

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra aplikované fyziky a techniky

**Vznik, provoz a další perspektiva využití
vodního díla Lipno**

Diplomová práce

Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.

Autor: Jan Hommer

Anotace

Diplomová práce obsahuje podstatné informace o způsobu a možnostech využití vodní elektrické energie. V úvodní části je uvedena historie vzniku vodních děl, a úvod do problematiky fyzikálních základů přeměny energií. Dále je provedena rešerše dostupných informačních zdrojů o historii, technologii výroby elektrické energie a konstrukčním řešení vodních elektráren Lipno I a II, se zmínkou o nerealizovaném projektu přečerpávací elektrárny Lipno III. Závěr práce zhodnocuje vytyčené cíle a vytváří krátký souhrn.

Klíčová slova

Vodní elektrárna, přehrada, přeměna energie, Lipno I, Lipno II, Lipno III, povodeň.

Abstrakt

The thesis contains essential information on the methods and possibilities of using water power. The first part deals with the history of water works, and introduction to basic physics of energy conversion. Further research is made available sources of information on the history, technology, power generation and design of hydropower Lipno I and II, with mention of unrealized project pumping plant Lipno III. The conclusion evaluates the defined objectives and creates a short summary.

Keywords

Hydroelectric power, dam, energy conversion, Lipno I, Lipno II, Lipno III, flood.

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum 1.1.2013

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji panu PaedDr. Bedřichu Veselému, Ph.D., za velmi užitečnou metodickou a odbornou pomoc, kterou mi poskytl při zpracování této diplomové práce.

České Budějovice, 2012

Jan Hommer

OBSAH

OBSAH.....	5
1 Úvod	7
2 Cíl práce	8
3 Historie vodohospodářských staveb	9
3.1 Historie vodních děl v celosvětovém měřítku.....	9
3.2 Historie vodních děl u nás.....	10
3.3 Historie získávání energie z vody.....	10
4 Hydrotechnické stavby	13
4.1 Přehrady.....	13
4.2 Vodní elektrárny.....	13
4.2.1 Fyzikální základy výroby vodní el energie.....	14
4.2.2 Technologie výroby vodní energie.....	16
4.2.3 Konstrukce a využití turbín.....	18
4.2.4 Účinnost jednotlivých typů turbín.....	23
5 Historie vzniku vodní elektrárny Lipno	25
5.1 Návrhy projektových řešení vodního díla Lipno.....	28
5.1.1 Varianta A.....	29
5.1.2 Varianta B.....	29
5.1.3 Varianta C.....	29
5.1.4 Varianta D.....	30
5.1.5 Generální projekt.....	30
5.2 Vodoprávní výměř.....	31
5.2.1 Pozemní úpravy v zátopovém území.....	32
6 Vodní dílo Lipno I.	34
6.1 Technická stránka stavby Lipno I.....	36
6.2 Přehradní těleso.....	37
6.2.1 Konstrukce podzemní elektrárny.....	40
6.3 Využití a účel Stavby Lipno I.....	44
6.4 Modernizace elektrárny Lipno I v roce 2013.....	45
6.5 Souhrn technických údajů stavby Lipno I.....	46
7 Vodní dílo Lipno II.	48
7.1 Technická stránka stavby.....	48
7.1.1 Hráz Lipno II.....	48
7.1.2 Elektrárna Lipno II.....	50
7.2 Využití a účel stavby Lipno II.....	51

7.3	Souhrn technických údajů stavby Lipno II	52
8	Vodní dílo Lipno III – neuskutečněný projekt	53
9	Lipno jako prostředek proti povodním	56
	Závěr	63
	Seznam použité literatury	65
	Přílohy	68

1 Úvod

Tématem diplomové práce je vznik a provoz vodního díla Lipno a s ním spojená technologie výroby vodní elektrické energie. Vodní elektrárna, která je součástí tzv. *vltavské kaskády*, je velice významným zdrojem pro regulaci výkonu celostátní energetické soustavy. Energie vyrobená touto cestou, je také důležitým obnovitelným zdrojem. Vodní dílo Lipno je prvním článkem vltavské kaskády a hraje významnou roli v ochraně před povodněmi.

Důvodem, proč jsem si zvolil téma Vznik, provoz a další perspektiva vodního díla Lipno, je zájem o historii v mém regionu a získávání „čisté“ energie z obnovitelných zdrojů. Diplomová práce formou rešerše uvádí do problematiky výroby vodní elektrické energie a seznamuje s aktuálními informacemi o provozu vodního díla Lipno I a II.

Zvolením vhodných a dostupných témat, je vytvořen didakticky pojatý text zabývající se celou problematikou vodního díla Lipno. Pro názornost je doplněn o obrázky, tabulky a jiné přílohy.

V úvodní části je uvedena historie vzniku vodních děl a fyzikální základy výroby vodní elektrické energie. Další kapitola je věnována historii vzniku vodní elektrárny Lipno I. Zde jsou popsány jednotlivé návrhy projektových řešení vodního díla Lipno, a dále je zde popsána technická stránka stavby, její účel a využití. Následující kapitola je věnována vyrovnávací vodní elektrárně Lipno II a nerealizovanému projektu vodní elektrárny Lipno III.

Závěr diplomové práce je věnován zhodnocení úlohy vodní nádrže Lipno jako ochrany před povodněmi.

2 Cíl práce

Cílem práce je vytvoření didaktického textu dobře využitelného při výuce technologie výroby vodní elektrické energie a seznámení se vznikem a provozem vodního díla Lipno I a II. Vhodná témata pro výuku jsou uspořádána a upravena tak, aby byla názorná a srozumitelná. Stěžejní část práce tvoří úvod do problematiky fyzikálních základů přeměny energií, technologické postupy a konstrukční řešení vodních děl Lipno I a II, s cílem vysvětlit princip jejich činnosti. Doplnující informace tvoří názorné obrázky, tabulky a grafy.

Dalším vytyčeným cílem práce je zhodnocení úlohy vodního díla Lipno při ochraně před povodní, a seznámení s aktuálními informacemi o tomto vodním díle.

3 Historie vodohospodářských staveb

Voda a její využití je nedílnou součástí našich životů již od pradávna. V dnešní době se její potřeba prolíná velkým množstvím technických ale i jiných oborů. Již několik tisíc let př. n. l. se lidé snažili hromadit vodu či usměrňovat toky řek. K těmto účelům slouží vodohospodářské stavby.

Vodohospodářské stavby jsou objekty, které mají vliv na využívání vodních zdrojů. Voda je za pomoci těchto staveb zachycována, hromaděna, vzdouvána, usměrňována, čištěna nebo upravována. Jiné vodohospodářské stavby slouží k využívání vodní energie (vodní elektrárny), nebo k zamezení záplav a dalších nežádoucích účinků vody a vodních toků (přehradní nádrže). Při navrhování jakýchkoli vodohospodářských staveb je nutné využívat i znalostí z jiných inženýrských oborů (hydraulika, hydrologie, nebo stavební mechanika a mechanika zemin).

Jelikož se tato práce bude zabývat vznikem a provozem vodního díla Lipno, v dalších částech Vám přiblížím především poslední dva typy uváděných staveb.

Dělení vodohospodářských staveb:

- Hydrotechnické (vodní elektrárny, jezy, přehrady)
- Zdravotně inženýrské (čištění odpadních vod, úprava a doprava vody, jímání vody)
- Hydromeliorační (tyto stavby jsou využívány především v zemědělství - k odvodnění, závlaze či zadržení vody v krajině).

3.1 Historie vodních děl v celosvětovém měřítku

Již několik tisíc let před našim letopočtem si lidé uvědomovali potřebu jímání vody a usměrňování a korigování vodních toků. Počátek historie vzniku vodních děl můžeme datovat cca 3000 let př. n. l, kdy staří Egypťané vystavěli kamennou přehradu na řece Nil. Hlavním stavebním materiálem tehdejší doby byl kámen. Hlavní myšlenkou výstavby kamenné přehrady bylo využití velké hmotnosti kamenného materiálu, který prostřednictvím své váhy byl schopen odolávat zatížení hromadící se vody v přehradě. Většinou konstrukcí přehrady bylo zhruba 100000 tun šterku a kamene a celá konstrukce neobsahovala žádný spojovací materiál v podobě cementu. Bylo uvažováno, že zkosení a hmotnost konstrukce bude dostačující k zajištění stability. Během několika let však docházelo k postupnému prosaku vody materiálem přehrady a následně i k jejímu přetečení. Jakmile dosáhla voda hřebenu přehrady, došlo i k jejímu zborcení.

Druhý typ přehrady v podobě zemní hráze byl vystavěn kolem roku 2000 př. n. l. v Mezopotámii, severně od Bagdádu přes řeku Tigris. Přehrada byla postavena z hlíny

a dřeva, byla vodotěsná s hlavní stěnou tvořenou především z jílu. Důvodem výstavby bylo zabránění erozi a omezení hrozby povodní. Dalším neméně podstatným záměrem bylo, odklonit tok řeky a využít vodu k zavlažování plodin.

Starí Římané byli první civilizací, která kolem roku 100 n. l., vystavěli první přehradní hráz z betonu a malty. Důkazem je dnes již jen nález velkého kusu betonu mezi pozůstatky přehrady na Ponte di San Mauro. Tato velká betonová deska sloužila zřejmě jako jádro přehrady a byla obklopena vnější vrstvou zdiva. Do 13. století je pak datována první zmínka o obloukové konstrukci přehrad. Z 18. století pak pochází první knižní publikace o navrhování přehrad. Zasloužil se o ní Španěl Don Pedro Bernardo Villareal de Berriz. Kniha obsahovala návody, jak správně navrhovat přehrady a zaváděla nové myšlenky, jako třeba přehradní hráze s několika oblouky. Historie vzniku moderních přehrad se pak odvozuje od výstavby Hooverovy přehrady na řece Colorado v USA roku 1936. Od přelomu 19. a 20. století a dále, pak dochází k rychlému vývoji a zdokonalování konstrukcí přehrad. Výstavba těchto děl je od této doby spojována i s využitím vodní energie k získávání elektrického proudu a vznikem vodních elektráren.

3.2 Historie vodních děl u nás

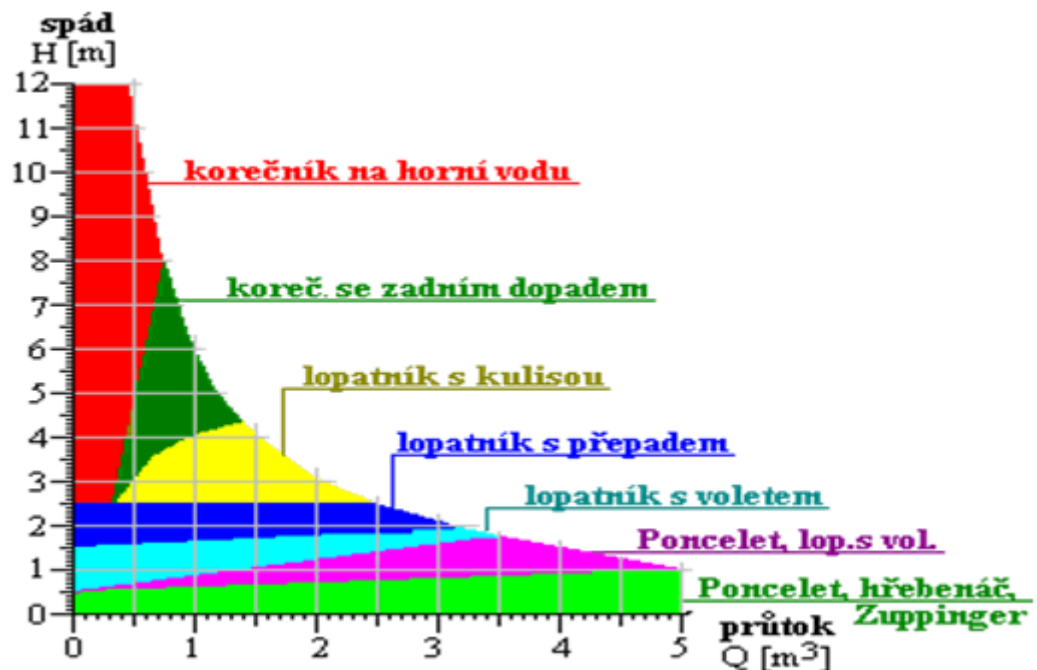
Uvědomění si síly a možností využití vodní energie i důležitosti regulace a usměrňování vodních toků, za pomoci výstavby vodních děl je u nás spojováno s obdobím středověku. Již ve 14. století za vlády Karla IV., byla postavena nedaleko obce Strážný v Jižních Čechách přehrada Strážný. Tato přehrada na svou dobu disponovala neobyčejnými rozměry. Byla dlouhá přes 500 m, v patě hráze měřila 51 m, v koruně hráze 15 m a dosahovala výšky cca 15 m. Bohužel do současné doby se dochovalo jen torzo hráze, přesto je toto vodní dílo považováno jako důkaz výstavby přehradních nádrží u nás již v době středověku. Za jednu z nejstarších dochovaných hydrotechnických staveb u nás, můžeme považovat údolní nádrž Jordán, která byla vybudována jako zásobárna vody města Tábor. Tato hráz Košínského potoka byla vybudována v roce 1492 [39], [40]

3.3 Historie získávání energie z vody

Vodní energie je síla odvozená od energie padající vody, která může být využita pro užitečné účely. Tento typ energie patří k nejstarším energetickým zdrojům. První využití vodní síly byly datovány do období starověkého Egypta a Mezopotámie, kde byla využívána především k zavlažování, a později i na provoz různých mechanických zařízení. Mezi lety 3000 – 2000 před naším letopočtem bylo v Řecku vynalezeno vodní kolo. Efektivně však začali využívat vodní kolo až Chaldejci cca 600 let před naším letopočtem. Kupříkladu můžeme uvést jejich zavlažovací kanály, kdy pomocí vodního kola využívali vodní energii ke vzdouvání vody do těchto kanálů. V následujících letech

pak již nedocházelo k žádnému výraznému vývoji využívání vodní energie, pouze k zdokonalování vodních kol.

„Vodní kolo je jedním z nejstarších strojů, které začal člověk pro pohon využívat. Jde o pomaluběžné motory, ve kterých (až na výjimky) účinkuje voda svou polohovou energií. Dlouhá léta se držela ustálená koncepce, která vycházela z výsledků ověřených v praxi. Bylo to dáno tím, že kola stavěli odborní řemeslníci - sekerníci. Teprve až mnohem později začala být vodní kola předmětem zájmu inženýrů a vědeckých pracovníků. Začaly se na nich uplatňovat zákonitosti hydrodynamiky a konstrukční výpočty. To přispělo ke zvýšení jejich účinnosti. Bohužel k tomu došlo již v době nástupu prvních vodních turbín. Ty (částečně vlivem módní vlny), začaly vodní kola houfně vytlačovat. Ne vždy to bylo ku prospěchu věci. Na přelomu devatenáctého a dvacátého století je možno považovat vývoj základních typů vodních kol za ukončený a byl znám rozsah jejich použitelnosti. Účinnost je tím vyšší, čím větší je ta část spádu po kterou voda v kole působí svou vahou oproti té části spádu, který byl nutný na získání vstupní rychlosti vody do kola. Jedná se o účinnost na hřídeli vodního kola. „ [22]



Obr. č.1 Graf využití jednotlivých druhů vodních kol, převzato [22]

Typ kola	Účinnost v (%)
Korečník na horní vodu s obráceným chodem	až 85
Korečník na horní vodu obyčejný	65 - 80
Korečník se zadním dopadem	65 - 75
Lopatník s kulisou	65 - 70
Lopatník s přepadem	60 - 75
Lopatník s voletem	45 - 65
Zuppingerovo kolo	70 - 78
Ponceletovo kolo	60 - 65
Sagebienovo kolo	Až 80
Stříkový hřebenáč	30 - 35
Belík (valach)	25 - 30

Tabulka č.1 Účinnosti jednotlivých druhů vodních kol, převzato a upraveno [22]

Od počátku 20. Století je termín vodní energie spojován především s vývojem vodních elektráren.

Stručný přehled vývoje využívání vodní energie

- Staroegyptská říše a Mezopotámie – využívání vodní energie k zavlažování
- Starověké Řecko – využívání vodních hodin, vodní kola k mletí obilí
- Polovina 17. století – začátek vývoje moderní vodní turbíny
- Polovina 18. století Bernard Forest de Belidor napsal Architecture Hydraulique
- Rok 1881 Niagarské vodopády – městské pouliční lampy napájeny z vodní energie
- Rok 1882 - jako první na světě začala fungovat elektrárna na Fox River v Appletonu, Wisconsin
- Rok 1901 – první federální zákon o využívání vodní energie
- Přelom 19 – 20 století první vodní elektrárny u nás

4 Hydrotechnické stavby

4.1 Přehrady

Jelikož průtok našich vodních toků není nějak zvlášť vysoký a v průběhu roku se dosti liší, nejčastějším důvodem stavby přehrad u nás, bylo zabezpečení dostatečného množství vody v průběhu celého roku. Vodní nádrže zásobovali města a vesnice pitnou vodou v jakémkoliv ročním období. V dnešní době je mnohem více diskutována potřeba přehrad pro ochranu před povodněmi a využití pro potřeby energetiky, jako obnovitelných zdrojů vodní energie.

Typy hrází, využívané k přehrazení vodních toků:

a) Zemní hráze

- Sypané
- Naplavované
- Balvanité

b) Betonové, železobetonové, zděné

- Gravitační
- Gravitační lehčené
- Pilířové
- Klenbové

4.2 Vodní elektrárny

Vodní energie je technicky využitelná kinetická, potenciální nebo tepelná energie vody. V dnešní době se nejvíce využívá přeměny tohoto typu energie ve vodních elektrárnách na elektrickou energii. I přes to, že celkový poměr výroby elektrické energie ve vodních elektrárnách u nás činí k celkové výrobě elektrické energie jen velice malé procento (v roce 2010 to bylo zhruba 4 %), tvoří vodní elektrárny důležitou součást naší elektrifikační soustavy. Vodní elektrárny jsou u nás stále častěji využívány jako jeden z obnovitelných zdrojů výroby elektrické energie. V současné době tvoří zhruba 37 vodních děl zhruba 83 % obnovitelné energie skupiny ČEZ. [41], [42]

4.2.1 Fyzikální základy výroby vodní el energie

Elektrická energie se ve vodních elektrárnách vyrábí za pomoci síly vody a to přeměnou potenciální energie v kinetickou. Přeměnou energie polohové, kterou můžeme definovat každé těleso v tíhovém poli Země, v energii pohybovou, kterou těleso získává, pokud je uváděno do pohybu (v našem případě volným pádem). Voda dopadající na lopatky turbíny pak díky své energetické změně koná mechanickou práci. Z hlediska zákona zachování mechanické energie pak kinetická energie roste na úkor potenciální. V případě, že působí na tělesa třecí nebo odporové síly, je práce vykonaná těmito silami rovna úbytku mechanické energie a současně rovna přírůstku vnitřní energie těchto těles. Mechanická energie je pak ve vodních elektrárnách následně transformována na energii elektrickou. Práce a energie spolu tedy velice úzce souvisí, ale nejedná se o stejné veličiny. Energie charakterizuje stav soustavy, zatímco práce charakterizuje děj, při němž nastává změna energie.

Na principu vodní elektrárny si lze tedy velice jednoduše vysvětlit princip změny energie a konání práce. Jelikož je voda nad elektrárnou výše než turbína má určitou polohovou energii, ta charakterizuje stav vody. Při průtoku vody turbínou voda přichází o svou potenciální energii a roste její energie kinetická, přitom koná práci – tedy otáčí turbínou, ta pak pohání generátor a mění mechanickou práci v elektrický proud. Roztáčení turbíny je děj, při němž se mění potenciální energie vody na elektrickou energii. Soustrojí turboalternátoru má zpravidla svislou osu. Používají se většinou alternátory, jejichž rotor tvoří elektromagnet s více póly. Nebo se mezi turbínu a alternátor zařazuje mechanický převod, který upravuje frekvenci otáčení rotoru alternátoru.

Potenciální energie (Polohová energie) – E_p je skalární veličina a její jednotkou je **1J** (Joule).

