

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 09: Strojírenství, hutnictví a doprava

Malé vodní elektrárny – případová studie MVE
Poděbrady

Small Hydropower Plants – A Case Study of the
Poděbrady Small Hydropower Plant

Autoři: David Čížek

Škola: ČAG – gymnázium a základní škola s.r.o. Třebízského 1010,
370 06 České Budějovice 5

Kraj: Jihočeský kraj

Konzultant: Mgr. Marek Vejsada

České Budějovice 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Českých Budějovicích dne 15. 3. 2026 David Čížek

.....

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval svému konzultantovi, panu Mgr. Marku Vejsadovi, za jeho odborné vedení, cenné rady, trpělivost a čas, který mi věnoval při psaní této práce SOČ.

Mé velké poděkování patří také majitelům MVE Poděbrady (společnosti 1. elektrárenská s.r.o.) za jejich mimořádnou vstřícnost a ochotu. Velmi si vážím toho, že mi poskytli veškerá potřebná historická a technická data, materiály a informace z účetnictví, bez kterých by nebylo možné tuto případovou studii a vyhodnocení rekonstrukce zpracovat.

Anotace

Tato práce SOČ se zabývá problematikou malých vodních elektráren s hlavním zaměřením na případovou studii MVE Poděbrady. V teoretické části jsou popsány zdroje vodní energie, princip fungování a základní typy vodních turbín. Praktická část mapuje historii, technický a architektonický význam MVE Poděbrady, která je chráněna jako národní kulturní památka. Hlavním cílem práce je analýza návrhů na rekonstrukci a modernizaci elektrárny, ke které došlo po havárii v roce 2006, a vyhodnocení skutečně provedených úprav z let 2009 až 2013. Práce na základě reálných dat o dodávkách elektřiny a investičních nákladech prokazuje, že zvolené řešení bylo správné, ekonomicky výhodné a zároveň úspěšně zachovalo původní historickou technologii strojovny.

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna; MVE Poděbrady; vodní turbína; rekonstrukce; energetický audit

Annotation

This SOČ thesis addresses the issue of small hydroelectric power plants, with a primary focus on a case study of the Poděbrady Small Hydroelectric Power Plant. The theoretical section describes sources of hydroelectric power, the operating principles, and the basic types of water turbines. The practical section traces the history and examines the technical and architectural significance of the Poděbrady Small Hydroelectric Power Plant, which is protected as a national cultural monument. The main objective of the project is to analyze proposals for the reconstruction and modernization of the power plant following the accident in 2006, and to evaluate the modifications carried out between 2009 and 2013. Based on actual data on electricity supply and investment costs, the thesis demonstrates that the chosen solution was correct, economically advantageous, and successfully preserved the original historical technology of the powerhouse.

Keywords

Small hydroelectric power plant; Poděbrady SHPP; water turbine; renovation; energy audit

OBSAH

Použitá označení	7
Úvod.....	8
1 Využití vodní energie	9
1.1 Zdroje energie.....	9
1.2 Vodní energie	9
2 Malé vodní elektrárny.....	10
2.1 Druhy a rozdělení vodních elektráren.....	11
2.1.1 Rozdělení podle způsobu přenosu energie	11
2.1.2 Rozdělení podle využití vodního toku.....	11
2.1.3 Rozdělení podle spádu (H).....	11
2.1.4 Rozdělení podle instalovaného výkonu turbíny.....	12
2.2 Princip fungování MVE.....	12
3 Typy vodních turbín.....	13
3.1.1 Francisova turbína	13
3.1.2 Kaplanova turbína	14
3.1.3 Peltonova turbína	16
3.1.4 Bánkiho turbína.....	17
4 MVE Poděbrady.....	18
4.1 Historie	18
4.1.1 Potřeba regulace Labe	18
4.1.2 Projektování.....	18
4.1.3 Fáze výstavby a zprovoznění.....	19
4.1.4 Technický a památkový význam.....	19
4.1.5 Architektonický a urbanistický význam	19
5 Rekonstrukce a modernizace MVE Poděbrady	24
5.1 Technický stav v roce 2006	24
5.2 Návrhy na rekonstrukci a modernizaci.....	24
5.2.1 Vertikální propelerové turbíny s nízkou savkou	24
5.2.2 Vertikální kaplanovy turbíny s hlubokou savkou	25
5.2.3 Vertikální propelerové turbíny a jedna kaplanova turbína s nízkou savkou	25

5.3	Energetický audit	26
5.3.1	Varianta č. 1: výměna dvou havarovaných soustrojí.....	26
5.3.2	Varianta č. 2: výměna dvou havarovaných soustrojí a rekonstrukce 2 stávajících soustrojí.....	27
5.3.3	Varianta č. 3: rekonstrukce MVE s důrazem na maximální využití hydroenergetického potenciálu k výrobě elektřiny	27
5.3.4	Investiční náklady	28
5.4	Rozhodnutí majitelů MVE Poděbrady	29
6	Vyhodnocení rekonstrukce.....	30
6.1	Výroba a dodávka elektřiny do el. sítě ČEZ.....	30
6.2	Investiční náklady	32
7	Závěr.....	32
8	Seznam literatury	33
9	Seznam obrázků	35

Použitá označení

MVE = malá vodní elektrárna

μ VE = mikro vodní elektrárna (mikroelektrárna)

OZE = obnovitelné zdroje elektřiny

ERÚ = energetický regulační úřad

TG = turbogenerátor (soustrojí)

VN = vysoké napětí

NN = nízké napětí

H = výškový rozdíl hladin, [m]

Q = průtok, [m^3s^{-1}]

P = výkon [W]

ρ = hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

g = tíhové zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

μ = účinnost

Úvod

Téma mé středoškolské odborné činnosti je „Malé vodní elektrárny – případová studie MVE Poděbrady“. Toto téma jsem si vybral, protože bych rád popsal malou vodní elektrárnu Poděbrady a zároveň zanalyzoval její rekonstrukci a modernizaci a zvážil, zda by bylo lepší zvolit jiná možná řešení na její zrealizování. Téma malých vodních elektráren mě zajímá a rád bych se dozvěděl nové informace z této oblasti při psaní SOČ. Vzhledem k tomu, že bydlím ve vodním mlýně s mikro vodní elektrárnou, který dříve využíval vodní energii k pohonu mlýna a později i k výrobě elektřiny pro veřejné osvětlení a pro domácnosti, mám již určité základní znalosti a osobní vztah k tomuto tématu. Věřím, že tyto předpoklady mi umožní zabývat se tématem hlouběji a efektivněji. Tento fakt byl také jedním z důvodů, proč jsem si právě toto téma vybral.

V úvodu své práce se budu věnovat obecnému popisu malých vodních elektráren, jejich principu fungování a hlavním součástí. Následně popíšu různé typy vodních turbín, se kterými budu pracovat v praktické části své práce. Hlavní část SOČ se pak zaměří na MVE Poděbrady, kterou jsem si vybral nejen z technického hlediska, ale také z důvodu její architektonické a historické hodnoty. Tato elektrárna je jednou z mála vodních elektráren, které jsou označeny jako národní kulturní památka, což její studium činí ještě zajímavějším.

V praktické části své práce se budu věnovat popisu MVE Poděbrady z technického, architektonického a historického hlediska. Dále se zaměřím na jednu studii a energetický audit, které byly vytvořeny na základě výskytu havarijního stavu na jednom ze soustrojí elektrárny. Tyto materiály popisují možnosti rekonstrukce a modernizace celé elektrárny s cílem zvýšení účinnosti výrobního zařízení. S odstupem času 13 let přijímám výzvu od majitelů elektrárny a na základě těchto materiálů pak vyhodnotím, zda majitelé elektrárny zvolili nejlepší možné řešení na rekonstrukci a modernizaci elektrárny, či nikoliv a proč.

1 Využití vodní energie

1.1 Zdroje energie

Energie je jeden z nejdůležitějších činitelů, který má vliv na rozvoj národního hospodářství ve všech jeho oblastech. Význam energie roste v souvislosti s vyčerpatelností jejích zdrojů a nerovnoměrným rozložením zásob na Zemi. Nejdůležitějším, avšak vyčerpatelným zdrojem energie vždy byly a jsou fosilní paliva. Vytěžitelné zásoby uhlí, ropy a zemního plynu, které jsou nejčastěji používanými zdroji energie, jsou odhadem dostačující pouze na nadcházející desítky, možná stovky let při stálé spotřebě.

Mezi další zdroje energie patří jaderná energie. Jaderná energie začala být využívána lidstvem teprve v minulém století. Výhodou tohoto zdroje energie je, že jeho zásoby jsou téměř nevyčerpatelné, díky své vysoké energetické hustotě a vysokým zásobám.

