámčisko byl hlavní stavební surovinou pro výstavbu hrází. Vytěžilo se 522 000 m<sup>3</sup> sypaniny. Práce na dolní nádrži probíhaly zcela bez problémů a tak byla možnost 1. 7. 1992 zahájit první plnění. Ve sdruženém objektu je potrubí pro malou vodní elektrárnu, která byla uvedena do provozu roku 1995. V druhém pololetí roku 1993 začalo napouštění horní nádrže. Dne 21. 12. 1993 byla první zkouška roztočení turbosoustrojí na PVE Dlouhé Stráně, tato zkouška proběhla úspěšně. Technici dokázali dosáhnout 100% otáček. Při zkouškách dne 10. 6. 1994 explodoval generátor, tato nehoda nastala v přechodu z turbínového kompenzačního provozu na turbínový, přičemž plánované uvedení do provozu jednoho turbosoustrojí připadalo na den 30. 6. 1994. Po této havárii bylo dílo ke svému konci nečekaně vzdáno. Zkouška druhého turbosoustrojí připadla na den 3. 8. 1995, kdežto plán byl 30. 11. 1994. Dne 6. 2. 1996 bylo uvedeno druhé turbosoustrojí do provozu. Podzemní práce se blížily konci. S příchodem jara roku 1996 se prováděly terénní úpravy. Na stráně se stříkal hydroosev. Slavnostní den uvedení přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně do provozu nastal 20. července roku 1996 společně s uvedením havarované turbíny do režimu.

V zázemí elektrárny bylo zřízeno infocentrum, které slouží jako přednášková místnost pro turisty, kde se dozví zajímavé informace o elektrárně, principu fungování a průběhu výstavby tohoto jedinečného díla. Významnou roli na Dlouhých Stráních měl pan Ing. Miloslav Kopřiva, CSc., který celé dílo řídil. (Kopřiva, 2009)

### 9.3 Dopad na životní prostředí

Jedinečné dílo Přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně mělo na krajinu převážně dobrý vliv. Důsledkem byly přísné požadavky ze strany ekologů a životního prostředí. Z počátku stavbu doprovázel rušný život v srdci Jeseníků, který byl opět navrácen do klidného rázu krajiny. Důležité podmínky stanovily orgány, že veškeré stavby v rozmezí horní a dolní nádrže budou po ukončení stavby demolovány, avšak stavby v obci mohou být ponechány, ale musí projít schvalovací komisí, aby splňovaly podmínky rázu obce.

V roce 1990 v obci Loučná nad Desnou vznikla ekologická komise, která přísně dohlížela na výstavbu díla a případné pochybnosti rázně řešila. Investor díla v průběhu výstavby odebíral vzorky vody z 11 profilů na říčce, tím tak získával informace o znečištění koncentrace ropných látek. Výsledky vždy vyhovovaly přepisům.

V rámci výstavby byla stanovena opatření, která napomáhala začlenění díla do pohoří Jeseníků, již bylo zmíněno, elektrárna se nachází v chráněné krajinné oblasti Jeseníků. Podmínky byly následující.

Veškeré objekty realizované v sektoru elektrárny musí být v horském stylu. Hráz dolní i horní nádrže musela také splňovat podmínku a to tu, že musí být sypaná pro následné ozelenění. Také provoz elektrárny musí být řešen bezhlučně, proto veškeré zázemí elektrárny je umístěno v masívu hory, především přivaděče vody, které by narušovaly přírodní ráz krajiny, musely být umístěny do podzemí.

Únik ropných látek z chladících okruhů musel být pod nepřetržitým dohledem. Výsadba dřevin vyžadovala také své začlenění. Byla řešena jako skupinová výsadba, soliterní výsadba nebyla preferována. Vegetace musela být přizpůsobena architektuře staveb.

Dlouhé stráně mají také stránku, která přináší pozitiva pro krajinu. V obci Loučná nad Desnou spolu s výstavbou díla byly postaveny dvě čistírny odpadních vod. Uvedením díla do provozu bylo možné snížit znečištění ovzduší a to o spálení 613 000 tun hnědého uhlí z toho 15 000 tun kysličníku siřičitého, 155 000 tun popela. Nádrže elektrárny napomáhají absenci povodní v regionu.

Dílo s odstupem času je plně začleněno do krajinného rázu a denně je navštěvováno. Elektrárna se nejen stala dominantou šumperského kraje, ale i divem České republiky.



## 9.4 Geologické poměry

Dlouhé Stráně patří do oblasti Hrubého Jeseníku. Území je obklopené horami, dominantou je Praděd (1491 m.n.m.). Pouze na západ je pahorkatina otevřena Koutskému údolí. Geologie Jeseníku je označována za pseudoklenbovitou kernou stavbu. Tektonická struktura je kombinace vrásové a kerné stavby. Základem desenské klenby je hornina rula. Předkvartérní základ je vytvářen biotickou pararulou středně a vysoce migmatizovanou a místním výskytem amfibolitu, pegmatitu či svorové ruly v hlubších místech.

### V zájmovém území jsou tyto typy hornin:

- Jemnozrnná biotitická rula- s odstínem světlé až tmavě šedé, částečně nafialovělé barvy. Obsahuje také apatit, turmalín, granát, magnetit, zirkon
- Hrubozrnná biotitická rula- hrubě zrnitá. Stejně mineralogické složení jako u jemnozrnné biotitické ruly.
- Svorová rula- šedá se zlatožlutým odleskem. Obsahuje granát, slídu a staurolit.
- Křemitá biotitická rula- modrošedá. Skládá se ze 70 % křemene, 5% plagioklas a 20% biotit.
- Jemnozrnná amfibolity- zelené až černozelelé.
- Hrubozrnné amfibolity- zelenohnědé.
- Orthoruly- skládají se z křemene, muskovitu a orthoklasu.
- Pegmatity- světle hnědé až šedobílé.

Na tvar Hrubého Jeseníku bylo rozhodujícím obdobím mladší terciér, především vliv exogenních a endogenních procesů. V období pleistocénu byly důležité funkce periglaciálního geomorfologického cyklu. Povrchové sedimenty vznikaly především v období holocénu. Skalnaté podloží pokrývá svahový sediment, který má mocnost 3-5 m ve spodní části, naopak ve vyšší 1-3 m. Při patě svahu mocnost dosahuje až 20 m z důsledku nerovnoměrné tvorby skalnatého podloží a soliflukčních cyklů. Tyto procesy jsou reprezentovány především hlinitokamenitou až balvanitou sutí. Morfologii terénu ve vyšších polohách doplňují úvalovité deprese, které vytvářejí prameny bystřin.

Průzkum řešeného území se uskutečnil v roce 1966-1971. Závěrečná práce byla vyhotovena 1967. Průzkum se orientoval v prostoru dolní, horní nádrže a kaverny. Také v lomu Zámčisko se v roce 1968 uskutečnil průzkum, z důvodu

materiálového naleziště pro stavbu horní nádrže elektrárny. Podrobný průzkum území se uskutečnil v roce 1969-1971 pro jednotlivé objekty.

V průzkumu řešeného území se vyrazilo 5 štol.

- 1 štola- nachází se u Hladové chaty- 83 m dlouhá.
- 2 štola- nachází se u Jezerní chaty- 316 m dlouhá.
- 3 štola- nachází se ve sdruženém objektu- 91 m dlouhá.
- 4 štola- nachází se v kabelové štole- 380 m dlouhá.
- 5 štola- nachází se v nalezišti Zámčisko- 170 m dlouhá.

Celkově se vyrazilo 1155 m štol a chodeb, 1414 m povrchových vrtů a podzemních 1181 m a 241 vykopaných sond. Na přečerpávací elektrárně Dlouhé Stráně se podzemní razící práce pohybovaly v objemu 290 000 m<sup>3</sup> horniny.

## **10. Popis stavebních objektů**

### **10.1 Horní nádrž**

Rozměry horní nádrže vyplývají z energetické potřeby a morfologie terénu. Hráz je sypaná z kamenného materiálu, která je na návodní straně potažena asfaltobetonovým těsněním. Obvodovou hráz tvoří biotitická rula v různých stupních magmatizace s občasnými vložkami pegmatitu.

Horní nádrž vznikla vykutáním hory Mravenečník v 1350 m n. m. s plochou 15,4 ha. Příprava stanoviště probíhala v roce 1979-1980. Skrývka lesní půdy byla odhrnuta roku 1981 s objemem 145 000 m<sup>3</sup> a výškou 0,97 m. Sezóna prací probíhala od května do listopadu s výkonem při dvousměnném provozu 90 m<sup>3</sup> za hodinu.