V praxi je důležitá tíhová potenciální energie – to je energie, kterou má těleso v tíhovém poli Země. K určení E_p je třeba zvolit tzv. **nulovou hladinu potenciální energie**, která bývá v praxi spojována s rovinou povrchu země. [44]

Pro tuto hladinu platí: $E_p = 0 \text{ J}$

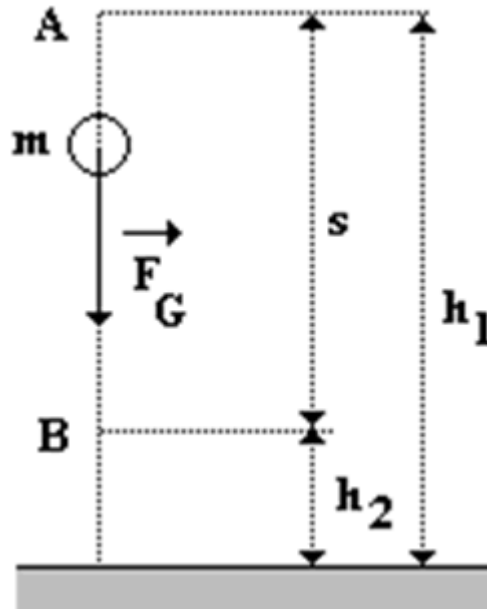
Tíhová potenciální energie ve výšce h nad touto hladinou je pak dána vztahem (1):

$$E_p = m \cdot g \cdot h , \quad (1)$$

Úbytek potenciální energie při volném pádu je pak dán jen hmotností, tíhovým zrychlením a počáteční a konečnou výškou. Na tvaru trajektorie, ani na její délce nezávisí.

Práce W vykonaná touto silou je pak dána vztahem. Uvažujeme-li místo tělesa hmotný bod o hmotnosti m , ten padá volným pádem v tíhovém poli Země g . Na hmotný bod působí tíhová síla F_G a hmotný bod urazí dráhu s , mezi body A a B. Tíhová síla, jejíž směr má směr trajektorie hmotného bodu vykoná práci W danou vztahem (2). [44]

$$W = F_G \cdot s = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2), \quad (2)$$



Jelikož bod A je ve výšce h_1 a bod B ve výšce h_2 nad povrchem Země, práce, kterou vykoná tíhová síla se rovná změně potenciální energie hmotného bodu, jak vyplývá ze vztahu (3).

$$\Delta E_p = W = E_{p1} - E_{p2} = m g h_1 - m g h_2, \quad (3)$$

Kinetická energie (pohybová energie) - E_k je skalární veličina, která charakterizuje pohybový stav tělesa a je definována vztahem (4). Její jednotkou je **1J** (Joule). [43]

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, \quad (4)$$

Práce W je pak určena mírou změny kinetické energie.

Pokud bylo těleso původně v klidu pak, platí vztah (5):

$$W = E_k, \quad (5)$$

Odvození vzorce:

podle 2. pohybového zákona se hmotný bod pohybuje se zrychlením:

$$a = F/m \quad (F = m \cdot a)$$

a urazí dráhu :

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

na dráze vykoná síla F práci W :

$$W = F \cdot s$$

po dosazení tedy platí vztah (6):

$$W = F \cdot s = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a \cdot t)^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, \quad (6)$$

Při změnách kinetické energie je pak práce W rovna výslednici působících sil, dle vztahu (7):

$$W = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1}, \quad (7)$$

Množství využitelné energie je závislé na výškovém rozdílu hladin a na objemu protékající vody. Proto, aby bylo možné využít jakéhokoliv vodního toku, je nejprve nutné vytvořit výškový rozdíl hladin.

4.2.2 Technologie výroby vodní energie

Výškového rozdílu hladin je možné dosáhnout výstavbou jezů pro nízkotlaké elektrárny nebo přehrad pro střednětlaké či vysokotlaké elektrárny. Princip výroby elektrické energie spočívá v roztáčení vodní turbíny proudem vody. Tato turbína pak pohání elektrický generátor, který vytváří elektrickou energii. Vodní elektrárny můžeme dělit dle různých hledisek:

Dělení dle přívodu vody k turbínám:

- Jezové (průtočné)
- Derivační (náhonové)
- Přehradní (akumulační)
- Přečerpávací (mají dvě nádrže)
- Přílivové

Dělení dle tlaku proudící vody:

- Nízkotlaké - spád vody do 20 m (spádu 10- 20 m lze dosáhnout pomocí výstavby jezů)
- Střednětlaké - spád vody do 100 m (spádu okolo 100 m lze dosáhnout výstavbou přehrad)
- Vysokotlaké - spád vody nad 100 m

Dělení dle použité technologie:

- Vodní kolo
- Bánkiho turbína
- Francisova turbína
- Kaplanova turbína
- Peltonova turbína

Výhody vodních elektráren

- Využití obnovitelných zdrojů energie
- Nevytváří odpad a jejich provoz minimálně znečišťuje životní prostředí
- Nenáročnost na údržbu i obsluhu
- Rychlé zprovoznění a možnost běžet v různých dobách dle potřeby (pokrytí okamžitých nároků na výrobu energie)
- Přehradní hráz slouží i jako ochrana před povodněmi
- Přehradní nádrž slouží i k jiným účelům (zdroj užitkové či pitné vody, rekreační účely)

Nevýhody vodních elektráren

- Nutnost budování velkých přehrad, a tím zatopení rozsáhlé části území.
- Změny krajinného rázu a ekosystému
- Nutnost výstavby cest pro přirozený tah ryb
- Nutnost budování plavebních komor
- Závislost na stabilním průtoku vody
- Nelze je stavět všude
- Přehradní nádrže časová a ekonomická náročnost výstavby
- Riziko havárie

4.2.3 Konstrukce a využití turbín

4.2.3.1 Francisova turbína

V roce 1848 se podařilo vytvořit Jamesi B. Francisovi velice efektivní vodní turbínu, která je do dnes často využívána. Efektivita této vodní turbíny dosahuje 90 %. Vývoj této turbíny můžeme považovat za jeden z mezníků vývoje moderních vodních turbín. Metody výpočtů Jamese B. Francise se staly součástí vývoje velice efektivních turbín. Použitím těchto měřících metod můžeme dnes navrhnout maximálně efektivní vodní turbíny, pro konkrétní typy instalací. Využití Francisových turbín je vhodné především u střednětlakých elektráren a přečerpávacích elektráren, kde je možné turbínu zapojit jako pumpu. Dvě Francisovy turbíny využívá například přečerpávací elektrárna Dlouhé stráně, ale i elektrárna Lipno I.

Francisova turbína je přetlaková turbína, což znamená, že pracovní kapalina během své cesty strojem mění tlak. Při tom odevzdá svou energii. Pro udržení směru a regulaci toku vody jsou nutné rozváděcí lopatky. Rotor turbíny se nachází mezi vysokotlakým přívodem a nízkotlakou savkou většinou v patě přehrady. Vstupní potrubí se postupně zužuje. Pomocí rozváděcích lopatek je voda směřována na rotor. Jak voda prochází rotorem, její rotační rychlost se zmenšuje a zároveň odevzdává energii rotoru. Tento efekt přispívá k efektivitě turbíny. Výstup z turbíny je tvarován tak, aby byla rychlost výstupní vody co nejnižší. [23]

Uvést můžeme dva typy Francisovy turbíny rozdělené dle uložení hřídele:

- horizontální turbína
- vertikální turbína

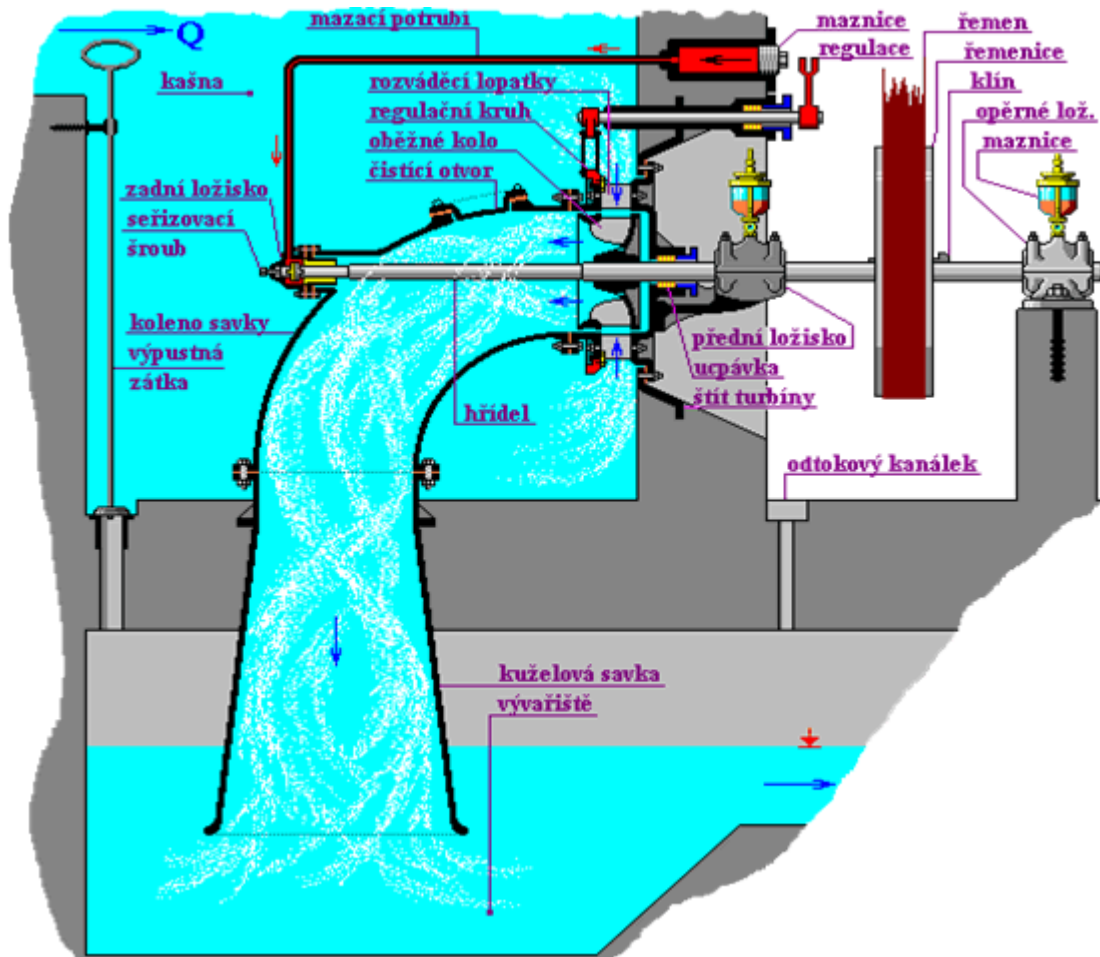
Dále je můžeme rozdělit na:

- kašnové
- dvojčité
- spirální
- kotlové

Francisova horizontální turbína:

Tento typ turbíny může mít variantu kašnovou nebo spirální. Kašnová má pak dvojí řešení savky (suchou nebo mokrou). Vyráběli se v různých variantách (typových řadách). Pro každý spád a průtok se pak našla vyhovující varianta či kombinace různých velikostí a typových řad. Tento typ Francisovy turbíny se pak používal pro spády 2-8 m při malém nebo středním průtoku (100-2000 l/s). Vzhledem k tomu, že horizontální typ

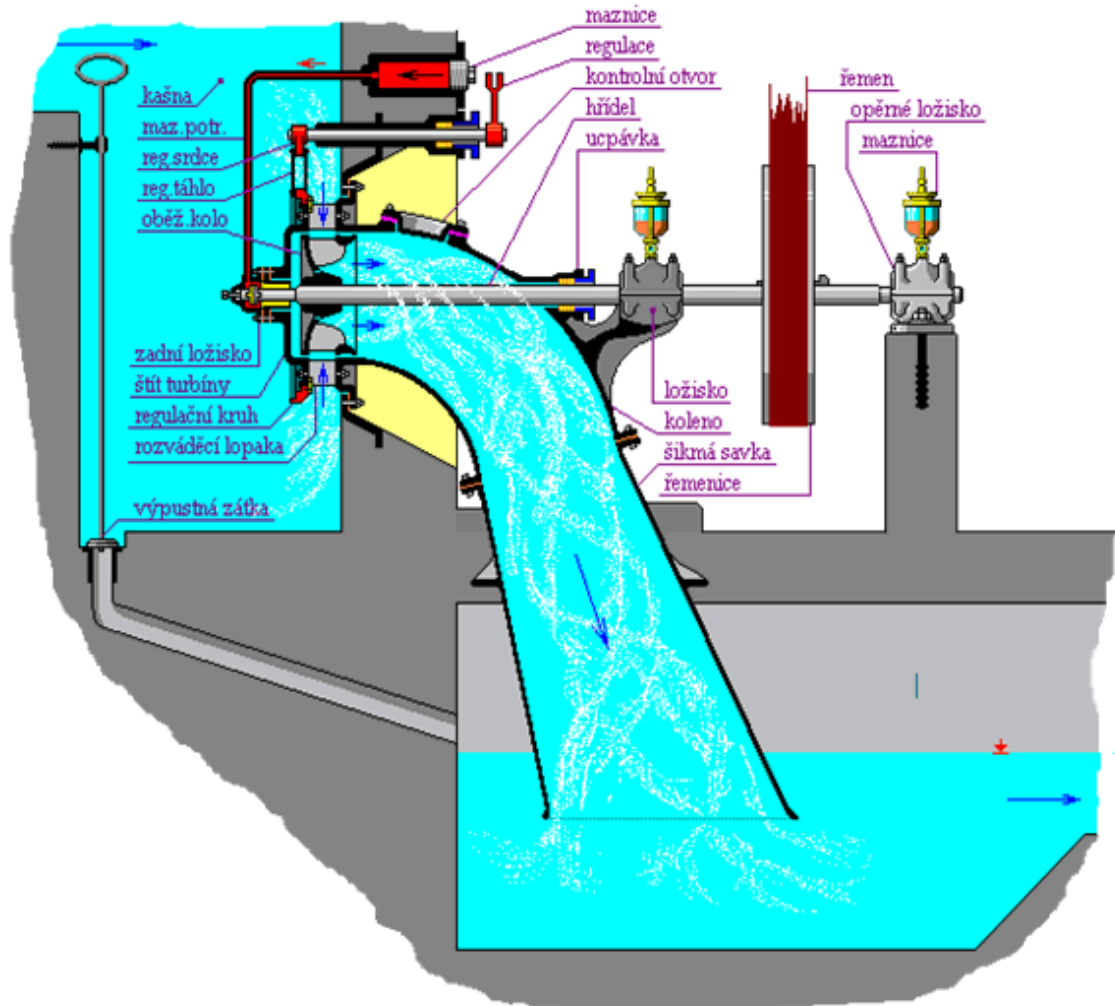
turbíny má o něco menší účinnost byl instalován jako vodní pohon především u drobných živnosti, mlýnů nebo pil. Dodnes tento typ vodní turbíny můžeme najít u pár malých vodních elektráren.



Obr. č. 2 Horizontální Francisova turbína s mokrou savkou, převzato [22]

„Při použití této turbíny je nutné vybudovat dostatečně velké vývařiště hned pod kašnou. V čelní nebo v boční stěně kašny je zabetonovaný tzv. pozední kruh. V něm je zasazený štít, nesoucí hlavní ložisko a čepy natáčivých rozváděcích lopatek. Uvnitř kašny jsou konce lopatkových čepů spojené litinovým prstencem. K tomuto prstenci je přišroubované koleno savky a po jeho obvodu se otáčí regulační kruh. Regulační hřídel prochází přes stěnu kašny do strojovny. Hřídel je natáčen ručně, otáčkovým nebo hladinovým regulátorem. Průchod hlavního hřídele do vodního prostoru bývá utěsněn, veden hlavním ložiskem ve štítě a nesen opěrným ložiskem na betonovém základu. Turbíny s lehkým oběžným kolem vystačí se dvěma ložisky. Více namáhané turbíny musí mít navíc ještě zadní opěrné ložisko, které podpírá hřídel až v kolenu savky, jak je znázorněno **na obrázku č. 2**. K mazání ložiska je použito dlouhé potrubí vedoucí ze

speciální maznice. Hřídel procházející prostorem kolenové savky narušuje proudění, a proto tyto turbíny mají nižší účinnost než jednodušší turbíny s letmo uloženým oběžným kolem bez zadního ložiska. Savka ústí do vývařiče pod kašnou. Její okraj musí být i při zastavené turbíně pod hladinou., [22]

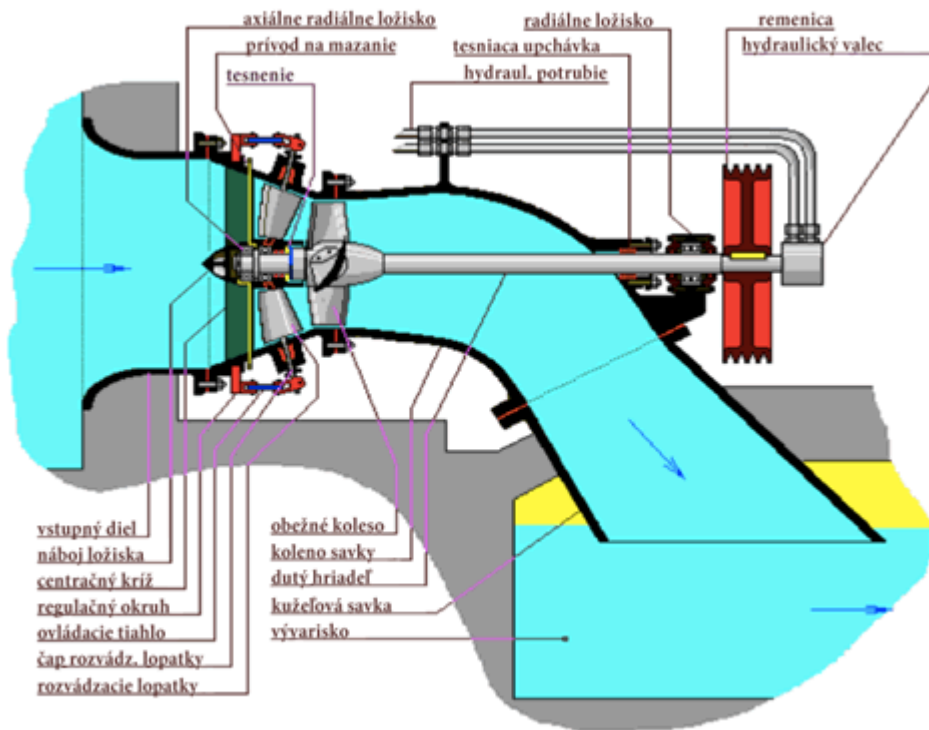


Obr. č. 3 Horizontální Francisova turbína se suchou savkou, převzato [22]

Tato varianta se liší především tím, že není nutné zřizovat vývařiče. Má taky své opodstatnění tam, kde odpadní kanál vede pod strojovnou. Její výhodou je, že turbína zabírá v kašně mnohem menší místo, tak je možné zbudovat méně objemnou kašnu a zbývá zde dostatek prostoru pro opravy. Naopak nevýhodou této varianty je, že alespoň jedno ložisko jeho turbíny musí být vždy umístěno pod vodou.

4.2.3.2 Kaplanova turbína

Kaplanova turbína vyobrazená na obr. č. 5, je axiální přetlaková turbína s velmi dobrou možností regulace. Proto jsou využívány především v místech, kde není možné zajistit stálý průtok a spád. Tato turbína byla vynalezena profesorem brněnské techniky Viktorem Kaplanem, který v letech 1910-1912 vynalezl nový tvar oběžného kola. V dalších letech se jeho studentům podařilo vyřešit problém s kavitací a Kaplanova turbína se stala jednou z nevýznamnějších vodních turbín využívaných v elektrárnách po celém světě. Od staršího typu Francisovy turbíny se liší především počtem lopatek s možností regulace náklonu, tvarem oběžného kola a vyšší účinností. Její výroba je však mnohem dražší a složitější. Je využívána především pro elektrárny s velkým průtokem a malým spádem. V závislosti na rozdílu hladin může být instalována s horizontální nebo vertikální osou otáčení. [22], [23]



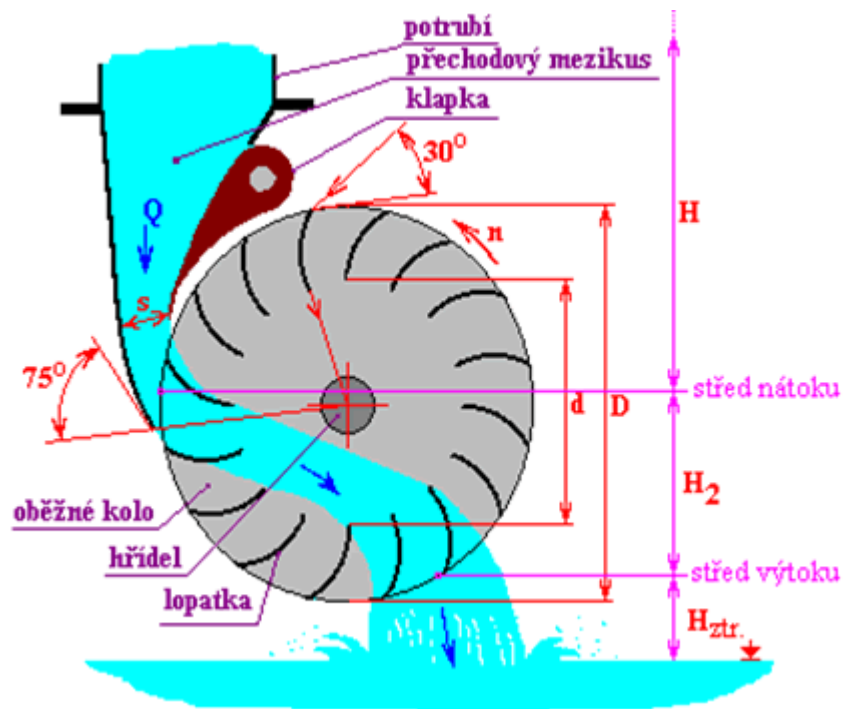
Obr. č. 5. Kaplanova turbína, převzato [22]

4.2.3.3 Bánkiho turbína

Bánkiho turbína je velice jednoduchá rovnotlaká vodní turbína, jak je patrné z obr. č. 6. Je využívána především v malých vodních elektrárnách, kde využití složitějších a dražších vodních turbín typu Francisovy a Kaplanovy turbíny převyšuje ekonomicky výhodné náklady na výstavbu. Bánkiho turbína je i amatérsky zhotovitelná. Oběžné kolo Bánkiho turbíny je tvořeno dvěma kruhovými deskami, mezi nimiž jsou jednoduché lopatky. Kolo je uloženo ve skříni, z níž z jedné strany přitéká usměrněný proud vody. Voda přes lopatky vtéká dovnitř kola a odtud opět přes lopatky vytéká na

druhé straně skříně ven. Při každém průtoku lopatkami odevzdá část své energie. Její energetická účinnost se pohybuje okolo 70- 85 %.