Neobnovitelné zdroje energie představují pro lidstvo nejvýznamnější limitující faktor, zpomalující tempo rozvoje, který souvisí s ekologickými problémy, a to zejména s velkou produkcí odpadů, jež je nemožné odstranit bez následků. Proto se společnost zaměřuje hlavně na využívání obnovitelných zdrojů energie s nevyčerpatelnými zdroji přírodní energie, mezi které patří větrná energie, energie vody a energie slunečního záření. Tyto zdroje energie se sami obnovují a nemají žádný negativní dopad na životní prostředí. Z těchto zdrojů je vodní energie prozkoumaná nejvíce.¹

1.2 Vodní energie

Hned po zvířecí energii (mechanická energie získaná z práce zvířat) byla vodní energie jednou z prvních, kterou dokázal člověk použít a přeměnit na mechanickou práci. Je to právě jeden z nevyčerpatelných zdrojů přírodní energie.²

V ČSSR v roce 1979 bylo skutečné využití vodní energie 32,8 %, což bylo v porovnání s ostatními evropskými státy relativně nízké. Proto v roce 1979 došlo v ČSSR k přehodnocení technicky využitelného hydroenergetického potenciálu vodních toků a zaměřili se na využití vodní energie v malých vodních elektrárnách a mikrozdrojích (elektrárny do 10 MW a do 35 kW), kde bylo využití nejvíce realizovatelné.¹

České země v minulosti vždy patřili v Evropě mezi průmyslovou špičku a díky rozšíření vodních elektráren – zejména MVE a μ VE, sehrály důležitou roli při pohonu průmyslových podniků a místních provozů.

¹ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2 turbíny*. 1989. Spálená 51, 113 02 Praha 1: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989.

² LAIKA, Viktor. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Dostupné z: <https://mve.energetika.cz/>. [cit. 2025-10-4].

Životní styl v minulosti se výrazně lišil od toho současného. S rozvojem společnosti, hospodářství a řemesel vznikalo stále více provozoven a zařízení, kde byla využívána vodní energie například k pohonu mlýnů, pil, hamrů a mnoho dalších.

Od počátku využívání vodní energie až po zřízení třífázové celostátní elektrické sítě byla vodní energie primárně využívána pro přímé mechanické pohony strojů a zařízení tzn., že energie z vody byla přenesena přímo na strojní zařízení bez přeměny na jinou formu energie, jako je elektřina. Pokud nebyl výkon vodního motoru dostatečný, anebo byly suché podmínky a nedostatek vody, tak byly kvůli zabezpečení provozu podporovány jinými zdroji hnací síly. S následným vynálezem dynama a později i alternátoru se situace výrazně změnila. Nejdříve byla elektrická energie využívána pouze pro osvětlení, ale později po rozšíření elektrických sítí se elektrická energie stala hlavní hnací silou celého průmyslu. Tímto skončily původní transmisní pohony a vodní energie se začala používat hlavně k výrobě elektrické energie.²

V posledních letech se vodní elektrárny podílely na celkové hrubé výrobě elektřiny v České republice přibližně 2,5 %, což představuje zhruba 20 % podíl mezi OZE. MVE zaujímají v rámci celé ČR podíl asi 1,5 % na celkové výrobě elektřiny a přibližně 11 % mezi obnovitelnými zdroji.³

2 Malé vodní elektrárny

Využívání energie z vody patří k nejstarším způsobům získávání energie vůbec. Na začátku existovalo pouze obyčejné vodní kolo, se kterým si lidé hodně ulehčovali práci a dokázali převést energii vody na jinou mechanickou kinetickou energii. Až ve 20. století začal velký rozvoj získávání energie z obnovitelných zdrojů. Strojům, pomocí kterých získávali elektrickou energii z vody se říká vodní elektrárny.

Vodní elektrárny fungují na principu přeměny potenciální nebo kinetické energie vody v tocích na jinou formu energie. Množství získané energie závisí na rychlosti proudění a výškovém spádu toku. Energie vodního toku je totiž určena součinem těchto dvou veličin:

- Využitelný spád (H)
- Průtok (Q)

Zatímco průtok je proměnná veličina, která se do určité míry mění podle počasí, spád toku lze považovat za konstantní hodnotu určenou tvarem terénu. Obě tyto veličiny jsou velmi důležité a závisí na sobě. Jsou ovlivněné místními podmínkami a je zcela logické, kdy je která vyšší. Na horách a na vysočině bude relativně snadné získat velký spád, který může zvýšit výkon turbíny i s menším průtokem. Naopak v nížinách bude jednodušší získat vodnatý tok s velkým průtokem, ale zase je skoro nemožné zajistit zde velký spád. U vodních děl je nejlepší najít lokalitu s možná co největším spádem, čímž se sníží i množství vody, které by bylo třeba nashromáždit. Pokud je to tedy možné, volí se lokality na výstavbu vodních elektráren v blízkosti terénních nerovností, kde tok vody rychleji klesá. Před místem, kde začne řeka

³ ŠTÍPSKÝ, Pavel. *Malé vodní elektrárny (MVE) v ČR*. Praha: SPVEZ, 2024.

prudčeji klesat je odběr vody a po průchodu turbínou se voda vrací zpět do toku pod tímto místem. Toto je ideální řešení, které ušetří mnoho metrů případného náhonu se stejným spádem.

2 4 5 6

2.1 Druhy a rozdělení vodních elektráren

Vodní elektrárny lze rozdělit podle různých hledisek do několika kategorií. Nejčastěji se rozlišují podle stavebního uspořádání, způsobu využití a nakládání s vodou nebo na základě velikosti instalovaného výkonu turbíny. Každé z těchto kritérií napomáhá lépe porozumět činnosti, principu a účelu daného typu elektrárny.

2.1.1 Rozdělení podle způsobu přenosu energie

- Rovnotlaké turbíny
 - U těchto turbín se tlak vody při jejím průchodu turbínou nemění. K výrobě energie se tak používá pouze kinetická energie proudící vody. Tento typ se označuje jako **akční** turbíny
- Přetlakové turbíny
 - U těchto turbín je tlak vody před oběžným kolem vyšší než za ním, takže se kromě kinetické energie využívá také část tlakové energie vody. Tento typ turbín se nazývá **reakční**

2.1.2 Rozdělení podle využití vodního toku

- Průtočné elektrárny – nezadržují vodu
 - Derivační elektrárny
 - Jezové elektrárny
- Akumulační elektrárny – zadržují vodu v nádrži (přehradě)
 - Přehradní vodní elektrárny
 - Přehradní derivační elektrárny
- Přečerpávací elektrárny
- Slapové neboli přílivové elektrárny

2.1.3 Rozdělení podle spádu (H)

- Nízkotlaké – spády do 20 m
- Středotlaké – spády od 20 m do 100 m
- Vysokotlaké – spády nad 100 m

⁴ OENERGETICE.CZ. Vodní elektrárny: Princip a rozdělení. In: *oEnergetice.cz* [online]. 15. 6. 2015 [cit. 2025-10-5]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrany-princip-a-rozdeleni>

⁵ HW.CZ. Řídicí systém malé vodní elektrárny Poděbrady. In: *Automatizace.HW.cz* [online]. 13. 12. 2006 [cit. 2025-10-5]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006121301>

⁶ ČEZ. Samá voda. In: *Svět energie* [online]. [cit. 2025-10-5]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/energetika-ctive/vodni-elektrany/sama-voda>

2.1.4 Rozdělení podle instalovaného výkonu turbíny

- Velké elektrárny – výkon nad 200 MW
- Střední elektrárny – výkon od 100 MW do 200 MW
- Malé elektrárny (MVE) – výkon do 10 MW
 - Průmyslové – výkon od 60 kW do 10 MW
 - Veřejné – výkon od 100 kW do 10 MW
 - Závodní – výkon od 60 kW do 100 kW
 - Drobné – výkon do 60 kW
 - Minielektrárny – výkon od 35 kW do 60 kW
 - Mikro zdroje – výkon od 2 kW do 35 kW
 - Mobilní zdroje – výkon do 2 kW ^{7 8 9}

2.2 Princip fungování MVE

Přitékající voda předává turbíně svou potenciální a kinetickou energii, čímž způsobuje otáčení oběžného kola turbíny. Turbína je spojena společnou hřídelí s generátorem a rotační energie turbíny se v generátoru přeměňuje na elektrickou energii pomocí principu elektromagnetické indukce. Společně turbína a generátor tvoří tzv. turbogenerátor.

Ve vodních elektrárnách se energie vodních toků využívá prostřednictvím potenciální a kinetické energie vody.

Potenciální energie vzniká působením gravitace a závisí na spádu vody, tedy na výškovém rozdílu hladin před a za turbínou. Kinetická energie je přímo úměrná druhé mocnině rychlosti proudění vody v toku. Obě tyto složky energie umožňují turbíně vykonat mechanickou práci, která je následně přeměněna na energii elektrickou.

⁷ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2 turbíny*. 1989. Spálená 51, 113 02 Praha 1: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989.