Výkopní území bylo rozděleno na tři etáže:

- Etáž A- 498 000 m<sup>3</sup> (množství odtěžené horniny)

Nad kótou 1335 maximálně pod kótou 1348

- Etáž B- 469 000 m<sup>3</sup> (množství odtěžené horniny)

Mezi kótami 1325- 1335

- Etáž C- 498 000 m<sup>3</sup> (množství odtěžené horniny)

Mezi kótami 1320-1325

Při každém odstřelu se vedly detailní protokoly, ve kterých se sledovaly základní údaje:

- skutečná rozpojená kubatura,
- výtěžnost,
- měrná spotřeba trhaviny,
- kubatura rozpojené horniny na jeden vrt.

Celkové trhací práce:

- kubatura rozpojené horniny- 1 469 000 m<sup>3</sup>
- délka vrtů 70-90 mm; 110-170 mm- 223 500 m
- spotřeba trhavin- 734 922 kg

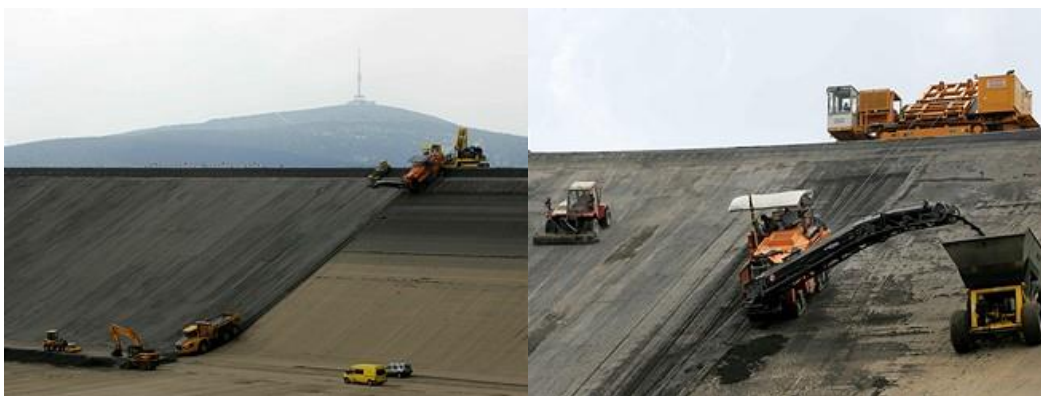
Vytěžený materiál z horní nádrže se ukládal do násypů obvodových hrází. Pro ukládání sypanin byly prováděny hutní zkoušky. Tloušťka ripovaný materiálu byla 1,20 m a stříleného materiálu 1,50 m. V období 1982-1987 se do hrází uložilo:

- 1982- 192 500 m<sup>3</sup>
- 1983- 520 000 m<sup>3</sup>
- 1984- 600 000 m<sup>3</sup>
- 1985- 480 000 m<sup>3</sup>
- 1986- 226 000 m<sup>3</sup>
- 1987- 7 000 m<sup>3</sup>

Hodinový průměrný výkon činil 150 m<sup>3</sup>, který byl uložený do násypů s maximem 210 m<sup>3</sup> v roce 1984. Násyp byl ukončen třímetrovou přechodnou vrstvou.

S pokládkou návodního těsnění asfaltobetonu se započalo roku 1990. Asfaltobeton se skládá z 10 cm vodohospodářského asfaltového betonu mezerovitého, 8 cm vodohospodářského asfaltového betonu hutného a konečnou pokládku tvoří uzavírací asfaltový nátěr.

Odvod průsaků je realizován pomocí drénů, které se nachází pod dnem nádrže. Patní drén je po celém obvodu nádrže, s umístěním v patě svahu. Drén je veden v ose nádrže se vtokem do vtokového objektu, kde je jímka, ve které se měří průsaky. Při uvádění nádrže do provozu bylo vše v pořádku.



Obr. č. 23 a 24, Pokládka asfaltbetonu horní nádrže (URL 21)

Technické parametry:

- Objem stálého nadržení- 0,140 mil. m<sup>3</sup>
- Zásobní objem- 2,580 mil. m<sup>3</sup>
- Celkový objem- 2,720 mil. m<sup>3</sup>
- Hladina stálého nadržení- 1326,20 m n. m.
- Hladina maximální- 1348,00 m n. m.
- Maximální zatopená plocha- 15,4 ha
- Kóta koruny hráze- 1350,00 m n. m.
- Provozní kolísání hladiny- 21,8 m
- Kóta dna nádrže minimální- 1322,20 m n. m.
- Délka koruny hráze v koruně- 1742,50 m
- Max. výška hráze v ose nad terénem- 27,5 m
- Sklony svahů- návodní- 1:2  
- vzdušný- 1:1,75
- Kubatura násypu hráze- 2,025 mil. m<sup>3</sup>
- Plocha AB pláště- dna 71 000 m<sup>2</sup>  
- svahů 98 000 m<sup>2</sup>



Obr. č. 25, Horní nádrž (Zdroj: autor)

## 10.2 Dolní nádrž

Dolní nádrž je klasicky údolní, vznikla přehrazením přirozeného toku Divoké Desné. V podmínkách, ve kterých se nádrž nachází, je hráze realizována jako kamenitá s asfaltobetonovým návodním těsněním.

Hráze je postavena na zhutněné základové spáře. Zhutnění mělo geodetickou kontrolu. Výstavba hráze probíhala v letech 1987-1990 v objemech:

- 1987- 253 000 m<sup>3</sup>
- 1988- 260 000 m<sup>3</sup>
- 1989- 327 000 m<sup>3</sup>

Hlavním zdrojem pro stavbu hráze byl nedaleký lom Zámčisko, který byl vzdálen 2,7 km. Nacházela se tam převážně křemitá biotitická rula.

První napouštění dolní nádrže probíhalo 1. 7. 1992, jelikož bylo extrémně suché léto, dosáhla hladina 31. 12. 1992 pouze kóty 807,18 m n. m. s objemem vody 1 393 500 m<sup>3</sup>. Kóty 822,70 m, tedy maximální kóty hladina vody dosáhla až 23. 5. 1993. Během ověřování provozu dolní nádrže nebyly zpozorovány žádné nežádoucí problémy.

### Technické parametry:

- Objem stálého nadržení- 0,825 mil. m<sup>3</sup>
- Zásobní prostor (provozní objem)- 2,580 mil. m<sup>3</sup>
- Celkový objem- 3,405 mil. m<sup>3</sup>
- hladina stálého nadržení- 800,50 m n. m.
- hladina maximální- 822,70 m n. m.
- maximální zatopená plocha- 16,13 ha
- kóta koruny hráze- 824,70 m n. m.
- provozní kolísání hladiny- 22,2 m
- délka koruny hráze v ose- 306,00 m
- maximální výška hráze v ose nad terénem- 56,50 m
- kubatura násypu hráze- 0,840 mil. m<sup>3</sup>
- sklony svahů- návodní 1:2  
vzdušný 1:1,5
- plocha AB těsnění- 23 200 m<sup>2</sup>



Obr. č. 26, Dolní nádrž v zimním období (Zdroj: autor)

### 10.3 Tlakové přivaděče

V elektrárně se nachází dva tlakové přivaděče, které jsou rozděleny na jednotlivé úseky:

- horní ležatá část I a II,
- horní lomové koleno,
- úklonná část,
- dolní lomové koleno,
- dolní ležatá část,
- oblouky před kavernou,
- přímá část před kavernou.

Přivaděče jsou ocelové, které mají plnit funkci přivádění vody do dolní nádrže z horní a naopak. Ve skále byly raženy tři štoly, ta třetí plní funkci komunikační. Přivaděče mají spád 510,7 m.

#### Technické parametry:

- světlý profil- 3,6 m
- délka- 1547m + 1499m
- tloušťka pancíře- 12-54 mm
- ražený profil

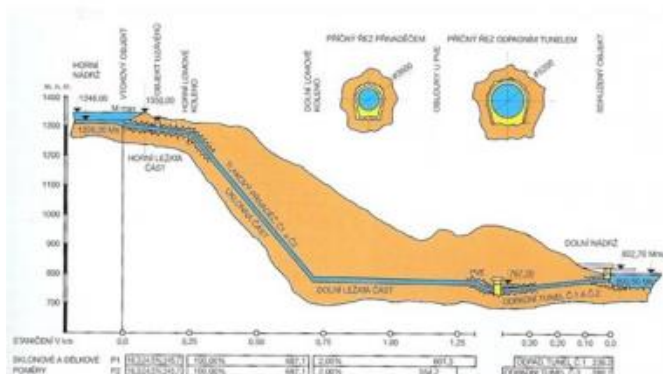
horní úsek- 19,90-20,53 m<sup>2</sup>

úklonná část- 17,48-18,72 m<sup>2</sup>

dolní úsek- 21,90-24,60 m<sup>2</sup>

- kubatura výmolů- 33 000 m<sup>3</sup> + 32 000 m<sup>3</sup>

- kubatura betonů- 23 000 m<sup>3</sup> + 19 000 m<sup>3</sup>
- hmotnost pancíře- 4 166 t + 3 952 t



Obr. č. 27, Tlakové přivaděče z profilu (Zdroj: Kopřiva, 1998)

## 10.4 Podzemní elektrárna

Podzemní elektrárna tzv. kaverna se nachází v masívu hory Mravenečník (1350 m n. m.) o rozměrech 87,15 m, výšky 50,00 m a šířky 25,50 m. Z požadavků životního prostředí byla kaverna situována do podzemí.

