

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví



Bakalářská práce

**Možnosti využití lokalit pro malé vodní elektrárny na
tocích v ČR**

Jáchym Valenta

© 2021 ČZU v Praze



Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce:	Jáchym Valenta
Studijní program:	Zemědělská specializace
Obor:	Obchod a podnikání s technikou
Vedoucí práce:	doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra mechaniky a strojnictví
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Možnosti využití lokalit pro malé vodní elektrárny na tocích v ČR
Název anglicky:	Possibilities of sites for small hydro power plants on rivers in the Czech Republic
Cíle práce:	Popsat možnosti využívání vodních toků pro účely hydroenergetiky. Provést rozbor a zhodnocení stávajících lokalit pro stavby malých vodních elektráren. Technicko-ekonomicky zhodnotit vybranou lokalitu.
Metodika:	1) Úvod 2) Cíl a metodika práce 3) Rešerše v oblasti energetického využití vodních toků v minulosti a současnosti 4) Popis jednotlivých aspektů malých vodních elektráren - stavební, technické a ekologické 5) Zhodnocení současného stavu v oblasti malých vodních elektráren a výhled jejich možností do budoucna Pozn.: - struktura práce: Úvod, Materiál a metody, Výsledky, Diskuse, Závěr. V pracích rešeršního charakteru lze sloučit Materiál a metody s Výsledky a stejně tak Diskusi se Závěrem. - jednotlivé kapitoly a podkapitoly práce, rovnice, tabulky a obrázky je nutno číselně označovat a na toto značení se v textu odkazovat. Nedílnou součástí práce je Obsah, Abstrakt, Seznam použitých zkratk a symbolů, obrázků, tabulek a Seznam použité literatury. - je nezbytné respektovat citační pravidla dle ČSN ISO 690:2011 - vedoucího práce je nutno čtvrtletně seznamovat s postupem zpracování zadaného tématu
Doporučený rozsah práce:	40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek
Klíčová slova:	hydroenergetika, vodní tok, malé vodní elektrárna.
Doporučené zdroje informací:	1. Melichar, J., Bláha, J., Brada, K.: Hydraulické stroje konstrukce a provoz, ČVUT Praha 2002. 2. Melichar, J., Vojtek, J., Bláha, J.: Malé vodní turbíny konstrukce a provoz, ČVUT Praha 1998. 3. Nechleba, M., Hušek, J.: Hydraulické stroje, SNTL Praha 1966. 4. Štoll, Č., Kratochvíl, S., Holata, M.: Využití vodní energie, SNTL Praha 1977.
Předběžný termín obhajoby:	2019/2020 LS - TF

Elektronicky schváleno: 8. 10. 2019
doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 19. 2. 2020
doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.
Děkan

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Možnosti využití lokalit pro malé vodní elektrárny na tocích v ČR" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Fraser dne datum odevzdání

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Martinu Polákovi, Ph.D., za vedení mé bakalářské práce a projevitou trpělivost. Panu Ivanu Tichému, který mi jako majitel MVE Dolní Branná poskytl informace o jeho elektrárně. A své rodině za podporu v průběhu celého studia.

Možnosti využití lokalit pro malé vodní elektrárny na tocích v ČR

Abstrakt

Tato bakalářská práce řeší problematiku malých vodních elektráren v ČR. Úvodní část se zabývá historickým i současným pohledem na energetické využívání vodních toků v ČR. Druhá část je věnována rozdělení vodních elektráren dle hospodaření s vodou a jsou zde popsány jednotlivé části provozu elektrárny. Třetí část řeší ekologické aspekty MVE a popisuje hydroenergetický potenciál toků v ČR. V poslední kapitole je popsána rekonstrukce MVE Dolní Branná, která spočívala v opravě jezu a výměně turbín. V závěru práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení rekonstrukce.

Klíčová slova: Malá vodní elektrárna, Vodní energie, Vodní Turbína, Lokality MVE, Ekologie MVE

Possibilities of sites for small hydro power plants on rivers in the Czech Republic

This bachelor thesis deals with the issue of small hydropower plants in the Czech Republic. The introductory part deals with historical and contemporary views on the energy use of watercourses in the Czech Republic. The second part is devoted to the division of hydroelectric power plants according to water management and describes the individual parts of the power plant operation. The fourth chapter addresses the ecological aspects of SHPP and describes the hydropower potential of streams in the Czech Republic. The last chapter describes the reconstruction of SHPP Dolní Branná, which consisting in the repair of the weir and the replacement of turbines. At the end of the work is a technical and economic evaluation of the reconstruction.

Abstract

Keywords: Small hydroelectric power plant, Hydropower, Hydro turbine, SHPP locations, SHPP ecology

Obsah

1. Obsah

2. Úvod.....	2
3. Využívání vodních toků v ČR.....	3
3.1 Historické využívání vodních toků ve světě	3
3.2 Historické využívání vodních toků v ČR.....	3
3.2.1. Vývoj do roku 1930.....	3
3.2.2.Vývoj v letech 1930-1980.....	4
3.3 Současné využívání vodních toků v ČR.....	5
4. Dělení vodních elektráren podle hospodaření s vodou	6
4.1 Průtočné vodní elektrárny	6
4.2 Akumulační vodní elektrárny	7
4.3 Přečerpávací vodní elektrárny (PVE).....	7
5. Vodní motory MVE	7
5.1 Francisova turbína	7
5.2 Kaplanova turbína	8
5.3 Peltonova turbína.....	9
5.4 Bánkiho turbína.....	9
6. Zařízení pro přívod vody	10
6.1 Vzduovací zařízení a přivaděče	10
6.2 Česle	11
6.3 Stavidlo	12
7. Ekologické aspekty MVE.....	12
7.1 Studie vlivu MVE na životní prostředí.....	15
7.2 Minimální zůstatkový průtok (MZP)	16
7.3 Ostatní přidružené dopady na životní prostředí	16
8. Hydroenergetický potenciál toků v ČR.....	16
8.1 Současný stav MVE v ČR	17
8.2 Možnosti využití stávajících lokalit a výhled do budoucna.....	19
8.3 Povodí Labe	20
8.4 Povodí Vltavy	22
8.5 Povodí Ohře	23
8.6 Povodí Odry	24
8.7 Povodí Moravy.....	25
9. MVE Dolní Branná	26

9.1	Historie	26
9.2	Vzdouvací objekty.....	27
9.3	Vtokový objekt a přivaděč.....	28
9.4	Strojovna.....	29
9.5	Rekonstrukce.....	30
9.6	Technické zhodnocení MVE.....	31
9.7	Rekonstrukce v letech 2000 a 2001.....	34
9.8	Výroba energie v MVE v mezi lety 1999 až 2002.....	35
9.9	Vývoj výkupní ceny el. energie	37
9.10	Návratnost investice	37
10.	Závěr	41
11.	Seznam obrázků.....	42
12.	Seznam tabulek	43
13.	Seznam grafů	43
14.	Seznam použitých zdrojů.....	43
14.1	Seznam obrázkových a tabulkových zdrojů	46

2. Úvod

Česká republika není bohatá na zdroje energie jako je zemní plyn, nebo ropa, a místní zdroje fosilních paliv jsou omezené. To nás motivuje k hledání alternativních zdrojů a možností lepšího hospodaření s elektrickou energií. Dnešní tendence představuje odklon od tepelných elektráren a jejich postupné nahrazování energií jadernou, větrnou a vodní. V České republice se nachází tři hlavní geografická evropská povodí. Povodí Labe, ústící do Severního moře, povodí Dunaje směřující do Černého moře a povodí Odry, které míří do Baltského moře. ČR disponuje pouze třemi vodními elektrárnami s výkonem nad 100 MW, přičemž všechny nalezneme na Vltavě. Toky na zbytku území jsou vhodné pro výstavbu středních a malých vodních elektráren (dále pouze MVE). [14,15]

Téma získávání vodní energie je dnes vysoce aktuální, neboť MVE představují zdroje energie s výrazně menšími dopady na životní prostředí než stávající elektrárny na fosilní paliva. MVE, kromě svého ekologického přínosu, pomáhají snížit spotřebu fosilních paliv, odstraňují náklady na těžbu, dopravu a rekultivaci krajiny. K velkým výhodám MVE patří spolu s nízkými provozními náklady, malá míra poruchovosti a vysoký počet hodin v provozu v průběhu roku. Díky pokrokům v oblasti automatizace se snižují i požadavky na kvalifikaci a četnost personálu elektrárny. [1,2]

3. Využívání vodních toků v ČR

Historické využívání vodních toků ve světě

Energie vody představuje jeden z nejstarších energetických zdrojů. Historické prameny dokládají, že vodní energie se využívala již 600 př. n. l., kdy Chaldejci pomocí vodního kola zvedali hladinu vody v systémech svých zavlažovacích kanálů. [3]

V průběhu staletí se efektivnost získávání energie z vody navyšovala pouze zvětšováním vodních kol. K většímu posunu nevedla ani průmyslová revoluce, a tak hlavní uplatnění, převážně v průmyslu, získala energie tepelná, neboť parní stroj téměř o sto let předčil vynález vodní turbíny. Velmi důležitou roli pro získávání energii vody sehrála elektrizační soustava umožňující rovnoměrně využívat elektrickou energii vyrobenou v různých typech zařízení. Vodní elektrárny jsou v těchto soustavách velmi dobrými regulátory, a to především díky možnosti úpravy výkonu ve velmi krátkém čase. Po vyřešení problému s přenosem energie začal počet nových vodních elektráren rychle stoupat. Jedna z prvních velkých vodních elektráren byla postavena v USA u Niagarských vodopádů v roce 1898. [1,14]

Historické využívání vodních toků v ČR

Vývoj do roku 1930

Navzdory malé účinnosti při převádění vodní energie na energii mechanickou sehrálo vodní kolo velice významnou roli a umožnilo otevření velkého počtu manufaktur řemeslné výroby. Nejčastější použití vodního kola bylo ve mlýnech při drcení zrna. První případ využívání energie vody na našem území se datuje do roku 718 n.l., kdy byl vybudován v Ohři u Žatce první mlýn poháněný vodou ve střední Evropě [14]. Postupem času se ukázaly nedostatky v podobě výkonových možností a závislosti na vodním stavu v lokálním vodním toku. S velkým populačním růstem v 18. století byly mlýny nuceny zvyšovat produkci. Docházelo k modernizaci velkých mlýnů, a naopak mnoho menších mlýnů do konce 19. století zaniklo. [1,14]

Jeden z prvních příkladů využití elektřiny spojené s výstavbou MVE bylo např. Národní divadlo v Praze roku 1882, kde se elektřina využívala pro osvětlení obloukovými lampami. V roce 1870 byla uvedena do provozu první továrna na výrobu vodních turbín Francisova typu, a to závod Josef Prokop a synové v Pardubicích ve východních Čechách. (Obrázek 1) [14]. Tato společnost vyvážela Francisovy turbíny po celé Evropě. [1,3,14]



Obrázek 1 - Továrna Josef Prokop a synové v Pardubicích [32]

V roce 1918 se výkony vodních elektráren pohybovaly v rozmezí od 10 do 100 kW [14]. I přes nesnadné začátky u nás kolem roku 1918 prosperovaly tisíce malých vodních elektráren. Některé z nich jsou v provozu dodnes. Podíl MVE na celkové výrobě elektřiny v roce 1919 bylo 7,3 % [1]. Rozhodující podíl zde měly závodní elektrárny. [1,14,27]

Vývoj v letech 1930-1980

Při inventarizaci v roce 1930 se na území tehdejšího ČSR nacházelo 15 638 hydroenergetických děl, ve kterých se vyrobilo asi 239 MW elektrické energie [1]. Z celkového počtu hydroenergetických děl bylo 1 164 vodních elektráren [27]. Největší vodní elektrárny již dosahovaly výkonů přes jeden megawatt, jako například elektrárna Pod Čertovou stěnou ve Vyšším Brodě s výkonem 8 MW, pražská Štvanice s výkonem 1,42 MW a Poděbrady na Labi s výkonem 1,04 MW [14]. Ve většině elektráren se používala Francisova turbína, ale stále se budovaly i nové zdroje s klasickými vodními koly. [1,14,27]

I přes hospodářskou krizi na počátku třicátých let a okupaci našeho území nacistickým Německem, se vývoj v oblasti hydroenergetiky v ČSR nezastavil, naopak výrazně rostl. V letech 1930–1944 se podíl energie vody na celkové výrobě elektřiny zvýšil z 7,2 % v roce 1930 na 16,1 % v roce 1944 [1]. Takovýto nárůst v takto krátkém období byl zaviněn hlavně druhou světovou válkou. V době okupace nebylo elektrické energie

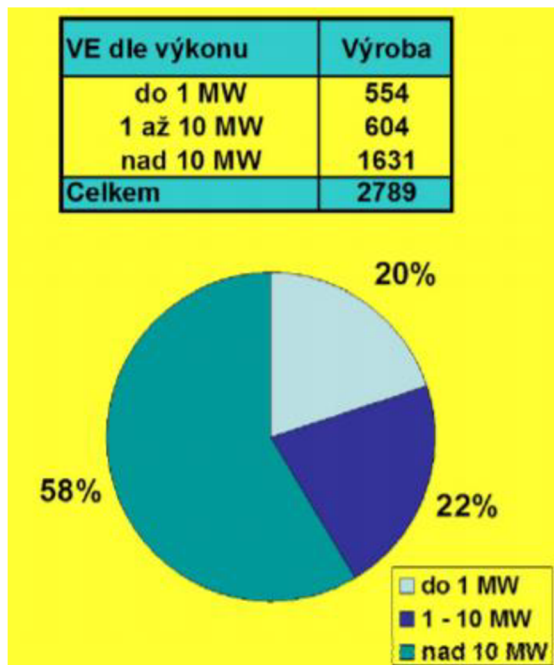
dostatek, což znamenalo snahu o maximalizaci využití vodních zdrojů. Díky tomu, že do roku 1939 nebyly v ČSR zavedené žádné tarify, byla prodejní cena energie vysoká. Cena jedné kilowatthodiny v roce 1937 za elektřinu určenou pro svícení byla v průměru 3,16 Kč. [1,27]

Pro rozvoj naší hydroenergetiky bylo významné budování nových mikrozdvořů. Mnoho starých vodních kol s malou účinností bylo nahrazováno Francisovou turbínou, jejíž účinnost se pohybovala mezi 76-79 %. Při nahrazení vodního kola Francisovou turbínou se výkon MVE mnohdy téměř zdvojnásobil. Modernizaci napomáhala jak cenová dostupnost Francisovy turbíny, tak i zdokonalení a zrychlení její výroby. Cena Francisovy turbíny se pohybovala kolem 23 480 korun, a turbína byla dostupná za 10-14 dní. [1]

Po ukončení 2. světové války byla energetická situace na našem území velmi špatná. Výroba elektrické energie poklesla za jeden rok o 35 % [1]. Stát převzal kontrolu nad výrobou energie mezi lety 1949-1950. Díky znárodňovacímu dekretu si přivlastnil 1 350 vodních elektráren s instalovaným výkonem 336,2 MW [14]. MVE elektrárny přešly do držení JZD, 160 vodních elektráren bylo ve správě ČEZ [27], a velké elektrárny byly pod správou Ústředního ředitelství československých energetických závodů. V období mezi lety 1950-1962 došlo k výstavbě Vltavské kaskády. Elektrárny v této soustavě měli v roce 1961 výkon 750MW [1,14,27].