Nevýhodou tohoto typu turbíny je její ztracený spád, který vzniká výškovým rozdílem mezi spodní hladinou toku a kolem turbíny. Výhodou naopak je, možnost práce s pitnou vodou, jelikož všechny ložiska jsou uloženy mimo spád vody. Další nespornou výhodou této turbíny je, že se může točit i bez proudu vody, takže nevzniká odpor. To umožňuje široké využití např. u přečerpávacích elektráren nebo při zkombinování s jinými turbínami. [22], [23]

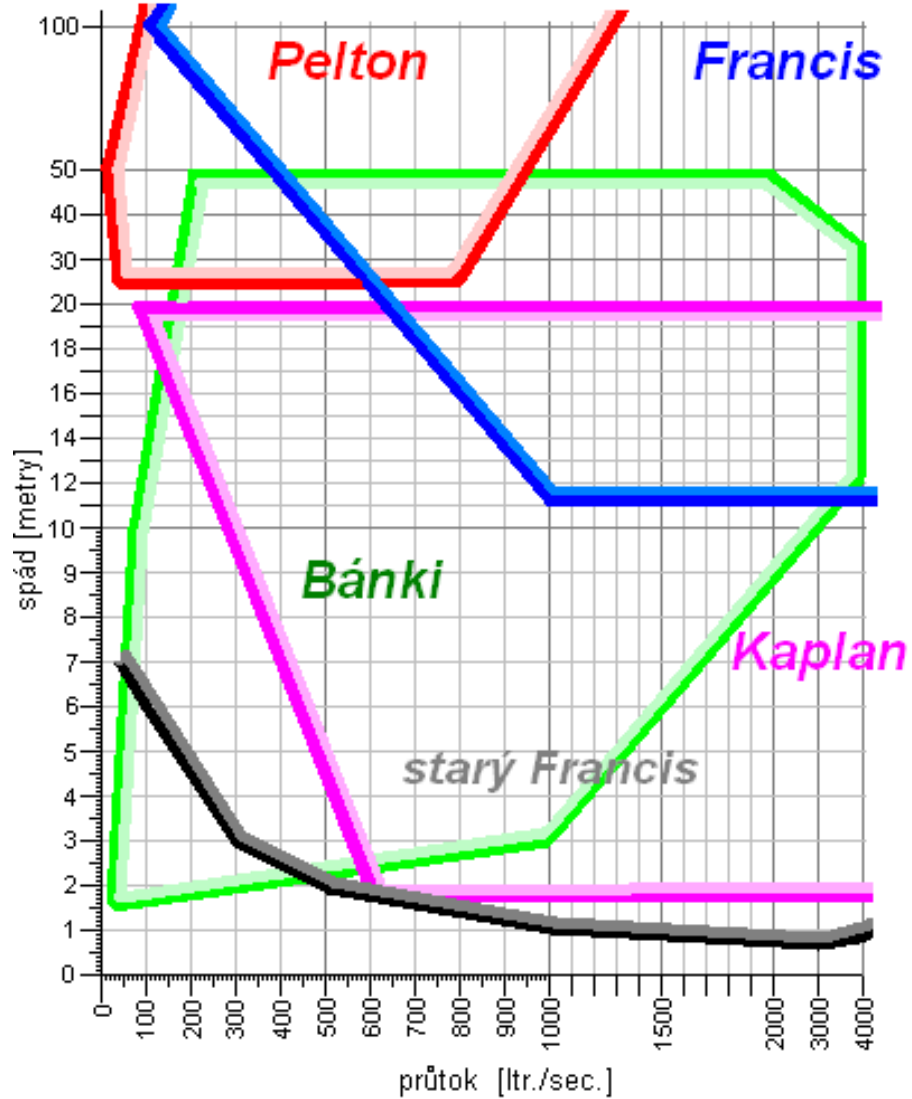


Obr. č. 6. Bánkiho turbína, převzato [22]

4.2.4 Účinnost jednotlivých typů turbín

Nejvyužívanějšími typem turbín v dnešní době jsou turbíny Kaplanova a Francisova, oba typy jsou instalovány u větších vodních děl. V malých vodních elektrárnách pak převažuje turbína Bánkiho. To znamená, že každý typ turbíny není vhodný pro všechny říční podmínky. Při výběru turbíny pro výstavbu vodního díla je nutné vzít v úvahu mnoho okolností, především velikost vodního díla, uvažovaný využitý spád a průtok. Nejen na samotné konstrukci turbíny závisí její účinnost, důležitý je také správný výběr turbíny pro uvažované podmínky v projektu vodní elektrárny. Dnes máme již možnost výroby různých druhů turbín modifikovatelných přesně dle potřeb každého vodního díla. Jiný typ turbíny si vyžádají vodní elektrárny akumulární, jiný typ elektrárna přečerpávací. Jiný typ turbíny si vyžádá malá vodní elektrárna jiný typ gigantické vodní dílo typu Lipenské vodní elektrárny. Můžeme vymyslet mnoho variant pro jednotlivé druhy vodních děl. Přesto však základní postupy ve výběru

zůstávají stejné. Na obrázku č. 7 můžeme vidět vhodné rozsahy použití základních typů turbín. [22], [23]



Obr. č. 7. Rozsah použití základních druhů turbín, převzato [22]

5 Historie vzniku vodní elektrárny Lipno

Začátek využívání energie horního toku řeky Vltavy můžeme datovat do počátků šestnáctého století, kdy začala být řeka využívána pro splavování dřeva z oblasti Šumavy dolů po proudu. Jedním z nejvýznamnějších projektů tehdejší doby, vystavěný pro tento účel, byl jistě Schwarzenberský kanál (vystavěn mezi léty 1784 – 1822). [37]

K prvnímu efektivnímu využívání elektrického potenciálu řeky Vltavy však dochází až v druhé polovině 19. století. Kdy po neúspěšném pokusu cisterciáckých mnichů (v první polovině 19. století) provozovat vodní mlýn a hamr, odkupuje toto vodní právo pan Arnošt Porák. V roce 1886 uvádí do provozu továrnu na sulfidovou celulózu v Loučovicích. Papírny jsou napájeny elektrickou energií z nedaleké vodní elektrárny. Koncem 19. století se pak začínají rozvíjet úvahy o využívání spádu horního toku řeky Vltavy v plné míře.

Dalším, kdo začíná využívat tuto čistou energii je roku 1901 firma Spiro a synové. V roce 1903 slavnostně uvádí do provozu novou vodní elektrárnu ve Vyšším Brodě viz. obr. č. 9. Součástí této vodní elektrárny byly dvě Francisovy turbíny o výkonu 500 hP a jedna menší o výkonu 250 HP. Generátor vyráběl třífázový proud o napětí 1500 V. Proud pak byl dodáván nejen do Vyššího Brodu a blízkého okolí, ale i do téměř 25 km vzdálených papíren v obci Větrní. Výstavba této elektrocentrály byla velice důležitým projektem pro další vývoj elektrifikační soustavy na horním toku řeky Vltavy. Na svou dobu se totiž jednalo o velice moderní technologické řešení. V letech kdy začala výstavba Lipenské přehrady, což ale bylo zhruba o půl století později, byl však její provoz po letech ukončen. [36],



Obr. č. 8. Schwarzenberský plavební kanál – horní portál tunelu, převzato [37]



Obr. č. 9. Stavba vodní elektrárny Ignaz Spiro & Söhne, převzato [36]

Ploché území na horním toku řeky Vltavy, nad soutěskou v Lipně, se již dlouho nabízelo pro hospodaření s vodou. Proto se již koncem devatenáctého století začalo uvažovat o vytvoření souvislé vodní plochy nad soutěskou v Lipně. Úvahy o vytvoření vodního rezervoáru se ubíraly směrem, že v takto situované oblasti by přehrazení vodního toku, mělo veliké možnosti využití. Jedním z nejzásadnějších důvodů pro vytvoření přehradní nádrže v této lokalitě bylo vytvořit dostatečně velký vodní rezervoár, který by zabránil stále častějším povodním. Téměř každoročně totiž oblasti horního povodí řeky Vltavy sužovali velké povodně. Nejčastější příčinou povodní bylo v jarním období překotné tání velkého množství sněhu na Šumavě. V letním a podzimním období pak způsobovaly menší povodně přívalové deště. Vytvoření zádržné plochy jezera se zdálo být dobrým a funkčním nápadem jak těmto ničivým povodním zabránit. Oblast horního toku této řeky nebyla však jen dobrým kandidátem pro výstavbu vodní nádrže z důvodu odstranění povodní. Přehrada vystavěná v této lokalitě měla široké možnosti využití. V úseku mezi Lipnem a Vyším Brodem vltavské řečiště klesá téměř o 163 m. Tento veliký výškový rozdíl, který je realizován na velice krátkém úseku řeky, na pouhých 12 km, skýtá veliký potenciál. Pro porovnání a představu mohu uvést, že zbývajících 322 km toku má převýšení pouhých 407 m. Vyvstala zde tedy myšlenka využití tohoto obrovského potenciálu zásob vodní energie.

Od prvních úvah na vodohospodářské řešení horního toku řeky Vltavy až k začátkům realizace vodního díla Lipno uběhlo více jak jedno století. Realizace jakéhokoli většího hydrotechnického díla byla dlouhou dobu sužována různými problémy. [16], [17], [18], [19]

Již v počátcích 19. století bylo uvažováno o prokopání průplavu mezi Vltavou a Dunajem. Tento projekt byl však vytlačen projektem první Evropské koněspřežné železnice vedoucí z Českých Budějovic do Lince v oblasti horního Rakouska.

Až v druhé polovině devatenáctého století začíná zájem o využívání energetického potenciálu řeky opět nabírat na síle. Roku 1886 je uvedena do provozu hydroelektrárna v Loučovicích, která napájela i zdejší papírnu. Roku 1901 pak začíná výstavba na svou dobu moderní hydroelektrárny ve Vyšším Brodě.

Teprve až po ničivých povodních v roce 1890, kdy došlo k velikým ztrátám na životech i na majetku, vyvstávají myšlenky na vodohospodářské řešení toku řeky Vltavy v její horní části. Jedním z prvních techniků, kteří se začali zabývat zamezením ničivých povodní, a úpravou povodí Vltavy na jejím horním toku byl Ing. W. Daniel. Roku 1892 vypracoval a předložil projekt, který měl řešit zajímavými způsoby vodohospodářské poměry v horním toku řeky, výstavbou přehrad. Připraveno měl více variant, ani jedna z nich však v této ani pozdější době nebyla realizována. Nejzajímavější variantou se zdála být první varianta. Především proto, že v pozdějších letech proběhly snahy o zrealizování projektu v této verzi. Zůstalo však pouze u studií a úvah. Vybudování dvou nádrží u Frymburku a Želnavy se totiž setkalo s odporem ze stran obyvatelstva a vlastníků půdy v této oblasti. Proto bylo roku 1903 od této možnosti ustoupeno. [16], [17], [18], [19]

1. **varianta** – výstavba dvou velkých nádrží u Frymburku a Želnavy
2. **varianta** – vybudování soustavy čtrnácti nádrží mezi Lipnem a Dolní Vltavicí
3. **varianta** – vybudování soustavy menších přehrad, celkem 26 nádrží mezi pramenem řeky Vltavy až k Čertově stěně.

Tyto nádrže měli mít rozlohu 25 250 000 m² a jejich celkový objem 128 000 000 m³ vody. I v dalších letech především v první polovině 20. století byla výstavba velkých vodních děl a vodohospodářských úprav sužována četnými problémy. Především v období první a druhé Světové války byly snahy o řešení vodohospodářských problémů na dost dlouhou dobu odsunuty do ústraní. Vybudování jakéhokoliv většího vodohospodářského projektu se i v této době setkávalo s odporem majitelů pozemků. Z důvodu nutnosti konfiskace rozsáhlé části území, bylo v této době od většiny projektů ustoupeno.

Po roce 1945 dochází k znovuotevření otázky využívání vodní energie a výstavby přehrad, z důvodu zajištění bezpečnosti v povodí řeky. Především díky zásadnímu zvratu v oblasti majetkoprávních vztahů na tomto území, se znovuotevírá cesta k možnosti výstavby rozsáhlého vodního díla, jehož potřeby byla již tak dlouhou dobu diskutována. Proto se výnosem vodohospodářského odboru ze dne 9.4.1946, rozbíhá koloběh příprav výstavby projektu vodních děl v povodí horního toku řeky Vltavy ale i dále po proudu. Je vydáno rozhodnutí, že celý projekt musí být sestaven způsobem, aby původní roztříštěné spády byly využity v soustavě. V této době byl položen základ pro vytvoření kaskády přehrad na Vltavě, jak je známe dnes. Vodní dílo Lipno soustředěné do nejhornější oblasti vltavského toku mělo být jejím prvním článkem. [16], [17], [18], [19]

Časová osa vývoje vodohospodářských staveb na horním toku řeky Vltavy

1789 - 1822 - Výstavba Schwarzenberského kanálu pro plavení dřeva

1750 - Výstavba vodního hamru a mlýna cisterciáckými mnichy v oblasti dnešní horní papírny

Začátek 19. století – projekt prokopání průplavu mezi Vltavou a Dunajem
(neuskutečněn)

1886 – Výstavba elektrárny a papírny v Loučovicích

1892 – Předložení studie Ing. W. Daniela na výstavbu přehrad v horní části řeky Vltavy

1899 – Stavební rada Jan Jirsík navrhuje vystavět tři menší přehrady nad Lipnem

1901 – Výstavba nové moderní vodní elektrárny ve Vyšším Brodě

1903 – Návrh na zřízení zemní hráze u Frymburku a Želnavy, zamítnut z důvodu majetkoprávních sporů.

1914 – 1918 - V období první světové války jsou odsunuty úvahy o vodohospodářském řešení do ústraní

1930 – Znovu prostudování projektu přehradních nádrží u Frymburku a Želnavy. Nalezení vhodnějšího umístění přehrady v oblasti dnešní obce Lipno

2. světová válka – opětovné přerušení úvah o výstavbě přehrad

1946 – 1951 – Díky vhodné změně majetkoprávních vztahů v dané oblasti přichází vhodná doba pro realizaci projektu výstavby vodního díla Lipno. Výnosem z roku 1946 byl položen základ výstavby dnešní vltavské kaskády

5.1 Návrhy projektových řešení vodního díla Lipno

Podmínkou vypracování projektu bylo řešení v jednom stupni. Tím se vyloučili různé možnosti o odděleném spádu. Již vyzkoušeným řešením této doby byla výstavba přivaděče o volné hladině s vyrovnávací komorou na začátku tlačného potrubí. Toto řešení mohlo mít více variant, ty spočívaly v různých trasách a tedy i délkách přivaděče. Nejjednodušší se zdála varianta vedení přivaděče po vrstevnici k nejvyššímu bodu nad centrálou. Celkem byly navrženy 4 varianty, které měly ještě svá dílčí řešení. Většina z nich však po konzultaci technické stránky projektu s mnoha špičkovými energetiky, projektanty, vodohospodáři a ekonomy byla zamítnuta. Generální projekt výstavby Lipenské přehrady a vodní elektrárny, který začal vznikat v roce 1951, byl založen na základě poslední navržené varianty. [12], [25]

5.1.1 Varianta A

Varianta A spočívala ve vedení přivaděče po vrstevnici. V lokalitě nad Vyším Brodem měla být zbudována vyrovnávací komora, ke které by vedlo od přehrady přivaděcí potrubí. Průtok zde měl činit $70 \text{ m}^3/\text{s}$ a délka přivaděč měla být 5500 m, průměr 6 m. tlačné potrubí mělo být dlouhé 1,1 km a bylo vedeno k centrále, která měla být umístěna zhruba 1 km od místa, kde byla projektem navržena vyrovnávací hráz. Celková délka vedení potrubí měla být tedy dlouhá 6,6 km. Toto řešení by bylo nákladné. Jedinou výhodou tohoto řešení bylo, že veškeré práce na výstavbě by mohli být realizovány na povrchu. Nevýhod však tato varianta měla mnohem více, proto také nakonec nebyla vybrána pro řešení konečného projektu. Vedení mohutného a dlouhého přivaděče po vrstevnici by znamenalo jeho velkou zranitelnost a s tím spojené nákladné úpravy ale i následné opravy. U této varianty také vyvstávala nutnost výstavby veliké vyrovnávací komory o výšce 45 m a profilu 23 m. [12], [31]

5.1.2 Varianta B

Varianta B počítala s vybudováním boční nádrže nad Vyším Brodem. Tato varianta byla navrhována jako jedna z prvních variant při plánování výstavby Lipenské přehrady. Z boční nádrže nad Vyším Brodem mělo být vedeno potrubí k vyrovnávací komoře a k centrále. Snahou bylo zmenšit profil přivaděče na 2,4 m, což by znamenalo značnou úsporu nákladů oproti variantě A. Při podrobnějším prozkoumání ekonomy, bylo však zjištěno, že náklady vynaložené na výstavbu nové boční nádrže by nevyvážily náklady ušetřené na výstavbu přivaděče. [12], [31]

5.1.3 Varianta C

Varianta C se snažila zkrátit přivaděč na co nejkratší délku. Přivaděč měl být zkrácen v úseku od hráze v zátoce Vltavy k Čertově stěně. Tato varianta se zdála být nejvýhodnější z hlediska úvah o umístění elektrocentrály. Již v této variantě se uvažovalo o umístění podzemní hlubinné elektrocentrály. Tomuto projektu však bylo vyčítáno využití jen malé části celkově využitelného spádu řeky v této oblasti. 22 km zbytkového spádu by musel být využit v druhém stupni. Pokud bychom vzali variantu s povrchovou elektrocentrálou, tlačné potrubí by bylo dlouhé 2,1 km s průměrem 3 m. Druhá varianta s elektrocentrálou umístěnou pod zemí by pak byla vybavena odpadovým potrubím dlouhým 2,6 km. [12], [31]

5.1.4 Varianta D

Tato varianta se snažila držet plánu soustavného využití celého spádu zdejšího povodí. Zároveň se zde uvažovalo již jen s výstavbou podzemní hlubinné centrály. Tato varianta byla pojata ze tří různých pohledů.

- 1) Výstavba 3,1 km dlouhého obezděného přivaděče a vyrovnávací komory na východní straně Loučovické hory. Délka tlačného potrubí měla být 600 m a jeho průměr 4,3 m. Velice nákladnou částí této varianty byla nutnost výstavby akvaduktu dlouhého 700 m situovaného v oblasti Čertovy stěny. To bylo i jedním z důvodů, pro které nebyla tato varianta realizována.
- 2) Výstavba podzemní centrály poblíž projektovaného výtokového objektu u centrály Vyšší Brod. V takovém případě by pak odpadla potřeba vybudovat příjezd k hlubinné centrále, který představoval vyšší finanční náklady. Tato úspora však nemohla vyvážit náklady na nutnou výstavbu tlačné šachty, která by musela být provedena v této variantě velice nákladným způsobem, tak aby byla schopna odolávat velice vysokému vodnímu tlaku.
- 3) Poslední třetí varianta pak počítala s výstavbou velice krátké svislé tlačné šachty. V podzemí by pak byla vybudována hlubinná centrála, ze které by vedl odpadový tunel do vyrovnávací nádrže ve Vyšším Brodě. Tato varianta se zdála být pro budoucí použití z finančního i geologického hlediska nejlépe využitelnou alternativou. Stala se pak základem pro vypracování budoucího generálního projektu.