V kaverně jsou umístěny dvě nejvýkonnější Francisovy reverzibilní turbíny o výkonu 325 MW. Výmolové práce v kaverně byly rozděleny do dvou částí. V první části se pracovalo na výlomu klenby a betonáži a druhá část byla specializována na výlom jádra kaverny. Výlom jádra byl mezi kótami 782,00 m n. m. a 737,20 m n. m. s objemem horniny 77 800 m<sup>3</sup>.

### Technické parametry:

- délka výlomu- 87,15 m
- šířka výlomu- 25,50 m
- výška výlomu- 50,00 m
- kóta podlahy strojovny- 767,20 m n. m.
- kóta osy spirál- 752,10 m n. m.
- kubatura výlomů- 93 000 m<sup>3</sup>
- betony klenby- 3 600 m<sup>3</sup>
- betonová vestavba- 22 000 m<sup>3</sup>
- ocelová konstrukce- 691 t
- bednění- 16 300 m<sup>2</sup>



Obr. č. 28, Podzemní elektrárna s falešnými okny v hloubce 300 m (Zdroj: autor)

### 10.5 Komora traf

Komora traf je oddělena od kaverny pilířem tloušťky 30 m. V komoře jsou umístěny dva třífázové transformátory včetně elektrotechnologie s klimatizací a větráním.

Výlomové práce odstartovaly v prosinci roku 1986, ukončeny byly v prosinci 1990.

#### Technické parametry:

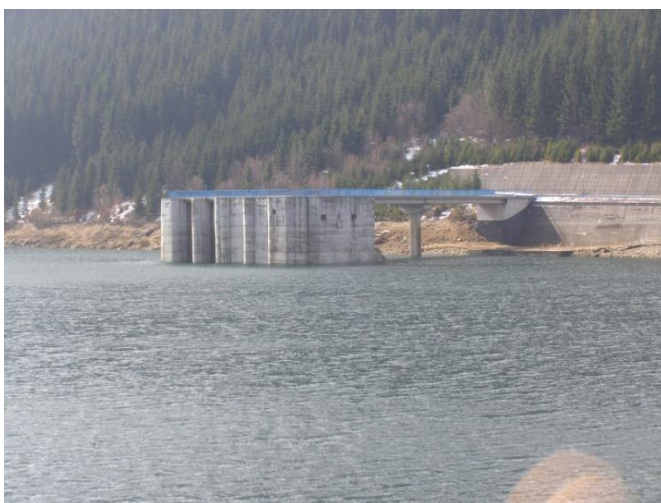
- délka výlomu- 117,0 m
- šířka výlomu- 16,00 m
- největší výška výlomu- 21,7 m
- kóta podlaží traf- 770,50 m n. m.
- kubatura výlomů- 32 000 m<sup>3</sup>
- kubatura betonů- 5 800 m<sup>3</sup>
- nosné ocelové konstrukce- 413,320 t

### 10.6 Sdružený objekt

Sdružený objekt se nachází v zatopené ploše dolní nádrže na levém břehu zhruba 150 m od osy hráze. Je spojen s komunikací na koruně hráze. Objekt byl vyhotoven v otevřené jámě. Sdružený objekt zahrnuje hned několik funkcí. V dolní části se nacházejí dvě základové výpusti, které regulují odtok vody z dolní nádrže a ústí do odpadní štoly, končící pod posledními objekty elektrárny. Ve středu objektu dominují dva komorové uzávěry a hradidla, kterými je ukončena vodní cesta od turbín, uskutečněna dvěma odpadními tunely s betonovou obezdívkou o vnitřním průměru 5,2 m. Horní část objektu je obohacena technologií hrazení přepadů se segmentovými uzávěry, sloužící k regulování hladiny při extrémních přítocích do dolní nádrže. Při výstavbě sdruženého objektu ředitel stavby apeloval



na zakomponování potrubí pro případ dodatečné instalace malé vodní elektrárny přímo v objektu. V roce 1995 byla uvedena do provozu malá vodní elektrárna s výkonem přes 100 kW.



Obr. č. 29, Sdružený objekt (Zdroj: autor)

Technické parametry:

- výška objektu- 57,60 m
- kubatura zemních prací- 96 000 m<sup>3</sup>
- stříkaný beton na zajištění svahů- 6 000 m<sup>3</sup>
- kotvení svahů tyčovými kotvami- 1 600 bm
- zastavěná plocha- 557 m<sup>2</sup>
- obestavěný prostor- 44 000 m<sup>3</sup>
- kubatura betonu- 28 000 m<sup>3</sup>
- betonářská ocel- 770 t
- kóta základové spáry- 770,00 m n. m.
- kóta koruny objektu- 827,55 m n. m.
- kóta přepadové hrany přepadu- 820,30 m n. m.
- kapacita hrazeného přelivu- 3 x 26,0 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>
- kapacita spodních výpustí- 2 x 20,3 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>

## 11. Elektrotechnické vybavení elektrárny

### 11.1 Generátory

Generátory se nachází v kaverně turbín a jsou dva. Generátor- motory jsou spojeny s reverzibilními Francisovými turbínami. V turbínovém provozu pracují jako

generátory a naopak při čerpání pracují jako motory. Výrobu těchto generátor- motorů měla v režii firma ČKD Blansko.

## 11.2 Rozběhový asynchronní motor

Rozběhový asynchronní motor pomáhá k rozběhu soustrojí do čerpadlového provozu.

Jde o vertikální stroj s kroužkovou kotvou společně s odklápěčem kartáčů, rotor je nasazen na hřídeli generátor- motoru. Stator je ukotven k horní hvězdě generátor- motoru. Vlastní ložiska tento stroj nemá. Celá kostra motoru je svařovaná společně s rotorovou hvězdou. Motor se chladí vzduchem. Prostor asynchronního motoru je spojen s prostorem generátoru.



Obr. č. 30, Rozběhové motory (Zdroj: autor)

## 11.3 Blokové transformátory

K vývodu výkonu od generátoru do úrovně 400 kV slouží dva blokové transformátory. Na PVE jsou instalovány dva T1 a T2 trojfázové transformátory. Tyto transformátory jsou chlazeny olejem s vodními chladiči. Transformátory spolu s vodními chladiči jsou umístěny v kobkách přímo v kolejové dráze.

Přímo pod tímto transformátorem s chladičem je umístěna záchytná jímka zhruba na 20 % oleje, který odtéká do společné olejové jímky, která je dimenzována na 100 % objemu oleje.

Pro jednoduchou manipulaci je postaveno olejové hospodářství, které obsahuje nádrže na čistý a nečistý olej.

Chlazení těchto transformátorů je nutné. Chladicí souprava je sestavena ze šesti chladičů. Každý z těchto chladičů má své olejové čerpadlo.

Podvozek transformátoru je odizolován z důvodu ochrany nádoby transformátorů.

## 11.4 Transformátory vlastní spotřeby

Pro vlastní spotřebu je zajištěno napájení elektrárny na každém vývodu generátoru, který je načepován trojfázovým olejovým transformátorem s vodními chladiči.

Chlazení těchto transformátorů je nutné. Souprava chlazení je sestavena ze dvou vodních chladičů. Každý z těchto transformátorů má svá olejová čerpadla. Transformátor je z hliníkového materiálu a jádro je složené z plechů. Připojení je možné jedině bez zátěže.

Doprava těchto transformátorů do podzemí je prováděna na podvozku. Doprava v kaverně na stanoviště je prováděna pomocí elektrického vrtáku.

## 11.5 Zapouzdřená rozvodna a venkovní vedení 400 kV

K vývodu výkonu se používá zapouzdřená rozvodna 400 kV. Je sestavena ze tří polí. Dvě přívodní pole jsou od blokových transformátorů obohaceny vypínači, uzemňovači, odpojovači s měřicími transformátory proudu, které jsou umístěny v budově.