Současné využívání vodních toků v ČR

Jak Česká republika, tak zbytek světa se v dnešní době obrací k čerpání vlastních obnovitelných zdrojů energie. MVE jsou k tomu velmi vhodnou alternativou, hlavně díky vysoké účinnosti v přeměně hydroenergetického potenciálu našich řek na elektrickou energii, a to s menšími dopady na životní prostředí. Podmínky pro využívání vodních toků v ČR jsou však omezeny hlavně kvůli tuzemským přírodním podmínkám. Vodní energie zůstane doplňkovým zdrojem, a to i přes to, že hydropotenciál našich toků je naplněn asi na 70 %, přičemž u zbývajících potenciálu je otázkou, zda by se nám investice do výstavby MVE z ekonomického hlediska vyplatila. Z nenaplněného potenciálu by asi tři čtvrtiny bylo možno využít v MVE do výkonu 10 MW. To by znamenalo získat 600 MW výkonu a asi 2000 GWh elektrické energie každý rok [2]. Byl by to velký přínos pro pokrytí energetické spotřeby v ČR. Na obrázku 2 je zobrazeno jak se VE dle výkonu podílejí na výrobě el. energie v ČR podle Energetického regulačního úřadu z roku 2010 (ERÚ). [2,13,27]

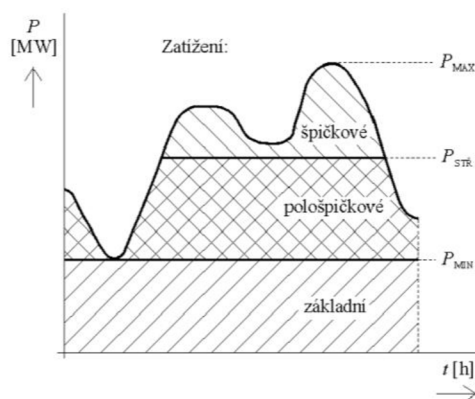


Obrázek 2 – Výroba elektřiny ve vodních elektrárnách [13]

4. Dělení vodních elektráren podle hospodaření s vodou

Průtočné vodní elektrárny

Jedná se o nejčastější typ MVE u nás. Výkon těchto elektráren přímo závisí na velikosti průtoku vody v řece, je tedy špatně regulovatelný. Proto jejich využití v rámci elektrizační soustavy pokrývá základní část diagramu zatížení (Obrázek 3), kde P_{MIN} je minimální dosažená hodnota ve sledovaném období, P_{STR} je střední hodnota ve sledovaném období, a P_{MAX} je maximální dosažená hodnota ve sledovaném období. Voda elektrárnou volně protéká díky soustředěnému spádu. Pokud nastane situace, že je dosaženo maximální hltnosti turbín, začne zbytek průtoku přepadávat přes jez. Nejčastěji se jedná o elektrárny nízkotlaké, můžeme se však setkat i se středotlakými a vysokotlakými průtočnými vodními elektrárnami. [3]



Obrázek 3 - Diagram zatížení znázorňující závislost elektrického výkonu a času [33]

Akumulační vodní elektrárny

Budova elektrárny se nejčastěji nachází těsně za přehradou, nebo je přímo součástí přehrady. Elektrárna s přehradou může být také v některých případech spojena derivačním kanálem. Funkce vodní elektrárny je založena na zadržování vodní masy, a co nejlepší využití její kinetické a potenciální energie. V rámci elektrizační soustavy se využívají jako regulační elektrárny, tj. dodávají elektřinu podle jejích potřeb. [3]

Přečerpávací vodní elektrárny (PVE)

Speciální skupina akumulčních elektráren, která při přebytku elektrické energie přečerpává vodu ze spodní nádrže do horní. Nejčastěji se tak děje přes noc, kdy na pohon čerpadel, která přečerpávají vodu ze spodní nádrže zpět do horní, využíváme přebytečnou elektřinu v energetické soustavě. V době nedostatku energie v el. soustavě se voda vypouští z horní nádrže, a přes turbínu míří do nádrže spodní. Největší výhodou přečerpávacích vodních elektráren je okamžitá odpověď na poptávku el. energie v el. soustavě ve špičce denního diagramu zatížení el. soustavy. Akumulace může být čistě umělá, což znamená, že se voda do horní nádrže dostává pouze čerpáním vody ze spodní nádrže, přičemž horní nádrž nemá jiný zdroj vody. Při smíšené akumulaci se voda do horní nádrže kromě čerpání z nádrže spodní, dostává i přirozeně např. do ní ústí potok. V ČR jsou nejznámější PVE Dlouhé Stráně, které leží v pohoří Hrubý Jeseník. [3,6]

5. Vodní motory MVE

Francisova turbína

Francisova turbína byla vyvinuta americkým inženýrem Jamesem B. Francise kolem roku 1848. Francis vylepšil návrh turbíny z roku 1826, kterou zkonstruoval Benoit Fourneyron. Zajímavostí je, že Francis využíval analytické a výpočetní metody, která se využívá dodnes. Francisovy turbíny mohou být uloženy horizontálně i vertikálně. Hřídel horizontální turbíny míří většinou přímo do strojovny (viz. obr. 4). V obou případech voda vtéká do turbíny radiálně a vytéká středem, takovýto průtok je poté nazýván centripentálním. Přívod vody do turbíny zajišťuje buď takzvaná kašna nebo spirální skříň, a poté co voda projde turbínou je odváděna do odpadního kanálu tzv. savkou. Vertikálně uložená turbína se nachází na dně turbínové kašny, přičemž její hřídel vede svisle vzhůru do strojovny, která je umístěna v takové výšce nad turbínou, aby nemohlo dojít k jejímu zatopení. [6,7]



Obrázek 5 - Ukázka kaplanových S-turbín [34]

Peltonova turbína

Peltonova turbína byla vynalezena v roce 1880 Lesterem Pelotonem v americkém státě Nevada, kde se ukázala jako nepostradatelný zdroj energie v době Zlaté horečky. Nejčastěji s používá pro místa s vysokým spádem a nízkým průtokem. Existovalo mnoho variant impulzivních turbín, ale žádná z nich nebyla účinná právě jako Peltonova turbína. Peloton dokázal navrhnout tvar lopatek tak, aby voda předala veškerou svou energii lopatce a opustila tak turbínu velmi malou rychlostí. U MVE se účinnost pohybuje nad 80 %, u větších typů elektráren dokonce až kolem 95 %. Turbína je většinou v horizontální poloze, může být však i ve vertikální, a to u velkých elektráren. [6,8]

Voda je k turbíně přiváděna pomocí potrubí, na jehož konci se nachází tzv. dýza, kterou voda vytéká. Průtok vody regulujeme pomocí jehly, která se zasouvá přímo do dýzy. Na lžícovité lopatky míří paprsek vody v tangenciálním směru, přičemž po projití turbínou volně dopadá přímo na spodní hladinu. [8,9]

Bánkiho turbína

První zásluhy při vývoji této turbíny jsou připisovány australskému inženýrovi A. G. M. Michellovi roku 1903. Ten si za vzor vzal historické Ponceltovo kolo. Mezi lety 1912-1919 prvotní verzi zdokonalil a popsal maďarský profesor Donát Bánki. Jedná se o

jednoduchou, rovnotlakou turbínu s dvojnásobným průtokem, jejíž tvar připomíná mlýnské kolo. Kvůli své jednoduché konstrukci a menším nákladům na výrobu je hojně využívána v MVE, u kterých se nevyplatí instalace nákladnějších a složitějších turbín. Účinnost se pohybuje mezi 78-85 %. Základní principy, výpočty a konstrukce turbíny nejsou složité, a proto je oblíbená i u amatérských nadšenců do vodní energie. Výhodou této turbíny je snadná údržba a ovládání, odolnost vůči mechanickému poškození, anebo zvyšování míry okysličení ve vodní nádrži. [6,8]

6. Zařízení pro přívod vody

Vzdouvací zařízení a přivaděče

Vzdouvací zařízení umožňuje vytvořit požadovaný spád a částečně řídit tok vody jak přímo do elektrárny, tak v samotné řece. Běžně využívaným vzdouvacím zařízením u MVE jsou jezy (Obrázek 6), které mohou být pohyblivé, nebo pevné. Nejčastěji to jsou dřevěné, kamenné nebo železobetonové konstrukce. Jezy regulují průtok a výšku hladiny vody. Jsou tedy vhodné pro místa, kde je možnost výskytu většího znečištění řeky např. ledem nebo dřevem, nebo kde je potřeba kontrolovat režim podzemních vod a zamezit tak povodním, nebo naopak suchům. Mezi neznámější typy pohyblivých jezů patří stavidlové, hradlové a poklopové. [4]

Přehrady, které se využívají především u velkých vodních elektráren, jsou stavby, které jsou postaveny napříč údolím toku za účelem vytvoření umělé vodní nádrže. Přehrada také slouží jako zásobník vody. Využívá se jako regulátor toku řeky, a zabraňuje tak vzniku povodní. [4]



Obrázek 6 - MVE Planá postavena roku 2015 s jezem [35]

Přivaděče usměrňují vodu k turbínám. Rozlišujeme dva hlavní typy, a to přivaděče tlakové a beztlakové, s tím že oba typy se mohou kombinovat. Zároveň se snažíme přivaděč navrhnout co nejkratší, z důvodu snížení hydraulických ztrát a stavebních nákladů elektrárny. [5]

Beztlakový přivaděč má tzv. volnou hladinu. Nejčastější typy jsou kanály, náhony a žlaby, které se dělí na otevřené a uzavřené. Tlakové přivaděče jsou výrazně dražším, ale v mnohých případech nevyhnutelným řešením i u MVE. Mohou být zhotoveny z oceli, železobetonu nebo plastu. [5]

Česle

Česle zabraňují vniku nečistot a naplavenin do elektrárny a případnému poškození lopatek turbín. Větší naplaveniny se zachytávají na hrubých česlích (Obrázek 7). Voda zbavena větších nečistot je dále hnána přes jemné česle, kde se zachytí i zbývající menší naplaveniny. Hrubé česle jsou vyráběny z páskové oceli o průřezu 50x6 až 180x20 mm, které jsou vůči vodní hladině umístěny pod sklonem mezi 60° až 70°. [5,6]

Důležitou činností pro správný chod elektrárny je pravidelné čištění česlí. Některé MVE jsou již dnes vybaveny čidly, která měří výšku hladiny před a za česlemi a v případě překročení mezní hodnoty je varována obsluha elektrárny. V některých vodních dílech je dokonce čištění česlí prováděno již plně automaticky. [6]



Obrázek 7 - Výstavba česlí [36]

Stavidlo

Slouží k regulaci, nebo úplnému zastavení, vtoku vody do elektrárny. Stavidlo (Obrázek 8) je nejčastěji zkonstruováno ze dřeva, plechu nebo kombinace těchto materiálů. Stavidlo má ve stěně náhonu vybudované vlastní drážky, do kterých přesně zapadá, a zamezuje průtoku vody. Ovládání je manuální nebo automatické. Část, která drží stavidlo v jeho poloze nad vodou, se nazývá pouch. Při výpočtu tloušťky stavidla musíme, kromě materiálu, uvažovat odolnost vůči tlaku vody při plném ponoření stavidla. Je také zapotřebí zajistit dostatečnou sílu na vyzvednutí desky stavidla, přičemž počítáme s její hmotností, a překonání třecích sil mezi deskou a drážkami stavidla. [4,5,6]



Obrázek 8 - Stavidlo s rybí zábranou u MVE Šlapanov [37]

7. Ekologické aspekty MVE

MVE jsou i dnes do jisté míry považovány za ekologicky neškodný zdroj energie, v praxi se tedy často setkáváme s výrazy jako „zelená“ nebo „obnovitelná“ energie. Pokud vodní energii porovnáme s ostatními běžně se vyskytujícími zdroji energie, využívání vodní energie nemá vliv na změnu globálního klimatu. Vodní energie je řazena mezi nevyčerpatelné zdroje energie, a nepřispívá ke znečištění ovzduší. Znečištění vody, při

jejím energetickém využívání, je velmi malé a dochází k němu převážně v rámci výstavby MVE. [10]

MVE má však i negativní vlivy na životní prostředí, a to zejména na lokální úrovni. Nejvýraznějším je odvádění významné části vody z přirozeného vodního toku do derivačního kanálu MVE (Obrázek 9). Na některých menších tocích jsou derivační kanály dlouhé až několik km. V některých případech je odváděno do derivačního kanálu více než poloviční množství vody, která protéká řekou. [3]



Obrázek 9 - Vliv přílišného odebrání vody do MVE Ivančice na řece Jihlavě [38]

Změna přirozeného spádu řeky má negativní vliv nejen na její přirozenou splavnost, ale také na usazování sedimentu v řece, což má vliv na tvar koryta řeky a mnoho živočišných druhů. Tento efekt se zhoršuje, pokud je vybudována celá kaskáda VE. [3]

Změna hydrologického režimu je další z významně negativních vlivů MVE na okolní prostředí. Z MVE je vypouštěn minimální zůstatkový průtok, který je menší než průtok přirozený. Naopak v měsících, kdy je přirozeně málo vody v toku, může MVE stav vody úmyslně zvyšovat pro lepší splavnost nebo pro ostatní MVE na řece, což také ovlivňuje přirozený režim řeky. Tento vliv může mít negativní i pozitivní charakter. Tzv. špičkování je negativní efekt, při kterém dochází k zadržování vody v nádrži a její vypouštění v pravidelných časových intervalech, což může mít za následek až

několikanásobné rozdíly průtoku oproti přirozenému stavu. Další negativní vlivy změn hydrologického režimu jsou přirozené zamrzání vodních hladin, možné vyvolání povodní a omezení přirozené ochrany ryb proti predátorům. [3,10]

Vliv MVE, na přirozenou samočisticí schopnost toku a jeho kyslíkový režim, může být také významný. Nad MVE dochází k akumulaci vody což má za následek její zpomalení, ohřátí a snížení množství kyslíku ve vodě. To může vést k úhynu některých ryb, které jsou na citlivé na okysličení vody, a zvětšenému výskytu bakterií a sinic. Za MVE dochází naopak k většímu okysličení vody a díky zrychlení vody také k menšímu výskytu vodních rostlin, které jsou častou potravou vodních živočichů. To může mít negativní následky na lokální faunu a flóru. Naopak tento vliv MVE může být i pozitivní, vše ale záleží na konkrétním případě v dané lokalitě. [3,10]

MVE může také negativně ovlivňovat druhy ryb, které migrují proti proudu řek za účelem tření. Tento každoroční cyklus je životně důležitý pro přežití konkrétních druhů, jak ryb, tak i například predátorů, kteří mohou být na této migraci závislí. V takovémto případě je blokáce nebo snížení přirozené hladiny řek velkým zásahem do ekologie dané lokality. Jedním z řešení jsou rybí přechody neboli rybovody (Obrázek 10), což jsou neblokované průtoky, vybudované člověkem nebo vytvořené přirozeně, které vedou kolem elektrárny, a dávají tak rybám alternativní, bezpečnou cestu. V ČR je dnes asi 400 takových přechodů. Naopak se u nás nachází asi 6 až 8 tisíc neprůchodných vodních překážek, přičemž na mnohých jsou vybudovány MVE. Při výstavbě nových přehrazení řek, už je dnes povinností rybovod vybudovat. V dnešní době by měl být ekologický pohled jeden z hlavních faktorů při plánování nové stavby nebo rekonstrukci MVE. [11,12]



Obrázek 10 - Moderní rybí přechod na řece Šlapance, který odvádí ryby mimo jez [39]