5.1.5 Generální projekt

V roce 1948 tehdejší vodohospodářská služba vytvořila studii o využití vodní energie Vltavy na Lipně. Vznikl tedy návrh vyhovující náročným požadavkům tehdejší doby. Šlo o velice moderní technické pojetí, využívající návrh řešení projektu na jednom stupni o maximálním spádu. V konečné variantě bylo navrženo řešení elektrocentrály podzemní cestou. Byla navržena elektrárna tzv. Švédského typu. Tedy podzemní centrála s krátkým přivaděčem a dlouhým odpadem s volnou hladinou. V březnu roku 1949 tehdejší Ministerstvo techniky projekt schválilo. Technické provedení elektrocentrály mělo být řešeno dvěma turbínami o hlnosti 40 m³/s. Vtok na turbíny byl řešen samostatným objektem s dvěma tlačnými šachtami. Odpadní potrubí pak bylo navrženo podzemním tunelem o délce 3,6 km, a mělo ústit do řeky na konci vyrovnávací nádrže nad Vyšším Brodem. [26], [45]

„V roce 1951 začal generální projektant firma Stavoprojekt (dnešní Hydroprojekt) v Praze zpracovávat definitivní studii. Byly provedeny zásadní změny, které daly pevnou kostru definitivnímu projektu. Podle původního projektu měla mít totiž elektrárna

3 agregáty po 23 m²/s, k nimž měla být přivedena voda pouze jednou tlačnou šachtou. Dále byl také změněn výškově odpad od turbín, čímž se dosáhlo plného využití spádu. Bylo navrženo řešení výstavby dvou svislých šachet, které přiváděly vodu vždy na jednu turbínu. Tyto šachty byly používány i při výstavbě hráze, při těžbě kamene z podzemní kaverny. Také se pozměnila dispozice prostorů strojovny. Tyto změny doporučila po konzultaci i vysoká škola ekonomická v Praze“ [25]

Kromě projektu vlastní vodní elektrárny bylo před započítím výstavby tohoto kolosálního díla potřeba vypracovat mnoho dalších studií a projektů. Například dokumenty týkající se výstavby silniční sítě v okolí plánovaného jezera i samotné přehrady. Dále pak studie zabývající se vlivem díla na životní prostředí, nebo dokumenty zajišťující rozsah zemních prací v zátopovém území. Následně pak celé rozsáhlé území obou plánovaných nádrží bylo zaměřeno a zpracováno v katastrálním měřítku 1: 50 000 a byly provedeny i geologické sondy v letech 1946 – 1952.

„ Tvůrcem základní koncepce vodního díla byl Ing. Augustin Ulrich. Ten byl také v roce 1951 pověřen funkcí hlavního inženýra pro Lipenské vodní dílo v pražském Hydroprojektu. V roce 1956 pak zastával funkci hlavního inženýra Ing. Jindřich Šiman, který byl až do této doby pověřen funkcí hlavního projektanta stavební části vodního díla.“ Ing. Antonín Chlum pak zastával projektové a přípravné práce pro oblast využití vodní energie. [25]

5.2 Vodoprávní výměr

Vlastním předmětem vodoprávního řízení byla hráz Lipno I, využití vodní síly Lipno I, hráz Lipno II, využití vodní síly Lipno II, odvodnění zátopového území, průmyslový vodovod pro papírny v Loučovicích, vnitřní jez v Horách, úprava v sousedství rakouských hranic, posouzení možnosti dopravy dřeva a lodní dopravy, posouzení nutnosti výstavby komunikačních staveb a úprav, manipulační řád Lipna I a Lipna II, a posouzení vlivu výstavby vodního díla na cizí práva a dosavadní vodní oprávnění. (Vodní dílo na Vltavě u Lipna (vodoprávní výměr), krajský národní výbor v ČB. Povodí Vltavy, a.s. ČB, únor 1954), [12],

Z důvodu nutnosti zavedení úsporných opatření, bylo v roce 1953 navrženo ve vodoprávním řízení několik změn, které měli výrazně ušetřit uvažované náklady na výstavbu tohoto vodního díla.

- po dohodě s rakouskou stranou neprovádět úpravy podél rakouských hranic
- nestavět vnitřní jez v Horách. Výstavba jezu v Horách nebyla po technické stránce důležitou součástí celého vodního díla a nijak zvláště neovlivňovala jeho účel.
- neprovádět opravu komunikace na levém břehu
- zúžit silnici na pravém břehu z 6 m na 4 m vozovky
- zrušení plánovaných převozů v Hodňově a v Zadní Výtoni

- úsporná opatření se dotkly i vlastního provozního zařízení stavby a v neposlední řadě i výstavby samotné konstrukce hráze a vodní elektrárny.

5.2.1 Pozemní úpravy v zátopovém území

Vlastní práce v zátopovém území byly zahájeny v roce 1951. Aby mohla vzniknout jedna z největších vodních nádrží u nás, bylo třeba zatopit rozsáhlou plochu o rozloze zhruba 450 ha, což čítalo několik vesnic i se svým zázemím, které po zatopení tohoto území kompletně zmizely z mapy. Pro představu se v zátopové oblasti nacházelo 328 objektů, 12 km železnice a i některé úseky silnic. Důležitým mezníkem pro demolici budov nacházejících se v zatopované oblasti byla kóta 718 – 726. Všechny domy, které se nacházely nad touto kótou, musely být z bezpečnostních důvodů kompletně zdemolovány. U objektů nacházejících se pod touto kótou, byly pak odstraněny pouze jejich dřevěné části a zbytek domů byl ponechán v jejich původním stavu. Z hygienických důvodů pak byly zrušeny a chlórem kompletně vydezinfikovány všechny stáje, mrchoviště a hnojiště. [16], [17], [18], [19] [46]

Před zatopením tohoto území museli být také kompletně přestěhovány hřbitovy nacházející se v této oblasti. Jednalo se o dva velké hřbitovy ve Frymburku a Dolní Vltavici. Pro účel přestěhování ostatků byly v roce 1957 zřízeny dva nové hřbitovy a to ve Světlíku a v Bližné poblíž Černé v Pošumaví. Pozůstatky těl byly vykopány a následně převezeny do míst nového odpočinku. Jednalo se celkem o 25 těl z Dolní Vltavice a 66 ostatků z Frymburka. Všechny hroby musely být pak před zaplavením vydezinfikovány vrstvou vápna. [16], [17], [18], [19] [46]

Svědectví tehdejších pamětníků výstavby přehradní nádrže však dokládá, že i přes důrazný příkaz tehdejší vlády odstranit veškeré ostatky ze záplavového území, byla zhruba polovina hrobů ponechána na svém místě. V 50. letech se zde totiž nacházelo více než 100 hrobů. Důkazem tohoto sdělení je i rok 1984, kdy v důsledku upuštění přehrady, z důvodů větších oprav, spatřilo světlo světa několik původních náhrobků, které zde zůstaly.

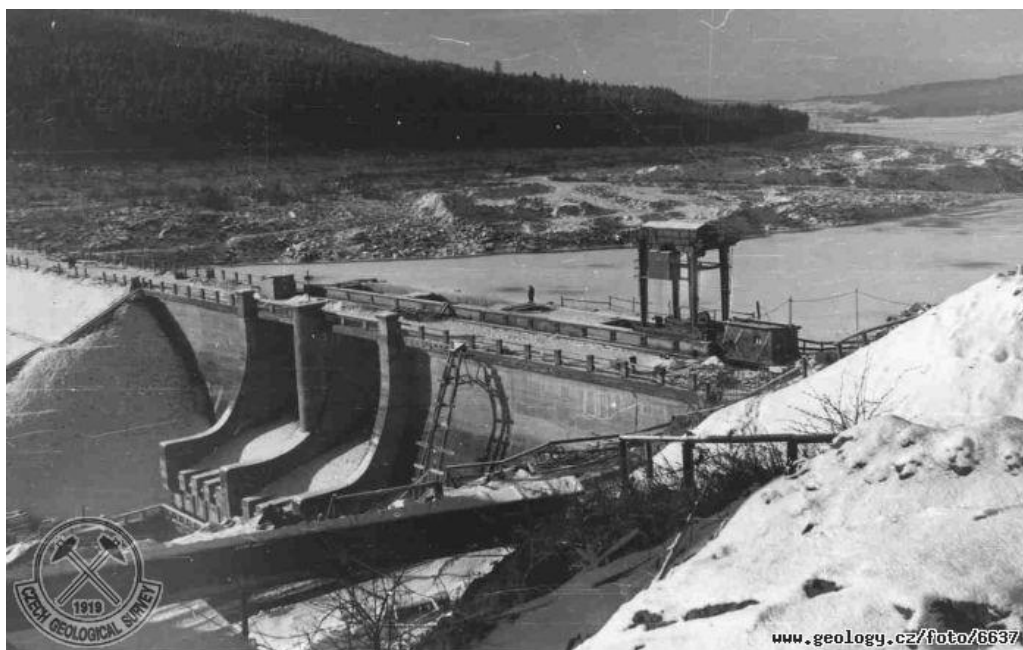
V zátopové oblasti se také nacházelo rozsáhlé území lesního porostu. V jednotlivých etapách tak muselo být vykáceno a odvezeno zhruba 1000 ha lesního porostu. Z důvodu ochrany břehů před vlnobitím byl pak podél břehové čáry vysazen nový listnatý porost. Skupiny dubů, buků, vrb a jiných listnatých dřevin, mají svůj neocenitelný význam i pro zlepšení vzhledu zdejší krajiny.

Vzhledem k tomu že zdejší část Šumavy patří mezi místa s četnými nalezišti rašeliny a slatě, nacházelo se v zátopovém území i zhruba 20 % plochy s touto surovinou. V některých případech se již na nalezištích prováděla těžba, jiné lokality byly zatím ještě netknuté. Tato skutečnost především v místech již probíhající těžby, představovala pro vytvoření stálé vodní plochy další problém, který bylo nutno zregulovat. Proto museli být navrženy další rozsáhlé zemní práce, pro odstranění rašelinových ložisek. Vzhledem k tomu, že zintenzivnění těžby rašeliny nebylo v této době, z ekonomických důvodů a z důvodu nemožnosti okamžitého využití tak velkého

množství suroviny, vhodné realizovat. Byly tedy provedeny alespoň úpravy sklonu rašelinových masivů a to především v oblastech s již započatou těžbou rašeliny. [16], [17], [18], [19] [46]

6 Vodní dílo Lipno I.

Gigantická vodní nádrž Lipno byla vystavěna v letech 1952- 1959. V roce 1959 byla uvedena do provozu i vodní elektrárna s dvěma Francisovými turbínami. Celá stavba byla členěna do několika částí: hráz, hydrocentrála, průmyslový vodovod do papíren, úpravy v záplavovém území a komunikace. [17], [18], [19]



Obr. č. 10. Přehrada Lipno, foto: Bohumil Červený (1958), převzato z [38]

„Přes vodní dílo protékalo maximálně 92 m³/s vody, což je maximální hltnost turbín a současně i maximální propustnost koryta řeky. Maximální přítok byl za dobu provozu 400 m³/s. Dlouhou dobu od roku 1959 až do roku 1996, kdy proběhla revize manipulačního řádu, zpracovávala elektrárna veškeré množství vody v nádrži. Po roce 1996 byl pak do původního koryta řeky vypouštěn sanační průtok 1,5 m³/s.“ [26]

Hlavní nádrž Lipna I shromažďuje vodu z povodí o celkové ploše 950,56 km² a objem činí 309 miliónů m³ vody. Celková plocha hladiny při jejím největším vzednutí je pak 4650 ha. Obrovské jezero se zde rozepíná od hráze Lipna v celkové délce 48 km až k obci Želnavá. Pokud bychom pak chtěli změřit obvod jezera v jeho nejvyšší kótě, naměříme na naše poměry neuvěřitelných 118 km. V místě největší šířky v Černé v Pošumaví je pak vzdálenost obou břehů 5 km. Průměrná hloubka jezera je pak uváděna zhruba 6,5 m a jeho největší hloubka je 25 m a to u hráze v původním korytě. Díky těmto úctyhodným mírám a díky tomu že jde o největší vodní nádrž u nás je Lipenskému jezeru přezdíváno také „české moře“. [17], [18], [19] [26]



Obr. č. 11. Vodní dílo Lipno I.

Přehrada Lipno je jednou z nejoblíbenějších a nejnavštěvovanějších rekreačních lokalit v letní, ale dnes již i v zimní sezóně. Zdejší obrovská vodní plocha přitahuje lidi ze všech koutů republiky ale i ze zahraničí. V létě zde lze provozovat nepřeberné množství vodních sportů počínaje plaváním a konče i náročnějšími druhy sporů typu jachtingu. Zimní sněhová a ledová pokrývka je pak využívána především pro běžecké lyžování a bruslení. Díky několika místním nadšencům s podporou obce Lipno a Frymburk se zde již několikátý rok po sobě v zimní sezóně nachází jedna z nejdelších bruslařských tratí v Evropě. Snad každý z návštěvníků zdejších rekreačních středisek si vybere v rozsáhlé nabídce sporů a oblíbených odpočinkových činností. Vždyť nejen vodní hladina jezera, ale i zdejší panenská příroda národního parku Šumava, nebo množství sportovních a relaxačních areálů poskytuje velké možnosti využití.

Monumentální přehradní nádrž nenachází však své využití pouze v oblasti turistiky. Ve své hlavní podstatě jde především o zásobárnu vody a vodní energie. Vodní elektrárna zabudovaná v mohutném přehradním tělese je dnes velice důležitou součástí vodní energetické soustavy. Všechny technické pochody této i menší vodní elektrárny Lipno II jsou plně automatizovány. Chod obou je pak řízen centrálním energetickým dispečinkem ve Štěchovicích. Chod menší elektrárny Lipno II je pak možné při krizových situacích řídit i z dispečinku na vodní elektrárně Lipno I. Provoz v samotné vodní elektrárně je zajištěn jedním směnným pracovníkem. Není sporu, že lipenské dílo hraje velice důležitou roli v oblasti energetiky i vodohospodářství.

6.1 Technická stránka stavby Lipno I

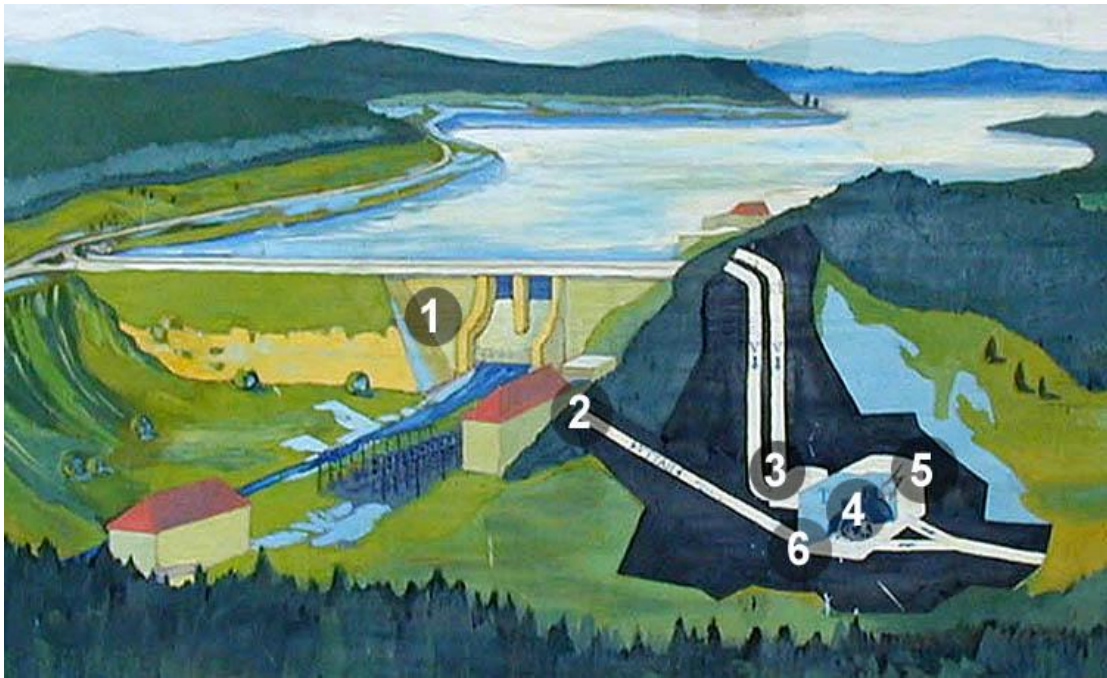
Lipno I je hlavní ze soustavy lipenských vodních děl. Nejvhodnější místo pro výstavbu hlavní hráze, jejíž součástí měla být špičková vodní elektrárna, bylo nalezeno a určeno v místě řeky, kde její tok začíná nejprudčeji klesat. Důvodem výběru této lokality byla možnost využití maximálního spádu řeky. Bylo zde také možné postavit celkem nízkou hráz, která by zachycovala velkou rozlohu jezera.

Energetické využití spádu a průtoku na vodním díle Lipno I je vyřešeno vysokotlakou špičkovou vodní elektrárnou, umístěnou pod zemí. Elektrárna byla umístěna do kaverny o rozměrech 65 x 22 m a výše 38 m v hloubce 160 m pod terénem. Do této hlubiny je vedena voda z akumulární nádrže, přes vtokový objekt s česlicovými poli, dvěma ocelí vypaňovanými tlačnými šachtami o průměru 4,5 m, přes komoru kulových uzávěrů. Voda padá na dvě plně automatizované soustrojí s Francisovými turbínami v podzemní strojovně. Každá s obou turbín je pak pevně spojena s generátorem elektrického proudu. [25], [26], [27]

Po odevzdání energie turbínám je voda odváděna 3,6 km dlouhým odpadním tunelem širokým 8,4 m a vysokým 7,8 m. Odpadní tunel vyúsťuje do vyrovnávací nádrže Lipno II nad Vyším Brodem. Pro lepší představu je provozní schéma elektrárny Lipno I přílohou č. 1.

Přístup do podzemní strojovny je zajištěn šikmým tunelem se sklonem 44°40'. Zde je umístěn nákladní výtah pro přepravu materiálu a techniky a osobní výtah pro přepravu obsluhy. Vede zde také kabelový kanál, jímž je elektrárna propojena s nadzemní rozvodnou. Mezi strojovnou a rozvodnou je obrovský výškový rozdíl, kóta nadzemní rozvodny je 720,5 m.n.m. a kóta podlahy strojovny pak 567,3 m.n.m.