Třetí pole je vývodové a napájecí venkovní linku, která směřuje do Krasíkova. Z PVE vede vedení o délce 58 km do rozvodny v obci Krasíkov.

Vedení elektrárny je vybaveno omezovači předpětí pro ochranu elektrotechnologického vybavení elektrárny před účinky nebezpečí přepětí.

## 11.6 Dieselgenerátor

Dieselgenerátor slouží k zajištění elektrické energie při úplném výpadku sítě 22 kV. Zajišťuje zdroj osvětlení pro podzemí a správní budovu, také pro čerpání vody, která prosákla v podzemní elektrárně.

Dieselgenerátor lze využít v nouzovém výpadku ke spuštění jednoho soustrojí.

### Technické parametry:

- jmenovitý výkon- 405 kVA/324 kW
- jmenovité napětí- 400/231 V
- $\cos \varphi$ - 0,8
- kmitočet- 50 Hz

## 12. Strojně hydraulické vybavení

### 12.1 Vtokový objekt a uzávěry horní nádrže

Přívod vody je tvořen objektem, který je obohacen hradidlem a česlemi. Česle jsou ponořeny pod vodou. Česle jsou navrženy do 0,5 t pro snadnou manipulaci.

#### Technické parametry česlí:

- průtočná plocha jednoho vtoku- 2 x 3,5 x 6,1 m
- návrhový přetlak oboustranný- 5 m v. sl.
- profil prutů- 120/12 mm
- rozteč- 90 mm
- délka prutů- 700 cm

Hradidlo se spouští do zavřené polohy po klesnutí hladiny vody na úroveň stálého nadržení, kde se otevře horní část vtokového objektu, který má kótu 1326,70 m n. m. s použitím autojeřábu. Toto použití je důležité pro práce na komorových uzávěrech tzv. přivaděčích. Manipulace je možná pouze při snížené hladině vody v nádrži.

#### Technické parametry:

- průtočná plocha (v místě drážky)- 2x 3,6 x 3,6 m
- návrhový přetlak- 35 m v. sl.
- Průsak- 2,1 l s<sup>-1</sup>
- Vedení hradidel o délce 14 m

Uzávěry horní nádrže zavírají přivaděče v šachtě. Tyto uzávěry jsou dva a skládají se z hydraulického zvedacího mechanismu, tabule, hydraulického čerpacího agregátu a skříně.

#### Technické parametry:

- průtočná plocha- 3 x 3,6 m
- návrhový přetlak- 60 m v. sl. pro turbínový směr  
100 m v. sl. pro čerpadlový směr
- doba závěru- cca 240 s
- doba otvírání- cca 12 min.
- průsak- 5,7 l s<sup>-1</sup>

### 12.2 Strojovna podzemní elektrárny

Ve strojovně jsou umístěny dvě Francisovy reverzibilní turbíny s příslušenstvím a zařízením.

- Kulový uzávěr

Kulový uzávěr je umístěn před spirálou reverzibilní turbíny, je spojen s automatikou soustrojí. Kulový uzávěr je složen z otočného tělesa a víka.

- Spirála turbíny a sací trouba

Spirála je svařována a lopatkový kruh se skládá z deseti předrozdávčích lopatek. Kužel savky je z důvodu demontáže nezabetonován.

- Reverzní Francisova turbína

Dvě Francisovy turbíny jsou nainstalovány ve strojovně FR 100, jsou spojené s generátorem.

Turbíny PVE Dlouhé Stráně jsou navrženy pro turbínový i čerpadlový provoz. Pro roztočení turbíny do čerpadlového provozu slouží asynchronní motor při zavzdušnění oběžného kola. Turbína se v turbínovém provozu točí doleva, kompenzační provoz je umožněn k otáčení v obou směrech. Výměna oběžného kola je možná spodem přes místo savky. Z klidového režimu se turbína dokáže dostat do maximálního turbínového výkonu za 100 sekund. Z čerpadlového režimu do turbínového režimu dokáže přejít za 150 sekund, z klidu do čerpadlového provozu je potřeba 400 sekund.

Technické parametry Francisovy turbíny:

- |  |  |   |                             |
|--|--|---|-----------------------------|
| ▪ Spád- dopravní výška- turbína:               | $H_{\max}= 532,7 \text{ m}$                          | čerpadlo:                                 | $H_{\max}= 554,1 \text{ m}$ |
|  | $H_{\min}= 488,8 \text{ m}$                          |   | $H_{\min}= 513,1 \text{ m}$ |
| ▪ Průtok při $H_{\max}$                        | $Q_{\max}= 68,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$            | $Q_{\min}= 46,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ |                             |
|  | $H_{\min}$ $Q_{\max}= 68,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ | $Q_{\max}= 54,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ |                             |
| ▪ Výkon- příkon při $H_{\max}$                 | $P_{\max}=325 \text{ MW}$                            | $P_{\min}=379,5 \text{ MW}$               |                             |
|  | $H_{\min}$ $P_{\max}= 295 \text{ MW}$                | $P_{\max}= 301,6 \text{ MW}$              |                             |
| ▪ Otáčky- jmenovité $n=428,6 \text{ min}^{-1}$ |  | $n= 428,6 \text{ min}^{-1}$               |                             |
|  | průběžné $n_p= 690 \text{ min}^{-1}$                 |   |                             |
| ▪ Sací výška- $H_{s \min}= -48 \text{ m}$      |  |   |                             |
|  | $H_{s \max}=-70,6 \text{ m}$                         |   |                             |
| ▪ Průměr oběžného kola- $D= 4\,540 \text{ mm}$ |  |   |                             |
- Vysokotlaká kompresorová stanice

Tlakový vzduch, který je odebírán z ležatých vzdušníků slouží k zavzdušnění oběžného kola a ke snížení hladiny vody v savce.

- Odolejování vod

V nejnižším místě strojovny je umístěno zařízení na odolejování prosáklých vod. Znečištěné vody jsou svedeny do gravitačního odlučovače, kde se provádí separace oleje. Částečně přečištěná voda odtéká do jímky. Z jímky je pak tato voda čerpá kalovými čerpadly do odolejovacích zařízení, kde dochází k závěrečnému čištění vody. Vyčištěná voda je shromažďována do recipientu, po tomto procesu pokračuje voda do toku pod PVE.

Pokud voda nezodpovídá požadavkům kvality vody, dochází k ředění předčištěné vody před vyčerpáním do toku. Vše je pod přísnými kontrolami, nikdy nemůže dojít ke znečištění vodního toku.

- Regulace turbín

K regulaci turbín je na PVE instalován čerpací agregát.

- Čerpací agregát

Složen z nádrže, čerpadla a větrníku. V nádrži je umístěn kompletní čerpací agregát. Obsah nádrže:

- Objem nádrže- 7 m<sup>3</sup>
- Obsah oleje (provozní)- 3 m<sup>3</sup>

Pro snadné čištění je dno nádrže skloněné. Tlaková nádoba větrníku je doplněná průlezem pro vnitřní čištění. Obsah větrníku:

- Obsah- 12 m<sup>3</sup>
- Obsah oleje (provozní)- 2,7 m<sup>3</sup>



Obr. č. 31, Řez soustrojím (Zdroj: autor)

## 12.3 Strojní vybavení sdruženého objektu

- Hrazení přeпадů

Sdružený objekt dolní nádrže má tři přelivy, které jsou hrazeny segmentovými uzávěry. Tyto segmenty jsou řízeny jednostrannými zvedacími mechanismy. Segmenty se v zimě vyhřívají v bočních armaturách.

- Základové výpustě

Toto zařízení umožňuje regulaci odtoku vody z dolní nádrže a také vypuštění nádrže. Uzávěry základových výpustí jsou neustále trvale regulovány dle odtoků ze spodní nádrže a limigrafových šachet příkopů. Nejmenší průtoky jsou vypouštěny potrubím minimálních odtoků.

Ve sdruženém objektu jsou umístěny dvě výpustné potrubí. Jedno je o velikosti DN 1200, tím protéká voda o maximální hladině vody. Druhé potrubí slouží k minimálním odtokům velikosti DN 400, které je zaústěné do malé vodní elektrárny, která slouží k vlastním užitkům Dlouhých Strání.

Ve sdruženém objektu je také umístěno zařízení k vyčerpání prosáklé vody, jímka je situována v nejhlubším místě sdruženého objektu. Odlehčovací potrubí je opatřeno zpětnou klapkou. Jímka je opatřena dvěma čerpadly a elektrodočerpáním pro zjišťování hladiny v jímce. Výtlačná potrubí pro čerpadla prosáklé vody je velikosti DN 200, které je vyústěno do odpadní štoly.