Studie vlivu MVE na životní prostředí

Jako příklad vlivu MVE na životní prostředí je zde norská studie z roku 2012, která provedla porovnání dopadů na životní prostředí mezi 27 MVE a velkými vodními elektrárnami. V tabulce 1 je znázorněna část studie, týkající se negativních dopadů MVE na své okolí. Výsledky studie ukazují, že 27 MVE má větší negativní vliv než velká vodní elektrárna na lokální klima, transport sedimentů a erozi, zotavování přírody, a ryby. V oblastech vlivu na krajinu, přírodu, životní prostředí, kulturní dědictví, a kvalitu vody negativní vliv 27 MVE srovnatelný s průměrnou velkou vodní elektrárnou. Velké VE mají větší negativní vliv na lov. Mohou však mít pozitivní vliv na jiné přírodní zdroje.[12]

Tabulka 1 - Tabulky z norské studie, ukazující hlášené dopady 27 MVE na životní prostředí [12]

Druh dopad na životní prostředí	Procenta případů
Snížení průtoku vody	100
Ryby a fauna ovlivněné projektem	78
Anadromní ryby vyskytující se v postižené části řeky	56
Dotčená místa kulturního dědictví	44
Anadromní ryby vyskytující se v přivaděčích	15
Potrubí způsobující zásahy/dopady na krajinu	11
Změna kvality vody	11
Organismy žijící v (nebo blízko) vodopádů, negativně ovlivněných sníženým průtokem	7
Zmenšení míst výskytu Skorce vodního (<i>Cinclus cinclus</i>) a ryb, vlivem menšího výskytu bezobratlých živočichů	7
Vliv na chráněné oblasti, které mají hodnotu z pohledu krajiny	7
Změna teploty vody	7
Negativní vliv na lokálně cenným přírodním společenstvím	4
Negativně ovlivněna místa s cenným listnatým lesem	4
Negativně ovlivněné oblasti močálů	4
Negativní vliv snížení vlhkosti na mechy	4

Minimální zůstatkový průtok (MZP)

Min. zůstatkový průtok je průtok, který zůstane ve vodním toku v daném profilu nebo úseku po jednom nebo více odběrech vod nebo jejich jiném užívání. MZP je podle § 36 zákona č. 254/2001 Sb. definován jako průtok povrchových vod, který zohledňuje ekologii toku a jeho případnou splavnost. MZP určuje lokální vodoprávní úřad, který zohledňuje výše uvedené podmínky v dané lokalitě. [17]

Zákon z roku 1998 nezohledňuje průtok řekou při zachování současných ekologických požadavků. Novela tzv. Vodního zákona č. 254/2001 Sb. přehodnocuje dosavadní přístup k MZP. Je založena na požadavcích daných regionů, ve který se přihlíží více k lokálním hydrologickým podmínkám a sezónním výkyvům. [18]

Tato zpřísněná pravidla rozhodně nenapomáhají rozvoji MVE v ČR. V roce 2018 provedla Česká inspekce životního prostředí kontrolu MZP u 143 MVE, přičemž u 11 MVE bylo nalezeno pochybení v přílišném odebírání vody z toku. Inspekce rozdala pokuty v celkové výši 260 000 Kč. [19]

Ostatní přidružené dopady na životní prostředí

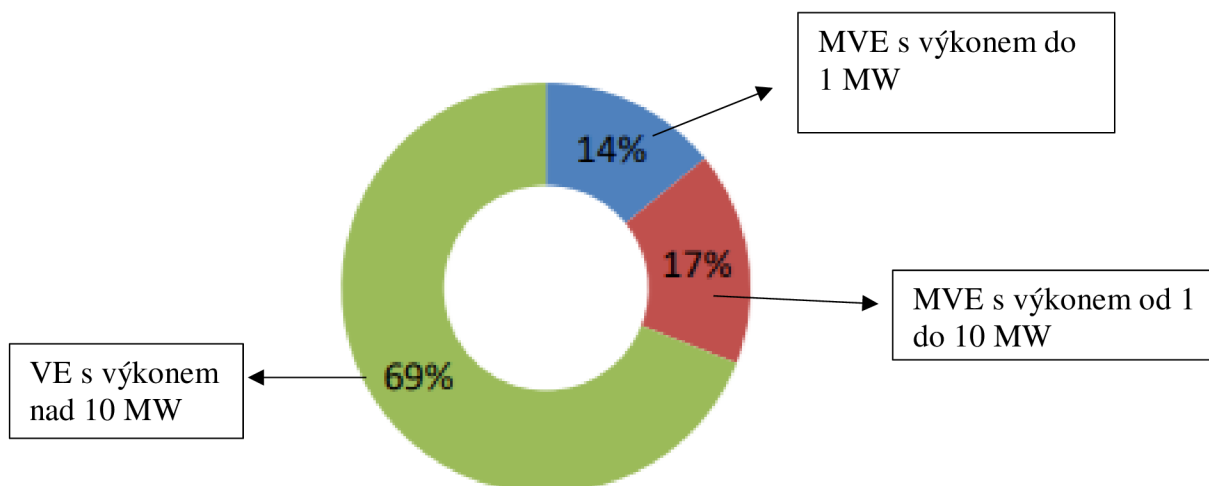
Dopady na ekosystém, má kromě samotného provozu elektrárny, i její výstavba. V mnoha případech se nové projekty nacházejí na odlehlých místech, nebo dokonce i v chráněných krajinných oblastech a národních parcích. Do těchto míst je potřeba zavést veškerou potřebnou infrastrukturu jako jsou cesty, odpady a připojení do elektrické sítě. V zalesněných a kopcovitých oblastech jsou také potřeba terénní úpravy, a to nejčastěji za pomoci těžké techniky nebo výbušnin. Zásah do samotného toku řeky, může negativně ovlivnit zemědělské oblasti, nebo rybolov, závisející na řece. [10,12]

8. Hydroenergetický potenciál toků v ČR

Hydroenergetický potenciál vodního toku závisí především na dvou hlavních faktorech, kterými jsou spád a průtok. Tyto hodnoty slouží k výpočtu tzv. teoretického hydrotechnického potenciálu vodního toku. Reálně využitelný potenciál je vždy menší, což je způsobeno ztrátami. Tyto ztráty jsou způsobeny účinností komponentů MVE. Z hlediska potenciálu ČR je pouze 10 % spádů větších než 5 metrů, 55 % spádů je mezi 2 až 5 metry a 35 % spádů je menších než 2 metry [20].

Současný stav MVE v ČR

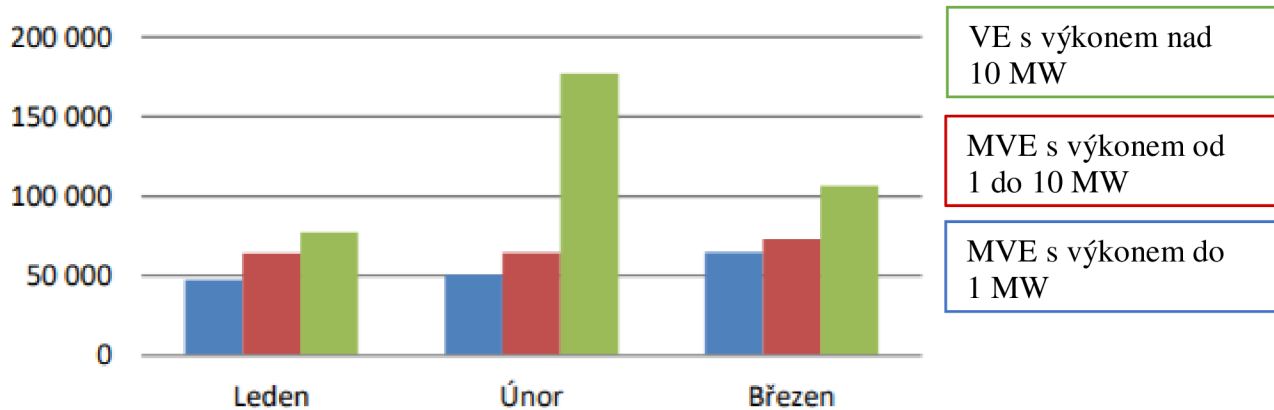
Podle Energetického regulačního úřadu byl prvním čtvrtletí roku 2021 celkový instalovaný výkon u všech typů vodních elektráren (bez přečerpávacích) v České republice 1 091,9 MW [13]. Asi 69 % celkového instalovaného výkonu (Obrázek 11) vodní energie zajišťují velké vodní elektrárny s výkonem větším než 10 MW. Tyto VE mají celkový instalovaný výkon 752,8 MW, přičemž vyrobily v prvním čtvrtletí roku 2021 v průměru asi 500 959 MWh brutto el. energie (Obrázek 12). [13,14]



Obrázek 11 - Podíl kategorií VE v % na instalovaném výkonu [13]

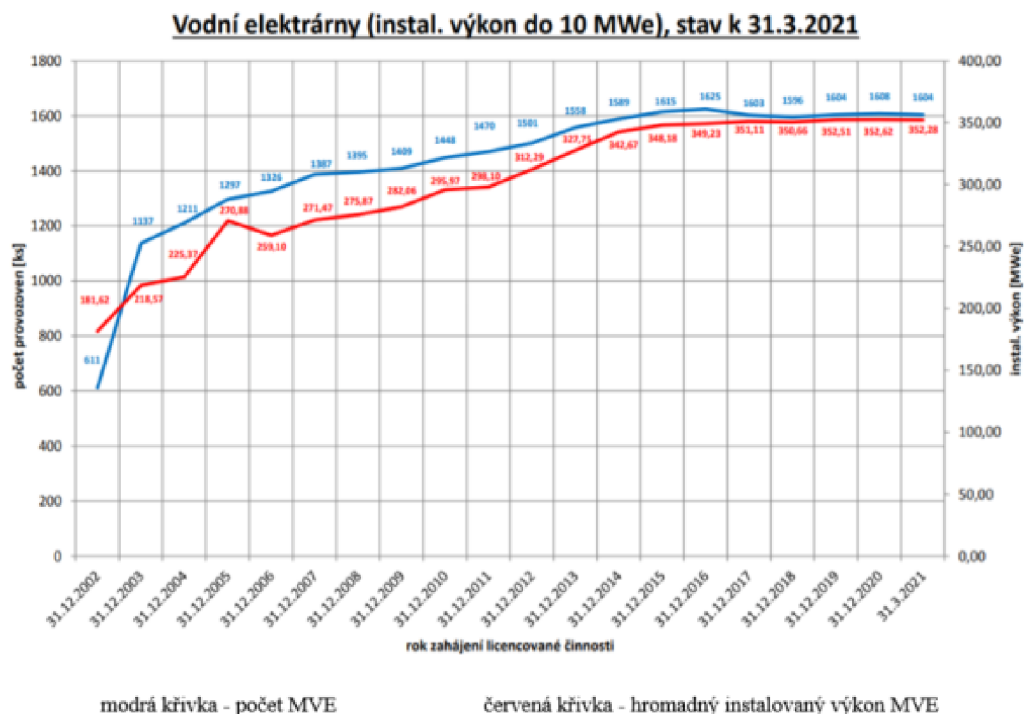
MVE s výkonem v rozmezí od 10 do 1 MW zajišťují 17 % z celkového instalovaného výkonu VE v ČR (Obrázek 11), což odpovídá 183,6 MW. Tyto MVE vyrobily v prvním čtvrtletí roku 2021 asi 123 424 MWh brutto el. energie (Obrázek 12). [13]

MVE s výkonem menším než 1 MW měly celkový instalovaný výkon v březnu roku 2021 154,1 MW. To odpovídá 14 % podílu na celkovém instalovaném výkonu všech vodních elektráren v ČR (Obrázek 11). V prvním čtvrtletí roku 2021 vyrobily v průměru asi 101 643 MWh brutto el. energie (Obrázek 12). [13]



Obrázek 12 - Výroba elektřiny brutto [MWh] v prvních třech měsících roku 2021 [13]

Ke dni 31.3.2021 je v evidenci ERÚ vedeno 1 604 MVE (Obrázek 13). Od roku 2002, kdy bylo evidováno 611 provozoven, počet MVE prudce vzrostl [13]. Mezi lety 2006 až 2015 můžeme na obrázku 13 vidět pozvolný růst. Je zajímavé všimnout si trendu červené křivky, která značí instalovaný výkon. Tato křivka se v tomto období stále více přibližuje křivce modré, která značí počet provozoven MVE. Přibližování křivek značí jak výstavbu modernějších MVE, tak rekonstrukce a tím způsobené zvýšení výkonu u stávajících MVE. Od roku 2016 však počet MVE stagnuje. V roce 2017 se podle Ministerstva průmyslu a obchodu podílely MVE na celkové výrobě energie 1,22 % [21,22].



Obrázek 13 - Počet MVE a jejich hromadný instalovaný výkon mezi lety 2002 a 2021 [13]

Na území České republiky se aktuálně nachází devět VE s výkonem větším než 10 MW, a tři PVE s instalovaným výkonem větším než 10 MW [15]. Vhodné lokality pro výstavbu dalších velkých vodních elektráren jsou u nás již od 20. století vyčerpány. Poslední větší akumulární vodní elektrárnou postavenou v ČR je VE Orlík, která byla vybudována v roce 1962 [15]. Jedinou alternativou je výstavba přečerpávacích vodních elektráren, která však čelí nepřízni ze strany ekologických organizací, a legislativní požadavky na výstavbu jsou velmi náročné. Proto jsou současné možnosti PVE spíše v oblasti úvah a šetření. PVE Dlouhé Stráně, jejíž výstavba byla dokončena roku 1996, je poslední elektrárnou s výkonem nad 10 MW vybudovanou v ČR. S výkonem 650 MW je nejvýkonnější vodní dílo u nás [15]. Od roku 1990 začíná být zájem o výstavbu elektráren na menších tocích, které u nás stále ještě nabízí příznivé podmínky pro výstavbu MVE. Podle Šamánka je ze všech možných lokalit aktuálně využíváno již kolem 70 %. [15,16]

Možnosti využití stávajících lokalit a výhled do budoucna

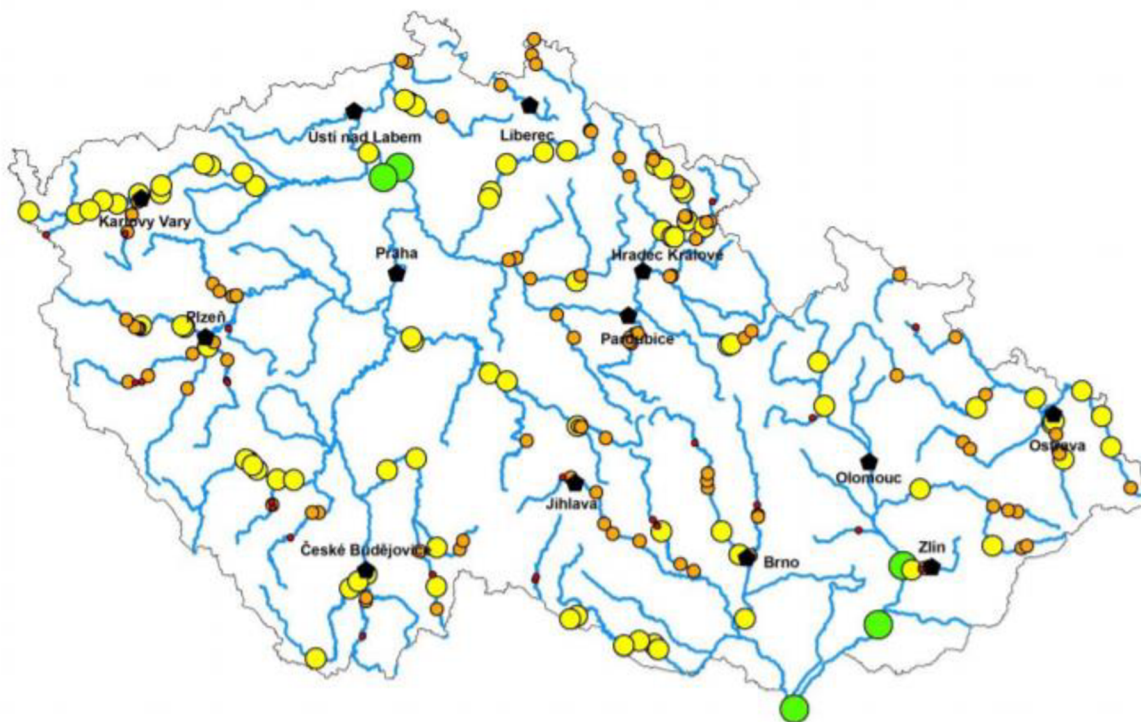
Rekonstrukce stávajících MVE spočívá převážně ve výměně zastaralých zařízení, a jejich nahrazení moderními turbínami s vyšší účinností. Stále mnoho elektráren u nás funguje s turbínami vyrobenými mezi lety 1920-1950, které jsou méně účinné než turbíny dnešní. [16,20]