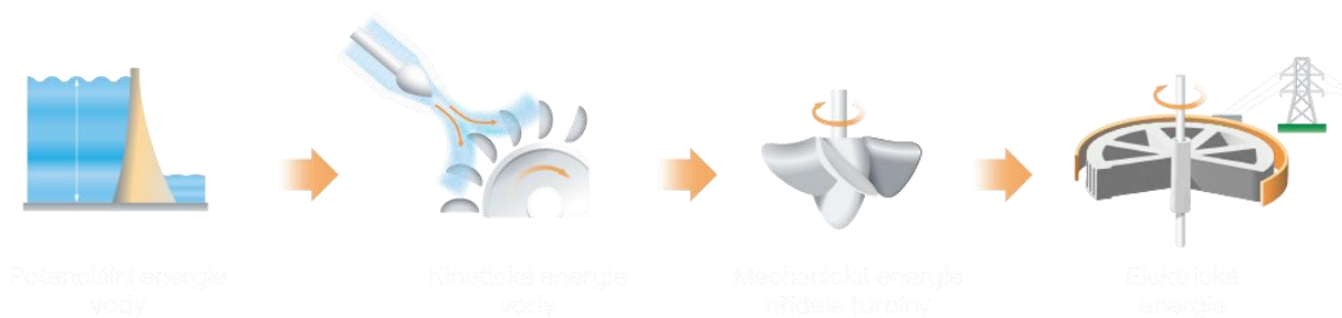
⁸ HW.CZ. Řídicí systém malé vodní elektrárny Poděbrady. In: *Automatizace.HW.cz* [online]. 13. 12. 2006 [cit. 2025-10-5]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006121301>

⁹ OENERGETICE.CZ. Vodní elektrárny: Princip a rozdělení. In: *oEnergetice.cz* [online]. 15. 6. 2015 [cit. 2025-10-5]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>

Pro výpočet výkonu turbíny se používá vzorec závislý na velikosti spádu, průtoku vody turbínou a její účinnosti.

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \mu \text{ [W]}$$

ρ značí hustotu vody [1000 kg·m⁻³], Q průtok [l/s], g tíhové zrychlení [m·s⁻²], H spád [m] a μ účinnost turbíny^{10 11 12}



Obrázek 1: Voda jako zdroj energie

Zdroj: ČEZ, 2025

3 Typy vodních turbín

Je mnoho typů vodních turbín, avšak existuje pouze několik základních typů turbín a od nich se různými úpravami odvíjejí konkrétní specifické typy. Mezi základní druhy turbín, které jsou zároveň nejvíce používané patří:

3.1.1 Francisova turbína

Francisova turbína byla poprvé sestrojena v roce 1849 a je nejdéle používaným typem moderních vodních turbín. Její konstrukce vychází z teoretických principů popsanych matematikem Leonardem Eulerem a díky své účinnosti a spolehlivosti je využívána dodnes. Využívá se hlavně na středních a vyšších spádech a průtocích, ale je možné ji nalézt i na menších spádech a průtocích, protože je jednodušší a levnější na výrobu. Dříve byla právě z těchto důvodů postavena i na takových místech. Rozděluje se na dvě varianty podle uložení hřídele – vertikální a horizontální.

¹⁰ OENERGETICE.CZ. Vodní elektrárny: Princip a rozdělení. In: *oEnergetice.cz* [online]. 15. 6. 2015 [cit. 2025-10-5]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>

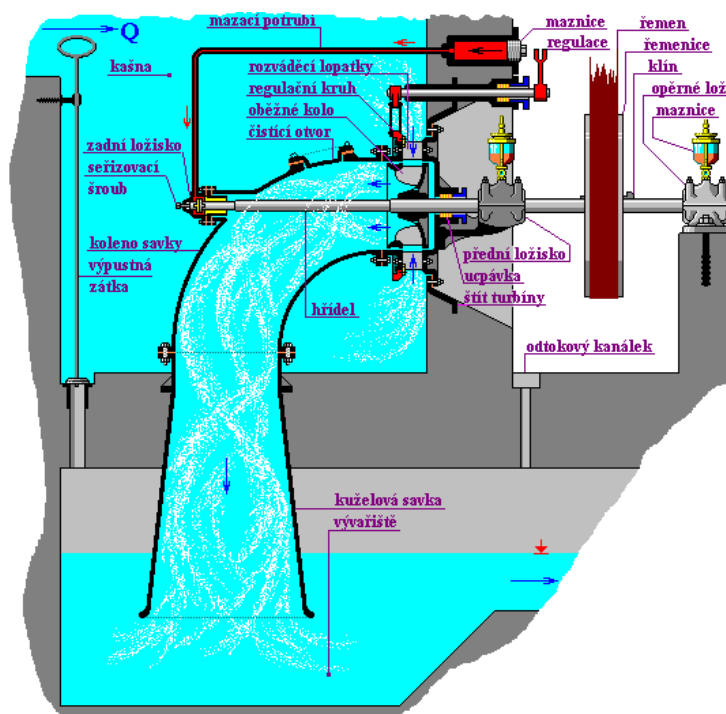
¹¹ HW.CZ. Řídicí systém malé vodní elektrárny Poděbrady. In: *Automatizace.HW.cz* [online]. 13. 12. 2006 [cit. 2025-10-5]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006121301>

¹² ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA. Vodní elektrárny. In: *Informační portál* [online]. [cit. 2025-10-5]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/vodni-elektrarny#article-top>

Francisova turbína patří mezi reakční přetlakové turbíny, což znamená, že tlak pracovní kapaliny se mění při průchodu strojem. Přitom voda předává svou energii oběžnému kolu. Pro udržování správného směru vody slouží rozváděcí lopatky, které zároveň umožňují regulaci výkonu turbíny.

Rotor turbíny je umístěn mezi vysokotlakým přívodem a nízkotlakou savkou (obvykle v patě přehrady). Vstupní potrubí se směrem k turbíně postupně zužuje, aby se zvýšila rychlost vody. Pomocí rozváděcích lopatek je voda směřována na lopatky oběžného kola tak, aby se minimalizovaly ztráty (víření a nárazy vody na lopatky) a dosáhlo se maximální účinnosti.

Při průchodu vody rotorem se její rotační rychlost zmenšuje a zároveň odevzdává svou energii rotoru. Tento proces společně s působením vysokého tlaku vody, zajišťuje vysokou účinnost turbíny. Výstupní zařízení turbíny (savka) je tvarováno tak, aby rychlost výstupní vody byla co nejmenší, což také přispívá k účinnosti turbíny.^{13 14}



Obrázek 2: Schéma francisovy turbíny

Zdroj: Laika, 2025

3.1.2 Kaplanova turbína

Kaplanovu turbínu navrhl a patentoval brněnský profesor Viktor Kaplan (1876–1934). První prototyp vyrobila firma Ignác Storek v roce 1919 a dosahoval vysoké mechanické účinnosti (až 86 %). Druhý prototyp turbíny byl zkoušen právě v Poděbradech, kde se ale projevila kavitace

¹³ STUDENÍK, Jiří a SVITAVSKÝ, Michal. *Energie větru, vody, biomasy*. [Online]. Code Creator, 2016. ISBN 978-80-88058-06-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Cover.html?lang=en&b=n5m47>. [cit. 2025-10-25].

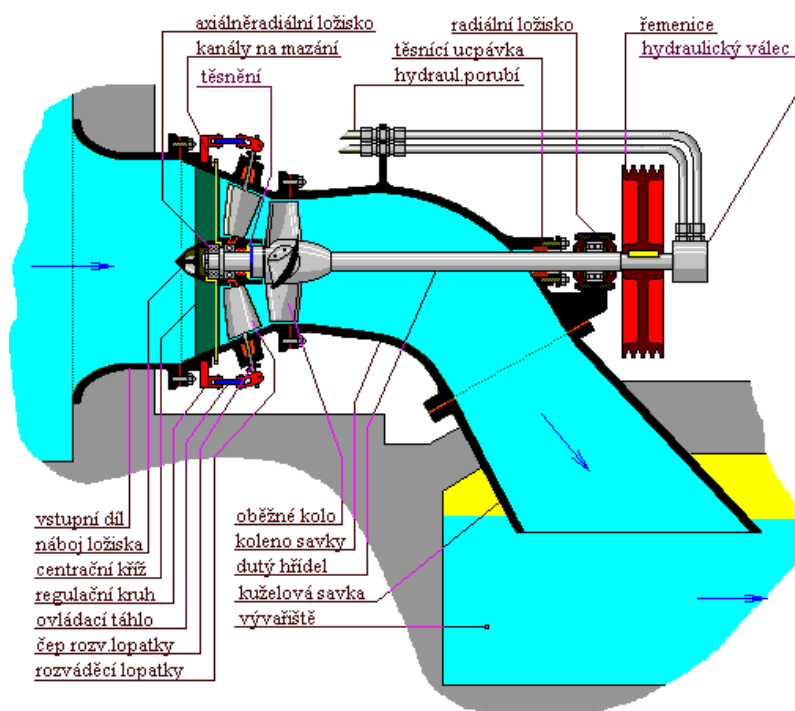
¹⁴ OENERGETICE.CZ. Vodní elektrárny: Princip a rozdělení. In: *oEnergetice.cz* [online]. 15. 6. 2015 [cit. 2025-10-25]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>

(nadměrné opotřebení lopatek). Tento problém vyřešily až Kaplanovy žací. Tento typ turbíny se stal nejvýznamnějším ve velkých vodních elektrárnách po celém světě. Průlomem Kaplanovy turbíny byla v té době největší turbína na světě ve Švédském Jlla Edet v roce 1925.