Uzávěry je možné ovládat i na dálku z dozorny PVE.

- Strojně-hydraulické zařízení pro výtoku vody

Výtoku z dvou odpadních tunelů do spodní nádrže tvoří výtokový objekt, který je možné uzavřít. Výtokový objekt obsahuje zdvihací traverzu, hradila, česlice, komorové uzávěry výtoku, armatury.

- Zdvihací traverza

Traverza slouží k manipulaci hradidel.

- Hradidlové tabule

Jsou umístěny společně s česlicemi v drážce, hrazený profil odpadního tunelu je rozdělen do dvou částí o rozměru 2 x 3,5 x 6,25 m. Hradidla jsou opatřeny vedením a těsnícím rámem. Vedení má délku 40 m z válcovaného materiálu. Na spodním prahu může působit maximální hydrostatický tlak 35 m v. sl. přičemž hradidlové tabule jsou dimenzovány na 50 m v. sl.

Česlice umožňují proudění vody v obou směrech. Každý rám česlic je opatřen vedením způsobující bezpečnostní spouštění a zdvihání.

- Komorový uzávěr výtoku

Funguje na principu uzávěru průtočného profilu odpadních tunelů. Uzavření tabule lze pouze ručně v důvodu případného vzniku netěsností ve strojovně a po odstavení turbíny.

### 13. Systém řízení PVE Dlouhé Stráně

Řízení PVE Dlouhé Stráně je plně automatizováno. Umožňuje dálkové řízení elektrárny z energetického dispečinku Praha.

Stav a provoz technologického zařízení elektrárny v nadzemí i podzemí je sledováno počítačovým systémem, který mimo jiné plní funkci kontrolní i informační.

Spočívá v řízení automatických pochodů soustrojí, které jsou součástí počítačového systému, skupinové regulace provozu elektrárny, která umožňuje řídit elektrárnu jako jednu provozní jednotku, řízení odtoků z dolní nádrže v závislostech na přítocích.

Struktura systému se skládá ze tří úrovní:

- Řízení jednotlivých technologických zařízení- umožňuje řídit jednotlivá soustrojí ručně prostřednictvím jednotlivých automatik pouze z manipulačních a strojových rozvaděčů ze strojovny v podzemí.
- Řízení technologických celků- spočívá v řízení každého soustrojí sekvenčními automaty s možností činit jak ze strojovny v podzemí tak i z dozorny v nadzemí.
- Řízení PVE jako celku- je uskutečněno skupinovým regulátorem s možností řízení z dozorny nebo dispečinku.

Technologické zařízení PVE je neustále kontrolováno a chráněno systémem. V nadzemí chrání systém sběr dat, regulaci odtoku, skupinovou regulaci, komunikaci s dispečinkem, informační a řídicí systém prostřednictvím operátorských stanic. Operátorské stanice jsou vybaveny monitorem a tiskárnou pro pořizování protokolů. Systém komunikuje s rozvodnou 400 kV Krasíkov. Časovou synchronizaci systému zařizuje přijímač jednotkového času z radiového vysílače Meinflingen.



Přenos dat mezi horní nádrží a zázemím podzemí i nadzemí je zabezpečen sběrnicí Arcnet.

Řídicí systém v podzemí zajišťuje sběr dat ze soustrojí, informační a diagnostické funkce. Každé soustrojí je napojené na sběrnici dat Arcnet. Každá stanice má svůj vizualizační systém, který udává informace o soustrojí jako např. teplota ložisek, automatické pochody, elektrické veličiny.

Veškeré úpravy v systému lze uskutečnit přímo v elektrárně.

## 14. Malá vodní elektrárna

Malá vodní elektrárna je energetické dílo. Vlastní výstavba začala v roce 1996, po ukončení veškerých stavebních prací na PVE. Malá vodní elektrárna je situována do sdruženého objektu, který se nachází v dolní nádrži PVE na kótě 776,61 m n. m. MVE slouží k výrobě elektřiny na odtoku vody z nádrže. O MVE a instalaci Francisovy turbíny do sdruženého objektu se uvažovalo již v přípravných pracích sdruženého objektu. V době výstavby byla provedena stavební připravenost. Vycházelo se z osazení přívodních potrubí s revizními šoupátky, česlicemi a odtokovým potrubím DN 700.

Řešení MVE muselo respektovat již realizované uspořádání. Nesmělo se zapomenout na přísné požadavky na ekologii provozu, dálkové ovládání z velínu PVE, bezobslužný, trvalý a bezporuchový provoz. Těmto požadavkům vyhovělo horizontální soustrojí Francisovy turbíny s výkonem 163 kW.

Francisova turbína je řešena jako horizontální, levotočivá s horním nátokem. Provozním uzávěrem je klapka s elektromotorem DN 400. Spirála turbíny je volná. Savka je plechový svařenec. Lopatky a oběžné kolo o průměru 400 mm jsou přesné odlitky z vysoce jakostního materiálu.

### Technické parametry:

- typ turbíny- Francisova F 15R
- maximální výkon- 163 kW
- roční výroba (předpokládaná)- 800 000 kWh
- hladina stálého nadržení- 1326,20 m n. m.
- průtok turbínou ( $Q_{nom}$ )- 400  $l s^{-1}$
- provozní obsah- 100-30%  $Q_{nom}$
- spád maximální- 47,22 m
- spád minimální- 36,10 m
- otáčky soustrojí- 1015  $min^{-1}$

- optimální účinnost- 89,6%
- průběžné otáčky soustrojí- 1850 min<sup>-1</sup>

## 15. Uvedení do provozu PVE Dlouhé Stráně

Uvedení do provozu bylo odstartováno ověřovacím provozem spodní nádrže v květnu roku 1992 a bylo ukončeno roku 1993.

V červenci roku 1993 bylo zahájeno první plnění horní nádrže. Objevily se průsaky přes zátky přivaděče a také v asfaltobetonovém těsnění na betonové konstrukci v horní nádrži, proto bylo nutné napouštění přerušit a odstranit závady. Poslední úpravy asfaltobetonového těsnění probíhaly v roce 1996.

Technologické zařízení PVE Dlouhé Stráně představuje dosažení úrovně absolutní české špičky. Výkon jednotkového reverzního soustrojí 325 MW představuje největší v Evropě a jeden z největších ve světě. Tomuto kvalitativnímu skoku také odpovídají potíže, které dílo provázely.

Dne 18. 12. 1993 byly odstartovány první zkoušky blokového transformátoru. Následně dne 20. 12. 1993 bylo poprvé roztočeno soustrojí TG 1 vodou z horní nádrže a tak elektrárna dodala první megawatty do sítě. Vše probíhalo podle plánu, nic nenasvědčovalo tomu, že dílo bude mít skluz. Dne 10. 6. 1994 došlo k havárii generátoru při přechodu z turbínového kompenzačního provozu na turbínový provoz, to způsobilo skluz ve výstavbě. Po odstranění závad dne 3. 7. 1994 se uskutečnilo první roztočení soustrojí.

Průběhu uvádění díla do provozu narušily dvě nová zjištění:

- tepelná roztažnost ramen hvězd generátoru způsobuje nepřipustné zatížení betonových konstrukcí,
- mezi nábojem a magnetickým věncem rotoru generátoru dochází ke ztrátě mechanického předpětí.

Závady bylo nutno vyřešit, aby byl bezpečný provoz uskutečněn. Na ramena byly doplněny teplotní kompenzace.

Po úspěšných komplexních zkouškách bylo dne 6. 2. 1996 uvedeno soustrojí TG 2 do provozu, následně dne 20. 6. 1996 bylo uvedeno také soustrojí TG 1 do provozu.

Mechanické vlastnosti jsou po úpravách mnohem lepší, než byly zpočátku navrhnuty. Provoz soustrojí je velmi spolehlivý a tichý. (Kopřiva a kol., 1998)

## 16. Význam díla

Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně plní především tyto funkce pro elektrotechnickou soustavu,

- funkci statickou- která zušlechťuje nadbytečnou energii v soustavě na energii špičkovou,
- funkci dynamickou:
  - funkce pohotovostní rezervy- elektrárna se zásobou vody v horní nádrži slouží jako rezerva,
  - podíl na frekvenci regulace v soustavě- v možném poklesu frekvence v síti se elektrárna svým výkonem podílí na pokrytí zatížení, v krátkém čase,
  - účast prudkých změn na pokrytí zatížení.
- kompenzační provoz- kdy elektrárna se podílí na regulaci napětí v síti.