Další vhodné lokality pro MVE se nabízí v již postavených vodohospodářských objektech, které plní funkci zásobáren pitné vody. Největší výhodou výstavby v těchto lokalitách je vysoký spád a konstantní průtok, což se projevuje v rychlé návratnosti investice s malou rizikovostí. [16]

Výstavba nových MVE na rekreačních nádržích, rybnících a ostatních akumulárních nádržích je další možností pro nové lokality. Výhodou těchto míst je možnost dosahovat vhodných rozdílů hladin, a to společně s konstantní výškou spádu. V mnohých místech tohoto typu již existuje MVE, ovšem hydroenergetický potenciál není plně využíván. [16,20]

Využití celého potenciálu našich toků, který je 1 570 GWh za rok [16], je nereálné. V takovém případě by musel být celý systém MVE vzájemně na sebe navazující, což by dnes znamenalo stavbu nových MVE, a to i v chráněných krajinných oblastech. Rekonstrukci současných MVE, tak aby svůj potenciál naplňovali na 100 %. A přemístění u některých stávajících MVE z důvodu odebírání hydroenergetického potenciálu MVE, které by byly v systému navazující. [16,20]

Projekt Ministerstva životního prostředí „Analýza efektivního využití malých vodních elektráren z hlediska přírodního potenciálu vodních toků jako energetického zdroje" [3] zkoumal 828 nových, nebo již využívaných lokalit pro účely využití vodní energie. Mapa ČR (Obrázek 14), ukazuje lokality s nevyužitým, nebo jen částečně využitým, hydroenergetickým potenciálem. Zeleně jsou označena místa s potencialem výkonem nad 1 MW, žlutě jsou označena místa s výkonem do 1 MW, oranžově jsou označena místa s výkonem do 100 kW a červeně místa s výkonem do 35 kW. Celkem se jedná o 207 lokalit s instalovaným výkonem 45 MW. V projektu se přihlíží k ekologické rovnováze toku a zachování minimálních zůstatkových průtoků. [3]



Obrázek 14 - Mapa ČR s vyznačenými místy s nevyužitým hydro-energetickým potenciálem [3]

Povodí Labe

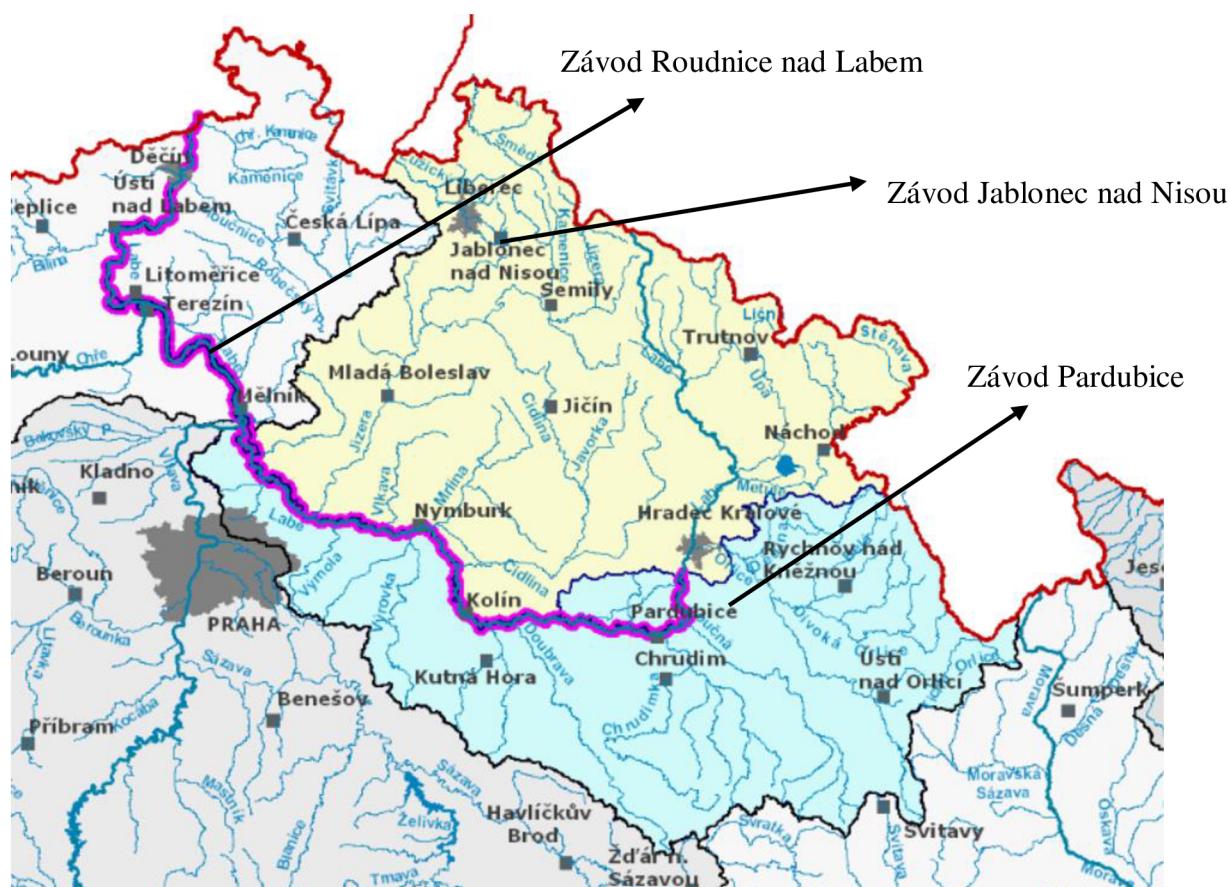
Státní podnik (SP) Povodí Labe (Obrázek 15) zabírá plochu 14 976,1 km², a zasahuje tak do 7 krajů v ČR [22]. Celková délka všech toků k roku 2019 byla 9 384,5 km, kterou tvoří celkem 2860 toků, z nichž je 155 označováno jako významných dle Vyhlášky č. 178/2012 Sb., která obsahuje v příloze č. 1 seznam významných vodních toků. Tento seznam vytváří Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo zemědělství. Významné vodní toky musí být pod správou jednoho ze státních podniků povodí Labe, Vltavy, Ohře,

Odry a Moravy. Přičemž se na SP vztahují dodatečné povinnosti, které musí plnit podle odstavce 4, hlavy § 47 vodního zákona. [16,17,22].

V celém povodí se nachází asi 540 MVE o celkovém instalovaném výkonu 110 MW, přičemž 20 z nich je ve vlastnictví státního podniku [16]. Hydroenergetický potenciál horního úseku Labe je téměř vyčerpán, přičemž nevyužívané spády na zbytku Labe se pohybují mezi 1,5 až 2 metry [16]. Nová výstavba vzdouvacích objektů je z důvodu ekologických požadavků velmi složitá. V tabulce 2 je uvedeno kolik potenciálu je využito na nejvýznamnějších řekách v povodí Labe. [16,21,22]

Tabulka 2 -Využitý potenciál na významných řekách v povodí Labe v % [16]

Labe	Černá Nisa	Divoká Orlice	Doubravka	Chrudimka
90 %	65 %	70 %	65 %	65 %
Jizera	Kamenice	Loučná	Lužická Nisa	Novohradka
85 %	80 %	75 %	80 %	65 %



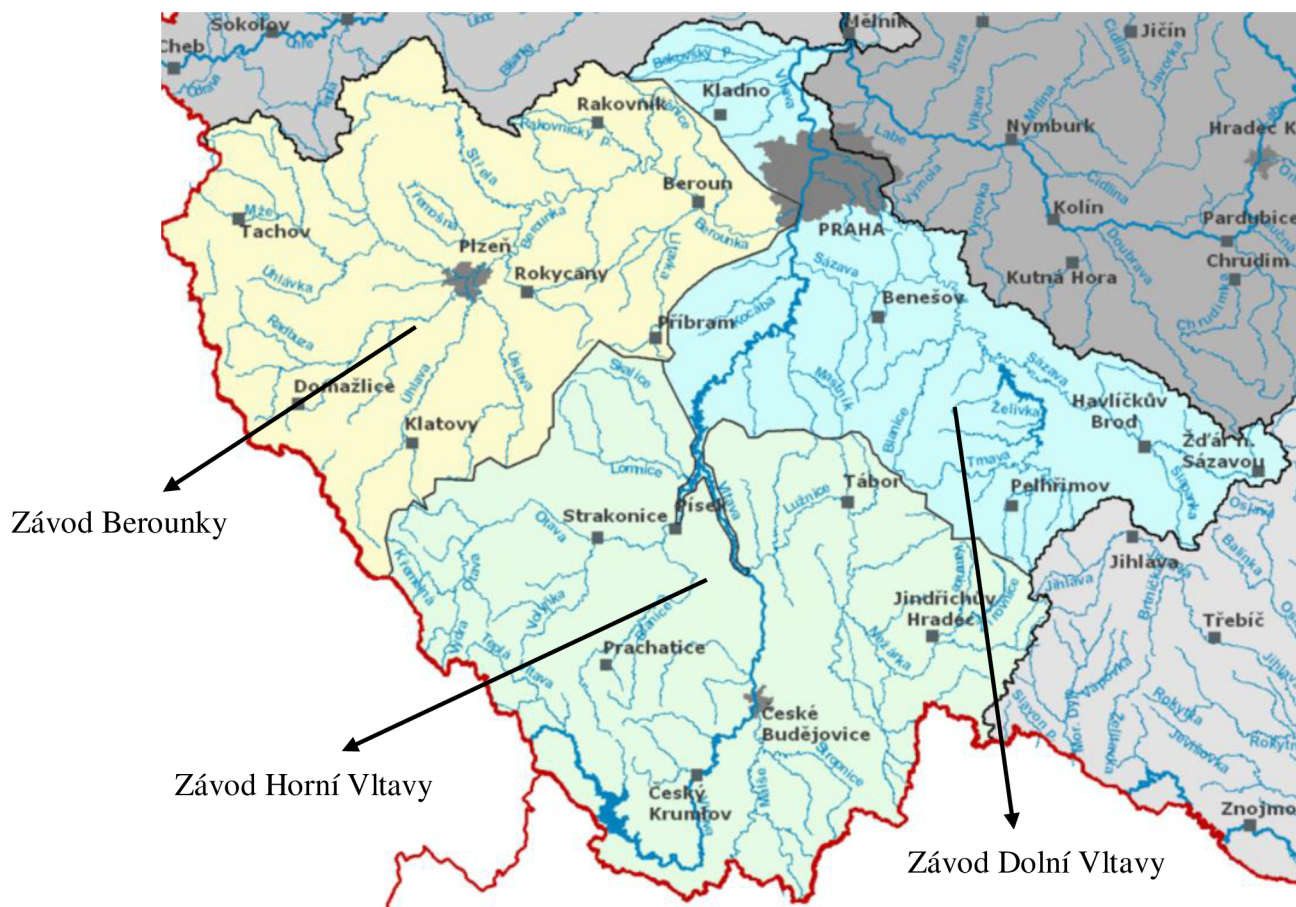
Obrázek 15 - Mapa povodí Labe [41]

Povodí Vltavy

Povodí Vltavy (Obrázek 16) se rozkládá na ploše 28 708 km², je rozděleno na 4 dílčí povodí a zasahuje do 7 krajů [23]. Celkově státní podnik spravuje 47 pohyblivých jezů a 300 jezů pevných [26]. Ve vlastnictví státního podniku také nalezneme podle evidence ERÚ jednu elektrárnu s výkonem větším než 10 MW a 18 MVE. [13]. V stávajících vhodných lokalitách jsou horší hydrologické podmínky, převážně velmi malé spády. To má negativní vliv na rentabilitu investice. V tabulce 3 je uvedeno kolik potenciálu je využito na nejvýznamnějších řekách v Povodí Vltavy. [13,16,21,23]

Tabulka 3 - Využitý potenciál na významných řekách v povodí Vltavy v % [16]

Vltava	Maše	Berounka	Lužnice	Kamenice
90 %	80 %	70 %	50 %	60 %
Sázava	Trnava	Želivka	Otava	Úhlava
75 %	80 %	50 %	40 %	50 %



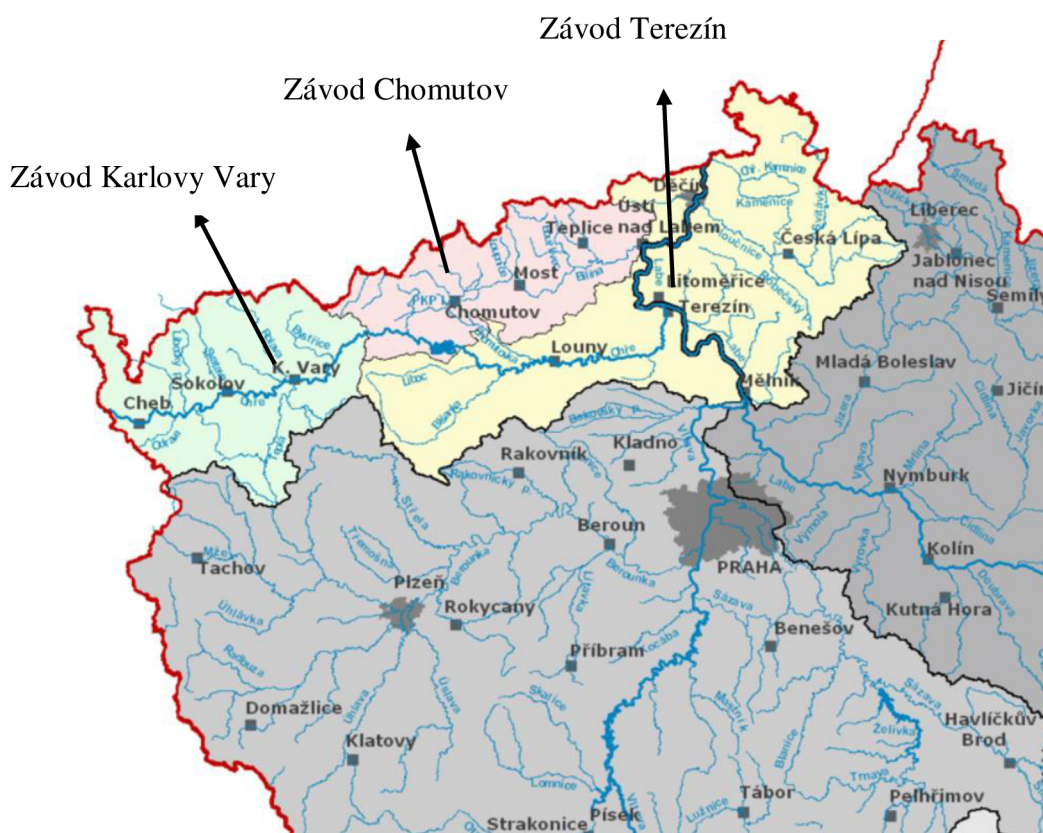
Obrázek 16 - Mapa povodí Vltavy [42]