Samotné těleso hráze vodní elektrárny Lipno I slouží k zadržování masy vody. Jde o kombinovanou hráz. Na pravobřežní straně je ze dvou třetin sypaná- zemní, zbývající část je gravitační betonová se dvěma bloky. Zde jsou umístěny základové výpustě a přelivové pole. Hráz je dlouhá 296 m, vysoká 25 m a situovaná do 329,543 km řeky. [25], [26], [27]



Obr. č. 12. Řez vodním dílem Lipno I., převzato a upraveno z [34]

- Legenda:**
1. Hráz Lipenské přehrady
 2. Šikmý tunel
 3. Komora kulových uzávěrů
 4. Víko Francisovy turbíny
 5. Čelní stěna podzemní kaverny, skalní masiv
 6. Podzemní hala elektrárny, 2 generátory o výkonu 60 MW

6.2 Přehradní těleso

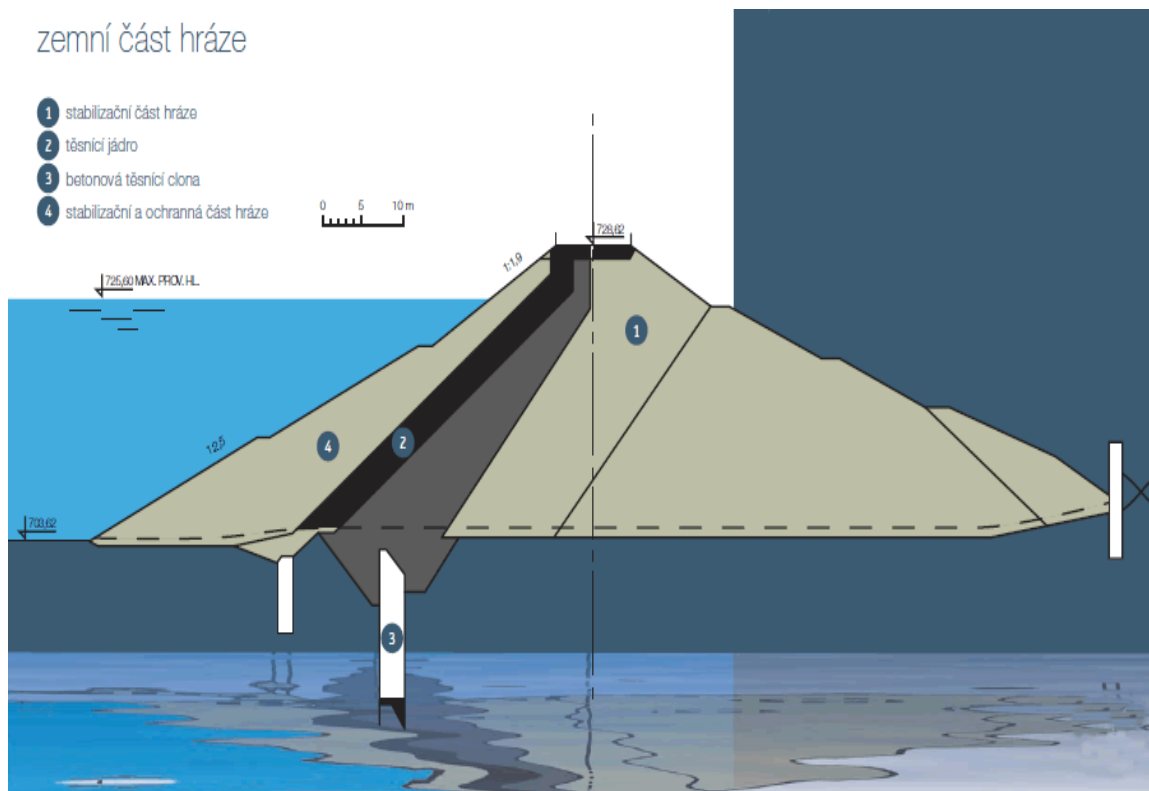
Příhodné podmínky pro vybudování hráze se nacházeli na 329,543 říčním kilometru. Stavba vlastní hráze začala v roce 1952. V první fázi výstavby museli být v údolí, kde docházelo k prudké změně spádu řeky nasondovány profily, které měli zajistit umístění hráze do nejvhodnější lokality z hlediska geologických podmínek. Téměř stejně široké tři profily byly od sebe zhruba 520 – 530 m. Vybrán byl nakonec nejspodnější profil, jelikož toto usazení zajišťovalo největší obsah nádrže, aniž by se to projevilo na výšce hráze. Také odpadní tunel pro tuto variantu byl nejkratší. [10], [12], [14], [15]

Jak již bylo zmíněno výše, celková délka hráze je 296,25 m, široká je v její koruně 10 m a vysoká 25 m. Jde o kombinovanou hráz, zemní a betonovou. Na pravém břehu je ze dvou třetin zemní sypaná, zbývající část na levém břehu je gravitační, betonová. Přes hráz vede komunikace, která je součástí celorepublikové silniční sítě.

Sypaná – zemní hráz

Tato hráz tvoří většinu z celkové hráze, přesněji její dvě třetiny na pravém břehu v její jezerní části. K utěsnění podloží zde bylo použito betonové clony, silné zhruba 2,5 – 3,5 m. V roce 1953 byla pod vedením zkušeného kesonáře Aloise Voráčka zapuštěna kesonáři (potápěči na suchu) do skalního podloží. Kesony tzv. Ocelové zvony jsou velké ocelové krabice bez své spodní části. Do výšky z něj trčela ocelová roura se žebříkem uvnitř. Po tomto žebříku se dělníci dostávali na říční dno. Tyto šachty pak také sloužili jako tunely pro odstraňování vytěženého materiálu. Každý z kesonů byl dlouhý cca 14 m a vážil 60 tun. Pod tíhou těchto obrovských kolosů se žulové podloží doslova bortilo a ony se svou vahou samy zapouštěli do dna. V té době jsou v poměrně obtížných základech, které jsou tvořeny žulovými stěnami o mocnosti až 29 m hloubeny šachty těsnící clony a gravitační blok. [12], [25]

„Zemní hráz byla založena celkem na 12 kesonech a dvou studnokesonech. Gravitační část se zakládala klasickým způsobem v zájmkové jámě, po dosažení úrovně se zdravou dvojslídnu žulou se pokračovalo ručně 50 – 80 cm pomocí palic a klínů. Skalní podloží bylo proinjektováno cementovým mlékem. Pravobřežní část je založena na šachtách umístěných zhruba 5 m pod terénem. Na 11 těchto bloků navazuje betonová část, která zasahuje do hlinitopísečného jádra.“ [10]

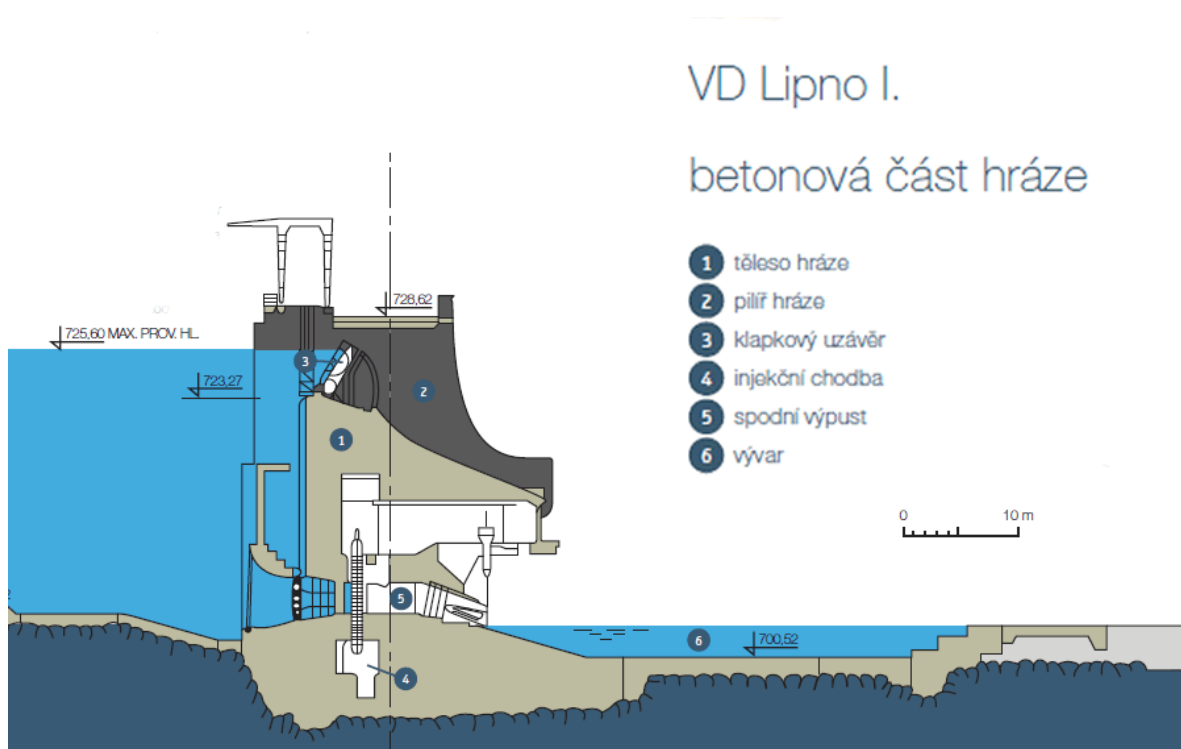


Obr. č.13 Zemní část hráze vodního díla Lipno I, převzato a upraveno z [34]

Betonová hráz

Gravitační blok hráze byl zbudován na podzim roku 1954. Betonová část sice zaujímá pouze jednu třetinu délky podélného profilu celé hráze, její funkce v konstrukci celého vodního díla je však zásadní. Jsou zde umístěny dva betonové funkční bloky. V těchto dvou betonových kolosech je umístěno vypouštěcí zařízení hráze, které je důležité z hlediska regulace výšky hladiny při povodních a s tím souvisejícího průtoku řeky pod samotným vodním dílem. Funkční bloky se skládají ze dvou základových výpustí, které tvoří dvě roury o průměru 2,5 m. Nad nimi pak nasedají dva přelivy hrazené klapkami. Přelivy jsou široké 10 m a jejich přepadová výška činí 2,35 m. Vývar i odpadní koryto jsou pak společné pro výpusti i přepady. [12], [25]

Celkem zde bylo uloženo 70000 m³ betonu s pevností 170 kg/m², trvanlivostí 100 a vodotěsností 4 nebo 8, dle velikosti vodního tlaku v jednotlivých částech díla. U konstrukcí, kde bylo počítáno s bezprostředním působením vody, bylo dávkováno 300 kg/m³ železoportlandského hotového betonu, u ostatních částí, které nečelily bezprostřednímu tlaku vody pak 270 kg/m³. Dále byl v průběhu stavby míchán čtyřfrakční beton z kamene drceného na staveništi. Kámen získaný při výlomových pracích, byl tak zpětně využíván i pro samotnou konstrukci hráze. [12], [25]



Obr. č.14 Betonová část hráze vodního díla Lipno I, převzato a upraveno z [34]

Pro funkční návrh betonové části hráze vodního díla byla vzata v úvahu katastrofální povodeň z roku 1920 zvýšená o 25 %. Tehdy dosáhl průtok kapacity 330 m³/s. Dnešní průtočná kapacita vodního díla Lipno I je tedy při vzduťi 726 m. n. m.

pro výpustě 148,4 m³/s a pro přepady 172,2 m³/s. Spolu s kapacitou vodní elektrárny 90 m³/s pak dosahuje celkový odtok cca 410 m³/s. [26]

6.2.1 Konstrukce podzemní elektrárny

Špičkovou vodní elektrárnu, která je umístěna v podzemí, tvoří několik samostatných částí. Najdeme zde vtokový objekt, tlačné šachty, komoru kulových uzávěrů, strojovnu, šikmý tunel, odpadní tunel, výtokový objekt a rozvodny. Každá z těchto částí tvoří nepostradatelnou součást celku pro výrobu vodní elektrické energie.

6.2.1.1 Vtokový objekt

Vtokový objekt tvoří vstupní část elektrárny pro vodu. Voda je k němu přiváděna 60 m dlouhým korytem, které se směrem k objektu zužuje. Na svém začátku má koryto šířku 41,31 m a v části navazující na samotný vtokový objekt je pak široké pouze 30,37 m.

Vtokový objekt je široký 39,5 m, dlouhý 21,6 m a 20 m vysoký. Jedná se vlastně o soustavu dvou samostatných vtoků, které se nachází na levém břehu nádrže cca 80 m od osy hráze. Jeho konstrukce je železobetonová, rozdělená do dvou bloků, které přivádí vodu každý na jednu turbínu. Součástí vtokového objektu jsou jemné česle, zabraňující vniku nečistot na turbíny. Najdeme zde také bezpečnostní, konstrukční zařízení, kterým je možné uzavřít přívod vody k turbínám. Jedná se o hydraulické rychlouzávěry využívané v případě poruchy. Dále je zde nainstalováno 8 hradidlových tabulí, které jsou využívány k omezení vtoku vody v případě pravidelných prohlídek nebo plánovaných oprav. [12]

Na vtokový objekt pak navazují svislé tlačné šachty o délce 160 m. Tyto šachty přivádějí vodu přes komoru kulových uzávěrů k turbínám.

6.2.1.2 Tlačné šachty

Koncem roku 1952 začaly také práce na výlomu tlačných šachet s profilem o průměru 6 m. S vrtáním se začalo kousek nad bývalou železniční stanicí Lipno.

„Nejdříve se hornina těžila okovy pomocí těžních věží a důlních vrtáků. Později klepetovým nakladačem sovětské výroby o objemu 0,3 m³. Obě šachty se hloubili současně s odstupem 20 – 25 m. průměr šachet 6 m byl střednicí vzdálenou 18 m. V pracovních etážích po 10 – 12 metrech byly osazovány tvárnice pruhy s obezdívkou o síle 25 cm a průběžně se vystrojovaly průvodnicemi a čerpadly prosáklé vody. Po dosažení dolní úrovně šachet byla vytyčena trasa směrové štoly do komory kulových uzávěrů a následně vstříc odpadnímu tunelu.“ [10]

„Takto vznikly nejvyšší vodopády na světě, vodopády, jimiž se řítí, bouří, duní a valí voda směrem ke středu zeměkoule. Bohužel žádné lidské oko nikdy tento krásný div moderní techniky neuvidí, neboť lipenské vodopády jsou jakoby zaklety do skal. Jsou opancéřovány betonem a ocelí přímo v jejich žulovém srdci. U niagarských vodopádů se

voda sama energií pádu ohřívá o 1 °C, na Lipně by se voda při pádu ohřívala o 3 °C, kdyby padala bez užitku a nevybijela svou silou na otáčení turbín.“ [25]

Samotné tlačné šachty jsou tedy 160 m dlouhé a 4,5 m široké ocelí vypancěrované roury. Ve své horní části navazují na vtokový objekt, kde se napojují pancéřovým kolenem o průměru 45,5 m na samotný vtok. Ve své spodní části pak přechází tlakový přivaděč do vodorovné části. Je zde připojen opět pancéřovým kolenem, ale pouze o průměru 22,5 m. vodorovná část pak přechází v kulový uzávěr a do spirály turbíny.

Najdeme zde také zařízení sloužící pro účel revize tlačných šachet. Jedná se o dvě plošiny a ocelovou konstrukci. Plošiny se pak spouští po této konstrukci do šachet pomocí zvedacího mechanismu, který je společný pro obě plošiny. Důležité je vybavení tlačných šachet drenážním systémem, který má za úkol snížit případný vnější přetlak vody při vypouštění přivaděče. [12], [25]

6.2.1.3 Komora kulových uzávěrů

Výlom komory kulových uzávěrů byl dokončen v roce 1956. Z pohledu funkce v provozu elektrárny jde vlastně o další bezpečnostní bariéru chránící strojovnu před zatopením. Každá z obou turbín zde má vlastní provozní uzávěr (kulová šoupata). Tyto provozní uzávěry se otevírají vždy před zahájením provozu, tedy před samotným roztočením turbíny. Otevřením provozního uzávěru je vpouštěna voda na turbíny a ty mohou začít vykonávat práci. Po ukončení provozu se pak opět uzavírají. Tato komora je 6,3 m široká, 37,4 m dlouhá a 11 m vysoká. Celá komora je obezděna železobetonem. Se strojovnou je komora spojena krátkým tunelem, kudy je možné dopravovat materiál do těchto prostor. Celou komoru je také možné uzavřít pomocí vodotěsných pancéřových vrat. Tím je zabezpečena ochrana dalších podzemních prostor elektrárny před případným zatopením. [12], [25]

6.2.1.4 Strojovna

„ V lednu roku 1957 byl zahájen výlom jádra v podzemní hydrocentrále. Po jehož dokončení přišla na řadu betonáž a vlastní montáž turbín. V nejtěžších podmínkách tu byly vylámaný a vyvezeny tisíce kubických metrů skály. Vylámaná prostora byla vybetonovaná a upevněná několika sty kotev, které vyloučily možnost nepředvídatelného poškození díla a ohrožení lidských životů pohybem vrstev a zasypáním prostorů budoucí elektrárny. „ [27]

Podzemní kaverna byla vytvořena v hloubce 160 metrů pod povrchem a má rozměry 65 x 22 m a výšku 38 m. Celkem zde bylo za dva roky práce vyvezeno 83 000 m³ skály. Po výlomu kaverny bylo nutno omezit škodlivé účinky podzemní vody na betonové konstrukce. Jednalo se především o tlakové a chemické účinky. Musela zde být zavedená účinná drenáž, která zabránila škodlivému působení hydrostatického tlaku. Chemickým účinkům se pak zabránilo provedením souvislé izolační soustavy.

Betonová konstrukce podzemní kaverny je sestavena ze tří bloků. Jako první zde bylo v červenci roku 1959 uvedeno do zkušebního provozu soustrojí TG2, umístěné do

druhého bloku. Krátce na to bylo v prosinci roku 1959 spuštěno i soustrojí TG1, umístěné v bloku jedna. Třetí blok pak slouží jako montážní prostor. V podzemní strojovně jsou instalovány dvě soustrojí osazené vertikálními Francisovými turbínami. Ty byly speciálně vyrobeny a upraveny pro elektrárnu Lipno I a pro její velký spád 160 m. Oběžná kola turbín jsou ze speciální ocelolitiny (z 86 % ocele s příměsí 13 % chromu a 1 % niklu). Průměr těchto kol je 2,2 m. Oběžná kola Francisovy turbíny jsou pevně spojena turbínovou a generátorovou hřídelí s rotorem generátoru elektrického proudu. Rotor a stator generátoru pak tvoří samotné zařízení pro výrobu elektrické energie. Každý z generátorů dosahuje při maximálním průtoku 46 m³/s vody přes turbínu výkonu 60 MW. Průtok vody přes turbíny může být však regulován a tím je regulován i potřebný výkon. Elektrárna tak může reagovat na momentální potřebu v síti. [12], [21], [26], [27]

Po natlakování spirály se natočí rozváděcí kruh, a tím dojde k otevření 24 rozváděcích lopatek Francisovy turbíny. Dále voda protéká přes lopaty oběžného kola a využívá zde svůj energetický potenciál k rozběhnutí celého stroje. Jelikož se jedná o špičkovou elektrárnu je toto soustrojí schopno najet na plný výkon 60 MW za necelé 2,5 minuty. Obě soustrojí mohou také měnit svůj výkon dle aktuální potřeby. Po dosažení potřebných otáček dojde ke spojení vývodu generátoru s rozvodnou soustavou. Z turbíny voda dále pokračuje k savce a vtéká do vyrovnávací komory. Odtud je voda odváděna odpadním tunelem do vyrovnávací nádrže Lipno II. [12], [21], [26], [27]

Ve vyrovnávací komoře jsou instalovány hradící tabule, které je možné využít v případě potřeby uzavření výstupu vody z turbíny.

Strojovna je rozdělena na tři hlavní části:

- 1) Návodní prostory o čtyřech podlažích: jsou zde instalovány elektrotechnická zařízení a část vzduchotechniky.
- 2) Vlastní strojovna: její rozměry jsou 11,75 x 16,05 metrů, jsou zde umístěny generátory, transformátory a montážní prostor.
- 3) Povodní prostory: jedná se o prostor hrazení savek.

Celkem zde bylo vystavěno 5 hlavních schodišť, které umožňují volný pohyb mezi jednotlivými podlažími. Podzemní prostory je také nezbytně nutné větrat. K tomu slouží klimatizace ale i účelové části jako příjezdní a odpadní tunel nebo výtahová šachta šikmého tunelu. Vytápění je částečně zajištěno přebytečným teplem z provozu generátorů. [12], [21], [26], [27]

6.2.1.5 Šikmý tunel

Přístup do srdce elektrárny, tedy do samotných prostor strojovny, je zajištěn pomocí šikmého tunelu. Jedná se o jedinečnou stavbu. Tunel je 220 m dlouhý a má sklon 44°44'. Ve svém průběhu překonává výškový rozdíl 143 metrů. Jeho stropní část má tvar klenby a je řešen jako dvouetážový. Pohodlný přístup je zde zajištěn dvěma

výtahy. V horní etáži je umístěn nákladní výtah. Tím je možné převézt až 80 tun nákladu. Právě tímto výtahem byly kdysi do nitra podzemní hydrocentrály navezeny všechny části turbín, generátorů. A jistě bude plně využit i nyní a v průběhu v roce 2013 kdy bude třeba při generální opravě soustrojí TG2, rozebrat a odstranit staré soustrojí, aby mohla být následně nainstalována kompletně nová Francisova turbína a stator generátoru. V horní etáži je také umístěno nouzové schodiště o 675 schodech. Dolní etáž šikmého tunelu jímá osobní výtah pro přepravu maximálně 6 osob do nitra elektrárny, nachází se zde také kabelový kanál. Tunel v příčném řezu má tvar podkovy. Pod stropní klenbou probíhá potrubí přivádějící čerstvý vzduch do klimatizačního systému strojovny. [21], [26], [27]

6.2.1.6 Odpadní tunel

Dne 13. května 1952, byla zahájena nad Vyším Brodem ražba odpadního tunelu. Po ukončení výkopových prací na podzemní strojovně začali dělníci razit odpadní tunel také směrem od Lipna nad Vltavou k Vyššímu Brodu.