Kaplanova turbína je reakční přetlaková axiální turbína a dokáže velmi dobře regulovat. To ji dělá vhodnou pro místa, kde není stálý průtok nebo spád. Na rozdíl od Francisovy turbíny má méně lopatek na oběžném i rozváděcím kole, má jiný tvar, a hlavně větší možnost regulace náklonu lopatek oběžného i rozváděcího kola. Díky možnosti regulace náklonu i oběžného kola dosahuje turbína vysoké účinnosti v širokém pásmu průtoků, ale je náročnější a dražší na výrobu. Kaplanovy turbíny se používají zejména při velkých průtocích a malých spádech, které nejsou konstantní.

Oběžné lopatky jsou natáčivě upevněny v náboji kola, který má vhodný hydrodynamický tvar. Natáčení lopatek se provádí plynule za provozu pomocí regulačního mechanismu v náboji kola. Rozváděcí lopatky jsou také natáčivé a jejich pohyb je synchronizován s oběžným kolem.

U turbín s větším výkonem se používá vertikální provedení. Turbíny s menším výkonem mohou být horizontální nebo s mírně šikmou osou rotoru.^{15 16}



Obrázek 3: Schéma kaplanovy turbíny

Zdroj: Laika, 2025

¹⁵ STUDENÍK, Jiří a SVITAVKÝ, Michal. *Energie větru, vody, biomasy*. [Online]. Code Creator, 2016. ISBN 978-80-88058-06-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Cover.html?lang=en&b=n5m47>. [cit. 2025-10-25].

¹⁶ OENERGETICE.CZ. Vodní elektrárny: Princip a rozdělení. In: *oEnergetice.cz* [online]. 15. 6. 2015 [cit. 2025-10-25]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>

3.1.3 Peltonova turbína

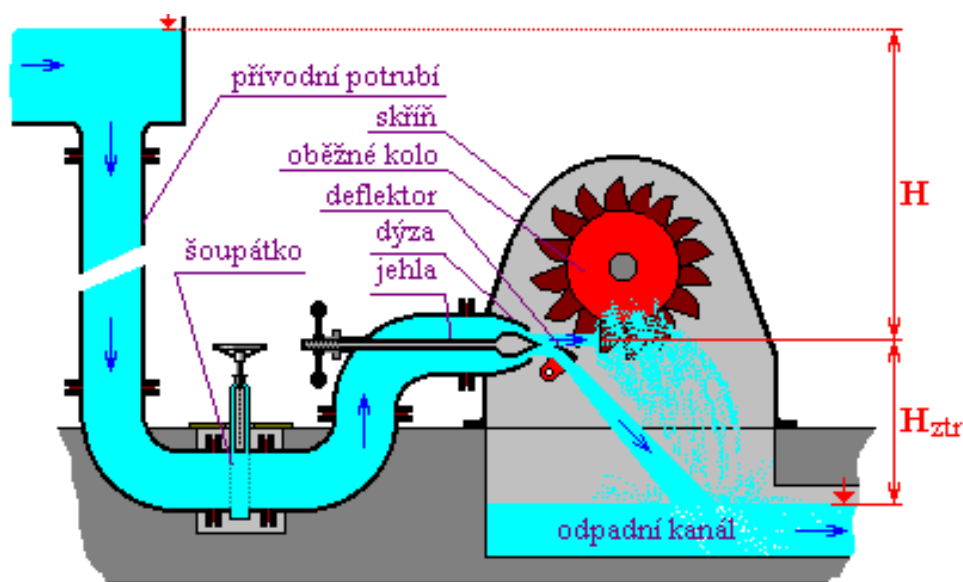
Peltonovu turbínu vynalezl Američan Lester Allan Pelton (1829–1908). Inspiraci našel, když studoval důlní zařízení v období Kalifornské zlaté horečky. První Peltonovo oběžné kolo bylo instalováno v roce 1878 v Mayflower Mine ve státě Nevada.

Peltonova turbína je nejefektivnější při vysokém tlaku přívodní vody, protože voda je prakticky nestlačitelná a téměř veškerá její energie se přenáší na turbínu. Díky tomu stačí k přeměně energie vody na rotační energii pouze jedno oběžné kolo. Peltonovy turbíny se používají na velkých spádech s malými průtoky vody a vyrábějí se v různých velikostech. Používají se při spádu přibližně od 15 m do 1800 m.

Jedná se o akční rovnotlakou tangenciální turbínu, kde voda proudí tečně na obvod rotoru skrze trysky. Rozváděcí prvek tvoří dýza na přívodním potrubí, ze které voda vystupuje jako kruhový paprsek a naráží na lopatky oběžného kola, které mají lžičkovitý tvar. Každá lopatka je postavena proti směru toku vody a tím vzniká síla, která roztáčí rotor turbíny.

Oběžné lopatky jsou pevné, nedají se regulovat a mají tvar dvojitého křídla. Regulace výkonu se provádí změnou průtoku vody, a to přímočarým posouváním jehly v dýze, většinou pomocí servomotoru. Pro rychlé zastavení turbíny (např. při výpadku generátoru) se používá tzv. deviátor neboli deflektor, který odklání paprsek vody mimo oběžné kolo. Jeho pohyb je propojen s pohybem regulační jehly.

Celé soustrojí je obvykle horizontální, avšak u turbín s více než dvěma tryskami se používá vertikální uspořádání.^{17 18}



Obrázek 4: Schéma peltonovy turbíny

Zdroj: Laika, 2025

¹⁷ STUDENÍK, Jiří a SVITAVSKÝ, Michal. *Energie větru, vody, biomasy*. [Online]. Code Creator, 2016. ISBN 978-80-88058-06-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Cover.html?lang=en&b=n5m47>. [cit. 2025-10-26].

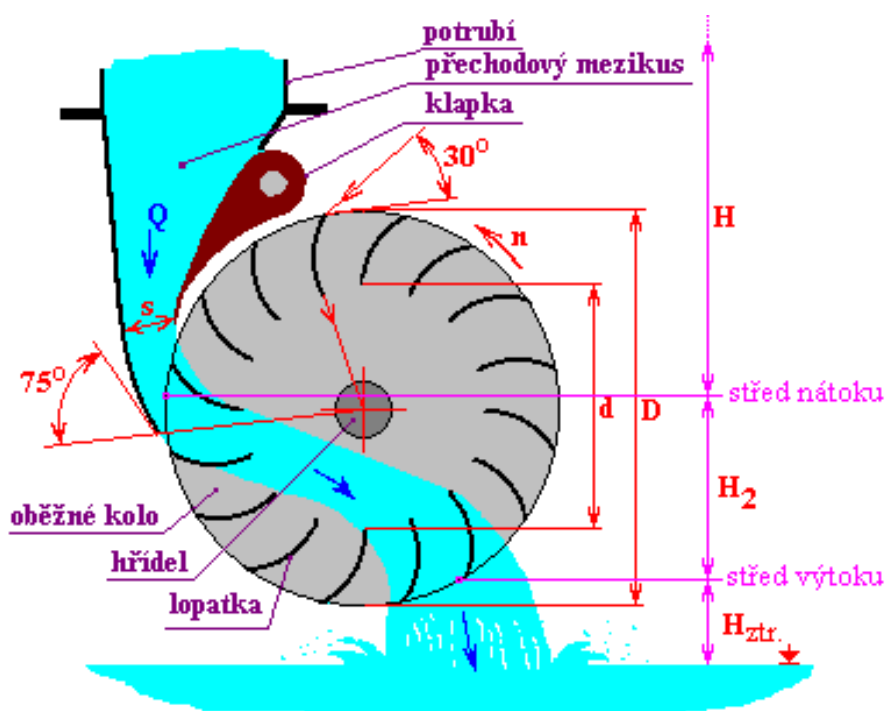
¹⁸ OENERGETICE.CZ. Vodní elektrárny: Princip a rozdělení. In: *oEnergetice.cz* [online]. 15. 6. 2015 [cit. 2025-10-26]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>

3.1.4 Bánkiho turbína

První teoretické výpočty provedl A. G. Mitchell v roce 1903 pomocí využití teorie Ponceletova vodního kola a starších principů parních turbín. Donát Bánki mezi lety 1912–1919 prováděl experimenty, přidal vstupní těleso a vypracoval jeho teorii. Další vývoj turbíny je spojen s firmami Ossberg, Cink a ČKD Turbo Technics.

Tento typ turbíny je velmi oblíben u malých vodních elektráren, a to zejména díky své konstrukční jednoduchosti. Je ekonomicky výhodný, ale má menší účinnost než předchozí typy turbín (70–85 %).