V současnosti jsme svědky situací, kdy se zatížení v síti v krátkém čase prudce mění. Proto je významný podíl PVE na pokrytí prudkých změn zatížení, především v okamžiku vzrůstu zatížení v síti svým turbínovým provozem a v době poklesu zatížení v síti svým čerpadlovým provozem. Po připojení elektrizační soustavy do západoevropské soustavy UCPTÉ, kde jsme povinni dbát na předepsaná regulační pravidla v oblasti sald energií a okamžitých přenášených výkonů, význam toho díla ještě vzrost. Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně bude mít při funkci statické ještě větší význam především po zvýšení instalovaného výkonu v jaderných a parních elektrárnách nebo po přijetí komplexních regulačních opatření v celkovém energetickém systému.

Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně je mimořádně významná v účasti na pokrývání zatížení. (Kopřiva a kol., 1998)

## 17. Závěr

Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stáně patří k nejvýkonnější elektrárně v České republice, v roce 2005 se stala divem České republiky, sami občané si ji zvolili, přičemž soutěžila se stovkou míst s významnou historickou minulostí. Mezi občany panuje velká náklonost k této elektrárně, i když tomu tak z prvopočátku výstavby nebylo. Snahou bakalářské práce nebylo jen vypracovat práci, která by byla určena pro specializované pracoviště, ale také pro širší veřejnost.

Elektrická energie má jednu problematickou vlastnost nelze ji skladovat ve větší míře, proto se v rozváděcí síti udržuje vyrovnaná bilance mezi energií vyrobenou a spotřebovanou, důležitou úlohu v této regulaci plní vodní elektrárny, ale především přečerpávací elektrárny.

Přečerpávací elektrárny fungují na principu, že v noci se voda čerpá do horní nádrže, kdy energie je levná a přes den v době špičky se voda spouští přes turbíny do dolní nádrže a vyrábí tak elektřinu drahou. Dlouhé Stráně jsou ovládány z dispečinku v Praze, ten podává požadavky na spuštění elektrárny. Elektrárna se spouští obvykle denně. Někdy 2 x – 3 x, avšak se to nikdy neví dopředu, plán se realizuje každý den jiný. K okamžitému spuštění může dojít kdykoliv. Elektrárna slouží pouze jako vyrovnávací. Vyrovnává elektrické výpadky nebo nedostatky elektrické energie v síti. Pokud dojde k výpadku jakékoliv elektrárny v zahraničí např. Polsku, Německu, Slovensku, přijdou okamžitě na řadu Dlouhé Stráně, které tento výpadek vyrovnají.

Dlouhé Stráně z počátku neměli velkou oblibu a podporu. Po počátečních výkopových pracích došly finanční prostředky, které investor už nechtěl investovat, denně bylo potřeba tři sta tisíc korun. Uvažovalo se o zásypu. S postupem času se začaly dodávat peníze, stavba se mohla rozběhnout. Denně se prostavěly i 3 mil. korun. Důležitou úlohu při výstavbě hrálo životní prostředí společně s ekology. V obci vznikl spolek ekologů, který byl specializován přímo na výstavbu Dlouhých Strání.

Při výstavbě bylo stanoveno mnoho podmínek z hlediska životního prostředí. Vše bylo důsledně dodržováno, pokud bylo něco porušeno, tak jediné z nedůslednosti zaměstnanců, kteří byly razantně pokáráni. Jasně však bylo, že při výstavbě dojde k hrubému zásahu do krajiny, ale tento zásah byl napraven a revitalizován.

Hlavním požadavek byl, aby budovy elektrárny architektonicky zapadly do krajinného rázu Jeseníků, proto tyto budovy byly řešeny horským stylem. Veškeré pomocné výstavby, které byly realizovány pro potřeby zaměstnanců a podobně musely být zdemolovány a odstraněny.

Doba výstavby byla v rozsahu od roku 1978 do 1996, kdy byla úspěšně uvedena do provozu. Elektrárna se dostala do útlumu, který byl výjimečně pozitivní. V době útlumu se plán elektrárny zmodernizoval. Celková částka výstavby přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně se vyšplhala na 6 mld. korun včetně nákladů na uvedení krajiny do původního stavu.

Elektrárna se během 6 let provozu sama zaplatila. Při pomýšlení na roční zisk této elektrárny se tají dech.

Rušný život krásné, rozmanité krajiny v srdci Jeseníků vystřídal klid, přičemž hluboko v podzemí se odehrává orchestr v podobě dvou nejvýkonnějších reverzních turbín.

## 18. Seznam literatury a použitých zdrojů

**AUGUSTA**, Pavel (ed.). Velká kniha o energii. Praha: L.A. Consulting Agency, 2001, 383 s. ISBN 80-238-6578-1.

**STEJSKAL**, Karel. Mlýny na povodí (dolní) Oslavy. Vyd. 1. V Náměšti nad Oslavou: Městské kulturní středisko, 2012, 127 s. ISBN 978-80-260-1703-5.

**GABRIEL**, Pavel, František ČIHÁK a Petr KALANDRA. Malé vodní elektrárny. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998, 321 s. ISBN 80-01-01812-1.

**MELICHAR**, Jan. Hydraulické a pneumatické stroje, část vodní turbíny. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013, 145 s. ISBN 978-80-01-05283-9.

**MELICHAR**, Jan. Malé vodní turbíny. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01403-7.

**ŠTOLL**, Čestmír. Využití vodní energie. Praha, 1977.

**GABRIEL**, Pavel, Jitka KUČEROVÁ a František ČIHÁK. Malé vodní elektrárny. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1992. ISBN 80-01-00875-4.

**BŘEZINA**, Jan. Vodní turbíny. Vyd. první. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.

**MELICHAR**, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01808-3.

**QUASCHNING**, Volker. Obnovitelné zdroje energií. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3."

**ŠÍROVÁ-MOTYČKOVÁ**, Kamila a Jiří ŠÍR. Technické památky České republiky: mosty, železnice, přehrady, elektrárny, mlýny, opevnění, sklárny, doly a další. 1. vyd. Olomouc: Rubico, 2012. Naše země. ISBN 978-80-7346-141-6.

**BEDNÁŘ**, Josef. Turbíny: [malé vodní elektrárny]. Češkovice: Marcela Bednářová, 2013. ISBN 978-80-905437-0-6.

**PLCH**, Milan a Jan POHUNEK. Kam za technickými památkami: Morava. 1. vyd. Ilustrace Eva Obůrková. Brno: CPress, 2012. ISBN 978-80-264-0104-9.

**KOPŘIVA**, Miroslav. Generace Dlouhé Stráně. Šumperk: Pro společnost Energotis, s.r.o. vydal Jiří Mareček, 2009. ISBN 978-80-254-8157-8.

**KOPŘIVA**, Miroslav, Miloš URBÁŠEK, Petr SKLENÁŘ, Vladimír OCHOTNÝ, Petr MICHÁLEK, Čestmír HÖLL a Jan HÖLL. Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně v Jeseníkách. 3. Vyd. Šumperk: Pro společnost Energotis, s.r.o. 1998

**CHMELÁR**, Vladimír. Prečerpávacía vodná elektrárneň Čierny Váh. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1984.

## **Internetové zdroje obrázků**

### **URL 1**

Kolo mlýnské. www.cez.cz [online]. 17.2.2016 [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/04/kolo\\_1.html](https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/04/kolo_1.html)

### **URL 2**

koloběh vody. euroclean. [online]. 17.2.2016 [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: <http://euroclean.cz/clanky/kolobeh-vody-na-zemi/>

### **URL 3**

Francisova turbína. wikipedia [online]. 2015 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Francisova\\_turb%C3%ADna#/media/File:M\\_vs\\_francis\\_schnitt\\_1\\_zoom.jpg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Francisova_turb%C3%ADna#/media/File:M_vs_francis_schnitt_1_zoom.jpg)

### **URL 4**

PVE Dlouhé Stráně. WWW.CEZ.CZ [online]. Praha: cez, 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/dlouhe-strane.html>

### **URL 5**

Itaipu. Www.wikipedia.cz [online]. 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Itaipu\\_Dam#/media/File:ItaipuAerea2AAL.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Itaipu_Dam#/media/File:ItaipuAerea2AAL.jpg)

### **URL 6**

Kaplanova turbína. Www.wikipedia.cz [online]. 2015 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kaplanova\\_turb%C3%ADna#/media/File:S\\_vs\\_kaplan\\_schnitt\\_1\\_zoom.jpg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turb%C3%ADna#/media/File:S_vs_kaplan_schnitt_1_zoom.jpg)

### **URL 7**

Orlík. Www.novinky.cz [online]. Borgis, 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/ekonomika/337572-precerpavaci-elektrarna-na-orliku-by-vyuzila-prebytky-slunecnich-elektraren.html>