Povodí Ohře

Celková délka všech toků v povodí Ohře (Obrázek 17) je 6 855,28 km, z toho je 2 376,7 km délka významných toků [21]. SP má pod správou 56 jezů a 22 velkých vodních nádrží. Vlastní také 22 MVE, které spolu v kombinaci s pěti fotovoltaickými elektrárnami vyrobily v roce 2019 76 662 MWh energie [24]. Výroční zpráva z roku 2019 udává, že výroba energie poklesla oproti letem 2015 až 2017 z důvodu nepříznivé hydrologické situace posledních let. Analýza společnosti ČEZ ukazuje, že až na lokální výjimky, jsou všechny vhodné lokality pro MVE vyčerpány a neočekává se zvýšení zájmu o výstavbu nových MVE. V tabulce 4 je uvedeno kolik potenciálu je využito na nejvýznamnějších řekách v Povodí Ohře. [16,21,24]

Tabulka 4 - Využitý potenciál na významných řekách v povodí Ohře v % [16]

Ohře	Odrava	Bílina	Černá	Kamenice
90 %	60 %	60 %	70 %	85 %
Lužec	Rolava	Rotava	Flájský potok	Ploučnice
75 %	80 %	75 %	80 %	90 %



Obrázek 17 - Mapa povodí Ohře [43]

Povodí Odry

Celková oblast, kterou zaujímá povodí Odry (Obrázek 18) je 118 861 km², avšak pouze 6 252 km² je pod řízením SP Povodí Odry [25]. Geograficky se velká část povodí se nachází v Polsku, menší poté v Německu. Geografické hranice povodí Odry neodpovídají území působnosti SP Povodí Odry. Necelých 1 000 km² okrajových částí geografického povodí Odry je pod správou SP Povodí Labe a SP Povodí Ohře, a to kvůli praktickým provozním důvodům. Celkově se v povodí Odry nachází 78 MVE, z kterých je 12 ve vlastnictví SP, který také provozuje 80 jezů [21]. Nejvíce MVE leží na řece Opavě, přesně 32 [25]. K lepšímu využívání hydroenergetického potenciálu brání časté ohrožení povodněmi. V tabulce 5 je uvedeno kolik potenciálu je využito na nejvýznamnějších řekách v Povodí Odry. [16,21,25]

Tabulka 5 - Využitý potenciál na významných řekách v povodí Odry v % [16]

Odra	Opava	Moravice	Ostravice	Olše
50 %	55 %	50 %	65 %	45 %
Bělá	Morávka	Mohelnice	Lučina	Olešnice
60 %	50 %	45 %	30 %	50 %



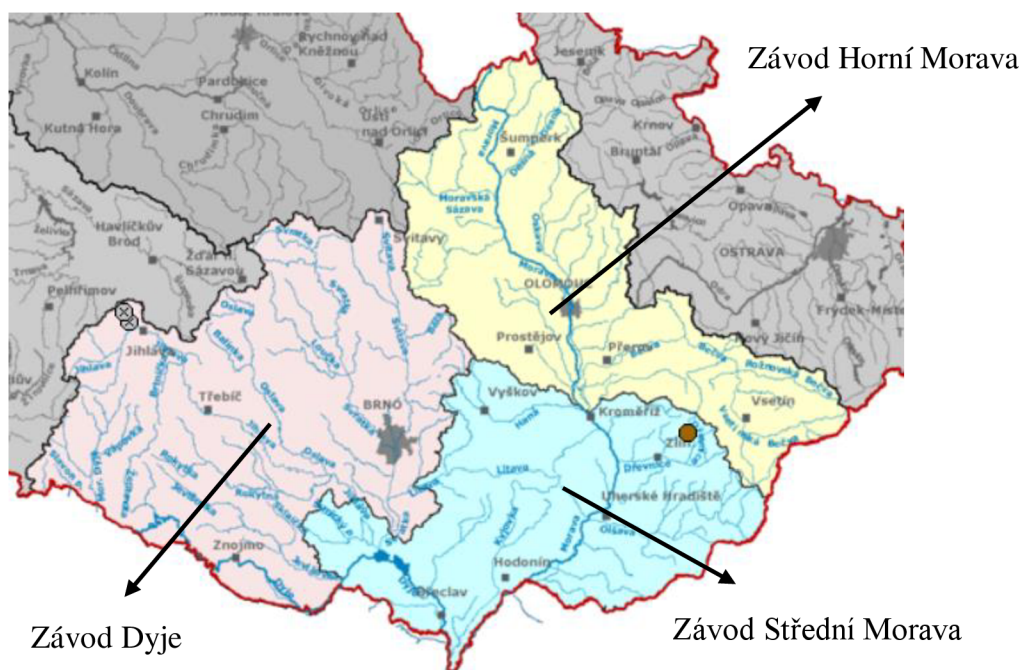
Obrázek 18 - Mapa povodí Odry [44]

Povodí Moravy

SP Povodí Moravy zabírá asi jednu čtvrtinu celého území ČR (Obrázek 19), přesně 21 132 km², a spadá do úmoří Černého moře [21]. Celková délka všech toků je 10 780 km, ze kterých je více než 3 000 km považovaných za významné [21]. Podnik dále vlastní a spravuje 171 jezů, 29 významných přehrad a 168 vodních nádrží a rybníků [21]. SP Povodí Moravy vyrobil 7 565,96 MWh el. energie ve svých 16 MVE za rok 2019 [26]. Nevyužívané vhodné lokality pro výstavbu MVE se nachází na dolních tocích moravských řek, přičemž některé lokality SP nedoporučuje kvůli častým výskytům povodní. Obecně jsou dvě třetiny lokalit obsazeny. Zbylé lokality jsou díky malému spádu méně ekonomicky zajímavé. SP Povodí Moravy si podle Šamánka [16], rezervuje nejvýhodnější lokality pro své vlastní projekty. V tabulce 6 je uvedeno kolik potenciálu je využito na nejvýznamnějších řekách v Povodí Moravy. [16,21,26]

Tabulka 6 - Využitý potenciál na významných řekách v povodí Moravy v % [16]

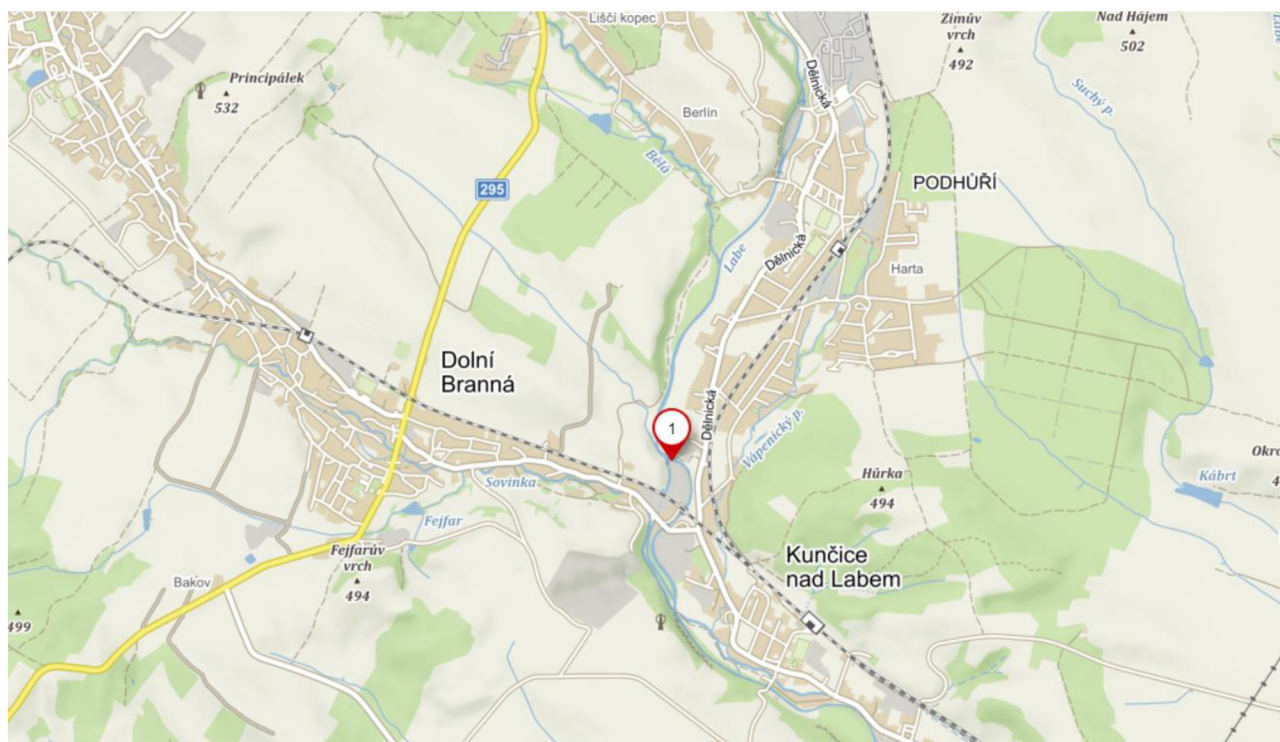
Morava	Bečva	Branná	Jihlava	Mor. Sázava
70 %	70 %	50 %	60 %	60 %
Mor. Dyje	Merta	Moštěnka	Břežná	Svitava
50 %	50 %	50 %	50 %	70 %



Obrázek 19 - Mapa povodí Moravy [45]

9. MVE Dolní Branná

MVE Dolní Branná se nachází u obce Dolní Branná v Královeshradském kraji (Obrázek 20). Leží na 232. říčním km řeky Labe. Jediným vlastníkem MVE je p. Ivan Tichý.



Obrázek 20 - Bod 1 na mapě označuje polohu MVE Dolní Branná [41]

Historie

Horní Branná má dlouho historii ve využívání vodní energie. Již před druhou světovou válkou zde dvě Francisovy turíny vyráběly el. energii k pohonu papírenských strojů v místní papírně. Po znárodnění v roce 1948 došlo k odstavení vodních turbín. Počátkem devadesátých let byla výroba papíru v Dolní Branné zrušena a nahrazena tiskárnou, pro kterou se vodní dílo stalo nepotřebným. V roce 1990 požádal p. Tichý o odkoupení vodního díla za účelem výstavby jezové MVE (Obrázek 21), jenž proběhla mezi lety 1990 až 1992. Výkon MVE v roce 1992 byl 110 kW. Dnes je výkon díky rekonstrukcím a výměně technologie více než dvojnásobný a to 240 kW. MVE je plně automatizována s možností dálkového řízení. [28]

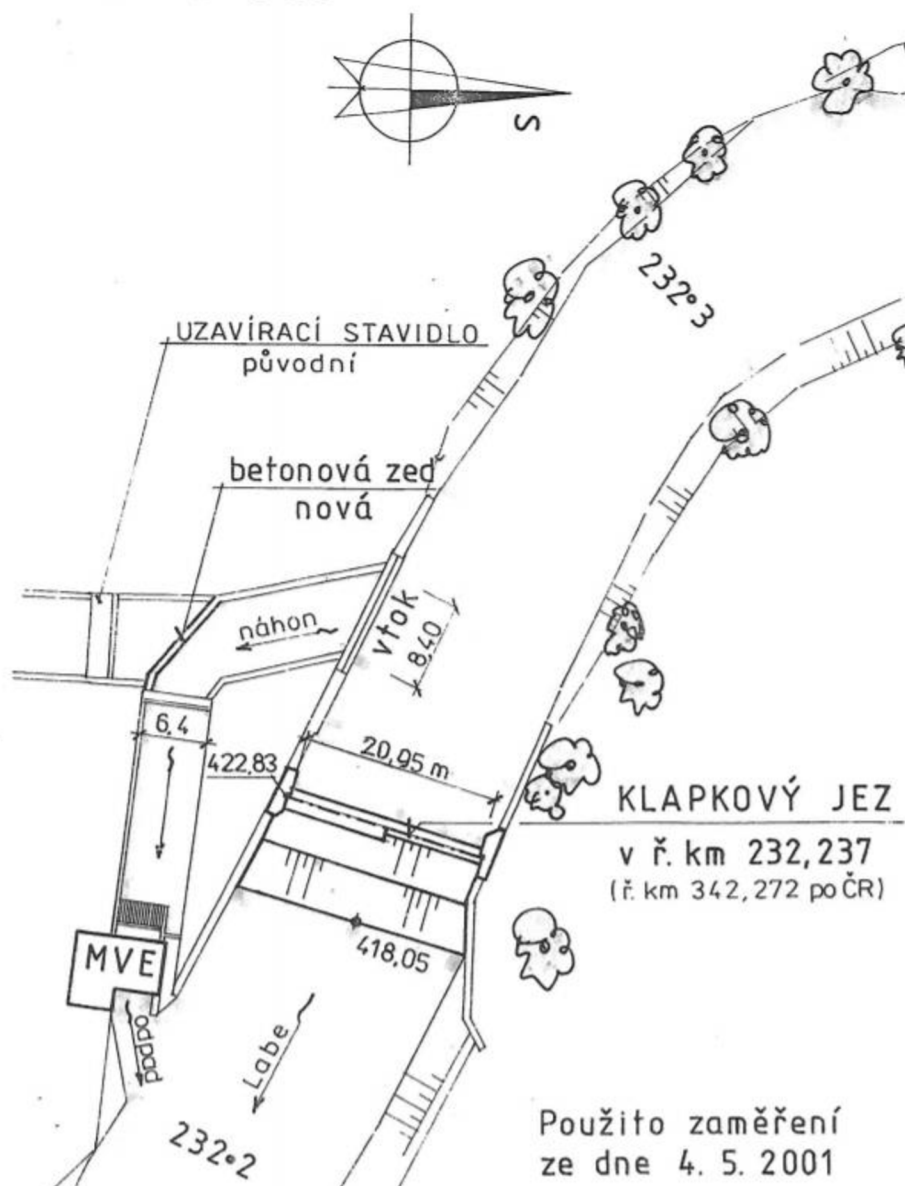


Obrázek 21 - Výstavba vtokového objektu MVE Dolní Branná v roce 1990 [28]

Vzdouvací objekty

Pohyblivý jez na Labi (Obrázek 22) je umístěn kolmo k ose vodního toku. Spodní nepohyblivá část jezu je vystavěna z lomového kamene. Přelivná část je zhotovena z železobetonu. Hradicí ocelová klapka je 10 mm silná a její hradicí výška je 1,32 m. Dvě dělné klapky jsou ovládány pomocí dvou servomotorů, přičemž délka jedné klapky je 10,40 m. Průtočná kapacita jezu je $97 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vodní nádrž o ploše $3\,200 \text{ m}^2$ dokáže pojmout až $4\,500 \text{ m}^3$ vody. Jez také slouží k zachycení nežádoucích plovoucích produktů při havarijním znečištění a ohrožení kvality vody v Labi. [28]

M - 1 : 500



Obrázek 22 - Uložení MVE a jezu na řece Labi [28]