Bánkiho turbína je jednoduchá, akční, rovnotlaká, radiální turbína s dvojnásobným průtokem vody. Specifické je, že lopatky oběžného kola proud vody obtéká ze dvou směrů. Kolo tvoří dvě kruhové desky, mezi kterými jsou umístěny jednoduché lopatky připomínající tak trochu mlýnské kolo. Kolo je umístěno ve skříni, do níž přitéká usměrněný proud vody. Voda prochází lopatkami dovnitř kola poté znovu odchází na druhé straně skříně. Při průchodu lopatkami odevzdává část své energie a tím roztáčí rotor turbíny.¹⁹



Obrázek 5: Schéma Bánkiho turbíny

Zdroj: Laika, 2025

¹⁹ STUDENÍK, Jiří a SVITAVKŠÝ, Michal. *Energie větru, vody, biomasy*. [Online]. Code Creator, 2016. ISBN 978-80-88058-06-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Cover.html?lang=en&b=n5m47>. [cit. 2025-10-26].

4 MVE Poděbrady

MVE Poděbrady se nachází ve Středočeském kraji ve městě Poděbrady, kde využívá vodu z řeky Labe. Je postavena na levém břehu hlavního koryta řeky, přímo naproti historickému zámku. Budova elektrárny stojí zčásti na břehu a zčásti na pilířích v řečišti. Ze severu na ní navazuje jez se čtyřmi manipulačními budky. Z druhé strany řeky je vybudována plavební komora a pěší lávka.²⁰

Od 1. 7. 2017 je MVE Poděbrady označena za národní kulturní památku. Její památková hodnota spočívá v unikátně dochované a autentické vodní elektrárně, která se pyšní se stále funkční technologií a velmi výjimečným architektonickým řešením.^{21 22}

4.1 Historie

Vodní elektrárna v Poděbradech má bohatou historii a na její výstavbě a provozu se podílelo několik významných lidí. Byla zde například vůbec poprvé v českých zemích využívána kaplanova turbína v roce 1921.**Chyba! Záložka není definována.**²³

4.1.1 Potřeba regulace Labe

Na počátku 20. století byly velké požadavky na lodní dopravu a s tím byly spojeny rozsáhlé úpravy vodních toků. Regulace toku Labe byla zahájena na základě vodocestního zákona č. 66 z roku 1901. Poděbrady patřily mezi první místa, kde bylo nutné stavební změny provádět, protože situace v této lokalitě byla naprosto kritická. Labe se v tomto místě pod zámkem stáčelo velmi prudce (téměř v pravém úhlu), což bylo nepraktické pro lodní dopravu. Navíc špatné odtokové poměry, způsobené malou průtočnou kapacitou koryta (kolem 260 m³/s) a pevným jezem v úžině u zámku, vedly k častým záplavám a trvalému podmáčení okolních pozemků města. O výstavbě vodní elektrárny, jezu a plavební komory bylo rozhodnuto už v roce 1900 jako součást celkové regulace Labe.²¹

4.1.2 Projektování

Projekt regulace Labe v Poděbradech připravila tehdejší pražská expozitura Ředitelství pro stavbu vodních cest. Areál vodní elektrárny a zdymadla v Poděbradech patří do souboru vodních staveb, které vznikaly na středním toku Labe, který byl značně regulován na přelomu 20. století. Tyto stavby byly často navrhované žáky Otto Wagnera a Jana Kotěry. Pro Poděbrady

²⁰ NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Vodní elektrárna* [online]. Památkový katalog. Rejstříkové číslo ÚSKP 34863/2-1925. [cit. 2025-11-8]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/vodni-elektrarna-2308918>

²¹ NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Detail dokumentu: Vodní elektrárna Poděbrady* [online]. ID dokumentu 713530. [cit. 2025-11-8]. Dostupné z: https://iispp.npu.cz/mis_public/documentDetail.htm?id=713530

²² NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Právní ochrana: Vodní elektrárna v Poděbradech* [online]. Památkový katalog. [cit. 2025-11-8]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/pravni-ochrana/vodni-elektrarna-v-podebradech-12787954>

²³ ENCYKLOPEDIE KROMĚŘÍŽE. Smaltovaná tabulka – Kaplanova turbína. In: *Encyklopedie Kroměříže* [online]. [cit. 2025-11-8]. Dostupné z:

byl jako projektant vybrán významný architekt Antonín Engel (1879–1958). Antonín Engel byl rodák z Poděbrad a měl k městu velmi úzkou vazbu.²⁴

4.1.3 Fáze výstavby a zprovoznění

Během stavebních úprav bylo hlavní koryto řeky odkloněno od města, kde na něm vznikl nový jez s vodní elektrárnou. V místě původního koryta a starého pevného jezu vznikla nová plavební komora a pěší lávka.²⁴

- Stavba jezu byla zahájena v roce 1914 a dokončena v roce 1916
- Stavba vodní elektrárny byla zahájena ve stejnou dobu jako jez (tzn. 1914) a dokončena v roce 1918
- Oba objekty byly uvedeny do provozu v roce 1919

V roce 1919 byly v elektrárně spuštěny čtyři francisovy turbíny o celkovém instalovaném výkonu 960 kW a o rozsahu spádů mezi 2,7 až 1,4 m. Na výstavbě se podílely firmy jako Zdenko Kruliš, Lanna akc. Spol., Ing. Jaroslav Hanauer, Ing. Vladimír Vlček a Ing. Karel Herzán. Železné konstrukce a strojní součásti dodaly firmy Českomoravská továrna na stroje v Praze (ČKD), bratři Prášilové v Libni, Josefa Prokopa synové v Pardubicích, Železoprůmysl v Přelouči a elektrická zařízení firma Křížík.²⁴

4.1.4 Technický a památkový význam

MVE Poděbrady je nejstarší ze všech zdymadel na středním Labi a je jednou z nejstarších elektráren na Labi celkově. Od roku 1919 je elektrárna stále udržována v provozu, což znamená, že dnes je v provozu 106 let.²⁴

V roce 2012 Ministerstvo kultury prohlásilo část areálu za kulturní památku a v roce 2017 dokonce za národní kulturní památku. Národní kulturní památkou je objekt elektrárny (bez technologického vybavení) a objekt jezu (bez technologického vybavení).²⁵

Ministerstvo kultury se tak rozhodlo, protože objekty se dochovaly ve své původní podobě, včetně mnoha původních architektonických prvků. Na druhou stranu, technologie elektrárny nebyla prohlášena za kulturní památku, přestože byla vizuálně dochována v dobrém stavu (provozem byla časem opotřebená, ale stále funkční). Bylo to z důvodu pravděpodobné brzké modernizace a rekonstrukce elektrárny s případnou obnovou turbín a ostatních strojů.²⁴

4.1.5 Architektonický a urbanistický význam

Vodní elektrárna v Poděbradech je výjimečným dílem architekta a místního rodáka Antonína Engela, který ji vyprojektoval v roce 1913. Stavba je unikátní tím, jak dokáže propojit čistě

²⁴ NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Detail dokumentu: Vodní elektrárna Poděbrady* [online]. ID dokumentu 713530. [cit. 2025-11-8]. Dostupné z: https://ispp.npu.cz/mis_public/documentDetail.htm?id=713530

²⁵ NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Právní ochrana: Vodní elektrárna v Poděbradech* [online]. Památkový katalog. [cit. 2025-11-8]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/pravni-ochrana/vodni-elektrarna-v-podebradech-12787954>

technický účel s estetikou monumentálního novoklasicismu s prvky kubismu a geometrické moderny.²⁶

Budova má půdorys ve tvaru písmene „L“ a je situována na velmi viditelném místě přímo naproti poděbradskému zámku. Tento urbanistický vztah nebyl náhodný. Engel navrhl 13 metrů vysokou věž elektrárny polygonálního tvaru s kulatými okénky tak, aby tvořila záměrný protipól k hlavní zámecké věži.²⁷

Mezi hlavní architektonické rysy patří především strojovna, která tvoří hlavní křídlo celého objektu. Její fasádu zdobí štíhlé pravidelně uspořádané pilastry a čtyři trojúhelníkové štíty. Celkový dojem doplňují vysoká obdélníková okna v kovových rámech rozdělená na malé čtverce, což spolu s tvary štítů vytváří přísný geometrický řád. Na budovu elektrárny plynule navazuje jez, jehož zajímavým detailem jsou manipulační budky na pilířích se specifickým kýlovitým tvarem, který mimo svou estetickou stránku také ulehčuje proudění vody a poryvu větru. Celý areál je dnes vysoce ceněn jako vzácně dochovaný celek. Díky promyšlené kompozici a vznešenému vzhledu nepůsobí elektrárna jako cizí prvek, ale vytváří harmonický vztah s historickým nábřežím a okolní krajinou.²⁶

²⁶ NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Detail dokumentu: Vodní elektrárna Poděbrady* [online]. ID dokumentu 713530. [cit. 2025-11-9]. Dostupné z: https://iispp.npu.cz/mis_public/documentDetail.htm?id=713530

²⁷ NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Vodní elektrárna* [online]. Památkový katalog. Rejstříkové číslo ÚSKP 34863/2-1925. [cit. 2025-11-9]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/vodni-elektrarna-2308918>



Obrázek 6: Přední pohled z dronu na MVE Poděbrady

Zdroj: David Čížek, 2023



Obrázek 7: Horní pohled z dronu na MVE Poděbrady

Zdroj: David Čížek, 2023



Obrázek 8: Přední pohled z dronu na MVE Poděbrady

Zdroj: David Čížek, 2023



Obrázek 9: Přední pohled z dronu na MVE Poděbrady

Zdroj: David Čížek, 2023



Obrázek 10: Boční pohled z dronu na MVE Poděbrady – 13metrová polygonální věž

Zdroj: David Čížek, 2023



Obrázek 11: Strojovna MVE Poděbrady

Zdroj: David Čížek, 2023

5 Rekonstrukce a modernizace MVE Poděbrady

5.1 Technický stav v roce 2006

MVE Poděbrady byla a je nízkotlaká, průtočná elektrárna se čtyřmi soustrojími o shodných parametrech. Každé z nich je tvořeno vertikální francisovou turbínou v betonové spirále, která je přes pravoúhlý převod spojená s horizontálním synchronním generátorem. Celkový instalovaný výkon elektrárny dosahuje 0,96 MW (4x 0,24 MW) při celkovém maximálním průtoku $60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (4x $15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) a využitelný rozsah spádů je od 1,4 do 2,7 m.