### **URL 8**

Ranche-St. Www.rekordysveta.cz [online]. 2011 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.rekordysveta.cz/vyhledavani.php?fulltext=id&hledej=164>

#### **URL 9**

Peltonova turbína. Obnovitelné zdroje energie [online]. Bratislava, 2016 [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.oze.stuba.sk/wp-content/uploads/2010/07/VO91.bmp>

#### **URL 10**

Elektrárna Černé jezero. Www.cez.cz [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/vyroci/cerne-jezero-slavi-80-let.html>

#### **URL 11**

Lünersee. Www.jittravelclub.cz [online]. Rakousko, 2016 [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: [http://jittravelclub.com/data\\_images/famous\\_places/lunersee/lunersee-12.jp](http://jittravelclub.com/data_images/famous_places/lunersee/lunersee-12.jp)

#### **URL 12**

Funkce PVE. Www.casopisstavebnictvi.cz [online]. Brno, 2007 [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: [http://www.casopisstavebnictvi.cz/sedmy-div-ceske-republiky\\_N435](http://www.casopisstavebnictvi.cz/sedmy-div-ceske-republiky_N435)

#### **URL 13**

Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice. Www.cez.cz [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/dalesice.html>

#### **URL 14**

Štěchovice. Www.cez.cz [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/stechovice.html#!&zoom=8>

#### **URL 15**

Štěchovice. Www.cez.cz [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/stechovice.html#!&zoom=8>

#### **URL 16**

Turlough Hill. Mountainews [online]. Irsko, 2016 [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://mountainviews.ie/summit/136/>



#### **URL 17**

Taum Sauk. Amusingplanet [online]. USA, 2013 [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://www.amusingplanet.com/2013/04/taum-sauk-hydroelectric-power-station.html>

#### **URL 18**

Ludington. Consumers Energy [online]. 2016 [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <https://www.consumersenergy.com/content.aspx?id=6985>

#### **URL 19**

Čierny Váh. Www.energie-portal.sk [online]. Bratislava: Property & Enviroment, 2015 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.energie-portal.sk/Dokument/slovenske-elektrarne-zverejnia-svoje-vysledky-za-minuly-rok-v-marci-101840.aspx>

#### **URL 20**

Hotel Dlouhé Stráně. HotelPension.cz [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: [http://www.hotelpension.cz/HotelContent.aspx?lang=cz&kraj=olomoucky&mesto=Locna\\_nad\\_Desnou&NazevHotelu=Hotel\\_Dlouhe\\_Strane](http://www.hotelpension.cz/HotelContent.aspx?lang=cz&kraj=olomoucky&mesto=Locna_nad_Desnou&NazevHotelu=Hotel_Dlouhe_Strane)

#### **URL 21**

Horní nádrž. Technet.cz [online]. Praha: iDnes.cz [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/dlouhe-strane-skrz-naskrz-reportaz-z-mist-kam-se-nepodivate-plo-/tec\\_reportaze.aspx?c=A070725\\_144313\\_tec\\_reportaze\\_rja](http://technet.idnes.cz/dlouhe-strane-skrz-naskrz-reportaz-z-mist-kam-se-nepodivate-plo-/tec_reportaze.aspx?c=A070725_144313_tec_reportaze_rja)

#### **URL 22**

Vodohospodářská mapa 1: 50000. heis.vuv.cz [online]. Praha [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: [http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp\\_heis\\_voda&TMPL=AJAX\\_MAIN&IFRAME=1&LEGEND\\_HIDE=0&QUERY\\_SELECTION=1&FULLTEXT\\_CHECKED=1](http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=AJAX_MAIN&IFRAME=1&LEGEND_HIDE=0&QUERY_SELECTION=1&FULLTEXT_CHECKED=1)

#### **Internetové zdroje**

**Štěchovice.** www.cez.cz [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/stechovice.html>

#### **Zahraniční internetové zdroje**

**Itaipu.** Cestovani.idnes.cz [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: [http://cestovani.idnes.cz/itaipu-a-nejvetsi-vodni-elektrarna-sveta-fpn-/kolem-sveta.aspx?c=A130327\\_114234\\_kolem-sveta\\_tom](http://cestovani.idnes.cz/itaipu-a-nejvetsi-vodni-elektrarna-sveta-fpn-/kolem-sveta.aspx?c=A130327_114234_kolem-sveta_tom)

**Rance-St.** Malo. Www.dlr.de [online]. 2010 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: [http://www.dlr.de/blogs/en/desktopdefault.aspx/tabid-6192/10184\\_read-49/searchtagid-342/](http://www.dlr.de/blogs/en/desktopdefault.aspx/tabid-6192/10184_read-49/searchtagid-342/)

**Lünersee.** www.jitravelclub.com [online]. Rakousko, 2016 [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://jitravelclub.com/places/lunersee.html>

**Turlough Hill.** Www.coltinfo.co.uk [online]. 2016 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.coltinfo.co.uk/turlough-hill.html>

**Taum Sauk.** www.amusingplanet.com [online]. 2013 [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://www.amusingplanet.com/2013/04/taum-sauk-hydroelectric-power-station.html>

**Ludington.** Consumers Energy [online]. 2016 [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <https://www.consumersenergy.com/content.aspx?id=6985>

## 19. Seznam obrázků

Obr. č. 1, Typy vodních kol .....	11
Obr. č. 2, Koloběh vody na Zemi .....	11
Obr. č. 3, Vltavská kaskáda .....	12
Obr. č. 4, Francisova turbína .....	15
Obr. č. 5, Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně .....	16
Obr. č. 6, Přečerpávací vodní elektrárna Itapiu .....	16
Obr. č. 7, Kaplanova turbína .....	17
Obr. č. 8, Přehrada Orlík .....	18
Obr. č. 9, Rance- St. Malo .....	18
Obr. č. 10, Peltonova turbína .....	19
Obr. č. 11, Černé jezero.....	20
Obr. č. 12, Lünersee.....	20
Obr. č. 13, Schéma přečerpávací vodní elektrárny .....	22
Obr. č. 14, Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice .....	23
Obr. č. 15, Přečerpávací vodní elektrárna Štěchovice .....	24
Obr. č. 16, Přelivné hrady .....	24
Obr. č. 17, Turlough Hill .....	25
Obr. č. 18, Horní nádrž Taum Saunk.....	25
Obr. č. 19, Protržená nádrž .....	26
Obr. č. 20, Přečerpávací vodní elektrárna Ludington.....	26
Obr. č. 21, Přečerpávací vodní elektrárna Čierny Váh.....	27
Obr. č. 22, Hotel Dlouhé Stráně.....	30
Obr. č. 23 a 24, Pokládka asfaltobetonu horní nádrže .....	36
Obr. č. 25, Horní nádrž.....	36
Obr. č. 26, Dolní nádrž v zimním období.....	38
Obr. č. 27, Tlakové přivaděče z profilu .....	39
Obr. č. 28, Podzemní elektrárna s falešnými okny v hloubce 300 m .....	40
Obr. č. 29, Sdružený objekt.....	41
Obr. č. 30, Rozběhové motory .....	42
Obr. č. 31, Řez soustrojím .....	46

## **20. Přílohy**

**Příloha č. 1,** Vodohospodářská mapa v měřítku 1:50 000

**Příloha č. 2,** Francisova turbína před vchodem do podzemní elektrárny

**Příloha č. 3,** Vchod do podzemní elektrárny

**Příloha č. 4,** Správní budova s informačním centrem

**Příloha č. 5,** Zapouzdřená rozvodna a venkovní vedení 400 kV

**Příloha č. 6,** Podzemní tunel k podzemní elektrárně

**Příloha č. 7,** Koruna hráze dolní nádrže

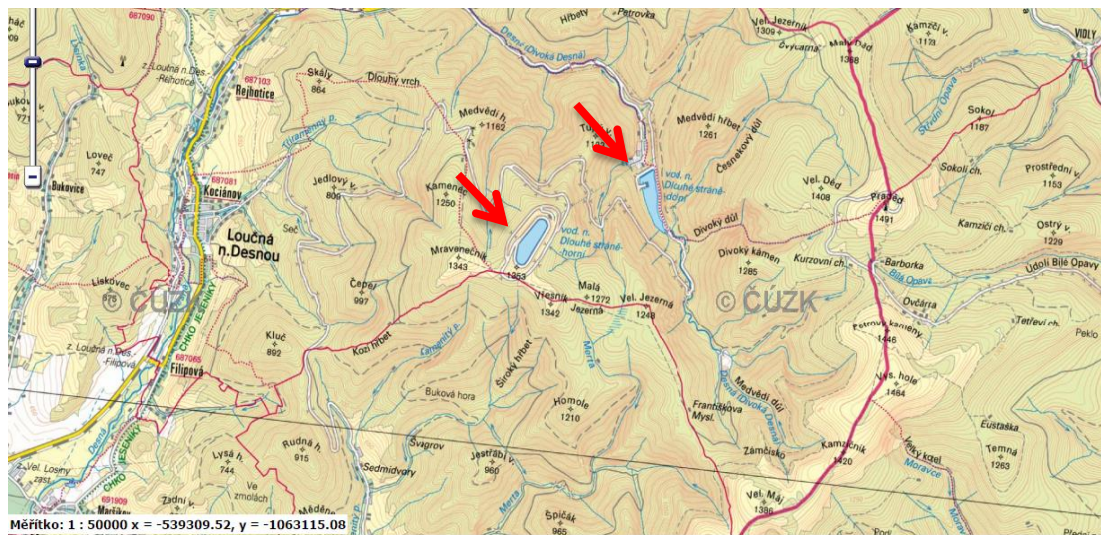
**Příloha č. 8,** Hora, pod kterou je v hloubce 300 m podzemní elektrárna