Vtokový objekt a přivaděč

Vtokový objekt se nachází vpravo těsně nad jezem a je široký 8,40 m (Obrázek 22). Vlastní vtok do náhonu není hrazen. V levé části se nachází stavidlo o výšce 2,05 m, které hradí otvor široký 6,4 m (Obrázek 22). Stavidlo je uloženo v ocelovém rámu vyrobeném z válcovaných profilů U 260, přičemž ocelová tabule stavidla je ovládána elektromotorem. Nad stavidlem se nachází lávka pro případnou nutnou manipulaci. Za stavidlem je 15,4 m dlouhý přivaděč mířící ke strojovně. Svislé betonové stěny koryta náhonu jsou vysoké 5,90 m. Vtokový objekt je vybaven propustí (Obrázek 23), sloužící k proplachování celého vtokového objektu, přičemž slouží i k odvádění přebytečné vody v období s velkým

průtokem. Propust' je ovládána dřevěným stavidlem usazeným v ocelovém rámu. Voda procházející odpadem propusti míří přímo do koryta řeky Labe. Vpravo od stavidla propusti se nachází vtoky na turbíny, které jsou chráněny šikmými ocelovými česlemi (Obrázek 23). Horní konce česlí jsou opřeny o manipulační lávku, která slouží k ručnímu čištění jemných česlí. Za česli se nachází dva vtoky na turbíny kruhového průřezu. Levý vtok má průměr 1 620 mm, pravý 1 960 mm. [28]

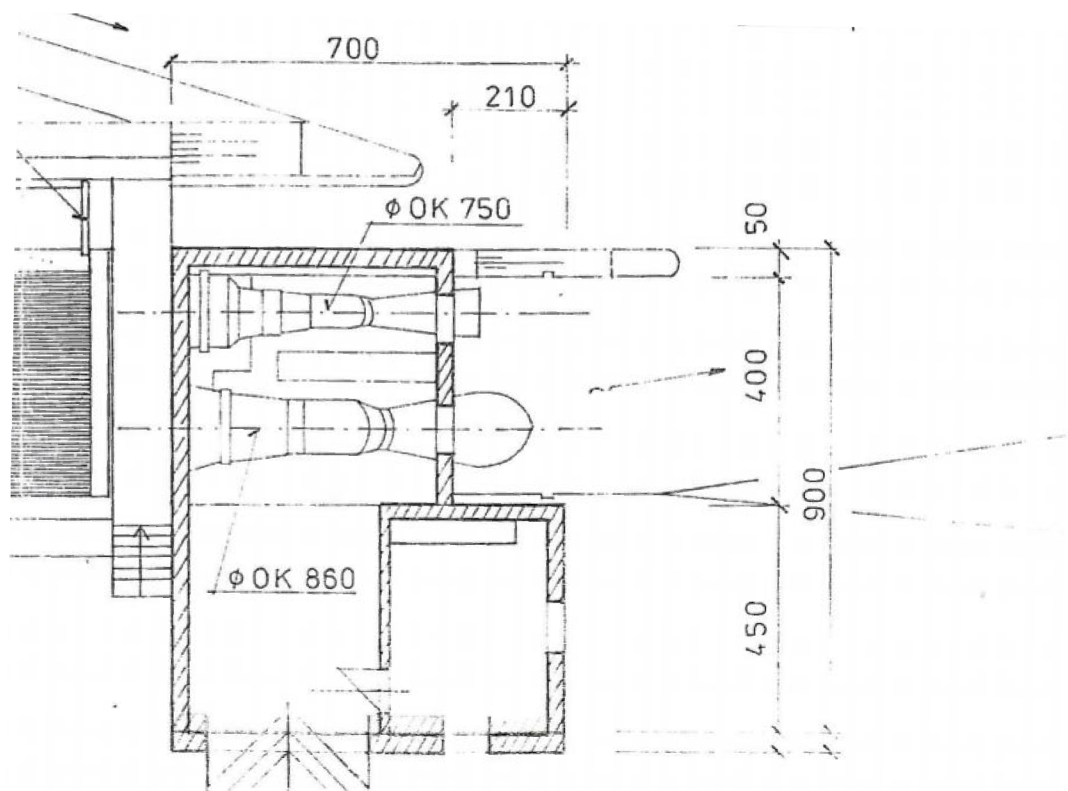


Obrázek 23 - Vtokový objekt do MVE Dolní Branná s česlemi a propustí [28]

Strojovna

Strojovna MVE je umístěna v zděné budově o rozměrech 9 x 7 m (Obrázek 24). Střecha stavby je sedlová a její hřeben je kolmý na osu přivaděče. Spodní stavba strojovny je zhotovena ze železobetonu. Hlavní částí strojovny jsou dvě přímoproudé Kaplanovy turbíny, které pro MVE dodala společnost Hydrohrom. Menší turbína má průměr oběžného kola 750 mm a hltnost $2,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, větší turbína má průměr oběžného kole 860 mm hltnost $3,40 \text{ m}^3/\text{s}$. Obě turbíny jsou vybaveny zařízením pro plynulou regulaci průtoku vody v závislosti na úrovni hladiny vody v jezové nádrži. Výkony jsou přenášeny řemenovým převodem na hřídele dvou generátorů. Asynchronní generátory jsou třífázové s kotvou na krátko a mají 735 otáček za minutu. Jmenovitý výkon generátoru, který pohání menší turbína je 110 kW. U generátoru poháněného větší turbínou je 160 kW. Ocelové savky

turbín šikmě směřující do vývařiště o délce 4,50 m a šířce 4,00 m, který ústí přímo do řeky Labe. [28]



Obrázek 24 - Schéma strojovny MVE Dolní Branná [28]

Rekonstrukce

MVE Dolní Branná byla od svého uvedení do provozu mnohokrát rekonstruována a vylepšována za účelem zvýšení výkonu a snadnějšího řízení MVE. Elektrárna je dnes plně automatická s možností řízení na dálku. Elektrárna zvýšila svůj výkon díky zvýšení spádu při modernizaci jezového tělesa v roce 2000. V průběhu let byly několikrát vyměněny obě turbíny za modernější a výkonnější stroje. Původní turbíny, od společnosti Hydrohrom, Semikaplan OK 500 a OK 600 byli nejdříve nahrazeny modely Semikaplan OK 860 a Kaplan HH 660. Ovšem i tyto turbíny již byli nahrazeny v roce 2001, a to současnými turbínami Kaplan HH 750 a Kaplan 860. Hřídele generátorů jsou k turbínám připojeny klínovými řemeny. Rekonstrukce prováděl majitel z části svépomocí. Náročnější rekonstrukce prováděla firma Hydrohrom a stavební společnosti. Všechny rekonstrukce vedly ke zvýšení výkonu na dnešních 250 kW. [28]

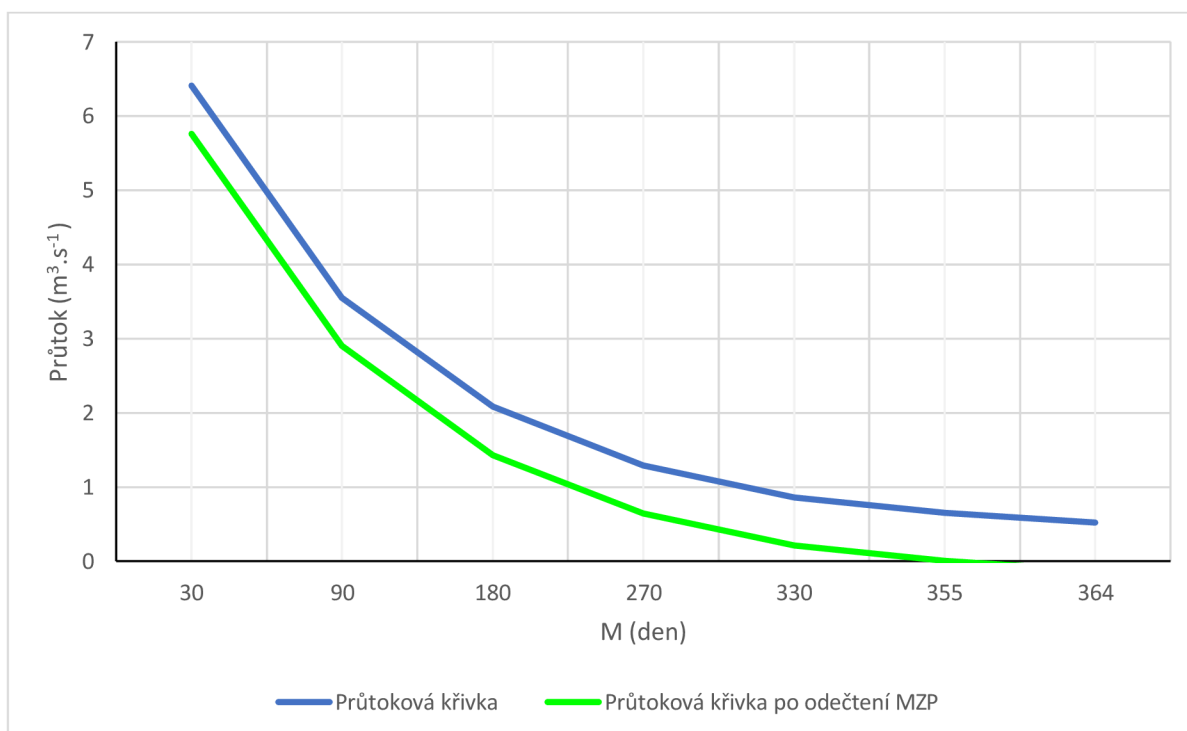
Technické zhodnocení MVE

Tabulka M – denních průtoků (Tabulka 7) je uvedena v Manipulačním řádu MVE Dolní Branná. Tato data byla poskytnuta v listopadu roku 1999 pobočkou Českého hydro meteorologického ústavu (ČHMÚ) v Hradci Králové.

Tabulka 7 - M-denní průtoky na Labi u MVE Dolní Branná

M (dny)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_M ($m^3 \cdot s^{-1}$)	6,41	4,52	3,55	2,92	2,45	2,08	1,78	1,52	1,29	1,07	0,86	0,65	0,52

Určení hodnoty minimálního zůstatkového průtoku (MZP) vychází z metodického pokynu Odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ČR, který zohledňuje ekologii a ochranu ekosystémů vázaných na vodní tok. Tento pokyn určuje, že pro lokality s průtokem Q_{355d} , který je v intervalu $0,51 - 5,0 m^3 \cdot s^{-1}$, je MZP právě hodnota Q_{355d} . V případě MVE Dolní Branná je tedy MZP $0,65 m^3 \cdot s^{-1}$ (Tabulka 7). Po vypracování grafu 1 z dat tabulky 7 vidíme modře průtokovou křivku v profilu MVE Dolní Branná. Zelená křivka na grafu 1 je průtoková křivka snižená o minimální zůstatkový průtok, ukazuje tedy kolik průtoku může MVE reálně využít. [29]



Graf 1 - Modře – křivka M-denních průtoků, zeleně – křivka M-denní průtoky sniženy o MZP

Hltnosti obou Kaplanových turbín jsou $5,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Maximální odběr vody pro pohon turbín je však daný Oborem životního prostředí okresního úřadu v Trutnově a je uveden v manipulačním řádu MVE. Hodnota max. odběru vody je stanovena na $5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Výkon MVE vypočítáme podle rovnice 1 [2]:

$$P = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_c \quad (1)$$

kde:	P	–	výkon hydroenergetického zdroj [kW]
	Q	–	průtok turbínami [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
	H	–	spád [m]
	η_c	–	celková účinnost zařízení
	g	–	tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Průtok vodním dílem je pro MVE Dolní Branná $5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Současný spád je podle majitele 5,5 m. Celkovou účinnost MVE (Rovnice 2) spočítáme jako součin jednotlivých účinností základních částí MVE. Pro potřeby této práce budeme pracovat s účinností turbín, účinností generátoru a účinností převodů. [2]

$$\eta_c = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_p \quad (2)$$

kde:	η_c	–	celková účinnost zařízení
	η_t	–	účinnost turbín
	η_g	–	účinnost generátorů
	η_p	–	účinnost převodů

Podle Holaty [2] se účinnost turbín pohybuje mezi 0,75 a 0,9. Kvůli modernizaci turbín bude počítáno s hodnotou 0,9. Účinnost asynchronních generátorů je mezi 80–95 %, počítáno s 0,9 [7]. Klínové řemeny dosahují vysoké účinnosti 0,985 [2]. Zadáním příslušných hodnot účinností do rovnice 2 získáme celkovou účinnost MVE. MVE má dvě turbosoustrojí (turbína, generátor a převody), proto je počítáno s každou účinností dvakrát.

$$\eta_c = \eta_{t1} \cdot \eta_{g1} \cdot \eta_{p1} \cdot \eta_{t2} \cdot \eta_{g2} \cdot \eta_{p2} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,985 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,985 = 0,64$$

Po výpočtu účinnosti již známe všechny potřebné veličiny pro výpočet výkonu hydroenergetického zdroje (Rovnice 1).

$$P_{MAX} = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_c = 9,81 \cdot 6,41 \cdot 5,5 \cdot 0,64 = 221,4 [kW]$$

Vypočtený výkon 221,4 kW tedy vyšel menší, než výkon o hodnotě 250 kW, který udává majitel MVE.

Otázkou nyní je, jaké množství elektrické energie vyrobí MVE za jeden rok. Tento údaj se vypočítá pomocí rovnice 3 [20]:

$$A = P \cdot t \quad (3)$$

- kde: A – množství vyrobené energie [kWh]
P – výkon hydroenergetického zdroje v daném období
t – počet hodin, který je ročně MVE v provozu

Díky tomu, že se jedná o MVE s jezovou nádrží se roční výroba el. energie v MVE počítá s hodnotou průtoku v intervalu Q_{80d} až Q_{120d} . V této práci bude počítáno s hodnotou $Q_{120d} = 2,92 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. [2] Výkon P_{120d} vypočítáme dosazením do rovnice 1:

$$P_{120d} = g \cdot Q_{120d} \cdot H \cdot \eta_c = 9,81 \cdot 2,92 \cdot 5,5 \cdot 0,64 = 100,8 \text{ kW}$$

MVE lze provozovat až do překročení minimální provozní hladiny v jezové nádrži. Při průtocích nižších než $5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se hladina vody na jezem udržuje ve stálé provozní úrovni, a to při kótě 421,43 m n.m. Hladina je udržována pomocí regulovaného průtoku vody turbínami, a to až do průtoků $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je minimální energeticky využitelný průtok menší turbínou.

Pokud je průtok na řece Labi v Dolní Branné větší než $5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dochází k přepadu vody přes klapku na koruně jezu. Hladina v nádrži se celoročně nachází na kótě 421,43 m n.m. a to s tolerancí + 0,13 m až -0,05 m. Výjimkou jsou velmi suchá období, nebo naopak velmi vodnatá období. Jez dokáže udržet hladinu řeky na horní kótě 421,43 m n.m. + 0,13 m, až do průtoku v Labi $53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, který odpovídá dvouleté vodě.