Většina technologického vybavení v jednotlivých soustrojích je původní a vzhledem k rychlému vývoji nových vodních strojů je koncepčně i morálně zastaralá. Kritická situace nastala především u čtvrtého soustrojí (TG4), které se v roce 2006 ocitlo v havarijním stavu poté, co došlo k lomu hřídele turbíny v místě nad převodovým kolem. Na základě tohoto stavu nechali majitelé elektrárny vypracovat studii „Rekonstrukce a modernizace MVE Poděbrady“ od společnosti ČKD Blansko Engineering, a.s., která navrhla hned několik způsobů, jak elektrárnu zrekonstruovat a zmodernizovat.²⁸

5.2 Návrhy na rekonstrukci a modernizaci

Byly navrženy celkem 3 možné řešení na rekonstrukci a modernizaci elektrárny.

5.2.1 Vertikální propelerové turbíny s nízkou savkou

Propelerová turbína je levnější a jednodušší varianta turbíny kaplanové. Zachovává výhodu kaplanových turbín a dosahuje vysoké hodnoty měrných otáček oproti turbínám typu Francis. To je užitečné, protože umožňuje použití rozměrově menších generátorů s vyššími otáčkami při stejném výkonu. Je to axiální turbína s pevnými lopatkami oběžného kola a regulovatelným rozvaděčem. Lopatky oběžného kola propelerových turbín jsou většinou pevně spojeny s nábojem oběžného kola (jeden odlitek). Nevýhodou propelerových turbín oproti turbínám kaplanovým je, že nemají vysokou účinnost v celém rozsahu otevření.²⁹

Tato varianta počítá s využitím speciálně vyvinutého hydraulického profilu oběžného kola. Ten byl navržen přímo pro modernizaci starších elektráren s nízkým spádem, kde původně pracovaly francisovy turbíny. Nejedná se o běžnou kaplanovu turbínu, ale o technologii upravenou tak, aby optimálně využívala stávající nízkou savku. Díky tomu může turbína dosahovat maximální účinnosti přes 90 % při vysokém průtoku ($Q = 18 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Celkové umístění oběžného kola je navíc navrženo tak, aby byl zajištěn bezkavitační provoz, čímž se předchází poškození stroje.

²⁸ SVOBODA, Jiří a Aleš SKOTÁK. *Studie rekonstrukce a modernizace MVE Poděbrady*. Blansko, 2006. [nepublikovaná zpráva]. Zpracovatel: ČKD Blansko Engineering, a.s.

²⁹ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2 turbíny*. 1989. Spálená 51, 113 02 Praha 1: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989.

Určitou nevýhodou propelerových turbín je strmější pokles účinnosti v momentě, kdy klesá průtok vody. U elektrárny se čtyřmi soustrojími však lze tento handicap efektivně vyřešit. Celkový výkon elektrárny se totiž reguluje postupným odstavováním nebo připojováním jednotlivých strojů podle aktuálního množství vody v řece. Tím je zajištěno, že pracující turbíny běží vždy v oblasti své nejvyšší účinnosti.

Zásadní předností tohoto řešení je, že umožňuje instalaci nové technologie do stávajícího profilu betonových kašen a savek bez nutnosti rozsáhlých bouracích prací. Ve srovnání s instalací klasické kaplanovy turbíny lze dosáhnout podobných výsledků při výrazně nižších investičních nákladech. K úsporám přispívá i zjednodušená konstrukce oběžného kola, které postrádá mechanismus pro natáčení lopatek, což snižuje cenu výroby i náročnost následné údržby.³⁰

5.2.2 Vertikální kaplanovy turbíny s hlubokou savkou

Druhou možností je instalace klasické vertikální kaplanovy turbíny s hlubokou savkou. U tohoto řešení lze v optimálním provozu očekávat účinnost přibližně 92 %. Výhodou tohoto typu turbíny je velmi plochá křivka účinnosti, což v praxi znamená, že si stroj udržuje vysokou efektivitu i při výraznějších změnách průtoku vody. Stejně jako u předchozí varianty je umístění oběžného kola navrženo tak, aby byl zajištěn bezkavitační provoz.

Tento návrh je však spojen se značným rozsahem stavebních úprav. Největší zásah představují bourací práce v oblasti spodní části elektrárny, kde je nutné výrazně prohloubit savku a odbourat část základové desky budovy.

Vzhledem k náročnosti těchto prací by bylo nezbytné nechat vypracovat odborný posudek. Ten musí potvrdit, zda stav podloží a konstrukce elektrárny takto radikální zásah vůbec umožňují, aniž by došlo k narušení statiky celé budovy.³¹

5.2.3 Vertikální propelerové turbíny a jedna kaplanova turbína s nízkou savkou

Tato varianta vylepšuje předchozí návrhy tím, že kombinuje tři propelerové turbíny s jednou turbínou kaplanovou. Všechny stroje by byly osazeny nízkou savkou, která využívá nový hydraulický profil. To je zásadní výhoda, protože instalace nevyžaduje žádné bourací práce v základové desce budovy a lze ji provést v rámci stávajících prostor.

Hlavním přínosem této kombinace je plynulejší regulace výkonu celé elektrárny. Zatímco propelerové turbíny pracují nejlépe při stabilním nátoku, kaplanova turbína slouží k doregulování výkonu při změnách průtoku. Pomáhá především v situacích, kdy se mění počet pracujících soustrojí a dochází ke skokovým změnám ve výrobě energie (hlavně při nižších průtocích vody).

³⁰ SVOBODA, Jiří a Aleš SKOTÁK. *Studie rekonstrukce a modernizace MVE Poděbrady*. Blansko, 2006. [nepublikovaná zpráva]. Zpracovatel: ČKD Blansko Engineering, a.s.

³¹ SVOBODA, Jiří a Aleš SKOTÁK. *Studie rekonstrukce a modernizace MVE Poděbrady*. Blansko, 2006. [nepublikovaná zpráva]. Zpracovatel: ČKD Blansko Engineering, a.s.

Zajímavé je, že osazení větším počtem kaplanových turbín by paradoxně celkovou výrobu snížilo. Je to dáno tím, že při maximálním průtoku má kaplanova turbína s nízkou savkou až o 7 % nižší účinnost než turbína propelerová. Proto se tato kombinace (3+1) jeví jako optimální řešení, které nabízí nejlepší poměr mezi dosaženým výkonem a náklady na celkovou rekonstrukci.³²

5.3 Energetický audit

Majitelé elektrárny dále zadali vypracování energetického auditu firmě EDOP s. r. o. s cílem navrhnout varianty rekonstrukce i s ohledem na opravu nebo výměnu další výrobní technologie MVE. Tento energetický audit byl vypracován v dubnu v roce 2007 a pojednával i s již navrženými varianty na rekonstrukci a modernizaci vypracovanými ČKD Blansko Engineering, a. s. Ve zprávě energetického auditu jsou zpracovány celkově 3 varianty řešení:³³

5.3.1 Varianta č. 1: výměna dvou havarovaných soustrojí

Tato varianta řeší havarijní stav dvou nefunkčních soustrojí jejich výměnou za novou technologii. TG4 měla prasklý hřídel a TG3 měla velmi opotřebovanou převodovku neschopnou dalšího provozu. Zbývající dvě funkční turbíny TG1 a TG2 zůstanou v provozu do konce své životnosti. Z hlediska provozu budou nová soustrojí využívána jako prioritní zdroje, zatímco stará soustrojí budou sloužit k dokrývání špiček a využití zbytkových průtoků.

Nové technologické vybavení by tvořily kaplanovy nebo propelerové turbíny se synchronními generátory. Výhodou těchto turbín je, že jejich instalace je snazší do umístění stávající stavby, což minimalizuje nutnost náročných stavebních zásahů. Celý provoz bude nově řízen automatizovaným systémem, který na základě provozních parametrů optimalizuje výrobu elektřiny.

V rámci elektroinstalace by došlo k rekonstrukci přibližně poloviny rozvodů a rozveden vysokého i nízkého napětí, které by se nově přemístily do hlavní budovy elektrárny. Součástí modernizace jsou i nezbytné úpravy vtokových zařízení.