„Z nové jeskyně vyrazili naproti tunelářům, kteří rovněž pod horami směřovali už po několik roků od Vyššího brodu k nim, na Lipno. Jak přesné a neobyčejné to museli být asi výpočty, když si to mohly tuneláři v těch hlubinných skalních temnotách namířit zcela sebejistě naproti svým vyšebrodským kolegům. Teď už rostl odpadový tunel pro odvod řeky dvojnásobným tempem. Před půlnocí z 10. Na 11. Ledna 1956 se tuneláři v hlubinách pod Šumavou setkali. Téměř tři kilometry od začátku tunelu ve Vyším Brodě a 600 metrů od podzemního chrámu se obě štoly setkali s dokonalou přesností a s rozdílem pouze pěti centimetrů.“ [25]

Tunel dlouhý 3535 metrů, široký 8,4 metru a vysoký 7,4 metru, odvádí vodu od obou turbín společně. Zhruba po 80 metrech se totiž pojí v jeden s neobezděným profilem a vybetonovaným dnem. Obetonována je pouze 1/3, z důvodu nepříznivých geologických podmínek. Odpadní tunel odvádí, za každých provozních podmínek, vodu o volné hladině o objemu s maximem kapacity obou turbín (92 m³/s). Celková kapacita odpadního tunelu je však o něco vyšší. Navýšena byla o 3 % tedy na hodnotu 95,1 m³/s. Voda jím prochází přímo se spádem 1,4 promile. Celkové převýšení spádu dna tunelu pak činí 4,91 metru. Přibližně 700 metrů před Vyším Brodem protéká ve čtyřicetimetrové hloubce souběžně s říčním korytem. Jeho průběh je rozdělen na 437 pasů po 8 metrech a dva portálové pasy o délce 4,73 metru a 4 metry. Bylo obezděno 154 pasů a v místech pukání horniny zde byla osazena síť kotev 2-4 metry dlouhých. Průtok v odpadním tunelu je díky protispádu dna u vyústění nerovnoměrný. Vzduť dosahuje při plném provozu obou turbín až k savkám. [21], [26], [27]

6.2.1.7 Výtokový objekt

Výtokový objekt se nachází v blízkosti elektrárny ve Vyším Brodě a jeho celková délka je 72 metrů. Jde o objekt, který navazuje na konečnou část odpadního tunelu. V posledních 43 metrech koryto výtokového objektu stoupá v prudším sklonu (8,4 %),

až k úrovni řeky, kde končí betonovým prahem. Zde je umístěno vertikální čerpadlo pro potřeby vyčerpání vody, která zůstane pod úrovní prahu. [21], [26], [27]

6.2.1.8 Rozvodny

Elektrická energie o napětí 15 kV je z generátoru vyváděna pomocí kabelů šachtou k transformátoru a do nadzemní rozvodny 110kV. V nadzemním areálu je také rozvodna 22 kV, která zásobuje elektrickou energií široké okolí. Obě rozvodny jsou ovládány z dispečinku v Českých Budějovicích.

Rozvodna 110 kV

Jde o hlavní rozvodnu elektrického proudu. Tato rozvodna slouží především pro rozvádění špičkové energie, ale je důležitá pro napájení rozvodny 22 kV. Rozvodna je umístěna venku pod přehradou a je vybavena blokovými transformátory. Jde o jednořadé provedení s vývody na jednu stranu a s dvěma systémy přípojníc o deseti polích. Z této rozvodny je odváděn elektrický proud čtyřmi linkami do rozvodny Dasný a tím je propojena s celostátní elektrizační soustavou. [27]

Rozvodna 22 kV

Je napájena z rozvodny 110kV a slouží jako rozvodna elektrické energie pro samotnou elektrárnu, ale i pro blízké okolí. Její provedení je vnitřní dvouřadé, se dvěma systémy přípojníc a jedním systémem pomocných přípojníc. Osm linek odsud odvádí elektrický proud do celé oblasti lipenska. [27]

6.3 Využití a účel Stavby Lipno I

V 1. pol. 20. století se začalo uvažovat o realizaci výstavby Lipenské přehrady a vodní elektrárny především z důvodů stále častějších ničivých povodní. Účel této stavby v době návrhů byl tedy jasný, zabránit ztrátám na životech a ničení majetku v povodí řeky Vltavy. Současně se zde také nabízela možnost využití obrovského spádu řeky v této oblasti, pro výstavbu ojedinělé vodní elektrárny, která by byla schopna zásobovat elektrickým proudem nejen blízké okolí, ale podpořit svým výkonem i celorepublikovou elektrifikační síť. Tyto myšlenky byly jistě stěžejními důvody pro rozhodnutí ve výstavbě v 50. letech 20. století. V průběhu času a provozu elektrárny se k těmto účelům řadily ještě další možnosti využití. Dále uvádím přehled nejdůležitějších účelů stavby v současné době. [31], [33]

1. Regulace minimálního průtoku řeky Vltavy pod nádrží Lipno I. by měla činit $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$
2. Minimální průtok řeky pod nádrží Lipno II. by měl být udržován na výši $6 \text{ m}^3/\text{s}$
3. Výroba el. energie ve špičkové vodní elektrárně Lipno I a Lipno II.

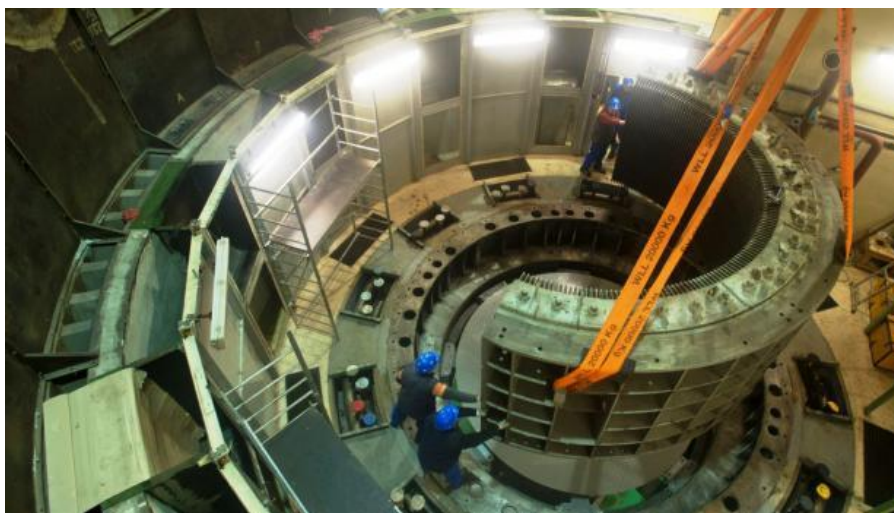
4. Nadlepšení a dotace průtoku nádrží Hněvkovice 6.5 m³/s a zajištění odběru pro jadernou elektrárnu Temelín. Zajištění minimálního průtoku v profilu Kořensko 9,5 m³/s
5. Dodávka vody pro papírny Loučovice a obec Loučovice 0,325 m³/s
6. Manipulace ke zlepšení hygienických podmínek vody ve Vltavě
7. Ochrana proti povodním
8. Ovlivňování zimního průtokového režimu a omezení nežádoucích ledových jevů
9. Využití k rekreačním účelům (Př. plavba, rybolov, jachting, rekreace)

6.4 Modernizace elektrárny Lipno I v roce 2013

V květnu 2012 byla společností ČEZ, a. s. zadána zakázka na generální opravu a modernizaci soustrojí TG2. Zakázku od listopadu 2012 začala realizovat společnost ČKD Blansko Engineering a.s. Průběh oprav je naplánován na celý rok 2013 a celkové náklady by neměli přesáhnout 200 mil. Kč. Realizace navazuje na již dříve úspěšně provedené modernizace elektráren na Vltavské kaskádě.

„Předmětem kontraktu je dodávka nově navrženého kola Francisovy turbíny o sacím průměru 2150 mm, rozváděcích lopat s novým hydraulickým tvarem spirály, horního lopatkového kruhu a vnitřního víka, oprava závěsného ložiska, výměna čerpacího agregátu vodních ložisek, vodícího ložiska turbíny, armatur na chladícím a mazacím systému, demontáž i montáž celého soustrojí, zkoušky a uvedení do provozu
„ [28]

Opravy celého soustrojí TG2 budou probíhat pouze v podzemí a nebude tudíž ovlivněn život kolem Lipenské přehrady. Průběh kompletní výměny Francisovy turbíny a satoru generátoru nebude mít větší vliv ani na provoz samotné špičkové vodní elektrárny. Během oprav bude stále plně k dispozici druhý blok elektrárny TG1. Ten zůstane v dispečerském provozu podle toho, jaká bude aktuální potřeba. Pouze během prvních dvou týdnů, kdy bylo nutné provést práce v odpadním tunelu, byl odstaven i blok se soustrojím TG1 a elektrárna tak zůstala mimo provoz. Vzhledem k tomu, že v průběhu roku 2013 zůstane v provozu jenom jedno soustrojí, musí být upraven odtok vody z přehrady a snížena hladina vody oproti obvyklému stavu v zimním období. [31], [47]



Obr. č.15 Demontáž statoru generátoru Francisovy turbíny 12/2012, zdroj ČTK, převzato [47]

6.5 Souhrn technických údajů stavby Lipno I

Technické údaje přehradní nádrže Lipno I.	
Rozloha	48,7 km ²
Délka	48km
Šířka	5 km (nejširší místo Černá v Pošumaví)
Maximální objem	309 mil. m ³
Plocha hladiny	4650 ha
Maximální hloubka	25 m
Průměrná hloubka	6,5 m
Povodí	950,56 km ²
Prostor stálého nadržení	23,354 mil. m ³
Zásobní objem	252,992 mil. m ³
Ovladatelný retenční prostor	33,156 mil. m ³

Tabulka č. 2 Technické údaje přehradní nádrže Lipno I, převzato a upraveno [34]

Technické údaje vodní elektrárny Lipno I.	
Typy turbín	Francis
Výkon	2 x 60 MW
Maximální průtok	46 m ³ /s
Průměrný přítok	14,04 m ³ /s
Stoletá voda	339 m ³ /s
Pětisetletá voda	540 m ³ /s
Tisíciletá voda	650 m ³ /s
Spád turbíny	161,65 – 149,35
Otáčky	375 min ⁻¹

Tabulka č. 3 Technické údaje vodní elektrárny Lipno I, převzato a upraveno [34]

Technické údaje hráze Lipno I.	
Typ hráze	Kombinovaná (zemní, betonová)
Kóta koruny hráze	728,62 m. n. m.
Kóta přelivu	723,27 m. n. m.
Max . retenční hladina	725,60 m. n. m.
Hladina zásobního prostoru	724,90 m. n. m.
Hladina stálého nadržení	716,10 m. n. m
Délka	296,25 m
Šířka v koruně	10 m
Výška	25 m

Tabulka č. 4 Technické údaje hráze Lipno I, převzato a upraveno [34]

7 Vodní dílo Lipno II

Stavba vodního díla Lipno II. byla započata současně s výstavbou vodního díla Lipno I. Již dříve se nacházela v oblasti nad Vyšším Brodem výkonná elektrárna firmy Ignác Spiro & Söhne (Spiro a synové) uvedená do provozu roku 1903. V té době zásobovala energií především blízké okolí, ale i téměř 25 km vzdálené papírny v obci Větřní. V 50. letech 20 století však byla nahrazena výkonnější vodní elektrárnou Lipno II. Toto vodní dílo je vzdálené zhruba 12 km po proudu řeky a slouží především k vyrovnání odtoků z elektrárny Lipno I. Do vyrovnávací nádrže nad Vyšším Brodem ústí odpadní tunel přivádějící vodu ze špičkové vodní elektrárny. Voda je pak dále využívána v průtočné vodní elektrárně Lipno II. s vyrovnaným odtokem pod tímto dílem $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Dále Lipno II slouží k částečné ochraně území pod přehradou proti povodním. Vodní nádrž vytvořená přehrazením řeky v této části zabírá plochu 45 ha, její délka je 2 km a celkový objem nádrže pak činí 1.685 mil. m^3 vody. Celé vodní dílo se skládá s přehradního tělesa a vodní elektrárny. Všechny technologické postupy jsou zde plně automatizovány a řízeny dálkově z dispečinku ve Štěchovicích u Prahy, kde je centrální dispečink vodních elektráren. [26], [27], [31]

7.1 Technická stránka stavby

7.1.1 Hráz Lipno II

Přehradní hráz vodního díla Lipno II je umístěna na 319,108 říčním kilometru. Jde o kombinovaný typ hráze. Větší část hráze je sypaná – zemní, menší část je betonová. Délka hráze je 224 m s korunou 4 m širokou, její výška dosahuje 11,5 m nad dnem a 19,5 m nad základem (obrázek č. 16).

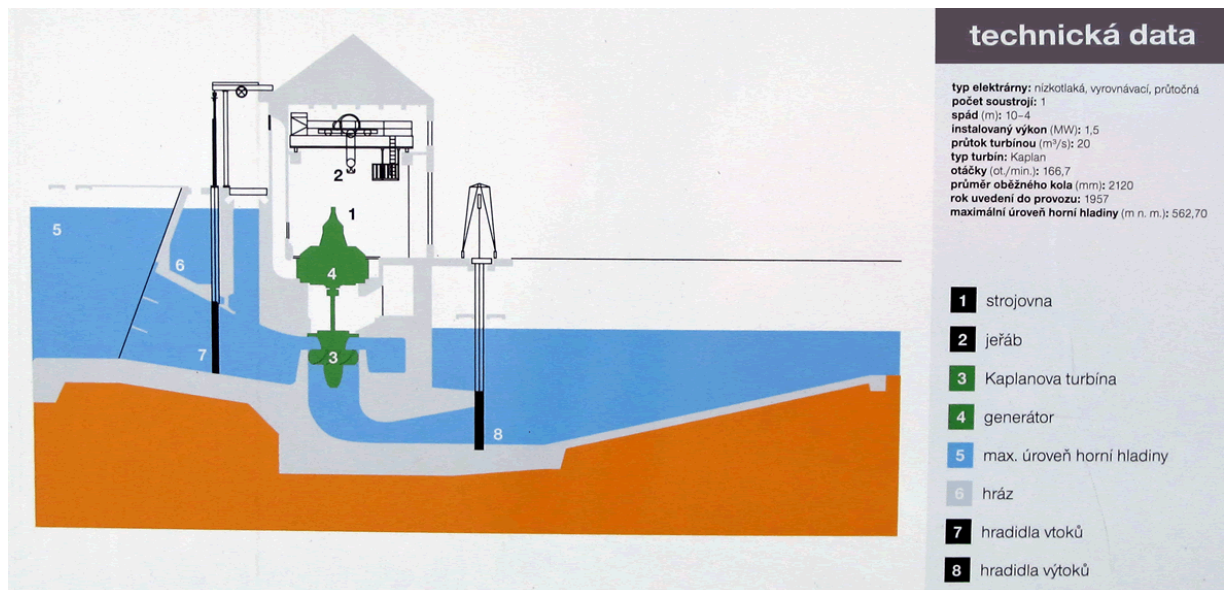


Obr. č. 16 Vodní elektrárna Lipno II, foto autor

Gravitační hráz

Tízná část je umístěna zhruba ve středu délky celé hráze současně s objektem malé vodní elektrárny Lipno II. Délka gravitační části hráze je 56 metrů. „Na návodní straně hráze je umístěn 1,2 metru vysoký vlnolam. Dva totožné korunní přelivy na hrázi, každý o šířce 10 metru s hradicemi klapkami o výšce 2,8 metru dokážou převést dohromady až 203 m³/s vody. Mezi přelivy jsou vybudovány tři násosky, které se dostávají do funkce postupně (562.85, 562.90, 562.95 m.n.m.). Jejich celková kapacita je 82.5 m³/s. Mezi korunními přelivy a budovou vodní elektrárny je dvoumetrová štěrková propust' o výšce 3.2 metru. Její kapacita je 67.2 m³/s. Tato propust' nemá za úkol převádět povodňové vlny, ale vyrovnává výpadky malé vodní elektrárny Lipno II, aby byl dodržen minimální průtok pod hrázi a to 6 m³/s.“ [33]

Násoskový blok – tento blok byl vybudován pro případ, že by došlo k náhlému prázdnění akumulací nádrže a přítok se tak zvýšil nad navrhovanou povodňovou mez. Blok má šířku 10 metrů a tvoří ho tři násosky široké 2,5 metru. Mezipilířky mají šířku 55 cm. Výška jejich průtočného průřezu je 1,5 metru. Jak již bylo dříve uvedeno, jsou spouštěny postupně dle nadmořské výšky. Vtoky jsou chráněny česlicemi a výtok z nich je situován do úrovně dna vývaru. [12]



Obr. č. 17 Ilustrační schéma vodní elektrárny Lipno II, převzato [34]

Vývar a odpadní koryto

Vývar je společný pro všechny tři bloky a je umístěn do původního koryta řeky. Zakončen je 1,8 metru širokým betonovým prahem, ten je společný i pro odpad z vodní elektrárny. Korytu řeky za vývarem bylo upraveno v délce 370 metrů až k mostu. Prvních 20 metrů od vývaru je pak zpevněno kamenným záhozem s vydlážděnými svahy, dno je zde široké 37 metrů.

Zemní část hráze

Koruna zemní hráze leží na kótě 564,11 m. n. m. Byla rozdělena na dva totožné úseky, které navazují z obou stran na betonovou část, v jejímž tělese je zabudován i objekt elektrárny. Oba úseky hráze byly opatřeny jílovým těsněním. Mají tedy střední jílové těsnící jádro, které je zakončeno 60 cm pod korunou. Jelikož podloží sypané hráze tvoří především štěrkopísky, které jsou místy propustné, jílové jádro zde navazuje na betonovou clonu zasahující až do zdravé skály. Tím je zajištěna nepropustnost této části hráze. Koruna zemní hráze má šířku 4 metrů a dosahuje výšky 11,5 metrů nad terénem a její návodní strana je opatřena vlnolamem. [27] [31]

7.1.2 Elektrárna Lipno II

Hydrocentrála Lipno II je průtočná vodní elektrárna tzn., že vyrábí elektrický proud v nepřetržitém provozu. Její hlavní význam spočívá ve vyrovnání kolísání odtoku ze špičkové elektrárny Lipno I, a stává se tím její nepostradatelnou součástí. Dnes je elektrárna plně automatizovaná a je jí možné ovládat z centrály v hlavní elektrárně Lipno I, popřípadě z dispečinku ve Štěchovicích. Regulaci odtoku z vyrovnávací nádrže, je tak možné řídit i v případě odstávky hydrocentrály Lipno I. Zde vyrobená elektrická energie je dodávána do rozvodny 22kV a následně do rozvodné sítě.

Vtokový objekt

Prah vtoku se nachází na levém toku přehradního tělesa ve výšce 50 cm nad dnem koryta. Vtokový objekt je rozdělen na dvě pole o světlosti 3 metrů a je osazen česlicemi, které zabráňují vniknutí nečistot na turbínu. Za ochrannými česlicemi se nachází šachty pomocného hrazení a rychlouzávěr v podobě tabule, který je umístěn těsně za hradidly. Tímto uzávěrem je možné přehradit tok na výšku 3,5 metru a o šířce 7 metrů.

Hydrocentrála

Hydrocentrála Lipna II funguje jako průtočná 24 hodin denně. Dodává elektrickou energii do rozvodny 22 kV a tím zásobuje elektrickou energií hydrocentrálu Lipno I a blízké okolí. Je zde naistalováno jedno vertikální soustrojí osazené Kaplanovou turbínou o maximální hltnosti 20 m³/s a generátorem o výkonu 1,5 MW. Tímto výkonem můžeme elektrárnu řadit do kategorie malých vodních elektráren.

Kaplanova turbína je obestavěna betonovou spirálovou kašnou s betonovou savkou. Průměr oběžného kola je 2120 mm a pracuje se spádem 4-10 metrů. Rozváděcí kolo turbíny je ovládáno dvěma servomotory.

Rozvodna i strojovna elektrárny je umístěna v jedné budově, přičemž strojovna je rozdělena na dvě podlaží. V horním podlaží strojovny je umístěn jeřáb, sloužící k manipulaci se soustrojím, a dále zde vyčnívá nosná konstrukce závěsného ložiska generátoru s ovládacími prvky pro regulaci oběžného kola. V místnosti suterénu je pak umístěn samotný stator generátoru zapuštěný v kryté šachtě a ruční vysokotlaké čerpadlo. Pod podlahou suterénu je umístěna samostatná šachta sloužící k odčerpání vody z prostoru betonové sací trouby a samotná Kaplanova turbína. Voda je odsud

čerpána pomocí vertikálního čerpadla poháněného elektromotorem. Čerpadlo je opatřeno zpětnou klapkou a jeho vývod ústí do výtoků za savkou. Odpad od turbíny je pak regulován za pomocí hradidlové tabule osazené do ocelového vedení o šířce 5,2 metru a výšce 2,4 metru. Konec odpadního objektu je opatřen betonovým prahem o šířce 1,8 metru. [12] [27] [31]

7.2 Využití a účel stavby Lipno II

Vodní dílo Lipno II bylo plánováno jako součást elektrárny Lipno I. Hlavním účelem vodní nádrže bylo vyrovnat kolísání odtoků ze špičkové vodní elektrárny a přitom zajišťovat minimální průtok pod nádrží Lipno II o objemu 6 m³/s.