Pro výpočet roční výroby energie v MVE Dolní Branná je $P_{120d} = 100,8 \text{ kW}$ do rovnice 3. Podle majitele elektrárny je MVE, díky své vhodné lokalitě a jezové nádrži, v provozu celoročně, tedy 365 dní, což odpovídá 8 760 hodinám [28].

$$A = P \cdot t = 100,8 \cdot 8760 = 883\,008 \text{ kWh}$$

Majitel elektrárny udává, že MVE Dolní Branná vyrobí asi 900 000 kWh elektrické energie ročně. Vypočtená hodnota 883 008 kWh se tedy velmi blíží realitě. Důvodem rozdílu může být např. odlišná reálná účinnost turbín, generátorů a převodů. [28]

Rekonstrukce v letech 2000 a 2001

V roce 2000 proběhla rekonstrukce jezu u MVE Dolní Branná z důvodu nezbytných oprav a navýšení přelivné hrany (Obrázek 25). Podle majitele se tím zvětšil spád o 2,5 m [28]. Tato rekonstrukce přispěla ke zvýšení výkonu MVE. Rekonstrukci prováděl majitel z větší části svépomocí a částečně najatá stavební firma. Cena rekonstrukce byla podle majitele 500 000 Kč, a to včetně stavebních úprav. [28]



Obrázek 25 - Fotografie z průběhu rekonstrukce jezu a navýšení jezové klapky [28]

V průběhu roku 2001 proběhla zatím poslední rekonstrukce v MVE Dolní Branná. Byli vyměněny starší turbíny za současné Kaplanovy turbíny HH 750 a HH 860. S výměnou turbíny byly vyměněny generátory a nainstalován moderní řídicí systém v celé MVE. Celková cena této rekonstrukce byla podle majitele MVE 5 500 000 Kč. [28]

Výkon MVE před rekonstrukcemi (P_{PR}) zjistíme dosazením hodnot jako pro výpočet P_{120d} , avšak současnou hodnotu spádu 5,5 m nahradíme hodnotou spádu před rekonstrukcí, která byla 3 m. Bude také uvažováno s nižší účinností obou turbín ($\eta_t = 0,8$) tak i obou generátorů ($\eta_g = 0,8$) Výkon před rekonstrukcí vypočítáme podle rovnice 1. P_{PR} byl tedy:

$$P_{PR} = g \cdot Q_{120d} \cdot H \cdot \eta_c = 9,81 \cdot 2,92 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 35,2 \text{ kW}$$

Výkon 35,2 kW použijeme do rovnice 3 pro výpočet průměrné roční výroby el. energie.

$$A_{PR} = P \cdot t = 35,2 \cdot 8760 = 308\,352 \text{ kWh}$$

Výroba energie v MVE v mezi lety 1999 až 2002

V roce 1999 MVE Dolní Branná vyrobila asi **308 352 kWh** el. energie v průběhu celého roku. V roce 2000 proběhla rekonstrukce jezu. Podle majitele tato rekonstrukce trvala dva měsíce a provoz MVE byl v době rekonstrukce zastaven [28]. V roce 2000 byl MVE v provozu (rovnice 4):

$$t_{2000} = t_{PR} \cdot \frac{x}{12} = 8760 \cdot \frac{10}{12} = 7\,300 \text{ hodin} \quad (4)$$

kde: t_{2000} – čas v provozu v roce 2000 [hodiny]
 t_{PR} – čas v provozu v průměrném roce [hodinách]
 x – počet měsíců v provozu v roce 2000

V roce 2000 byla MVE v provozu 7 300 hodin. Průměrný roční výkon P_{PR} byl stejný jako v roce 1999, tedy 35,2 kW. Tyto hodnoty dosadíme do rovnice 3:

$$A = P \cdot t = 35,2 \cdot 7300 = 256\,960 \text{ kWh}$$

V roce 2000 vyrobila MVE **256 960 kWh**. V roce 2001 proběhla rekonstrukce turbín, která trvala 6 týdnů v průběhu září a října. Prvních osm měsíců měla MVE stále průměrný výkon 35,2 kW. Doba osmi měsíců odpovídá asi 5 840 hodinám. Po dosazení do rovnice 3 vychází výroba v prvních osmi měsících roku 2001:

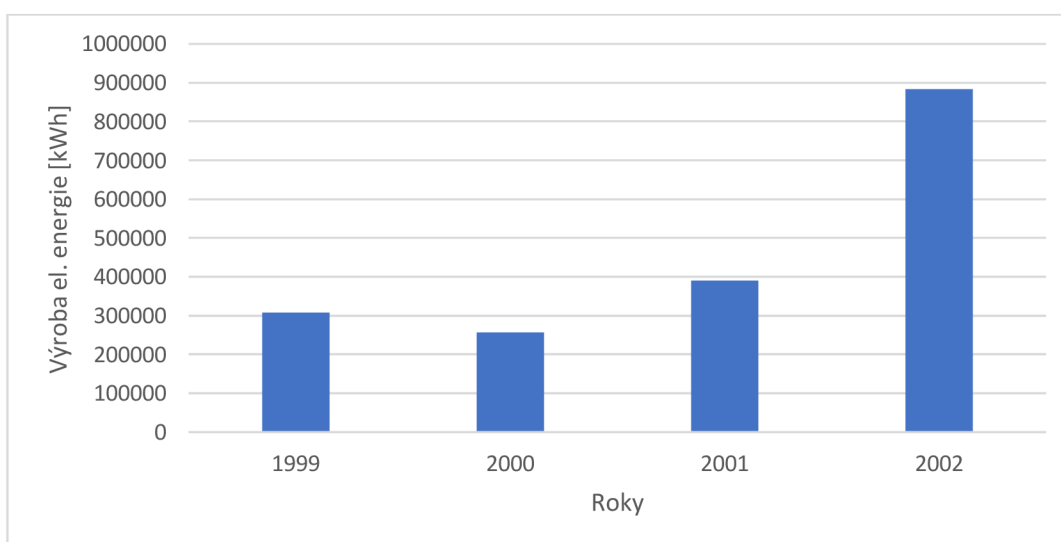
$$A = P \cdot t = 35,2 \cdot 5840 = 205\,568 \text{ kWh}$$

Po rekonstrukci turbín již měla MVE dnešní hodnotu průměrného ročního výkonu PPR. S tímto výkonem pracovala v roce 2001 dva a půl měsíce, což odpovídá 1 825 hodinám. Podle rovnice 3 tedy MVE v tomto období vyrobila:

$$A = P \cdot t = 100,8 \cdot 1825 = 183\,960 \text{ kWh}$$

Dohromady MVE v roce 2001 vyrobila **389 528 kWh** el. energie. V roce 2002 byl provoz MVE bez omezení a výroba byla **883 008 kWh**.

Graf 2 porovnává výrobu energie mezi lety 1999 až 2002. Roky 2000 a 2001 jsou ovlivněny dobou, kdy byl provoz v MVE zastaven z důvodů rekonstrukcí. Rok 2001 byl také ovlivněn změnou výkonu MVE.



Graf 2 – Výroby el. energie v MVE Dolní Branná mezi lety 1999 až 2002

Vývoj výkupní ceny el. energie

Výkupní ceny el. energie jsou určovány Energetickým regulačním úřadem. ERÚ se při rozhodování o výkupních cenách rozhoduje na základě mnoha faktorů např. o jaký obnovitelný zdroj energie se jedná, jaké má technické a ekologické parametry, nebo zda se jedná o rekonstrukci a modernizaci OZE. V tabulce 8 jsou hodnoty výkupních cen energie pro MVE ve stávajících lokalitách určené ERÚ. [13]

Tabulka 8 - Vývoj výkupních cen energie pro kategorii stávajících MVE dle ERÚ [13]

Datum uvedení výroby do provozu		Výkupní cena [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
od	do		
-	31.12.2004	2 284	1 442
1.1.2005	31.12.2013	2 927	2 085
1.1.2014	31.12.2014	2 870	2 028
1.1.2015	31.12.2015	2 814	1 972
1.1.2016	31.12.2016	2 759	1 917
1.1.2017	31.12.2017	2 396	1 554
1.1.2018	31.12.2018	2 349	1 507
1.1.2019	31.12.2019	2 303	1 461
1.1.2020	31.12.2020	2 258	1 416

Návratnost investice

Investiční náklady byly 6 000 000 Kč. [28]. Průměrné roční provozní náklady jsou podle majitele 200 000 Kč [28]. Odhad budoucích peněžních příjmů se používá k výpočtu celkových příjmů plynoucích z investice po dobu její předpokládané životnosti. Faktory, které mohou ovlivnit předpokládané příjmy, je u MVE několik např. inflace, přírodní podmínky, nebo změny na trhu s el energií. [30]

Výpočet peněžních příjmů je rozdíl mezi příjmy a výdaji. Výdaje jsou dány pořizovací cenou investice a náklady na její provoz. Roční tržby, které plynou z MVE zjistíme vynásobením celkového objemu vyrobené el. energie a cenou za jednotku energie. MVE Dolní Branná vyrobila v roce 2000 256 960 kWh. Výkupní cena energie byla do roku

2004 pro MVE Dolní Branná 2 284 Kč za MWh. Po převodu jednotek MVE vyrobí 256,96 MWh el. energie. Dosadíme do rovnice 5 zjistíme tržby ($Tržby_{VC}$) plynoucí z MVE v prvním roce zkoumaného období. [30]

$$Tržby_{VC} = 256,96 \cdot 2284 = 586\,897 \text{ Kč} \quad (5)$$

Zelené bonusy byly do roku 2004 1 442 Kč za MWh pro MVE. Tržby ($Tržby_{ZB}$) plynoucí ze zelených bonusů v roce prvním roce podle vzorce 5:

$$Tržby_{ZB} = 256,96 \cdot 1442 = 370\,536 \text{ Kč}$$

Pro výpočet zisku je potřeba znát celkovou hodnotu ročních provozních nákladů a odpisů týkajících se MVE. Majitel MVE Dolní Branná určil provozní náklady ve výši 200 000 Kč za rok. MVE spadají do 4. odpisové skupiny podle zákona od daních z příjmů č. 586/1992 Sb. §30 a §31. V prvním roce je tedy odepisováno 2,15 %, v dalších letech poté 5,15 %. Odpis jsou tedy následující (rovnice 6): [30,31]

$$Odpis_{1.rok} = 6\,000\,000 \cdot 0,0215 = 129\,000 \text{ Kč} \quad (6)$$

$$Odpis_{další roky} = 6\,000\,000 \cdot 0,0515 = 309\,000 \text{ Kč}$$

Výpočet ročního hrubého zisku (bez zelených bonusů) je tedy následující (Rovnice 7). Od tržeb odečteme roční provozní náklady a odpisy za první rok. Hrubý zisk se tedy rovná: [30]

$$Hrubý zisk_{1.rok} = 586\,897 - 200\,000 - 129\,000 = 257\,897 \text{ Kč} \quad (7)$$

Čistý zisk (Rovnice 8) se zjistí pomocí odečtení daně z příjmu fyzických osob od zisku hrubého. Daň z příjmu fyzických osob je 15 %. [30,31]

$$Čistý zisk_{1.rok} = 257\,897 \cdot 0,85 = 219\,212 \text{ Kč} \quad (8)$$

Cash Flow (CF), neboli tok peněz, je jedním z ukazatelů návratnosti investice. Posuzuje veškerý pohyb peněz pro zhodnocení výsledku hospodaření. V prvním roce CF vypočítáme jako čistý zisk prvního roku navýšený o hodnotu odpisu z prvního roku (Rovnice 9). Odpis je nákladem a není výdajem, tudíž peníze reálně neodepisujeme z pokladny. [30]

$$CF_{1.rok} = 219\,212 + 129\,000 = 348\,212 \text{ Kč} \quad (9)$$

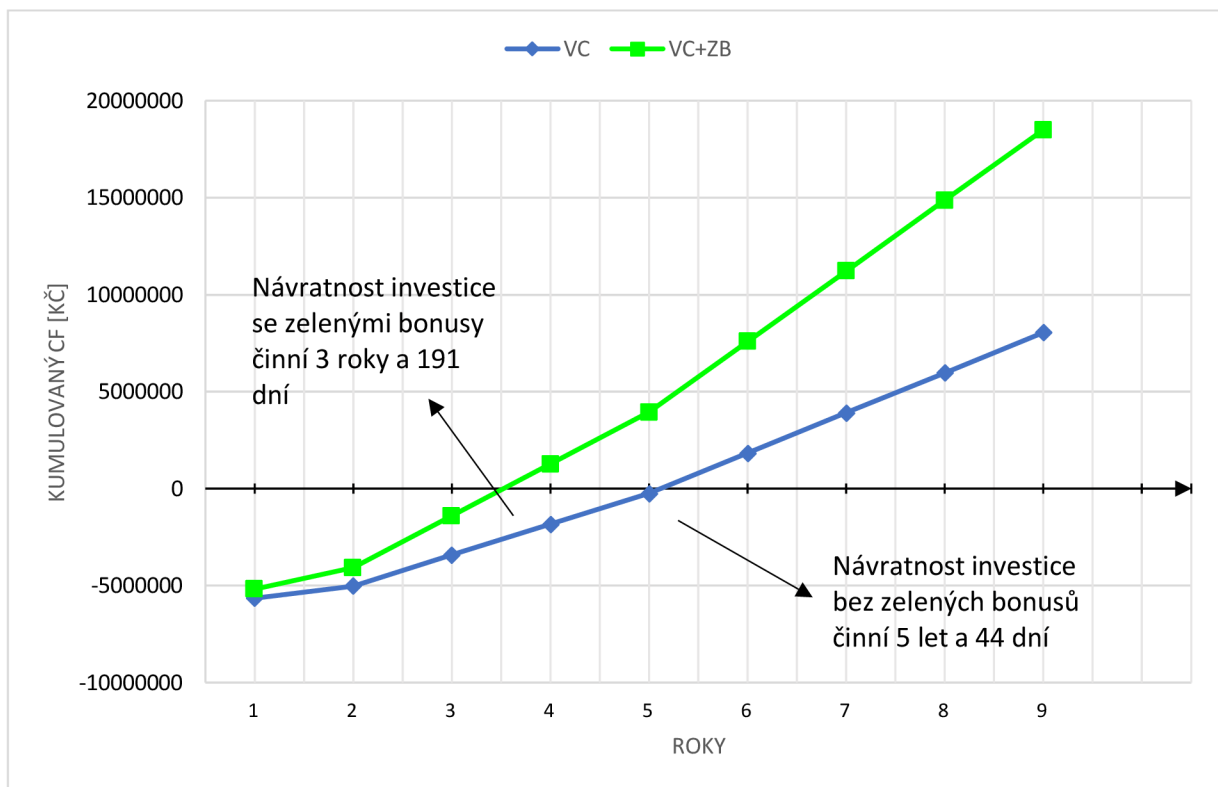
Tabulka 9 ukazuje průběh průběhu kumulovaného Cash Flow v MVE Dolní Branná. Každý rok je rozdělen na dva řádky, přičemž řádek VC (výkupní cena) ukazuje průběh kumulativního CF, v případě, že MVE nemá nárok na zelené bonusy. Řádek +ZB (plus zelené bonusy) je průběh kumulativního CF, pokud má MVE nárok na zelené bonusy. Tržby jsou počítány s konkrétními výkony a výkupními cenami el. energie v konkrétním roce. Provozní náklady jsou uvažovány v každém roce stejné. Odpisy investice v prvním roce jsou 2,15 %, v dalších letech 5,15 %. Čistý zisk je hrubý zisk snížen o 15 %. CF je čistý zisk navýšený o odpisy v daném roce.