Realizace této varianty by vedla k zásadnímu navýšení celkového instalovaného výkonu ze současných 0,48 MW (pouze dvě funkční soustrojí) na 1,28 MW. Předpokládané roční využití výkonu po rekonstrukci se odhaduje na 3 968 hodin za rok (jedná se o dobu využití instalovaného výkonu, která určuje efektivitu zdroje v dané lokalitě). Podle energetického auditu je hlavní výhodou tohoto řešení, že i přes výrazné zvýšení produkce energie nedojde k významnému nárůstu provozních nákladů.

³² SVOBODA, Jiří a Aleš SKOTÁK. *Studie rekonstrukce a modernizace MVE Poděbrady*. Blansko, 2006. [nepublikovaná zpráva]. Zpracovatel: ČKD Blansko Engineering, a.s.

³³ KAMBA, Václav a Václav KAJTMAN. *Zpráva z energetického auditu MVE Poděbrady ve vlastnictví společnosti 1. elektrárnská s.r.o.* Strakonice: EDOP s.r.o., 2007.

5.3.2 Varianta č. 2: výměna dvou havarovaných soustrojí a rekonstrukce 2 stávajících soustrojí

Tato varianta představuje ideální kompromis mezi výší investice a dosaženým nárůstem výroby elektřiny. Na rozdíl od první varianty neřeší pouze havarované stroje, ale zaměřuje se na modernizaci celé technologie elektrárny najednou.

Principem tohoto řešení je nahrazení dvou soustrojí v havarijním stavu novými turbínami (opět na bázi kaplanovy nebo propelerové turbíny) se synchronními generátory. Klíčovým rozdílem je však zásadní rekonstrukce zbývajících dvou funkčních soustrojí. U nich by došlo k modernizaci, která zvýší jejich účinnost, prodlouží životnost a umožní jejich plné zapojení do nového systému řízení. Nová soustrojí by sloužila jako primární zdroje, zatímco rekonstruovaná původní soustrojí by je doplňovala a regulovala celkový výkon při vyšších průtocích.

V rámci této varianty by proběhla kompletní obnova elektroinstalace, tedy všech rozvodů a rozveden vysokého i nízkého napětí. Zcela zásadní je vybudování nového komplexního systému automatizovaného řízení pro společné řízení všech soustrojí. Tento systém by díky plné integraci všech čtyř strojů dokázal optimalizovat provoz podle aktuálních podmínek, což by vedlo k maximálnímu možnému objemu výroby elektřiny.

Součástí prací by byla také částečná rekonstrukce vtokových zařízení. Z hlediska energetických přínosů se předpokládá zvýšení celkového instalovaného výkonu z 0,48 MW (pouze dvě funkční soustrojí) na 1,3 MW. Odhadované roční využití instalovaného výkonu by se zvýšilo na 4 050 hodin za rok. Stejně jako u předchozí varianty se ani zde nepředpokládá, že by modernizace vedla k výraznému navýšení provozních nákladů.³⁴

5.3.3 Varianta č. 3: rekonstrukce MVE s důrazem na maximální využití hydroenergetického potenciálu k výrobě elektřiny

Tato varianta představuje maximální možné řešení, které má za cíl plně využít hydroenergetický potenciál dané lokality. Na rozdíl od předchozích variant se zde nepočítá s technickými kompromisy. Cílem je zajistit nejvyšší možnou dodávku elektrické energie do sítě a garantovat dlouhodobý bezproblémový provoz, a to i za cenu výrazně vyšších realizačních nákladů na celkovou rekonstrukci MVE.

Klíčovým prvkem této varianty je kompletní výměna všech čtyř soustrojí za nová. Všechny stroje by byly osazeny moderními kaplanovými turbínami, které jsou schopny pracovat s vysokou účinností v širokém pásmu provozních průtoků. Pro výrobu elektřiny by byly využity synchronní generátory nízkého napětí v provedení bez převodovek. Toto řešení je výhodné zejména kvůli nižším mechanickým ztrátám a vyšší spolehlivosti.

Modernizace by zahrnovala také komplexní rekonstrukci veškerých rozvodů a rozveden vysokého i nízkého napětí, přičemž nová zařízení by byla nově umístěna v hlavním objektu MVE. Nezbytnou součástí je vybudování nového systému automatizovaného řízení, který by

³⁴ KAMBA, Václav a Václav KAJTMAN. *Zpráva z energetického auditu MVE Poděbrady ve vlastnictví společnosti I. elektrárenská s.r.o.* Strakonice: EDOP s.r.o., 2007.

koordinoval provoz všech čtyř soustrojí jako jeden celek. Tento systém by zajistil nejvyšší možnou výrobu elektřiny díky neustálému sledování provozu. Souběžně s technologickou částí by proběhla i rekonstrukce vtokových zařízení.

Z hlediska energetického přínosu se jedná o nejvýkonnější variantu. Předpokládá se zvýšení celkového instalovaného výkonu o cca 1,12 MW, tedy ze stávajících 0,48 MW (pouze dvě funkční soustrojí) na výsledných 1,6 MW. Využití instalovaného výkonu by se po této komplexní rekonstrukci pohybovalo na úrovni 3 923 hodin za rok. I přes vysokou technologickou úroveň a navýšení výkonu se nepředpokládá, že by realizace této varianty vedla k významnější změně v provozních nákladech elektrárny.³⁵

5.3.4 Investiční náklady

Všechny varianty řešení se liší jak v investičních nákladech, tak v energetických parametrech, které se rekonstrukcí zlepšují.

Varianta č. 1 by dosahovala dodávky elektřiny do sítě o velikosti **5 079 MWh za rok** a celkové investiční náklady na rekonstrukci podle této varianty by dosahovaly **75 200 000 Kč**.

Varianta č. 2 by dosahovala dodávky elektřiny do sítě o velikosti **5 256 MWh za rok** a celkové investiční náklady na rekonstrukci podle této varianty by dosahovaly **85 500 000 Kč**.

Varianta č. 3 by dosahovala dodávky elektřiny do sítě o velikosti **6 227 MWh za rok** a celkové investiční náklady na rekonstrukci podle této varianty by dosahovaly **168 600 000 Kč**.

Po zvážení všech variant doporučil energetický audit variantu č. 2 jako nejvhodnější řešení, protože představuje ideální kompromis mezi výší investice a energetickým přínosem. Tato varianta dosahuje nejlepších ekonomických ukazatelů, konkrétně nejvyšší čisté současné hodnoty (NPV). Tento ukazatel potvrzuje, že projekt generuje nejvyšší budoucí zisk po odečtení všech investičních i provozních nákladů ze všech tří variant. Varianta č. 2 by také dosahovala nejdelšího ročního využití instalovaného výkonu, který by činil 4 050 hod/rok. Zásadním důvodem je také minimalizace rizik, neboť na rozdíl od varianty č. 3 nevyžaduje rizikové zásahy do spodní stavby a na rozdíl od varianty č. 1 garantuje dlouhou životnost všech čtyř soustrojí.³⁵

³⁵ KAMBA, Václav a Václav KAJTMAN. *Zpráva z energetického auditu MVE Poděbrady ve vlastnictví společnosti I. elektrárenská s.r.o.* Strakonice: EDOP s.r.o., 2007.

5.4 Rozhodnutí majitelů MVE Poděbrady

Majitelé elektrárny studovali a zvažovali všechny dané varianty a zajišťovali pro ně financování. V průběhu tohoto období však obdrželi od konstruktéra turbín z ČKD Blansko Engineering a. s. Ing. Nečase další návrh jiného řešení, který majitele zaujal. Požádali ho o zpracování nabídky, kterou jim následně předložil. Prvně předložil nabídku na rekonstrukci turbín TG3 a TG4. Nabídka spočívala ve výměně převodovky za novou od firmy Flender/Siemens a ve výměně turbínového hřídele. Dále pak spočívala v opravě ostatních dílů francisových turbín: oběžné kolo, rozváděcí lopaty, víko turbíny, regulační kruh, táhla, pouzdra a kluzná ložiska. Majitele na této nabídce nejvíce zaujal fakt, že soustrojí zůstanou původní a převodovka se umístí pod původní kryt, což zanechá původní vzhled strojovny.

Majitelé elektrárny se po zvažování všech možných variant nakonec rozhodli přijmout nabídku Ing. Nečase a uzavřeli s ČKD Blansko Engineering a. s. smlouvu. Ing. Nečas po vypracované nabídce vypracoval konstrukční projekt na rekonstrukci dvou havarovaných turbín.