Dalším účelem tohoto díla bylo nahradit některá stávající malá elektrárenská díla ležící na horním toku řeky Vltavy pod přehradní nádrží Lipno. Za pomoci využití odtoků z nádrže je zde vyráběna v průtočné elektrárně 24 hodin denně elektrická energie zásobující blízké okolí a provoz elektrárny Lipno I.

Jedním z účelů vodního díla Lipno II je také ochrana před povodněmi, jak vyplývá z tiskové zprávy Povodí Vltavy.

„V rámci zvyšování úrovně ochrany před povodněmi, realizuje státní podnik Povodí Vltavy stavbu, která zvyšuje bezpečnost vodního díla Lipno II. Účelem stavby je realizovat soubor opatření k zajištění bezpečnosti vodního díla při povodních tak, aby vyhovělo požadavkům nové technické normy. Celkové náklady akce jsou téměř 16 mil. Kč.

Stavba spočívá v realizaci dvou opatření. První oblastí je navýšení funkce vnitřního jádrového těsnění a jeho propojení s novou konstrukcí vlnolamu, ve vazbě na zvýšení funkce vodního díla při povodních. Druhou oblastí je zajištění podhrází a části pravého břehu proti vzniku výmolů při převádění extrémních povodňových průtoků. Pro kontrolu bezpečnosti vodního díla, bude doplněno zařízení pro měření a sledování hráze. Stavba probíhá za plného provozu vodního díla. Předpokládaný termín ukončení je v listopadu roku 2012. „ [29]

7.3 Souhrn technických údajů stavby Lipno II

Technické údaje přehradní nádrže Lipno II	
Rozloha	45 ha
Délka	2 km
Šířka	300 m
Maximální objem	1,664 mil. m ³
Maximální hloubka	10,10 m
Průměrná hloubka	3,7 m
Povodí	999,4 km ²
Prostor stálého nadržení	0,15 mil. m ³
Zásobní objem	1,5 mil. m ³
Ochranný objem	0,1 mil. m ³

Tabulka č.5 Technické údaje přehradní nádrže Lipno II, převzato a upraveno [34]

Technické údaje vodní elektrárny Lipno II	
Typ turbíny	Kaplanova
Průměr oběžného kola	2120 mm
Výkon	1,5 MW
Maximální průtok	20 m ³ /s
Průměrný přítok	14,5 m ³ /s
Stoletá voda	350 m ³ /s
Spád turbíny	10 – 4 m
Otáčky	166,7 min ⁻¹

Tabulka č.6 Technické údaje vodní elektrárny Lipno II, převzato a upraveno [34]

Technické údaje hráze Lipno II	
Typ hráze	Kombinovaná (zemní a betonová)
Délka hráze	224 m
Šířka hráze	4 m
Výška hráze	19,5 m
Počet přelivových polí	2
Kóta koruny hráze	564,11 m. n. m.
Kóta přelivu	559,86 m. n. m.
Maximální retenční hladina	563,35 m. n. m.
Hladina zásobního prostoru	562,70 m. n. m.
Hladina stálého nadržení	557,60 m. n. m.

Tabulka č. 7 Technické údaje hráze Lipno II, převzato a upraveno [34]

8 Vodní dílo Lipno III – neuskutečněný projekt

Věcí, která veřejnosti není příliš známa je, že již od roku 1992 uvažuje ČEZ a.s. o vytvoření nové přečerpávací vodní elektrárny, nesoucí název Lipno III. Účelem stavby Lipno III. by měla být zejména okamžitá záloha energetické soustavy České Republiky, regulace náhodných změn zatížení a samočinná regulace.

„Přečerpávací vodní elektrárna, zkráceně PVE, představuje typ vodní elektrárny, která si energii v podobě naakumulované vody dokáže sama uložit. Umělou akumulaci vody provádí v době, kdy je elektrické energie přebytek, tedy v době mimo energetickou špičku (např. v noci). Akumulovaná energie v podobě nashromážděné vody se pak v době špičky využívá k výrobě elektrické energie. Přečerpávací vodní elektrárny jsou zatím jediným nástrojem jak uchovat větší množství přebytečné elektrické energie na delší dobu. Staly se technicky schůdným prostředkem, jak snížit ztráty z nevyužité noční energie a jak předejít problémům s výkyvy ve spotřebě elektrické energie resp. v jejím odběru z elektrorozvodné sítě.“ [24]

V roce 1993 byla oslovena brněnská firma Aquatis, která měla vypracovat studii možného řešení výstavby. K vypracování této studie byla využita stávající dokumentace projektu vodních děl Lipno I a Lipno II. v předchozích kapitolách zmíněné jako generální a technický projekt. Dalšími parametry, které bylo nutno dodržet jsou popsány níže:

- Výkon soustrojí do 100 MW
- Předpokládaná doba turbínového provozu 6 hodin
- Využití stávajících vodních děl Lipno I. a II. bez narušení jejich provozu
- Maximalizovat účinnost přečerpávacího cyklu přečerpávací vodní elektrárny

Na základě těchto požadavků byly navrženy **dvě varianty** řešení.

Varianta 1:

Přečerpávací elektrárna Lipno III. zde využívá spádu vytvořeného výškovým rozdílem hladin mezi nádrží Lipno I a vyrovnávací nádrží Lipno II. Kdy jako horní nádrž je počítáno s vodní nádrží Lipno I, a jako dolní nádrž se využije stávající vyrovnávací nádrž Lipno II., která se rozdělí na dvě části.

Varianta 2:

V této variantě využívá přečerpávací elektrárna Lipno III. spádu mezi nádržemi Lipno I. a nádrží Kapličky, která by musela být nově vybudována. Zde by jako horní nádrž sloužila nádrž Kapličky a jako dolní nádrž stávající nádrž Lipno I.

Pro obě tyto varianty bylo navrženo použít Francisovy reverzní turbíny typ FR 180. Tento typ turbíny splňuje požadavky pro uvažované spády. S přihlédnutím ke geologickým podmínkám v této oblasti byla přečerpávací vodní elektrárna Lipno III

v obou variantách situována v horském masivu v podzemí, což vyplynulo z předchozích geologických měření. Instalovaný výkon elektrárny, který je přímo závislý na velikosti objemu nádrže má v návrhu také několik variant. Tyto varianty uvádím níže. [12], [21]

Varianta 1:

- A. 210 MW
- B. 160 MW
- C. 102 MW

Varianta 2:

- A. 440 MW
- B. 340 MW
- C. 200 MW

Podle velikosti instalovaného výkonu je v projektu uvažováno s jedním nebo dvěma přivaděči k vodní elektrárně Lipno III., které jsou umístěny pod zemí.

Technická stránka stavby Lipno III

Jak jsem již uvedl dříve, v obou variantách řešení výstavby je navrženo použití Francisovy reverzní turbíny – typ FR 180, kdy u varianty 1 mají být soustrojí dvě a u varianty 2 soustrojí čtyři, které se ovšem liší velikostí strojů. Soustrojí elektrárny a jeho uzávěry jsou umístěny v jedné kaverně.

Výhodnější řešení, z hlediska návrhu soustrojí se jeví varianta 2, která v případě instalace většího počtu soustrojí má téměř dvojnásobný instalovaný výkon oproti variantě 1. Další výhodou je také větší spád (až 180 m), kdy je možno použít menší rozměr turbíny a tím docílit vyšších otáček soustrojí. Jako nejefektivnější řešení z vypracované studie přichází v úvahu varianta 2A, kdy instalovaný výkon turbín se upřesnil na 4 x 113 MW. Stávající nádrž Lipno I bude zároveň dolní nádrží vodní elektrárny Lipno III a horní nádrž Kapličky se nově zbuduje v prostoru nedaleko bývalé obce Kapličky. Obě nádrže budou spojovat dva přivaděče a dva odpadní tunely v délce 1985 m. V příloze č. 2 je zobrazena přehledná situace elektrárny Lipno III. [12], [21]

Parametry vodní nádrže Kapličky	
Výška hráze	19,60 m
Obvod hráze	2348 m
Objem hráze	6,92 mil. m ³
Plocha maximální hladiny	43 ha
Kóta maximální hladiny	911,3 m. n. m.
Kóta dna	893,7 m. n. m.
Průměrná hloubka	17,6 m

Tabulka č.8 Parametry vodní nádrže Kapličky[12]

Provozem přečerpávací elektrárny je předpokládáno kolísání hladiny v nádrži Kapličky o 15 m a v nádrži Lipno I o 1,2 m. Podzemní elektrárna bude mít délku 115 m, šířku 23 m a výšku 44 m. Dále je v návrhu uvažováno s výstavbou vzdušného vedení o napětí 400 kV v délce 61 km z elektrárny Lipno III do rozvodny Dasný u Českých Budějovic.

Z důvodu, že podstatná část horní nádrže Kapličky leží na území přírodní rezervace Rašeliniště Kapličky a přírodní památky Medvědí hora, byl tento fakt dán k posouzení Referátu životního prostředí, Okresní úřad Český Krumlov, který vydal dne 13.2.1996 předběžné stanovisko v tomto znění: *„Výjimku ze zákazů v přírodních rezervacích lze udělit podle §43 „zákona“ pouze v případech, kdy jiný veřejný zájem výrazně převyšuje nad zájmem ochrany přírody. Udělení výjimky v případě přírodní rezervace Rašeliniště Kapličky by znamenalo faktické zrušení přírodní rezervace. Zdejší orgán ochrany přírody proto předběžně sděluje, že výjimku nehodlá udělit.“* [12]

Protože výstavba horní nádrže Kapličky a její vedení vysokého napětí by výrazně narušila estetickou a přírodní hodnotu krajiny, a současně by se změnil krajinný ráz vydal Okresní úřad Český Krumlov- Referát životního prostředí následující prohlášení: *„Z výše uvedených důvodů vyplývá, že předpokládané ekologicky smýšlející části veřejnosti a občanských sdružení, jejichž posláním je ochrana životního prostředí, na realizaci záměru budou záporné a že podporu orgánu ochrany přírody zdejšího okresního úřadu při prosazování záměru nelze očekávat.“* [12]

Právě z výše uvedeného důvodu se nikdy přečerpávací elektrárna Lipno III nezačala stavět a její plán výstavby byl prozatím odložen na neurčito.

9 Lipno jako prostředek proti povodním

Oblast horního toku řeky Vltavy byla téměř každoročně sužována ničivými povodněmi. Velká pozornost těmto ničivým jevům byla věnována již na konci 19. století, kdy se Ing. W. Daniel snažil prosadit velkorysý projekt na výstavbu přehrad na horním toku řeky. Tyto přehrady měly zásadně zlepšit vodohospodářské poměry v povodí a především zabránit ztrátám na životech a ochránit majetek a přírodu v okolí řeky při zvýšeném přívalu vod. V této době však takto náročným projektům jaké prosazoval W. Daniel nebylo přáno dostatečné pozornosti. Situace se změnila až v 50. letech 20. století, kdy se začaly vytvářet a posléze i realizovat projekty velkolepého vodárenského díla Lipno I a Lipno II. Tyto díla byla plánována jako součást Vltavské kaskády, jejíž hlavní funkce spočívala především ve výrobě elektrické energie a akumulaci vod s nadlepšením průtoku na Vltavě a dolním Labi. Především v posledních letech je však stále více diskutován její neocenitelný význam v ochraně před povodněmi. Dle platného řádu je v současné době kaskáda schopna bez problému zachytit dvacetiletou vodu a povodně větší zásadně zmírnit a transformovat. Je však nutná připravenost a okamžitá reakce všech stupňů kaskády, jak se ukázalo v roce 2002, při obrovských povodních, které dalece přesahovaly již zmíněnou dvacetiletou povodeň, kterou je kaskáda schopna bez problému řešit. [32], [34]

Lipno I. jako první článek vltavské kaskády hraje důležitou roli ve funkci celé této soustavy přehrad. Regulací odtoku z této nádrže se ovlivňují minimální průtoky a tím je možné přizpůsobit výrobu v ostatních elektrárnách. Z hlediska regulace povodňových škod je možné zvýšení či snížení odtoku omezovat povodňové špičky. Samotné vodní dílo bylo navrženo především pro částečné omezení velkých vod pod přehradou a k ochraně nedalekého území. Mělo by být schopno zadržet a transformovat tzv. stoletou vodu, to je množství vody, které se předpokládá, že přijde maximálně jedenkrát za sto let.

Dále bych rád podrobněji rozebral úlohu, možnosti a připravenost vodního díla Lipno I, při katastrofálních povodních z roku 2002. Tyto povodně byly velikou zkouškou připravenosti nejen vodního díla Lipno, ale i ostatních článků Vltavské kaskády. Po ničivých povodních v roce 2002 bylo intenzivně diskutováno, zda byla přehrada Lipno dostatečně připravena na regulaci velkých přívalových vod. Rád bych tedy uvedl několik čísel, které ozřejmí tuto skutečnost.

Možnosti vodního díla byly projektovány s přihlédnutím ke katastrofální povodni z roku 1920. Tehdy kulminace dosáhla hodnoty $330 \text{ m}^3/\text{s}$. V projektu pak bylo uvažováno s jejím 25 % navýšením. Dostaneme se tedy na hodnotu $410 \text{ m}^3/\text{s}$. Z hlediska popsání povodně je však důležitá i její doba trvání a objem vody. [32], [34]

Na tomto základě byl rozdělen celkový objem nádrže takto:

Prostor stálého nadržení	Rozmezí kót	705,60 - 716,10 m.n.m
	Objem vody	23 354 000 m ³
Zásobní prostor nádrže	Rozmezí kót	716,10 - 725,35 m.n.m
	Objem vody	274 092 000 m ³
Ochranný prostor nádrže (Retenční)	Rozmezí kót	725,35 - 725,60 m.n.m
	Objem vody	12 056 000 m ³

Povodeň 2002 dosáhla :	Maximálního průtoku	470 m³/s
	Délkou trvání	206 hodin
	Objemem vody	125 848 800 m³

Dne 7.8.2002 před povodní	Kóta hladiny	724,65 m.n.m.
byl stav VN Lipno	Prázdný objem nádrže	44 545 300 m ³

Tabulka č. 9 Hodnoty povodně z roku 2002, převzato z [32]

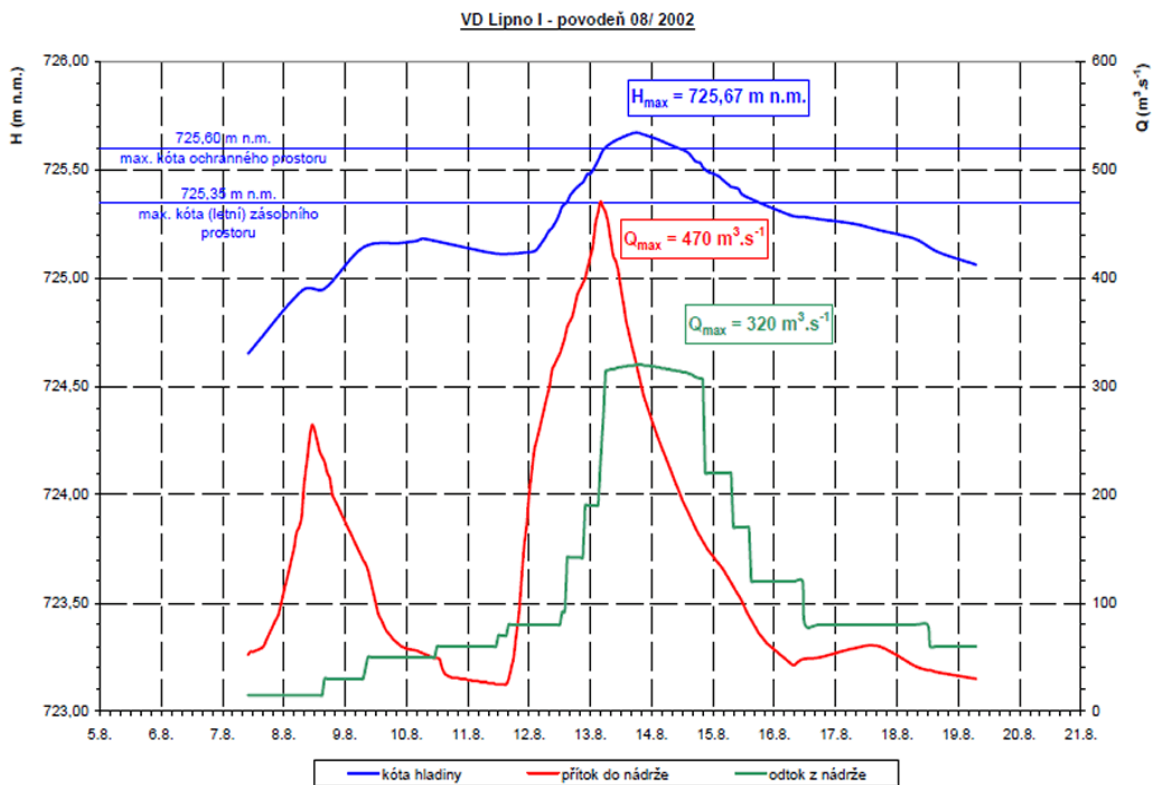
Povodeň roku 2002, proběhla ve dvou vlnách, které od sebe dělilo období dvou dnů. První vlna dosáhla své kulminace 8. srpna, kdy přítok do vodní nádrže Lipno dle grafu (příloha č. 3) činil 270 m³/s. Jak je patrné z grafu, kóta hladiny se v této době pohybovala pod kótou zásobního prostoru, proto prozatím Lipno zadržovalo veškerou vodu, aby ulevilo průtoku řeky v Českém Krumlově. Odtok z nádrže byl postupně zvyšován až v období, kdy docházelo ke kulminaci a snižování průtoku v Českém Krumlově. K tomu došlo ve dnech 10. a 11. srpna, Lipno se tedy snaží upouštět maximum možné vody tak, aby co nejvíce vyprázdnilo svůj retenční prostor a zároveň, aby odtok z Lipna nepůsobil škody v Českém Krumlově, tzn., aby průtok vody nepřesáhl 90 m³/s. V noci z 11. na 12. srpna bohužel další dešťové srážky a rapidní zvýšení přítoku do nádrže nutí Lipno zvýšit odtok z nádrže na 80 m³/s, což způsobuje v Českém Krumlově další kulminaci průtoku řeky nad nebezpečnou hodnotu. Přítok do Lipna dále prudce stoupá a kulminuje 13. srpna na hodnotě 470 m³/s. V této době hladina Lipna dosahuje již nebezpečného maxima a stoupá nad kótu ochranného prostoru (725,60 m.n.m.). Lipno je tedy donuceno z důvodu bezpečnosti hráze zvýšit vypouštění na 320 m³/s. V Českém Krumlově tedy povodňová vlna kulminuje o 11 hodin později na svém dlouhodobém maximu 420 m³/s. [29], [32], [34]



Obr. č. 18 Povodeň 2002 v Č. Krumlově, převzato [48]

Pokud se podíváme na průběh grafu (příloha č. 3), přítok do Lipna rapidně stoupl během pouhých 24 hodin. Je otázkou, zda mohlo Lipno s takto razantním nárůstem hodnot počítat. Ze závislosti na grafu v příloze č.3, pak vyvstává otázka, zda by při větším odpouštění před druhou povodňovou vlnou bylo schopné Lipno udržet bezpečný průtok Českým Krumlovem, o který v průběhu této doby usilovalo. Je zde také uveden vývojový diagram průtoku řeky Český Krumlovem v případě, že by Lipno vůbec neexistovalo. Na průběhu této křivky můžeme vidět, že v takovém případě by měl průtok Krumlovem podobný průběh, přičemž druhá povodňová vlna by jej zasáhla ještě s větší razancí, průtok by se zvýšil ještě o dalších zhruba $140 \text{ m}^3/\text{s}$ a to by způsobilo ještě větší škody. [29], [32], [34]

Pokud tedy budeme posuzovat úlohu Lipna při takto ničivých povodních, které dokonce přesáhly hodnoty, pro které bylo samotné dílo projektováno, můžeme říci, že tato úloha byla splněna. Samozřejmě, že nebylo Lipno schopno udržet průtok pod nádrží na hodnotách, které by nezpůsobily žádné škody, ale bylo schopno situaci pod ním zlepšit, i přes prudký a nečekaný nárůst přívalu vod. Závěrem mohu říci, že i v současné době, přes veškeré technické zabezpečení, je nám příroda schopna ukázat svou sílu a je třeba počítat s jejími nečekanými rozmery. [29], [32], [34]



Obrázek č.19 VD Lipno I –povodeň 08/2002, převzato z [35]

Po nečekaných povodňových událostech v roce 2002 byly rozvířeny diskuse o nutnosti zvyšování retenčních prostorů v nádržích Vltavské kaskády, tak aby byly schopny zadržet větší a překotný nárůst přívalových vod. Pro vodní dílo Lipno I. byla vypracována komplexní studie, která měla ozřejmit možnosti vodního díla a navrhnout varianty pro zlepšení ochrany před ničivými povodněmi. Nově navržená řešení by pak měla být využívána pouze k řešení situací, které budou mít statut více než stoleté vody. Studie byla rozdělena na tři dílčí projekty, které byly vypracovány postupně v průběhu roku 2004, a to následovně: [30]

1. V březnu roku 2004 byl vypracován firmou Vodní díla - TBD a.s. projekt stanovení mezní bezpečné hladiny vody v nádrži VD Lipno I.
2. V říjnu 2004 byla vypracována studie odtokových poměrů úseku Vltavy mezi VD Lipno I. a Lipno II. Tuto studii vypracovala firma DHI Hydroinform a.s.
3. Na konci roku, v prosinci 2004 pak byla ještě uvedena studie zvýšení retence VD Lipno, opět firmou Vodní díla – TBD a.s.