Tabulka 9 – Kumulativní CF investic

Rok		Tržby [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Odpisy [Kč]	Hrubý zisk [Kč]	Čistý zisk [Kč]	CF [Kč]	Kumulovaný CF [Kč]
1	VC	586 897	200 000	129 000	257 897	219 212	348 212	-5 651 788
	+ZB	957 433			808 433	687 168	816 168	-5 183 832
2	VC	889 687	200 000	309 000	380 687	323 584	632 584	-5 019 204
	+ZB	1 451 389			942 389	801 031	1 110 031	-4 073 801
3	VC	2 016 772	200 000	309 000	1 507 772	1 281 606	1 590 606	-3 428 598
	+ZB	3 290 058			2 781 058	2 363 899	2 672 899	-1 400 912
4	VC	2 016 772	200 000	309 000	1 507 772	1 281 606	1 590 606	-1 837 992
	+ZB	3 290 058			2 781 058	2 363 899	2 672 899	1 271 987
5	VC	2 016 772	200 000	309 000	1 507 772	1 281 606	1 590 606	-247 386
	+ZB	3 290 058			2 781 058	2 363 899	2 672 899	3 944 886
6	VC	2 584 541	200 000	309 000	2 075 541	1 764 210	2 073 210	1 825 824
	+ZB	4 425 596			3 916 596	3 329 107	3 638 107	7 582 993

7	VC	2 584 541	200 000	309 000	2 075 541	1 764 210	2 073 210	3 899 034
	+ZB	4 425 596			3 916 596	3 329 107	3 638 107	11 221 100
8	VC	2 584 541	200 000	309 000	2 075 541	1 764 210	2 073 210	5 972 224
	+ZB	4 425 596			3 916 596	3 329 107	3 638 107	14 859 207
9	VC	2 584 541	200 000	309 000	2 075 541	1 764 210	2 073 210	8 045 454
	+ZB	4 425 596			3 916 596	3 329 107	3 638 107	18 497 314
10	VC	2 584 541	200 000	309 000	2 075 541	1 764 210	2 073 210	10 118 664
	+ZB	4 425 596			3 916 596	3 329 107	3 638 107	22 135 421

Kumulovaný CF ukazuje tok peněz do MVE s vlivem obou investic. V případě, že MVE nemá nárok na zelené bonusy (modrá křivka grafu 3) návratnost investice činí **5 let**, přesněji 5 let a 44 dní. (Graf 3). Pokud MVE má nárok na zelené bonusy je návratnost investice **3 a půl roku**, přesněji 3 roky a 191 dní. (zelená křivka grafu 3).



Graf 3 - Průběhu CF mezi lety 2000 až 2009

10. Závěr

Potenciál vodních toků v ČR pro účely hydroenergetiky je z asi 70 % vyčerpán. Využívání vodní energie je po ČR nerovnoměrné, což je dáno rozdílnými přírodními podmínkami. Dnešním trendem je rekonstruovat a modernizovat MVE ve stávajících lokalitách, případně stavět nové MVE v místech, kde již existuje jiné vodohospodářské dílo.

Rekonstrukce MVE Dolní Branná spočívající ve výměně turbín a navýšení přelivné hrany jezu měly za cíl zvýšení výkonu MVE a lepší hospodaření s vodou. Rekonstrukce byly také jedním z kroků ke splnění technických a ekologických podmínek ERÚ pro garantovaný výkup el. energie. MVE v roce 1999 MVE vyrobila 308 352 kWh. Rekonstrukce jezu z roku 2000 a výměna turbín z roku 2001 vedly ke zvýšení průměrné roční výroby el. energie na stávající hodnotu 883 008 kWh. [13]

V případě, že MVE nemá nárok na zelené bonusy je podle metody kumulativního Cash Flow návratnost investice 5 let. Pokud MVE má nárok na zelené bonusy tak se obě investice vrátí již za 3 a půl roku. Jedním z důvodů takto dobrého výsledku ekonomického šetření je aktivní zapojení majitele MVE, který velkou část přípravných i hlavních prací zvládl zajistit svépomocí. Tento přístup majitele obecně vede k výborné prosperitě MVE Dolní Branná.

11. Seznam obrázků

- Obrázek 1 - Továrna Josef Prokop a synové v Pardubicích [33]
- Obrázek 2 – Výroba elektřiny ve vodních elektrárnách [13]
- Obrázek 3 - Diagram zatížení znázorňující závislost elektrického výkonu a času [34]
- Obrázek 4 - Francisova horizontální turbína [6]
- Obrázek 5 - Ukázka kaplanových S-turbín [35]
- Obrázek 6 - MVE Planá postavena roku 2015 s jezem [36]
- Obrázek 7 - Výstavba česlí [37]
- Obrázek 8 - Stavidlo s rybí zábranou u MVE Šlapanov [38]
- Obrázek 9 - Vliv přílišného odebírání vody do MVE Ivančice na řece Jihlavě [39]
- Obrázek 10 - Moderní rybí přechod na řece Šlapance, který odvádí ryby mimo jez [40]
- Obrázek 11 - Podíl kategorií VE v % na instalovaném výkonu [13]
- Obrázek 12 - Výroba elektřiny brutto [MWh] v prvních třech měsících roku 2021 [13]
- Obrázek 14 - Počet MVE a jejich hromadný instalovaný výkon mezi lety 2002 a 2021 [13]
- Obrázek 15 - Mapa ČR s vyznačenými místy s nevyužitým hydro-energetickým potenciálem [3]
- Obrázek 16 - Mapa povodí Labe [42]
- Obrázek 17 - Mapa povodí Vltavy [43]
- Obrázek 18 - Mapa povodí Ohře, žlutě – Závod Terezín, růžově – Závod Chomutov, zeleně – Závod Karlovy Vary [44]
- Obrázek 19 - Mapa povodí Odry [45]
- Obrázek 20 - Mapa povodí Moravy [46]
- Obrázek 21 - Bod 1 na mapě označuje polohu MVE Dolní Branná [41]
- Obrázek 22 - Výstavba vtokového objektu MVE Dolní Branná v roce 1990 [28]
- Obrázek 23 - Uložení MVE a jezu na řece Labi [28]
- Obrázek 24 - Vtokový objekt do MVE Dolní Branná s česlemi a propustí [28]
- Obrázek 25 - Schéma strojovny MVE Dolní Branná [28]
- Obrázek 26 - Fotografie z průběhu rekonstrukce jezu a navýšení jezové klapy [28]

12. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Tabulky z norské studie, ukazující hlášené dopady 27 MVE na životní prostředí [12]

Tabulka 2 - Využitý potenciál na významných řekách v povodí Labe v % [16]

Tabulka 3 - Využitý potenciál na významných řekách v povodí Vltavy v % [16]

Tabulka 4 - Využitý potenciál na významných řekách v povodí Ohře v % [16]

Tabulka 5 - Využitý potenciál na významných řekách v povodí Odry v % [16]

Tabulka 6 - Využitý potenciál na významných řekách v povodí Moravy v % [16]

Tabulka 7 - M-denní průtoky na Labi u MVE Dolní Branná

Tabulka 8 - Vývoj výkupních cen energie pro kategorii stávajících MVE dle ERÚ [13]

Tabulka 9 – Kumulativní CF investic

13. Seznam grafů

Graf 1 - Modře – křivka M-denních průtoků, zeleně – křivka M-denní průtoky sníženy o MZP

Graf 2 – Výroby el. energie v MVE Dolní Branná mezi lety 1999 až 2002

Graf 3 - Průběhu CF mezi lety 2000 až 2009

14. Seznam použitých zdrojů

- [1] PAŽOUT, František. Malé vodní elektrárny. Malé vodní elektrárny. Díl 1., Ekonomika, předpisy. 1987. ISBN 80-03-00192-7
- [2] HOLATA, Miroslav, GABRIEL, Pavel, ed. Malé vodní elektrárny: projektování a provoz. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.
- [3] PROJEKT MŽP, 2008 - Projekt „Analýza efektivního využití malých vodních elektráren z hlediska přírodního potenciálu vodních toků jako energetického zdroje" - Ministerstvo životního prostředí. Ministerstvo životního prostředí [online]. Copyright © 2008 [cit. 10.12.2020]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/vodni_elektrarny_vyuziti_analyza
- [4] Vodohospodářská zařízení III, 2013. [online]. Copyright © 2013 [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ3/vzdouvaci_stavby.html
- [5] GABRIEL, Pavel, Petr KALANDRA a František ČIHÁK. Malé vodní elektrárny. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01812-1.
- [6] LAIKA, Viktor, 2003. Abeceda malých vodních pohonů [online]. [cit. 14.1.2021]. Dostupné z: <https://www.mve.energetika.cz>
- [7] ŠKORPIL, Jan. Obnovitelné zdroje energie. 2. vyd. přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2675-4.

- [8] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [9] MELICHAR, Jan, Jaroslav BLÁHA a Jan VOJTEK. Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-010-1808-0.
- [10] YAO, Weiwei, Yuansheng CHEN, Guoan YU, Mingyong XIAO, Xiaoyi MA a Fakai LEI. Developing a Model to Assess the Potential Impact of TUM Hydropower Turbines on Small River Ecology [HTML]. MDPI - Publisher of Open Access Journals [online]. Copyright © 2018 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution. 2018, 10-20 (5) [cit. 16.03.2021] ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/5/1662/htm>
- [11] SLAVÍK, Ondřej a Zdeněk VANČURA. Migrace ryb, rybí přechody a způsob jejich testování: metodický postup pro návrh, realizaci a možnosti testování funkce rybích přechodů pro žadatele OPŽP. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2012. ISBN 978-80-7212-580-7.
- [12] BAKKEN, Tor Haakon, Hakon SUNDT, Audun RUUD a Atle HARBY. Development of Small Versus Large Hydropower in Norway– Comparison of Environmental Impacts - ScienceDirect. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Published by Elsevier Ltd. 2012, 185-199 (20) [cit. 17.03.2021]. ISSN 1876-6102 Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610212007497>
- [13] Energetický regulační úřad, [html]. ERU [online]. Copyright © 2021 [cit. 28.5.2021]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/>
- [14] ŠTÍPSKÝ, Pavel. Malé vodní elektrárny v ČR [pdf]. Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů. SPVEZ, z.s. [online]. SPVEZ, 2018 [cit. 15.4.2021]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/files/MVE_v_%C4%8CR.pdf
- [15] Seznam vodní elektráren v Česku. Wikipedie [html]. Wikipedie, 2020 [cit. 28.5.2021] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_vodn%C3%ADch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku
- [16] ŠAMÁNEK, Libor. Využití energie vody [pdf]. KOLEKTIV AUTORŮ. Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice [online]. Praha: ČEZ, 2007 [cit. 26.5.2021]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/obnovitelne_zdoje_energie_a_mo_znosti_jejich_vyuziti_pro_cr.pdf
- [17] 544/2020 Sb. Zákon, kterým se mění vodní zákon [html]. Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 28.05.2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-544>

- [18] Stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků v podmínkách ČR [html]. VTEI. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace [online]. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2018/04/stanoveni-hodnot-minimalnich-zustatkovych-prutoku-v-podminkach-cr/>
- [19] ČIŽP: 11 malých vodních elektráren nedodrželo minimum průtoků vod [html]. Ekolist.cz [online]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/cizp-11-malych-vodnich-elektren-nedodrzel-minimum-prutoku-vod>
- [20] HAVLÍK, Jan. Vodní energie, [pdf]. Ústav energetiky fakulty strojní – ČVUT v Praze [online]. Copyright © 2020 [cit. 27.5.2021]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/OZE-p2-1.pdf>
- [21] Portál eAGRI, [html]. Resortní portál Ministerstva zemědělství [online]. [cit. 28.05.2021]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/>
- [22] Výroční zpráva, [pdf]. Státní podnik Povodí Labe [online]. [cit. 29.5.2021]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/>
- [23] Výroční zpráva, [pdf]. Povodí Vltavy s. p. [online]. Copyright © 2013 Povodí Vltavy, státní podnik [cit. 29.05.2021]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/>
- [24] Výroční zpráva, [pdf]. Povodí Ohře s. p. [online]. [cit. 29.5.2021] Dostupné z: <https://www.poh.cz/vyrocní-zpravy/d-1273>
- [25] Výroční zprávy, [pdf]. Povodí Odry s. p. [online]. [cit. 29.05.2021]. Dostupné z: <https://www.pod.cz/stranka/vyrocní-zpravy.html>
- [26] Výroční zprávy [pdf]. Povodí Moravy s. p. [online]. [cit. 29.05.2021]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vyrocní-zpravy/>
- [27] VÍT, Petr. Vývoj využití vodní energie v MVE v Čechách, [pdf]. Povodí Ohře Chomutov, hydrotechnika.cz [online]. [cit. 18.6.2021]. Dostupné z: <https://www.hydrotechnika.cz/upload/hydrotechnika/docs/V%c3%bdvoj%20MVE.pdf>
- [28] TICHÝ, Ivan. Konzultace s majitelem MVE Dolní Branná, Manipulační řád MVE Dolní Branná, fotografie a schémata.
- [29] Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích, [html]. Ministerstvo životního prostředí, mzp.cz [online]. [cit. 18.6.2021]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
- [30] BERVIDOVÁ, Ludmila a Pavlína VANČUROVÁ. Cvičení z ekonomiky podniků I. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2004. ISBN 978-80-213-1192-3.

[31] Zákon č. 586/1992 Sb. O daních z příjmů, [html]. Zákony pro lidi, zakonyprolidi.cz, [online]. [cit. 18.6.2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-586>

Seznam obrázkových a tabulkových zdrojů

- [32] Továrna Josef Prokop a synové, [jpg]. Wikipedie [online]. © Copyright 2020 [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Josefa_Prokop_a_synov%C3%A9#/media/Soubor:Parubice_Prokopka_01.JPG
- [33] Diagram zatížení znázorňující závislost elektrického výkonu a času, [jpg]. Informacni-portal.cz [online]. [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/zdroje-elektricke-energie>
- [34] Kaplanova turbína, [jpg]. Focus Technology Co., Ltd., fuchunind.en.made-in-china.com [online]. [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: <https://fuchunind.en.made-in-china.com/product/tNjJwzfEABcF/China-100kw-200kw-S-Type-Kaplan-Turbine-Small-Water-Turbine-for-Sale.html>
- [35] MVE Planá, [jpg]. ProTeren s.r.o., proteren.cz [online]. [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: <https://www.proteren.cz/reference/mve-plana-6.html>
- [36] Výstavba česlí, [jpg]. Gyrus-Rostislav Joch, gyrus-mve.cz [online]. Copyright 2013, [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: <https://www.gyrus-mve.cz/index.php/?show=produkty>
- [37] Stavidlo s rybí zadržovací nádrží, [jpg]. MVE Servis s.r.o., mveservis.cz [online]. Copyright 2017, [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: <http://www.mveservis.cz/slapanov.html>
- [38] Ivančice na řece Jihlavě, [jpg]. NAŠE VODA, nase-voda.cz [online]. Copyright 2021, [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/koupani-vodni-elektrarny-ivancicich-je-zakazane-hrozi-uraz/>
- [39] Rybí přechod, [jpg]. Vltava Labe Media, denik.cz [online]. [cit. 8.5.2021]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/kraj-vysocina/unikatni-rybi-prechod-obohati-vodni-zivot-v-rece-slapance-20160226-dijk.html>
- [40] Poloha MVE Dolní Branná, [html]. Mapy.cz [online]. [cit. 19.6.2021]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [41] Mapa SP povodí Labe, [jpg]. Povodí Labe, pla.cz [online]. [cit. 25.6.2021]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/portal/sap/cz/PC/>
- [42] Mapa SP povodí Vltavy, [jpg]. Povodí Vltavy, plv.cz [online]. [cit. 25.6.2021]. Dostupné z: <https://www.pvl.cz/portal/SaP/cz/pc/?data=1>
- [43] Mapa SP povodí Ohře, [jpg]. Povodí Ohře, sap.poh.cz [online]. [cit. 25.6.2021]. Dostupné z: <https://sap.poh.cz/portal/SaP/cz/pc/PC>
- [44] Mapa SP povodí Odry, [jpg]. Povodí Odry, pod.cz [online]. [cit. 25.6.2021]. Dostupné z: <https://www.pod.cz/portal/SaP/cz/PC/>
- [45] Mapa SP povodí Moravy, [jpg]. Povodí Moravy, pmo.cz [online]. [cit. 25.6.2021]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/portal/sap/cz/index.htm>