V roce 2009 byla započata rekonstrukce turbín a výměna převodovek u soustrojí TG3 a TG4. Po ověření provozu těchto dvou rekonstruovaných turbín se provedla stejným způsobem rekonstrukce i soustrojí TG1, kde byla převodovka také provozem značně opotřebená. Následně se provedla i rekonstrukce turbíny TG2, ale bez výměny převodovky, protože původní převodovka byla zachovalá a také byla snaha jedno soustrojí ponechat v původním originálním stavu. Současně s rekonstrukcí turbín bylo v elektrárně na technologickém výrobním zařízení instalováno a provedeno:

- nové hydraulické regulátory turbín
- převinutí původních VN synchronních generátorů včetně výměny magnetických obvodů
- statické buzení generátorů
- nová skříňová rozvodna VN a NN
- nový vývodový transformátor
- nový transformátor vlastní spotřeby
- nová kabelová přípojka VN k veřejné síti
- nový automatický systém řízení
- nové brzdy turbín

Rekonstrukce v tomto rozsahu byla dokončena v říjnu 2013.

6 Vyhodnocení rekonstrukce

MVE byla po rekonstrukci uvedena do provozu a bez jakýchkoli závad pracuje k plné spokojenosti majitelů dodnes.

S odstupem času 13 let jsem od majitelů přijal výzvu a provedl vyhodnocení rekonstrukce vodní elektrárny v Poděbradech uskutečněné v letech 2009 až 2013 a porovnal jsem ji s doporučenou variantou č. 2 uvedenou v energetickém auditu.

Z archivu a z účetnictví společnosti jsem zjistil kolik elektrické energie bylo v jednotlivých letech dodáno do sítě a jaké byly investiční náklady v době popsané rekonstrukce. Tyto skutečné údaje pak porovnávám s předpokládanými hodnotami uvedenými v energetickém auditu.

6.1 Výroba a dodávka elektřiny do el. sítě ČEZ

V energetickém auditu se uvádí výroba elektřiny, ale pro podnikání a pro srovnání je podstatná dodávka (prodej) elektřiny do elektrické sítě, která je měřena na výstupu elektrárny na VN vedení 22kV, kde se elektřina měří cejchovaným elektroměrem ČEZ Distribuce a.s. Ta se potom uvádí na fakturách a v účetnictví. Mezi výrobou elektřiny na svorkách generátoru a její dodávkou do sítě je ale rozdíl, který odpovídá vlastní spotřebě elektřiny na výrobu elektřiny, například pro cizí buzení čtyř synchronních generátorů, hydraulické regulátory turbín, čistící stroj česlí, pohon stavidel, el. rozvaděče, řídicí systém a také ztrátám na transformátorech (vývodový a pro vlastní spotřebu).

V energetickém auditu pro variantu č. 2 se předpokládá roční výroba elektřiny na svorkách generátorů 5 266 MWh. Abychom mohli tuto hodnotu porovnat s dodávkou do sítě musí se snížit o uvedené ztráty:

- na výrobu elektřiny: o 2%
- na transformátorech: o 3%

Potom: $5\,266 \text{ MWh} \times 0,95 \approx \mathbf{5\,003 \text{ MWh}}$. To je dle auditu předpoklad roční dodávky (prodeje) do sítě ČEZ. Skutečná dodávka elektřiny od doby rekonstrukce do sítě ČEZ dle účetnictví byla:

Tabulka 1: dodávka elektřiny od roku 2009 do roku 2025

ROK	DODÁVKA ELEKTRINY [MWh]
2009	4030
2010	4556
2011	5298
2012	4637
2013	5150
2014	4784
2015	4548
2016	4069
2017	4978
2018	3456
2019	4459
2020	5680
2021	5658
2022	4615
2023	5002
2024	5234
2025	4365
CELKEM	80519

Průměrná dodávka elektřiny v průběhu těchto let činí: $80519 \text{ MWh}/17\text{let} \approx \mathbf{4736 \text{ MWh}}$.

Porovnáním průměrných předpokládaných a skutečných hodnot dodávky do sítě vidíme, že rozdíl je minimální. Skutečná dodávka je v průměru menší pouze o **267 MWh/rok**, což je o **5,34 %** méně. Tento rozdíl lze zohlednit i velmi nízkou výrobou elektřiny v roce 2018, kdy bylo mimořádné sucho a k větší výrobě by v tomto roce nepomohlo ani provedení rekonstrukce podle jiných variant. Pokud bychom tento rok z vyhodnocování vyjmuli, pak by průměrná skutečná dodávka elektřiny do sítě činila **4816 MWh/rok**, což je pouze o **187 MWh/rok** méně a o **3,74 %** méně než předpoklad z auditu.

6.2 Investiční náklady

Varianta č. 2 v energetickém auditu předpokládala celkové investiční náklady ve výši **85 500 000 Kč**. Skutečné investiční náklady v letech rekonstrukce činily:

Tabulka 2: investiční náklady na rekonstrukci MVE Poděbrady

ROK	INVESTIČNÍ NÁKLADY NA REKONSTRUKCI (v Kč)
2009	8 541 000
2010	6 066 000
2011	418 000
2012	11 533 000
2013	7 490 000
2014	6 520 000
2015	1 176 000
CELKEM	41 744 000

Porovnáním předpokládaných a skutečných investičních nákladů vidíme, že skutečné investiční náklady na rekonstrukci byly o **43 756 000 Kč** menší.

7 Závěr

Porovnáním:

- předpokládané a skutečné dodávky do sítě čili předpokládaných a skutečných příjmů
- předpokládaných a skutečných výdajů na rekonstrukci
- technického stavu elektrárny před a po rekonstrukci

Lze jednoznačně konstatovat, že rozhodnutí pro řešení, které navrhl pan konstruktér Ing. Miloslav Nečas z ČKD Blansko Engineering a.s., bylo správné a zřejmě nejlepší ze všech možností. Při nižších nákladech bylo dosaženo téměř stejných výsledků, a přitom byla ve velké míře zachována původní technologie a historický ráz strojovny.

8 Seznam literatury

- BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2 turbíny*. 1989. Spálená 51, 113 02 Praha 1: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989.
- ČESKÁ ENERGETICKÁ AGENTURA. Vodní elektrárny. In: *Informační portál* [online]. [cit. 2025-12-30]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/vodni-elektrarny#article-top>
- ČEZ. Samá voda. In: *Svět energie* [online]. [cit. 2025-12-30]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/energetika-ctive/vodni-elektrarny/sama-voda>
- ENCYKLOPEDIE KROMĚŘÍŽE. Smaltovaná tabulka – Kaplanova turbína. In: *Encyklopedie Kroměříže* [online]. [cit. 2025-12-30]. Dostupné z: <https://www.enkm.cz/smaltovana-tabulka-kaplanova-turbina>
- HW.CZ. Řídicí systém malé vodní elektrárny Poděbrady. In: *Automatizace.HW.cz* [online]. 13. 12. 2006 [cit. 2025-12-30]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006121301>
- KAMBA, Václav a Václav KAJTMAN. *Zpráva z energetického auditu MVE Poděbrady ve vlastnictví společnosti 1. elektrárenská s.r.o.* Strakonice: EDOP s.r.o., 2007.
- LAIKA, Viktor. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Dostupné z: <https://mve.energetika.cz/>. [cit. 2025-12-30].
- NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Detail dokumentu: Vodní elektrárna Poděbrady* [online]. ID dokumentu 713530. [cit. 2025-12-30]. Dostupné z: https://iispp.npu.cz/mis_public/documentDetail.htm?id=713530
- NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Právní ochrana: Vodní elektrárna v Poděbradech* [online]. Památkový katalog. [cit. 2025-12-30]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/pravni-ochrana/vodni-elektrarna-v-podebradech-12787954>
- NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Vodní elektrárna* [online]. Památkový katalog. Rejstříkové číslo ÚSKP 34863/2-1925. [cit. 2025-12-30]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/vodni-elektrarna-2308918>
- OENERGETICE.CZ. Vodní elektrárny: Princip a rozdělení. In: *oEnergetice.cz* [online]. 15. 6. 2015 [cit. 2025-12-30]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vodni-elektrarny-princip-a-rozdeleni>
- STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVKSÝ. *Energie větru, vody, biomasy*. [Online]. Code Creator, 2016. ISBN 978-80-88058-06-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Cover.html?lang=en&b=n5m47>. [cit. 2025-12-30].

SVOBODA, Jiří a Aleš SKOTÁK. *Studie rekonstrukce a modernizace MVE Poděbrady*. Blansko, 2006. [nepublikovaná zpráva]. Zpracovatel: ČKD Blansko Engineering, a.s.

ŠTÍPSKÝ, Pavel. *Malé vodní elektrárny (MVE) v ČR*. Praha: SPVEZ, 2024.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Voda jako zdroj energie	13
Obrázek 2: Schéma francisovy turbíny	14
Obrázek 3: Schéma kaplanovy turbíny	15
Obrázek 4: Schéma peltonovy turbíny	16
Obrázek 5: Schéma Bánkiho turbíny	17
Obrázek 6: Přední pohled z dronu na MVE Poděbrady	21
Obrázek 7: Horní pohled z dronu na MVE Poděbrady	21
Obrázek 8: Přední pohled z dronu na MVE Poděbrady	22
Obrázek 9: Přední pohled z dronu na MVE Poděbrady	22
Obrázek 10: Boční pohled z dronu na MVE Poděbrady – 13metrová polygonální věž	23
Obrázek 11: Strojovna MVE Poděbrady	23