„Na základě studie zvyšování retence vodní nádrže pak byly rozpracovány čtyři varianty.

Varianta I. - snížení zásobního prostoru

V této variantě bylo předpokládáno, že dojde ke snížení zásobního prostoru na jednotnou letní i zimní kótu 724,35 m.n.m. Kóta současného max. letního zásobního prostoru se sníží o 1m a kóta max. zimního zásobního prostoru se sníží o 0,55 m.

- *nový zásobní prostor bude o objemu 251,6043 mil m³*
- *nový retenční prostor bude o objemu 57,8972 mil m³*
- *celoroční průměrné snížení zásobního prostoru 36,9791 mil m³*
- *celoroční průměrné zvýšení retenčního prostoru 36,9791 mil m³*
- *celkový objem nádrže – nezměněn*

Varianta II. – zvýšení retenčního prostoru zvýšením maximální hladiny vody v nádrži

V této variantě bylo předpokládáno, že dojde ke zvýšení retenčního prostoru zvýšením maximální hladiny vody v nádrži o 0,4 m na kótu 726,00 m.n.m. Zásobní prostor zůstane beze změny včetně rozlišení na letní a zimní.

- *nový retenční prostor bude v celoročním průměru 40,6504 mil m³*
- *zvýšení retenčního prostoru o 19,7323 mil m³*
- *celkový objem nádrže bude zvýšen o 19,7323 mil m³*

Varianta III. – zvýšení retenčního prostoru zvýšením maximální hladiny vody v nádrži a sjednocení letního a zimního zásobního prostoru

V této variantě bylo předpokládáno, že dojde ke snížení zásobního prostoru sjednocením na jednotnou kótu odpovídající současné zimní 724,90 m n.m. Kóta současného max. letního zásobního prostoru se tedy sníží o 0,45 m. Dále se předpokládá

zvýšení retenčního prostoru zvýšením maximální hladiny vody v nádrži o 0,4 m na kótu 726,00 m n.m.

- *nový zásobní prostor bude o objemu 276,3452 mil m³*
- *nový retenční prostor bude o objemu 52,8886 mil m³*
- *celoroční průměrné snížení zásobního prostoru 12,2382 mil m³*
- *celoroční průměrné zvýšení retenčního prostoru 31,9705 mil m³*
- *celkový objem nádrže bude zvýšen o 19,7323 mil m³*

Varianta IV. – maximální - zvýšení retenčního prostoru zvýšením maximální hladiny vody v nádrži a snížením zásobního prostoru

V této variantě bylo předpokládáno, že dojde ke snížení zásobního prostoru na jednotnou letní i zimní kótu 724,35 m.n.m. Kóta současného max. letního zásobního prostoru se sníží o 1m a kóta max. zimního zásobního prostoru se sníží o 0,55 m. Dále se předpokládá zvýšení retenčního prostoru zvýšením maximální hladiny vody v nádrži o 0,4 m na kótu 726,00 m. n.m.

- *nový zásobní prostor bude o objemu 251,6043 mil m³*
- *nový retenční prostor bude o objemu 77,6295 mil m³*
- *celoroční průměrné snížení zásobního prostoru 36,9791 mil m³*

- *celoroční průměrné zvýšení retenčního prostoru 56,7114 mil m³*
- *celkový objem nádrže bude zvýšen o 19,7323 mil m³“ [30]*

Po podrobném rozboru všech čtyř variant, byla pro realizaci vybrána varianta č. 3. Pro tuto variantu byly následně zpracovány plány opatření, jejichž výsledkem bylo zvýšení retence na vodním díle Lipno I. Následně pak bylo vypočteno i maximální množství odtoku pro tuto variantu a to ve výši 366 m³/s. V neposlední řadě muselo být provedeno i posouzení konstrukce vlastního tělesa hráze, zda je schopna udržet navrhované zvýšení maximální hladiny vody v nádrži. V roce 2005 pak byla také dle návrhu studie realizována opatření ke zvýšení odolnosti břehů odpadního koryta.

„ Ze studií, které byly na téma zvýšení retence na vodním díle Lipno I zpracovány vplynuly tři zásadní návrhy, jejichž realizace by přispěla k významnému zlepšení transformačních účinků tohoto vodního díla na povodňové průtoky:

- 1. sjednocení maximální hladiny zimního a letního zásobního prostoru na kótě 724,90 m n.m. (Balt p.v.)
přínos: v měsících květen až listopad včetně bude k dispozici o 21,1 mil.m³ větší retenční prostor*
- 2. zvýšení maximálního neškodného odtoku z vodního díla z 60 m³/s na 90 m³/s
přínos: umožnění efektivnější využití volného prostoru nádrže*
- 3. zvýšení maximální hladiny retenčního prostoru (maximální povolené hladiny v nádrži) o 40 cm, tj. na kótu 726,00 m.n.m. (Balt p.v.)
přínos: celoroční zvětšení retenčního prostoru o dalších 19,7 mil. m³ „ [30]*

Výše uvedená opatření byla kromě opatření číslo 3. přijata rozhodnutím Krajského úřadu – Jihočeského kraje dne 23.11. 2005 a v platnost vešla 26.1.2006 (č.j. KUJCK 23544/2005 OZZL/Zah). V současné době jsou první dvě opatření již prakticky uplatňována. Třetí opatření není možné realizovat z důvodu již existujícího platného nakládání s vodami pro vodní dílo Lipno I, proto při běžném provozu nebude tento prostor využíván. Byla však orientačně stanovena zátopová čára pro kótu 726,00 m. n. m. Retenční prostor mezi kótami 725,6 a 726,00 m. n. m. bude ale možno využívat v případech více než stoletých povodní. V tabulce číslo 10 jsou uvedena data o využívání nového retenčního prostoru. [30]

Povodňová vlna	Maximální přítok do nádrže	Maximální dosažená hladina [Balt p. v.]	Maximální doba využití 40 cm navýšení retenčního prostoru
PV 100	359 m ³ /s	725,31 m n.m.	nevyužito
PV 500	470 m ³ /s	725,80 m n.m.	cca 78 hodin
PV srpen 2002	1. vlna - 264 m ³ /s 2. vlna - 470 m ³ /s	725,94 m n.m.	cca 150 hodin

Tabulka č.10 Technické údaje o využívání nového retenčního prostoru, převzato z [30]

Závěr

Tato diplomová práce má podat nejen veškeré základní informace o způsobu a možnostech využívání vodní elektrické energie, ale poskytuje čtenáři dostatečný přehled o tom, jak důležitou a neocenitelnou roli hrají současná vodní díla v ochraně před povodněmi.

V úvodní části jsem se snažil shrnout rozdělení a účel vodohospodářských děl a přiblížit čtenáři pár důležitých momentů z historie vzniku vodních staveb a to nejen u nás, ale i v celosvětovém měřítku. Již odedávna lidé věděli, že voda je zásobárnou energie a snažili se tuto energii využívat při svých každodenních činnostech. Tak vznikali nejprve zavlažovací kanály na jednoduchém principu spádu vody, později díla poháněná např. vodními koly. Právě vodní kolo se pak stalo základem pro výrobu vodních turbín, které jsou používány v současné době ve vodních elektrárnách.

V následující kapitole by se měl čtenář seznámit s fyzikálními základy výroby vodní elektrické energie, tedy s principem přeměny potenciální energie vodní soustavy na kinetickou energii, která je následně transformována na elektrický proud. Bez pochopení těchto skutečností bych nemohl dále vysvětlovat principy chodu vodní elektrárny. S technologií výroby v samotné vodní elektrárně seznamuji čtenáře až po uvedení základů přeměny energie. Kapitola technologie výroby podrobně seznamuje s nejpoužívanějšími typy turbín a možnostmi jejich využití. Dále pak se samotným technologickým postupem výroby vodní elektrické energie.

Druhá část práce je věnována vodnímu dílu Lipno. V úvodu této kapitoly se opět zmiňuji o historii výstavby tohoto vodního díla. Rád bych, aby si čtenář z této kapitoly odnesl vědomí o tom, jak dlouhá a obtížná byla cesta od prvních úvah a projektů o výstavbě přehradních nádrží na horním toku řeky Vltavy až k realizaci konečného projektu soustavy vodních děl Lipno I a Lipno II. Tato část práce je také informativním popisem struktury vodní elektrárny Lipno I a II. Vyzdvihuje důležitost a nepostradatelnost těchto elektráren v celorepublikové elektrifikační soustavě. Navíc se čtenář dozví o neuskutečněném projektu přečerpávací elektrárny Lipno III, která měla být realizována již v roce 2000.

Jelikož je elektrárna Lipno I zpřístupněna také široké veřejnosti, měla by tato část práce sloužit i jako praktické doporučení k osobní návštěvě této elektrárny. V případě zájmu je možné za účelem výuky technologie výroby vodní elektrické energie zorganizovat exkurzi této elektrárny, kde nás zaměstnanci elektrárny ochotně provedou zpřístupněnými částmi vodního díla. V informačním centru vodní elektrárny Lipno probíhá podrobný výklad o principu elektrárny, který je doplněn promítáním filmu, jež posluchači přiblíží i historii díla. K dispozici je zde i funkční model elektrárny, na kterém je možné názorně vysvětlit princip výroby vodní elektrické energie.

Poslední kapitola je věnována úloze vodního díla Lipno v ochraně před povodněmi. Vodní dílo Lipno I je prvním článkem vltavské kaskády. Funkcí této soustavy přehrad není jen výroba vodní elektrické energie, ale hraje důležitou roli

i v ochraně celého toku řeky Vltavy před povodněmi, a Lipno I jako její úvodní článek tím spíše. I když ochrana před povodněmi nebyla v době výstavby jejím hlavním účelem, v současné době je tento význam stále více diskutován, zvláště po proběhlých povodních v roce 2002. Proto zde také uvádím několik informací o průběhu těchto povodní a o úloze, kterou sehrálo vodní dílo Lipno I, při regulaci průtoků pod ním. I přesto, že povodeň této doby přesáhla hodnoty, pro které bylo samotné vodní dílo projektováno, bylo schopno omezit celkový průtok pod přehradou a zmírnit tak napáchané škody, jak ukazuje graf v příloze č.3. I tak zasáhly povodně celé povodí řeky Vltavy a dolního Labe s ohromující silou. Proto byl v následujících letech rozvířen proud otázek, jakým způsobem takovýmto situacím nadále předcházet. Na základě studií byla provedena opatření ke zvýšení retenčního prostoru nádrže Lipno I.

Diplomovou práci je možno využít jako didaktický text určený k výuce celé problematiky vodního díla Lipno. Jednotlivá témata diplomové práce se podařilo uspořádat a upravit tak, aby na sebe vzájemně navazovala a byla dobře pochopitelná. Celý text je pro větší názornost doplněn o obrázky, tabulky a grafy.

Doufám, že vytyčené cíle, které jsem si stanovil, se podařilo v práci splnit, a jsem přesvědčen, že práce bude dobře použitelná v další vyučovací praxi na více typech a stupních škol.

Seznam použité literatury

Tištěné zdroje:

- [1] Bratránek, A.: Vltavská kaskáda, možnost zlepšení ochrany Velké Prahy před povodněmi. Vodní hospodářství, 6, 1956, č. 6, s. 142
- [2] Hašková, L.: Vltavská kaskáda. Praha, SNPL 1961.
- [3] Chlum, A.: Úpravy ve zdrži vodního díla Lipno. Zvláštní otisk z časopisu Vodní hospodářství, 10, 1960, č. 9, s. 2
- [4] Chlum, A.: Vodohospodářská výstavba na Vltavě (Vltavská kaskáda), Praha, Ředitelství vodohospodářských děl 1961.
- [5] Jiroušek, J.: Vltava ve vodním hospodářství ČSR. Vodní hospodářství, 3, 1953, č. 6
- [6] Michal, V.: Tady začíná more (Lipno 1951 – 1958). České Budějovice, KN ČB 1958.
- [7] Plecháč, V.: Vodní hospodářství na území České republiky, jeho vývoj a možné perspektivy. Praha, Evan 1999.
- [8] Riedl, J.: Když se stavělo vodní dílo Lipno. Českobudějovské listy, 6, 1997, č. 147.
- [9] Tůma, F.: Lipno – první stupeň vltavské kaskády. Český Krumlov, Okresní vlastivědné muzeum 1971.
- [10] Paďourek, R.: Lipno – perla mezi vodními stavbami. Povodí Vltavy, a.s.
- [11] Zídek, Z. – Kučera, B.: 40 let úspěšného provozu elektrárny a vodního díla Lipno, 1959 – 1999. ČEZ, a.s., Vodní elektrárny, Povodí Vltavy, a.s.
- [12] Zbejvalová, J.: Historie vodního díla Lipno. České Budějovice, 2001. Diplomová práce. Jihočeská univerzita.
- [13] Povodí Vltavy, Vydáno u příležitosti 25 let činnosti organizace Povodí Vltavy, Praha, 1992.
- [14] Vodní dílo Lipno I, Vodní díla vltavské kaskády. Povodí Vltavy, a.s.
- [15] Vodní dílo Lipno II, Vodní díla vltavské kaskády. Povodí Vltavy, a.s.

Televizní a dokumentární pořady

- [16] Kaněra, E.: Lidé nad Čertovou stěnou. 1962
- [17] Česká televize Studio Ostrava, Dokument z cyklu zrezivělá krása, Elektrárna pod

Čertovou stěnou. 2011

[18] Česká televize, Tvůrčí skupina Karla Hynie, pořad z cyklu Hledání ztraceného času – Vltava v obrazech, díl 3, 2001

[19] Česká televize, Tvůrčí skupina Karla Hynie, pořad z cyklu Hledání ztraceného času – Vltava v obrazech, díl 4, 2001

[20] Česká televize, Tvůrčí skupina Karla Hynie, pořad z cyklu Hledání ztraceného času – Vltava v obrazech, díl 5, 2001

[21] Informační centrum vodní elektrárny Lipno – videoprojekce, odborný výklad zaměstnanců elektrárny Lipno

Internetové zdroje:

[22] <http://mve.energetika.cz>

[23] <http://www.vodniturbiny.cz>

[24] <http://cs.wikipedia.org>

[25] www.orso.cz/dvorak/unlipnop.html

[26] www.ckrumlov.cz/cz1250/region/součas

[27] <http://www.4-construction.com/cz/clanek/50-let-vodniho-dila-lipno/>

[28] www.cbeng.cz/aktuality/generální-oprava

[29] http://www.pvl.cz/files/download/TZ_Lipno_II.pdf

[30] <http://www.csvh.cz/bulletin/2008obsah.pdf>

[31] <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/lipno.html>

[32] <http://www.ckrumlov.cz/obrgal/20020808/lipno.html>

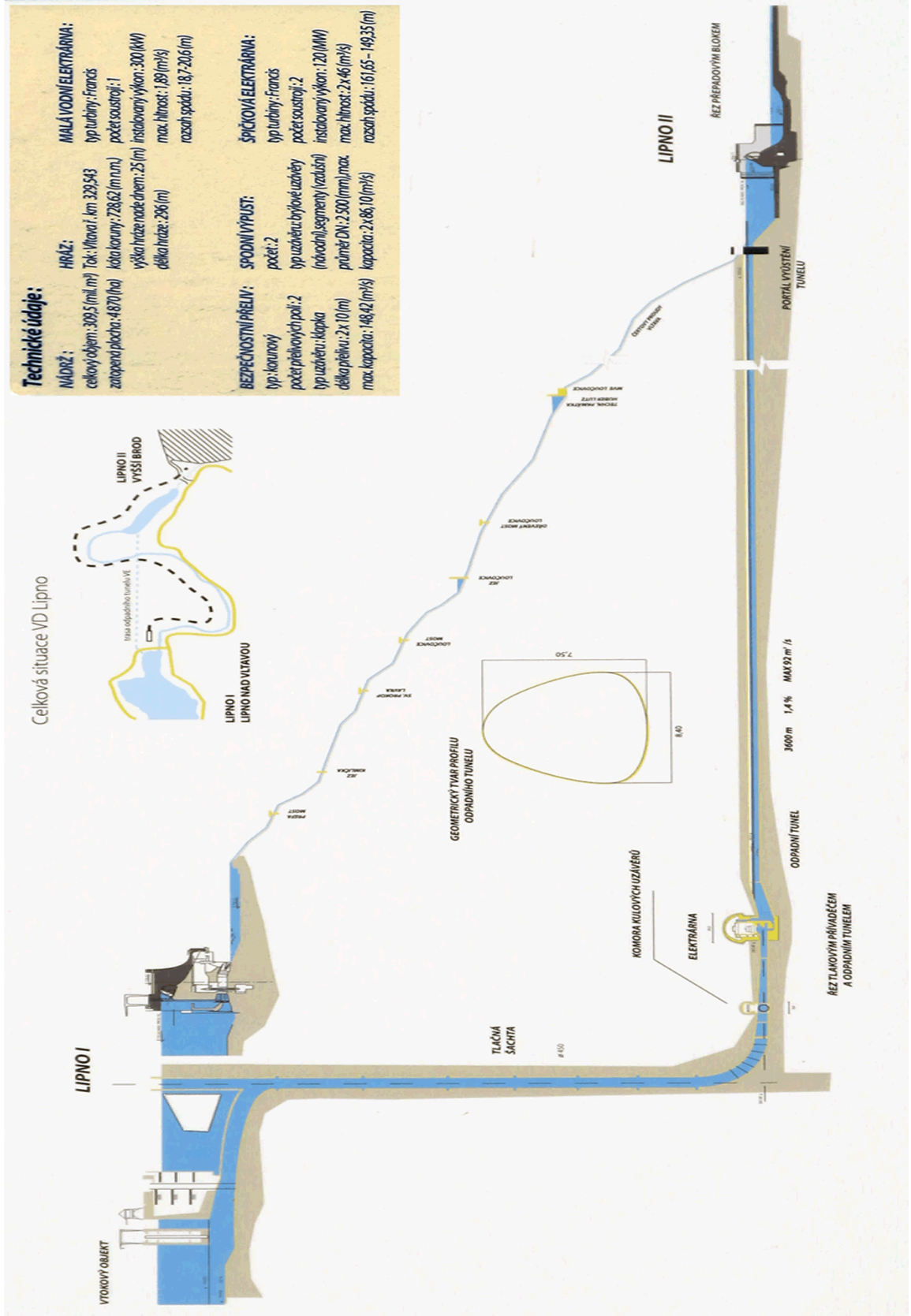
[33] http://www.tv-adams.wz.cz/prehrada_lipno.html

[34] <http://www.skupinacez.cz>

- [35] <http://www.pvl.cz/files/download/hydrologicke-informace/zpravy-o-povodni/2002-08-zprava-o-povodni.pdf>
- [36] http://www.ckrumlov.info/docs/cz/region_histor_elevb.xml
- [37] http://www.geocaching.com/seek/cache_details.aspx?guid=c2fa8efe-1d27-42ad-b29a-28042b701b19
- [38] <http://www.geology.cz/aplikace/fotoarchiv/galerie.php?galerie=14>
- [39] <http://www.turistika.cz/mista/strazny-prehrada>
- [40] http://cs.wikipedia.org/wiki/Jord%C3%A1n_%28T%C3%A1bor%29
- [41] <http://www.alternativni-zdroje.cz/vodni-geotermalni-energie.htm>
- [42] <http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz/vodni-elektrarny-cr.htm>
- [43] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/47-kineticka-energie>
- [44] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/48-potencialni-energie>
- [45] http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40285
- [46] <http://www.lipensko.org>
- [47] <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/regiony/208313-lipenska-turbina-se-vydala-na-posledni-cestu/?mobileRedirect=off>
- [48] <http://www.ckrumlov.info/img.php?img=atr512i5&LANG=cz>

Přílohy

Příloha č. 1 – Provozní schéma elektrárny Lipno I a II, převzato a upraveno z [34]



Příloha č. 2 – Přehledná situace přečerpávací vodní elektrárny Lipno III, převzato a upraveno z [12]



Průběh velké vody Český Krumlov 7.8 - 15.8. 2002