**Příloha č. 9,** Pohled na Dolní nádrž při pěší cestě na horní nádrž

**Příloha č. 10,** Pohled na Praděd

**Příloha č. 11,** Vyasfaltovaná horní nádrž se zachycením momentálního čerpání vody z dolní nádrže

**Příloha č. 12,** Horní nádrž s rozbouřenou hladinou vody



Příloha č. 1. Vodohospodářská mapa v měřítku 1:50 000 (URL 22)



Příloha č. 2. Francisova turbína před vchodem do podzemní elektrárny (Zdroj: Autor)



**Příloha č. 3. Vchod do podzemní elektrárny (Zdroj: Autor)**



**Příloha č. 4. Správní budova s informačním centrem (Zdroj: Autor)**



**Příloha č. 5. Zapouzdřená rozvodna a venkovní vedení 400 kV (Zdroj: Autor)**



**Příloha č. 6. Podzemní tunel k podzemní elektrárně (Zdroj: Autor)**



Příloha č. 7. Koruna hráze dolní nádrže (Zdroj: Autor)

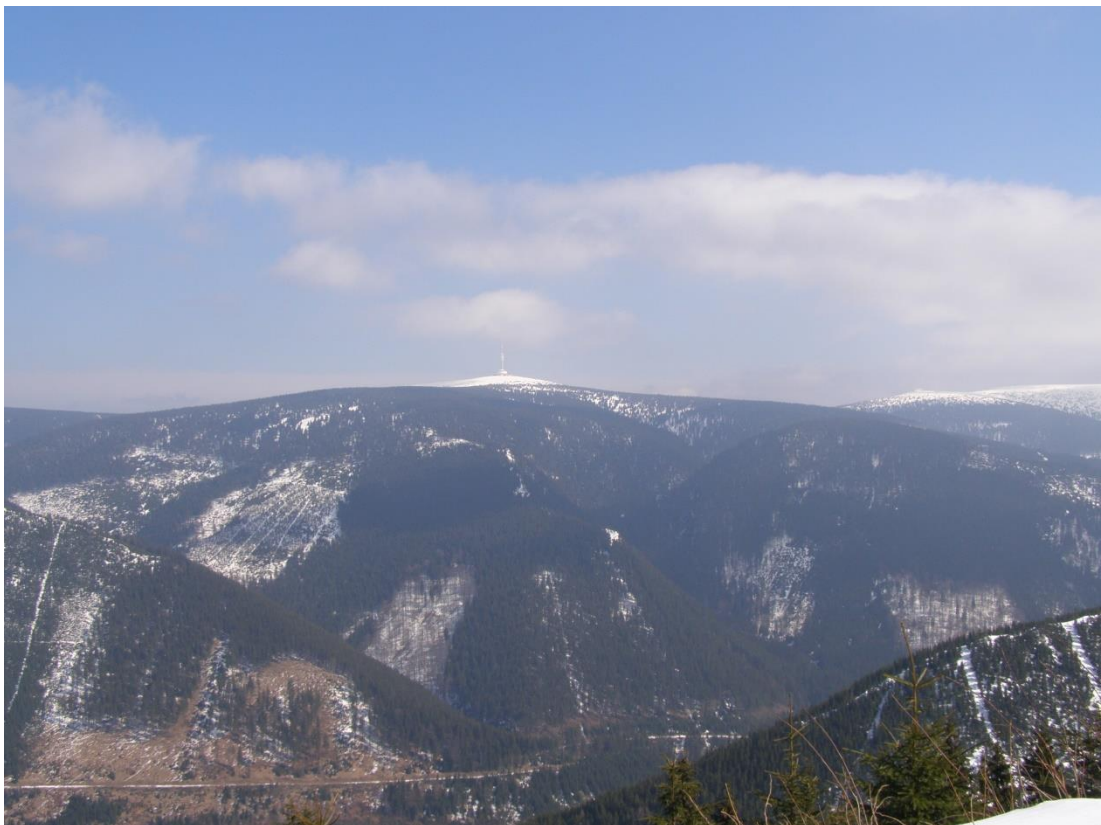


Příloha č. 8. Hora, pod kterou je v hloubce 300 m podzemní elektrárna (Zdroj: Autor)

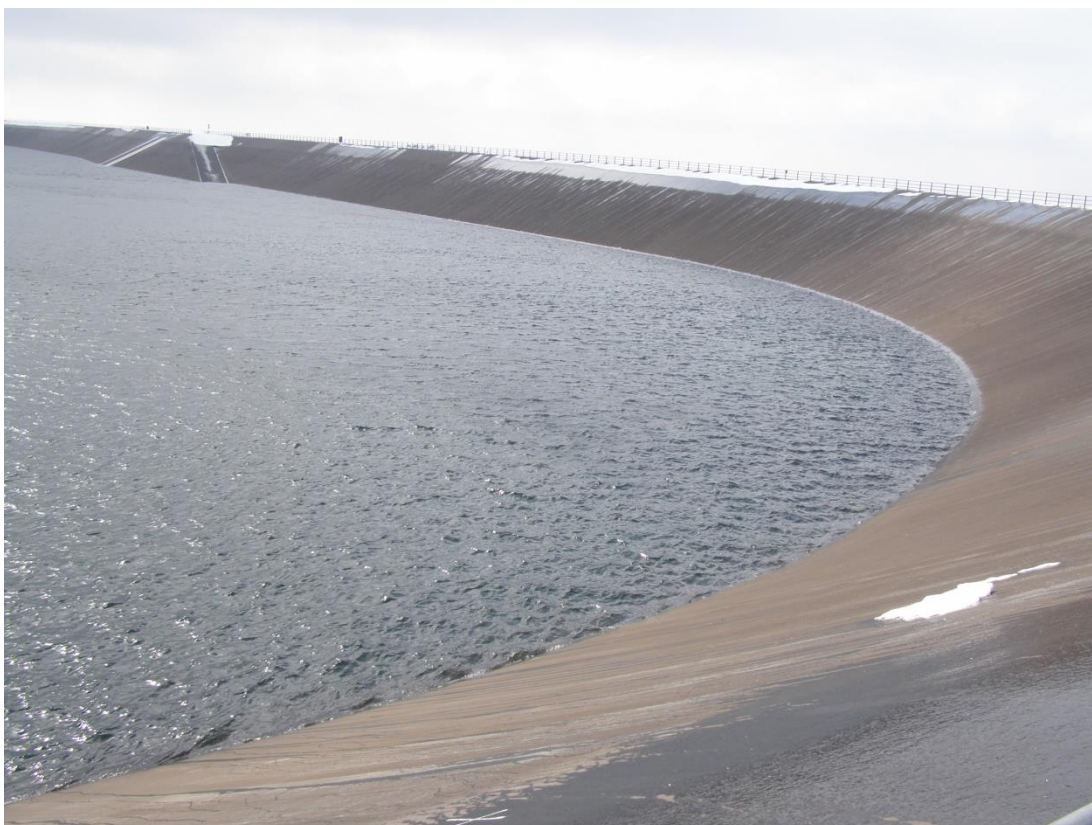




**Příloha č. 9. Pohled na Dolní nádrž při pěší cestě na horní nádrž (Zdroj: Autor)**



**Příloha č. 10. Pohled na Praděd (Zdroj: Autor)**



**Příloha č. 11. Vyasfaltovaná horní nádrž se zachycením momentálního čerpání vody z dolní nádrže (Zdroj: Autor)**



**Příloha č. 12. Horní nádrž s rozbouřenou hladinou vody (Zdroj: Autor)**